Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Физика»

П. А. Хило, А. И. Кравченко, Т. Н. Савкова

ФИЗИКА

ПРАКТИКУМ
по выполнению тестовых заданий к экзамену для студентов специальностей 1-27 01 01 «Экономика и организация производства (по направлениям)» и 1-40 05 01 «Информационные системы и технологии (по направлениям)» дневной формы обучения

Гомель 2016

Предисловие

При изучении курса физики в вузе большое значение имеет практическое применение теоретических знаний, главное из которых – умение решать задачи. Данный практикум «Физика. Тестовые задания к экзамену по курсу «Физика»» содержит теоретические сведения и тестовые задания к экзамену по трём разделам программы курса общей физики – «Механика и молекулярная физика», «Электричество и магнетизм» и «Оптика. Атомная и ядерная физика». Каждый раздел практикума имеет две части и содержит основные теоретические понятия, формулы и набор типовых тестовых задач. Практикум может быть использован, как при подготовке к экзаменам и практическим занятиям, так и для самостоятельной работы студентов.

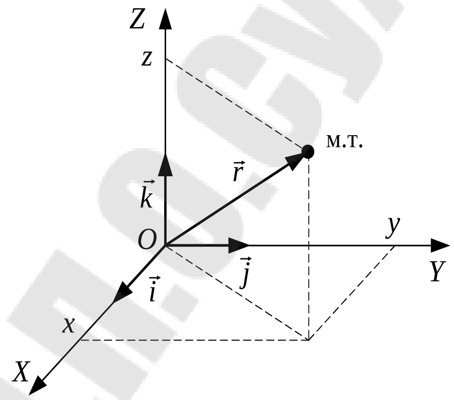
Основная цель пособия – оказание методической помощи студентам при самостоятельной подготовке к экзаменам. Решение задач потребует от студента, в случае необходимости, обратиться к теоретическому материалу, вникнуть в суть рассматриваемых явлений и процессов.

Практикум составлен в соответствии с требованиями общеобразовательных стандартов и типовых учебных программ.

Данный практикум предназначен для студентов специальностей 1-40 01 02 и 1-27 01 01 дневной формы обучения, изучающих физику в течении одного семестра и ориентирован на проверку знаний основных законов и положений курса «Физика».

1. Тестовые задания к экзамену по разделу «Механика и молекулярная физика».

1.1.1. Кинематика поступательного и вращательного движения. Основные понятия и формулы

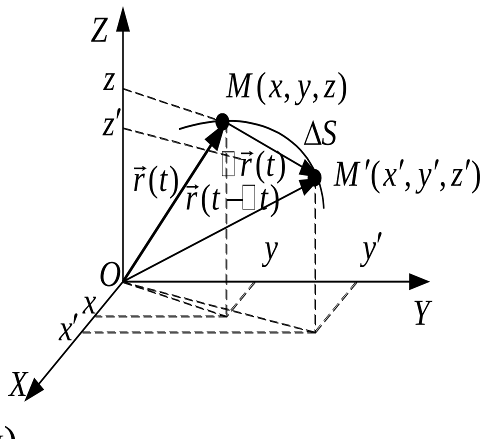


Положение материальной точки в пространстве в данный момент времени задается с использованием системы координат относительно некоторой точки (тела) отсчета, которая является началом системы координат. Направленный отрезок прямой, соединяющий точку отсчета O (см. рис.) и материальную точку (м.т.), называется радиус-вектором $-\vec{r}(t)$;

$$\vec{r}(t) = x(t)\cdot\vec{i} + y(t)\cdot\vec{j} + z(t)\cdot\vec{k},$$

где $x(t), y(t), z(t)$ – координаты точки в пространстве; $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – единичные векторы направлений (орты соответствующих координатных осей); t – время. Модуль радиус-вектора определяется выражением:

$$|\vec{r}(t)| = \sqrt{(x(t))^2 + (y(t))^2 + (z(t))^2}.$$



При движении материальной точки её координаты и радиус-вектор изменяются со временем, а сама материальная точка (конец вектора $\vec{r}$) описывает в пространстве линию, которая называется её траекторией (см. рис.). Скалярную величину ΔS, равную длине траектории, описанной точкой за данный промежуток времени, называют отрезком пути материальной точки (путём).

Путь положителен всегда и в процессе движения может только возрастать. Пусть за время Δt материальная точка переместилась из точки M в точку M', пройдя вдоль траектории отрезок пути ΔS. Вектор $\Delta\vec{r}$, проведенный из начальной точки M в конечную точку M', называется вектором перемещения материальной точки за время Δt:

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}(t+\Delta t) - \vec{r}(t), \text{ или } \Delta\vec{r} = \Delta x\vec{i} + \Delta y\vec{j} + \Delta z\vec{k},$$

где $\Delta x = x' - x; \Delta y = y' - y; \Delta z = z' - z.$

При линейном движении путь ΔS равен модулю вектора перемещения (перемещению) $|\Delta\vec{r}|$:

$$\Delta S = |\Delta \vec{r}| = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2},$$

при криволинейном движении $|\Delta \vec{r}| < \Delta S$.

Вектор средней скорости движения материальной точки:

$$\langle \vec{\upsilon} \rangle = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t},$$

где $\Delta \vec{r}$ – перемещение точки за промежуток времени Δt; $\vec{r}$ – радиус-вектор точки.

Средняя путевая скорость движения:

$$\langle \upsilon \rangle = \frac{\Delta S}{\Delta t},$$

где ΔS – путь, пройдённый точкой за промежуток времени Δt.

Мгновенная скорость:

$$\vec{\upsilon} = \frac{d\vec{r}(t)}{dt} = \upsilon_x \vec{i} + \upsilon_y \vec{j} + \upsilon_z \vec{k},$$

где $\upsilon_x = \frac{dx}{dt}, \upsilon_y = \frac{dy}{dt}, \upsilon_z = \frac{dz}{dt}$ – проекции вектора скорости $\vec{\upsilon}$ на соответствующие оси координат.

Модуль вектора полной скорости:

$$\upsilon = |\vec{\upsilon}| = \sqrt{\upsilon_x^2 + \upsilon_y^2 + \upsilon_z^2}.$$

Кинематическое уравнение равномерного движения ($\vec{\upsilon} = \text{const}$, $\vec{a} = 0$) точки вдоль оси OX:

$$x = x_0 \pm \upsilon t,$$

где x_0 – начальная координата точки; t – время движения. Знак «плюс» берется при совпадении направления вектора скорости с выбранным положительным направлением оси OX.

Правило сложения скоростей в классической механике:

$$\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}' + \vec{\upsilon}_0,$$

где $\vec{\upsilon}$ – скорость материальной точки относительно неподвижной системы отсчета; $\vec{\upsilon}'$– скорость материальной точки относительно подвижной системы отсчета; $\vec{\upsilon}_0$ – скорость подвижной системы отсчета относительно неподвижной системы отсчёта.

Среднее ускорение материальной точки:

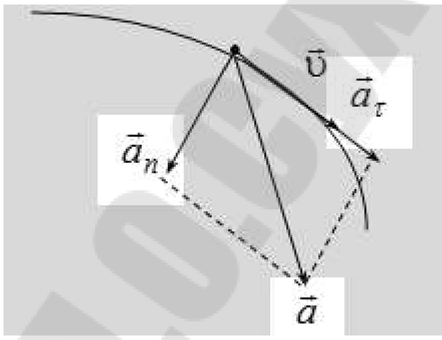
$$\langle \vec{a} \rangle = \frac{\Delta \vec{\upsilon}}{\Delta t}.$$

Мгновенное ускорение материальной точки:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{\upsilon}(t)}{dt} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k},$$

где $a_x = \dfrac{d\upsilon_x}{dt} = \dfrac{d^2x}{dt}, a_y = \dfrac{d\upsilon_y}{dt} = \dfrac{d^2y}{dt}, a_z = \dfrac{d\upsilon_z}{dt} = \dfrac{d^2z}{dt}$ – проекции вектора ускорения $\vec{a}$ на соответствующие оси координат.

Модуль вектора полного ускорения: $a = |\vec{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$.



Полное ускорение при криволинейном движении: $\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n$,

где $a_\tau = \dfrac{d\upsilon}{dt}$ – тангенциальная (касательная к траектории) составляющая ускорения; $a_n = \dfrac{\upsilon^2}{R}$ – нормальная (центростремительная) составляющая ускорения, R – радиус кривизны траектории в данной точке.

Модуль вектора полного ускорения при криволинейном движении:

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

Кинематическое уравнение равнопеременного движения ($\vec{a} = \text{const}$) уравнения движения имеют вид:

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{\upsilon}_0 t \pm \frac{\vec{a}t^2}{2},$$

где $\vec{\upsilon}_0$ – вектор начальной скорости.

Кинематические уравнения равнопеременного движения вдоль оси X и Y:

$$x = x_0 \pm \upsilon_{0x} t \pm \frac{a_x t^2}{2},\ y = y_0 \pm \upsilon_{0y} t \pm \frac{a_y t^2}{2}.$$

Скорость точки при равнопеременном движении:

$$\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_0 + \vec{a}t,$$

где $\vec{\upsilon}_0$ – вектор скорости движения в начальный момент времени $t = 0$ (начальная скорость).

Скорость точки при равнопеременном движении вдоль оси X и Y:

$$\upsilon_x = \upsilon_{0x} + a_x t,\ \upsilon_y = \upsilon_{0y} + a_y t.$$

При равноускоренном движении ускорение a берётся со знаком «плюс», при равнозамедленном – со знаком «минус».

Связь между ускорением и путем при прямолинейном движении может быть определена выражением: $\Delta S = \dfrac{\left|\upsilon_2^2 - \upsilon_1^2\right|}{2a}$.

Для тела, брошенного с земли под углом α к горизонту со скоростью υ_0 (без учета сопротивления воздуха), время полета $t = \dfrac{2\upsilon_0 \sin\alpha}{g}$;

дальность полета $\Delta S = \dfrac{\upsilon_0^2 \sin 2\alpha}{g}$;

максимальная высота $h_{\max} = \dfrac{\upsilon_0^2 \sin^2\alpha}{2g}$.

При вращательном движении положение твердого тела определяется углом поворота (угловым перемещением) $\vec{\varphi}$ ($d\vec{\varphi}$) при указанном положении оси вращения.

Угловая скорость тела: $\vec{\omega} = \dfrac{d\vec{\varphi}}{dt}$.

Модуль угловой скорости равномерного вращательного движения:

$$\omega = |\vec{\omega}| = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu,$$

где $\Delta\varphi$ – угол поворота произвольного радиуса от начального положения; Δt – промежуток времени, за который произошел этот поворот; T – период вращения; $\nu = \dfrac{N}{t}$ – частота вращения, N – число оборотов за время t.

Угловое ускорение: $\vec{\varepsilon} = \dfrac{d\vec{\omega}}{dt}$.

Кинематическое уравнение равномерного вращения ($\vec{\omega} = \text{const}$, $\vec{\varepsilon} = 0$):

$$\varphi = \varphi_0 + \omega t,$$

где φ_0 – угол поворота в момент времени $t = 0$ (в начальный момент времени).

Кинематическое уравнение равнопеременного вращательного движения ($\varepsilon = \text{const}$):

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

Связь угла поворота с числом оборотов: $\varphi = 2\pi N$.

Угловая скорость тела при равнопеременном вращении:

$$\vec{\omega} = \vec{\omega}_0 + \vec{\varepsilon} t,$$

где ω_0 – угловая скорость в начальный момент времени $t = 0$ (начальная угловая скорость). При равноускоренном вращении тела угловое ускорение ε берется со знаком «плюс», при равнозамедленном – со знаком «минус».

Величина углового ускорения ε связано с углом поворота за некоторый промежуток времени $\Delta\varphi$ соотношением $\Delta\varphi = \dfrac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{2\varepsilon}$.

Связь между линейными и угловыми величинами выражается формулами: линейный путь, пройденный точкой

$$dS = Rd\varphi,$$

где $d\varphi$ - угловой путь точки; R – радиус вращения точки;

линейная скорость точки $\upsilon = \omega R$;

тангенциальное ускорение точки $a_\tau = \varepsilon R$;

нормальное ускорение точки $a_n = \omega^2 R$;

модуль полного ускорения $a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} = \sqrt{\varepsilon^2 R^2 + \omega^4 R^2} = R\sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4}$.

1.1.2. Динамика материальной точки. Основные понятия и формулы

Масса тела m – физическая величина, являющаяся одной из основных характеристик материи определяющая её инерционные и гравитационные свойства.

Физическая сила $\vec{F}$ – это векторная величина, являющаяся мерой механического воздействия на тело со стороны других тел или полей, в результате которого тело приобретает ускорение или изменяет свою форму и размеры.

В механике мы рассматриваем различные силы силу тяжести:

$$\vec{F}_m = m\vec{g},$$

где $\vec{g}$ – ускорение свободного падения;

силы упругой деформации при растяжении (сжатии)

$$\vec{F} = -k\vec{x} \text{ либо } \sigma = E\frac{\Delta l}{l_0},$$

где $k = \dfrac{ES}{l_0}$ – коэффициент упругости (жесткости), $\sigma = F/S$ – механическое напряжение, E – модуль Юнга, $\Delta l = |\vec{x}|$– абсолютное удлинение (сокращение) тела при деформации;

силу трения скольжения

$$\vec{F}_{mp} = -\mu N\vec{e}_\upsilon,$$

где μ – коэффициент трения скольжения; N – величина силы реакции опоры (сила нормального давления на опору); $\vec{e}_\upsilon$ единичный вектор, направленный по вектору скорости, сила трения покоя меняет свое значение от нуля до величины силы трения скольжения $\vec{F}_{mp}$;

силу трения качения

$$\vec{F}_{трк} = -\frac{\mu_к}{r} N\vec{e}_{\upsilon},$$

где $\mu_к$ – коэффициент трения качения; r – радиус катящегося тела;

силу гравитационного притяжения

$$\vec{F}_T = G\frac{m_1 m_2}{r^3}\vec{r},$$

где G = 6,67·10^{-11} м^3/кг·с^2 – гравитационная постоянная, m_1 и m_2 – массы взаимодействующих объектов, $\vec{r}$ – радиус-вектор, соединяющий объекты, r – модуль радиус-вектора $\vec{r}$ (расстояние между объектами);

силу Архимеда

$$\vec{F}_A = -\rho V\vec{g},$$

где ρ – плотность жидкости или газа, V – объём погруженной в жидкость или газ части тела.

Импульс, количество движения – мера механического движения, равная для материальной точки произведению ее массы m на вектор ее скорости $\vec{\upsilon}$:

$$\vec{p} = m\vec{\upsilon}.$$

Импульс механической системы равен векторной сумме импульсов всех n материальных точек системы или произведению массы всей системы m на скорость ее центра масс $\vec{\upsilon}_c$:

$$\vec{p} = \sum_{i=1}^{n} m_i\vec{\upsilon}_i = m\vec{\upsilon}_c.$$

Скорость центра масс системы материальных точек:

$$\vec{\upsilon}_c = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i \frac{d\vec{r}_i}{dt}}{m} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i\vec{\upsilon}_i}{m},$$

где m_i и $\vec{r}_i$ – соответственно масса и радиус-вектор i-той материальной точки; n – число материальных точек в системе, m – масса всей системы.

Координаты центра масс системы материальных точек:

радиус-вектор $\vec{r}_c = \dfrac{\sum_{i=1}^{n} m_i\vec{r}_i}{m}$;

в координатной форме $x_c = \dfrac{\sum_{i=1}^{n} m_i x_i}{m}$; $y_c = \dfrac{\sum_{i=1}^{n} m_i y_i}{m}$; $z_c = \dfrac{\sum_{i=1}^{n} m_i z_i}{m}$, где m_i, $\vec{r}_i$, x_i, y_i, z_i – соответственно масса, радиус-вектор и координата i – той материальной точки; n – число материальных точек в системе, m – масса всей системы.

Закон сохранения импульса для замкнутой системы:

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

При решении задач формулировка первого закона Ньютона полезна в следующей форме: если результирующая всех сил, действующих на материальную точку (тело), равна нулю, то тело покоится или совершает равномерное и прямолинейное движение.

Второй закон Ньютона (основное уравнение динамики материальной точки): скорость изменения импульса точки равна равнодействующей силе, действующей на точку:

$$\sum_{i=1}^{k} \vec{F}_i = m\vec{a} = m\frac{d\vec{\upsilon}}{dt} = \frac{d\left(m\vec{\upsilon}\right)}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt},$$

где $\sum_{i=1}^{k} \vec{F}_i$ – векторная сумма сил, действующих на тело массой m; k – число действующих сих.

В проекциях на касательную и нормаль к траектории точки это же уравнение будет иметь вид:

$$F_\tau = ma_\tau = m\frac{d\upsilon}{dt}; \qquad F_n = ma_n = \frac{m\upsilon^2}{R} = m\omega^2 R.$$

Все силы в природе являются силами взаимодействия. Этот факт выражает суть третьего закона Ньютона: с какой силой тело 1 действует на тело 2, с такой же силой, но противоположной по направлению, тело 2 действует на тело 1: $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$.

Уравнение движения тела переменной массы (уравнение Мещерского):

$$m\vec{a} = \vec{F} + \vec{F}_p,$$

где $\vec{F}_p = -\vec{u}\dfrac{dm}{dt}$ – реактивная сила ($\vec{u}$ – скорость истечения газов из ракеты).

Работа постоянной силы на прямолинейном участке пути:

$$\Delta A = \vec{F}\Delta\vec{r} = F\Delta S\cos(\alpha),$$

где α – угол между векторами силы $\vec{F}$ и перемещения $\Delta\vec{r}$, $\Delta S = |\Delta\vec{r}|$ – элементарный путь.

Работа, совершаемая переменной силой на пути s:

$$A = \int_S \vec{F} d\vec{r} = \int_S F_s ds = \int_S F \cos\alpha ds,$$

где $\vec{F}_S$ – проекция вектора силы на вектор перемещения $d\vec{r}$, $dS = |d\vec{r}|$ – модуль вектора перемещения.

Средняя мощность за промежуток времени Δt $\langle N \rangle = \dfrac{A}{\Delta t}$.

Мгновенная мощность: $N = \dfrac{dA}{dt}$ или $N = \vec{F}\vec{\upsilon} = F_s \upsilon = F\upsilon\cos\alpha$.

Кинетическая энергия тела, движущегося поступательно: $E_K = \dfrac{m\upsilon^2}{2} = \dfrac{p^2}{2m}$.

Потенциальная энергия:

упругих сил $E_П = \dfrac{kx^2}{2}$,

где k – коэффициент упругости, x – абсолютная деформация;

гравитационного взаимодействия двух тел $E_П = -G\dfrac{m_1 m_2}{r^2}$;

тéла, находящегося в однородном гравитационном поле,

$$E_П = mgh,$$

где h – высота над уровнем, принимаемым за нулевой (для консервативной системы).

Связь между силой, действующей на тело в данной точке поля, и потенциальной энергией тела:

$$\vec{F} = -gradE_{\Pi} = -\left(\frac{\partial E_{\Pi}}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial E_{\Pi}}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial E_{\Pi}}{\partial z}\vec{k}\right),$$

где $\vec{i}$, $\vec{j}$, $\vec{k}$ – единичные векторы координатных осей.

Если в замкнутой системе действуют только консервативные силы, то механическая энергия сохраняется:

$$E = E_K + E_П = \text{const}.$$

Если кроме консервативных сил действуют неконсервативные, то изменение полной механической энергии равно работе неконсервативных сил:

$$E_2 - E_1 = A.$$

Скорость движения тел массами m_1 и m_2, движущихся до удара со скоростями $\vec{\upsilon}_1$ и $\vec{\upsilon}_2$ соответственно, после абсолютно упругого центрального удара:

$$\vec{\upsilon}_1' = \frac{(m_1 - m_2)\vec{\upsilon}_1 + 2m_2\vec{\upsilon}_2}{m_1 + m_2}; \qquad \vec{\upsilon}_2' = \frac{(m_2 - m_1)\vec{\upsilon}_2 + 2m_1\vec{\upsilon}_1}{m_1 + m_2}.$$

Скорость движения тел массами m_1 и m_2, движущихся соответственно со скоростями $\vec{\upsilon}_1$ и $\vec{\upsilon}_2$, после абсолютно неупругого центрального удара:

$$\vec{\upsilon}' = \frac{m_1\vec{\upsilon}_1 + m_2\vec{\upsilon}_2}{m_1 + m_2}.$$

Закон всемирного тяготения в скалярной форме:

$$F_T = G\frac{m_1 m_2}{r^2},$$

где F_T – величина силы всемирного тяготения (гравитационная сила) двух тел массами m_1 и m_2; r – расстояние между точками.

Напряженность поля тяготения:

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m},$$

где $\vec{F}$ – сила тяготения, действующая на тело массой m, помещенное в данную точку поля.

Работа в поле тяготения, создаваемого объектом массой M по перемещению тела массой m:

$$A = GmM\left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1}\right).$$

Потенциальная энергия гравитационного взаимодействия двух тел массами m_1 и m_2, находящихся на расстоянии r друг от друга:

$$E_П = -G\frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

Потенциал поля тяготения:

$$\varphi = \frac{E_П}{m},$$

где $E_П$ – потенциальная энергия материальной точки массой m, помещенной в данную точку поля.

Потенциал поля тяготения, создаваемый телом массой M:

$$\varphi_П = -\frac{GM}{R},$$

где R – расстояние от центра тела до рассматриваемой точки.

Связь между потенциалом поля тяготения и его напряженностью:

$$\vec{g} = -grad\varphi = -\left(\frac{\partial\varphi_П}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial\varphi_П}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial\varphi_П}{\partial z}\vec{k}\right).$$

Знак «минус» в формуле показывает, что вектор напряженности $\vec{g}$ направлен в сторону убывания потенциала.

Третий закон Кеплера:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{R_1^3}{R_2^3},$$

где T_1 и T_2 – периоды обращения планет вокруг Солнца; R_1 и R_2 – большие полуоси орбит этих планет.

Первая космическая скорость:

$$\upsilon_1 = \sqrt{\frac{GM_З}{r}} = \sqrt{gR_З} = 7{,}9 \cdot 10^3 \text{ м/с},$$

где $M_З$, $R_З$ – соответственно масса и радиус Земли, r – радиус круговой орбиты, G – гравитационная постоянная.

Вторая космическая скорость:

$$\upsilon_2 = \sqrt{\frac{2GM_З}{r}} = \sqrt{2gR_з} = 11{,}2 \cdot 10^3 \text{ м/с}.$$

Основной закон динамики для неинерциальных систем отсчета:

$$m\vec{a}' = m\vec{a} + \vec{F}_{ин},$$

где $\vec{a}$ и $\vec{a}'$ – соответственно ускорения тела в инерциальной и неинерциальной системах отсчета; $\vec{F}_{ин}$ – силы инерции.

Силы инерции:

$$\vec{F}_{ин} = \vec{F}_{и} + \vec{F}_{ц} + \vec{F}_{к},$$

где $\vec{F}_{и}$ – силы инерции, проявляющиеся при поступательном движении системы отсчета с ускорением $\vec{a}_0$,

$$\vec{F}_{и} = -m\vec{a}_0;$$

$F_ц$ – центробежные силы инерции (силы инерции, действующие во вращающейся системе отсчета на тела, удаленные от оси вращения на конечное расстояние R),

$$F_ц = -m\omega^2 R;$$

$\vec{F}_{к}$ – сила Кориолиса (сила инерции, действующая на тело, движущееся со скоростью $\vec{\upsilon}'$ во вращающейся системе отсчета),

$$\vec{F}_{к} = 2m\left[\vec{\upsilon}', \vec{\omega}\right].$$

1.1.3. Динамика вращательного движения. Основные понятия и формулы

Момент силы относительно неподвижной точки:

$$\vec{M} = \left[\vec{r}, \vec{F}\right],$$

где $\vec{r}$ – радиус-вектор, проведенный из этой точки в точку приложения силы $\vec{F}$.

Момент силы относительно неподвижной оси Z:

$\vec{M}_z = \left[\vec{r}, \vec{F}\right]$.

Модуль момента силы:

$M = Fl$,

где l – плечо силы (кратчайшее расстояние между линией действия силы и осью вращения).

Момент инерции материальной точки:

$J = mr^2$,

где m – масса точки; r – расстояние до оси вращения.

Момент инерции системы (тела):

$$J = \sum_{i=1}^{n} m_i r_i^2,$$

где r_i – расстояние материальной точки массой m_i до оси вращения.

Ниже приведены моменты инерции некоторых однородных тел массой m правильной геометрической формы табл. 1.1.

Таблица 1.1 - Моменты инерции некоторых однородных тел массой m правильной геометрической формы

Тело	Положение оси вращения	Момент инерции
Полый тонкостенный цилиндр радиусом R	Ось симметрии	mR^2
Сплошной цилиндр или диск радиусом R	То же	$\frac{1}{2}mR^2$
Прямой тонкостенный стержень длиной l	Ось перпендикулярна к стержню и проходит через его середину	$\frac{1}{12}ml^2$
То же	Ось перпендикулярна к стержню и проходит через его конец	$\frac{1}{3}ml^2$
Шар радиусом R	Ось проходит через центр шара	$\frac{2}{5}mR^2$

В случае непрерывного распределения масс (сплошного однородного твердого тела): $J = \int_m r^2 dm = \rho \int_V r^2 dV$, где ρ – плотность тела; V – его объём.

Теорема Штейнера:

$J = J_c + ma^2$,

где J_c – момент инерции тела относительно оси, проходящей через центр масс; J – момент инерции относительно параллельной оси, отстоящей от первой на расстоянии a; m – масса вращающегося тела.

Момент импульса материальной точки относительно неподвижной точки: $\vec{L}=[\vec{r},\vec{p}]=[\vec{r},m\vec{\upsilon}]$.

Момент импульса (момент количества движения) твердого тела относительно неподвижной оси вращения:

$$\vec{L}_z=\sum_{i=1}^{n} m_i\vec{\upsilon}_i r_i = J_z\vec{\omega}_z,$$

где r_i – расстояние от оси z до отдельной частицы тела; $m_i\upsilon_i$ – импульс этой частицы; J_z – момент инерции тела относительно оси Z; $\vec{\omega}_z$ – угловая скорость вращения.

Закон сохранения момента импульса (момента количества движения) для замкнутой системы: $\sum\limits_{i=1}^{n}\vec{L}_i=\text{const}$.

Для двух взаимодействующих тел закон сохранения момента импульса:

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

где $J_1, J_2, \omega_1, \omega_2$ – моменты инерции и угловые скорости тел до взаимодействия; $J_1',\ J_2', \omega_2', \omega_2'$ – те же величины после взаимодействия.

Основное уравнение (закон) динамики вращательного движения твердого тела относительно неподвижной оси:

$$\vec{M}=\frac{d\vec{L}}{dt}; \qquad M_z=J_z\frac{d\omega}{dt}=J_z\varepsilon,$$

где ε – величина углового ускорения; J_z – момент инерции тела относительно оси Z.

Элементарная работа при вращении тела:

$$dA=M_z d\varphi,$$

где $d\varphi$ – угол поворота тела; M_z – момент силы относительно оси Z.

Работа внешних сил при повороте твердого тела на конечный угол φ:

$$A=\int_0^{\varphi} M_z d\varphi.$$

Если M_z = const, то работа $A=M_z\varphi$.

Кинетическая энергия тела, вращающегося вокруг неподвижной оси Z:

$$W_{Квр}=\frac{J_z\omega^2}{2},$$

где J_z – момент инерции тела относительно оси Z; ω – его угловая скорость.

Кинетическая энергия тела, катящегося по плоскости без скольжения:

$$W_K = \frac{1}{2} m\upsilon_c^2 + \frac{1}{2} J_c \omega^2,$$

где m – масса тела; υ_c – скорость центра масс тела; J_c – момент инерции тела относительно оси, проходящей через его центр масс; ω – угловая скорость тела.

Напряжение при упругой деформации тела:

$$\sigma = \frac{F}{S},$$

где F – растягивающая (сжимающая) сила; S – площадь поперечного сечения тела.

Относительное продольное растяжение (сжатие):

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l},$$

где Δl – изменение длины тела при растяжении (сжатии); l – длина тела до деформации.

Относительное поперечное растяжение (сжатие):

$$\varepsilon' = \frac{\Delta d}{d},$$

где Δd – изменение диаметра стержня при растяжении (сжатии); d – диаметр стержня.

Связь между относительным поперечным сжатием (растяжением) ε' и относительным продольным растяжением (сжатием) ε:

$$\varepsilon' = \mu\varepsilon,$$

где μ – коэффициент Пуассона.

Закон Гука для продольного растяжения (сжатия):

$$\sigma = E\varepsilon,$$

где E – модуль Юнга.

Потенциальная энергия упруго растянутого (сжатого) тела:

$$W_{\Pi} = \int_0^{\Delta l} F dx = \frac{1}{2} \frac{ES}{l} (\Delta l)^2 = \frac{E\varepsilon^2}{2} V,$$

где V – объём тела.

1.1.4. Механика жидкостей. Основные понятия и формулы

Гидростатическое давление столба жидкости на глубине h:

$$p = \rho g h,$$

где ρ – плотность жидкости.

Закон Архимеда:

$$F_A = \rho g V,$$

где F_A – выталкивающая сила; V – объем вытесненной жидкости.

Уравнение неразрывности для несжимаемой жидкости:

$$S\upsilon = \mathrm{const},$$

где S – площадь поперечного сечения трубки тока; υ – скорость жидкости.

Уравнение Бернулли для стационарного течения идеальной несжимаемой жидкости:

$$\frac{\rho\upsilon^2}{2} + \rho g h + p = \mathrm{const},$$

где $\frac{\rho\upsilon^2}{2}$ – динамический напор; $\rho g h$ – гидравлический напор (h – глубина рассматриваемого сечения жидкости относительно уровня жидкости); ρ – статическое давление. С физической точки зрения динамический напор соответствует удельной кинетической энергии, т.е. энергии 1 ед. объёма движущейся жидкости, а гидравлический напор – удельная потенциальная энергия 1 единицы объёма в поле силы тяжести.

Для трубки тока, расположенной горизонтально:

$$\frac{\rho\upsilon^2}{2} + p = \mathrm{const}.$$

Формула Торричелли, позволяющая определить скорость истечения жидкости из малого отверстия в открытом широком сосуде:

$$\upsilon = \sqrt{2gh},$$

где h – глубина, на которой находится отверстие относительно уровня жидкости в сосуде.

Сила внутреннего трения между слоями текущей жидкости:

$$F = -\eta\left|\frac{\Delta\upsilon}{\Delta x}\right| S,$$

где η – динамическая вязкость жидкости; $\frac{\Delta\upsilon}{\Delta x}$ – градиент скорости; S – площадь соприкасающихся слоев.

Число Рейнольдса, определяющее характер движения жидкости:

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho\langle\upsilon\rangle d}{\eta},$$

где ρ – плотность жидкости; $\langle\upsilon\rangle$ – средняя по сечению трубы скорость жидкости; d – характерный линейный размер, например, диаметр трубы.

Формула Стокса, позволяющая определить силу сопротивления, действующую на медленно движущийся в вязкой среде шарик:

$$F = -6\pi\eta r\upsilon,$$

где r – радиус шарика; υ – его скорость.

Формула Пуазейля, позволяющая определить объём жидкости, протекающий за время t через капиллярную трубку длиной l:

$$V = \pi R^4 \frac{\Delta p t}{8\eta l},$$

где R – радиус трубки; Δp – разность давлений на концах трубки.

При движении твердых тел в жидкостях и газах лобовое сопротивление:

$$R_x = C_x \frac{\rho\upsilon^2}{2} S,$$

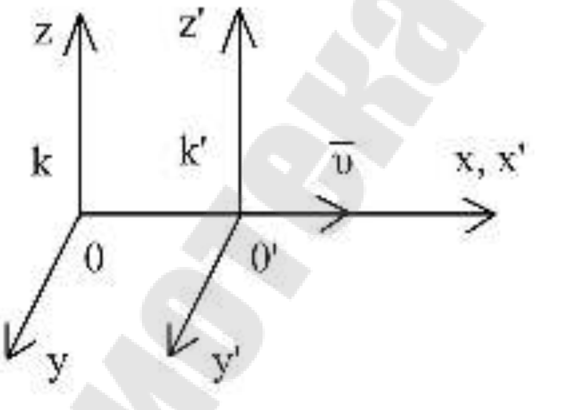
где C_x – коэффициент сопротивления (безразмерный); ρ – плотность среды; υ – скорость движения тела; S – площадь наибольшего поперечного сечения тела.

Подъёмная сила:

$$R_y = C_y \frac{\rho\upsilon^2}{2} S,$$

где C_y – коэффициент подъёмной силы (безразмерный).

1.1.5. Основы специальной теории относительности (СТО). Основные понятия и формулы



В СТО рассматриваются только инерциальные системы отсчета. В рассматриваемых задачах считается, что оси координат Y, Y' и Z, Z' (см. рисунок) со направлены, а относительная скорость $\vec{\upsilon}$ системы координат k' относительно системы k направлена вдоль общей оси XX'.

Релятивистское (лоренцево) сокращение длины стержня:

$$l = l_0\sqrt{1-\beta^2},$$

где l_0 – длина стержня в системе k', относительно которой стержень покоится (собственная длина); стержень параллелен оси x; l – длина стержня в системе k, относительно которой он движется со скоростью υ; $\beta = \frac{\upsilon}{c}$; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме.

Релятивистское замедление хода часов:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1-\beta^2}},$$

где Δt_0 − промежуток времени между двумя событиями, происходящими в одной точке системы k', измеренными по часам этой системы (собственное время движущихся часов); Δt − промежуток времени между двумя событиями, измеренными по часам системы k.

Зависимость массы частицы от скорости ее движения (релятивистская масса):

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}},$$

где m_0 − масса покоя этой частицы.

Релятивистский импульс $\vec{p} = m\vec{\upsilon} = \frac{m_0\vec{\upsilon}}{\sqrt{1-\beta^2}}$.

Кинетическая энергия релятивистской частицы:

$$E_к = m_0c^2\left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1\right); \quad E_к = E - E_0,$$

где $E = mc^2 = m_0c^2 + E_к$ – полная энергия релятивистской частицы; $E_0 = m_0c^2$ − энергия покоя частицы.

Изменение массы системы на величину Δm соответствует изменению энергии системы на величину $\Delta E = \Delta mc^2$.

Связь между полной энергией и импульсом релятивистской частицы:

$$E = \sqrt{m_0^2c^4 + p^2c^2}; \quad p_c = \sqrt{E_к\left(E_к + 2E_0\right)}.$$

Релятивистское сложение скоростей:

$$u = \frac{u' + \upsilon}{1 + \frac{u'\upsilon}{c^2}}; \quad u' = \frac{u - \upsilon}{1 - \frac{u\upsilon}{c^2}},$$

где u' − величина скорости тела относительно системы k' (относительная скорость), υ − величина скорости системы k' относительно системы k' (переносная скорость); υ – величина скорости тела относительно системы k.

Энергию микрочастиц часто измеряют в электрон-вольтах:

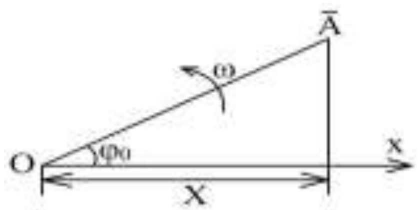
1эВ = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж.

1.1.6. Механиеские колебания. Упругие волны. Основные понятия и формулы

Колебаниями называют движения и процессы, обладающие повторяемостью во времени. К гармоническим относят колебания, при которых координаты тела меняются по закону

$x = A\cos(\omega t + \varphi_0)$ или $x = A\sin(\omega t + \varphi_0)$,

где x – смещение колеблющейся величины от положения равновесия; A – амплитуда колебаний; $\omega = 2\pi/T = 2\pi\nu$ – круговая (циклическая) частота; $\nu = 1/T$ – частота; T – период колебаний; φ_0 – начальная фаза (в момент времени $t_0 = 0$); $(\omega t + \varphi_0)$ – фаза колебаний в момент t.



Гармонические колебания можно представить с помощью векторной диаграммы. Вектор $\vec{A}$ равномерно вращается с угловой скоростью φ относительно точки O (см. рис.), при этом угол φ между осью OX и вектором $\vec{A}$ непрерывно меняется со временем t:

$\varphi = \omega t + \varphi_0$

где φ_0 – начальный угол при $t_0 = 0$. При вращении проекция вектора $\vec{A}$ на ось OX совершает гармонические колебания:

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

при которых модуль вектора $|\vec{A}|$ является амплитудой, модуль угловой скорости вращения ω – циклической частотой, а угол φ_0 – начальной фазой колебаний. Метод векторной диаграммы используется при сложении гармонических колебаний одинаковой частоты и определении сдвига фаз между током и напряжением в цепях переменного тока.

Модуль скорости и ускорение материальной точки, совершающей гармонические колебания,

$$\upsilon = \frac{dx}{dt} = -A\omega\sin(\omega t + \varphi_0) = A\omega\cos\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right);$$

$$a = \frac{d\upsilon}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -A\omega^2\cos(\omega t + \varphi_0) = A\omega^2\cos(\omega t + \varphi_0 + \pi) = -\omega^2 x.$$

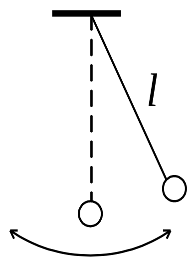
Величина максимальной скорости υ_{max} (амплитуда скорости) и ускорение a_{max} (амплитуда ускорения) материальной точки, совершающей гармонические колебания: $\upsilon_{max} = A\omega$ $a_{max} = A\omega^2$.

Фаза колебаний $\varphi = (\omega t + \varphi_0) = (2\pi\nu t + \varphi_0) = \left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi_0\right)$.

Дифференциальное уравнение свободных гармонических колебаний материальной точки массой m:

$$\frac{d^2x}{dt^2}+\omega^2 x=0 \text{ или } m\frac{d^2x}{dt^2}=-kx,$$

где m – масса точки; k – коэффициент квазиупругой силы ($k=m\omega^2$), ω^2 – собственная частота колебаний, которая зависит от параметров колеблющейся системы.



Математический маятник с неподвижной осью:

период колебаний $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$;

циклическая частота $\omega=\frac{2\pi}{T}=\sqrt{\frac{g}{l}}$,

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

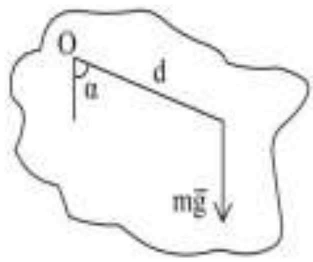
Математический маятник с осью, движущейся с ускорением $\vec{a}$:

период колебаний $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g^*}}$;

циклическая частота $\omega=\frac{2\pi}{T}=\sqrt{\frac{g^*}{l}}$,

где l – длина маятника; g^* – модуль вектора ускорения маятника $\vec{g}^*=\vec{g}+\vec{a}$.

Физический маятник:

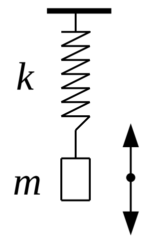


период колебаний $T=2\pi\sqrt{\frac{J}{mgd}}=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$;

циклическая частота $\omega=\frac{2\pi}{T}=\sqrt{\frac{mgd}{J}}=\sqrt{\frac{g}{L}}$,

где J – момент инерции маятника относительно оси колебаний O; d – расстояние между точкой подвеса и центром масс маятника; $L=J/(md)$ – приведенная длина физического маятника.

Пружинный маятник:

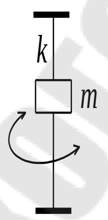


период колебаний $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$;

циклическая частота $\omega=\frac{2\pi}{T}=\sqrt{\frac{k}{m}}$,

где k – коэффициент упругости (жесткость пружины).

Крутильный маятник (тело, подвешенное на упругой нити): период крутильных колебаний $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{J}{k}}$;



циклическая частота $\omega = \dfrac{2\pi}{T} = \sqrt{\dfrac{k}{J}}$,

где J – момент инерции тела относительно оси, совпадающей с упругой нитью; k – жесткость упругой нити, равная отношению упругого момента, возникающего при закручивании нити, к углу, на который нить закручивается.

Приведенные формулы являются точными для случая бесконечно малых амплитуд. При конечных амплитудах эти формулы дают лишь приближенные результаты. При амплитудах порядка 3° погрешность в значении периода не превышает 1 %.

При наличии сил трения свободные колебания будут затухающими и их амплитуда уменьшается в результате потерь энергии.

Дифференциальное уравнение свободных затухающих колебаний:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\delta\frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0 \quad \text{или} \quad m\frac{d^2x}{dt^2} = -kx - r\frac{dx}{dt},$$

где $\delta = \dfrac{r}{2m}$ – коэффициент затухания; если амплитуда уменьшилась в e раз ($e \approx 2{,}718$), то $\delta = \dfrac{1}{\tau}$, где τ – время релаксации; $\omega_0 = \sqrt{\dfrac{k}{m}}$ – собственная частота той же колебательной системы; r – коэффициент сопротивления.

Уравнение затухающих колебаний, т.е. смещение колеблющейся точки от положения равновесия (решение дифференциального уравнения):

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

где $A(t) = A_0 e^{-\delta t}$ – амплитуда затухающих колебаний в момент t; A_0 – амплитуда затухающих колебаний в начальный момент времени ($t_0 = 0$); $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$ – круговая частота затухающих колебаний.

Логарифмический декремент затухания:

$$\Theta = \ln\frac{A(t)}{A(t+T)} = \delta T = \frac{T}{\tau} = \frac{1}{N_e},$$

где δ – коэффициент затухания; T – период затухающих колебаний; τ – время релаксации; N_e – число колебаний, совершаемых за время уменьшения амплитуды в e раз; $A(t)$ и $A(t+T)$ – амплитуды двух последовательных колебаний, соответствующих моментам времени, отличающимся на период.

Добротность колебательной системы:

$$Q = \frac{\pi}{\Theta} = \frac{\omega_0}{2\delta},$$

где Θ – логарифмический декремент затухания, ω_0 – циклическая частота свободных незатухающих колебаний той же колебательной системы, δ – коэффициент затухания.

Если система совершает колебания под периодически изменяющимся внешним воздействием, то такие колебания называют вынужденными.

Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний для установившихся колебаний:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\delta\frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m}\cos\omega t \quad \text{или} \quad m\frac{d^2x}{dt^2} = -kx - r\frac{dx}{dt} + F_0\cos\omega t,$$

где $F_0\cos\omega t$ – внешняя периодическая сила, действующая на колеблющуюся материальную точку и вызывающая вынужденные колебания; F_0 – амплитуда вынуждающей силы.

Решение дифференциального уравнения вынужденных колебаний для установившихся колебаний:

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

где A – амплитуда вынужденных колебаний, которая зависит от соотношения вынужденной ω и собственной частоты ω_0,

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

где φ определяет отставание по фазе вынужденного колебания от вынуждающей силы: $tg\varphi = \dfrac{2\delta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}$.

Резонансная частота и резонансная амплитуда:

$$\omega_{рез} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\delta^2}, \; A_{рез} = \frac{F_0/m}{2\delta\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}},$$

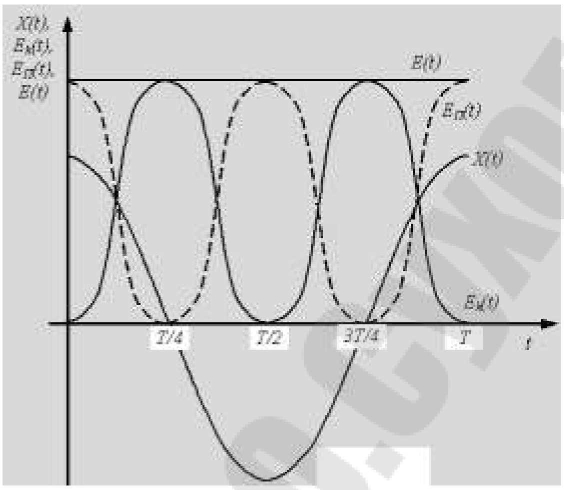
где F_0 – амплитудное значение внешней периодической силы.

Кинетическая энергия колеблющейся материальной точки массой m:

$$E_k = \frac{m\upsilon^2}{2} = \frac{mA^2\omega^2}{2}\sin^2\left(\omega_0 t + \varphi_0\right).$$

Потенциальная энергия колеблющейся материальной точки массой m:

$$E_П = \frac{kx^2}{2} = \frac{mA^2\omega_0^2}{2}\cos^2\left(\omega_0 t + \varphi_0\right).$$



Полная энергия колеблющейся материальной точки массой m:

$$E_П = \frac{mA^2\omega_0^2}{2} = \frac{1}{2}kA^2.$$

При сложение двух гармонических колебаний одного направления и одинаковой частоты амплитуда A результирующего колебания:

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

Начальная фаза результирующего колебания:

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

где A_1 и A_2 – амплитуды двух складываемых колебаний; φ_1 и φ_2 – начальные фазы колебаний.

Частота биений, возникающих при сложении двух колебаний, происходящих по одной прямой с различными, но близкими по значению частотами ν_1 и ν_2, $\nu = \nu_1 - \nu_2$.

Уравнение траектории точки, участвующей в двух взаимно перпендикулярных 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 составляющих колебаний одинаковы, уравнение траектории примет вид: $\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} = 1$, т.е. точка движется по эллипсу.

Связь длины волны λ с периодом T и частотой ν колебаний:

$$\lambda = \upsilon T; \qquad \upsilon = \lambda\nu,$$

где υ – скорость распространения колебаний в среде (фазовая скорость).

Уравнение плоской волны, распространяющейся вдоль положительного направления оси x:

$$\xi(x,t) = A\cos(\omega t - kx + \varphi_0),$$

где $\xi(x,t)$– смещение точек среды с координатой x в момент времени t; A– амплитуда волны; ω– циклическая (круговая) частота; $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{\upsilon T} = \frac{\omega}{\upsilon}$ – волновое число (λ– длина волны; υ– фазовая скорость волны; T – период колебаний); φ_0 – начальная фаза колебаний.

Величина $\varphi = \omega\left(t - \frac{x}{\upsilon}\right) + \varphi_0$ или $\varphi = 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) + \varphi_0$ называется фазой волны.

Дифференциальное уравнение волнового процесса:

$$\frac{\partial^2 \xi(x,t)}{\partial t^2} = \upsilon^2 \frac{\partial^2 \xi(x,t)}{dx^2},$$

где $\xi(x,t)$– смещение точек среды с координатой x в момент времени t, υ – фазовая скорость волны.

Уравнение плоской затухающей волны:

$$\xi(x,t) = A_0 e^{-\beta x}\cos(\omega t - kx + \varphi_0),$$

где A_0– амплитуда волны в точке $x = 0$, β – коэффициент затухания, зависящий от свойств среды, ω– циклическая (круговая) частота; $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{\upsilon T} = \frac{\omega}{\upsilon}$ – волновое число (λ– длина волны; υ – фазовая скорость волны; T – период колебаний); φ_0 – начальная фаза колебаний.

Уравнение сферической волны без учета затухания имеет вид:

$$\xi(x,t) = \frac{A}{r}\cos\left(\omega\left(t - \frac{r}{\upsilon}\right) + \varphi_0\right),$$

где $\xi(x,t)$– смещение точек среды с координатой x в момент времени t; A – амплитуда волны; r – расстояние от источника колебаний; ω – циклическая (круговая) частота; υ – фазовая скорость волны; φ_0 – начальная фаза колебаний.

Волновое уравнение для волн, распространяющихся в упругой изотропной среде, имеет вид: $\frac{\partial^2\xi}{\partial \tilde{o}^2} + \frac{\partial^2\xi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\xi}{\partial z^2} = \frac{1}{\upsilon^2}\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2}$,

решением которого является выражение: $\xi = a\cos\left[\omega t - \vec{k}\cdot\vec{r} + \varphi_0\right]$,

где $\vec{r}$ – радиус-вектор, который характеризует точку пространства, которой достигла волна к промежутку времени t, при этом выполняются следующие равенства: $k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 = \frac{\omega^2}{\upsilon^2}$, $\quad \vec{k}\cdot\vec{r} = k_x x + k_y y + k_z z$.

Связь между разностью фаз $\Delta\varphi$ и разностью хода Δ: $\Delta\varphi = \dfrac{2\pi}{\lambda}\Delta$.

Условия максимума и минимума амплитуды колебания при интерференции волн:

$$\Delta_{\max} = \pm 2m\frac{\lambda}{2}, \qquad \Delta_{\min} = \pm(2m+1)\frac{\lambda}{2},$$

где $m = 0, 1, 2, \ldots$ – порядок максимума (минимума).

Фазовая υ и групповая u скорости, а также связь между ними:

$$\upsilon = \frac{\omega}{k}; \qquad u = \frac{d\omega}{dk}; \qquad u = \upsilon - \lambda\frac{d\upsilon}{d\lambda}.$$

Уравнение стоячей волны:

$$\xi(x,t) = 2A\cos\frac{2\pi}{\lambda}x\cos\omega t = 2A\cos kx\cdot\cos\omega t,$$

где $\xi(x,t)$ – смещение точек среды с координатой x в момент времени t; A – амплитуда волны; ω – циклическая (круговая) частота; $k = \dfrac{2\pi}{\lambda} = \dfrac{2\pi}{\upsilon T} = \dfrac{\omega}{\upsilon}$ – волновое число (λ – длина волны; υ – фазовая скорость; T – период колебаний).

Координаты пучностей и узлов стоячей волны:

$$x_П = \pm m\frac{\lambda}{2}; \qquad x_у = \pm\left(m + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{2},$$

где $m = 0, 1, 2, \ldots$.

Уровень интенсивности звука в децибелах:

$$L = 10\lg\frac{I}{I_0},$$

где I – интенсивность звука; I_0 – интенсивность звука на пороге слышимости ($I_0 = 10^{-12}$ Вт/м^2).

Эффект Доплера в акустике:

$$\nu = \frac{(\upsilon \pm \upsilon_{пр})\nu_0}{\upsilon \mp \upsilon_{ист}},$$

где ν – частота звука, воспринимаемая движущимся приемником; ν_0 – частота звука, посылаемая источником; $\upsilon_{пр}$ – скорость движения приемника; $\upsilon_{ист}$ – скорость движения источника; υ – скорость распространения звука. Верхний знак берется, если при движении источника или приемника происходит их сближение, нижний знак – в случае их взаимного удаления.

Скорость распространения поперечной упругой волны (например, в тонкой струне):

$$\upsilon_\perp = \sqrt{\frac{F}{\rho S}} = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}},$$

где $\sigma = \dfrac{F}{S}$ – механическое напряжение в струне (модуль сдвига), ρ – плотность вещества струны.

Скорость распространения продольных волн в стержне

$$\upsilon_{II} = \sqrt{\frac{E}{\rho}},$$

где E – модуль Юнга.

В изотропном твердом теле по любому направлению могут распространяться продольная упругая волна со скоростью $\upsilon_{II} = \sqrt{\dfrac{E}{\rho}}$ и две поперечные волны со скоростью $\upsilon_{\perp} = \sqrt{\dfrac{\sigma}{\rho}}$. Скорость поперечных волн меньше скорости продольных волн ($\upsilon_{\perp} < \upsilon_{II}$).

В жидкостях возможно распространение лишь продольных волн. Скорость их распространения определяется формулой:

$$\upsilon_{II} = \sqrt{\frac{k}{\rho}},$$

где k – модуль всестороннего сжатия, ρ – плотность жидкости (например, в воде $\upsilon_{II} \approx 1450$ м/с).

Скорость распространения продольных волн в газообразной среде (звук) определяется выражением:

$$\upsilon_{II} = \sqrt{\gamma\frac{p}{\rho}} = \sqrt{\gamma\frac{RT}{M}} = \langle\upsilon\rangle\sqrt{\frac{\pi\gamma}{8}},$$

где $\gamma = \dfrac{C_p}{C_V}$ отношение теплоемкости газа при постоянном давлении к теплоемкости газа при постоянном объеме (показатель адиабаты); p и ρ – давление и плотность невозмущенного газа; M – молярная масса газа, T – абсолютная температура, R – универсальная газовая постоянная; где $\langle\upsilon\rangle = \sqrt{\dfrac{8RT}{\pi\mu}}$ – средняя скорость теплового движения молекул газа.

В воздухе при нормальных условиях скорость звука $\upsilon_{II} \approx 340$ м/с.

Отдельную группу представляют волны на поверхности жидкости. Распространение таких волн обусловлено действием сил тяжести и сил поверхностного натяжения. Роль этих сил различна для волн разной длины: для достаточно коротких волн, когда кривизна поверхности жидкости велика, преобладающими являются силы поверхностного натяжения, а в случае длинных волн этими силами можно пренебречь. В первом случае волны на воде называются капиллярными – υ_σ. Во втором случае волны называются гравитационными – υ_g.

Скорость капиллярных поверхностных волн:

$$\upsilon_\sigma = \sqrt{\frac{2\pi\sigma}{\rho\lambda}},$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения, ρ – плотность жидкости, λ – длина волны.

Скорость гравитационных поверхностных волн:

- для «глубокой» воды, когда $\lambda << h$ (h глубина жидкости) $\upsilon_g = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\sqrt{g\lambda}$,

- для «мелкой» воды, когда $h << \lambda$ $\upsilon_g = \sqrt{gh}$.

При распространении волн происходит перенос энергии без переноса вещества. Энергия волны в упругой среде состоит из кинетической энергии колебательного движения частиц вещества $K_{\Delta x}$ и потенциальной энергии упругой деформации среды $\Pi_{\Delta x}$.

Кинетическая энергия элемента стержня длиной Δx в точке x в момент времени t:

$$K_{\Delta x} = \frac{1}{2}\rho S\Delta x\omega^2 A^2 \sin^2\left(\omega\left(t-\frac{x}{\upsilon}\right)\right) = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \sin^2\left(\omega\left(t-\frac{x}{\upsilon}\right)\right),$$

где S – площадь сечения стержня, ρ – плотность материала стержня ω – циклическая (круговая) частота; A – амплитуда колебания, υ – фазовая скорость $m = \rho S\Delta x$ – масса выделенного элемента стержня.

Плотность кинетической энергии в точке x в момент времени t:

$$w_K = \frac{K_{\Delta x}}{S\Delta x} = \frac{1}{2}\rho\omega^2 A^2 \sin^2\left(\omega\left(t-\frac{x}{\upsilon}\right)\right).$$

Потенциальная энергия деформации $\Pi_{\Delta x}$ в момент времени t:

$$\Pi_{\Delta x} = \frac{1}{2}S\Delta xE\left(\frac{\Delta l}{\Delta x}\right)^2 = \frac{1}{2}S\Delta xE\left(\frac{\omega}{\upsilon}A\right)^2 \sin^2\left(\omega\left(t-\frac{x}{\upsilon}\right)\right),$$

где Δl – удлинение рассматриваемого элемента стержня Δx, вызванное проходящей волной; S – площадь сечения стержня; E – модуль Юнга; ω – циклическая (круговая) частота; A – амплитуда колебания, υ – фазовая скорость.

Плотность потенциальной энергии в точке x в момент времени t:

$$w_\Pi = \frac{\Pi_{\Delta x}}{S\Delta x} = \frac{1}{2}E\frac{\omega^2}{\upsilon^2}A^2 \sin^2\left[\omega\left(t-\frac{x}{\upsilon}\right)\right] = \frac{1}{2}\rho\omega^2 A^2 \sin^2\left(\omega\left(t-\frac{x}{\upsilon}\right)\right).$$

Суммарная плотность энергии в точке x в момент времени t:

$$w = w_П + w_К = \rho\omega^2 A^2 \sin^2\left(\omega\left(t - \frac{x}{\upsilon}\right)\right),$$

где ρ – плотность материала, ω – циклическая (круговая) частота; A – амплитуда колебания, υ – фазовая скорость.

Среднее значение вдоль направления распространения волны:

$$\langle w \rangle = \frac{1}{2}\rho\omega^2 A^2.$$

Плотность потока энергии волны (вектора Умова):

$$j = \frac{d\Phi}{dS} = w\upsilon,$$

где $d\vec{\Phi}$ – поток энергии переносимой волной за единицу времени через площадку dS, перпендикулярную направлению распространения волны.

Среднее значение модуля вектора Умова $\langle j \rangle = \langle w \rangle \upsilon = \frac{1}{2}\rho A^2 w^2 \upsilon$.

При произвольной ориентации площадки dS (единичного вектора $\vec{n}$, нормального к плоскости площадки) относительно вектора Умова $\vec{j}$, поток через неё будет равен $d\Phi = \vec{j}d\vec{S} = j dS \cos\alpha$.

Полный поток через поверхность S определяется интегралом:

$$\Phi = \int_S \vec{j} \cdot d\vec{S} = \int_S j_n dS.$$

1.1.7. Молекулярно-кинетическая теория идеального газа. Законы идеального газа. Основные понятия и формулы

Количество вещества тела (системы):

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

где N – число структурных элементов (молекул, атомов, ионов и т.п.); $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$ – постоянная Авогадро (число молекул в одном моле).

Молярная масса вещества:

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

где m – масса однородного тела (системы); ν – количество вещества этого тела.

Молярная масса смеси газов:

$$M_{см} = \frac{\sum_{i=0}^{n} m_i}{\sum_{i=0}^{n} \nu_i},$$

где m_i – масса i -того компонента смеси; ν_i – количество вещества i-того компонента смеси; n – число компонентов смеси.

Концентрация частиц (молекул, атомов, ионов и т.п.) однородной системы:

$$n = \frac{N}{V},$$

где N – число частиц в системе; V – объем системы.

Нормальные условия – стандартные физические условия, определяемые давлением $P = 101325 \approx 10^5$ Па (760 мм. рт. ст.) и абсолютной температурой $T = 273{,}15$ К ($t = 0^0$ С).

Уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева-Клапейрона):

$$PV = \frac{m}{M} RT,$$

где R = 8,31 Дж/моль·К – молярная газовая постоянная; T – термодинамическая температура газа; P– давление газа; V – объем газа.

Зависимость давления газа P от концентрации молекул n и температуры T газа (уравнение состояния газа):

$$P = nkT,$$

где k = 1,38·10^{-23} Дж/К – постоянная Больцмана (определяет «долю» газовой постоянной, приходящейся на одну молекулу, $k = \frac{R}{N_A}$).

Опытные газовые законы. Объединенный газовый закон:

для неизменной массы газа : $\frac{PV}{T} = \text{const}$,

или для двух состояний газа: $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$,

где P_1, V_1, T_1 – соответственно давление, объем и температура газа в начальном состоянии; P_2, V_2, T_2 – те же величины в конечном состоянии.

Закон Бойля – Мариотта (изотермический процесс, $m = \text{const}$, $T = \text{const}$) $PV = \text{const}$, или для двух состояний газа: $P_1V_1 = P_2V_2$.

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

Закон Шарля (изохорный процесс, $m = \text{const}$, $V = \text{const}$): $\frac{P}{T} = \text{const}$, или для двух состояний газа: $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$.

Закон Дальтона, определяющий давление смеси газов:

$$P = P_1 + P_2 + ... + P_n,$$

где P – давление смеси газов; P_i – парциальное давление i - того компонента смеси; n – число компонентов смеси.

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов:

$$P = \frac{1}{3} n m_0 < \upsilon_{кв} >^2 \quad \text{или} \quad P = \frac{2}{3} n < E_к >,$$

где m_0 – масса одной молекулы; $< \upsilon_{кв} >$ – средняя квадратичная скорость молекул, $< E_к >$ – средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул.

Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы газа:

$$< E_{пост} > = \frac{3}{2} kT,$$

где k = 1,38·10^{-23} Дж/К – постоянная Больцмана (определяет «долю» газовой постоянной, приходящейся на одну молекулу, $k = \frac{R}{N_A}$).

Средняя полная кинетическая энергия (приходящаяся на все степегни свободы молекулы):

$$< E_i > = \frac{i}{2} kT,$$

где i – сумма числа поступательных $i_{пост}$, числа вращательных $i_{вр}$ и удвоенного числа колебательных $i_к$ степеней свободы молекулы: $i = i_{пост} + i_{вр} + i_к$; для одноатомной молекулы $i = 3$ (поступательное движение описывается тремя координатами); для двухатомной $i = 5$ ($i_{пост.} = 3$ для поступательного движения, $i_{вр.} = 2$ для вращательного движения); для трехатомной и более $i = 6$ ($i_{пост.} = 3$ для поступательного движения, $i_{вр.} = 3$ для вращательного движения).

Внутренняя энергия идеального газа:

а) для произвольной массы газа - $U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT = \frac{i}{2} \nu RT$;

б) для одного моля газа - $U = \frac{i}{2} kTN_A = \frac{i}{2} RT$,

где i – число степеней свободы газа, k – постоянная Больцмана, T – термодинамическая температура, N_A – постоянная Авогадро, R – молярная газовая постоянная, m – масса газа, M – молярная масса, ν – количество вещества.

1.1.8. Элементы статистической физики. Основные понятия и формулы

Скорости молекул:

наиболее вероятная $\upsilon_в = \sqrt{\dfrac{2RT}{M}} = \sqrt{\dfrac{2kT}{m_0}}$;

средняя квадратичная $\langle \upsilon_{кв} \rangle = \sqrt{\dfrac{3RT}{M}} = \sqrt{\dfrac{3kT}{m_0}}$;

средняя арифметическая $\langle \upsilon \rangle = \sqrt{\dfrac{8RT}{\pi M}} = \sqrt{\dfrac{8kT}{\pi m_0}}$,

где m_0 – масса одной молекулы.

Распределение молекул по скоростям (распределение Максвелла): $dN = Nf(\upsilon)d\upsilon$,

где $f(\upsilon)$ – функция распределения молекул газа по скоростям (доля молекул, модули скоростей которых находятся в единичном интервале скоростей).

Аналитическое выражение функции распределения:

$$f(\upsilon) = \frac{dN(\upsilon)}{Nd\upsilon} = 4\pi\left(\frac{m_0}{2\pi kT}\right)^{3/2} \upsilon^2 e^{-\frac{m_0\upsilon^2}{2kT}},$$

где m_0 – масса одной молекулы газа; k = 1,38·10^{-23} Дж/К – постоянная Больцмана; T – термодинамическая температура.

Закон распределения молекул по скоростям (Максвелла) в дифференциальной форме:

$$dN(u) = Nf(u)du = \frac{4}{\sqrt{\pi}} Ne^{-u^2} u^2 du,$$

где $u = \dfrac{\upsilon}{\upsilon_в}$ – относительная скорость; υ – данная скорость; $\upsilon_в$ – наиболее вероятная скорость молекул; $f(u)$ – функция распределения; N – общее число молекул.

Для малых интервалов относительных скоростей $\Delta u << u$ или, поскольку $u = \dfrac{\upsilon}{\upsilon_в}$ и $\Delta u = \dfrac{\Delta\upsilon}{\upsilon_в}$, $\Delta\upsilon << \upsilon$, закон распределения молекул по скоростям справедлив в виде:

$$f(u) = \frac{\Delta N}{N\Delta u} = \frac{4}{\pi} Ne^{-u^2} u^2,$$

и при решении задач на закон распределения молекул по скоростям удобно пользоваться таблицей 1.2, в которой даны значения функции распределения $f(u)=\dfrac{\Delta N}{N\Delta u}=\dfrac{4}{\pi}Ne^{-u^2}u^2$ для различных u.

Таблица 1.2 – Значения функции распределения для различных значений

u	$f(u)$	u	$f(u)$	u	$f(u)$
0,1	0,022	0,8	0,761	1,5	0,535
0,2	0,087	0,9	0,813	1,6	0,447
0,3	0,185	1,0	0,830	1,7	0,362
0,4	0,308	1,1	0,814	1,8	0,286
0,5	0,439	1,2	0,770	2,0	0,165
0,6	0,567	1,3	0,703	2,2	0,186
0,7	0,677	1,4	0,623	2,4	0,041

Распределение частиц в потенциальном силовом поле (распределение Больцмана):

$$n=n_0e^{-Mgh/(RT)}=n_0e^{-m_0gh/(kT)} \quad \text{или} \quad n=n_0e^{-\varPi/(kT)},$$

где n и n_0 – концентрации молекул соответственно на высоте h и h_0 =0; $\varPi=m_0gh$ – потенциальная энергия молекулы в поле тяготения.

Распределение давления в однородном поле силы тяжести (барометрическая формула):

$$P=P_0e^{-Mgh/(RT)}=P_0e^{-m_0gh/(kT)},$$

где h – координата (высота) точки по отношению к уровню, принятому за нулевой; P – давление газа на высоте h; P_0 – давление газа на высоте h = 0; m_0 – масса частицы; M – молярная масса; g – ускорение свободного падения; R – молярная газовая постоянная; k – постоянная Больцмана.

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

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

где d – эффективный диаметр молекулы; n – концентрация молекул; $\langle\upsilon\rangle$ – средняя арифметическая скорость молекул.

Средняя длина свободного пробега молекул газа:

$$\langle l\rangle=\frac{\langle\upsilon\rangle}{\langle z\rangle}=\frac{1}{\sqrt{2}\cdot\pi d^2n}=\frac{kT}{\sqrt{2}\cdot\pi d^2P},$$

где $k=1{,}38\cdot10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана.

Среднее число ударов молекул о единицу поверхности в единицу времени $\nu = \frac{1}{4} n \langle \upsilon \rangle$.

Закон Ньютона для внутреннего трения (вязкости):

$$F = -\eta \frac{d\upsilon}{dx} S,$$

где F – сила внутреннего трения между движущимися слоями площадью S; $\frac{d\upsilon}{dx}$ – градиент скорости; η – динамическая вязкость,

$$\eta = \frac{1}{3} \rho \langle \upsilon \rangle \langle l \rangle,$$

где ρ – плотность газа.

Закон теплопроводности Фурье:

$$Q = -\lambda \frac{dT}{dx} St,$$

где Q – теплота, прошедшая посредством теплопроводности через площадь S за время t; $\frac{dT}{dx}$ – градиент температуры; λ – коэффициент теплопроводности,

$$\lambda = \frac{1}{3} c_V \rho \langle \upsilon \rangle \langle l \rangle,$$

где c_V – удельная теплоемкость газа при постоянном объёме; ρ – плотность газа; $\langle \upsilon \rangle$ – средняя арифметическая скорость теплового движения его молекул; $\langle l \rangle$ – средняя длина свободного пробега молекул.

Закон диффузии Фика:

$$M = -D \frac{d\rho}{dx} St,$$

где M – масса вещества, переносимая посредством диффузии через площадь S за время t; $\frac{d\rho}{dx}$ – градиент плотности, D – коэффициент диффузии, $D = \frac{1}{3} \langle \upsilon \rangle \langle l \rangle$.

Связь между коэффициентами теплопроводности λ, диффузии D и внутреннего трения η:

$$\eta = \rho D, \quad \frac{\lambda}{\eta c_V} = 1,$$

где c_V – удельная теплоемкость газа при постоянном объеме; ρ – плотность газа.

1.1.9. Основы термодинамики. Основные понятия и формулы

Теплоемкость – отношение элементарного количества теплоты dQ, сообщенного телу (системе) при бесконечно малом изменении его состояния в каком-либо процессе, к соответствующему изменению dT абсолютной температуры этого тела:

$$C_T = \frac{dQ}{dT}.$$

Удельные теплоемкости газа при постоянном объеме (c_V) и при постоянном давлении (c_p):

$$c_V = \frac{i}{2}\frac{R}{M}; \quad c_p = \frac{i+2}{2}\frac{R}{M},$$

где i – число степеней свободы; R – молярная газовая постоянная.

Связь между молярной и удельной теплоемкостью: $C_M = cM$.

Молярные теплоемкости при постоянном объеме (C_V) и постоянном давлении (C_P): $C_V = \frac{i}{2}R$; $C_p = \frac{i+2}{2}R$.

Связь между молярными теплоемкостями при постоянном объеме и постоянном давлении (при изобарном и изохорном процессах) выражается уравнением Майера: $C_p - C_V = R$.

Удельная теплоемкость смеси газов определяется отношением теплоемкости $C_{см}$ к массе этой смеси $m_{см}$: $c_{см} = \frac{C_{см}}{m_{см}}$.

Внутренняя энергия идеального газа

$$U = \frac{i}{2}\frac{m}{M}RT = \frac{m}{M}C_V T,$$

где i – число степеней свободы молекулы; для одноатомной молекулы $i = 3$ (поступательное движение описывается тремя координатами); для двухатомной $i = 5$ ($i_{пост.} = 3$ для поступательного движения, $i_{вр.} = 2$ для вращательного движения); для трёхатомной и более $i = 6$ ($i_{пост.} = 3$ для поступательного движения, $i_{вр.} = 3$ для вращательного движения).

Первое начало термодинамики:

$$Q = \Delta U + A,$$

где Q – количество теплоты, сообщенное системе или отданное ею; ΔU – изменение ее внутренней энергии; A – работа системы против внешних сил.

Первое начало термодинамики в дифференциальной форме: $\delta Q = dU + \delta A$.

Элементарная работа, совершаемая газом при изменении его объема - $dA = PdV$.

Полная работа при изменении объема газа:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} PdV,$$

где V_1 и V_2 – соответственно начальный и конечный объемы газа.

Работа газа:

при изобарном процессе $A = P(V_2 - V_1) = \frac{m}{M} R(T_2 - T_1)$;

при изотермическом процессе $A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{M} RT \ln \frac{P_1}{P_2}$;

при изохорном процессе $A = 0$.

В условиях теплоизоляции системы реализуется адиабатный процесс, которым можно считать также процесс, протекающий столь быстро, что за время его осуществления не успевает произойти существенный теплообмен с внешней средой. Из первого начала термодинамики следует, что в адиабатном процессе работа совершается за счет изменения внутренней энергии: $\delta A = -dU$. Т.е. если газ расширяется, то его температура понижается, а при резком сжатии – возрастает.

Уравнение Пуассона, связывающее параметры идеального газа при адиабатическом процессе:

$$PV^{\gamma} = \text{const}; \quad TV^{\gamma-1} = \text{const}; \quad T^{\gamma} P^{1-\gamma} = \text{const},$$

где $\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i}$ – показатель адиабаты.

Связь между начальными и конечными параметрами состояний газа при адиабатическом процессе:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma}; \qquad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}; \qquad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}.$$

Работа в случае адиабатного процесса:

$$A = \frac{m}{M} C_V (T_1 - T_2) \quad \text{или} \quad A = \frac{RT_1}{\gamma - 1} \frac{m}{M} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}\right] = \frac{P_1 V_1}{\gamma - 1}\left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}\right],$$

где T_1, T_2 и V_1, V_2 – соответственно начальные и конечные температура и объем газа.

Изохорный процесс: $V = \text{const}$; $dA = 0$. Количество теплоты, переданное газу, идет на увеличение внутренней энергии газа: $dQ = dU$.

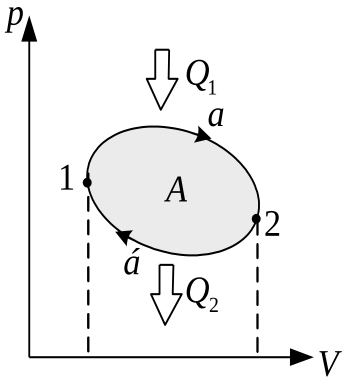
Изобарный процесс: $P=\text{const}$; $dA=PdV$. Количество теплоты, переданное газу, идет на увеличение его внутренней энергии и на совершение им работы: $dQ=dU+dA$.

Изотермический процесс: $T=\text{const}$; $dU=0$. Количество теплоты, переданное газу, идет на совершение им работы при изотермическом расширении: $dQ=dA$.

Адиабатный процесс идет без теплообмена с окружающей средой, поэтому $dQ=0$. Газ при расширении совершает работу за счет уменьшения его внутренней энергии: $dU=-dA$, при этом газ охлаждается.

Политропическими называются процессы, при которых теплоемкость тела остается постоянной. Для идеального газа уравнение политропы имеет вид: $PV^n=\text{const}$, где n – показатель политропы $n=\dfrac{C-C_p}{C-C_V}$.

При $C=0$, $n=\gamma$ получается уравнение адиабаты; при $C=\infty$, $n=1$ – уравнение изотермы; при $C=C_p$, $n=0$ – уравнение изобары; при $C=C_V$, $n=\pm\infty$ – уравнение изохоры.

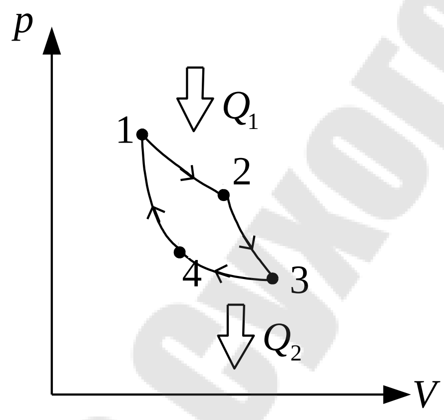


Круговым процессом называется термодинамический процесс, в итоге которого система возвращается в исходное состояние. Круговые процессы изображаются в диаграммах $P-V$, $P-T$ и др. в виде замкнутых контуров, образуемых графиками.

Круговые процессы лежат в основе действия всех тепловых машин – устройств, которые превращают внутреннюю энергию в механическую энергию.

Основные части тепловой машины: нагреватель, рабочее тело и холодильник. Рабочее тело (обычно газ) получает количество теплоты Q_1 от нагревателя, совершает работу A за цикл, отдает холодильнику количество теплоты Q_2. На PV - диаграмме работа равна площади фигуры 1*a*2*á*1, ограниченная графиками процессов 1*a*2 и 2*á*1. Изменение внутренней энергии в круговом процессе равно нулю. Работа, совершаемая за цикл равна À$=Q_1-Q_2$.

Среди всех круговых процессов большое значение имеет процесс, составленный из четырех процессов: двух изотерм и двух адиабат – цикл Карно.



Эффективность тепловой машины определяется термическим коэффициентом полезного действия (*КПД*) для кругового процесса (цикла): $\eta = \dfrac{A}{Q_1} = \dfrac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \le \dfrac{T_1 - T_2}{T_1}$,

где знак равенства относится к циклу Карно, A – работа, совершенная рабочим веществом в течение цикла (полезная работа); Q_1 – количество теплоты, полученное от нагревателя рабочим веществом; Q_2 – количество теплоты, отданное при этом холодильнику; T_1 и T_2 – температуры нагревателя и холодильника.

Приведенная теплота $\left(\dfrac{Q}{T}\right)$ для любых изотермических переходов между двумя адиабатами есть величина постоянная: $\dfrac{Q_1}{T_1} = \dfrac{Q_2}{T_2}$; $\dfrac{Q}{T} = \text{const}$.

Функция, характеризующая направление протекания самопроизвольных процессов в замкнутой термодинамической системе, называется энтропией: $\dfrac{\delta Q}{T} = dS$.

Изменение энтропии тела в любом обратимом процессе, переводящем его из состояния 1 в состояние 2,

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T},$$

где dQ – элементарное количество теплоты, полученное телом при температуре T.

Второе начало термодинамики: энтропия замкнутой системы при любых происходящих в ней процессах не уменьшается – она возрастает при необратимых процессах и остается постоянной в случае обратимых процессов, т.е. $\Delta S \ge 0$.

Если система совершает равновесный переход из состояния 1 в состояние 2, то изменение энтропии:

$$\Delta S_{12} = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} = \int_1^2 \frac{dU + dA}{T},$$

где подынтегральное выражение и пределы интегрирования надо выразить через величины, характеризующие исследуемый процесс.

Изменение энтропии в процессах идеального газа:

$$\Delta S_{12} = S_2 - S_1 = \frac{m}{M}\left(C_V \ln\frac{T_2}{T_1} + R\ln\frac{V_2}{V_1} \right);$$

для адиабатического процесса $\Delta S = 0$, т.е. процесс протекает при постоянной энтропии, $S = \text{const}$;

для изотермического ($T = \text{const}$, т.е. $T_1 = T_2$) процесса $\Delta S_{12} = \frac{m}{M} R\ln\frac{V_2}{V_1}$;

для изохорического ($V = \text{const}$, т.е. $V_1 = V_2$) процесса $\Delta S_{12} = \frac{m}{M} C_V \ln\frac{T_2}{T_1}$.

1.1.10. Реальные газы и насыщенные пары. Основные понятия и формулы

Реальные газы. Уравнение состояния реального газа (уравнение Ван-дер-Ваальса) для одного моля газа:

$$\left(P + \frac{a}{V_m^2} \right)(V_m - b) = RT,$$

где V_m – молярный объём; a и b – постоянные Ван-дер-Ваальса, различные для разных газов.

Уравнение Ван-дер-Ваальса для произвольной массы газа:

$$\left(P + \frac{\nu^2 a}{V^2} \right)(V - \nu b) = \nu RT,$$

где $\nu = \frac{m}{M}$ – количество вещества; $V = \nu V_m$.

Внутреннее давление газа, обусловленное силами взаимодействия молекул:

$$P' = \frac{a}{V_m^2},$$

где a – постоянная Ван-дер-Ваальса, характеризующая силы межмолекулярного притяжения.

Критические параметры – объем V_k, давление P_k и температура T_k связаны с постоянными a и b Ван-дер-Ваальса соотношениями:

$$V_к = 3b; \quad P_к = \frac{a}{27b^2}; \quad T_к = \frac{8a}{27Rb},$$

где R – молярная газовая постоянная.

Внутренняя энергия реального газа:

одного моля - $U_m = C_V T - \frac{a}{V_m}$;

произвольной массы - $U_m = \frac{m}{M}\left(C_V T - \frac{a}{V_m}\right)$,

где C_V – молярная теплоемкость газа при постоянном объеме.

Насыщенные пары. Абсолютной влажностью p называется парциальное давление водяного пара, находящегося в воздухе. Относительной влажностью ω называется отношение абсолютной влажности p к парциальному давлению $p_{\text{н}}$ водяного пара, насыщающего пространство при данной температуре.

Удельной теплотой парообразования r называется количество теплоты, необходимое для превращения единицы массы жидкости в пар при постоянной температуре.

Молярная теплота парообразования:

$$r_o = \mu r,$$

где μ — молярная масса.

Зависимость давления насыщенного пара $p_{\text{н}}$ от температуры дается уравнением Клаузиуса — Клапейрона:

$$\frac{dp_{\text{н}}}{dT} = \frac{r_o}{T(V_{\text{оп}} - V_{\text{ож}})},$$

где $V_{\text{оп}}$ и $V_{\text{ож}}$ — молярные объемы пара и жидкости.

1.1.11. Жидкости и твердые тела. Основные понятия и формулы

Жидкости. Поверхностное натяжение:

$$\sigma = \frac{F}{l} \quad \text{либо} \quad \sigma = \frac{\Delta E}{\Delta S},$$

где F – сила поверхностного натяжения, действующая на контур l, ограничивающий поверхность жидкости; ΔE – изменение свободной энергии поверхностной плёнки жидкости, связанной с изменением площади ΔS поверхности этой плёнки.

Формула Лапласа, позволяющая определить избыточное давление для произвольной поверхности жидкости двоякой кривизны:

$$\Delta P = \sigma\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right),$$

где R_1 и R_2 – радиусы кривизны двух взаимно перпендикулярных нормальных сечений поверхности жидкости; радиус кривизны положителен, если центр кривизны находится внутри жидкости (выпуклый мениск), и отрицателен, если центр кривизны находится вне жидкости (вогнутый мениск). В случае сферической поверхности избыточное давление $\Delta P = \frac{2\sigma}{R}$.

Высота подъёма жидкости в капиллярной трубке:

$$h = \frac{2\sigma\cos\theta}{\rho g r},$$

где θ – краевой угол; r – радиус капилляра; ρ – плотность жидкости; g – ускорение свободного падения.

Высота подъёма жидкости между двумя близкими и параллельными плоскостями:

$$h = \frac{2\sigma\cos\theta}{\rho g d},$$

где d – расстояние между плоскостями.

Уравнение Клапейрона – Клаузиуса, позволяющее определить изменение температуры фазового перехода в зависимости от изменения давления при равновесно протекающем процессе:

$$\frac{dP}{dT} = \frac{L}{T(V_2 - V_1)},$$

где L – теплота фазового перехода; $(V_1 - V_2)$ – изменение объёма вещества при переходе его из первой фазы во вторую; T – температура перехода (процесс изотермический).

Твёрдые тела. Закон Дюлонга и Пти:

$$C_V = 3R,$$

где C_V – молярная (атомная) теплоёмкость химически простого твёрдого тела.

При повышении температуры длина твёрдых тел возрастает в первом приближении линейно с температурой:

$$l_1 = l_0(1 + at),$$

где l_1 – длина тела при температуре t, l_0 – его длина при температуре 0℃, a – коэффициент линейного теплового расширения.

Для твёрдых изотропных тел: $a = \frac{1}{3}b$, где b – коэффициент объёмного теплового расширения.

Относительное изменение длины стержня по закону Гука в случае деформации продольного растяжения (или одностороннего сжатия) стержня: $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \alpha p_н = \frac{1}{E}p_н$, где $p_н$ – удельная нагрузка (напряжения), $p_н = \frac{F}{S}$, где F – растягивающая (сжимающая) сила, S – площадь поперечного сечения; α – коэффициент упругости, $E = \frac{1}{\alpha}$ – модуль упругости (модуль Юнга).

Относительное изменение толщины стержня при продольном растяжении: $\frac{\Delta d}{d} = \varepsilon_n \cdot p_н$, где ε_n – коэффициент поперечного сжатия.

Коэффициент Пуассона: $\mu = \frac{\varepsilon_n}{\varepsilon}$.

Для закручивания стержня (проволоки) на некоторый угол φ необходимо приложить момент пары сил:

$$M = \frac{\pi N r^4 \varphi}{2l},$$

где l – длина проволоки, r – её радиус; N – модуль сдвига материала проволоки.

1.2.1. Тестовые задачи по кинематике поступательного и вращательного движения

1.1. Две трети своего пути мотоциклист проехал со скоростью $\upsilon_1 =$ 54 км/ч, остальную часть пути – со скоростью $\upsilon_2 = 72$ км/ч. Найти среднюю путевую скорость мотоциклиста.

а) $<\upsilon> \approx 16{,}4$ м/с; б) $<\upsilon> \approx 17{,}2$ м/с;
в) $<\upsilon> \approx 17$ м/с; г) $<\upsilon> \approx 16$ м/с.

1.2. Два автомобиля, выехав одновременно из одного пункта, движутся прямолинейно в одном направлении. Зависимость пройденного ими пути задается уравнениями $S_1 = At + Bt^2$ и $S_2 = Ct + Dt^2 + Ft^3$. Определить величину относительной скорости автомобилей через 5 с, если: A=5 м/с, B=6 м/с^2, C=1 м/с, D=1 м/с^2, F=1 м/с^3.

а) $\upsilon' = -23$ м/с; б) $\upsilon' = -28$ м/с; в) $\upsilon' = -21$ м/с; г) $\upsilon' = -24$ м/с.

1.3. Движение материальной точки, перемещающейся по прямой, задано уравнением $S = 4t^3 + 2t + 1$. В интервале времени от 1 до 2 с найти величины мгновенной скорости и ускорения в начале и конце интервала, и величину средней скорости движения.

а) $\upsilon_1 = 14$ м/с, $\upsilon_2 = 60$ м/с, $a_1 = 27$ м/с^2, $a_2 = 44$ м/с^2, $<\upsilon> = 37$ м/с;
б) $\upsilon_1 = 14$ м/с, $\upsilon_2 = 50$ м/с, $a_1 = 24$ м/с^2, $a_2 = 48$ м/с^2, $<\upsilon> = 30$ м/с;
в) $\upsilon_1 = 17$ м/с, $\upsilon_2 = 51$ м/с, $a_1 = 29$ м/с^2, $a_2 = 43$ м/с^2, $<\upsilon> = 34$ м/с;
г) $\upsilon_1 = 18$ м/с, $\upsilon_2 = 40$ м/с, $a_1 = 34$ м/с^2, $a_2 = 38$ м/с^2, $<\upsilon> = 30$ м/с.

1.4. Заданы уравнения движения двух материальных точек: $x_1 = A_1 + B_1 t + C_1 t^2$, $x_2 = A_2 + B_2 t + C_2 t^2$, где $A_1 = 18$ м; $A_2 = 2$ м; $B_1 = B_2 = 3$ м/с; $C_1 = -3$ м/с^2; $C_2 = 1$ м/с^2. Найти момент времени, когда скорости движения точек будут одинаковы. Определить величины скорости υ_1 и υ_2, и величины ускорения a_1, и a_2 точек в этот момент времени.

а) $t = 0$, $\upsilon_1 = \upsilon_2 = 5$ м/с, $a_1 = -8$ м/с^2, $a_2 = 4$ м/с^2;
б) $t = 0$, $\upsilon_1 = \upsilon_2 = 4$ м/с, $a_1 = -2$ м/с^2, $a_2 = 6$ м/с^2;
в) $t = 0$, $\upsilon_1 = \upsilon_2 = 7$ м/с, $a_1 = -9$ м/с^2, $a_2 = 5$ м/с^2;
г) $t = 0$, $\upsilon_1 = \upsilon_2 = 3$ м/с, $a_1 = -6$ м/с^2, $a_2 = 2$ м/с^2.

1.5. Найти модули скорости и ускорения точки в момент времени $t = 2$ с, если точка движется по закону $\vec{r}(t) = (A + Bt)\vec{i} + (Ct + Dt^2)\vec{j}$, где $A = -9$ м, $B = 3$ м/с, $C = 4$ м/с, $D = -1$ м/с^2.

а) $\upsilon = 9\ \frac{\text{м}}{\text{с}},\ a = -2\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$; б) $\upsilon = 7\frac{\text{м}}{\text{с}}, a = -1\frac{\text{м}}{c^2}$;

в) $\upsilon = 10\frac{\text{м}}{\text{с}}, a = -4\frac{\text{м}}{c^2}$; г) $\upsilon = 8\frac{\text{м}}{\text{с}}, a = -3\frac{\text{м}}{c^2}$.

1.6. Стрела пущена из лука вертикально вверх с начальной скоростью $\upsilon_0 = 40$ м/с. Определить: 1) через какое время и с какой по величине скоростью стрела упадет на землю; какой путь будет пройден ею за это время; 2) через какое время она окажется на высоте $h = 35$ м.

а) $t = 5$ с, $S = 170$ м, $t_1 = 2$ с, $t_2 = 9$ с;

б) $t = 7$ с, $S = 165$ м, $t_1 = 3$ с, $t_2 = 4$ с;

в) $t = 8$ с, $S = 160$ м, $t_1 = 1$ с, $t_2 = 7$ с;

г) $t = 6$ с, $S = 180$ м, $t_1 = 1{,}5$ с, $t_2 = 6$ с.

1.7. Мяч брошен вертикально вверх. На высоте $h = 6$ м он побывал дважды с интервалом $\Delta t = 3$ с. Определить начальную величину скорости мяча.

а) $\upsilon_0 = 18$ м/с; б) $\upsilon_0 = 16$ м/с; в) $\upsilon_0 = 17$ м/с; г) $\upsilon_0 = 19$ м/с.

1.8. Какое из приведенных ниже уравнений описывает равномерное прямолинейное движение?

1) $\upsilon = \upsilon_0 + at$; 2) $\omega = \omega_0 + \beta t$; 3) $\upsilon = \frac{S}{t}$; 4) $\omega = \frac{\varphi}{t}$; 5) $S = \upsilon_0 t + \frac{at^2}{2}$.

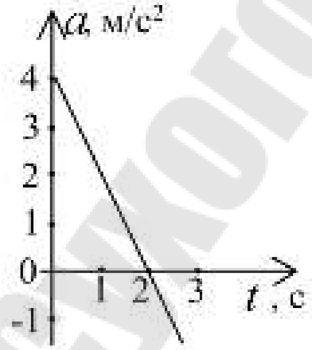
а) 1; б) 2,4; в) 3; г) 3,4; д) 5.

1.9. Какие из приведенных ниже уравнений описывают криволинейное ускоренное движение?

1) $\upsilon = \upsilon_0 + at$; 2) $\omega = \omega_0 + \beta t$; 3) $\upsilon = \frac{S}{t}$; 4) $\omega = \frac{\varphi}{t}$; 5) $\varphi = \omega_0 t + \frac{\beta t^2}{2}$.

а) 1,2; б) 2,5; в) 3; г) 3,4; д) 5.

1.10. На рисунке представлена зависимость ускорения a от времени t для материальной точки, движущейся прямолинейно. Определить величину скорости υ и координату x точки через t = 3 с после начала движения. В какой момент времени t_1 точка изменит направление движения?



а) υ = 4 м/с, x = 10 м, t_1 = 5 с;

б) υ = 5 м/с, x = 11 м, t_1 = 6 с;

в) υ = 6 м/с, x = 12 м, t_1 = 7 с; г) υ = 3 м/с, x = 9 м, t_1 = 4 с.

1.11. Тело брошено под углом α к горизонту. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить этот угол, если максимальная высота подъема $h_{\max}$ меньше дальности полета S в n = 2,4 раза.

а) $\alpha = 59°$; б) $\alpha = 60°$; в) $\alpha = 55°$; г) $\alpha = 63°$.

1.12. С башни горизонтально брошено тело со скоростью υ_0 = 25 м/с. Найти скорость тела υ, тангенциальное a_τ, нормальное a_n и полное a ускорения тела в конце третьей секунды, а также радиус кривизны траектории R в точке, соответствующей этому времени. Сопротивлением воздуха пренебречь.

а) υ= 39 м/с, a_τ= 7,7 м/с^2, a_n = 6,4 м/с^2, a = 10 м/с, R = 238 м;

б) υ= 35 м/с, a_τ = 7,9 м/с^2, a_n = 6,6 м/с^2, a = 13 м/с, R = 242 м;

в) υ= 33 м/с, a_τ = 7,6 м/с^2, a_n = 6,2 м/с^2, a = 8 м/с, R = 232 м;

г) υ= 40 м/с, a_τ = 7,1 м/с^2, a_n = 6,7 м/с^2, a = 12 м/с, R = 240 м.

1.13. Тело брошено вверх с высоты 12 м под углом 30° к горизонту с начальной скоростью 12 м/с. Определить продолжительность полета тела до точки A и до точки B, максимальную высоту, которой достигает тело, дальность полета тела. Сопротивление воздуха не учитывать.

а) t_A = 1,5 с, t_B = 2,4 с, $h_{\max}$ = 14,85 м, $x_{\max}$ = 24,8 м;

б) t_A = 1,22 с, t_B = 2,29 с, $h_{\max}$ = 13,83 м, $x_{\max}$ = 23,8 м;

в) t_A = 1,7 с, t_B = 2,5 с, $h_{\max}$ = 13,8 м, $x_{\max}$ = 24 м;

г) t_A = 1,42 с, t_B = 2,32 с, $h_{\max}$ = 13,45 м, $x_{\max}$ = 23,1 м.

1.14. Диск радиусом 10 см вращается вокруг неподвижной оси так, что зависимость угла поворота диска от времени задается уравнением $\varphi = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, где B = 1 рад/с, C = 1 рад/с^2, D = 0,5 рад/с^3. Определить для точек на ободе диска к концу второй секунды после начала движения величины: 1) угловой скорости; 2) углового ускорения ; 3) средней угловой скорости за этот промежуток времени; 4) среднего углового ускорения за этот промежуток времени; 5) тангенциального ускорения a_τ; 6) нормальное ускорение a_n; 7) полного ускорения a.

а) ω = 11 рад/с, ε = 8 рад/с^2, $<\omega>$ = 5 рад/с, $<\varepsilon>$ = 5 рад/с^2,
a_τ = 0,8 м/с^2, a_n = 12,1 м/с^2, a = 12,13 м/с^2;
б) ω = 13 рад/с, ε = 11 рад/с^2, $<\omega>$ = 8 рад/с, $<\varepsilon>$= 8 рад/с^2,
a_τ = 1,1 м/с^2, a_n = 12,3 м/с^2, a = 12,33 м/с^2;
в) ω = 9 рад/с, ε = 5 рад/с^2, $<\omega>$=2 рад/с, $<\varepsilon>$=2 рад/с^2,
a_τ=0,6 м/с^2, a_n =11,8 м/с^2, a = 11,83 м/с^2;
г) ω=15 рад/с, ε=13 рад/с^2, $<\omega>$=11 рад/с, $<\varepsilon>$=11 рад/с^2,
a_τ=1,5 м/с^2, a_n =12,6 м/с^2, a=12,5 м/с^2.

1.15. Маховик, вращавшийся с постоянной частотой n_0 = 10 об/с, при торможении начал вращаться равно замедленно. Когда торможение прекратилось, вращение маховика снова сделалось равномерным, но уже с частотой n = 6 об/с. Определить величину углового ускорения ε маховика и время торможения t, если за время торможения маховик сделал N = 50 оборотов.

а) ε = –4,02 рад/с^2, t = 6,25 с; б) ε = –4,25 рад/с^2, t = 6,40 с;
в) ε = –5,20 рад/с^2, t = 7,3 с; г) ε = –5,4 рад/с^2, t = 7,8 с.

1.16. Раскручиваясь в течение t = 2 мин, маховик набирает частоту n = 900 об/мин. Найти величину углового ускорения ε маховика и число оборотов N, которое он совершил за это время.

а) ε = 0,8 рад/с^2, N = 920; б) ε = 0,7 рад/с^2, N = 880;
в) ε = 0,78 рад/с^2, N = 900; г) ε = 0,82 рад/с^2, N = 930.

1.17. Маховик вращается равно ускоренно. Найти угол α, который составляет вектор полного ускорения $\vec{a}$ любой точки маховика с радиусом в момент, когда маховик совершит первые два оборота.

а) α = 2º17′; б) α = 2º45′; в) α = 2º04; г) α = 2º35′.

1.18. Зависимость пути S от времени t для вращающейся по окружности радиусом $R = 6$ м точки M дается в виде уравнения $S = At^3$, где $A = 0{,}2$ м/с^3. Определить модуль тангенциального a_τ, модуль нормального a_n и модуль полного а ускорения для момента времени, когда величина линейной скорости точки $\upsilon = 0{,}6$ м/с, а также угол φ между векторами $\vec{a}_\tau$ и $\vec{a}$.

а) $a_\tau = 1{,}4$ м/с^2, $a_n = 0{,}08$ м/с^2, $a = 1{,}4$ м/с^2, $\varphi = 4°$;
б) $a_\tau = 1$ м/с^2, $a_n = 0{,}04$ м/с^2, $a = 1$ м/с^2, $\varphi = 2°$;
в) $a_\tau = 1{,}7$ м/с^2, $a_n = 0{,}09$ м/с^2, $a = 1{,}8$ м/с^2, $\varphi = 6°$;
г) $a_\tau = 1{,}2$ м/с^2, $a_n = 0{,}06$ м/с^2, $a = 1{,}2$ м/с^2; $\varphi = 3°$.

1.19. Тело вращается вокруг неподвижной оси так, что его величина угловой скорости зависит от угла поворота φ по закону $\omega = \omega_0 - \alpha\varphi$, где $\omega_0 = 3$ рад/с, $\alpha = 0{,}1$ с$^{-1}$. В момент времени $t_0 = 0$ угол $\varphi_0 = 0$. Найти величину угловой скорости вращения тела для момента времени $t = 2$ с.

а) $\omega = 2{,}8$ рад/с; б) $\omega = 3.2$ рад/с; в) $\omega = 2{,}2$ рад/с; г) $\omega = 2{,}46$ рад/с.

1.20. Твердое тело начинает вращаться вокруг неподвижной оси с угловым ускорением $\varepsilon = \alpha t$, где $\alpha = 0{,}02$ рад/с^3. Через какое время после начала вращения вектор полного ускорения произвольной точки тела будет составлять угол $\varphi = 60°$ с её вектором скорости?

а) $t = 9$ с; б) $t = 12$ с; в) $t = 7$ с; г) $t = 5$ с.

1.2.2. Тестовые задачи по динамике материальной точки

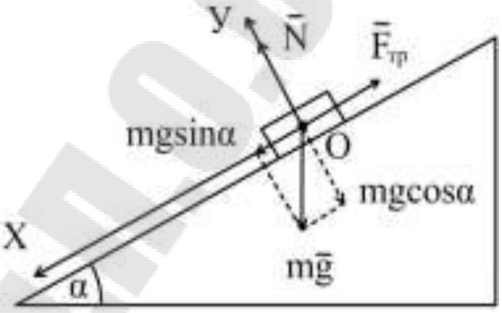
2.1. Движение материальной точки массой $m = 0{,}25$ кг описывается уравнением $\vec{r} = A\sin\omega t\vec{i} + A\cos\omega t\vec{j}$, где $A = 2$ м; $\omega = 0{,}7\ \frac{\text{рад}}{\text{с}}$; $\vec{i}$ и $\vec{j}$ – орты координатных осей x и y. Определить путь S, пройденный точкой за время $t_1 = 8$ с, и величину силы $\vec{F}$, действующей на точку в конце указанного промежутка времени.

а) $S = 11{,}2$ м, $F = 0{,}245$ Н; б) $S = 13{,}4$м, $F = 0{,}295$ Н;
в) $S = 12{,}5$ м, $F = 0{,}273$ Н; г) $S = 10{,}8$ м, $F = 0{,}225$ Н.

2.2. Тело скользит по наклонной плоскости, составляющей угол $\alpha = 60^{\circ}$ с горизонтом. Зависимость пути S от времени t задается уравнением $S = A + Bt + Ct^2$, где $A = 5$ м; $B = -1$ м/с; $C = 1{,}5$ м/с^2. Найти коэффициент трения μ тела о плоскость.

а) $\mu = 1{,}5$; б) $\mu = 1{,}9$; в) $\mu = 1{,}1$; г) $\mu = 0{,}8$.

2.3. Тело движется вниз равно ускоренно по наклонной плоскости, и зависимость пройденного пути от времени задается уравнением $S = 2t + 1{,}6t^2$. Найти коэффициент трения μ тела о плоскость, если угол наклона плоскости к горизонту равен 30°.



а) $\mu = 0{,}4$; б) $\mu = 0{,}1$;
в) $\mu = 0{,}2$; г) $\mu = 0{,}8$.

2.4. На вершине двух наклонных плоскостей, образующих с горизонтом углы $\alpha = 30^{\circ}$ и $\beta = 45^{\circ}$, укреплен блок. Грузы $m_1 = 1$ кг и $m_2 = 2$ кг соединены нитью, перекинутой через блок. Определить величину ускорения a, с которым начнут двигаться грузы вдоль наклонной плоскости, и величину силы натяжения нити T. Коэффициенты трения грузов о плоскости равны между собой: $\mu_1 = \mu_2 = \mu = 0{,}1$. Блок и нить невесомы.

а) a = 0,15 $\frac{м}{с^2}$; T = 7,8 Н; б) a = 0,19 $\frac{м}{с^2}$; T = 8,1 Н;

в) a = 0,11 $\frac{м}{с^2}$; T = 7,1 Н; г) a = 0,32 $\frac{м}{с^2}$; T = 8,9 Н.

2.5. На краю тележки длиной $l = 1{,}8$ м, движущейся горизонтально с ускорением $a = 2{,}1$ м/с^2, положили брусок. Определить, за какое время t брусок соскользнет с доски, если коэффициент трения между бруском и тележкой $\mu = 0{,}4$.

а) $t = 0{,}5$ с; б) $t = 0{,}9$ с; в) $t = 1{,}4$ с; г) $t = 1{,}7$ с.

2.6. Шар массой $m = 500$ кг, падая с высоты $h = 1$ м, ударяется о металлическую плиту. Определить среднее значение силы удара $\langle F \rangle$, если его длительность $t = 0{,}01$ с. Удар считать абсолютно упругим.

а) $\langle F\rangle = 221$ кН; б) $\langle F\rangle = 236$ кН;в) $\langle F\rangle = 212$ кН; г) $\langle F\rangle = 232$ кН.

2.7. Тело массой m = 1 кг, двигаясь равномерно, описывает три четверти окружности радиусом R = 2 м за время t = 6 с. Найти изменение модуля импульса ΔP.

а) $\Delta P = 1{,}57\,\dfrac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$; б) $\Delta P = 1{,}14\,\dfrac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$;

в) $\Delta P = 1{,}98\,\dfrac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$; г) $\Delta P = 2{,}35\,\dfrac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$.

2.8. Снаряд массой m = 100 кг вылетел из орудия под углом α = 30º к горизонту с начальной скоростью $\upsilon_0 = 600\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$. Найти: 1) модуль импульса силы, действующей на снаряд во время полета; 2) изменение модуля импульса снаряда ΔP за время его полета.

а) $\Delta P = Ft = -6\cdot 10^4\,\dfrac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$; б) $\Delta P = Ft = -9\cdot 10^4\,\dfrac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$;

в) $\Delta P = Ft = -15\cdot 10^4\,\dfrac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$; г) $\Delta P = Ft = -4\cdot 10^4\,\dfrac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$.

2.9. Парашютист массой m = 90 кг делает затяжной прыжок. Найти величину скорости парашютиста в момент раскрытия парашюта, если сила сопротивления воздуха пропорциональна скорости движения: $\vec{F}_c = -r\vec{\upsilon}$, где r = 15 кг/с. Начальную скорость υ_0 принять равной нулю. Раскрытие парашюта произошло через 9 с свободного полета.

а) $\upsilon = 45{,}7\dfrac{\text{м}}{\text{с}}$; б) $\upsilon = 48{,}9\dfrac{\text{м}}{\text{с}}$; в) $\upsilon = 44\dfrac{\text{м}}{\text{с}}$; г) $\upsilon = 41\dfrac{\text{м}}{\text{с}}$.

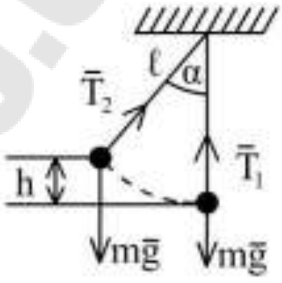
2.10. На железнодорожной платформе, движущейся со скоростью $\upsilon_0 = 3{,}6$ км/ч, укреплено орудие (см. рисунок). Масса платформы с орудием M = 1 т. Ствол орудия направлен в сторону движения платформы и приподнят над горизонтом на угол $\alpha = 60°$. Найти модуль скорости снаряда υ' (m = 10 кг) относительно платформы, если после выстрела величина скорости платформы уменьшилась в n = 2 раза.

а) $\upsilon' = 110\dfrac{\text{м}}{\text{с}}$; б) $\upsilon' = 114\dfrac{\text{м}}{\text{с}}$; в) $\upsilon' = 96\dfrac{\text{м}}{\text{с}}$; г) $\upsilon' = 101\dfrac{\text{м}}{\text{с}}$.

2.11. Снаряд, летящий на высоте H = 40 м горизонтально со скоростью υ = 100 м/с, разрывается на две равные части. Одна часть снаряда спустя время t = 1 с падает на землю точно под местом взрыва. Определить величину скорости другой части снаряда сразу после взрыва.

а) $\upsilon_2 = 202\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$; б) $\upsilon_2 = 214\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$; в) $\upsilon_2 = 220\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$; г) $\upsilon_2 = 230\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

2.12. Шарик массой m = 0,2 кг, подвешенный на нити длиной l = 1 м, совершает колебания в вертикальной плоскости. Найти угол α отклонения нити от вертикали, при котором кинетическая энергия шарика в его нижнем положении $E_к = 1{,}6$ Дж. Чему равно отношение модулей сил натяжения нити в нижнем и верхнем положениях?



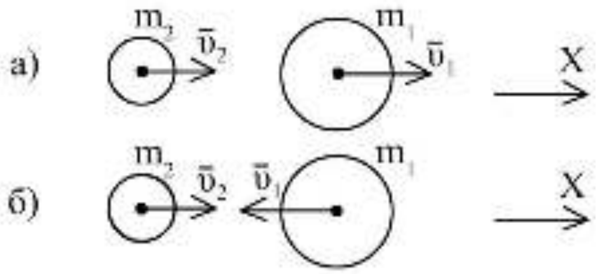
а) $\alpha = \arccos(0{,}8) \approx 36{,}9°$, $\frac{T_1}{T_2} = 14{,}2$;

б) $\alpha = \arccos(0{,}6) \approx 53{,}1°$, $\frac{T_1}{T_2} = 13{,}8$;

в) $\alpha = \arccos(0{,}4) \approx 66{,}5°$, $\frac{T_1}{T_2} = 13{,}5$;

г) $\alpha = \arccos(0{,}2) \approx 78{,}5°$, $\frac{T_1}{T_2} = 13{,}1$.

2.13. Два шара массами $m_1 = 6$ кг и $m_2 = 4$ кг движутся со скоростями $\upsilon_1 = 5$ м/с и $\upsilon_2 = 12$ м/с и сталкиваются друг с другом. Найти величину скорости шаров после удара, считая удар прямым и неупругим, в случаях, когда:



1) второй шар догоняет первый; 2) шары движутся навстречу друг другу.

а) 1) $u = 7{,}2\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$, 2) $1{,}2\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$; б) 1) $u = 7{,}8\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$, 2) $1{,}8\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$;

в) 1) $u = 8{,}4\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$, 2) $2{,}2\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$; г) 1) $u = 8{,}7\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$, 2) $2{,}5\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

2.14. Какую часть кинетической энергии передает движущийся шар массой m_1 неподвижному шару массой m_2 при абсолютно упругом центральном ударе, если: а) $m_1 = m_2$; б) $m_1 = 7m_2$.

а) а) $\frac{E'_{к2}}{E'_{к1}} = 1$, б) $\frac{E'_{к2}}{E'_{к1}} = 0{,}44$; б) а) $\frac{E'_{к2}}{E'_{к1}} = 1{,}2$, б) $\frac{E'_{к2}}{E'_{к1}} = 0{,}6$;

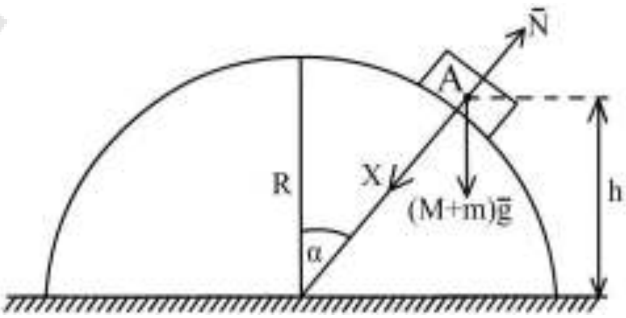
в) а) $\frac{E'_{к2}}{E'_{к1}} = 1{,}5$, б) $\frac{E'_{к2}}{E'_{к1}} = 0{,}75$; г) а) $\frac{E'_{к2}}{E'_{к1}} = 1{,}9$, б) $\frac{E'_{к2}}{E'_{к1}} = 0{,}9$.

2.15. Груз массой m = 4,5 кг, подвешенный на нити длиной l = 1,6 м, вращается в горизонтальной плоскости с частотой n = 36 об/мин. Найти угол α, образованный нитью с вертикалью, модули силы натяжения нити T и скорости вращения груза υ.

а) $\alpha = 70°, T = 109$ Н, $\upsilon = 6\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$; б) $\alpha = 64°, T = 103$ Н, $\upsilon = 5{,}1\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$;

в) $\alpha = 59°, T = 95$ Н, $\upsilon = 4{,}7\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$; г) $\alpha = 50°, T = 89$ Н, $\upsilon = 4{,}3\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

2.16. Небольшое тело массой M лежит на вершине гладкой полусферы радиусом R. В тело попадает пуля массой m, летящая горизонтально со скоростью υ_0, и застревает в нем. Пренебрегая смещением тела во время удара, определить высоту h, на которой тело оторвется от поверхности полусферы. При какой по величине скорости пули тело сразу оторвется от полусферы?



а) $h = \frac{2R}{3} + \frac{1}{3g}\left(\frac{m\upsilon_0}{m+M}\right)^2; \upsilon'_0 = \frac{M+m}{m}\sqrt{gR}$;

б) $h = \frac{3R}{2} + \frac{1}{3g}\left(\frac{M\upsilon_0}{m+M}\right)^2; \upsilon'_0 = \frac{M+m}{M}\sqrt{gR}$;

в) $h = \frac{3R}{2} + \frac{1}{2g}\left(\frac{M\upsilon_0}{m+M}\right); \upsilon'_0 = \frac{M+m}{m}\sqrt{gR}$;

г) $h = \frac{3R}{2} + \frac{1}{g}\left(\frac{M\upsilon_0}{m+M}\right); \upsilon'_0 = M + m\sqrt{gR}$.

2.17. Принимая, что масса Земли неизвестна, определить высоту h, на которой ускорение свободного падения g_1 будет в $n = 3$ раза меньше, чем ускорение свободного падения у поверхности Земли g. Радиус Земли $R_0 = 6,37 \cdot 10^6$ м.

а) $h = 4,4 \cdot 10^6$ м; б) $h = 4,1 \cdot 10^6$ м;
в) $h = 4,8 \cdot 10^6$ м; г) $h = 4,65 \cdot 10^6$ м.

2.18. Тело брошено вниз в безветренную погоду с высоты h с нулевой начальной скоростью и попадает на Землю в точку с географической широтой $\varphi = 50°$ северного полушария. Определить эту высоту h, если отклонение l тела от вертикали при его падении составляет 9 см.

а) $h = 750$ м; б) $h = 755$ м; в) $h = 738$ м; г) $h = 743$ м.

2.19. Деревянный шар ($\rho = 500$ кг/м^3) радиусом $R = 5$ см удерживается под водой внешней силой. При этом верхняя точка шара касается поверхности воды. Найти работу, которую произведет сила Архимеда, если отпустить шар.

а) $A = 0,08$ Дж; б) $A = 0,14$ Дж; в) $A = 0,2$ Дж; г) $A = 0,25$ Дж.

2.20. Определить числовое значение первой космической скорости υ_1 для Луны, если ускорение свободного падения у поверхности Луны g = 1,7 м/с^2, а радиус Луны $R = 1,74 \cdot 10^6$ м.

а) $\upsilon_1 = 1,72 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; б) $\upsilon_1 = 1,8 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$;
в) $\upsilon_1 = 1,85 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; г) $\upsilon_1 = 1,93 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

1.2.3.Тестовые задачи по динамике вращательного движения

3.1. Маховик массой 4 кг свободно вращается вокруг горизонтальной оси, проходящей через его центр, делая 720 об/мин. Массу маховика можно считать распределенной по его ободу радиусом 40 см. Через 30 с под действием тормозящего момента маховик остановился. Найти тормозящий момент и число оборотов, которое делает маховик до полной остановки.

а) $M = -1{,}54$ Нм, $N = 120$; б) $M = -2{,}32$ Нм, $N = 240$;
в) $M = -1{,}61$ Нм, $N = 180$; г) $M = -0{,}93$ Нм, $N = 110$.

3.2. Однородный диск, имеющий вес $P = 124$ Н, вращается с постоянным угловым ускорением, и его движение описывается уравнением $\varphi = 30t^2 + 2t + 1$. Диск вращается под действием постоянной касательной тангенциальной силы $F_\tau = 90{,}2$ Н, приложенной к ободу диска. Определить момент сил трения $M_{тр}$, действующих на диск при вращении. Радиус диска $R = 0{,}15$ м.

а) $M_{тр} = 5$ Нм; б) $M_{тр} = 15$ Нм;
в) $M_{тр} = 17$ Нм; г) $M_{тр} = 3$ Нм.

3.3. Найти момент инерции J прямоугольника, сделанного из проволоки, со сторонами $a = 20$ см и $b = 10$ см относительно оси, лежащей в плоскости прямоугольника и проходящей через середины больших сторон. Масса прямоугольника $m_0 = 0{,}3$ кг.

а) $J = 1{,}73 \cdot 10^{-4}$ кг $\cdot$ м^2; б) $J = 1{,}67 \cdot 10^{-3}$ кг $\cdot$ м^2;
в) $J = 1{,}36 \cdot 10^{-3}$ кг $\cdot$ м^2; г) $J = 2{,}71 \cdot 10^{-3}$ кг $\cdot$ м^2.

3.4. К стержню длиной $l = 0{,}5$ м и массой $m = 0{,}3$ кг приварен цилиндр массой $M = 1{,}2$ кг и радиусом $R = 0{,}5$ м. Определить момент инерции J системы относительно оси OO', проходящей через незакрепленный конец стержня параллельно образующей цилиндра.

а) $J = 1{,}95$ кг $\cdot$ м^2; б) $J = 0{,}647$ кг $\cdot$ м^2;
в) $J = 3{,}208$ кг $\cdot$ м^2; г) $J = 0{,}738$ кг $\cdot$ м^2.

3.5. Определить момент инерции J однородной прямоугольной пластинки массой 500 г со сторонами $a = 20$ см и $b = 30$ см относительно оси, проходящей через геометрический центр пластинки параллельно большей ее стороне.

а) $J = 2{,}58 \cdot 10^{-3}$ кг $\cdot$ м^2; б) $J = 1{,}94 \cdot 10^{-3}$ кг $\cdot$ м^2;

в) $J = 1{,}67 \cdot 10^{-3}$ кг $\cdot$ м^2; г) $J = 2{,}13 \cdot 10^{-3}$ кг $\cdot$ м^2.

3.6. Найти момент инерции обруча радиусом $R = 30$ см и массой $m = 200$ г относительно оси, проходящей через его центр и лежащей в плоскости обруча.

а) $J = 8{,}5 \cdot 10^{-3}$ кг $\cdot$ м^2; б) $J = 9 \cdot 10^{-3}$ кг $\cdot$ м^2;
в) $J = 14{,}3 \cdot 10^{-3}$ кг $\cdot$ м^2; г) $J = 6{,}7 \cdot 10^{-3}$ кг $\cdot$ м^2.

3.7. На однородный сплошной цилиндрический вал радиусом $R = 20$ см намотана невесомая нить, к концу которой подвешен груз массой $m = 2$ кг. Груз, разматывая нить, опускается с ускорением $a = 1$ м/с^2. Определить момент инерции J вала и массу m_1 вала.

а) $J = 0{,}7$ кг $\cdot$ м^2; $m_1 = 35$ кг;
б) $J = 0{,}7$ кг $\cdot$ м^2; $m_1 = 28$ кг;
в) $J = 0{,}9$ кг $\cdot$ м^2; $m_1 = 28$ кг;
г) $J = 0{,}9$ кг $\cdot$ м^2; $m_1 = 35$ кг.

3.8. Кинетическая энергия вращающегося с частотой $n_1 = 3$ с$^{-1}$ маховика равна 8,4 кДж. Во сколько раз увеличится частота вращения маховика за время $t = 5$ с, если на маховик начнет действовать ускоряющий момент силы $M = 100$ Н $\cdot$ м?

а) $\frac{n_2}{n_1} = 3{,}25$; б) $\frac{n_2}{n_1} = 7{,}84$; в) $\frac{n_2}{n_1} = 6{,}61$; г) $\frac{n_2}{n_1} = 5{,}68$.

3.9. Найти момент инерции J прямоугольника, сделанного из проволоки, со сторонами $a = 20$ см и $b = 10$ см относительно оси, лежащей в плоскости прямоугольника и проходящей через середины больших сторон. Масса прямоугольника $m_0 = 0{,}3$ кг.

а) $\omega = 7$ рад/с, $\alpha = 77°63'$; б) $\omega = 5$ рад/с, $\alpha = 73°45'$;
в) $\omega = 8$ рад/с, $\alpha = 84°21'$; г) $\omega = 6$ рад/с, $\alpha = 62°30'$.

3.10. Через неподвижный блок, укрепленный на краю стола, перекинута нить, к которой привязаны три груза массами $m_1 = 800$ г, $m_2 = 700$ г,

$m_3 = 200\,\text{г}$. Масса блока $M = 500\,\text{г}$, радиус $R = 0{,}38\,\text{м}$. Считая нить невесомой и пренебрегая трением, определить величину ускорения грузов a, а также расстояние S, которое груз m_3 пройдет от начала движения до того момента, когда кинетическая энергия вращения блока будет $E = 1{,}1\,\text{Дж}$.

а) $a = 1{,}28\,\text{м/с}^2$, $S = 3{,}6\,\text{м}$;   б) $a = 1{,}44\,\text{м/с}^2$, $S = 1{,}6\,\text{м}$;
в) $a = 2{,}34\,\text{м/с}^2$, $S = 2{,}8\,\text{м}$;   г) $a = 1{,}01\,\text{м/с}^2$, $S = 4{,}4\,\text{м}$.

3.11. Две гири с массами m_1 = 2 кг и m_2 = 1кг соединены нитью, перекинутой через блок массой m = 1 кг. Найти величину ускорения a, с которым движутся гири, и сил натяжения T_1 и T_2 нитей, к которым подвешены гири. Блок считать однородным диском. Трением пренебречь.

а) $a = 1{,}3\,\text{м/с}^2$, $T_1 = 28\,\text{Н}$, $T_2 = 10\,\text{Н}$;
б) $a = 7{,}8\,\text{м/с}^2$, $T_1 = 15\,\text{Н}$, $T_2 = 11\,\text{Н}$;
в) $a = 9{,}7\,\text{м/с}^2$, $T_1 = 14\,\text{Н}$, $T_2 = 9{,}4\,\text{Н}$;
г) $a = 2{,}8\,\text{м/с}^2$, $T_1 = 14\,\text{Н}$, $T_2 = 12{,}6\,\text{Н}$.

3.12. Две гири с разными массами соединены нитью, перекинутой через блок, момент инерции которого J - 50 кг·м^2 и радиус R = 20 см. Величина момента силы трения вращающегося блока $M_{тр}$ = 98,1 Н·м. Найти разность сил натяжения нити $T_1 - T_2$ по обе стороны блока, если известно, что блок вращается с угловым ускорением ε = 2,36 рад/с^2. Блок считать однородным диском.

а) $T_1 - T_2 = 1{,}08\,\text{кН}$; б) $T_1 - T_2 = 10{,}22\,\text{кН}$;
в) $T_1 - T_2 = 2{,}03\,\text{кН}$; г) $T_1 - T_2 = 31\,\text{кН}$.

3.13. Блок массой m = 1 кг укреплен на конце стола. Гири 1 и 2 одинаковой массы $m_1 = m_2 = 1\,кг$ соединены нитью, перекинутой через блок. Коэффициент трения гири 2 о стол $к$ = 0,1. Найти величину ускорения a, с которым движутся гири, и сил натяжения T_1 , и T_2 нитей. Блок считать однородным диском. Трением в блоке пренебречь.

а) $a = 2{,}3\,\text{м/с}^2$, $T_1 = 25\,\text{Н}$, $T_2 = 18\,\text{Н}$;

б) $a = 3{,}5\,\text{м/с}^2$, $T_1 = 6{,}3\text{Н}$, $T_2 = 4{,}5\text{Н}$;

в) $a = 21{,}7\,\text{м/с}^2$, $T_1 = 14\,\text{Н}$, $T_2 = 9.4\text{Н}$;

г) $a = 0{,}8\,\text{м/с}^2$, $T_1 = 4\,\text{Н}$, $T_2 = 12\text{Н}$.

3.14. С наклонной плоскости высотой $h = 7\,\text{м}$, составляющей угол $\alpha = 30°$ с горизонтом, скатывается без скольжения шарик. Пренебрегая трением качения, определить время движения шарика по наклонной плоскости.

а) $t = 2{,}8\,\text{с}$; б) $t = 3{,}6\,\text{с}$; в) $t = 2{,}0\,\text{с}$; г) $t = 7{,}4\,\text{с}$.

3.15. Маятник в виде однородного шара массой $M = 10$ кг, жестко скрепленного с тонким невесомым стержнем, длина которого l равна радиусу шара R ($l = R, R = 15$ см), может качаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через конец стержня . В центр шара попадает пуля массой $m = 10$ г, летевшая горизонтально со скоростью $\upsilon = 800$ м/с, и застревает в нем. На какой угол отклонится маятник в результате удара пули? Массой стержня пренебречь.

а) $\alpha = 37°$; б) $\alpha = 42°$; в) $\alpha = 14°$; г) $\alpha = 26°$.

3.16. Тонкий однородный стержень длиной $l = 0{,}8$ м имеет горизонтальную ось вращения, проходящую через его конец. Найти величину скорости υ нижней точки стержня, когда стержень проходит положение равновесия при отклонении его от вертикали на угол $\alpha = 30°$.

а) $\upsilon = 1{,}78\,\text{м/с}$; б) $\upsilon = 2{,}36\,\text{м/с}$; в) $\upsilon = 1{,}41\,\text{м/с}$; г) $\upsilon = 0{,}92\,\text{м/с}$.

3.17. Горизонтальная поверхность массой $m_1 = 250$ кг имеет форму диска радиусом $R = 2{,}5$ м. Платформа может вращаться относительно оси, проходящей через ее центр. С какой по величине угловой скоростью ω будет вращаться платформа, если вдоль ее края будет двигаться человек массой $m_2 = 75$ кг со скоростью $\upsilon = 2{,}5$ м/с относительно платформы? Найти угол поворота платформы, если человек сделает по платформе 1 оборот.

а) $\omega = 3{,}75 \cdot 10^{-2}\,\text{с}^{-1}$, $\varphi = 23{,}6\,\text{рад}$;

б) $\omega = 23{,}8 \cdot 10^{-2}\,\text{с}^{-1}$, $\varphi = 1{,}84\,\text{рад}$;

в) $\omega = 16{,}4 \cdot 10^{-2}$ с$^{-1}$, $\varphi = 1{,}65$ рад;

г) $\omega = 37{,}5 \cdot 10^{-2}$ с$^{-1}$, $\varphi = 2{,}36$ рад.

3.18. Горизонтальная платформа массой m = 100 кг вращается вокруг вертикальной оси, проходящей через центр платформы, с частотой $n_1 = 10$об/мин. Человек массой m_0 =60 кг стоит при этом на краю платформы. С какой частотой n_2 начнет вращаться платформа, если человек перейдет от края платформы к ее центру? Считать платформу однородным диском, а человека — точечной массой.

а) $n_2 = 22$об/мин; б) $n_2 = 16$об/мин
в) $n_2 = 28$об/мин; г) $n_2 = 32$об/мин.

3.19. Горизонтальная платформа массой m = 80 кг и радиусом $R = 1м$ вращается с частотой $n_1 = 20$об/мин. В центре платформы стоит человек и держит в расставленных руках гири. С какой частотой n_2, будет вращаться платформа, если человек, опустив руки, уменьшит свой момент инерции от $J_1 = 2{,}94$ до $J_2 = 0.98$ кг·м^2? Считать платформу однородным диском.

а) $n_2 = 22$об/мин; б) $n_2 = 22$об/мин;
в) $n_2 = 22$об/мин; г) $n_2 = 22$об/мин.

3.20. Горизонтальная платформа массой m = 80 кг и радиусом $R = 1м$ вращается с частотой $n_1 = 20$об/мин. В центре платформы стоит человек и держит в расставленных руках гири. Во сколько раз увеличилась кинетическая энергия W_K платформы с человеком если человек, опустив руки, уменьшит свой момент инерции от $J_1 = 2{,}94$ до $J_2 = 0.98$ кг· м^2? Считать платформу однородным диском.

а) $\dfrac{W_{k2}}{W_{k1}} = 1{,}05$; б) $\dfrac{W_{k2}}{W_{k1}} = 1{,}05$;
в) $\dfrac{W_{k2}}{W_{k1}} = 1{,}05$; г) $\dfrac{W_{k2}}{W_{k1}} = 1{,}05$.

1.2.4. Тестовые задачи по механике жидкостей

4.1. В стакан с водой, уравновешенный на рычажных весах, опустили подвешенный на нити латунный шарик массой $M = 400$ г так, чтобы он не касался дна. Определить массу m гирьки, с помощью которой можно уравновесить весы. Плотность материала шарика $\rho = 8{,}55$ г/см^3, плотность воды $\rho_1 = 1$ г/см^3.

а) $m = 19$ г; б) $m = 47$ г; в) $m = 127$ г; г) $m = 53$ г.

4.2. Цилиндрический сосуд высотой $H = 1$ м до краев заполнен жидкостью. Пренебрегая вязкостью жидкости, определить, на какой высоте h должно быть проделано малое отверстие в стенке сосуда, чтобы струя, вытекающая из отверстия, падала на пол на расстоянии 50 см от цилиндра.

а) $h_1 = 93{,}3$ см; $h_2 = 6{,}7$ см; б) $h_1 = 84{,}2$ см; $h_2 = 15{,}8$ см;
в) $h_1 = 66{,}2$ см; $h_2 = 33{,}8$ см; г) $h_1 = 75{,}8$ см; $h_2 = 24{,}2$ см.

4.3. За 15 минут по трубе диаметром 2 см протекает 50 кг воды. Найти величину скорости течения.

а) $\upsilon = 0{,}32$ м/с; б) $\upsilon = 1{,}21$ м/с;
в) $\upsilon = 0{,}74$ м/с; г) $\upsilon = 0{,}18$ м/с.

4.4. Водомер представляет собой горизонтальную трубу переменного сечения, в которую впаяны две вертикальные манометрические трубки одинакового сечения . По трубе протекает вода. Пренебрегая вязкостью воды, определить ее массовый расход, если разность уровней в манометрических трубках $h = 8$ см, а сечения трубы у оснований манометрических трубок соответственно равны $S_1 = 6$ см^2 и $S_2 = 12$ см^2. Плотность воды $\rho_1 = 1$ г/см^3.

а) $Q = 0{,}868$ кг/с; б) $Q = 1{,}722$ кг/с;
в) $Q = 0{,}434$ кг/с; г) $Q = 0{,}682$ кг/с.

4.5. Для определения объема перекачки газа используется прибор, основанный на принципе действия трубки Пито . При перекачке азота по трубке за время $t = 1$ мин проходит объем газа $V = 59{,}3\,\text{м}^3$. Определить диаметр d трубы, если разность уровней воды в коленах трубки Пито $\Delta h = 1\,\text{см}$. Плотность азота $\rho = 1{,}25\,\text{г/см}^3$, плотность воды $\rho_1 = 1\,\text{г/см}^3$.

а) $d = 60\,\text{см}$; б) $d = 40\,\text{см}$; в) $d = 30\,\text{см}$; г) $d = 20\,\text{см}$.

4.6. Свинцовый шарик диаметром 2 мм падает с постоянной скоростью 3,6 см/с в сосуде, наполненном глицерином. Найти коэффициент вязкости глицерина.

а) $\eta = 1{,}43\,\text{Па}\cdot\text{с}$; б) $\eta = 0{,}61\,\text{Па}\cdot\text{с}$;
в) $\eta = 0{,}84\,\text{Па}\cdot\text{с}$; г) $\eta = 0{,}42\,\text{Па}\cdot\text{с}$.

4.7. Два свинцовых шарика диаметром 2 и 1 мм опускают в сосуд с глицерином высотой 0,5 м. Считая, что скорость шариков сразу становится равномерной, определить, насколько раньше и какой из шариков достигнет дна сосуда.

а) $\dfrac{t_2}{t_1} = 6$; б) $\dfrac{t_2}{t_1} = 2$; в) $\dfrac{t_2}{t_1} = 4$; г) $\dfrac{t_2}{t_1} = 1$.

4.8. Шарик радиусом $r = 2$ мм падает в глицерине с постоянной скоростью $\upsilon = 8{,}5\,\text{мм/с}$. Определить число Рейнольдса, $R_e = 0{,}5$. Плотность глицерина $\rho = 1{,}26\,\text{г/см}^3$, динамическая вязкость глицерина $\eta = 1{,}48\,\text{Па}\cdot\text{с}$.

а) $R_e = 0{,}321$, $\rho_1 = 4{,}2\,\text{г/см}^3$; б) $R_e = 0{,}092$, $\rho_1 = 7{,}2\,\text{г/см}^3$;
в) $R_e = 0{,}057$, $\rho_1 = 1{,}6\,\text{г/см}^3$; г) $R_e = 0{,}029$, $\rho_1 = 2{,}7\,\text{г/см}^3$.

4.9. За время $t = 1$ ч через трубу диаметром $d = 40$ см прокачивается газ массой $m = 15$ кг. Динамическая вязкость газа $\eta = 10^{-5}$ Па·с. Если за характерный размер принять диаметр трубы, то критическое значение числа Рейнольдса R_e для ламинарного течения газа равно 2000. Определить характер течения газа.

а) течение ламинарное;

б) течение не ламинарное;

в) течение турбулентное;

г) течение ламинарно-турбулентное.

4.10. Найти скорость υ течения углекислого газа по трубе, если известно, что за время t = 30 мин через поперечное сечение трубы протекает масса газа m = 0,51 кг. Плотность газа ρ = 7,5 кг/м^3. Диаметр трубы D = 2 см.

а) $\upsilon = 3{,}9\,\text{м/с}$; б) $\upsilon = 0{,}2\,\text{м/с}$; в) $\upsilon = 5{,}6\,\text{м/с}$; г) $\upsilon = 0{,}12\,\text{м/с}$.

4.11. В дне цилиндрического сосуда диаметром D = 0,5 м имеется круглое отверстие диаметром d = 1см. Найти зависимость величины скорости понижения уровня воды в сосуде от высоты h этого уровня. Найти значение этой скорости для высоты h = 0,2 м.

а) $\upsilon \approx \dfrac{d^2}{D^2} \cdot \sqrt{2gh}$, $\upsilon_1 = 0{,}8 мм/с$; б) $\upsilon \approx \dfrac{d^2}{D} \cdot \sqrt{gh}$, $\upsilon_1 = 0{,}8 мм/с$;

в) $\upsilon \approx \dfrac{d}{D^2} \cdot \sqrt{4gh}$, $\upsilon_1 = 0{,}6 мм/с$; г) $\upsilon \approx \dfrac{d^2}{D} \cdot \sqrt{6gh}$, $\upsilon_1 = 0{,}8 мм/с$.

4.12. Цилиндрической бак высотой h = 1 м наполнен до краев водой. За какое время t вся вода выльется через отверстие, расположенное у дна бака, если площадь S_2 поперечного сечения отверстия в 400 раз меньше площади поперечного сечения бака?

а) $t = 3{,}9\,\text{мин}$; б) $t = 6{,}5\,\text{мин}$;

в) $t = 30{,}0\,\text{мин}$; г) $t = 3{,}0\,\text{мин}$.

4.13. В сосуд льется вода, причем за единицу времени наливается объем воды V_t = 0,2 л/с. Каким должен быть диаметр d отверстия в дне сосуда, чтобы вода в нем держалась на постоянном уровне h =8,3 см?

а) $d = 3{,}9 см$; б) $d = 2{,}8 см$;

в) $d = 1{,}4 см$;г) $d = 0{,}6 см$.

4.14. Какое давление p создает компрессор в краскопульте, если струя жидкой краски вылетает из него со скоростью υ= 25 м/с? Плотность краски ρ = 0,8 10^3 кг/м^3.

а) $\rho = 250$ кПа; б) $\rho = 25$ кПа;
в) $\rho = 150$ кПа; г) $\rho = 350$ кПа.

4.15. Шарик всплывает с постоянной скоростью υ в жидкости, плотность ρ_1 которой в 4 раза больше плоскости материала шарика. Во сколько раз величина силы трения $F_{тр}$, действующей на всплывающий шарик, больше силы тяжести *mg*, действующей на этот шарик?

а) $\frac{F_{тр}}{mg} = 3$; б) $\frac{F_{тр}}{mg} = 2{,}8$;
в) $\frac{F_{тр}}{mg} = 1{,}5$; г) $\frac{F_{тр}}{mg} = 0{,}2$.

4.16. Какой наибольшей скорости υ может достичь дождевая капля диаметром d = 0,3 мм, если динамическая вязкость воздуха $\eta = 1{,}2 \cdot 10^{-5}$ Па·с?

а) $\upsilon = 40{,}1$ м/с; б) $\upsilon = 4{,}1$ м/с; в) $\upsilon = 6{,}8$ м/с; г) $\upsilon = 0{,}6$ м/с.

4.17. Стальной шарик диаметром d = 1мм падает с постоянной по величине скоростью υ = 0,185 см/с в большом сосуде, наполненном касторовым маслом. Найти динамическую вязкость η касторового масла.

а) $\eta = 2$ Па · с; б) $\eta = 0{,}8$ Па · с;
в) $\eta = 3$ Па · с; г) $\eta = 4{,}5$ Па · с.

4.18. Смесь свинцовых дробинок с диаметрами d_l =3мм и d_2 = 1 мм опустили в бак с глицерином высотой h = 1 м. На сколько позже упадут на дно дробинки меньшего диаметра по сравнению с дробинками большего диаметра? Динамическая вязкость глицерина η = 1,47 Па· с.

а) $\Delta t = 6$ мин; б) $\Delta t = 1$ мин;
в) $\Delta t = 3$ мин; г) $\Delta t = 4$ мин.

4.19. Пробковый шарик радиусом r = 5мм всплывает в сосуде, наполненном касторовым маслом. Найти кинематическую вязкости касторового масла, если шарик всплывает с постоянной по величине скоростью υ= 3,5 см/с.

а) $\upsilon = 15{,}1\,\text{см}^2/\text{с}$; б) $\upsilon = 1{,}1\,\text{см}^2/\text{с}$;

в) $\upsilon = 7{,}8\,\text{см}^2/\text{с}$; г) $\upsilon = 12{,}1\,\text{см}^2/\text{с}$.

4.20. В боковую поверхность сосуда вставлен горизонтальный капилляр, внутренний радиус которого r = 1 мм и длина l = 1,5 см. В сосуд напит глицерин, динамическая вязкость которого η = 1,0 Па·с. Уровень глицерина в сосуде поддерживается постоянным на высоте h = 0,18 м выше капилляра. Какое время потребуется на то, чтобы из капилляра вытек объем глицерина V = 5 см^3?

а) $t = 1{,}9\,\text{мин}$; б) $t = 6{,}5\,\text{мин}$; в) $t = 1{,}5\,\text{мин}$; г) $t = 3{,}0\,\text{мин}$.

1.2.5. Тестовые задачи по основам специальной теории относительности

5.1. Релятивистское сокращение длины движущегося тела составляет 30 %. С какой относительной по величине скоростью υ движется тело?

а) $\upsilon = 2{,}14 \cdot 10^8\,\dfrac{м}{с}$; б) $\upsilon = 2{,}48 \cdot 10^8\,\dfrac{м}{с}$;

в) $\upsilon = 3{,}36 \cdot 10^8\,\dfrac{м}{с}$; г) $\upsilon = 1{,}52 \cdot 10^8\,\dfrac{м}{с}$.

5.2. Тело движется со скоростью, равной 0,9 с. Найти релятивистское сокращение объема тела.

а) $\tau = 56\%$; б) $\tau = 48\%$; в) $\tau = 63\%$; г) $\tau = 27\%$.

5.3. Величина скорости движения мезона $\upsilon = 0{,}95$ с. Какой промежуток времени $\Delta\tau$ по часам неподвижного наблюдателя соответствует одной секунде «собственного времени» мезона?

а) $\Delta\tau = 2{,}8\,\text{с}$; б) $\Delta\tau = 1{,}5\,\text{с}$; в) $\Delta\tau = 6{,}5\,\text{с}$; г) $\Delta\tau = 3{,}2\,\text{с}$.

5.4. В ускорителе протонов − циклотроне относительное увеличение массы частицы не должно превышать 5 %. До какой энергии можно ускорять протоны в циклотроне?

а) $E_k = 32{,}4\,\text{кэВ}$; б) $E_k = 25{,}6\,\text{кэВ}$;

в) $E_k = 17{,}8$ кэВ ; г) $E_k = 43{,}5$ кэВ.

5.5. Две ракеты летят навстречу друг другу со скоростями, равными 0,8с по отношению к неподвижному наблюдателю. Здесь c – скорость света в вакууме. Найти величину скорости сближения ракет.

а) $u = 0{,}98$с; б) $u = 1{,}34$с; в) $u = 0{,}63$с; г) $u = 1{,}57$с.

5.6. Определить величину импульса электрона, обладающего кинетической энергией 5 МэВ.

а) $P = 4.32 \cdot 10^{-21} \dfrac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$; б) $P = 1.64 \cdot 10^{-21} \dfrac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$;
в) $P = 3.45 \cdot 10^{-21} \dfrac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$; г) $P = 2.93 \cdot 10^{-21} \dfrac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$.

5.7. Определить величину скорости нестабильной частицы, если время ее жизни по часам наблюдателя с Земли увеличилось в $n = 1{,}8$ раз.
а) $\upsilon = 9{,}549$с; б) $\upsilon = 6{,}927$с; в) $\upsilon = 7{,}548$с; г) $\upsilon = 8{,}831$с.

5.8. Космическая платформа движется со скоростью $\upsilon = 0{,}8$с относительно наблюдателя. На платформе одновременно происходят два события в точках, расположенных на расстоянии $l_0 = 150$ м друг от друга. Определить промежуток времени τ' между этими событиями, отсчитанный по часам наблюдателя.

а) $\tau' = 1{,}758$ мкс; б) $\tau' = 0{,}667$ мкс;
в) $\tau' = 0{,}395$ мкс; г) $\tau' = 0{,}487$ мкс.

5.9. Масса движущегося электрона вдвое больше его массы покоя. Найти кинетическую энергию электрона.

а) $W_k = 12{,}8 \cdot 10^{-14}$ Дж; б) $W_k = 3{,}7 \cdot 10^{-14}$ Дж;
в) $W_k = 8{,}2 \cdot 10^{-14}$ Дж ; г) $W_k = 10{,}5 \cdot 10^{-14}$ Дж.

5.10. Какому изменению массы Δm соответствует изменение энергии на $\Delta W = 4{,}19$Дж?

а) $\Delta m = 4{,}6 \cdot 10^{-17}$ кг; б) $\Delta m = 3{,}2 \cdot 10^{-16}$ кг;

в) $\Delta m = 5{,}8 \cdot 10^{-17}$ кг ; г) $\Delta m = 17{,}53 \cdot 10^{-17}$ кг.

5.11. Найти изменение энергии ΔW , соответствующее изменению массы на $\Delta m = 1$а.е.м.

а) $\Delta W_k = 587$ МэВ; б) $\Delta W_k = 934$ МэВ;
в) $\Delta W_k = 850$ МэВ; г) $\Delta W_k = 635$ МэВ.

5.12. Найти изменение массы Δm_μ, происходящее при образовании ν = 1 моль воды, если реакция образования воды такова: $2H_2 + O_2 = 2H_2O + 5{,}75 \cdot 10^5$ Дж.

а) $\Delta m_\mu = 3{,}2 \cdot 10^{-9}$ г/моль; б) $\Delta m_\mu = 9{,}3 \cdot 10^{-9}$ г/моль;

в) $\Delta m_\mu = 5{,}5 \cdot 10^{-9}$ г/моль ; г) $\Delta m_\mu = 7{,}21 \cdot 10^{-9}$ г/моль.

5.13. Синхрофазотрон дает пучок протонов с кинетической энергией W_K = 10 ГэВ. Какую долю β скорости света составляет скорость протонов в этом пучке?

а) $\beta = 99.9\%$; б) $\beta = 89{,}9\%$;
в) $\beta = 85{,}0\%$; г) $\beta = 99{,}6\%$.

5.14. Найти релятивистское сокращение размеров протонов в условиях предыдущей задачи.

а) $\dfrac{d_o - d}{d_o} = 93{,}1\%$; б) $\dfrac{d_o - d}{d_o} = 98{,}81\%$;
в) $\dfrac{d_o - d}{d_o} = 91{,}1\%$; г) $\dfrac{d_o - d}{d_o} = 90{,}0\%$.

5.15. Какую долю β скорости света должна составлять скорость частицы, чтобы ее кинетическая энергия была равна ее энергии покоя?
а) $\beta = 86{,}6\%$; б) $\beta = 89{,}9\%$;
в) $\beta = 85{,}0\%$; г) $\beta = 99{,}6\%$.

5.16. Найти скорость υ мезона, если его полная энергия в 10 раз больше энергии покоя.

а) $\upsilon = 1{,}567 \cdot 10^8$ м/с; б) $\upsilon = 0{,}247 \cdot 10^8$ м/с;
в) $\upsilon = 5{,}369 \cdot 10^7$ м/с; г) $\upsilon = 2{,}985 \cdot 10^8$ м/с.

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

а) $\upsilon = 1{,}567 \cdot 10^8$ м/с; б) $\upsilon = 0{,}247 \cdot 10^8$ м/с;
в) $\upsilon = 5{,}369 \cdot 10^7$ м/с; г) $\upsilon = 1{,}98 \cdot 10^8$ м/с.

5.18. Какую скорость υ должно иметь движущееся тело, чтобы его предельные размеры уменьшились в 2 раза?

а) $\upsilon = 1{,}567 \cdot 10^8$ м/с; б) $\upsilon = 0{,}247 \cdot 10^8$ м/с;
в) $\upsilon = 2{,}6 \cdot 10^8$ м/с; г) $\upsilon = 1{,}98 \cdot 10^8$ м/с.

5.19. На сколько увеличится масса α-частицы при ускорении ее от начальной скорости, равной нулю, до скорости, равной 0,9 скорости света?

а) $\Delta m = 8{,}6 \cdot 10^{-27}$ кг; б) $\Delta m = 1{,}7 \cdot 10^{-27}$ кг;
в) $\Delta m = 9{,}3 \cdot 10^{-27}$ кг; г) $\Delta m = 5{,}2 \cdot 10^{-27}$ кг.

5.20. Какую ускоряющую разность потенциалов U должен пройти протон, чтобы его продольные размеры стали меньше в 2 раза?

а) $U = 940$ МВ; б) $U = 850$ МВ;
в) $U = 450$ МВ; г) $U = 580$ МВ.

1.2.6. Тестовые задачи по механическим колебаниям и упругим волнам

6.1. Написать уравнение гармонического колебания, если амплитуда его 10 см, максимальная скорость 50 см/с, начальная фаза 15°. Определить период колебаний и смещение колеблющейся точки через 0,2 с от начала колебания.

а) $x(t) = 0{,}2(5t + \pi/12)$, $T = 1{,}98$ с; $x(1{,}3) = 0{,}143$ м;

б) $x(t)=0{,}1(5t+\pi/12),\ T=1{,}26\,\text{с};x(0{,}2)=0{,}095\,\text{м}$;

в) $x(t)=1{,}4(5t+\pi/12),\ T=2{,}37\,\text{с};x(1{,}4)=1{,}358\,\text{м}$;

г) $x(t)=0{,}4(5t+\pi/12),\ T=0{,}84\,\text{с};x(0{,}6)=0{,}053\,\text{м}$.

6.2. Материальная точка массой $m=1$ г колеблется гармонически. Амплитуда колебаний равна 5 см, циклическая частота 2 c^{-1}, начальная фаза равна 0. Определить величину силы, действующую на точку в тот момент, когда ее скорость равна 6 м/с.

а) $F=16\cdot10^{-5}\,\text{Н}$; б) $F=32\cdot10^{-5}\,\text{Н}$;

в) $F=8\cdot10^{-5}\,\text{Н}$; г) $F=4\cdot10^{-5}\,\text{Н}$.

6.3. За какую часть периода точка, совершающая гармонические колебания, пройдет путь, равный: 1) половине амплитуды, если в начальный момент она находилась в положении равновесия; 2) одной трети амплитуды, если в начальный момент она находилась в крайнем положении.

а) $t_1=\dfrac{T}{16}, t_2=\dfrac{T}{15}$; б) $t_1=\dfrac{T}{24}, t_2=\dfrac{T}{22{,}5}$;

в) $t_1=\dfrac{T}{6}, t_2=\dfrac{T}{7{,}5}$; г) $t_1=\dfrac{T}{12}, t_2=\dfrac{T}{7{,}5}$

6.4. Тело массой $m=10$ г совершает гармонические колебания по закону $x=0{,}1\cos(4\pi t+\pi/4)$ м. Определить максимальные значения кинетической энергии и возвращающей силы.

а) $E_k=8{,}96\,\text{мДж},\ F_m=0{,}316\,\text{Н}$; б) $E_k=7{,}89\,\text{мДж},\ F_m=0{,}158\,\text{Н}$;

в) $E_k=4{,}48\,\text{мДж},\ F_m=0{,}086\,\text{Н}$; г) $E_k=6{,}64\,\text{мДж},\ F_m=0{,}637\,\text{Н}$.

6.5. Материальная точка массой $m=10$ г совершает гармонические колебания с амплитудой $A=10$ см. Определить частоту n колебаний, если максимальная сила F_m, действующая на точку, равна 10 мН.

а) $n=0{,}148\,\text{Гц}$; б) $n=0{,}503\,\text{Гц}$;

в) $n=0{,}874\,\text{Гц}$; г) $n=0{,}692\,\text{Гц}$.

6.6. Пружинный маятник совершает гармонические колебания, описываемые уравнением $x = 0{,}3\cos(\frac{\pi}{6})t$ м. В тот момент, когда возвращающая сила F в первый раз достигла значения – 10 мН, потенциальная энергия $E_п$ маятника оказалась равной 7,5 мДж. Определить этот момент времени t.

а) $t = 2$ с; б) $t = 1$ с; в) $t = 8$ с; г) $t = 4$ с.

6.7. Материальная точка массой $m = 50$ г совершает гармонические колебания согласно уравнению $x = 0{,}1\cos(\frac{3\pi}{6})t$ м. Определить величину возвращающей силы F для момента времени $t = 0{,}5$ с и полную энергию.

а) $F = 89{,}2$ мН, $E = 3{,}46$ мДж; б) $F = 54{,}2$ мН, $E = 7{,}83$ мДж;
в) $F = 63{,}4$ мН, $E = 13{,}68$ мДж; г) $F = 78{,}7$ мН, $E = 5{,}55$ мДж.

6.8. Через какую долю периода в первый раз от начала колебаний кинетическая энергия будет равна потенциальной?

а) $t = T/6$; б) $t = T/8$; в) $t = T/2$; г) $t = T/4$.

6.9. Физический маятник в виде тонкого однородного стержня совершает гармонические колебания вокруг неподвижной оси, проходящей через точку подвеса O, находящуюся от центра масс C на расстоянии $x = 28{,}9$ см. Определить длину стержня, если циклическая частота колебаний максимальна.

а) $l = 1$ м; б) $l = 2$ м; в) $l = 4$ м; г) $l = 8$ м.

6.10. Шарик массой $m = 20$ г колеблется с периодом $T = 2$ с. В начальный момент времени шарик обладал энергией $E = 0{,}01$ Дж и находился от положения равновесия на расстоянии x_1 = 0,25 м. Написать уравнение гармонических колебаний шарика.

а) $x = 0{,}63\cos\pi(t + 0{,}8)$ м; б) $x = 0{,}41\cos\pi(t + 0{,}5)$ м;
в) $x = 0{,}32\cos\pi(t + 0{,}3)$ м; г) $x = 0{,}27\cos\pi(t + 0{,}2)$ м.

6.11. Тонкий невесомый стержень длиной $l = 0{,}5$ м с грузиками на концах массами $m_1 = m_2 = m$ колеблется около точки O на горизонтальной оси. Определить приведенную длину $l_{пр}$ и период колебаний такого маятника, если расстояние $d = 0{,}1$ м.

а) $T = 3{,}2\,с$, $l_{пр} = 1{,}14\,м$; б) $T = 2{,}4\,с$, $l_{пр} = 1{,}23\,м$;

в) $T = 0{,}7\,с$, $l_{пр} = 0{,}26\,м$; г) $T = 1{,}5\,с$, $l_{пр} = 0{,}57\,м$.

6.12. Обруч диаметром D = 56,5 см висит на гвозде, вбитом в стенку, и совершает малые колебания в плоскости, параллельной стене. Найти период колебаний T обруча.

а) $T = 0{,}5\,с$; б) $T = 1{,}5\,с$; в) $T = 1{,}5\,с$; г) $T = 10{,}5\,с$.

6.13. Определить период колебаний T математического маятника с длиной нити l = 0,8 м, поднимающегося вверх с ускорением a = 2 м/с^2.

а) Т = 2,2 с; б) Т = 3,8 с; в) Т = 1,6 с; г) Т = 0,9 с.

6.14. Найти период T затухающих колебаний математического маятника длиной $l = 1$ м, если известен логарифмический декремент затухания $\theta = 0{,}6$.

а) $T = 2\,с$; б) $T = 3{,}2\,с$; в) $T = 1\,с$; г) $T = 1{,}4\,с$.

6.15. Энергия затухающих колебаний маятника, происходящих в некоторой среде, за время $t_1 = 2$ мин уменьшилась в $N = 100$ раз. Определить коэффициент сопротивления, если масса маятника $m = 0{,}1\,кг$.

а) $r = 0{,}0066$ кг/с; б) $r = 0{,}0248$ кг/с;

в) $r = 0{,}0038$ кг/с; г) $r = 0{,}0126$ кг/с.

6.16. Тело массой $m = 0{,}6\,кг$, подвешенное к пружине жесткостью $k = 30$ Н/м, совершает в некоторой среде упругие колебания. Логарифмический декремент затухания $\theta = 0{,}01$. Определить время t_1, за которое амплитуда колебаний уменьшится в 3 раза и число полных колебаний N, которые должно совершить тело, чтобы прошло подобное уменьшение амплитуды.

а) $t_1 = 220$ с, $N = 246$; б) $t_1 = 55$ с, $N = 62$;

в) $t_1 = 110$ с, $N = 123$; г) $t_1 = 330$ с, $N = 482$.

6.17. Тело массой $m = 100$ г, совершая затухающие колебания, за $t_1 = 1$мин потеряло 40 % своей энергии. Определить коэффициент сопротивления r.

а) $r = 4{,}22 \cdot 10^{-4}$ кг/с; б) $r = 8{,}54 \cdot 10^{-4}$ кг/с;

в) $r = 16{,}08 \cdot 10^{-4}$ кг/с; г) $r = 2{,}17 \cdot 10^{-4}$ кг/с.

6.18. Определить добротность Q колебательной системы, если за время, в течение которого система совершает $N = 90$ полных колебаний, их амплитуда уменьшилась в 3 раза.

а) $Q = 346$; б) $Q = 128$; в) $Q = 504$; г) $Q = 257$.

6.19. Колебательная система совершает затухающие колебания с частотой $n = 900$ Гц. Определить собственную частоту колебательной системы, если резонансная частота $n_{рез} = 898$ Гц.

а) $n_{соб} = 187$ Гц; б) $n_{соб} = 364$ Гц;

в) $n_{соб} = 728$ Гц; г) $n_{соб} = 902$ Гц.

6.20. Складываются два взаимно перпендикулярных колебания с одинаковыми периодами 0,2 с и одинаковой начальной фазой $\pi/3$. Амплитуда одного колебания $A = 4$ см, второго $B = 3$ см. Найти уравнение результирующего колебания.

а) $y(x) = 0{,}05\cos(10\pi t + \pi/3)$ м;

б) $y(x) = 0{,}14\cos(6\pi t + \pi/2)$ м;

в) $y(x) = 0{,}07\cos(12\pi t + \pi/3)$ м;

г) $y(x) = 0{,}21\cos(18\pi t + \pi/4)$ м.

1.2.7. Тестовые задачи по молекулярно-кинетической теории идеального газа и законам идеального газа

7.1. Найти число молекул газа, находящегося в сосуде объемом $V = 0{,}5$ л при нормальных условиях.

а) $N = 0{,}52 \cdot 10^{22}$; б) $N = 1{,}31 \cdot 10^{22}$; в) $N = 1{,}41 \cdot 10^{22}$;
г) $N = 2{,}21 \cdot 10^{22}$; д) $N = 1{,}25 \cdot 10^{22}$.

7.2. В цилиндр длиной $l_1 = 1{,}5$ м и площадью $S = 100$ см^2, заполненный идеальным газом при нормальном давлении, начали медленно вдвигать поршень. Определить величину силы, действующую на поршень, если его остановить на расстоянии $l_2 = 15$ см от дна цилиндра.

а) $F = 12$ кН; б) $F = 1{,}6$ кН; в) $F = 0{,}1$ кН;
г) $F = 8$ кН; д) $F = 10$ кН.

7.3. Идеальный газ находится в сосуде при температуре $t_1 = 20$ °C. При нагревании газа до температуры t_2 его давление возросло в 1,5 раза. Найти температуру газа t_2.

а) $t_2 = 167{,}5$ °C; б) $t_2 = 156{,}7$ °C; в) $t_2 = 166{,}5$ °C;
г) $t_2 = 135{,}8$ °C; д) $t_2 = 182{,}3$ °C.

7.4. При нагревании газа на $\Delta T = 10$К его объем увеличился на 1/250 часть первоначального объёма. Найти начальную температуру газа, считая давление постоянным.

а) $T_1 = 2227$ К; б) $T_1 = 2300$ К; в) $T_1 = 2500$ К;
г) $T_1 = 2270$ К ; д) $T_1 = 2660$ К.

7.5. Сосуд ёмкостью $V = 10$ л, заполненный воздухом при температуре 500 К, соединяется трубочкой с чашкой, в которой находится ртуть. Найти количество ртути Δm, перешедшей в сосуд при остывании воздуха в нем до 300 К.

а) $\Delta m = 53{,}4$кг; б) $\Delta m = 54{,}6$кг; в) $\Delta m = 52{,}5$кг; г) $\Delta m = 54{,}4$кг; д) $\Delta m = 54$кг.

7.6. В оболочке сферического аэростата находится газ объёмом $V_1 = 1000$ м^3, заполняющий оболочку лишь частично. На сколько увеличится подъемная сила аэростата, если газ в нем нагреть от $T_1 = 273$ К до $T_2 = 300$ К? Давление газа в оболочке и в окружающей среде постоянно и равно нормальному атмосферному давлению.

а) $\Delta F = 2{,}28$кН; б) $\Delta F = 1{,}28$кН; в) $\Delta F = 1{,}34$кН;
г) $\Delta F = 1{,}08$кН; д) $\Delta F = 1{,}24$кН.

7.7. Два баллона ёмкостью $V_1 = 2$ л и $V_1 = 6$ л, в которых находятся различные газы, соединены трубкой с краном. Давление газа в первом баллоне $P_1 = 0{,}2$ МПа, а во втором $P_2 = 0{,}12$ МПа. Температура газов одинакова. Найти общее давление P в баллонах и парциальные давления P_1' и P_2' газов после открытия крана.

а) $P_1' = 5\cdot10^4$ Па, $P_2' = 8\cdot10^4$ Па, $P = 1{,}3\cdot10^5$ Па;
б) $P_1' = 5\cdot10^4$ Па, $P_2' = 8\cdot10^4$ Па, $P = 1{,}3\cdot10^5$ Па;
в) $P_1' = 5\cdot10^4$ Па, $P_2' = 8\cdot10^4$ Па, $P = 1{,}3\cdot10^5$ Па;
г) $P_1' = 5\cdot10^4$ Па, $P_2' = 8\cdot10^4$ Па, $P = 1{,}3\cdot10^5$ Па;
д) $P_1' = 5\cdot10^4$ Па, $P_2' = 8\cdot10^4$ Па, $P = 1{,}3\cdot10^5$ Па.

7.8. В сосуде находится смесь водорода и кислорода, причем их массовые доли равны соответственно: $\omega_1 = 2/7$ и $\omega_2 = 5/7$. Найти плотность ρ смеси газов, если давление смеси $P = 50$ кПа, а температура $T = 273$ К.

а) $\rho = 0{,}16\,\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; б) $\rho = 0{,}13\,\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; в) $\rho = 0{,}23\,\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; г) $\rho = 1{,}13\,\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; д) $\rho = 1{,}3\,\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

7.9. Плотность смеси азота и водорода при температуре $t = 47$ °С и давлении $P = 2\cdot10^5$ Па равна $\rho = 0{,}3\,\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Найти концентрации молекул азота (n_1) и водорода (n_2).

а) $n_1 = 32{,}1\cdot10^{24}$ м$^{-3}$, $n_2 = 42\cdot10^{25}$ м$^{-3}$;
б) $n_1 = 3{,}21\cdot10^{24}$ м$^{-3}$, $n_2 = 4{,}2\cdot10^{25}$ м$^{-3}$;

в) $n_1 = 3{,}46 \cdot 10^{24}$ м$^{-3}$, $n_2 = 4{,}02 \cdot 10^{25}$ м$^{-3}$;

г) $n_1 = 3{,}13 \cdot 10^{24}$ м$^{-3}$, $n_2 = 4{,}12 \cdot 10^{25}$ м$^{-3}$;

д) $n_1 = 3{,}46 \cdot 10^{24}$ м$^{-3}$, $n_2 = 4{,}2 \cdot 10^{25}$ м$^{-3}$;

7.10. В баллоне объёмом $V = 0{,}4$ м^3 находится кислород массой $m_1 = 1{,}2$ кг и $m_2 = 0{,}5$ кг воды. Баллон нагревается до температуры $t = 300$ °C, при этом вся вода превращается в пар. Определить давление в баллоне после нагревания.

а) $P = 666$ кПа; б) $P = 888$ кПа; в) $P = 777$ кПа;
г) $t = 20$ °C; д) $P = 645$ кПа.

7.11. Смесь азота и гелия при температуре $t = 27$ °C находится под давлением $P = 1{,}3 \cdot 10^2$ Па. Масса азота составляет 70 % от общей массы смеси. Найти концентрацию молекул каждого из газов.

а) $n_1 = 0{,}9 \cdot 10^{23}$ м$^{-3}$, $n_2 = 2{,}4 \cdot 10^{23}$ м$^{-3}$;

б) $n_1 = 0{,}8 \cdot 10^{23}$ м$^{-3}$, $n_2 = 26 \cdot 10^{23}$ м$^{-3}$;

в) $n_1 = 0{,}8 \cdot 10^{23}$ м$^{-3}$, $n_2 = 2{,}4 \cdot 10^{23}$ м$^{-3}$;

г) $n_1 = 1{,}1 \cdot 10^{23}$ м$^{-3}$, $n_2 = 2{,}6 \cdot 10^{23}$ м$^{-3}$;

д) $n_1 = 0{,}98 \cdot 10^{23}$ м$^{-3}$, $n_2 = 24 \cdot 10^{23}$ м$^{-3}$.

7.12. В колбе вместимостью $V = 0{,}5$ л находится кислород при нормальных условиях. Определить среднюю энергию $< E_{пост} >$ поступательного движения всех молекул, содержащихся в колбе.

а) $< E_{пост} >$=74,3Дж; б) $< E_{пост} >$=7,41Дж; в) $< E_{пост} >$=6,39Дж;
г) $< E_{пост} >$=75,9 Дж ; д) $< E_{пост} >$=7,95 Дж.

7.13. Какой объем занимает смесь 1 кг кислорода и 2 кг гелия при нормальных условиях? Какова молярная масса смеси?

а) V=12м^3; $\text{М}_{см} = 5{,}65 \cdot 10^{-3} \dfrac{кг}{моль}$; б) V=10м^3; $\text{М}_{см} = 4{,}64 \cdot 10^{-3} \dfrac{кг}{моль}$;

в) V=1м^3; $\text{М}_{см} = 5{,}25 \cdot 10^{-3} \dfrac{кг}{моль}$; г) V=16м^3; $\text{М}_{см} = 56{,}5 \cdot 10^{-3} \dfrac{кг}{моль}$;

д) V=1,54м^3; $\text{М}_{см} = 5{,}65 \cdot 10^{-3} \dfrac{кг}{моль}$.

7.14. Двухатомный газ занимает объем $V = 100\,\text{см}^3$ при давлении P =6 кПа и температуре t=20 °С. Какое число молекул N содержится в газе и какой энергией теплового движения обладают эти молекулы?

а) $N = 1{,}2\cdot10^{20}$, $U = 1{,}2$ Дж; б) $N = 1{,}5\cdot10^{20}$, $U = 1{,}5$ Дж;
в) $N = 12\cdot10^{20}$, $U = 12$ Дж; г) $N = 15\cdot10^{20}$, $U = 1{,}5$ Дж;
д) $N = 1{,}5\cdot10^{20}$, $U = 15$ Дж.

7.15. Найти энергию теплового движения молекул, содержащихся в двухатомном газе массой $m = 2$ кг, имеющем плотность $\rho = 5\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ и находящемся под давлением $P = 100$ кПа.

а) $U = 10^5$ Дж; б) $U = 2\cdot10^5$ Дж; в) $U = 1{,}1\cdot10^5$ Дж;
г) $U = 22\cdot10^4$ Дж; д) $U = 5\cdot10^5$ Дж.

7.16. Найти температуру $Ò$ и среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул газа $\langle E_n \rangle$, имеющего концентрацию $n = 10^{16}$ м$^{-3}$ и находящегося под давлением $P = 500$ кПа.

а) $T = 3600$ К, $\langle E_n \rangle = 7{,}5\cdot10^{-20}$ Дж;
б) $T = 3327$ К, $\langle E_n \rangle = 7{,}5\cdot10^{-20}$ Дж;
в) $T = 3873$ К, $\langle E_n \rangle = 7{,}1\cdot10^{-20}$ Дж;
г) $T = 2673$ К, $\langle E_n \rangle = 6{,}2\cdot10^{-20}$ Дж;
д) $T = 4273$ К, $\langle E_n \rangle = 14{,}2\cdot10^{-20}$ Дж.

7.17. В баллоне вместимостью V=5 л находится гелий под давлением $P_1 = 3$ МПа при температуре $t_1 = 27$ °С. После того, как из баллона был израсходован гелий массой $m = 15$ г, температура в баллоне понизилась до $t_2 = 17$ °С. Определить давление P_2 гелия, оставшегося в баллоне.

а) $P_2 = 1{,}99$ МПа; б) $P_2 = 1{,}15$ МПа; в) $P_2 = 2{,}05$ МПа;
г) $P_2 = 0{,}11$ МПа; д) $P_2 = 1{,}09$ МПа.

7.18. Давление в автомобильной шине объёмом $V = 0{,}3$ м^3 равно $P_0 = 1{,}5$ атм. Шина накачивается насосом с ёмкостью хода поршня

$\Delta V = 3\cdot 10^{-3}$ м^3 до давления $P_N = 2$ атм. Сколько ходов поршня N потребуется, если процесс накачки происходит достаточно медленно, так, что система сохраняет температуру окружающей среды. Атмосферное давление принять равным $P_a = 1$ атм.

а) $N = 20$; б) $N = 30$; в) $N = 40$; г) $N = 50$; д) $N = 60$;

7.19. Посередине откачанного и запаянного с обеих концов капилляра, расположенного горизонтально, находится столбик ртути длиной $l = 20$ см. Если капилляр поставить вертикально, то столбик ртути переместится на $\Delta l = 10$ см. До какого давления P_0 был откачан капилляр? Длина капилляра $L = 1$ м.

а) $\Delta P = 58{,}6$Н; б) $\Delta P = 18{,}1$Н; в) $\Delta P = 98{,}5$Н;

г) $\Delta P = 42{,}0$Н; д) $\Delta P = 23{,}1$Н.

7.20. Каков должен быть вес p оболочки детского воздушного шарика, наполненного водородом, чтобы результирующая подъемная сила шарика $F = 0$, т.е. чтобы шарик находился во взвешенном состоянии? Воздух и водород находится при нормальных условиях. Давление внутри шарика равно внешнему давлению. Радиус шарика $r = 12{,}5$ см.

а) $P = 96$ мН; б) $P = 57$ мН; в) $P = 32$ мН;

г) $P = 18$ мН; д) $P = 26$ мН.

1.2.8. Тестовые задачи по элементам статистической физики

8.1. Найти число молекул n кислорода в единице объема сосуда при давлении $P = 300$ Па, если средняя квадратичная скорость его молекул $\upsilon_{кв} = 2{,}5$км/с.

а) $n = 6\cdot 10^{24}$ м$^{-3}$; б) $n = 6{,}8\cdot 10^{24}$ м$^{-3}$; в) $n = 4{,}6\cdot 10^{24}$ м$^{-3}$;

г) $n = 6{,}2\cdot 10^{24}$ м$^{-3}$; д) $n = 4{,}3\cdot 10^{24}$ м$^{-3}$.

8.2. Какое число молекул n содержит единица массы газа при нормальных условиях, если средняя квадратичная скорость молекул $\upsilon_{кв} = 500$ м/с?

а) $n = 1{,}4\cdot 10^{25}$ кг; б) $n = 2{,}2\cdot 10^{25}$ кг; в) $n = 18\cdot 10^{24}$ кг;

г) $n = 1 \cdot 10^{25}$ кг ; д) $n = 1{,}4 \cdot 10^{24}$ кг .

8.3. Пылинка массой $m = 10^{-11}$ кг находится среди молекул азота. Во сколько раз скорость пылинки υ меньше средней квадратичной скорости $\upsilon_{кв}$ молекул азота?

а) $n = 1{,}47 \cdot 10^{7}$ раз; б) $n = 1{,}37 \cdot 10^{6}$ раз; в) $n = 13{,}7 \cdot 10^{7}$ раз;

г) $n = 1{,}14 \cdot 10^{7}$ раз; д) $n = 0{,}47 \cdot 10^{8}$ раз.

8.4. Средняя квадратичная скорость молекул газа $\upsilon_{кв}$ = 800 м/с. Чему равна их средняя арифметическая скорость $\langle \upsilon \rangle$?

а) $\langle \upsilon \rangle = 700$ м/с; б) $\langle \upsilon \rangle = 600$ м/с; в) $\langle \upsilon \rangle = 667$ м/с;

г) $\langle \upsilon \rangle = 737$ м/с; д) $\langle \upsilon \rangle = 707$ м/с.

8.5. Найти массу m и давление P двухатомного газа, находящегося в баллоне объемом $V = 40$ л, если известны энергия поступательного движения $E_п = 10$ кДж и средняя квадратичная скорость его молекул $\upsilon_{кв} = 2500$ м/с.

а) $m = 3{,}2 \cdot 10^{-3}$ кг, $P = 0{,}17$ МПа; б) $m = 2{,}3 \cdot 10^{-3}$ кг, $P = 1{,}5$ МПа;

в) $m = 3{,}8 \cdot 10^{-3}$ кг, $P = 17$ МПа; г) $m = 2{,}3 \cdot 10^{-3}$ кг, $P = 0{,}15$ МПа;

д) $m = 4{,}3 \cdot 10^{-3}$ кг, $P = 0{,}21$ МПа.

8.6. Сколько молекул водорода находится в сосуде емкостью $V = 2$ л, если средняя квадратичная скорость движения молекул $\upsilon_{кв} = 500$ м/с, а давление на стенки $P = 10^{4}$ Па ?

а) $N = 4{,}2 \cdot 10^{21}$; б) $N = 4{,}2 \cdot 10^{22}$; в) $N = 7{,}2 \cdot 10^{22}$; г) $N = 4{,}8 \cdot 10^{22}$; д) $N = 500$.

8.7. В сосуде объёмом $V = 1$ см^3 находится водород при нормальных условиях. Найти число молекул ΔN, скорости которых лежат в диапазоне от 0 до 1 м/с.

а) $\Delta N = 5{,}8 \cdot 10^{9}$; б) $\Delta N = 5{,}8 \cdot 10^{8}$; в) $\Delta N = 6 \cdot 10^{8}$; г) $\Delta N = 2{,}4 \cdot 108$; д) $\Delta N = 5{,}2 \cdot 10^{9}$.

8.8. Найти долю молекул кислорода, находящегося при температуре $t = 20$ °С, скорости которых находятся в интервале от $\upsilon_1 = 275$ м/с до $\upsilon_2 = 280$ м/с.

а) $\frac{\Delta N}{N} = 1\%$; б) $\frac{\Delta N}{N} = 1{,}9\%$; в) $\frac{\Delta N}{N} = 0{,}2\%$; г) $\frac{\Delta N}{N} = 0{,}5\%$;
д) $\frac{\Delta N}{N} = 0{,}9\%$.

8.9. Найти изменение атмосферного давления при подъёме на высоту $h = 500$ м, считая температуру воздуха постоянной и равной $T = 300$ К, а давление у поверхности Земли $P_0 = 10^5$ Па.

а) $\Delta P = 5{,}8$ кПа; б) $\Delta P = 5{,}5$ кПа; в) $\Delta P = 4{,}6$ кПа; г) $\Delta P = 8{,}5$ кПа;
д) $\Delta P = 6{,}1$ кПак.

8.10. Температура воздуха на некоторой высоте $T_0 = 220$ К, а давление $P = 25$ кПа. Найти изменение высоты Δh, соответствующее изменению давления на $\Delta P = 100$ Па.

а) $\Delta h = 25{,}3$ м; б) $\Delta h = 25$ м; в) $\Delta h = 25{,}7$ м; г) $\Delta h = 26{,}2$ м;
д) $\Delta h = 24{,}7$ м.

8.11. Водород находится при температуре $t = 20$ °С и давлении $P = 15$ Па. Найти среднюю длину пробега $\langle\lambda\rangle$ молекул водорода.
а) $\langle\lambda\rangle = 1{,}1 \cdot 10^{-3}$ м; б) $\langle\lambda\rangle = 1{,}21 \cdot 10^{-3}$ м; в) $\langle\lambda\rangle = 1{,}06 \cdot 10^{-3}$ м;
г) $\langle\lambda\rangle = 1{,}16 \cdot 10^{-3}$ м; д) $\langle\lambda\rangle = 2{,}34 \cdot 10^{-3}$ м.

8.12. Найти среднее число соударений z в течение $t = 1$ с, испытываемых молекулой водорода при нормальных условиях.

а) $\langle z\rangle = 2{,}2 \cdot 10^{10}$ с$^{-1}$; б) $\langle z\rangle = 1{,}1 \cdot 10^{10}$ с$^{-1}$; в) $\langle z\rangle = 5{,}5 \cdot 10^{10}$ с$^{-1}$;
г) $\langle z\rangle = 3{,}3 \cdot 10^{10}$ с$^{-1}$; д) $\langle z\rangle = 4{,}4 \cdot 10^{10}$ с$^{-1}$.

8.13. Найти число z всех столкновений, которые происходят в единицу времени между всеми молекулами кислорода, занимающего объем $V = 5$ л при нормальных условиях.

а) $z = 1 \cdot 10^{32}$ с$^{-1}$; б) $z = 2 \cdot 10^{32}$ с$^{-1}$; в) $z = 3 \cdot 10^{32}$ с$^{-1}$;

г) $z = 4 \cdot 10^{32}$ с$^{-1}$; д) $z = 5 \cdot 10^{32}$ с$^{-1}$.

8.14. Определить коэффициент внутреннего трения для водорода, имеющего температуру $t = 27$ °С.

а) $\eta = 6{,}3 \cdot 10^{-5} \dfrac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}}$; б) $\eta = 7{,}8 \cdot 10^{-5} \dfrac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}}$; в) $\eta = 8 \cdot 10^{-5} \dfrac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}}$;
г) $\eta = 6{,}3 \cdot 10^{-6} \dfrac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}}$; д) $\eta = 8{,}4 \cdot 10^{-6} \dfrac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}}$.

8.15. Найти, во сколько раз отличается коэффициент диффузии D_1 кислорода от коэффициента диффузии D_2 гелия, если оба газа находятся в нормальных условиях.

а) $\dfrac{D_1}{D_2} = 0{,}12$; б) $\dfrac{D_1}{D_2} = 0{,}21$; в) $\dfrac{D_1}{D_2} = 0{,}16$; г) $\dfrac{D_1}{D_2} = 0{,}18$; д) $\dfrac{D_1}{D_2} = 0{,}26$

8.16. Коэффициент диффузии водорода при нормальных условиях $D = 9 \cdot 10^{-5} \dfrac{\text{м}^2}{\text{с}}$. Найти динамическую вязкость водорода при тех же условиях.

а) $\eta = 5 \cdot 10^{-6}$ Па · с; б) $\eta = 4 \cdot 10^{-6}$ Па · с; в) $\eta = 7 \cdot 10^{-6}$ Па · с;
г) $\eta = 8 \cdot 10^{-6}$ Па · с; д) $\eta = 6 \cdot 10^{-6}$ Па · с.

8.17. Определить, во сколько раз отличаются коэффициенты динамической вязкости кислорода η_1 и азота η_2, если температуры газов одинаковы. Эффективные диаметры молекул кислорода и азота соответственно равны $d_1 = 0{,}36$нм и $d_2 = 0{,}36$нм.

а) $\dfrac{\eta_1}{\eta_2} = 1{,}19$; б) $\dfrac{\eta_1}{\eta_2} = 0{,}84$; в) $\dfrac{\eta_1}{\eta_2} = 1{,}24$; г) $\dfrac{\eta_1}{\eta_2} = 0{,}76$; д) $\dfrac{\eta_1}{\eta_2} = 1{,}64$.

8.18. Вязкость гелия при нормальных условиях $\eta = 13$мкПа · с. Найти среднюю длину свободного пробега молекул гелия $\langle \lambda \rangle$ при тех же условиях.

а) $\langle \lambda \rangle = 136 \cdot 10^{-9}$ м; б) $\langle \lambda \rangle = 13{,}6 \cdot 10^{-7}$ м; в) $\langle \lambda \rangle = 234 \cdot 10^{-9}$ м;
г) $\langle \lambda \rangle = 165 \cdot 10^{-8}$ м; д) $\langle \lambda \rangle = 184 \cdot 10^{-9}$ м.

8.19. Вязкость водорода $\eta = 8{,}6 \text{мкПа} \cdot \text{с}$. Определить коэффициент теплопроводности γ водорода при тех же условиях.

а) $70{,}3\ \dfrac{\text{мВт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$; б) $83{,}6\ \dfrac{\text{мВт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$; в) $69{,}3\ \dfrac{\text{мВт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$; г) $72{,}6\ \dfrac{\text{мВт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$; д) $89{,}3\ \dfrac{\text{мВт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$.

8.20. Температура наружной поверхности кирпичной стены площадью 25м и толщиной 37 см 259 К, а внутренней поверхности – 293 К. Помещение отапливается электроплитой. Определить ее мощность, если температура в помещении поддерживается постоянной. Теплопроводность кирпича $\gamma = 0{,}4 \text{Вт/м} \cdot \text{К}$.

а) $N = 0{,}67 \text{кВт}$; б) $N = 0{,}92 \text{кВт}$; в) $N = 0{,}76 \text{кВт}$;
г) $N = 0{,}82 \text{кВт}$; д) $N = 1{,}12 \text{кВт}$.

1.2.9. Тестовые задачи по основам термодинамики

9.1. Вычислить удельную теплоемкость $c_{Vñì}$ смеси двух газов (гелия массой $m_1 = 6$ г и азота массой $m_2 = 10$ г) при постоянном объеме.

а) $c_{Vсм} = 1{,}33 \dfrac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; б) $c_{Vсм} = 13{,}3 \dfrac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; в) $c_{Vсм} = 1{,}63 \dfrac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$;
г) $c_{Vсм} = 1{,}06 \dfrac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; д) $c_{Vсм} = 1{,}26 \dfrac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

9.2. Найти работу A расширения двухатомного идеального газа, которому при постоянном давлении сообщено количество теплоты $Q = 4{,}9 \text{кДж}$.

а) $A = 1 \text{кДж}$; б) $A = 2{,}7 \text{кДж}$; в) $A = 12 \text{кДж}$; г) $A = 3{,}1 \text{кДж}$;
д) $A = 1{,}4 \text{кДж}$.

9.3. Азот массой $m = 100$ г нагрет при постоянном давлении на $\Delta T = 50$ К. Найти работу расширения газа и приращение ΔU его внутренней энергии.

а) $A = 14{,}8 \text{кДж}$, $\Delta U = 37 \text{кДж}$; б) $A = 12{,}1 \text{кДж}$, $\Delta U = 37 \text{кДж}$;
в) $A = 14{,}8 \text{кДж}$, $\Delta U = 64 \text{кДж}$; г) $A = 15{,}2 \text{кДж}$, $\Delta U = 26 \text{кДж}$;
д) $A = 10{,}8 \text{кДж}$; $\Delta U = 23 \text{кДж}$.

9.4. Найти работу, совершаемую при изотермическом расширении кислорода массой $m = 20 \text{г}$, находящегося при температуре $t = -20^0 \text{C}$, если его давление изменяется от $P_1 = 500 \text{кПа}$ до $P_2 = 50 \text{кПа}$.

а) $A = 5$кДж ; б) $A = 8$кДж ; в) $A = 3$кДж ; г) $A = 2$кДж ;
д) $A = 2{,}6$кДж .

9.5. Баллон емкостью $V = 20$л с кислородом при давлении $P_1 = 10$мПа и температуре $t_1 = 7^\circ$С нагревается до $t_2 = 27^\circ$С. Какое количество теплоты при этом поглощает газ?

а) $Q = 307$кДж ; б) $Q = 327$кДж ; в) $Q = 347$кДж ;
г) $Q = 387$кДж ; д) $Q = 357$кДж .

9.6. Найти среднюю квадратичную скорость молекул идеального газа, если известна работа его изотермического расширения от объема V_1 до V_2=4V_1 равная A=600Дж. Масса газа $m = 20$г .

а) $\upsilon_{кв} = 222\,\frac{м}{с}$; б) $\upsilon_{кв} = 188\,\frac{м}{с}$; в) $\upsilon_{кв} = 255\,\frac{м}{с}$; г) $\upsilon_{кв} = 264\,\frac{м}{с}$;
д) $\upsilon_{кв} = 301\,\frac{м}{с}$.

9.7. Азот массой m=20г при температуре T_1=293К был сжат адиабатически. Объем газа уменьшился в n=5 раз. Найти температуру газа T_2 после сжатия.

а)T_2=228К; б)$T_2 = 336$К ; в)$T_2 = 558$К ; г)$T_2 = 634$К ; д)$T_2 = 524$К .

9.8. Азот, занимавший объем $V_1 = 6$л , адиабатически сжимался до объема $V_2 = 3$л . При этом давление повысилось до $P_2 = 1{,}5$МПа . Найти давление газа до сжатия.

а) $P_1 = 0{,}34$мПа ; б) $P_1 = 0{,}46$мПа ; в) $P_1 = 0{,}73$мПа ;
г) $P_1 = 0{,}57$мПа ; д) $P_1 = 1{,}27$мПа .

9.9. Определить скорость вылета поршня массой 4кг из цилиндра при адиабатическом расширении воздуха в 40 раз, если начальное давление воздуха 10^7 Па , а объем 0,3 л.

а) $\upsilon = 27\,\frac{м}{с}$; б) $\upsilon = 21\,\frac{м}{с}$; в) $\upsilon = 54\,\frac{м}{с}$; г) $\upsilon = 36\,\frac{м}{с}$; д) $\upsilon = 44\,\frac{м}{с}$.

9.10. Молекулярный пучок кислорода ударяется о неподвижную стенку. После соударения молекулы отражаются от стенки с той же по модулю скоростью. Определить давление пучка на стенку, если скорость молекул $500\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$ и концентрация молекул в пучке $5\cdot 10^{24}\,\text{м}^{-3}$.

а) $P = 2{,}45\cdot 10^{5}\,\text{Па}$; б) $P = 2{,}14\cdot 10^{5}\,\text{Па}$; в) $P = 2{,}56\cdot 10^{5}\,\text{Па}$;
г) $P = 1{,}13\cdot 10^{5}\,\text{Па}$; д) $P = 1{,}33\cdot 10^{5}\,\text{Па}$.

9.11. Объем газа при адиабатическом расширении увеличился в два раза, а температура уменьшилась в 1,32 раза. Найти число степеней свободы молекул этого газа.

а) $i = 2$; б) $i = 3$; в) $i = 4$; г) $i = 5$; д) $i = 6$.

9.12. Некоторый двухатомный газ подвергают политропному сжатию, в результате чего давление газа возросло от $P_1 = 10$ кПа до $P_2 = 30$ кПа, а объем газа уменьшился от $V_1 = 2{,}5$л до $V_2 = 1$л. Определить: 1) показатель политропы n; 2) изменение внутренней энергии ΔU газа.

а) $n = 2{,}3$, $\Delta U = 400$ Дж ; б) $n = 2{,}7$, $\Delta U = 600$ Дж;
в) $n = 0{,}6$, $\Delta U = 180$ Дж; г) $n = 1{,}2$, $\Delta U = 200$ Дж;
д) $n = 1{,}6$, $\Delta U = 340$ Дж.

9.13. Температура пара, поступающего в паровую машину, $t_1 = 127\,^{\circ}\text{C}$; температура в холодильнике $t_2 = 27\,^{\circ}\text{C}$. Определить теоретически максимальную работу при затрате количества теплоты $Q_1 = 4{,}2$кДж

а) $A = 0{,}95$кДж; б) $A = 2{,}25$кДж; в) $A = 1{,}65$кДж; г) $A = 1{,}45$кДж;
д) $A = 1{,}05$кДж.

9.14. Температура нагревателя тепловой машины 500 К. Температура холодильника 400 К. Определить кпд тепловой машины, работающей по циклу Карно, и полезную мощность машины, если нагреватель ежесекундно передаёт ей 1675 Дж теплоты.

а) $N = 215$ Вт, $\eta = 34\%$; б) $N = 335$ Вт, $\eta = 20\%$;

в) $N = 354$ Вт, $\eta = 28\%$; г) $N = 215$ Вт, $\eta = 20\%$;

д) $N = 278$ Вт, $\eta = 17\%$.

9.15. Кислород массой 1кг совершает цикл Карно. При изотермическом расширении газа его объем увеличивается в 2 раза, а при последующем адиабатическом расширении совершается работа 3000 Дж. Определить работу, совершенную за цикл.

а) $A = 983{,}2$Дж; б) $A = 800{,}4$Дж; в) $A = 741{,}5$Дж; г) $A = 878{,}8$Дж; д) $A = 831{,}6$Дж.

9.16. Холодильная машина работает по обратимому циклу Карно в интервале температур $t_1 = 27^\circ$C и $t_2 = -3^\circ$C. Рабочее тело – азот, масса которого $m = 0{,}2$кг. Найти количество теплоты, отбираемое от охлажденного тела, и работу внешних сил за цикл, если максимальный объем больше минимального в 5 раз. Вычислить холодильный коэффициент.

а) $Q_2 = 21{,}1$ кДж, $A^* = 2{,}1$ кДж, $e = 9$;

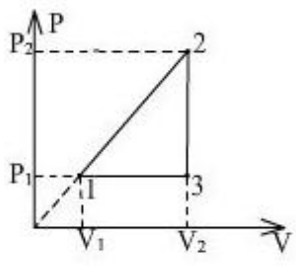
б) $Q_2 = 23{,}2$ кДж, $A^* = 1{,}9$ кДж, $e = 8$;

в) $Q_2 = 24{,}4$ кДж, $A^* = 2{,}4$ кДж, $e = 9$;

г) $Q_2 = 21{,}6$ кДж, $A^* = 2{,}4$ кДж, $e = 9$;

д) $Q_2 = 24{,}4$ кДж, $A^* = 2{,}8$ кДж, $e = 8$.

9.17. Гелий массой $m = 4$ г совершает цикл, изображённый на рисунке. Найти работу A, совершенную газом за один цикл, а также количество теплоты, принятое от нагревателя Q_1 и переданное холодильнику Q_2 за цикл, если $P_1 = 200$ кПа, $P_2 = 600$ кПа; $V_1 = 1$л, $V_2 = 3$л.



а) $A = 600$ Дж, $Q_1 = 3200$ Дж, $Q_2 = 2500$ Дж;

б) $A = 820$ Дж, $Q_1 = 3120$ Дж, $Q_2 = 2300$ Дж;

в) $A = 910$ Дж, $Q_1 = 3340$ Дж, $Q_2 = 2330$ Дж;

г) $A = 400$ Дж, $Q_1 = 3200$ Дж, $Q_2 = 2800$ Дж;

д) $A = 400$ Дж, $Q_1 = 3200$ Дж, $Q_2 = 2300$ Дж.

9.18. Лед массой 2кг, находящийся при температуре $t_1 = -10^{\circ}\text{C}$, нагрели и превратили в пар. Определить изменение энтропии.

а) $\Delta S = 2{,}34 \cdot 10^4 \dfrac{\text{Дж}}{\text{К}}$; б) $\Delta S = 1{,}41 \cdot 10^4 \dfrac{\text{Дж}}{\text{К}}$; в) $\Delta S = 2{,}65 \cdot 10^4 \dfrac{\text{Дж}}{\text{К}}$;

г) $\Delta S = 1{,}73 \cdot 10^4 \dfrac{\text{Дж}}{\text{К}}$; д) $\Delta S = 1{,}97 \cdot 10^4 \dfrac{\text{Дж}}{\text{К}}$.

9.19. Определить изменение энтропии ΔS при изотермическом расширении азота массой $m = 10$ г, если давление газа уменьшилось от $P_1 = 0{,}1$ МПа до $P_2 = 50$ кПа.

а) $\Delta S = 2{,}5 \ \dfrac{\text{Дж}}{\text{К}}$; б) $\Delta S = 2{,}14 \ \dfrac{\text{Дж}}{\text{К}}$; в) $\Delta S = 2{,}06 \ \dfrac{\text{Дж}}{\text{К}}$;

г) $\Delta S = 3{,}02 \ \dfrac{\text{Дж}}{\text{К}}$; д) $\Delta S = 2{,}67 \ \dfrac{\text{Дж}}{\text{К}}$.

9.20. Азот массой $m = 100$ г был изобарно нагрет так, что его объем увеличился в 2 раза, а затем был изохорно охлажден так, что его давление уменьшилось в 2 раза. Определить изменение энтропии ΔS в ходе указанных процессов.

а) $\Delta S = 15{,}8 \ \dfrac{\text{Дж}}{\text{К}}$; б) $\Delta S = 20{,}6 \ \dfrac{\text{Дж}}{\text{К}}$; в) $\Delta S = 24{,}3 \ \dfrac{\text{Дж}}{\text{К}}$;

г) $\Delta S = 25 \ \dfrac{\text{Дж}}{\text{К}}$; д) $\Delta S = 26{,}2 \ \dfrac{\text{Дж}}{\text{К}}$.

1.2.10. Тестовые задачи по реальным газам и насыщенным парам

10.1. Углекислый газ массой $m = 10$ г находится в сосуде вместимостью $V = 1$л. Определить: 1) собственный объем V' молекул газа; 2) внутреннее давление P' газа. Поправки Ван-дер-Ваальса:

$a = 0{,}361 \ \text{Н} \cdot \text{м}^4/\text{моль}^2$ и $b = 4{,}28 \cdot 10^{-5} \text{м}^3/\text{моль}^2$

а) $V' = 2{,}43 \ \text{см}^3$, $P' = 18{,}6$ кПа ; б) $V' = 2{,}15 \ \text{см}^3$, $P' = 15{,}4$ кПа;

в) $V' = 2{,}15 \ \text{см}^3$, $P' = 16{,}8$ кПа; г) $V' = 2{,}09 \ \text{см}^3$, $P' = 16{,}8$ кПa;

д) $V' = 3{,}23 \ \text{см}^3$, $P' = 14{,}5$ кПа, 10.2. Вычислить поправки Ван-дер-Ваальса для кислорода, если критическая температура $T_{кр} = 15К$ и критическое давление $P_{кр} = 5{,}08 \cdot 10^6 \text{Па}$.

а) $a = 0{,}138 \text{Н} \cdot \text{м}^4/\text{моль}^2, b = 3{,}17 \cdot 10^{-5} \text{м}^3/\text{моль}^2$;
б) $a = 0{,}216 \text{Н} \cdot \text{м}^4/\text{моль}^2, b = 4{,}21 \cdot 10^{-5} \text{м}^3/\text{моль}^2$;
в) $a = 0{,}345 \text{Н} \cdot \text{м}^4/\text{моль}^2, b = 5{,}34 \cdot 10^{-5} \text{м}^3/\text{моль}^2$;
г) $a = 0{,}429 \text{Н} \cdot \text{м}^4/\text{моль}^2, b = 6{,}68 \cdot 10^{-5} \text{м}^3/\text{моль}^2$;
д) $a = 0{,}585 \text{Н} \cdot \text{м}^4/\text{моль}^2, b = 9{,}72 \cdot 10^{-5} \text{м}^3/\text{моль}^2$.

10.3. Углекислый газ массой $m = 10\text{кг}$ адиабатно расширяется в вакуум от $V_1 = 1\text{м}^3$ до $V_{21} = 2\text{м}^3$. Принимая поправку Ван-дер-Ваальса $a = 0{,}361 \text{Н} \cdot \text{м}^4/\text{моль}^2$, определить понижение температуры ΔT газа при этом расширении.

а) $\Delta T = -0{,}95\text{К}$; б) $\Delta T = -1{,}35\text{К}$;
в) $\Delta T = -1{,}65\text{К}$; г) $\Delta T = -2{,}3\text{К}$; д) $\Delta T = -3{,}55\text{К}$.

10.4. Азот количеством вещества $\nu = 2\text{моль}$, занимавший при температуре $T = 350\text{К}$ объем $V_1 = 2 \cdot 10^{-3} \text{м}^3$, расширяется изотермически до объема $V_2 = 3V_1$. Принимая поправки Ван-дер-Ваальса $a = 0{,}136 \text{Н} \cdot \text{м}^4/\text{моль}^2$ и $b = 3{,}86 \cdot 10^{-5} \text{м}^3/\text{моль}^2$ определить: 1) работу A расширения газа; 2) изменение внутренней энергии ΔU газа.

а) $A = 3{,}12\text{кДж}, \Delta U = 96\text{Дж}$; б) $A = 4{,}36\text{кДж}, \Delta U = 112\text{Дж}$;
в) $A = 4{,}78\text{кДж}, \Delta U = 124\text{Дж}$; г) $A = 5{,}84\text{кДж}, \Delta U = 169\text{Дж}$;
д) $A = 6{,}36\text{кДж}, \Delta U = 181\text{Дж}$.

10.5. Какую температуру T имеет масса m = 3,5 г кислорода занимающего объем V = 90см^3 при давлении P = 2,8МПа? Газ рассматривать как: 1) идеальный; 2) реальный.

а) 1- $T = 278K$, 2 - $T = 280K$; б) 1- $T = 250K$, 2 - $T = 200K$;
в) 1- $T = 356K$, 2 - $T = 350K$; г) 1- $T = 180K$, 2 - $T = 180K$;
д) 1- $T = 277K$, 2 - $T = 285{,}7K$;

10.6. В закрытом сосуде объёмом V =0,5 м^3 находится количество ν = 0,6 кмоль углекислого газа при давлении P = 3 МПа. Пользуясь уравнением Ван-дер-Ваальса, найти, во сколько раз надо увеличить температуру газа, чтобы давление увеличилось вдвое.

а) $\frac{T_2}{T_1} = 1{,}35$; б) $\frac{T_2}{T_1} = 1{,}55$; в) $\frac{T_2}{T_1} = 1{,}85$; г) $\frac{T_2}{T_1} = 1{,}65$; д) $\frac{T_2}{T_1} = 1{,}75$;

10.7. Количество ν = 1 кмоль кислорода находится при температуре $t=21°$ С и давлении P= 10МПа. Найти объем V газа, считая, что кислород при данных условиях ведёт себя как реальный газ.

а) $V = 232$ л; б) $V = 231$ л; в) $V = 130$ л; г) $V = 300$ л; д) $V = 95$ л;

10.8. Найти эффективный диаметр σ молекулы кислорода, считая известными для кислорода критические значения $T_к$ и $P_к$.

а) $\sigma=300\cdot10^{-12}$м; б) $\sigma=250\cdot10^{-12}$м; в) $\sigma=294\cdot10^{-12}$м;
г) $\sigma=115\cdot10^{-12}$м; д) $\sigma=102\cdot10^{-12}$м;

10.9. Найти коэффициент диффузии D гелия при температуре t= 17° С и давлении P = 150 КПа. Эффективный диаметр атома σ вычислить, считая известными для гелия критические значения T_K и $P_к$.

а) $D \approx 0{,}5\cdot10^{-5}$ м²/с; б) $D \approx 4{,}5\cdot10^{-5}$ м²/с; в) $D \approx 3{,}5\cdot10^{-5}$ м²/с;
г) $D \approx 1{,}5\cdot10^{-5}$ м²/с; д) $D \approx 5{,}5\cdot10^{-5}$ м²/с.

10.10. Найти давление P_1, обусловленное силами взаимодействия молекул, заключённых в количестве ν = 1 кмоль газа при нормальных условиях. Критическая температура и критическое давление этого газа равны $T_к$ = 417 К и $P_к$ = 7,7 МПа.

а) $P_1 = 1{,}32$ кПа; б) $P_1 = 0{,}89$ кПа; в) $P_1 = 5{,}5$ кПа;
г) $P_1 = 0{,}68$ кПа; д) $P_1 = 2{,}3$ кПа.

10.11. Найти плотность $\rho_н$ насыщенного водяного пара при температуре t = 50° С.

а) $\rho_н = 0{,}32$ кг/м³; б) $\rho_н = 3{,}92$ кг/м³; в) $\rho_н = 2{,}32$ кг/м³;
г) $\rho_н = 0{,}55$ кг/м³; д) $\rho_н = 0{,}82$ кг/м³.

10.12. В замкнутом объёме V = 1м^3 относительная влажность воздуха ω = 0,6 при температуре t = 20° С. Какая масса Δm воды должна ещё испариться в этот объем, чтобы водяной пар стал насыщенным?

а) $\Delta m = 6{,}88$г; б) $\Delta m = 7{,}02$г; в) $\Delta m = 4{,}77$г;
г) $\Delta m = 6{,}98$г; д) $\Delta m = 5{,}44$г.

10.13. Найти число n молекул насыщенного водяного пара, содержащихся в единице объёма при температуре t_1 = 30° С.

а) n=1,011·10^{24}м$^{-3}$; б) n=1,051·10^{24}м$^{-3}$; в) n=1,021·10^{24}м$^{-3}$;
г) n=1,091·10^{24}м$^{-3}$; д) n=1,001·10^{24}м$^{-3}$.

10.14. Масса m = 0,5 г водяного пара занимает объем V_1 = 10 л при температуре t = 50° С, какова при этом относительная влажность ω ? Какая масса Δm пара сконденсируется, если изотермически уменьшить объем от V_l до V_2 = V_l / 2 ?

а) ω=60,6%, Δm =87,5мг; б) ω=62,6%, Δm =87,5мг;
в) ω=63,6%, Δm =85,5мг; г ω=60,6%, Δm =97,5мг;
д) ω=61,6%, Δm =86,5мг.

10.15. Найти удельный объем ν воды в жидком и парообразном состояниях при нормальных условиях.

а) $\nu_{ж} = 2\cdot 10^{-3}$м^3/кг, $\nu_{п} = 1{,}09$м^3/кг;
б) $\nu_{ж} = 3\cdot 10^{-3}$м^3/кг, $\nu_{п} = 1{,}25$м^3/кг;
в) $\nu_{ж} = 10^{-2}$м^3/кг, $\nu_{п} = 3{,}25$м^3/кг;
г) $\nu_{ж} = 10^{-4}$м^3/кг, $\nu_{п} = 0{,}25$м^3/кг;
д) $\nu_{ж} = 10^{-3}$м^3/кг, $\nu_{п} = 1{,}25$м^3/кг.

10.16. Какая часть теплоты парообразования воды при температуре t= 100° С идёт на увеличение внутренней энергии системы?

а) $\frac{\Delta W}{r_0} = 82{,}5\%$; б) $\frac{\Delta W}{r_0} = 75{,}4\%$; в) $\frac{\Delta W}{r_0} = 92{,}4\%$;
г) $\frac{\Delta W}{r_0} = 68{,}9\%$; д) $\frac{\Delta W}{r_0} = 98{,}8\%$.

10.17. Удельная теплота парообразования бензола C_6H_6 при температуре t= 77° С равна r = 398 кДж/кг. Найти изменение внутренней энергии ΔW при испарении массы Δm = 20 г бензола.

а) ΔW=6,54кДж; б) ΔW=8,63кДж; в) ΔW=7,72кДж;
г) ΔW=7,21кДж; д) ΔW=9,28кДж.

10.18. Температура кипения бензола (C_6H_6) при давлении P = 0,1 МПа равна $t_к$ = 80,2°С. Найти давление $p_н$ насыщенного пара бензола при температуре t= *75,6° С.* Среднее значенье удельной теплоты парообразования бензола в данном интервале температур принять равным r = 0,4 МДж/кг.

а) $p_н \approx 85 \cdot 10^3$ Па; б) $p_н \approx 81 \cdot 10^3$ Па; в) $p_н \approx 87 \cdot 10^3$ Па;
г) $p_н \approx 86 \cdot 10^3$ Па; д) $p_н \approx 93 \cdot 10^3$ Па.

10.19. Давления насыщенного пара этилового спирта (C_2H_5OH) при температурах t_1=40° С и t_2=60°С равны p_1=17.7кПа и p_2=67,9кПа. Найти изменение энтропии ΔS при испарении массы Δm = lг этилового спирта, находящегося при температуре t = 50° С.

а) ΔS=1,98Дж/К; б) ΔS=0,55Дж/К; в) ΔS=2,92Дж/К;
г) ΔS=3,22Дж/К; д) ΔS=7,52Дж/К.

10.20. Изменение энтропии при испарении количества $\Delta\nu$ = 1моль некоторой жидкости, находящейся при температуре t_1=50°С, равно ΔS = 133Дж/К. Давление насыщенного пара при температуре t_1 = 50° С равно p_1 = 12,33 кПа. На сколько меняется давление насыщенного пара жидкости при изменении Температуры от t_1= 50° С до t_1= 51^0 С?

а) Δp=634Па; б) Δp=589Па; в) Δp=977Па;
г) Δp=624Па; д) Δp=824Па.

1.2.11. Тестовые задачи по жидкостям и твёрдому телу.

11.1. Определить изменение свободной энергии ΔE поверхности мыльного пузыря при изотермическом увеличении его объёма от $V_1 = 10 см^3$ до $V_2 = 2V_1$.

а) $\Delta E = 106 \cdot 10^{-6}$ Дж; б) $\Delta E = 154 \cdot 10^{-6}$ Дж; в) $\Delta E = 234 \cdot 10^{-6}$ Дж;

д) $\Delta E = 257 \cdot 10^{-6}$ Дж; г) $\Delta E = 467 \cdot 10^{-6}$ Дж.

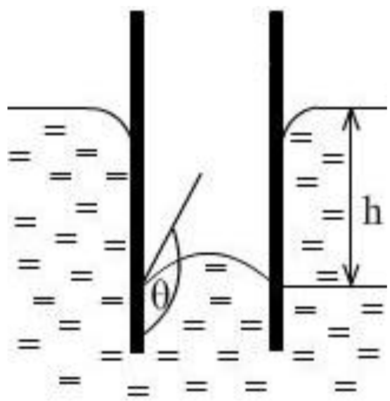
11.2. Ртуть массой $m = 5$г помещена между двумя параллельными стеклянными пластинками. Считая, что ртуть стекло не смачивает, определить силу F, которую следует приложить, чтобы расплющить каплю до толщины $h = 0{,}15$мм. Плотность ртути $\rho = 13{,}6$г/см^3, а ее поверхностное натяжение $\sigma = 0{,}5$Н/м.

а) $F = 6{,}14$Н; б) $F = 8{,}46$Н; в) $F = 10{,}86$Н; г) $F = 16{,}4$Н;
д) $F = 25{,}69$Н.

11.3. Вертикальный капилляр с внутренним диаметром $d = 0{,}04$см погружен в воду. Определить, на какую высоту h поднимется вода в капилляре, если поверхностное натяжение воды $\sigma = 73$мН/м, а ее плотность $\rho = 1$г/см^3. Считать, что вода полностью смачивает стекло.

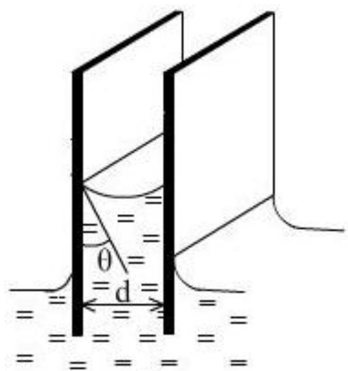
а) $h = 2{,}34$см; б) $h = 3{,}58$см; в) $h = 6{,}84$см; г) $h = 7{,}44$см;
д) $h = 9{,}21$см.

11.4. Вертикальный стеклянный капилляр с внутренним радиусом $r = 0{,}2$мм помещен в ртуть, которая опускается в капилляре на глубину $h = 3{,}75$см (см. рисунок). Определить поверхностное натяжение σ ртути, если ее плотность $\rho = 13{,}6$г/см^3. Считать, что ртуть не смачивает стекло.



а) $\sigma = 0{,}3$Н/м; б) $\sigma = 0{,}4$Н/м; в) $\sigma = 0{,}5$Н/м; г) $\sigma = 0{,}6$Н/м;
д) $\sigma = 0{,}7$Н/м.

11.5. Две одинаковые длинные плоскопараллельные пластины, расстояние между которыми $d = 1$мм, погружены в воду (см. рисунок). Считая смачивание полным, определить, на какую высоту h поднимется вода в зазоре. Плотность воды $\rho = 1$г/см^3, а ее поверхностное натяжение $\sigma = 73$мН/м.



а) $h = 1{,}21$см; б) $h = 1{,}49$см; в) $h = 2{,}16$см; г) $h = 3{,}2$см;
д) $h = 4{,}84$см.

11.6. Из капиллярной трубки с радиусом канала 0,2мм по капле вытекает жидкость. Масса 100 капель равна 0,282г. Определить коэффициент поверхностного натяжения жидкости.

а) $\sigma = 1{,}4 \cdot 10^{-2}$ Н/м; б) $\sigma = 2{,}2 \cdot 10^{-2}$ Н/м; в) $\sigma = 3{,}6 \cdot 10^{-2}$ Н/м;
г) $\sigma = 4{,}8 \cdot 10^{-2}$ Н/м; д) $\sigma = 5{,}6 \cdot 10^{-2}$ Н/м.

11.7. Найти добавочное давление внутри мыльного пузыря диаметром 10см. Какую работу нужно совершить, чтобы выдуть этот пузырь?

а) $2{,}5 \cdot 10^{-3}$ Дж; б) $3 \cdot 10^{-3}$ Дж; в) $4 \cdot 10^{-3}$ Дж; г) $4{,}5 \cdot 10^{-3}$ Дж;
д) $5{,}5 \cdot 10^{-3}$ Дж.

11.8. В сообщающихся капиллярных трубках с диаметрами $d_1 = 1$мм и $d_2 = 1{,}5$мм разность уровней ртути $\Delta h = 5$мм. Определить поверхностное натяжение ртути. Смачивание считать полным.

а) $\sigma = 5{,}5$Н/м; б) $\sigma = 3{,}5$Н/м; в) $\sigma = 2{,}5$Н/м; г) $\sigma = 1{,}5$Н/м;
д) $\sigma = 0{,}5$Н/м.

11.9. В боковую поверхность сосуда вставлен горизонтальный капилляр, внутренний радиус которого r = 1 мм и длина l = 1,5 см. В сосуд напит глицерин, динамическая вязкость которого η = 1,0 Па·с. Уровень глицерина в сосуде поддерживается постоянным на высоте h = 0,18 м выше капилляра. Какое время потребуется на то, чтобы из капилляра вытек объем глицерина $V = 5$ см^3?

а) $t = 1{,}5$мин; б) $t = 3{,}5$мин; в) $t = 2{,}5$мин; г) $t = 4{,}5$мин.

11.10. Какую работу A против сил поверхностного натяжения надо совершить, чтобы разделить сферическую каплю ртути радиусом R = 3 мм на две одинаковые капли?

а) $A = 197$мкДж; б) $A = 147$мкДж;
в) $A = 126$мкДж; г) $A = 367$мкДж.

11.11. Температура плавления железа изменяется на $\Delta T = 0{,}12$К при изменении давления на $\Delta p = 98$кПа. На сколько меняется при плавлении объем количества ν = 1 кмоль железа?

а) $\Delta V = 1{,}56$л; б) $\Delta V = 1{,}13$л; в) $\Delta V = 1{,}778$л; г) $\Delta V = 1{,}03$л.

11.12. Пользуясь законом Дюлонга и Пти, найти, из какого материала сделан металлический шарик массой m = 0,025 кг, если известно, что для его нагревания от t_1 = 10° С до t_2 =30° С потребовалось затратить количество теплоты Q= 117 Дж.

а) $M = 0{,}195$кг/моль (платина); б) $M = 0{,}107$кг/моль (серебро);
в) $M = 0{,}139$кг/моль (лантан); г) $M = 0{,}065$кг/моль (цинк).

11.13. Какую силу F надо приложить к концам стального стержня с площадью поперечного сечения S = 10 см^2, чтобы не дать ему расшириться при нагревании от t_0 = 0° С до t = 30° С?

а) $F = 121$кН; б) $F = 45$кН; в) $F = 98$кН; г) $F = 71$кН.

11.14. Какую длину l_0 должны иметь при температуре t_0 = 0° С стальной и медный стержни, чтобы при любой температуре стальной стержень был длиннее медного на Δl = 5 см?

а) $t_2 = 21$°С; б) $t_2 = 45$°С; в) $t_2 = 30$°С; г) $t_2 = 20$°С.

11.15. При растяжении медной проволоки, поперечное сечение которой S = 1,5 мм^2, начало остаточной деформации наблюдалось при нагрузке F = 44,1 Н. Каков предел упругости p материала проволоки?

а) $p_{\max} = 18{,}4$МПа; б) $p_{\max} = 30{,}6$МПа;
в) $p_{\max} = 19{,}5$МПа; г) $p_{\max} = 29{,}4$МПа.

11.16. К стальной проволоке радиусом r = 1 мм подвешен груз массой m = 100 кг. На какой наибольший угол α можно отклонить проволоку с грузом, чтобы она не разорвалась при прохождении этим грузом положения равновесия?

а) $\alpha = 75{,}5$°; б) $\alpha = 32{,}7$°; в) $\alpha = 78{,}9$°; г) $\alpha = 180$°.

11.17. Имеется резиновый шланг длиной l = 50 см и внутренним диаметром d_1 = 1 см. Шланг натянули так, что его длина стала на Δl = 10 см больше. Найти внутренний диаметр d_2 натянутого шланга, если коэффициент Пуассона для резины $\mu = 0{,}5$.

а) $d_2 = 9 \cdot 10^{-3}$м; б) $d_2 = 6 \cdot 10^{-3}$м; в) $d_2 = 8 \cdot 10^{-3}$м; г) $d_2 = 5 \cdot 10^{-3}$м.

11.18. Найти коэффициент Пуассона μ, при котором объем проволоки при растяжении не меняется.

а) $\mu = 0{,}3$; б) $\mu = 0{,}5$; в) $\mu = 0{,}4$; г) $\mu = 0{,}9$.

11.19. Найти момент пары сил M необходимый для закручивания проволоки длиной l= 10 см и радиусом r = 0,1 мм на угол $\varphi = 10'$. Модуль сдвига материала проволоки N = 4,9 $\cdot 10^{10}$ Па.

а) M =2,25$\cdot 10^{-7}$Н$\cdot$м; б) M =2,26$\cdot 10^{-7}$Н$\cdot$м;
в) M =2,24$\cdot 10^{-7}$Н$\cdot$м; г) M =2,23$\cdot 10^{-7}$Н$\cdot$м.

11.20. Найти потенциальную энергию W проволоки длиной l = 5 см и диаметром d= 0,04 мм, закрученной на угол $\varphi = 10'$. Модуль сдвига материала проволоки N = 5,9 $\cdot$ 10^{10} Па.

а) W =1,20$\cdot 10^{-12}$Дж; б) W =1,40$\cdot 10^{-12}$Дж;
в) W =1,30$\cdot 10^{-12}$Дж; г) W =1,25$\cdot 10^{-12}$Дж.

2. Электричество и магнетизм

2.1.1. Электростатика. Основные понятия и формулы

Закон сохранения заряда:

$$q_1 + q_2 + ... + q_n = \sum_{i=1}^{n} q_i = const,$$

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

Закон Кулона:

$$\vec{F} = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r},$$

где $\vec{F}$ - сила взаимодействия двух точечных зарядов q_1 и q_2; $\vec{r}$ - вектор проведенный от q_1 к q_2; r - модуль этого вектора;

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \, \text{Н} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{Кл}^2}, \quad \varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \, \frac{\text{Ф}}{\text{м}}.$$

Модуль вектора $\vec{F}$: $F = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$.

Напряженность электрического поля:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_+},$$

где q_+ - единичный пробный точечный положительный заряд.

Модуль напряженности поля, создаваемого точечным зарядом q:

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2}.$$

Принцип суперпозиции. Результирующая сила $\vec{F}$, действующая на точечный заряд в электрическом поле, созданном системой точечных зарядов равна геометрической сумме сил действующих со стороны каждого заряда в отдельности:

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

Напряжённость поля, создаваемого системой точечных зарядов:

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

а в случае протяженных зарядов:

$$\vec{E} = \int d\vec{E},$$

где $d\vec{E}$ - поле, создаваемое зарядом dq.

Диполь - система двух разных по абсолютной величине, но противоположных по знаку зарядов.

Электрический момент диполя:

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

где $\vec{l}$ - плечо диполя (рис.1.1).

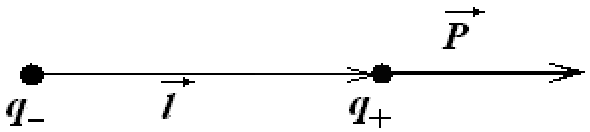


Рис.1.1

Поток вектора $\vec{E}$ через произвольную поверхность S:

$$\Phi_E = \oint_S E\cos\alpha dS \text{ или } \Phi_E = \oint_S E_n dS, \quad \Phi_E = \oint_S \vec{E}d\vec{S},$$

где α - угол между вектором $\vec{E}$ и нормалью $\vec{n}$ к элементу поверхности; dS - площадь элемента поверхности; E_n - проекция вектора напряженности на нормаль.

Теорема Гаусса:

$$\Phi_E = \frac{1}{\varepsilon_0} \cdot \sum_{i=1}^{n} q_i,$$

где $\sum_{i=1}^{n} q_i$ - алгебраическая сумма зарядов, заключенных внутри замкнутой поверхности.

Модуль напряженности поля, создаваемого бесконечно длинной равномерно заряженной нитью:

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{2\tau}{r},$$

где $\tau = \dfrac{dq}{dl}$ - линейная плотность заряда.

Модуль напряженности поля, создаваемого бесконечной равномерно заряженной плоскостью:

$$E = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma}{\varepsilon_0},$$

где $\sigma = \dfrac{dq}{dl}$ - поверхностная плотность заряда.

Модуль напряжённости поля, создаваемого заряжённой металлической сферой:

а) внутри сферы – E=0;

б) на поверхности сферы – $E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{R^2}$, где R - радиус сферы;

в) вне сферы – $E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2}$, где r –расстояние от центра сферы до точки.

Поляризованность диэлектрика:

$$\vec{P} = \frac{\vec{P}_V}{V} = \frac{\sum_i \vec{P}_i}{V},$$

где V – объём диэлектрика; $\vec{P}_V = \sum_i \vec{P}_i$ – дипольный момент диэлектрика, $\vec{P}_i$ – дипольный момент i - той молекулы.

Связь между поляризованностью диэлектрика и напряжённостью электростатического поля можно выразить формулой:

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

где χ – диэлектрическая восприимчивость вещества; ε_0 – электрическая постоянная.

Связь диэлектрической проницаемости ε с диэлектрической восприимчивостью χ можно выразить формулой: $\varepsilon = 1 + \chi$.

Связь между величиной напряжённости $\vec{E}$ поля в диэлектрике и величиной напряжённости $\vec{E}_0$ внешнего поля можно записать следующим образом:

$$E = E_0 - \frac{P}{\varepsilon_0}; \quad E = \frac{E_0}{\varepsilon},$$

где P – величина поляризованности; ε – диэлектрическая проницаемость.

Связь между векторами электрического смещения $\vec{D}$, напряжённости электростатического поля $\vec{E}$ и поляризованности $\vec{P}$:

$\vec{D} = \varepsilon_0\varepsilon\vec{E}$, $\quad \vec{D} = \varepsilon_0\vec{E} + \vec{P}$, где ε - относительная диэлектрическая проницаемость.

Теорема Гаусса для поля в диэлектрике:

$$\Phi_D = \oint_S D_n dS = \sum_{i=1}^{n} q_i^{cb},$$

где $\sum_{i=1}^{n} q_i^{cb}$ - алгебраическая сумма свободных зарядов, находящихся внутри замкнутой поверхности S.

Потенциал электрического поля в точке (B):

$$\varphi(B) = \frac{W(B)}{q_+} = \frac{A_{B,\infty}}{q_+} = \int_B^{\infty} E_e dl,$$

где $W(B)$ – потенциальная энергия заряда находящегося в точке (B); $A_{B,\infty}$ - работа сил электростатического поля по перемещению заряда из данной точки (B) в бесконечность; E_e - проекция вектора $\vec{E}$ на направление перемещения; q_+ - пробный заряд.

Потенциал поля, создаваемый точечным зарядом на расстоянии r от заряда q: $\varphi = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$.

Потенциал поля, созданного системой точечных зарядов:

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

где $\sum\limits_{i=1}^{n} \varphi_i$ - алгебраическая сумма потенциалов, создаваемых отдельными зарядами в данной точке.

Потенциал поля связан с напряженностью электростатического поля соотношением:

$$\vec{E} = -grad\varphi;$$

где $grad\varphi = \dfrac{\partial\varphi}{\partial x}\vec{i} + \dfrac{\partial\varphi}{\partial y}\vec{j} + \dfrac{\partial\varphi}{\partial z}\vec{k}$.

Для сферически симметричного поля, эта связь выражается формулой: $\vec{E} = -\dfrac{\partial\varphi}{\partial r} \cdot \dfrac{\vec{r}}{r}$, или в скалярной форме $E = -\dfrac{\partial\varphi}{\partial r}$.

В случае однородного поля:

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

где d – расстояние между двумя эквипотенциальными поверхностями с потенциалами φ_1 и φ_2.

Работа сил поля по перемещению точечного заряда q из одной точки поля в другую:

$$A = \int_{\vec{r}_1}^{\vec{r}_2} \vec{F}(\vec{r})d\vec{r} = q\int_{\vec{r}_1}^{\vec{r}_2} \vec{E}(\vec{r})d\vec{r} = q\int_{\vec{r}_1}^{\vec{r}_2} E_r dr, \text{ или } \quad A = q(\varphi_1 - \varphi_2),$$

где E_r - проекция вектора напряжённости $\vec{E}$ на направление перемещения.

Разность потенциалов между точками 1 и 2 в электростатическом поле $\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q_+} = \int\limits_1^2 \vec{E}d\vec{l} = \int\limits_1^2 E_l dl,$

где A_{12} – работа, совершаемая силами электростатического поля при перемещении заряда q_+ из точки 1 в точку 2; E_l – проекция вектора $\vec{E}$ на направление элементарного перемещения $d\vec{l}$ (интегрирование производится вдоль любой линии, соединяющей начальную и конечную точки, так как работа сил электростатического поля не зависит от траектории перемещения).

Разность потенциалов между точками, находящимися на расстоянии x_1 и x_2 от равномерно заряжённой бесконечной плоскости,

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int\limits_{x_1}^{x_2} Edx = \int\limits_{x_1}^{x_2} \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} dx = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}(x_2 - x_1),$$

где σ – поверхностная плотность заряда.

Разность потенциалов между бесконечными разноименными заряжёнными плоскостями, расстояние между которыми равно d

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int\limits_0^d Edx = \int\limits_0^d \frac{\sigma}{\varepsilon_0} dx = \int\limits_0^d \frac{\sigma}{\varepsilon_0} d.$$

Разность потенциалов между двумя точками, лежащими на расстояниях r_1 и r_2 от центра равномерно заряжённой сферической поверхности (объёмно заряжённого шара) радиусом R с общим зарядом q, причем $r_1 > R, r_2 > R, r_2 > r_1$,

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int\limits_{r_1}^{r_2} Edr = \int\limits_{r_1}^{r_2} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q}{r^2} dr = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right).$$

Разность потенциалов между двумя точками, лежащими на расстояниях r_1 и r_2 от центра заряжённого шара радиусом R с общим зарядом q, причём $r_1 < R, r_2 < R, r_2 > r_1$,

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int\limits_{r_1}^{r_2} Edr = \int\limits_{r_1}^{r_2} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q}{R^3} dr = \frac{q}{8\pi\varepsilon_0 R^3}\left(r_2^2 - r_1^2\right).$$

Разность потенциалов между двумя точками, находящимися на расстояниях r_1 и r_2 от оси равномерно заряжённого с линейной плотностью τ бесконечного цилиндра радиусом R, причём $r_1 > R, r_2 > R, r_2 > r_1$,

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int\limits_{r_1}^{r_2} Edr = \int\limits_{r_1}^{r_2} \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0} \frac{dr}{r} = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1}.$$

Электроёмкость уединённого проводника:

$$C = \frac{|q|}{|\varphi|},$$

где q - заряд проводника; φ - потенциал проводника.

Электроёмкость конденсатора:

$$C = \frac{|q|}{|\Delta\varphi|},$$

где $\Delta\varphi$ - разность потенциалов пластин конденсатора; q - заряд пластины конденсатора.

Электроёмкость сферы радиусом R - $C = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon R$.

Электроёмкость плоского конденсатора:

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d},$$

где d - расстояние между пластинами конденсатора; S - площадь пластины (одной) конденсатора; ε - диэлектрическая проницаемость диэлектрика, заполняющего пространство между пластинами.

Электроёмкость сферического конденсатора (две концентрические сферы радиусом R_1 и R_2, пространство между которыми заполнено диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε): $C = \dfrac{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R_1 R_2}{R_2 - R_1}$.

Электроёмкость цилиндрического конденсатора (два коаксиальных цилиндра длиной l и радиусами R_1 и R_2, пространство между которыми заполнено диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε):

$$C = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon l}{ln\left(\dfrac{R_2}{R_1}\right)}.$$

Общая электроёмкость последовательно соединенных конденсаторов:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots\ldots + \frac{1}{C_n} = \sum_{i=1}^{n}\frac{1}{C_i},$$

где n - число конденсаторов.

Общая электроёмкость параллельно соединенных конденсаторов:

$$C = C_1 + C_2 + \ldots + C_n = \sum_{i=1}^{n} C_i .$$

Энергия заряжённого конденсатора:

$$W = \frac{q\Delta\varphi}{2} = \frac{C\Delta\varphi^2}{2} = \frac{q^2}{2C}.$$

Энергия взаимодействия системы точечных зарядов:

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

где φ_i – потенциал, создаваемый в точке, где находится заряд q_i, всеми зарядами, кроме i-того.

Энергия электрического поля в объёме V:

$$W = \int_V \omega dV,$$

где $\omega = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2} = \frac{ED}{2}$ – объёмная плотность энергии; dV – бесконечно малый объём.

Сила притяжения между пластинами плоского конденсатора:

$$F = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2 S}{2} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 U^2 S}{2d^2} = \frac{\sigma^2 S}{2\varepsilon \varepsilon_0}.$$

2.1.2. Законы постоянного тока. Основные понятия и формулы

Количественной характеристикой интенсивности движения зарядов является сила тока i:

$$|i| = \frac{|dq|}{dt},$$

где dq — заряд, прошедший через поверхность S внутри проводника за время dt.

Если ток создается и положительными и отрицательными носителями заряда, то

$$|i| = \frac{|dq_+|}{dt} + \frac{|dq_-|}{dt},$$

где dq_+ и dq_- — положительный и отрицательный заряды, прошедшие через рассматриваемую поверхность за время dt.

В случае постоянного тока:

$$|I| = \frac{|q|}{t},$$

где q — заряд, прошедший через данную поверхность S за конечный промежуток времени t.

Величина вектора плотности тока. Если dS — элементарная площадка, α — угол между нормалью к этой площадке и направлением поля в том месте, где расположена площадка, dI – ток, протекающий через dS (рис. 2.1), то числовое значение вектора равно:

$$j = \frac{|dI|}{dS\cos\alpha} = \frac{|dI|}{dS_\perp},$$

где dS — элементарная площадка, $dS_\perp = dS\cos\alpha$ — проекция dS на плоскость, перпендикулярную к линиям поля, α — угол между нормалью к этой площадке и направлением поля в том месте, где расположена площадка, dI — ток, протекающий через dS (рис. 2.1).

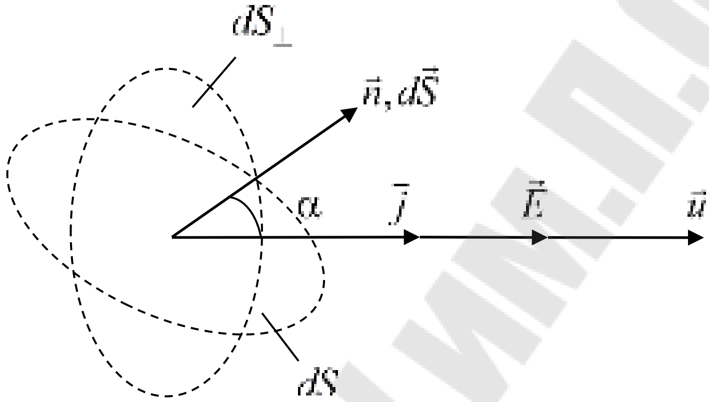


Рис.2.1.

Ток, протекающий через элементарную площадку dS, ориентированную в проводнике произвольно равен:

$$dI = jdS\cos\alpha = \vec{j}d\vec{S},$$

где $d\vec{S}$ — вектор, численно равный dS и направленный по нормали к площадке dS.

Ток, протекающий через всю поверхность S: $I = \int\limits_S \vec{j}d\vec{S}$.

Связь плотности тока со средней скоростью $\langle\vec{u}\rangle$ направленного движения заряженных частиц:

$$\vec{j} = q\cdot n\cdot\langle\vec{u}\rangle,$$

где q – заряд частицы; n – концентрация частиц.

Закон Ома - сила электрического тока, текущего от точки 1 к точке 2 однородного участка цепи (однородным называется участок цепи, в котором на заряды действуют только электрические силы), пропорциональна разности потенциалов на концах этого участка:

$$I_{12} = \gamma_{12}(\varphi_1 - \varphi_2),$$

где γ_{12} - электрическая проводимость участка; величина, обратная проводимости, называется электрическим сопротивлением $1/\gamma_{12} = R_{12}$.

Тогда: $I_{12} = \dfrac{\varphi_1 - \varphi_2}{R_{12}}$.

Сопротивление проводника при данной температуре рассчитывается по формуле:

$$R_t = \rho_t \frac{l}{S},$$

где l — длина проводника; S — площадь поперечного сечения; ρ_t — удельное сопротивление.

Для большинства проводников удельное сопротивление изменяется с температурой по линейному закону:

$$\rho_t = \rho_o (1 + \alpha t°), \quad (4.10)$$

где ρ_t — удельное сопротивление при t°C; ρ_0 — удельное сопротивление при 0°C; t°C — температура по Цельсию; α — температурный коэффициент сопротивления.

Тогда:

$$R_t = \rho_0 (1 + \alpha t°) \frac{l}{S} = R_0 (1 + \alpha t°),$$

где через R_0 обозначено сопротивление проводника при 0°C:

$$R_0 = \rho_0 \frac{l}{S}.$$

Вектор плотности тока в каждой точке изотропного проводника направлен так же, как и вектор напряжённости:

$$\vec{j} = \frac{1}{\rho} \vec{E}.$$

Величина обратная удельному сопротивлению, называется удельной проводимостью или удельной электропроводностью $\sigma = 1/\rho$, тогда:

$\vec{j} = \sigma \vec{E}$ - закон Ома в дифференциальной форме.

Сопротивление последовательно соединенных проводников:

$$R = R_1 + R_2 + \ldots + R_n = \sum_{i=1}^{n} R_i,$$

где R_i - сопротивление i-го проводника; n - число проводников.

Сопротивление параллельно соединенных проводников:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_n} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{R_i}.$$

Закон Ома для неоднородного участка цепи:

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

где $(\varphi_1 - \varphi_2)$ - разность потенциалов на концах участка цепи; ε_{12} - э.д.с. источников тока, входящих в участок; R - сопротивление цепи (участка цепи).

Закон Ома для однородного участка цепи ($\varepsilon_{12} = 0$):

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

где U - напряжение на участке цепи.

Закон Ома для полной цепи $(\varphi_1 = \varphi_2)$:

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

где r - внутреннее сопротивление источника тока; ε - э.д.с. источника.

Правила Кирхгофа для разветвленных цепей:

1.Алгебраическая сумма сил токов, сходящихся в узловых точках цепи, равна нулю:

$$\sum_{i=1}^{n} I_i = 0,$$

где n - число токов сходящихся в узле;

2. Для любого замкнутого контура, произвольно выбранного в сложной цепи, алгебраическая сумма произведений сил токов I_k на сопротивление R_k соответствующих участков цепи равна алгебраической сумме всех ЭДС, действующих в этом контуре: $\sum_{i=1}^{n} I_k R_k = \sum_{i=1}^{m} \varepsilon_i$.

Работа тока за время t: $A = qU = IUt = I^2 Rt = \frac{U^2}{R} t$.

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

Закон Джоуля-Ленца:

$$Q = I^2 Rt,$$

где Q - количество теплоты, выделяющееся в цепи за время t.

Закон Джоуля-Ленца в дифференциальной форме:

$$\omega = \sigma E^2,$$

где ω - тепловая мощность тока.

Зависимость анодного тока вакуумного диода от анодного напряжения выражается законом трёх вторых и определяется формулой:

$$i_a = CU_a^{3/2},$$

где C - константа, зависящая от формы и размеров катода, но не зависящая от его температуры.

Модуль плотности тока насыщения:

$$j_{нас} = BT^2 e^{-\frac{A}{kT}},$$

где A – работа выхода; T – температура катода, B – универсальная константа, равна $1{,}2 \cdot 10^6$ А/(м^{2}К^2).

Зависимость электропроводности полупроводников от температуры, определяется формулой:

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{\Delta W}{2kT}},$$

где ΔW — ширина запрещённой зоны; k - постоянная Больцмана; T – термодинамическая температура; σ_0 - электропроводность полупроводника при 0°С.

2.1.3. Магнитное поле. Основные понятия и формулы

Закон Био-Савара-Лапласа:

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

где $d\vec{B}$ - магнитная индукция поля, создаваемого элементом проводника с током I; $\vec{r}$ - радиус-вектор, проведенный от элемента проводника к точке, в которой определяется магнитная индукция; α - угол между радиус-вектором и направлением тока в элементе проводника; $d\vec{l}$ - вектор, равный по модулю длине dl проводника и совпадающий по направлению с током (элемент проводника).

Магнитная индукция в центре кругового витка с током определяется по формуле:

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

где R - радиус витка.

Магнитная индукция на оси кругового тока

$$B = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{2\pi R^2 I}{\sqrt{\left(R^2 + h^2\right)^3}} = \frac{\mu_0\mu}{4\pi} \frac{2\pi R^2 I}{\left(R^2 + h^2\right)^{3/2}};$$

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

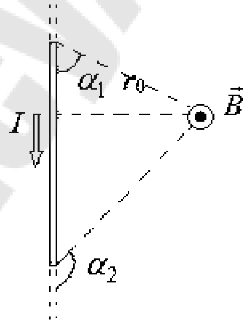
Магнитная индукция поля, созданная прямым бесконечно длинным проводником с током

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

где r_0 - кратчайшее расстояние от оси проводника до точки, в которой определяется магнитная индукция.

Магнитная индукция поля, создаваемого отрезком проводника с током (рис. 3.1), может быть найдена по формуле:

$$B = \frac{\mu\mu_0}{4\pi}\frac{I}{r}\left(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2\right).$$



На рис. направление вектора магнитной индукции $\vec{B}$ обозначено точкой - это значит, что вектор $\vec{B}$ направлен перпендикулярно плоскости чертежа к нам.

Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле (закон Ампера),

$$d\vec{F} = I\left[d\vec{l}, \vec{B}\right] \quad \text{или} \quad dF = IBdl\,sin\,\alpha,$$

где α - угол между направлением тока в проводнике и вектором магнитной индукции $\vec{B}$; $d\vec{l}$ - вектор элемента тока проводника, проведенный в направлении тока.

Магнитный момент плоского контура с током:

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

где $\vec{n}$ - единичный вектор нормали к плоскости контура; I - сила тока, протекающего по контуру; S - площадь контура.

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

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

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

Потенциальная энергия (механическая) контура с током в магнитном поле

$$П_{мех} = -\vec{p}_m\vec{B}\text{, или } П_{мех} = -p_m B\,cos\,\alpha.$$

Отношение величины магнитного момента p_m к величине механического L (момента импульса) заряженной частицы, движущейся по круговой орбите,

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

где q - заряд частицы; m - масса частицы.

Сила Лоренца

$$\vec{F} = q\left[\vec{\upsilon}, \vec{B}\right]\text{, или } F = q\upsilon B\sin\alpha,$$

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

Если частица движется одновременно в электрическом и магнитном полях, то сила действующая на частицу определяется по формуле Лоренца:

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

Магнитная индукции $\vec{B}$ и напряженность $\vec{H}$ магнитного поля связаны соотношением $\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H}$,

где μ - магнитная проницаемость среды; в вакууме $\mu = 1$, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Гн}{м}$ - магнитная постоянная.

Магнитная индукция внутри соленоида и тороида:

$B = \mu\mu_0 nl.$

где n - отношение числа витков соленоида к его длине.

2.1.4. Электромагнитная индукция. Основные понятия и формулы

Магнитный поток Ф сквозь поверхность:

а) в случае однородного магнитного поля и плоской поверхности

$\Phi = BS\cos\alpha$ или $\Phi = B_n S$, $B_n = B\cos\alpha$

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

б) в случае неоднородного магнитного поля и произвольной поверхности $\Phi = \int_S B_n dS$ (интегрирование ведется по всей поверхности).

Потокосцепление (полный поток) для соленоида и тороида с равномерной намоткой плотно прилегающих друг к другу N витков, определяется по формуле:

$\psi = N\Phi.$

Работа по перемещению замкнутого контура в магнитном поле:

$A = I\Delta\Phi = I(\Phi_2 - \Phi_1).$

ЭДС индукции $\varepsilon_1 = -\frac{d\psi}{dt}$.

ЭДС индукции ε_1, возникающая в рамке площадью S, содержащей N витков при вращении рамки с угловой скоростью ω в однородном магнитном поле с индукцией B - $\varepsilon_i = NBS\omega\sin\omega t.$

Разность потенциалов на концах проводника, движущегося со скоростью υ в магнитном поле,

$U = Bl\upsilon\sin\alpha$,

где l - длина проводника; α - угол между векторами $\vec{\upsilon}$ и $\vec{B}$.

Магнитный поток сквозь контур и сила тока в нем связаны соотношением

$\Phi = LI$,

где L – индуктивность контура.

ЭДС самоиндукции: $\varepsilon_S = -L\dfrac{dI}{dt}$

Индуктивность соленоида

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

где n - отношение числа витков соленоида к его длине; V - объём соленоида.

Энергия магнитного поля W, создаваемого током в замкнутом контуре индуктивностью L

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

Объёмная плотность энергии магнитного поля (отношение энергии магнитного поля соленоида и тороида к его объёму):

$$W = \frac{BH}{2}, \text{ или } W = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} = \frac{B^2}{2\mu\mu_0}.$$

2.1.5. Электромагнитные колебания и волны. Основные понятия и формулы

Величина заряда на обкладках конденсатора в процессе свободных незатухающих колебаний определяется по формуле:

$$q = q_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

где q_m – амплитудное значение заряда; φ_0 – начальная фаза; ω_0 – угловая частота колебаний.

Формула Томсона:

$$T_0 = 2\pi\sqrt{LC},$$

где L – индуктивность контура, C - ёмкость конденсатора.

Частота собственных колебаний контура:

$$\nu_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Закон изменения разности потенциалов между обкладками конденсатора:

$$U_C = U_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

где $U_m = q_m/C$ – амплитуда разности потенциалов.

Закон изменения тока:

$$i = \dot{q} = -\omega_0 q_m \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = I_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0 + \pi/2),$$

где $I = \omega_0 q_m$ – амплитуда тока.

Закон изменения ЭДС самоиндукции:

$$\varepsilon_s = -L\dot{i} = -L\omega_0^2 q_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = \varepsilon_{sm}\cos(\omega_0 t + \varphi_0 - \pi),$$

где $\varepsilon_{sm} = L\omega_0^2 q_m$ – амплитуда ЭДС – самоиндукции.

Закон изменения энергии электрического поля:

$$W_E = \frac{q^2}{2C} = \left(\frac{q_m^2}{2C}\right)\cos^2(\omega_0 t + \varphi_0) = W_{Em}\cos^2(\omega_0 t + \varphi_0),$$

где $W_{Em} = q_m^2 / 2C$ – амплитуда энергии электрического поля.

Закон изменения энергии магнитного поля:

$$W_B = \frac{Li^2}{2} = \left(\frac{L\omega_0^2 q_m^2}{2}\right)\sin^2(\omega_0 t + \varphi_0) = W_{Bm}\sin^2(\omega_0 t + \varphi_0),$$

где $W_{Bm} = L\omega_0^2 q_m^2 / 2$ – амплитуда энергии магнитного поля и $1/LC = \omega_0^2$,

Величина заряда на обкладках конденсатора в процессе свободных затухающих колебаний определяется по формуле ($\beta < \omega_0$):

$$q = q_{m_0} e^{-\beta t}\cos(\omega t + \varphi_0),$$

где q_{m_0} – начальная амплитуда заряда; ω – угловая частота колебаний; β - коэффициент затухания, $\beta = \frac{L}{2R}$ (R – активное сопротивление контура).

Угловая частота затухающих колебаний связана с собственной частотой контура соотношением:

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}.$$

Условный период затухающих колебаний равен:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}}.$$

Логарифмический декремент затухания: $\lambda = \ln\frac{q_{m_0} e^{-\beta t}}{q_{m_0} e^{-\beta(t+T)}} = \beta T.$

Время релаксации : $\tau = \frac{1}{\beta}.$

Добротность контура Q: $Q = \frac{\pi}{\lambda} = \pi N = \frac{\pi T}{\tau}.$

Резонансная частота для заряда (для разности потенциалов она будет точно такой же:

$$\Omega_{рез,q} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{2L^2}}.$$

Фазовая скорость электромагнитных волн:

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

где $\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} = c$ — скорость электромагнитных волн в вакууме.

Плотность энергии ω электромагнитной волны распространяющейся в вакууме со скоростью c слагается из плотности энергии электрического поля и плотности энергии магнитного поля:

$$\omega = \omega_E + \omega_H = \frac{\varepsilon_0 E^2}{2} + \frac{\mu_0 H^2}{2}.$$

Модуль плотности потока энергии: $S = \omega c = EH$.

Вектор плотности потока электромагнитной энергии можно представить как векторное произведение $\vec{E}$ и $\vec{H}$:

$$\vec{S} = [\vec{E}\vec{H}],$$

где вектор $\vec{S}$ называется вектором Пойнтинга.

Электромагнитная волна, несущая энергию W, обладает импульсом $K = \frac{1}{c}W$.

Связь длины электромагнитной волны с периодом Т и частотой ν колебаний:

$$\lambda = cT \text{ или } \lambda = \frac{c}{\nu};$$

где c - скорость электромагнитных волн в вакууме.

2.2.1. Тестовые задачи по электростатике

1.1. Какое из приведённых ниже выражений есть определение напряжённости электрического поля?

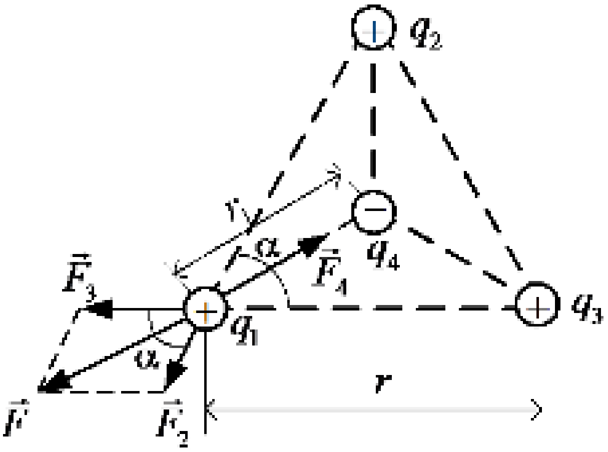
а) $\vec{E} = \dfrac{\vec{F}}{q}$; б) $\nabla\vec{E} = \dfrac{\rho}{\varepsilon_0}$; в) $\vec{E} = \dfrac{\vec{D}}{\varepsilon_0\varepsilon}$; г) $\oint\limits_S EdS = \dfrac{1}{\varepsilon_0}\sum\limits_{i=1}^{n} q_i$;

д) $E = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2}$.

1.2. Величина напряжённости электрического поля заряжённого тела (поставьте в соответствие математическое выражение).

Напряжённость эл. поля	Математическое выражение
а) точечного заряда на расстоянии r	1) $E = \dfrac{\sigma}{\varepsilon_0\varepsilon}$
б) внутри объёмно-заряжённого шара	2) $E = \dfrac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon r}$
в) бесконечно длинной равномерно заряжённой нити на расстоянии r от ее оси	3) $E = \dfrac{\sigma}{2\varepsilon_0\varepsilon}$
г) бесконечной равномерно заряжённой плоскости	4) $E = \dfrac{4\pi\rho r^3}{3\varepsilon_0}$
д) плоского конденсатора	5) $E = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2}$

1.3. Три одинаковых положительных заряда $q_1 = q_2 = q_3 = 1\text{нКл}$ расположены по вершинам равностороннего треугольника (см. рис.). Какой отрицательный заряд q_4 нужно поместить в центре треугольника, чтобы сила притяжения с его стороны уравновесила силы взаимного отталкивания зарядов, находя-



щихся в вершинах?

а) $q_4 = 0{,}51$нКл; б) $q_4 = 0{,}58$нКл; в) $q_4 = 2{,}6$нКл; г) $q_4 = 0{,}9$нКл;
д) $q_4 = 2{,}8$нКл.

1.4. Два тонких длинных проводника равномерно заряжены разноимёнными зарядами с линейной плотностью $|\tau| = 200$ мкКл/м и расположены параллельно друг другу. Расстояние между проводниками $d = 10$см. Найти величину напряжённости $\vec{E}$ поля в точке, удалённой от первого проводника на расстояние $r_1 = 15$см, а от второго – на $r_2 = 16$см?

а) $E = 26\,\frac{\text{МВ}}{\text{м}}$; б) $E = 19\,\frac{\text{МВ}}{\text{м}}$; в) $E = 35\,\frac{\text{МВ}}{\text{м}}$; г) $E = 14\,\frac{\text{МВ}}{\text{м}}$;
д) $E = 96\,\frac{\text{МВ}}{\text{м}}$.

1.5. Найти величину напряжённости $\vec{E}$ и потенциал φ в центре полукольца радиусом $R = 5\,см$, по которому равномерно распределён заряд $q = 3\cdot 10^{-9}\,Кл$.

а) $E = 6{,}88\cdot 10^3\,\frac{В}{м}, \varphi = 5{,}39\cdot 10^2\,В$; б) $E = 4{,}32\cdot 10^3\,\frac{В}{м}, \varphi = 3{,}21\cdot 10^2\,В$;
в) $E = 3{,}54\cdot 10^3\,\frac{В}{м}, \varphi = 4{,}89\cdot 10^2\,В$; г) $E = 2{,}24\cdot 10^3\,\frac{В}{м}, \varphi = 3{,}23\cdot 10^2\,В$;
д) $E = 1{,}15\cdot 10^3\,\frac{В}{м}, \varphi = 2{,}16\cdot 10^2\,В$.

1.6. Тонкий стержень длиной $l = 15$см несёт равномерно распределённый заряд с линейной плотностью $\tau = 6\,\frac{мкКл}{м}$. Найти величину напряжённости $\vec{E}$, создаваемую этим зарядом, в точке, расположенной на оси стержня и удалённой от ближайшего конца стержня на расстояние $r = 10$см.

а) $E = 324\,\frac{\text{кВ}}{\text{м}}$; б) $E = 156\,\frac{\text{кВ}}{\text{м}}$; в) $E = 224\,\frac{\text{кВ}}{\text{м}}$; г) $E = 674\,\frac{\text{кВ}}{\text{м}}$;
д) $E = 136\,\frac{\text{нВ}}{\text{м}}$.

1.7. На отрезке тонкого прямого провода длиной $l = 10\text{см}$ равномерно распределён заряд $q = 4 \cdot 10^{-8}\,\text{Кл}$. Найти величину напряжённости $\vec{E}$ в точке, расположенной на перпендикуляре к проводу, проведённом через один из его концов, на расстоянии $r_0 = 0{,}08\text{м}$.

а) $E = 45\dfrac{\text{кВ}}{\text{м}}$; б) $E = 39\dfrac{\text{кВ}}{\text{м}}$; в) $E = 51\dfrac{\text{кВ}}{\text{м}}$; г) $E = 86\dfrac{\text{кВ}}{\text{м}}$; д) $E = 98\dfrac{\text{кВ}}{\text{м}}$.

1.8. Две концентрические проводящие сферы радиусами $R_1 = 6\text{см}$ и $R_2 = 10\text{см}$ несут соответственно заряды $q_1 = 1\text{нКл}$ и $q_2 = -0{,}5\text{нКл}$ (см. рис.). Найти величину напряжённости $\vec{E}$ поля в точках, отстоящих от центра сфер на расстояниях $r_1 = 5\text{см}$, $r_2 = 9\text{см}$, $r_3 = 15\text{см}$.

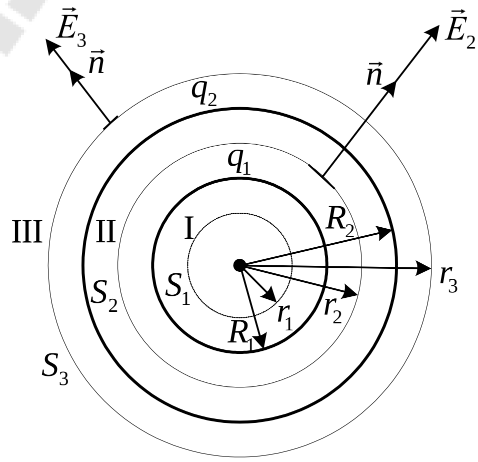
а) $E_1 = 0\text{В/м}, E_2 = 1{,}11\dfrac{\text{кВ}}{\text{м}}, E_3 = 200\,\text{В/м}$;

б) $E_1 = 0{,}5\text{В/м}, E_2 = 0{,}9\dfrac{\text{кВ}}{\text{м}}, E_3 = 16\text{В/м}$;

в) $E_1 = 0\text{В/м}, E_2 = 0{,}9\dfrac{\text{кВ}}{\text{м}}, E_3 = 20\text{В/м}$;

г) $E_1 = 0{,}5\text{В/м}, E_2 = 1{,}11\dfrac{\text{кВ}}{\text{м}}, E_3 = 14\text{В/м}$;

д) $E_1 = 0\text{В/м}, E_2 = 1{,}4\dfrac{\text{кВ}}{\text{м}}, E_3 = 110\,\text{В/м}$.



1.9. Две круглые параллельные пластины находятся на малом (по сравнению с радиусом) расстоянии друг от друга. Пластины равномерно заряжены с поверхностной плотностью $\sigma_1 = 10\text{нКл/м}^2$ и $\sigma_2 = -30\text{нКл/м}^2$. Определить величину силы взаимодействия между пластинами, приходящуюся на площадь S, равную 2м^2.

а) $F = 42{,}8\text{мкН}$; б) $F = 16{,}2\text{мкН}$; в) $F = 33{,}8\text{мкН}$; г) $F = 20{,}1\text{мкН}$;
д) $F = 29{,}9\text{мкН}$.

1.10. Точечный заряд $q = 100\text{нКл}$ находится на малом расстоянии от большой металлической пластины напротив её середины. Найти величину силы $\vec{F}$, действующую на заряд со стороны пластины. Пластина несёт равномерно распределённый по поверхности заряд $\sigma = 10\,нКл/м^2$.

а) $F = 28.3$мкН; б) $F = 17{,}6$мкН; в) $F = 87{,}4$мкН; г) $F = 11{,}5$мкН;
д) $F = 56{,}5$мкН.

1.11. Тонкая, бесконечно длинная нить с равномерно распределённым по длине зарядом плотностью $\tau = 0{,}2$мкКл/м параллельна безграничной проводящей плоскости с поверхностной плотностью заряда $\sigma = 2$нКл/см^2. С какой величиной силы электрическое поле заряжённой бесконечной плоскости действует на каждый метр заряжённой бесконечно длинной нити, помещённой в это поле?

а) $\frac{F}{l} = 634\,\frac{\text{мН}}{\text{м}}$; б) $\frac{F}{l} = 350\,\frac{\text{мН}}{\text{м}}$; в) $\frac{F}{l} = 226\,\frac{\text{мН}}{\text{м}}$; г) $\frac{F}{l} = 542\,\frac{\text{мН}}{\text{м}}$;
д) $\frac{F}{l} = 700\,\frac{\text{мН}}{\text{м}}$.

1.12. Электрическое поле создаётся положительно заряженной бесконечной нитью с постоянной линейной плотностью заряда $\tau = 1$нКл/см. Какую величину скорости приобретёт электрон, приблизившись под действием поля к нити вдоль линии напряжённости с расстояния $r_1 = 1{,}5$см до $r_2 = 1$см?

а) $\upsilon_2 = 16 \cdot 10^6\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$; б) $\upsilon_2 = 24 \cdot 10^6\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$; в) $\upsilon_2 = 35 \cdot 10^9\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$;
г) $\upsilon_2 = 87 \cdot 10^6\,\frac{м}{с}$; д) $\upsilon_2 = 56 \cdot 10^6\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

1.13. Ёмкость шара, погружённого в масло (($\varepsilon = 5$), равна 0,39пФ, заряд на шаре 1,76нКл. Каков потенциал шара φ?

а) $\varphi = 1{,}76$кВ; б) $\varphi = 3{,}2$кВ; в) $\varphi = 2{,}5$кВ; г) $\varphi = 4{,}5$кВ; д) $\varphi = 6{,}5$кВ.

1.14. Пластины плоского конденсатора площадью $S = 200$см^2 притягиваются с силой $F_1 = 9{,}84$мН. Между пластинами конденсатора находится точечный заряд $q = 30$мКл. Определить, с какой величиной силы F_2 поле конденсатора действует на заряд.

а) $F_2 = 24$мН; б) $F_2 = 45$мН; в) $F_2 = 96$мН; г) $F_2 = 10$мН;
д) $F_2 = 98$мН.

1.15. Ёмкость конденсатора $C_1 = 0{,}4$мкФ, когда он заполнен воздухом. Конденсатор заряжается до разности потенциалов $U = 500$В. Определить изменение энергии конденсатора ΔW и работу сил электрического поля при заполнении конденсатора трансформаторным маслом ($\varepsilon = 2{,}5$) для случая, когда конденсатор соединён с источником.

а) $\Delta W = 7{,}5 \cdot 10^{-2}$ Дж, $A = 7{,}5 \cdot 10^{-2}$ Дж;
б) $\Delta W = 2{,}6 \cdot 10^{-2}$ Дж, $A = 2{,}6 \cdot 10^{-1}$ Дж;
в) $\Delta W = -2{,}6 \cdot 10^{-2}$ Дж, $A = 2{,}6 \cdot 10^{-2}$ Дж;
г) $\Delta W = 3{,}4 \cdot 10^{-2}$ Дж, $A = 3{,}4 \cdot 10^{-2}$ Дж;
д) $\Delta W = -6{,}6 \cdot 10^{-2}$ Дж, $A = -6{,}6 \cdot 10^{-2}$ Дж.

1.16. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполняется диэлектриком ($\varepsilon = 7$). При присоединении пластин к источнику напряжения величина напряжённости электрического поля в конденсаторе $E = 0{,}4 \cdot 10^6$ В/м. Найти давление пластин на диэлектрик.

а) $P = 5$Па, б) $P = 10$Па, в) $P = 7$Па, г) $P = 14$Па, д) $P = 8$Па.

1.17. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполняется диэлектриком ($\varepsilon = 7$). При присоединении пластин к источнику напряжения величина напряжённости электрического поля в конденсаторе $E = 0{,}4 \cdot 10^6$ В/м. Найти объёмную плотность энергии электрического поля в диэлектрике.

а) $\omega = 1\frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}$; б) $\omega = 2\frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}$; в) $\omega = 3\frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}$; г) $\omega = 4\frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}$;
д) $\omega = 5\frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}$.

1.18. На пластинах плоского воздушного конденсатора находится заряд 4,95нКл. Конденсатор подключён к источнику с ЭДС, равной 280 В. Площадь пластины конденсатора $S = 0{,}01\text{м}^2$. Найти величину напряжённости поля $\vec{E}$ внутри конденсатора.

а) $E = 41\frac{\text{кВ}}{\text{м}}$; б) $E = 32\frac{\text{кВ}}{\text{м}}$; в) $E = 45\frac{\text{кВ}}{\text{м}}$; г) $E = 23\frac{\text{кВ}}{\text{м}}$; д) $E = 56\frac{\text{кВ}}{\text{м}}$.

1.19. На пластинах плоского воздушного конденсатора находится заряд 4,95нКл. Конденсатор подключён к источнику с ЭДС, равной 280В. Площадь пластины конденсатора $S = 0{,}01\text{м}^2$. Найти величину скорости $\vec{\upsilon}$, которую получит электрон, пройдя в конденсаторе путь от одной пластины до другой

а) $\upsilon = 10^6\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$; б) $\upsilon = 10^7\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$; в) $\upsilon = 2{,}5\cdot 10^6\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$; г) $\upsilon = 5\cdot 10^6\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$;
д) $\upsilon = 3\cdot 10^7\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

1.20 На пластинах плоского воздушного конденсатора находится заряд 4,95нКл. Конденсатор подключён к источнику с ЭДС, равной 280В. Площадь пластины конденсатора $S = 0{,}01\text{м}^2$. Найти величину силы притяжения пластин $\vec{F}$.

а) $F = 0{,}23\cdot 10^{-3}$Н; б) $F = 0{,}11\cdot 10^{-3}$Н; в) $F = 0{,}31\cdot 10^{-3}$Н;
г) $F = 0{,}14\cdot 10^{-3}$Н; д) $F = 0{,}41\cdot 10^{-3}$Н.

2.2.2.Тестовые задачи на законы постоянного тока

2.1. По медному проводнику сечением 0,8мм^2 течёт ток 80мА. Найдите величину средней скорости упорядоченного движения электронов вдоль проводника, предполагая, что на каждый атом меди приходится один свободный электрон. Плотность меди $\rho = 8{,}9\cdot 10^3$кг/м^3.

а) $\langle\upsilon\rangle = 7{,}4\cdot 10^{-6}\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$; б) $\langle\upsilon\rangle = 9{,}3\cdot 10^{-6}\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$; в) $\langle\upsilon\rangle = 10{,}5\cdot 10^{-6}\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$;
г) $\langle\upsilon\rangle = 12{,}6\cdot 10^{-6}\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$; д) $\langle\upsilon\rangle = 14{,}8\cdot 10^{-6}\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

2.2. Вольфрамовая нить электрической лампочки при температуре $t_1 = 20^\circ\text{C}$ имеет сопротивление $R_1 = 35{,}8\text{Ом}$. Какова будет температура t_2 нити лампочки, если при включении в сеть напряжением $U = 120\text{В}$ по нити идёт ток $I = 0{,}33\text{А}$? Температурный коэффициент сопротивления вольфрама $\alpha = 4{,}6\cdot 10^{-3}\text{К}^{-1}$.

а) $t_2 = 1600^\circ\text{C}$; б) $t_2 = 1800^\circ\text{C}$; в) $t_2 = 1900^\circ\text{C}$; г) $t_2 = 2000^\circ\text{C}$;

д) $t_2 = 2200\,^\circ\mathrm{C}$.

2.3. На катушку намотана медная проволока диаметром d=1мм. Какое сопротивление имеет проволока, если масса её $m = 3{,}41$кг ?

а) $R = 8{,}2$Ом; б) $R = 10{,}8$Ом; в) $R = 12{,}6$Ом;
г) $R = 14{,}8$Ом; д) $R = 20{,}4$Ом.

2.4. Чтобы изготовить печь сопротивлением $R = 40$Ом, при комнатной температуре $t_2 = 20^\circ\mathrm{C}$ на фарфоровый цилиндр диаметром d=5см наматывают никелиновую проволоку радиусом r=0,5мм. Сколько витков проволоки потребуется для изготовления такой печи? Удельное сопротивление никелина $\rho = 4 \cdot 10^{-7}\,\text{Ом} \cdot \text{м}$ при температуре $t_2 = 20^\circ\mathrm{C}$.

а) $N = 300$; б) $N = 500$; в) $N = 600$; г) $N = 800$; д) $N = 1000$.

2.5. Электрический ток силой $I = 8$А протекает по стальной проволоке круглого сечения. Радиус сечения r=0,5мм. Рассчитайте скорость направленного движения (дрейфа) электронов в проволоке. Концентрацию электронов проводимости принять равной $10^{29}\,м^{-3}$.

а) $\langle \upsilon \rangle = 3{,}2 \cdot 10^{-4}\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$; б) $\langle \upsilon \rangle = 4{,}6 \cdot 10^{-4}\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$; в) $\langle \upsilon \rangle = 5{,}8 \cdot 10^{-4}\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$;
г) $\langle \upsilon \rangle = 6 \cdot 10^{-4}\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$; д) $\langle \upsilon \rangle = 6{,}4 \cdot 10^{-4}\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

2.6. По железному проводнику ($\rho = 7{,}87 \cdot 10^3$кг/м^3, $M = 56 \cdot 10^{-3}$кг/моль), сечением $S = 0{,}5\text{мм}^2$ течёт ток $I = 0{,}1$А. Определите величину средней скорости упорядоченного (направленного) движения электронов, считая, что число n свободных электронов в единице объёма проводника равно числу атомов n' в единице объёма проводника.

а) $\langle \upsilon \rangle = 6{,}8 \cdot 10^{-6}\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$; б) $\langle \upsilon \rangle = 8{,}6 \cdot 10^{-6}\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$; в) $\langle \upsilon \rangle = 12{,}8 \cdot 10^{-6}\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$;
г) $\langle \upsilon \rangle = 14{,}8 \cdot 10^{-6}\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$; д) $\langle \upsilon \rangle = 16 \cdot 10^{-6}\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

2.7. Определить заряд, прошедший по проводу с сопротивлением $R = 3\text{Ом}$ при равномерном нарастании напряжения на концах провода от $U_1 = 2\text{В}$ до $U_1 = 4\text{В}$ в течение времени $t = 20\text{с}$.

а) $q = 5\text{Кл}$; б) $q = 10\text{Кл}$; в) $q = 15\text{Кл}$; г) $q = 25\text{Кл}$; д) $q = 20\text{Кл}$.

2.3.8. По медному проводу длиной $l = 1000\,\text{м}$ и диаметром d=4мм течёт ток I. При каком значении тока падение напряжения U на проводе будет равно $0{,}8\text{В}$?

а) $I = 2\text{А}$; б) $I = 5\text{А}$; в) $I = 8\text{А}$; г) $I = 12\text{А}$; д) $I = 15\text{А}$.

2.9. Определите величину плотности тока в медной проволоке длиной $l = 100\text{м}$, если разность потенциалов на её конца $\varphi_1 - \varphi_2 = 10\text{В}$. Удельное сопротивление меди $\rho = 17\text{нОм} \cdot \text{м}$.

а) $j = 5{,}88\,\dfrac{\text{мА}}{\text{м}^2}$; б) $j = 4{,}54\,\dfrac{\text{мА}}{\text{м}^2}$; в) $j = 3{,}26\,\dfrac{\text{мА}}{\text{м}^2}$; г) $j = 8{,}56\,\dfrac{\text{мА}}{\text{м}^2}$;
д) $j = 12{,}96\,\dfrac{\text{мА}}{\text{м}^2}$.

2.10. Определите величину плотности $\vec{j}$ электрического тока, в медном проводе (удельное сопротивление $\rho = 4 \cdot 10^{-7}\,\text{Ом} \cdot \text{м}$), если удельная тепловая мощность тока $\omega = 1{,}7\,\dfrac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot \text{с}}$.

а) $j = 6\,\dfrac{\text{кА}}{\text{м}^2}$; б) $j = 10\,\dfrac{\text{кА}}{\text{м}^2}$; в) $j = 12\,\dfrac{\text{кА}}{\text{м}^2}$; г) $j = 8\,\dfrac{\text{кА}}{\text{м}^2}$;
д) $j = 14\,\dfrac{\text{кА}}{\text{м}^2}$.

2.11. Какую наибольшую мощность $P_{\max}$ можно получить во внешней цепи от батареи аккумуляторов? ЭДС батареи $\varepsilon = 12\text{В}$. Ток короткого замыкания 6А.

а) $P_{\max} = 24\text{Вт}$; б) $P_{\max} = 46\text{Вт}$; в) $P_{\max} = 18\text{Вт}$; г) $P_{\max} = 72\text{Вт}$;
д) $P_{\max} = 86\text{Вт}$.

2.12. В проводнике в течение времени $t = 10\text{с}$ равномерно убывает сила тока от $I_0 = 5\text{А}$ до $I = 0$. При этом в проводнике выделяется количество теплоты $Q = 1\text{кДж}$. Каково сопротивление R проводника?

а) $R = 8\text{Ом}$; б) $R = 10\text{Ом}$; в) $R = 12\text{Ом}$; г) $R = 14\text{Ом}$; д) $R = 16\text{Ом}$.

2.13. Сила тока в проводнике сопротивлением $R = 20\text{Ом}$ нарастает по линейному закону от $I_0 = 0$ до $I_{\max} = 6\text{А}$ за $t = 2\text{с}$. Определите количество выделившейся теплоты Q_1 за первую секунду и Q_2 за вторую секунду.

а) $Q_1 = 20\text{Дж}, Q_2 = 300\text{Дж}$; б) $Q_1 = 40\text{Дж}, Q_2 = 360\text{Дж}$;
в) $Q_1 = 60\text{Дж}, Q_2 = 420\text{Дж}$; г) $Q_1 = 80\text{Дж}, Q_2 = 490\text{Дж}$;
д) $Q_1 = 100\text{Дж}, Q_2 = 510\text{Дж}$.

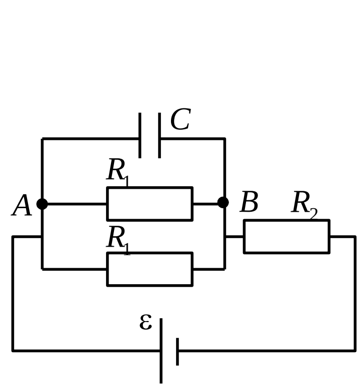
2.14. В цепь источника постоянного тока с ЭДС $\varepsilon = 6\text{В}$ включён резистор сопротивления $R = 80\text{Ом};$. площадь поперечного сечения проводов $S = 2\text{мм}^2$. Определите число N электронов, проходящих через сечение проводов за время $t = 1\text{с}$. Сопротивлением источника тока и соединительных проводов пренебречь.

а) $N = 4{,}69 \cdot 10^{17}$ *электронов*; б) $N = 1{,}79 \cdot 10^{17}$ *электронов*;
в) $N = 2{,}15 \cdot 10^{17}$ *электронов*; г) $N = 3{,}64 \cdot 10^{17}$ *электронов*;
д) $N = 4{,}3 \cdot 10^{17}$ *электронов.*

2.15. К источнику с ЭДС, равной ε, и внутренним сопротивлением r_1 присоединили сопротивление $R = 0{,}01\text{Ом};$. При этом амперметр показал силу тока $I_1 = 0{,}5\text{А}$. Если же к источнику присоединить последовательно ещё один источник с такой же ЭДС, но с внутренним сопротивлением $r_2 = 4{,}5\text{Ом}$, то сила тока I_2 в том же сопротивлении окажется равной $0{,}4\text{А}$. Определите внутреннее сопротивление r_1 и ЭДС источника ε.

а) $r_1 = 2{,}9\text{Ом}, \varepsilon = 1{,}5\text{В}$; б) $r_1 = 5{,}3\text{Ом}, \varepsilon = 2\text{В}$; в) $r_1 = 4\text{Ом}, \varepsilon = 2{,}5\text{В}$;
г) $r_1 = 7{,}2\text{Ом}, \varepsilon = 9\text{В}$; д) $r_1 = 21\text{Ом}, \varepsilon = 8\text{В}$.

2.16. Два одинаковых резистора сопротивлением $R_1 = 10\text{Ом};$ и резистор сопротивлением $R_2 = 20\text{Ом};$ подключены к источнику ЭДС (см. рис.).



К участку AB подключён плоский конденсатор ёмкостью $C = 0{,}1\,мкФ$. Заряд q на обкладках конденсатора равен $2\,мкКл$. Определите ЭДС источника, пренебрегая его внутренним сопротивлением.

а) $\varepsilon = 70$В; б) $\varepsilon = 100$В; в) $\varepsilon = 50$В; г) $\varepsilon = 120$В; д) $\varepsilon = 130$В.

2.17. Батарея состоит из двух последовательно соединённых элементов с одинаковыми ЭДС $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 2$В и внутренними сопротивлениями $r_1 = 1$Ом и $r_2 = 1{,}5$Ом. Разность потенциалов на зажимах второго элемента $U_2 = 0$. При каком внешнем сопротивлении R это возможно?

а) $R = 1{,}5$Ом; б) $R = 0{,}5$Ом; в) $R = 2$Ом; г) $R = 3$Ом; д) $R = 5$Ом.

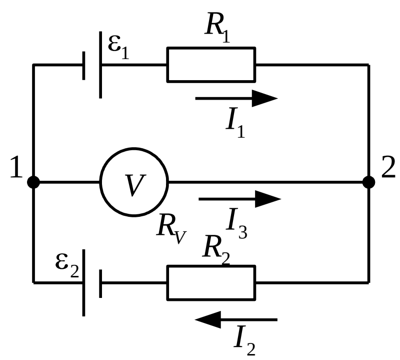
2.18. Определите ток короткого замыкания для батареи, если при силе тока $I_1 = 3$А во внешней цепи батареи аккумуляторов выделяется мощность $P_1 = 18$Вт, при силе тока $I_2 = 1$А – соответственно $P_2 = 10$Вт.

а) $I_{кз} = 2$А; б) $I_{кз} = 4$А; в) $I_{кз} = 8$А; г) $I_{кз} = 10$А; д) $I_{кз} = 6$А.

2.19. Источник ЭДС вначале замыкают на резистор сопротивлением R_1, а затем – на резистор сопротивлением R_2, при этом в обоих случаях выделяется одинаковое количество теплоты. Определите внутреннее сопротивление r источника ЭДС.

а) $r = \sqrt{R_1 R_2}$; б) $r = \sqrt{R^2{}_1 R_2}$; в) $r = \sqrt{R^2{}_1 R^2{}_2}$; г) $r = 2\sqrt{R_1 R_2}$;
д) $r = 4\pi\sqrt{R_1 R_2}$.

2.20. Элементы цепи имеют значения $\varepsilon_1 = 1{,}5$В; $\varepsilon_2 = 1{,}6$В; $R = 1$кОм; $R = 2$кОм. Определите показания вольтметра, если его сопротивление $R_V = 2$кОм. Сопротивлением источников тока и соединённых проводов пренебречь.



а) $U_{12} = -0{,}2$В; б) $U_{12} = -0{,}35$В; в) $U_{12} = -0{,}15$В; г) $U_{12} = -0{,}4$В;
д) $U_{12} = -0{,}35$В.

2.2.3.Тестовые задачи по магнитному полю

3.1. Определению поставьте в соответствии математическое выражение:

Определение	Математическое выражение
а) циркуляция вектора $\vec{B}$	1) $\vec{B} = \sum_{i=1}^{n} \vec{B}_i$
б) закон Био-Савара-Лапласа	2) $\oint_L \vec{B}d\vec{l} = \mu_0 \sum_{i=1}^{n} I_i$
в) принцип суперпозиции	3) $\oint_S \vec{B}d\vec{S} = 0$
г) теорема Гаусса для поля $\vec{B}$	4) $\vec{F} = [Id\vec{l}\vec{B}]$
д) закон Ампера	5) $dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \sin\alpha}{r^2}$

3.2. Из ниже приведённых величин выберите физическую величину, которую можно приравнять к выражению $\frac{\mu_0 I \sin\alpha dl}{4\pi r^2}$ при определённом смысле входящих в него величин.

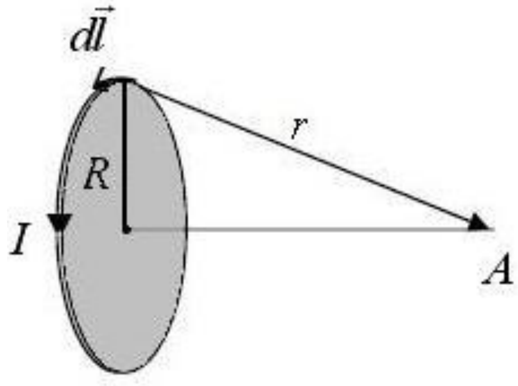
а) dH; б) H; в) dB; г) B; д) F.

3.3. Верно ли записаны выражения модуля вектора индукции магнитного поля кругового витка с током:

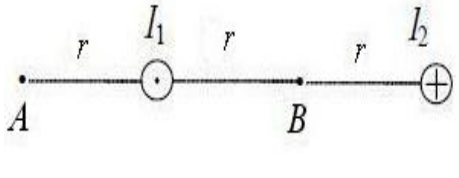
а) в центре витка $B_0 = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_L \frac{Idl}{R^2}$;

б) в точке A на оси витка

$B_A = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_L \frac{Idl}{r^2}$.



3.4. Найти напряжённость магнитного поля H, создаваемого двумя бесконечно длинными проводниками с токами I_1 и I_2 $(I_1 = 2I_2)$ в точках A и B.

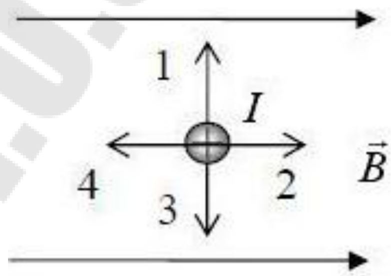


а) $\dfrac{3I_2}{2\pi r'}\dfrac{5I_2}{6\pi r}$; б) $\dfrac{5I_2}{6\pi r'}\dfrac{I_2}{\pi r}$; в) $\dfrac{7I_2}{6\pi r'}\dfrac{3I_2}{2\pi r}$; г) $\dfrac{5I_2}{6\pi r'}\dfrac{I_2}{2\pi r}$.

3.5. Какое из приведённых ниже выражений представляет собой силу, действующую на положительно заряженную частицу, движущуюся одновременно в электрическом и магнитном полях?

а) $q\vec{E}+q[\vec{\upsilon}\vec{B}]$; б) $q\vec{E}+q[\upsilon\vec{B}]$; в) $qE+q(\vec{B}\vec{\upsilon})$; г) $qE+q(B\upsilon)$.

3.6. На рисунке изображено сечение прямолинейного бесконечно длинного проводника с током. Проводник помещён в магнитное поле. Какая из стрелок правильно указывает направление силы, действующей на проводник со стороны поля?



а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

3.7. Какая из приведённых ниже формул является математическим выражением закона Ампера?

а) $\vec{F}=q[\vec{\upsilon}\vec{B}]$; б) $\Phi = BS\cos\alpha$; в) $\int\limits_L \vec{H}d\vec{l} = \sum\limits_{i=1}^{n} I_i$;

г) $d\vec{F}=I[d\vec{l}\vec{B}]$; д) $dB=\dfrac{\mu_0\mu}{4\pi}\dfrac{I\sin\alpha}{r^2}$.

3.8. По двум длинным параллельным проводам текут токи $I_1 = I_2 = 30$ А в противоположных направлениях. Расстояние между проводами равно $d = 5$ см. Найдите модуль напряжённости $\vec{H}$ магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии $r_1 = 4$ см от одного и $r_2 = 3$ см от другого провода.

а) $H = 50\dfrac{A}{м}$; б) $H = 100\dfrac{A}{м}$; в) $H = 150\dfrac{A}{м}$; г) $H = 200\dfrac{A}{м}$; г) $H = 350\dfrac{A}{м}$.

3.9. Стороны прямоугольника, изготовленного из тонкого провода, равны $a = 30$ см и $b = 40$ см. Величина магнитной индукции $\vec{B_0}$ в точке пересечения диагоналей равна 400 мкТл, если по проводнику пропустить ток I. Определите величину тока I.

а) $I = 96$ А; б) $I = 120$ А; в) $I = 140$ А; г) $I = 136$ А; д) $I = 68$ А.

3.10. По тонкому проволочному контуру в виде треугольника течёт ток. Не изменяя силы тока, контуру придали форму квадрата. Во сколько раз изменилась величина магнитной индукции в центре контура?

а) увеличилась в 1,19 раз; *б)* не изменилась; *в)* уменьшилась в 1,19 раз; *г)* уменьшилась в 2,34 раз; *д*) увеличилась в 2,34 раз.

3.11. Длинный прямой провод с током $I = 50$ А изогнут под углом $\alpha = 150^\circ$. Определите величину магнитной индукции $\vec{B}$ в точках, лежащих на биссектрисе угла и удалённых от его вершины на расстояние $a = 5$ см.

а) $B_A = 261 \cdot 10^{-6}$ Тл; $\mathrm{B_C} = 121 \cdot 10^{-6}$ Тл.;

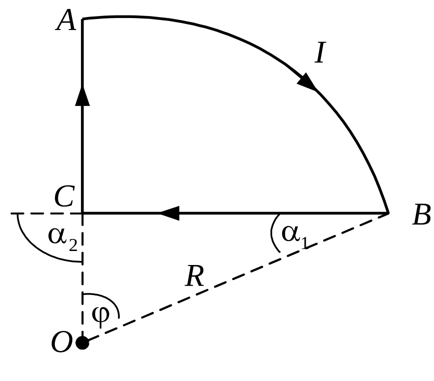
б) $B_A = 261 \cdot 10^{-6}$ Тл; $\mathrm{B_C} = 153 \cdot 10^{-6}$ Тл.;

в) $B_A = 241 \cdot 10^{-6}$ Тл; $\mathrm{B_C} = 133 \cdot 10^{-6}$ Тл.;

г) $B_A = 284 \cdot 10^{-6}$ Тл; $\mathrm{B_C} = 176 \cdot 10^{-6}$ Тл.;

д) $B_A = 295 \cdot 10^{-6}$ Тл; $\mathrm{B_C} = 193 \cdot 10^{-6}$ Тл..

3.12. По контуру $ABCA$ идёт ток $I = 10$ А. Определите величину вектора индукции $\vec{B}$ магнитного поля в точке О, если радиус дуги AB $R = 10$ см, $\varphi = 60^\circ$ (см. рисунок).



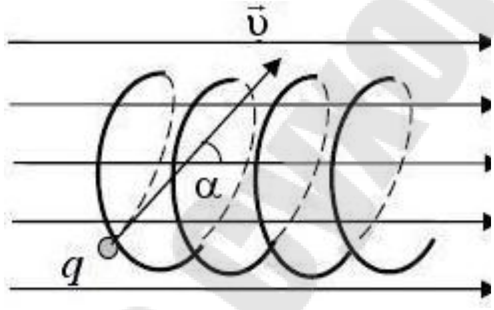
а) $B = 4{,}9$ мкТл; б) $B = 5{,}2$ мкТл; в) $B = 7{,}1$ мкТл; г) $B = 3{,}4$ мкТл; д) $B = 6{,}9$ мкТл.

3.13. По прямому горизонтально расположенному проводу пропускают ток силы $I_1 = 27$ А. Под ним на расстоянии $a = 1{,}5$ см находится параллельный ему алюминиевый провод, по которому пропускают ток $I_1 = 1{,}5$ А. Определите, какой должна быть площадь поперечного сечения алюминиевого провода, чтобы он удерживался незакреплённым. Плотность алюминия 2,7 г/см^3. Равновесие будет устойчивым или неустойчивым?

а) $S = 1 \cdot 10^{-8}$ м^2; б) $S = 2 \cdot 10^{-8}$ м^2; в) $S = 2{,}7 \cdot 10^{-8}$ м^2;

г) $S = 3{,}4 \cdot 10^{-8}$ м^2; д) $S = 6 \cdot 10^{-8}$ м^2.

3.14. Частица массой m и с зарядом q влетает со скоростью $\vec{\upsilon}$ в однородное магнитное поле с индукцией $\vec{B}$ под углом α к направлению поля и начинает двигаться по спирали. Какое из приведённых ниже выражений представляет собой радиус спирали?



а) $\dfrac{2\pi m}{qB}$; б) $\dfrac{qB}{m\upsilon\cos\alpha}$; в) $\dfrac{2\pi m\cos\alpha}{qB}$; г) $\dfrac{m\upsilon\sin\alpha}{qB}$; д) $\dfrac{qm}{\upsilon B\sin\alpha}$.

3.15. В однородное магнитное поле с индукцией $B = 0{,}1$ Тл влетает протон под углом 30° к направлению поля. Кинетическая энергия протона $W = 433$ эВ. Определите радиус R винтовой линии, по которой будет двигаться протон.

а) $R = 0{,}3$ см; б) $R = 0{,}8$ см; в) $R = 1{,}5$ см; г) $R = 2$ см; д) $R = 2{,}8$ см.

3.16. Перпендикулярно магнитному полю с индукцией $B = 0{,}1$ Тл возбуждено электрическое поле напряжённостью $E = 100$ кВ/м. Перпендикулярно обоим полям движется, не отклоняясь от прямолинейной траектории, заряженная частица. Вычислите величину скорости частицы.

а) $\upsilon = 10^6\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$; б) $\upsilon = 2 \cdot 10^6\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$; в) $\upsilon = 3 \cdot 10^6\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$;

г) $\upsilon = 4 \cdot 10^6\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$; д) $\upsilon = 6 \cdot 10^6\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$.

3.17. Протон влетает в электромагнитное поле со скоростью $\upsilon = 100\ \dfrac{\text{км}}{\text{с}}$. Магнитное поле с напряжённостью $H = 2{,}6$ кА/м и электрическое поле напряжённостью $E = 2{,}6$ В/м направлены одинаково. Найдите величины нормального $\overrightarrow{a_n}$, тангенциального $\overrightarrow{a_\tau}$ и полного ускорения протона. Задачу решить, если скорость протона направлена:

1) параллельно направлению электрического поля;

2) перпендикулярно к направлению электрического поля.

а) $a_\tau = a = 20{,}1 \cdot 10^9$ м/с^2, $a_n = a = 37{,}5 \cdot 10^9$ м/с^2;

б) $a_\tau = a = 16{,}4 \cdot 10^9$ м/с^2, $a_n = a = 24{,}3 \cdot 10^9$ м/с^2;

в) $a_\tau = a = 14{,}8 \cdot 10^9$ м/с^2, $a_n = a = 18{,}5 \cdot 10^9$ м/с^2;

г) $a_\tau = a = 19{,}9 \cdot 10^9$ м/с^2, $a_n = a = 12{,}3 \cdot 10^9$ м/с^2;

д) $a_\tau = a = 9{,}4 \cdot 10^9$ м/с^2, $a_n = a = 2{,}43 \cdot 10^9$ м/с^2.

3.18. В одной плоскости с бесконечным прямым проводником с током $I = 10$ А расположена прямоугольная проволочная рамка (стороны $a = 25$ см, $b = 10$ см), по которой протекает ток $I_1 = 2$ А. Длинные стороны рамки параллельны прямому току, причём ближайшая из них находится от прямого тока на расстоянии $c = 10$ см и ток в ней со направлен току I. Определите силы, действующие на каждую из сторон рамки.

а) $F_1 = 14$ мкН, $F_2 = 4$ мкН, $F_3 = 8$ мкН, $F_4 = 4$ мкН;;

б) $F_1 = 16$ мкН, $F_2 = 5$ мкН, $F_3 = 10$ мкН, $F_4 = 5$ мкН;;

в) $F_1 = 16$ мкН, $F_2 = 7$ мкН, $F_3 = 12$ мкН, $F_4 = 7$ мкН;;

г) $F_1 = 18$ мкН, $F_2 = 9$ мкН, $F_3 = 14$ мкН, $F_4 = 9$ мкН;;

д) $F_1 = 20$ мкН, $F_2 = 10$ мкН, $F_3 = 18$ мкН, $F_4 = 10$ мкН;.

3.19. В однородном магнитном поле ($B = 1$ мТл) в плоскости, перпендикулярной линиям магнитной индукции, расположено тонкое проволочное полукольцо длиной $l = 50$ см, по которому течёт ток

$I = 5$ А. Определите величину результирующей силы, действующую на полукольцо.

а) $F = 1{,}59$ мН; б) $F = 2{,}89$ мН; в) $F = 4{,}74$ мН; г) $F = 7{,}64$ мН;

д) $F = 9{,}74$ мН.

3.20. Через сечение медной пластинки толщиной $d = 0{,}2$ мм пропускается ток силы $I = 6$ А. Пластинка помещается в однородное магнитное поле с индукцией $B = 1$ Тл, перпендикулярное ребру пластинки и направлению тока. Считая концентрацию электронов проводимости равной концентрации атомов, определите возникшую в пластинке поперечную (Холловскую) разность потенциалов. Плотность меди $8{,}93\ г/см^3$.

а) $\Delta\varphi = 1{,}23$ мкВ; б) $\Delta\varphi = 2{,}21$ мкВ; в) $\Delta\varphi = 3{,}46$ мкВ; г) $\Delta\varphi = 6{,}89$ мкВ; д) $\Delta\varphi = 8{,}93$ мкВ.

2.2.4. Тестовые задачи по электромагнитной индукции

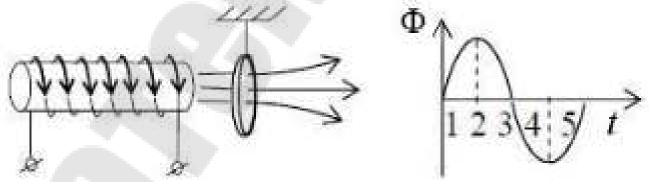
4.1. Какая из приведённых ниже формул выражает закон Фарадея – Ленца для электромагнитной индукции?

а) $\varepsilon = \oint\limits_L E_1 dl$; б) $\varepsilon = I(R + r)$; в) $dB = \dfrac{Idl\sin\alpha}{r^2}$; г) $\varepsilon = -\dfrac{d\Phi}{dt}$.

4.2. Определению поставьте в соответствие математические выражения.

Определение	Математическое выражение
а) закон электромагнитной индукции	1) $\varepsilon = -L_{21}\dfrac{dI_1}{dt}$
б) ЭДС самоиндукции	2) $\varepsilon = -N\dfrac{d\Phi}{dt}$
в) ЭДС взаимоиндукции	3) $\varepsilon = -L\dfrac{dI}{dt}$

4.3. Вблизи полюса электромагнита висит проводящее кольцо. Магнитный поток, пронизывающий кольцо, изменяется согласно графику, приведённому на рисунке справа. В какие интервалы времени кольцо притягивается к электромагниту.



а) 1, 2; б) 2, 3; в) 2, 4; г) 4, 5.

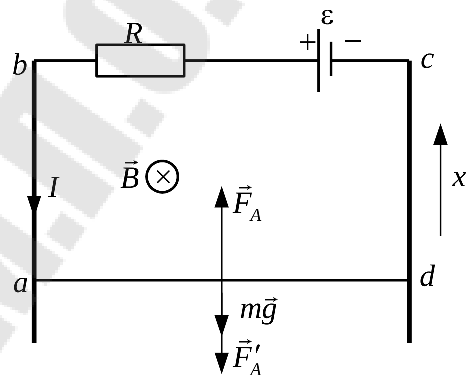
4.4. Через катушку, индуктивность которой равна L, течет ток, изменяющийся во времени по закону $I = I_0 \sin\omega t$. Определить максимальное значение ЭДС индукции.

а) $LI_0\omega$; б) $\dfrac{LI_0^2}{2}$; в) $\dfrac{L\omega I_0^2}{2}$; г) $LI_0\omega\cos\omega t$.

4.5. Стержень длиной 1м вращается в однородном магнитном поле с постоянной угловой скоростью $\omega = 30$рад/с. Ось вращения стержня параллельна магнитным силовым линиям поля и проходит через его конец. Определите ЭДС индукции, возникшую на концах стержня, если индукция магнитного поля $B = 2 \cdot 10^{-2}$ Тл.

а) $\varepsilon = -0{,}15$В; б) $\varepsilon = -0{,}2$В; в) $\varepsilon = -0{,}25$В; г) $\varepsilon = -0{,}3$В;
д) $\varepsilon = -0{,}45$В.

4.6. В однородном горизонтальном магнитном поле с магнитной индукцией $B = 0{,}5$Тл по вертикально расположенным рельсам, замкнутым через последовательно соединённые резистор сопротивлением $R = 5$Ом и источник ЭДС $\varepsilon = 12$В (см. рисунок), свободно скользит без нарушения контакта проводник длиной $l = 1$м и массой $m = 100$г. Найдите величину скорости. Сопротивлением рельсов, проводника и внутренним сопротивлением источника пренебречь.



а) $\upsilon = 4{,}4\frac{\text{м}}{\text{с}}$; б) $\upsilon = 6{,}2\frac{\text{м}}{\text{с}}$; в) $\upsilon = 8{,}9\frac{\text{м}}{\text{с}}$; г) $\upsilon = 12{,}8\frac{\text{м}}{\text{с}}$; д) $\upsilon = 14{,}5\frac{м}{с}$.

4.7. Проволочное кольцо радиусом $r = 8$см и сопротивлением $R = 0{,}1$Ом находится в однородном магнитном поле. Плоскость кольца составляет угол $\alpha = 30^\circ$ с линиями индукции поля. Если магнитное поле выключить, то по кольцу протечёт количество электричества $q = 10$мКл. Какова была величина индукции $\vec{B}$ магнитного поля?

а) $B = 0{,}5$Тл; б)) $B = 0{,}4$Тл; в) $B = 0{,}3$Тл; г) $B = 0{,}2$Тл; д) $B = 0{,}1$Тл.

4.8. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}1$Тл с частотой $n = 10$об/с вращается рамка, содержащая $N = 1000$ витков провода. Ось рамки перпендикулярна к направлению магнитного поля. Максимальная ЭДС индукции, возникающая в рамке, равна $\varepsilon_{\max} = 94{,}2$В. Найдите площадь рамки S.

а) $S = 9 \cdot 10^{-3}\text{м}^2$; б) $S = 12 \cdot 10^{-3}\text{м}^2$; в) $S = 15 \cdot 10^{-3}\text{м}^2$;

г) $S = 18 \cdot 10^{-3}\text{м}^2$; д) $S = 21 \cdot 10^{-3}\text{м}^2$.

4.9. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}8\text{Тл}$ в плоскости, перпендикулярной линиям индукции поля, вращается стержень длиной $l = 20\text{см}$. Ось вращения проходит через один из концов стержня. При какой частоте вращения n разность потенциалов на концах его равна $U = 1{,}6\text{В}$?

а) $n = 12\text{с}^{-1}$; б) $n = 14\text{с}^{-1}$; в) $n = 16\text{с}^{-1}$; г) $n = 20\text{с}^{-1}$; д) $n = 22\text{с}^{-1}$.

4.10. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}8\text{Тл}$ равномерно вращается рамка площадью $S = 50\text{см}^2$. Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции. Среднее значение ЭДС индукции за время, в течение которого магнитный поток, пронизывающий рамку, изменился от нуля до максимального значения, равно $\langle \varepsilon_i \rangle = 0{,}16\text{В}$. С какой частотой n вращалась рамка?

а) $n = 12\text{с}^{-1}$; б) $n = 10\text{с}^{-1}$; в) $n = 8\text{с}^{-1}$; г) $n = 6\text{с}^{-1}$; д) $n = 5\text{с}^{-1}$.

4.11. Квадрат из медной проволоки помещён в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0{,}2\text{Тл}$ так, что плоскость его перпендикулярна линиям магнитной индукции поля. Если квадрат, потянув за противоположные вершины, вытянуть в линию, то по проволоке потечёт количество электричества $q = 84\text{мКл}$. Какова масса m проволоки?

а) $m = 0{,}67\text{г}$; б) $m = 0{,}82\text{г}$; в) $m = 0{,}96\text{г}$; г) $m = 1{,}24\text{г}$; д) $m = 2{,}21\text{г}$.

4.12. Магнитный поток, пронизывающий соленоид, $\Phi = 80\text{мкВб}$. Когда сила тока I, протекающего по обмотке, равна 6А. Индуктивность соленоида $L = 70\text{мГн}$. Сколько витков N содержит соленоид?

а) $N = 20$; б) $N = 200$; в) $N = 400$; г) $N = 600$; д) $N = 800$.

4.13. В магнитном поле, величина индукции которого изменяется по закону $B = \alpha + \beta t^2$, где $\alpha = 1 \cdot 10^{-1}\text{Тл}$, $\beta = 1 \cdot 10^{-2}\text{Тл/с}^2$, расположена квадратная рамка со стороной $a = 0{,}2\text{м}$, причём плоскость рамки перпендикулярна $\vec{B}$. Определить: количество теплоты Q, которое выделится в рамке за первые 5 секунд, если сопротивление рамки $R = 0.5$Ом.

а) $Q = 1{,}7 \cdot 10^{-5}$Дж; б) $Q = 3{,}4 \cdot 10^{-5}$Дж; в) $Q = 5{,}3 \cdot 10^{-5}$Дж;
г) $Q = 2{,}1 \cdot 10^{-5}$Дж; д) $Q = 6{,}3 \cdot 10^{-5}$Дж.

4.14. Обмотка соленоида состоит из одного слоя плотно прилегающих друг к другу витков медного провода. Диаметр провода 0,2мм, диаметр соленоида 5см. По соленоиду течёт ток 1А. Определите, какое количество электричества протечёт через обмотку соленоида, если концы ее замкнуть накоротко. Толщиной изоляции пренебречь.

а) $q = 95$мкКл; б) $q = 115$мкКл; в) $q = 145$мкКл; г) $q = 210$мкКл;
д) $q = 245$мкКл.

4.15. На картонный цилиндр диаметром $D = 4$см намотано $N = 1000$ витков проволоки в один слой. Витки плотно прижаты друг к другу. Индуктивность полученного соленоида $L = 4$мГн. Каков диаметр d проволоки, из которой сделан соленоид?

а) $d = 4 \cdot 10^{-4}$м; б) $d = 6 \cdot 10^{-4}$м; в) $d = 8 \cdot 10^{-4}$м; г) $d = 10 \cdot 10^{-4}$м;
д) $d = 12 \cdot 10^{-4}$м.

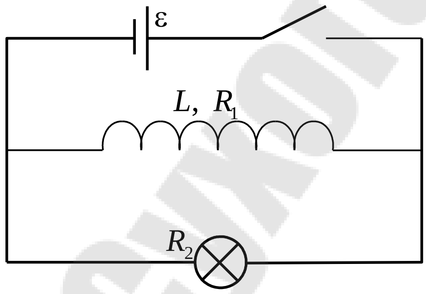
4.16. Индуктивность соленоида $L = 220$мкГн. Обмотка соленоида состоит из N витков медной проволоки, поперечное сечение которой $S_0 = 1\text{мм}^2$. Сопротивление обмотки $R = 0{,}4$Ом. Чему равна длина l соленоида?

а) $l = 0{,}16$м; б) $l = 0{,}2$м; в) $l = 0{,}25$м; г) $l = 0{,}48$м; д) $l = 1{,}68$м.

4.17. Длина соленоида $l = 160$см, площадь поперечного сечения $S = 19{,}6\text{см}^2$. Обмотка соленоида имеет $N = 2000$ витков, и по ней течёт ток $I = 2$А. Какая средняя ЭДС индуцируется в витке, надетом на соленоид с железным сердечником, если ток в соленоиде спадает до нуля в течении времени $t = 2$мс?

а) $\langle \varepsilon_S \rangle = 0{,}42$В; б) $\langle \varepsilon_S \rangle = 0{,}96$В; в) $\langle \varepsilon_S \rangle = 1{,}2$В; г) $\langle \varepsilon_S \rangle = 1{,}42$В;
д) $\langle \varepsilon_S \rangle = 2{,}9$В.

4.18. Дроссель с индуктивностью $L = 8$Гн и сопротивлением $R_1 = 40$Ом и лампа сопротивлением $R_2 = 200$Ом соединены параллельно и подключены к источнику с электродвижущей силой $\varepsilon = 120$В через ключ (см. рисунок). Определите напряжение U на зажимах дросселя в момент: 1) $t_1 = 0{,}01$с и 2) $t_2 = 0{,}5$с после размыкания цепи.

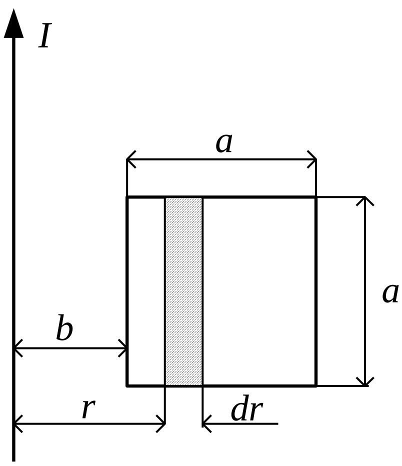


а) $U_1 = 440$В, $U_2 = 1{,}8 \cdot 10^{-4}$В; б) $U_1 = 320$В, $U_2 = 1{,}4 \cdot 10^{-4}$В;
в) $U_1 = 260$В, $U_2 = 1{,}2 \cdot 10^{-4}$В; г) $U_1 = 180$В, $U_2 = 1 \cdot 10^{-4}$В;
д) $U_1 = 90$В, $U_2 = 0{,}6 \cdot 10^{-4}$В.

4.19. Рамка площадью $S = 150\text{см}^2$ равномерно вращается в однородном магнитном поле с частотой $n = 2{,}4$об/с. Ось вращения находится в плоскости рамки и составляет угол $\alpha = 30^\circ$ с направлением магнитного поля. Максимальная ЭДС индукции ε_{max} во вращающейся рамке равна $0{,}09B$. Какова величина индукции магнитного поля $\vec{B}$?

а) $B = 0{,}2$Тл; *б)* $B = 0{,}4$Тл; *в)* $B = 0{,}6$Тл; *г)* $B = 0{,}8$Тл; *д)* $B = 1$Тл.

4.20. В одной плоскости с бесконечным прямолинейным проводом с током $I = 20$А расположена квадратная рамка со стороной $a = 20$см, причём две стороны рамки параллельны проводу, а расстояние от провода до ближайшей стороны рамки равно $b = 5$см (см. рисунок). Определите магнитный поток Ф, пронизывающий рамку.



а) Ф = 0,24мкВб; б) Ф = 0,36мкВб;
в) Ф = 0,44мкВб; г) Ф = 0,68мкВб;
д) Ф = 0,71мкВб.

2.2.5.Тестовые задачи по электромагнитным колебаниям и волнам

5.1. Напряжение на обкладках конденсатора в колебательном контуре изменяется по закону $U = 10\cos 10^4 t$ (В). Ёмкость конденсатора $10мкФ$. Найдите индуктивность контура и закон изменения силы тока в нём.

а) $L = 10^{-3}$ Гн, $I(t) = -\sin 10^4 t$, А;

б) $L = 1{,}3 \cdot 10^{-3}$ Гн, $I(t) = -2\sin 10^4 t$, А;

в) $L = 2 \cdot 10^{-3}$ Гн, $I(t) = -\sin 10^3 t$, А;

г) $L = 3{,}4 \cdot 10^{-3}$ Гн, $I(t) = -\sin 10^3 t$, А;

д) $L = 6{,}7 \cdot 10^{-3}$ Гн, $I(t) = -4\sin 10^3 t$, А.

5.2. Найдите логарифмический декремент затухания δ колебаний в контуре, состоящем из конденсатора ёмкостью $C = 2{,}22$нФ и катушки из медной проволоки диаметром $d = 0{,}5$мм. Катушка имеет 400 витков проволоки.

а) $\delta = 10{,}24$; б) $\delta = 5{,}78$; в) $\delta = 2{,}8$; г) $\delta = 0{,}78$; д) $\delta = 0{,}018$.

5.3. В контуре вследствие затухания теряется 99% энергии. Колебательный контур содержит ёмкость $C = 0{,}55$nФ и индуктивность $L = 10$мГн. За какое время происходит потеря энергии в контуре, если логарифмический декремент затухания $\delta = 0{,}005$?

а) $t = 2{,}5 \cdot 10^{-3}$с; б) $t = 5 \cdot 10^{-3}$с; в) $t = 6{,}8 \cdot 10^{-3}$с; г) $t = 9{,}2 \cdot 10^{-3}$с; д) $t = 12{,}89 \cdot 10^{-3}$с.

5.4. Для какого момента времени t отношение $\frac{W_м}{W_{эл}}$ энергии магнитного поля колебательного контура к энергии его электрического поля равно 3?

а) $t = \frac{T}{3}$; б) $t = \frac{T}{4}$; в) $t = \frac{T}{6}$; г) $t = \frac{T}{9}$; д) $t = \frac{T}{12}$.

5.5. Ток в колебательном контуре изменяется по закон $I = -0.04\sin 400\pi t, A.$ Ёмкость конденсатора $C = 0{,}63$мкФ. Найдите период T колебаний, индуктивность контура L, минимальную энергию $W_м$ магнитного поля и максимальную энергию $W_{эл}$ электрического поля.

а) $L = 1Гн, T = 5мс, W_{эл} = W_м = 0,8мДж$;

б) $L = 2,4Гн, T = 8мс, W_{эл} = W_м = 1,3мДж$;

в) $L = 4,5Гн, T = 12мс, W_{эл} = W_м = 2,8мДж$;

г) $L = 6,7Гн, T = 16мс, W_{эл} = W_м = 4,9мДж$;

д) $L = 9Гн, T = 21мс, W_{эл} = W_м = 7,4мДж$.

5.6. Разность потенциалов на обкладках конденсатора в колебательном контуре изменяется по закону $U = 25\cos 10^4 \pi t, B$. Индуктивность катушки $L = 10,13мГн$. Найдите период T колебаний, ёмкость C конденсатора, закон изменения со временем тока I в цепи и длину волны λ, соответствующую этому контуру.

а) $T = 0,1мс, C = 0,1мкФ, I(t) = -48,5 \cdot 10^{-3} \sin 10^4 \pi t, A, \lambda = 60км$;

б) $T = 0,2мс, C = 0,2мкФ, I(t) = -28,5 \cdot 10^{-3} \sin 10^4 \pi t, A, \lambda = 40км$;

в) $T = 0,2мс, C = 0,1мкФ, I(t) = -78,5 \cdot 10^{-3} \sin 10^4 \pi t, A, \lambda = 60км$;

г) $T = 0,5мс, C = 0,1мкФ, I(t) = -78,5 \cdot 10^{-3} \sin 10^4 \pi t, A, \lambda = 50км$;

д) $T = 0,4мс, C = 0,4мкФ, I(t) = -48,2 \cdot 10^{-3} \sin 10^4 \pi t, A, \lambda = 50км$.

5.7. Колебательный контур состоит из конденсатора ёмкостью $C = 0,2мкФ$, катушки с индуктивностью $L = 5,07мГн$ и сопротивления $R = 11,1Ом$. Во сколько раз уменьшится разность потенциалов на обкладках конденсатора за два периода колебаний?

а) $n = 0,42$; б) $n = 1,2$; в) $n = 1,55$; г) $n = 2,68$; д) $n = 3,75$.

5.8. Активное сопротивление колебательного контура $R = 0,33Ом$. Какую мощность P потребляет контур при поддержании в нем незатухающих колебаний с амплитудой силы тока $I_m = 30мА$?

а) $P = 0,15 \cdot 10^{-3}Вт$; б) $P = 1,45 \cdot 10^{-3}Вт$; в) $P = 2,80 \cdot 10^{-3}Вт$;

г) $P = 6,25 \cdot 10^{-3}Вт$; д) $P = 8,5 \cdot 10^{-3}Вт$.

5.9. Катушка сопротивлением 8,2Ом включена в цепь переменного тока частотой $\nu = 50Гц$. Длина катушки $l = 100см$ и площадь поперечного сечения $S = 40 см^2$. Число витков на катушке $N = 3000$. Найдите сдвиг фаз φ между напряжением и током.

а) $\varphi = 10^\circ$; б) $\varphi = 20^\circ$; в) $\varphi = 40^\circ$; г) $\varphi = 50^\circ$; д) $\varphi = 60^\circ$.

5.10. Колебательный контур настроен на длину волны $\lambda = 1500 м$ и состоит из катушки индуктивностью $L = 60 мкГн$ и плоского конденсатора с площадью пластин $S = 400 см^2$. Расстояние между пластинами $d = 0{,}02 см$. Найдите диэлектрическую проницаемость ε среды, заполняющей пространство между пластинами конденсатора.

а) $\varepsilon = 0$; б) $\varepsilon = 1{,}5$; в) $\varepsilon = 6$; г) $\varepsilon = 8$; д) $\varepsilon = 12$.

5.11. Колебательный контур состоит из конденсатора ёмкостью $C = 100 нФ$, катушки индуктивностью $L = 0{,}01 Гн$ и резистора сопротивлением $R = 20 Ом$. Определите: 1) период затухающих колебаний; 2) через сколько полных колебаний амплитуда тока в контуре уменьшится в e раз?

а) 1) $T = 1 мс$, 2) $N_e = 3$; б) 1) $T = 2 мс$, 2) $N_e = 5$;
в) 1) $T = 6 мс$, 2) $N_e = 9$; д) 1) $T = 8 мс$, 2) $N_e = 12$.

5.12. Определите добротность Q колебательного контура, если собственная частота ω_0 колебательного контура отличается на 5% от частоты ω свободных затухающих колебаний.

а) $Q = 0{,}34$; б) $Q = 0{,}93$; в) $Q = 1{,}56$; г) $Q = 2{,}78$; д) $Q = 4{,}21$.

5.13. Колебательный контур состоит из конденсатора ёмкостью $C = 10 пФ$ и катушки индуктивностью $L = 4 мкГн$. Определите критическое сопротивление $R_{кр}$ контура, при котором наступает апериодический процесс.

а) $R_{кр} = 15 Ом$; б) $R_{кр} = 25 Ом$; в) $R_{кр} = 35 Ом$; г) $R_{кр} = 40 Ом$;
д) $R_{кр} = 45 Ом$.

5.14. Колебательный контур содержит катушку индуктивностью $L = 5 мГн$ и конденсатор ёмкостью $C = 2 мкФ$. Добротность колебательного контура $Q = 100$. Какую среднюю мощность следует подводить для поддержания в колебательном контуре незатухающих гармонических колебаний с амплитудным значением напряжения на конденсаторе $U_{cm} = 2\text{В}$?

а) $\langle P \rangle = 0{,}2 \cdot 10^{-3}\text{Вт}$; б) $\langle P \rangle = 0{,}3 \cdot 10^{-3}\text{Вт}$; в) $\langle P \rangle = 0{,}4 \cdot 10^{-3}\text{Вт}$;
г) $\langle P \rangle = 0{,}5 \cdot 10^{-3}\text{Вт}$; д) $\langle P \rangle = 0{,}6 \cdot 10^{-3}\text{Вт}$.

5.15. Уравнение плоской электромагнитной волны, распространяющейся в среде с магнитной проницаемостью, равной 1, имеет вид $E = 10\sin(6{,}28 \cdot 10^{8} t - 4{,}19\pi)$. Определить длину электромагнитной волны и относительную диэлектрическую проницаемость среды.

а) $\lambda = 1\text{м}, \varepsilon = 2$; б) $\lambda = 1{,}5\text{м}, \varepsilon = 4$; в) $\lambda = 2\text{м}, \varepsilon = 6$;
г) $\lambda = 4\text{м}, \varepsilon = 12$; д) $\lambda = 8\text{м}, \varepsilon = 14$.

5.16. Длина электромагнитной волны в вакууме, на котором построен колебательный контур, равна $31{,}4\text{м}$. Пренебрегая активным сопротивлением контура, определите максимальную силу тока I_m в контуре, если максимальный заряд q_m на обкладках конденсатора равен 50нКл.

а) $I_m = 1\text{А}$; б) $I_m = 1{,}4\text{А}$; в) $I_m = 2\text{А}$; г) $I_m = 3\text{А}$; д) $I_m = 4\text{А}$.

5.17. В вакууме вдоль оси X распространяется плоская электромагнитная волна. Определите амплитуду напряжённости электрического поля волны, если амплитуда H_0 напряжённости магнитного поля волны равна 5мА/м.

а) $E_0 = 1{,}88\dfrac{\text{В}}{\text{м}}$; б) $E_0 = 2{,}64\dfrac{\text{В}}{\text{м}}$; в) $E_0 = 6{,}94\dfrac{\text{В}}{\text{м}}$; г) $E_0 = 8{,}92\dfrac{\text{В}}{\text{м}}$;
д) $E_0 = 12{,}31\dfrac{\text{В}}{\text{м}}$.

5.18. В вакууме распространяется плоская электромагнитная волна, амплитуда напряжённости электромагнитного поля которой 100В/м. Какую энергию переносит эта волна через площадку 50см^2, расположенную перпендикулярно направлению распространения волны, за 1 минуту? Период волны $T = t$.

а) $W = 2$Дж; б) $W = 3$Дж; в) $W = 4$Дж; г) $W = 5$Дж; д) $W = 8$Дж.

5.19. Плоская электромагнитная волна распространяется в однородной и изотропной среде с $\varepsilon = 2$ и $\mu = 1$. Амплитуда напряжённости электрического поля волны $E_0 = 12$В/м. Определите: 1) величину фазовой скорости волны; 2) амплитуду напряжённости магнитного поля волны.

а) 1) $\upsilon = 0{,}34 \cdot 10^8$ м/с, 2) $H_0 = 15 \cdot 10^{-3}\,\frac{\text{А}}{\text{м}}$;

б) 1) $\upsilon = 1{,}13 \cdot 10^8$ м/с, 2) $H_0 = 25 \cdot 10^{-3}\,\frac{\text{А}}{\text{м}}$;

в) 1) $\upsilon = 2{,}12 \cdot 10^8$ м/с, 2) $H_0 = 45 \cdot 10^{-3}\,\frac{\text{А}}{\text{м}}$;

г) 1) $\upsilon = 3{,}84 \cdot 10^8$ м/с, 2) $H_0 = 55 \cdot 10^{-3}\,\frac{\text{А}}{\text{м}}$;

д) 1) $\upsilon = 4{,}93 \cdot 10^8$ м/с, 2) $H_0 = 60 \cdot 10^{-3}\,\frac{\text{А}}{\text{м}}$.

5.20. Определить энергию, которую переносит за 1 минуту плоская синусоидальная волна, распространяющаяся в вакууме через площадку площадью 10см^2, расположенную перпендикулярно направлению распространения волны. Амплитуда напряжённости электрического поля волны 1мВ/м. Период волны $T = 1$ мин.

а) $W = 4 \cdot 10^{-11}$Дж; б) $W = 6 \cdot 10^{-11}$Дж; в) $W = 8 \cdot 10^{-11}$Дж;
г) $W = 10 \cdot 10^{-11}$Дж; д) $W = 12 \cdot 10^{-11}$Дж.

3. Оптика. Атомная и ядерная физика

3.1.1. Геометрическая оптика. Основные понятия и формулы

При падении луча света на границу двух сред наблюдаются явления отражения и преломления света (рис. 1).

Закон отражения света:

$$\alpha = \alpha',$$

где α – угол падения луча; α' – угол отражения.

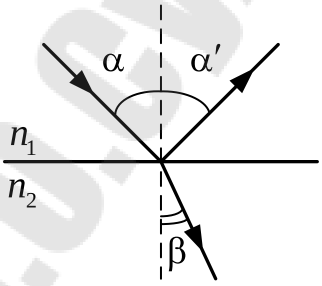


Рис. 1

Закон преломления света при прохождении через границу раздела двух сред:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n_{21} = \frac{n_2}{n_1},$$

где α – угол падения луча; β – угол преломления; n_{21} – относительный показатель преломления; n_1 и n_2 – абсолютные показатели преломления первой и второй сред.

Если $n_2 < n_1$, то угол $\beta > \alpha$; при $\alpha = \alpha_{пр}$ угол $\beta = 90°$.

Явление полного отражения:

$$\sin\alpha_{пр} = \frac{n_2}{n_1},$$

где $\alpha_{пр}$ – предельный угол полного отражения.

Все лучи, падающие на границу двух сред под углом $\alpha > \alpha_{пр}$, полностью отражаются.

Для призмы из материала с показателем преломления n и преломляющим углом A (рис. 2)

- для первой преломляющей грани
$$\frac{\sin\alpha_1}{\sin\beta_1} = n;$$
- для второй преломляющей грани
$$\frac{\sin\alpha_2}{\sin\beta_2} = \frac{1}{n};$$
- преломляющий угол
$$A = \alpha_2 + \beta_1.$$

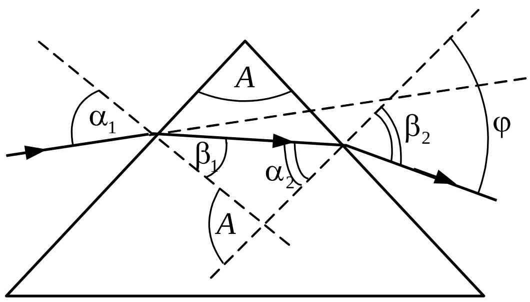


Рис. 2

Связь угла φ отклонения лучей и преломляющего угла A призмы:

$$\varphi = A(n-1) = \alpha_1 + \beta_2 - A.$$

Абсолютный показатель преломления:

$$n = \frac{c}{\upsilon},$$

где c – скорость света в вакууме; υ – скорость света в среде.

Формула сферического зеркала (для параксиальных световых лучей):

$$\frac{1}{F} = \frac{2}{R} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f},$$

где F – главное фокусное расстояние; R – радиус кривизны сферического зеркала; d – расстояние от зеркала до светящейся точки; f – расстояние от зеркала до изображения.

Оптическая сила сферического зеркала:

$$D = \frac{1}{F} = \frac{2}{R},$$

где F – главное фокусное расстояние; R – радиус кривизны сферического зеркала.

Оптическая сила тонкой линзы:

$$D = \frac{1}{F} = \left(\frac{n_л}{n_{ср}} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right),$$

где F – главное фокусное расстояние линзы; $n_л$ – абсолютный показатель преломления вещества линзы; $n_{ср}$ – абсолютный показатель преломления окружающей среды (одинаковой с обеих сторон линзы).

В этой формуле радиусы выпуклых поверхностей (R_1 и R_2) берутся со знаком «плюс», вогнутых – со знаком «минус».

Формула тонкой линзы:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f},$$

где d – расстояние от оптического центра линзы до предмета; f – расстояние от оптического центра линзы до изображения. Для собирающих линз величина F положительная, для рассеивающих линз величина F отрицательная. Если изображение мнимое, то величина f отрицательная.

Увеличение в линзе:

$$Г = \frac{h}{h_0} = \frac{f}{d},$$

где h и h_0 – соответственно линейные размеры изображения и предмета.

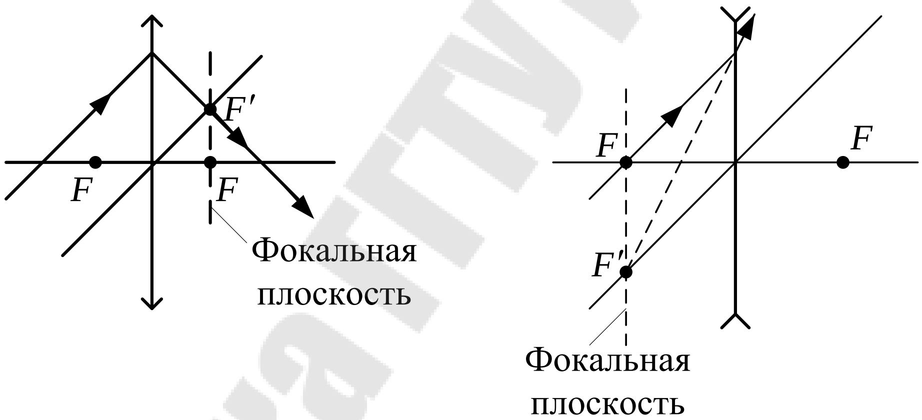
Построение изображения в линзах осуществляется с помощью следующих лучей:

– луч, проходящий через оптический центр линзы, – не изменяет своего направления и является побочной оптической осью;

– луч, идущий параллельно главной оптической оси, – после преломления в линзе этот луч или его продолжение проходит через один из фокусов линзы;

– луч (или его продолжение), проходящий через первый фокус линзы, – после преломления в ней выходит из линзы параллельно ее главной оптической оси.

При построении изображений в тонкой линзе полезно также помнить свойства побочных фокусов. Напомним, что побочной оптической осью называется любая прямая, проходящая через оптический центр линзы под углом к главной оптической оси. Плоскость, проходящая через фокус перпендикулярно к главной оптической оси, называется главной фокальной плоскостью. Точка пересечения побочной оптической оси с фокальной плоскостью называется побочным фокусом F' (рис. 3). Любой луч (или его продолжение), параллельный побочной оптической оси, проходит через соответствующий побочный фокус; F' – побочный фокус.



а) . *б)*

Рис. 3

Увеличение лупы:

$N = \frac{L}{F}$, L = 0,25 м (расстояние наилучшего зрения).

Увеличение микроскопа:

$$N = \frac{\delta L}{F_1 F_2},$$

где δ – расстояние между фокусами объектива и окуляра; F_1 и F_2 – фокусные расстояния объектива и окуляра.

Световой поток Φ, испускаемый изотропным источником в пределах телесного угла ω, в вершине которого находится источник, пропорционален силе света I источника и величине телесного угла ω:

$$\Phi = I\omega.$$

Полный световой поток изотропного точечного источника:

$$\Phi_0 = 4\pi I.$$

Поток излучения:

$$\Phi = \frac{W}{t},$$

где W – энергия излучения; t – время излучения.

Светимость R равномерно светящейся поверхности численно равна световому потоку, испускаемому с единицы площади поверхности:

$$R = \frac{\Phi}{S}.$$

Энергетическая яркость (светимость):

$$B = \frac{\Delta I_e}{\Delta S},$$

где ΔI_e – энергетическая сила света элемента излучающей поверхности; ΔS – площадь проекции элемента излучающей поверхности на плоскость, перпендикулярную к направлению наблюдения.

Освещенность E поверхности численно равна световому потоку, падающему на единицу площади:

$$E = \frac{\Phi}{S}.$$

Освещенность, создаваемая изотропным точечным источником на расстоянии r от него:

$$E = \frac{I\cos\alpha}{r^2},$$

где α – угол падения луча.

3.1.2. Интерференция света. Основные понятия и формулы

Когерентность – согласованное протекание нескольких колебательных или волновых процессов. Монохроматические волны называются когерентными, если разность их фаз остается постоянной во времени.

Монохроматические волны – неограниченные в пространстве волны одной определенной и строго постоянной частоты. Немонохроматический свет можно представить в виде совокупности сменяющих друг друга независимых гармонических цугов. Средняя продолжительность одного цуга $\tau_{ког}$ называется временем когерентности (время когерентности не может превышать время излучения τ, т.е. $\tau_{ког} < \tau$). Если волна распространяется в однородной среде, то фаза колебаний в определенной точке пространства сохраняется только в течение времени когерентности $\tau_{ког}$. За это время волна распространяется в вакууме на расстояние $l_{ког} = c\tau_{ког}$, называемое длиной когерентности (или длиной цуга).

Скорость света в среде $\upsilon = \frac{c}{n}$, где c – скорость распространения света в вакууме; n – абсолютный показатель преломления среды.

Оптическая длина пути, проходимого световым лучом в однородной среде с показателем преломления n, равна $L = nl$, где l – геометрическая длина пути луча.

Если один луч проходит путь длиной l_1 в среде с показателем преломления n_1, а другой луч – путь l_2 с показателем преломления n_2, то оптическая разность хода этих лучей:

$$\Delta = n_2 l_2 - n_1 l_1 = L_2 - L_1,$$

где L_1 и L_2 – соответственно оптические длины проходимых волнами путей.

Разность фаз двух когерентных волн:

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

где λ_0 – длина волны (световой) в вакууме, Δ – оптическая разность хода двух световых волн.

Условие максимального усиления света при интерференции (интерференционный максимум):

$$\Delta = \pm m\lambda_0,$$

где λ_0 – длина световой волны в вакууме; $m = 0, 1, 2, \ldots$ – порядок интерференционного максимума.

Условие максимального ослабления света при интерференции (интерференционный минимум):

$$\Delta = \pm(2m+1)\frac{\lambda_0}{2},$$

где m – порядок интерференционного минимума.

Расстояние Δx между интерференционными полосами на экране, полученными от двух когерентных источников света (ширина интерференционной полосы),

$$\Delta x = \frac{l\lambda_0}{d},$$

где l – расстояние от экрана до источника света, d – расстояние между источниками $(d<l)$.

Условия максимумов и минимумов при интерференции света, отраженного от верхней и нижней поверхностей тонкой плоскопараллельной пленки, находящейся в воздухе $(n_0 = 1)$,

максимум: $2dn\cos\beta \pm \dfrac{\lambda_0}{2} = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} \pm \dfrac{\lambda_0}{2} = m\lambda_0$;

минимум: $2dn\cos\beta \pm \dfrac{\lambda_0}{2} = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} \pm \dfrac{\lambda_0}{2} = (2m+1)\dfrac{\lambda_0}{2}$,

где d – толщина пленки; n – показатель ее преломления; α – угол падения; β – угол преломления; $m = 0,\ 1,\ 2\ldots$ – порядок интерференции.

В общем случае член $\pm\dfrac{\lambda_0}{2}$ обусловлен потерей полуволны при отражении света от границы раздела – если $n > n_0$, то необходимо употреблять знак «плюс», если $n < n_0$ – знак «минус».

Радиус колец Ньютона:

– темных в отраженном свете (или светлых в проходящем свете)

$$r_m = \sqrt{\frac{m\lambda R}{n}};$$

– светлых в отраженном свете (или темных в проходящем свете)

$$r_m = \sqrt{\left(m - \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda R}{n}},$$

где R – радиус кривизны поверхности линзы, соприкасающейся с плоскопараллельной пластинкой; λ – длина световой волны в среде между линзой и пластинкой; m – порядковый номер кольца, $m = 0$ соответствует центральному пятну; n – показатель преломления среды между линзой и пластиной.

Оптическая разность хода световых лучей Δ, отраженных от двух поверхностей тонкой пластинки, по обе стороны которых находятся одинаковые среды:

в проходящем свете $\Delta = 2d\sqrt{n^2 - n_1^2\sin^2\alpha}$;

в отраженном свете $\Delta = 2d\sqrt{n^2 - n_1^2\sin^2\alpha} - \dfrac{\lambda_0}{2}$,

где d – толщина пластинки; n – показатель преломления вещества пластинки; n_1 – показатель преломления среды; α – угол падения луча; λ_0 – длина световой волны в вакууме.

Добавочная разность хода $\dfrac{\lambda}{2}$ учитывает изменение фазы волны на π при отражении ее от оптически более плотной среды.

В случае «просветления оптики» интерферирующие лучи в отраженном свете гасят друг друга при условии:

$$n_{пл} = \sqrt{n_л \cdot n_{ср}} ,$$

где $n_{пл}$ – показатель преломления пленки, $n_{ср}$ – показатель преломления окружающей среды; $n_л$ – показатель преломления линзы.

Если окружающая среда – воздух (n_0), то выполняется условие $n_л > n_{пл} > n_0$ и потеря полуволны происходит на обеих поверхностях. Поэтому условие интерференционного максимума (при нормальном падении света):

$$2n_{пл}d = (2m+1)\frac{\lambda_0}{2},$$

где $n_{пл}d$ – оптическая толщина пленки; λ_0 – длина волны в вакууме.

Обычно принимают $m = 0$, тогда $n_{пл}d = \frac{\lambda_0}{4}$.

3.1.3. Дифракция света. Основные понятия и формулы

Радиусы зон Френеля (см. рис):

– для плоской волны

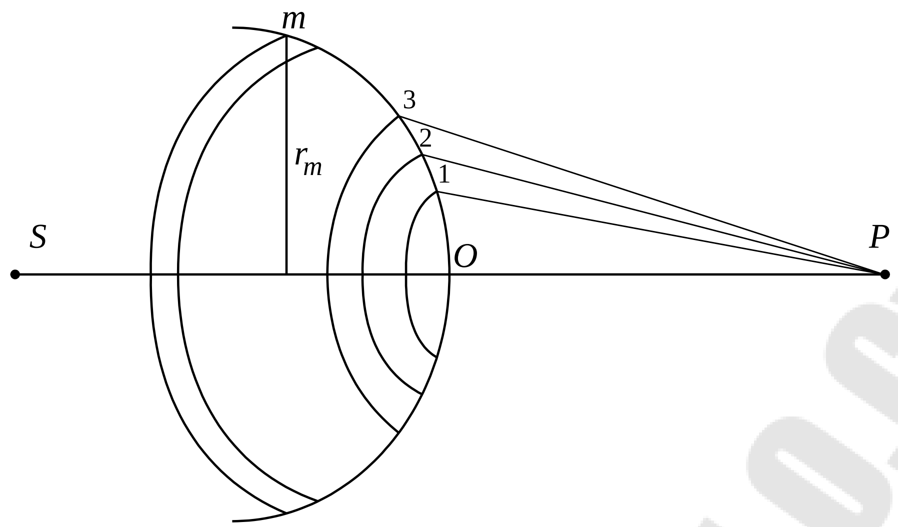
$$r_m = \sqrt{mr_0\lambda} ,$$

где r – радиус зоны; m – номер зоны; r_0 – расстояние от круглого отверстия в непрозрачном экране до точки наблюдения, расположенной на оси отверстия; λ – длина световой волны;

– для сферической волны (радиус внешней границы m-ной зоны Френеля)

$$r_m = \sqrt{\frac{abm\lambda}{(a+b)}},$$

где $SO = a$; $OP = b$; m – номер зоны Френеля; λ – длина волны (т.е. a и b – соответственно расстояния диафрагмы с круглым отверстием от точечного источника и от экрана, на котором наблюдается дифракционная картина).



В случае дифракции в параллельных лучах от одной щели шириной a при нормальном падении света положение минимумов и максимумов освещенности на экране определяется углом φ, отсчитанным от нормали к поверхности щели и удовлетворяющим условию:

– минимум $a\sin\varphi = \pm 2m\dfrac{\lambda}{2}$;

– максимум $a\sin\varphi = \pm(2m+1)\dfrac{\lambda}{2}$,

где φ – угол дифракции; m – порядок спектра $(m = 0, 1, 2, 3, \ldots)$, λ – длина волны.

Постоянная (период) дифракционной решетки:

$$d = a + b; \qquad d = \frac{l}{N},$$

где a – ширина каждой щели решетки; b – ширина непрозрачных участков между щелями; N – число щелей, приходящихся на единицу длины дифракционной решетки; d – период решетки, l – длина решетки.

Условия главных максимумов и дополнительных минимумов дифракционной решетки, на которую свет падает нормально:

$$d\sin\varphi = \pm m\lambda, \quad (m = 0, 1, 2, \ldots);$$

$$d\sin\varphi = \pm m'\frac{\lambda}{N}, \quad (m' = 1, 2, 3, \ldots), \quad \text{кроме } m' = 0, N, 2N, \ldots,$$

где d – постоянная (период) дифракционной решетки; φ – угол между нормалью к поверхности дифракционной решетки и направлением дифрагирующих лучей; N – число штрихов решетки; m – порядок дифракционного спектра.

Формула Вульфа – Брэггов (условие дифракционных максимумов от пространственной дифракционной решетки):

$$2d\sin\theta = m\lambda, \qquad (m = 1,\ 2,\ 3,\ \ldots),$$

где d – расстояние между атомными плоскостями кристалла; θ – угол скольжения; λ – длина волны рентгеновского излучения.

Угловая дисперсия дифракционной решетки:

$$D_{\varphi} = \frac{\delta\varphi}{\delta\lambda} = \frac{m}{d\cos\varphi},$$

где φ – угол дифракции; m – порядок спектра; d – период решетки.

Линейная дисперсия дифракционной решетки:

$$D = F\frac{d\varphi}{d\lambda},$$

где F – фокусное расстояние линзы, проектирующей спектр на экран; $d\varphi$ – разница в углах, соответствующая двум линиям, отличающимся по длине волны на $d\lambda$.

Разрешающая способность спектрального прибора:

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda},$$

где $\delta\lambda$ – минимальная разность длин волн двух соседних спектральных линий, при которой эти линии регистрируются раздельно.

Разрешающая способность дифракционной решетки:

$$R = mN,$$

где m – порядок спектра; N – общее число штрихов решетки.

Разрешающая способность призмы:

$$R = \frac{\lambda}{(\lambda + \Delta\lambda)} = (a - b)\left(\frac{dn}{d\lambda}\right),$$

где λ, $(\lambda + \Delta\lambda)$ – длины волн двух соседних спектральных линий, разрешаемых решеткой; λ – длина волны в вакууме; a и b – пути, проходимые в призме крайними лучами пучка.

При полном использовании разрешающей способности падающий пучок покрывает всю боковую поверхность призмы. В этом случае $b = 0$ и $R_{\max} = a\left(\frac{dn}{d\lambda}\right)$.

Разрешающая способность объектива:

$$R \approx \frac{1}{\varphi} = \frac{D}{1{,}22\lambda},$$

где D – диаметр объектива; φ – минимальное разрешаемое угловое расстояние.

Разрешающая способность глаза:

$$R \approx \frac{1}{\varphi_{\min}} = \frac{d}{1{,}22\lambda},$$

где d – диаметр зрачка.

3.1.4. Поляризация и дисперсия света. Основные понятия и формулы

Закон Брюстера:

$$\mathrm{tg}\alpha_Б = \frac{n_2}{n_1} = n_{21},$$

где $\alpha_Б$ – угол падения луча на границу раздела двух прозрачных диэлектриков, при котором отраженный луч является плоскополяризованным; n_1 и n_2 – абсолютные показатели преломления диэлектриков; n_{21} – показатель преломления второй среды относительно первой (рис. 1).

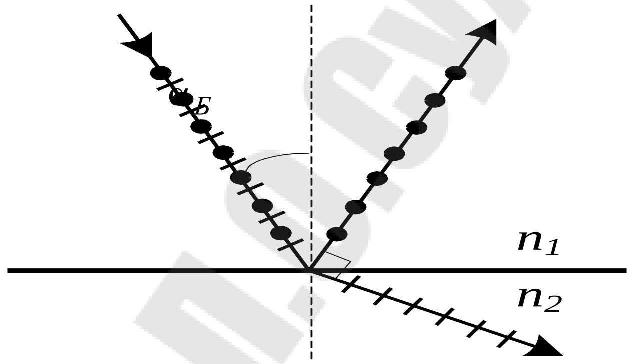


Рис. 1

Интенсивность света, прошедшего через первый николь N_1 (рис. 2) (поляризатор *П*), с учетом поглощения,

$$I_1 = \frac{I_0}{2}(1 - k_1),$$

где I_0 – интенсивность естественного света, падающего на первый николь; k_1 – коэффициент поглощения света в поляризаторе.

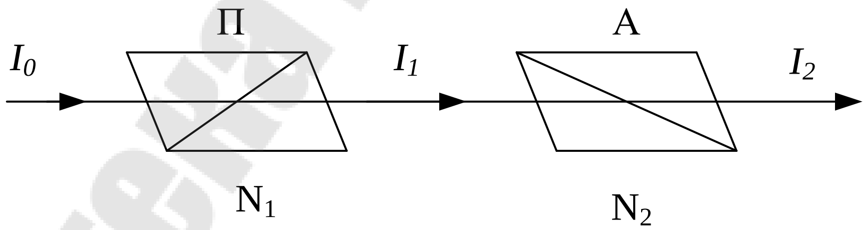


Рис. 2

Уменьшение интенсивности света после второго николя N_2 (анализатора *А*) определяется законом Малюса:

$$I_2 = I_1 \cos^2 \varphi.$$

С учетом потери интенсивности света в анализаторе:

$$I_2 = \frac{I_0}{2}(1 - k_1)(1 - k_2)\cos^2 \varphi,$$

где k_1 – коэффициент поглощения света в анализаторе; φ – угол между плоскостями поляризации поляризатора и анализатора.

Степень поляризации света:

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}},$$

где $I_{\max}$ и $I_{\min}$ – соответственно максимальная и минимальная интенсивность частично поляризованного света, пропускаемого анализатором.

Падающий свет – естественный.

Двойное лучепреломление – способность веществ, в частности, кристаллов расщеплять падающий световой луч на два луча – обыкновенный (o) и необыкновенный (e), которые распространяются в различных направлениях с разными фазовыми скоростями. Если показатель преломления необыкновенного луча n_e больше показателя преломления обыкновенного луча n_o, то такие кристаллы называются оптически положительными. Если n_o больше n_e, то такие кристаллы называются оптически отрицательными.

Оптическая разность хода для кристаллической пластинки:

– в четверть длины волны $(n_o - n_e)d = \pm\left(m + \frac{1}{4}\right)\lambda$, $(m = 0,\ 1,\ 2,\ \ldots)$;

– в полдлины волны $(n_o - n_e)d = \pm\left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$, $(m = 0,\ 1,\ 2,\ \ldots)$;

– в целую длину волны $(n_o - n_e)d = \pm m\lambda$, $(m = 0,\ 1,\ 2,\ \ldots)$,

где знак «+» соответствует отрицательным одноосным кристаллам, знак «–» – положительным; λ – длина волны; d – толщина пластинки; n_o, n_e – соответственно показатели преломления обыкновенного и необыкновенного лучей в направлении, перпендикулярном к оптической оси.

Угол поворота плоскости поляризации:

для оптически активных кристаллов и чистых жидкостей – $\varphi = \alpha d$;

для оптически активных растворов – $\varphi = [\alpha]Cd$,

где d – длина пути, пройденного светом в оптически активном веществе; $\alpha([\alpha])$ – удельное вращение; C – массовая концентрация оптически активного вещества в растворе.

Фазовая скорость света:

$$\upsilon = \frac{c}{n},$$

где c – скорость света в вакууме; n – абсолютный показатель преломления среды.

Дисперсия вещества:

$$D = \frac{dn}{d\lambda}.$$

Групповая скорость света:

$$u = \frac{c}{n}\left(1 + \frac{\lambda}{n}\frac{dn}{d\lambda}\right).$$

Направление излучения Вавилова – Черенкова:

$$\cos\theta = \frac{c}{n\upsilon_r},$$

где υ_r – скорость заряженной частицы.

3.1.5. Тепловое излучение. Основные понятия и формулы

Основные характеристики теплового излучения нагретого тела. Энергетическая светимость $r_э(T)$ – энергия, испускаемая единицей поверхности излучающего тела в единицу времени. Размерность $[r_э]$ = Вт/м^2.

Энергетическая светимость тела:

$$r_э = \frac{\Phi_э}{S} = \frac{1}{S}\frac{dW_э}{dt} = \frac{N}{S},$$

где $\Phi_э$ – поток излучения; S – площадь излучающей поверхности; $dW_э$ – энергия, излучаемая поверхностью S за время dt; N – мощность излучения с поверхности S.

Испускательная способность тела $r_\nu = r(\nu,\ T)$ – количество энергии, испускаемое единицей поверхности тела в единицу времени в единичном интервале частот. Размерность $[r_\nu]$ = Дж/м^2, связь с энергетической светимостью:

$$r_э(T) = \int_0^\infty r(\omega, T)\,d\omega.$$

Испускательная способность тела $r_\lambda = r(\lambda, T)$ – количество энергии, испускаемое единицей поверхности тела в единицу времени в единичном интервале длин волн:

$$r(\lambda, T) = r(\nu, T)\frac{2\pi c}{\lambda^2}d\lambda,$$

размерность $[r_\lambda]$ = Вт/м^3, связь с интегральной характеристикой:

$$r_э(T)=\int_0^{\infty} r(\lambda,T)\,d\lambda .$$

Поглощательная способность тела a_ν – отношение потока энергии, поглощенной телом в единичном интервале частот, к падающему потоку энергии. Это безразмерная величина, не превышающая единицы. Тело, для которого $a_\nu = 1$, называется абсолютно черным телом.

Энергетическая светимость абсолютно черного тела определяется формулой Стефана – Больцмана:

$$r_э = \sigma T^4,$$

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

Энергетическая светимость серого тела:

$$r_э = A_T \sigma T^4,$$

где A_T – поглощательная способность серого тела; σ – постоянная Стефана – Больцмана; T – термодинамическая температура.

Закон смещения Вина: длина волны $\lambda_{\max}$, на которую приходится максимальное значение спектральной плотности энергетической светимости в спектре абсолютно черного тела, обратно пропорциональна абсолютной температуре:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T},\quad \nu_{\max} = aT,$$

где $\nu_{\max}$ и $\lambda_{\max}$ – частота и длина волны, соответствующие максимальному значению спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела; $a = 5{,}9\cdot 10^{11}$ Гц/К, $b = 2{,}9\cdot 10^{-3}$ мК – постоянные Вина.

Максимальное значение спектральной плотности энергетической светимости R_ν и R_λ абсолютно черного тела пропорционально третьей и соответственно, пятой степени абсолютной температуры:

$$R_\nu = a_1 T^3; \qquad a_1 = 0{,}6\cdot 10^{-14}\ \text{Вт/(м}^3\text{К}^3\text{)};$$

$$R_\lambda = b_1 T^5; \qquad b_1 = 1{,}3\cdot 10^{-5}\ \text{Вт/(м}^3\text{К}^5\text{)}.$$

Формула Рэлея – Джинса для спектральной плотности энергетической светимости черного тела:

$$R_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} kT,$$

где kT – средняя энергия осциллятора с собственной частотой ν (k – постоянная Больцмана; T – термодинамическая температура); c – скорость света в вакууме.

Формула Планка:

$$R_{\nu,T} = \frac{2\pi h\nu^3}{c^2}\frac{1}{e^{\frac{h\nu}{KT}}-1}; \qquad R_{\lambda,T} = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5}\frac{1}{e^{\frac{hc}{KT\lambda}}-1},$$

где $R_{\nu,T}$, $R_{\lambda,T}$ – спектральные плотности энергетической светимости черного тела соответственно как функция частоты ν и длины волны λ.

Радиационная температура тела:

$$T_p = \sqrt[4]{\frac{R_э}{\sigma}},$$

где $R_э$ – энергетическая светимость тела; σ – постоянная Стефана – Больцмана.

Радиационная температура серого тела:

$$T_p = T\sqrt[4]{A_T},$$

где T – истинная температура, A_T – поглощательная способность серого тела.

Закон Кирхгофа:

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

где $r_{\nu,T}$ – спектральная плотность энергетической светимости тела; $A_{\nu,T}$ – спектральная поглощательная способность тела; $R_{\nu,T}$ – спектральная плотность энергетической светимости черного тела.

3.1.6. Квантово-оптические явления. Основные понятия и формулы

Энергия кванта (фотона):

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda},$$

где ν – частота света; λ – длина световой волны; $h = 6{,}62\cdot10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка; c – скорость света в вакууме.

Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта:

$$h\nu = A + \frac{m\upsilon_{\max}^2}{2} \quad \text{или} \quad h\nu = h\nu_0 + eU_0,$$

где $h\nu$ – энергия фотона, падающего на поверхность металла (ν – частота падающего фотона, h – постоянная Планка); A – работа выхода электрона из металла; $\frac{m\upsilon_{\max}^2}{2}$ – максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона; U_0 – задерживающее напряжение (напряжение запирания фотона), ν_0 – красная граница фотоэффекта.

Импульс фотона:

$$p = \frac{h\nu}{c},$$

где $h\nu$ – энергия фотона.

Давление, производимое светом при нормальном падении на поверхность:

$$P = \frac{E_e}{c}(1+\rho) = \omega(1+\rho),$$

где $E_e = Nh\nu$ – облученность поверхности (количество энергии, падающей на единицу поверхности в единицу времени); ρ – коэффициент отражения; c – скорость света в вакууме; ω – объемная плотность энергии излучения.

Изменение длины волны излучения при комптоновском рассеивании (эффект Комптона):

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{mc}(1-\cos\theta) = \frac{2h}{mc}\sin^2\frac{\theta}{2} = 2\lambda_c \sin^2\frac{\theta}{2},$$

где λ и λ' – длины волн падающего и рассеянного излучения; m – масса электрона; θ – угол рассеяния; $\lambda_c = \dfrac{h}{mc} = 0{,}242 \cdot 10^{-11}$ м – комптоновская длина волны.

3.1.7. Атом водорода в теории Бора. Основные понятия и формулы

Согласно теории Бора, существуют стационарные состояния атома, в которых он не излучает энергию. При этом электрон движется по круговой стационарной орбите.

По второму закону Ньютона для электрона $\vec{F}_{эл} = m\vec{a}_n$,

$$m\frac{\upsilon_n^2}{r_n} = \frac{kZe^2}{r_n^2}.$$

Согласно правилу квантования орбит момент импульса электрона кратен $\hbar$:

$$m\upsilon_n r_n = n\hbar = n\frac{h}{2\pi},$$

где $h = 6{,}62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка; $\hbar = \dfrac{h}{2\pi} = 1{,}05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с; Z – заряд ядра; m – масса электрона; e – заряд электрона; r_n – радиус n-ной орбиты электрона; υ_n – его скорость на этой орбите, $n = 1, 2, 3 \ldots$ – главное квантовое число.

Обобщенная формула Бальмера, описывающая серии в спектре атома водорода:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = RcZ^2\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2}\right) \quad \text{или} \quad \nu = R'\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2}\right),$$

где ν – частота спектральных линий в спектре атома водорода; $R = \frac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2 c} = 1{,}097 \cdot 10^7$ м$^{-1}$ – постоянная Ридберга; $R' = R \cdot c = 3{,}29 \cdot 10^{15}$ с$^{-1}$ – также постоянная Ридберга; c – скорость света в вакууме; Z – заряд ядра; $\frac{1}{\lambda}$ – волновое число; λ – длина волны излучения; n – определяет серию $(n = 1, 2, 3, \ldots)$; k – определяет отдельные линии соответствующей серии $(k = n+1, n+2\ldots)$; $n = 1$ – серия Лаймана, $n = 2$ – серия Бальмера, $n = 3$ – серия Пашена, $n = 4$ – серия Брэкета, $n = 5$ – серия Пфунда, $n = 6$ – серия Хэмфри.

Спектральные линии характеристического рентгеновского излучения:

$$\frac{1}{\lambda} = R(Z - a)^2\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2}\right),$$

где a – постоянная экранирования; R – постоянная Ридберга; n, k – целые, $k > n$; λ – длина волны излучения.

Первый постулат Бора: в атоме существуют стационарные орбиты, на которых электрон не излучает и не поглощает энергию.

Второй постулат Бора: излучение или поглощение в виде кванта с энергией $h\nu$ происходит при переходе электрона из одного стационарного состояния в другое. Величина энергии кванта равна разности энергий тех стационарных состояний, между которыми совершается переход:

$$h\nu = \hbar\omega = E_n - E_k,$$

где h – постоянная Планка; $\hbar = \frac{h}{2\pi}$; ν – частота излучения; $\omega = 2\pi\nu$ – круговая частота; E_n, E_k – энергетические уровни с квантовыми числами n и k (т.е. энергии стационарных состояний атома соответственно до и после излучения (поглощения).

Радиус n-ной стационарной орбиты в боровской модели атома водорода

$$r_n = \frac{\hbar^2 4\pi\varepsilon_0}{m_e e^2} n^2 = r_1 n^2 \qquad (n = 1, 2, 3 \ldots),$$

где $\hbar$ – постоянная Планка; ε_0 – электрическая постоянная; m_e – масса электрона; e – элементарный заряд; r_1 – первый боровский радиус.

Первый боровский радиус

$$r_1 = a = \frac{\hbar^2 4\pi\varepsilon_0}{m_e e^2} = 52{,}8 \text{ пм.}$$

Энергия электрона на n-ной стационарной орбите для водородоподобного атома:

$$E_n = -\frac{1}{n^2}\frac{Zm_e e^4}{8h^2\varepsilon_0^2} = -\frac{13{,}6}{n^2} \text{ эВ} \qquad (n = 1,\ 2,\ 3,\ \ldots),$$

где Z – заряд ядра; ε_0 – электрическая постоянная; m_e – масса электрона;
e – заряд электрона; 13,6 эВ – энергия электрона на первой боровской орбите.

3.1.8. Элементы квантовой механики. Основные понятия и формулы

Формула де Бройля связывает длину волны λ, соответствующую микрочастице, с ее импульсом $\vec{p} = m\vec{\upsilon}$:

$$\lambda = \frac{h}{p}.$$

Для нерелятивистской частицы $(\upsilon << c)$

$$\lambda = \frac{h}{m\upsilon} \quad \text{или} \quad \lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_к}},$$

где m – масса частицы; υ – ее скорость; $E_к$ – кинетическая энергия частицы.

Для релятивистской частицы ($\upsilon \approx c$):

$$p = m\upsilon = \frac{m_0\upsilon}{\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}};$$

$$\lambda = \frac{h}{m_0\upsilon}\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}} \quad \text{или} \quad \lambda = \frac{hc}{\sqrt{E_к\left(E_к + 2m_0c^2\right)}},$$

где m_0 – масса покоя частицы; c – скорость света в вакууме; $E_к$ – кинетическая энергия частицы.

Иногда импульс частицы удобно выражать через ее кинетическую энергию $E_к$:

для нерелятивистской частицы $(\upsilon << c)$

$p = \sqrt{2m_0 E_к}$;

для релятивистской частицы ($\upsilon \approx c$)

$p = \frac{1}{c}\sqrt{E_к\left(E_к + 2E_0\right)}$,

где $E_0 = m_0 c^2$ – энергия покоя частицы; c – скорость света в вакууме.

В случае релятивистской частицы, когда $pc \approx E_0 = m_0 c^2$, связь импульса p с полной энергией E частицы и длиной волны

$E = \sqrt{E_0^2 + p^2 c^2}$; $\qquad \lambda = \frac{hc}{\sqrt{E^2 - E_0^2}}$.

Полная энергия релятивистской частицы:

$E = E_к + E_0$,

где $E_к$ – кинетическая энергия частицы; E_0 – энергия покоя частицы.

В случае, когда $E << E_0$,

$E = pc$ или $\lambda = \frac{hc}{E}$.

Соотношение неопределенностей Гейзенберга, сопряженных величин для координаты x и проекции импульса p_x на ось x:

$\Delta x \Delta p_x \geq \hbar$,

где Δx – неопределенность координаты x частицы, Δp_x – неопределенность проекции импульса частицы на ось x.

Соотношение неопределенностей Гейзенберга для энергии ΔE и времени жизни состояния Δt:

$\Delta E \Delta t \geq \hbar$,

где ΔE – неопределенность энергии; Δt – время жизни квантовой системы в данном энергетическом состоянии.

Энергия свободно движущейся частицы массой m:

$E = \frac{\hbar^2 k^2}{2m} = \frac{p_x^2}{2m}$,

где $p_x = \hbar k$ – импульс частицы; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число; λ – длина волны де Бройля.

Собственные значения энергии E_n частицы, находящейся на n-ном энергетическом уровне в одномерной прямоугольной бесконечно глубокой потенциальной яме:

$$E_n = n^2 \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ml^2},$$

где l – ширина ямы; m – масса частицы; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число.

Плотность вероятности нахождения частицы в соответствующем месте пространства

$$\omega = |\Psi|^2,$$

где Ψ – волновая функция частицы.

Волновая функция, описывающая состояние частицы в одномерной прямоугольной бесконечно глубокой потенциальной яме:

$$\Psi(x) = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \frac{n\pi}{l} x,$$

где l – ширина ямы; x – координата частицы в яме ($0 < x < l$); n – квантовое число $(n = 1,\ 2,\ 3\ldots)$.

Вероятность нахождения частицы в объеме dV (для стационарных состояний):

$$dW = \left|\Psi^2\right| dV.$$

Вероятность обнаружения частицы в объеме V:

$$W = \int_V dW = \int_V \left|\Psi^2\right| dV.$$

Условие нормировки вероятностей:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |\Psi|^2 \, dV = 1.$$

Вероятность обнаружения частицы в интервале от x_1 до x_2:

$$P(x) = \int_{x_1}^{x_2} |\Psi|^2 \, dx.$$

Уравнение Шредингера для стационарных состояний:

$$\Delta\Psi + \frac{2m}{\hbar^2}(E - U)\Psi = 0,$$

где Ψ – волновая функция, описывающая состояние частицы; m – масса частицы; Δ – оператор Лапласа; U – потенциальная энергия частицы в данной точке поля; E – энергия частицы.

3.1.9 Элементы физики атомного ядра. Основные понятия и формулы

Радиус ядра атома:

$R = R_0 A^{1/3}$,

где $R_0 = (1{,}3 - 1{,}7)$ Фм; A – массовое число.

Массовое число ядра (число нуклонов):

$A = Z + N$,

где Z – зарядовое число (число протонов); N – число нейтронов.

Энергия связи ядра атома:

$E_{св} = \left[Zm_p + (A - Z)m_n - m_я \right] c^2 = \left[Zm_H + (A - Z)m_n - m_a \right] c^2$,

где $m_p, m_n, m_я$ – соответственно массы протона, нейтрона и ядра; Z – зарядовое число; A – массовое число; $m_H = m_p + m_e$ – масса атома водорода $\left({}_1^1H \right)$; m_a – масса атома.

Дефект массы ядра:

$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_я$ или $\Delta m = Zm_H + (A - Z)m_n - m_a$.

Энергия связи нуклонов в ядре:

$\Delta E_{св} = \Delta mc^2$, Дж или $\Delta E_{св} = 931{,}5\Delta m$, МэВ,

где Δm – дефект массы ядра, измеренный в атомных единицах массы (а.е.м.); c – скорость света в вакууме.

Энергия, выделяемая или поглощаемая в ядерной реакции:

$\Delta E = c^2 \left(\sum m_i - \sum m_k \right)$, Дж;

$\Delta E = 931 \left(\sum m_i - \sum m_k \right)$, МэВ,

где $\sum m_i$ – сумма масс исходных частиц; $\sum m_k$ – сумма масс образовавшихся частиц.

Ядерный магнетон:

$$\mu_я = \frac{e\hbar}{2m_p},$$

где e – заряд электрона; $\hbar = \dfrac{h}{2\pi}$ – постоянная Планка; m_p – масса протона.

Закон радиоактивного распада:

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

где N – число нераспавшихся ядер радиоактивного элемента к моменту времени t; N_0 – исходное число ядер; λ – постоянная распада.

Число атомов, распавшихся за время t:

$$\Delta N = N_0 - N = N_0\left(1 - e^{-\lambda t}\right).$$

Период полураспада (время, за которое распадается половина исходных ядер элемента):

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

где $\tau = \frac{1}{\lambda}$ – среднее время жизни радиоактивного элемента; при этом исходное число ядер уменьшается в e раз.

Активность радиоактивного элемента (число ядер, распадающихся в единицу времени):

$$A = \frac{dN}{dt} = \lambda N \text{ или } A = \lambda N_0 e^{-\lambda t}.$$

Считая $A_0 = \lambda N_0$ – активность радиоактивного вещества в начальный период времени $t = 0$: $A = A_0 e^{-\lambda t}$.

Правила смещения: для α-распада: ${}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}_{2}^{4}He$;

для β^--распада: ${}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{Z+1}^{A}Y + {}_{-1}^{0}e$;

для β^+-распада: ${}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{Z-1}^{A}Y + {}_{+1}^{0}e$.

Закон поглощения ионизирующего излучения веществом:

$$I = I_0 e^{-\mu x},$$

где I_0 – интенсивность падающего на вещество излучения; I – интенсивность излучения после прохождения поглощающего слоя вещества толщиной x; μ – линейный коэффициент поглощения.

3.2.1. Тестовые задачи по геометрической оптике

1.1. Принцип Ферма утверждает, что свет распространяется по такому пути, для прохождения которого ему требуется минимальное время. Какое из приведенных ниже выражений соответствует указанному принципу?

а) $L = \int_1^2 ndS$; б) $\tau = \frac{1}{c}\int_1^2 ndS$; в) $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$.

1.2. Закону (определению) поставьте в соответствие математическое выражение:

Закон (определение)	Математическое выражение
а) закон полного внутреннего отражения	1) $n = \frac{c}{\mathrm{v}}$;
б) оптическая разность хода	2) $\sin\alpha_0 = n_{21}$;
в) абсолютный показатель преломления	3) $F = \frac{R}{2}$;
г) оптическая сила линзы	4) $D = \frac{1}{F}$;
д) фокусное расстояние	5) $L = n_2 I_2 - n_1 I_1$.

1.3. Фокусное расстояние для тонкой линзы определяется выражением

а) $\frac{1}{F} = \left(\frac{n_л}{n_{ср}} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$; б) $D = \frac{1}{F}$; в) $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$; г) $F = \frac{R}{2}$.

1.4. Какая из формул для вогнутого сферического зеркала используется в случае, если получается действительное изображение предмета?

а) $-\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$; б) $-\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}$; в) $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}$; г) $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$.

1.5. Для двух сред «масло - воздух» синус угла полного внутреннего отражения света равен 0,66. Свет в масле распространяется со скоростью, равной а) $2 \cdot 10^8$ м/с; б) $2{,}2 \cdot 10^8$ м/с; в) $2{,}4 \cdot 10^8$ м/с; г) $2{,}6 \cdot 10^8$ м/с; д) $2{,}8 \cdot 10^8$ м/с.

1.6. На экране получено четкое изображение предмета, увеличенное в 2 раза. Зная, что фокусное расстояние линзы равно 8 см, найдите расстояние от предмета до экрана.

а) 12 см; б) 16 см; в) 28 см; г) 36 см.

1.7. Линейные размеры изображения, полученного на экране, в три раза больше линейных размеров предмета. Фокусное расстояние линзы $F =$ 0,24 м. Расстояние от предмета f до линзы равно

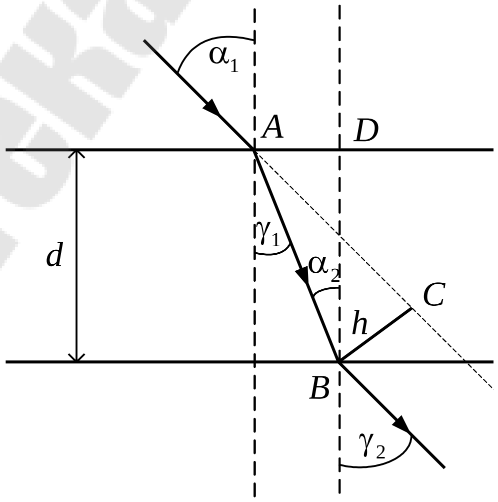
а) 6 см; б) 8 см; в) 16 см; г) 24 см; д) 32 см.

1.8. Определить, на какой угол γ повернется луч, отраженный от плоского зеркала, если повернуть зеркало на угол α.

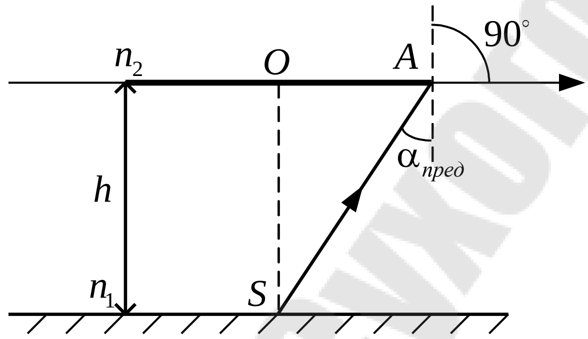
а) $\gamma = \alpha$; б) $\gamma = \frac{1}{2}\alpha$;

1.9. Луч света падает на плоскопараллельную стеклянную пластинку, показатель преломления которой 1,6, под углом 45° (см. рис.). Определить толщину пластинки, если вышедший из пластинки луч смещен относительно продолжения падающего луча на расстояние 2 см.

а) $d = 2 \cdot 10^{-2}$ м; б) $d = 5{,}6 \cdot 10^{-2}$ м; в) $d = 8{,}4 \cdot 10^{-2}$ м; г) $d = 4 \cdot 10^{-2}$ м.



1.10. На дно сосуда, наполненного скипидаром до высоты 10 см, помещен источник света S. На поверхности скипидара плавает круглая непрозрачная пластина так, что ее центр находится над источником света. Какой наименьший радиус должна иметь эта пластинка, чтобы ни один луч не мог выйти из скипидара (см. рис.)? Определить скорость света в скипидаре.



а) $R = 5\cdot10^{-2}$ м, $\upsilon = 2{,}03\cdot10^8$ м/с; б) $R = 9\cdot10^{-2}$ м, $\upsilon = 4\cdot10^8$ м/с;
в) $R = 7\cdot10^{-2}$ м, $\upsilon = 3\cdot10^8$ м/с; г) $R = 9\cdot10^{-2}$ м, $\upsilon = 2{,}03\cdot10^8$ м/с.

1.11. На стеклянную призму с преломляющим углом θ = 50° падает под углом α_1 = 30° луч света. Определить угол отклонения σ луча призмой, если показатель преломления n стекла равен 1,56.

а) $\sigma = 30{,}1°$; б) $\sigma = 40{,}1°$; в) $\sigma = 34{,}1°$; г) $\sigma = 37°$.

1.12 Радиус кривизны R вогнутого зеркала 60 см. Определить, на каком расстоянии a от зеркала следует поместить предмет, чтобы его действительное изображение было в два раза больше предмета.

а) $a = 3\cdot10^{-1}$м; б) $a = 6\cdot10^{-1}$м; в) $a = 4{,}5\cdot10^{-1}$м; г) $a = 5{,}5\cdot10^{-1}$м.

1.13. Выпуклое сферическое зеркало имеет радиус кривизны R = 40 см. На расстоянии a = 30 см от полюса зеркала поставлен предмет высотой h = 20 см. Определить: 1) расстояние b от полюса зеркала до изображения; 2) высоту H изображения.

а) $b = 0{,}12$м, $H = 0{,}08$м; б) $b = 0{,}16$м; $H = 0{,}08$м;
в) $b = 0{,}12$м, $H = 0{,}20$м; г) $b = 0{,}16$м, $H = 0{,}15$м.

1.14. Радиусы кривизны поверхностей собирающей линзы $R_1 = R_2 = 20$ см. Определить: 1) фокусное расстояние линзы в воздухе; 2) фокусное расстояние этой же линзы, погруженной в жидкость ($n_{ж}$ = 1,7). Показатель преломления материала линзы $n_л$ = 1,5.

а) 1) $F_1 = 0{,}4$м, 2) $F_2 = -0{,}65$м; б) 1) $F_1 = 0{,}2$м, 2) $F_2 = -0{,}85$м;
в) 1) $F_1 = 0{,}5$м, 2) $F_2 = -0{,}85$м; г) 1) $F_1 = 0{,}2$м, 2) $F_2 = -0{,}6$м.

1.15. Двояковыпуклая линза, оптическая сила которой $D = 8$ дптр, дает изображение предмета на экране, удаленном на расстоянии $f = 75$ см, равное $h = 10$ см. Определить положение и высоту предмета. Построить его изображение.

а) $d = 1\cdot10^{-1}$м, $h_о = 4\cdot10^{-2}$м; б) $d = 1{,}5\cdot10^{-1}$м, $h_о = 2\cdot10^{-2}$м;
в) $d = 1{,}5\cdot10^{-1}$м, $h_о = 6\cdot10^{-2}$м; г) $d = 2\cdot10^{-1}$м, $h_о = 2\cdot10^{-2}$м.

1.16. На расстоянии $a = 15$ см от рассеивающей линзы с фокусным расстоянием $F = 30$ см перпендикулярно к главной оптической оси находится предмет высотой $h = 9$ см. Определить: 1) расстояние b изображения от линзы; 2) высоту H изображения. Среда по обе стороны линзы одинаковая.

а) $b = 14$см, $H = 6$см; б) $b = 10$см, $H = 2$см;
в) $b = 10$см, $H = 6$см; г) $b = 12$см, $H = 8$см.

1.17. Свеча находится на расстоянии $l = 3{,}5$ м от экрана. Между свечой и экраном помещают собирающую линзу, которая дает на экране четкое изображение свечи при двух положениях линзы. Найти фокусное расстояние линзы F, если расстояние между положениями линзы $r = 0{,}5$ м.

а) $F = 0{,}76$м; б) $F = 0{,}86$м; в) $F = 0{,}96$м; г) $F = 0{,}80$м. $F = 0{,}80\ м$.

1.18. Светящаяся точка S находится на главной оптической оси центрированной системы двух тонких линз на расстоянии 40 см от первой линзы. Расстояние между линзами 30 см. Где получится изображение точки, если фокусное расстояние каждой из них 30 см?

а) $b_2 = 0{,}225$м; б) $b_2 = 0{,}245$м; в) $b_2 = 0{,}125$м; г) $b_2 = 0{,}275$м.

1.19. В центре квадратной комнаты площадью $S = 16$ м^2 висит светильник. Считая светильник точечным источником света, определить высоту h от пола, на которой должен висеть светильник, чтобы освещенность в углах комнаты была максимальной.

а) $h = 3$м б) $h = 2$м в) $h = 2.5$м г) $h = 1.75$м.

1.20. Определить высоту, на которую следует над чертежной доской повесить лампочку мощностью P = 100 Вт, чтобы освещенность E доски под лампочкой была равна 50 лк. Наклон доски α = 30°, световая отдача L лампочки равна 10 лм/Вт. Лампочку считать точечным источником, принимая полный световой поток $\Phi = 4\pi I$ (I – сила света лампочки).

а) $h = 1{,}05$ м; б) $h = 1{,}11$м; в) $h = 1{,}21$м; г) $h = 1{,}17$ м.

3.2.2.Тестовые задачи по интерференции света

2.1. Вставьте вместо точек пропущенный фрагмент.

«Интерференцией света называется явление пространственного перераспределения энергии светового излучения, приводящее к возникновению максимумов и минимумов интенсивности».

а) при наложении двух произвольных сферических световых волн;

б) при наложении двух или более световых волн с непрерывно меняющейся разностью фаз;

в) при наложении двух или более когерентных световых волн;

г) при наложении когерентных световых волн от непрерывного количества источников.

2.2. Установите соответствие между определением и его математическим выражением.

Определение	Математическое выражение
а) оптическая разность хода	1) $\frac{2\pi}{\lambda}\Delta$
б) разность фаз колебаний	2) $(n_2 - n_1)I$
в) фаза колебания	3) $\frac{2\pi}{\lambda}$
г) волновое число	4) $\omega\left(t - \frac{I}{v}\right)$

2.3. Радиусы светлых колец Ньютона в проходящем свете определяются формулой:

а) $r_k = \sqrt{kR\lambda}$; б) $r_k = \sqrt{(2k-1)\frac{R\lambda}{2}}$; в) $r_k = \sqrt{(k-1)kR}$;

г) $r_k = \sqrt{kR\dfrac{\lambda}{2}}$.

2.4. Для интерференционной картины от двух когерентных световых волн установите соответствие между определением и его математическим выражением.

Математическое выражение	Определение
а) ширина интерференционной полосы	1) $m\dfrac{xd}{I}$;
б) оптическая разность хода	2) $m\dfrac{I}{d}\lambda$;
в) координаты минимумов	3) $\left(m+\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{I}{d}\lambda$;
г) координаты максимумов	4) $\dfrac{I}{d}\lambda$.

2.5. Пучок белого света падает нормально на пластинку, толщина которой h = 1 мкм. Показатель преломления стекла n = 1,5. Какая область видимого спектра будет усиливаться в отраженном пучке?

а) красная; б) желтая; в) зеленая; г) фиолетовая.

2.6 Оптическая разность хода лучей, отраженных от граней плоскопараллельной пластики толщины h при нормальном падении, равна:

а) hn; б) $2hn$; в) $2hn+\dfrac{\lambda}{2}$; г) $2hn+\lambda$.

2.7. Условие максимумов интенсивности в интерференционной картине при отражении световой волны от плоскопараллельной пластики толщины h имеет вид:

а) $2h\sqrt{n^2-\sin^2\theta_1}=(2m+1)\dfrac{\lambda}{2}$; б) $2h\sqrt{n^2-\sin^2\theta_1}=\lambda m$;

в) $2hn\cos\theta_2=(2m+1)\dfrac{\lambda}{2}$; г) $2hn\cos\theta_2=m\lambda$.

2.8. Разность фаз колебаний двух интерферирующих лучей монохроматического света с длиной волны $\lambda = 500$нм равна $\Delta\varphi = \frac{3\pi}{2}$. Определить разность хода этих лучей.

а) $\Delta = 500$нм; б) $\Delta = 385$нм; в) $\Delta = 380$нм $\Delta = 380$ *нм*; г) $\Delta = 375$нм.

2.9. В опыте с зеркалами Френеля расстояние d между мнимыми изображениями источника света равно 0,5 мм, расстояние l от них до экрана равно 5 м. В красном свете ширина интерференционных полос равна 5,5 мм. Определить длину волны λ красного света.

а) $\lambda = 550$нм; б) $\lambda = 580$нм; в) $\lambda = 540$нм; г) $\lambda = 570$нм.

2.10. На экране наблюдается интерференционная картина в результате наложения лучей от двух когерентных источников с длиной волны 500 нм. На пути одного из лучей перпендикулярно к нему поместили стеклянную пластинку с показателем преломления 1,6 толщиной 5 мкм. Определить, на сколько полос при этом сместится интерференционная картина.

а) $m = 7$; б) $m = 6$; в) $m = 5$; г) $m = 8$.

2.11. Расстояние между двумя когерентными источниками $d = 0{,}9$ мм. Источники, испускающие монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 640$ нм, расположены на расстоянии $l = 3{,}5$ м от экрана. Определить число светлых полос, располагающихся на 1 см длины экрана.

а) $\frac{m}{x} = 420\text{м}^{-1}$; б) $\frac{m}{x} = 390\text{м}^{-1}$; в) $\frac{m}{x} = 400\text{м}^{-1}$; г) $\frac{m}{x} = 400\text{м}$.

2.12. В опыте Юнга щели освещаются монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 600$ нм, расстояние d между щелями равно 1 мм и расстояние l от щелей до экрана – 1,2 м. Определить: 1) положение первой темной полосы; 2) положение третьей светлой полосы.

а) $x_{1\min} = 1{,}1$мм; $x_{3\max} = 2{,}26$мм;
б) $x_{1\min} = 1{,}05$мм; $x_{3\max} = 2{,}12$мм;
в) $x_{1\min} = 1{,}08$мм; $x_{3\max} = 2{,}16$мм;
г) $x_{1\min} = 1{,}03$мм; $x_{3\max} = 2{,}24$мм.

2.13. В опыте Юнга расстояние $\Delta\alpha$ между соседними светлыми полосами составляет 10^{-3} рад. Определить расстояние l от щелей до экрана, если вторая светлая полоса на экране отстоит от центра интерференционной картины на 4 мм.

а) $l = 2{,}2$м; б) $l = 2{,}0$м; в) $l = 1{,}8$м; г) $l = 1{,}5$м.

2.14. Для уменьшения потерь света при отражении от стекла на поверхность объектива с показателем преломления 1,7 нанесена тонкая прозрачная пленка с показателем преломления 1,3. При какой наименьшей толщине ее произойдет максимальное ослабление света, длина волны которого приходится на среднюю часть видимого спектра $(\lambda_o = 0{,}56\text{мкм})$? Считать, что лучи падают нормально к поверхности объектива.

а) $h = 108$нм; б) $h = 110$нм; в) $h = 100$нм; г) $h = 112$нм.

2.15. Какую наименьшую толщину должна иметь пленка из скипидара, разлитого на воде, если на нее под углом $\alpha = 30°$ падает белый свет и она в отраженном свете окажется красной? Длина волны красных лучей $\lambda = 0{,}63$ мкм.

а) $h_{\min} = 150$нм; б) $h_{\min} = 180$нм; в) $h_{\min} = 120$нм; г) $h_{\min} = 200$нм.

2.16. Расстояния от бипризмы Френеля до узкой щели и экрана соответственно равны $a = 48$ см и $c = 6$ м. Бипризма стеклянная $(n = 1{,}5)$ с преломляющим углом $\theta = 10'$. Определить число полос, наблюдаемых на экране, если длина волны λ монохроматического света равна 600 нм.

а) N =4; б) N =5; в) N =6; г) N =7.

2.17. На стеклянный клин с показателем преломления 1,5 и преломляющим углом $\alpha = 40''$ нормально падает монохроматический свет с длиной волны 600 нм. Определить в интерференционной картине расстояние между двумя соседними максимумами.

а) $b = 0{,}103$мм; б) $b = 1{,}03$мм; $b = 1{,}06 \cdot 10^{-3}$ *м*; в) $b = 0{,}106$мм;
г) $b = 1{,}03$мм.

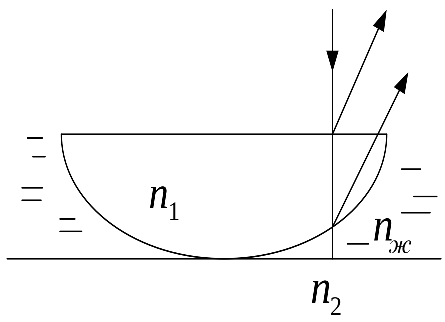
2.18. Плосковыпуклая линза с показателем преломления $n = 1,6$ выпуклой стороной лежит на стеклянной пластинке. Радиус третьего светлого кольца в отраженном свете $(\lambda = 0,6\text{ мкм})$ равен 0,9 мм. Определить фокусное расстояние линзы. Установка для наблюдения колец Ньютона расположена в воздухе.

а) $F = 0,8$м; б) $F = 0,9$м; в) $F = 1.0$м; г) $F = 1,1$м.

2.19. На стеклянный клин $(n = 1,5)$ с углом при вершине $\alpha = 1'$ падает под углом $i = 18^\circ$ монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 600$ нм. Определить расстояние между двумя соседними минимумами при наблюдении интерференции в отраженном свете.

а) $b = 0,713$мм; б) $b = 0,709$мм; в) $b = 0,703$мм; г) $b = 0,700$мм.

2.20. Сферическая поверхность плосковыпуклой линзы с показателем преломления 1,52 соприкасается со стеклянной пластиной с показателем преломления 1,7. Пространство между линзой, радиус кривизны которой равен 1 м, и пластинкой заполнен жидкостью (см. рис.). Наблюдая кольца Ньютона в отраженном свете $(\lambda_0 = 0,589\text{ мкм})$, измеряем радиус десятого темного кольца.



Определить показатель преломления жидкости в двух случаях:
1) $r_{10} = 2,05$ мм; 2) $r_{10} = 1,9$ мм.

а) 1) $n_ж = 1,55$; 2) $n_ж = 1,40$; б) 1) $n_ж = 1,40$; 2) $n_ж = 1,55$;
в) 1) $n_ж = 1,45$; 2) $n_ж = 1,50$; г) 1) $n_ж = 1,40$; 2) $n_ж = 1,50$.

3.2.3. Тестовые задачи по дифракции света

3.1. Радиус m зоны Френеля для сферической волны определяется выражением:

а) $\sqrt{\dfrac{b}{2(a+b)}m\lambda}$; б) $\sqrt{\dfrac{ab}{a+b}m\lambda}$; в) $\sqrt{\dfrac{a+b}{ab}m\lambda}$; г) $\sqrt{\dfrac{\pi ab}{a+b}m\lambda}$.

3.2. Амплитуда колебания световой волны, создаваемая в некоторой точке P всей сферической волновой поверхностью, равна:

а) $\dfrac{A_1}{2}$; б) A_1; в) $\dfrac{A_1}{2}+\dfrac{A_m}{2}$; г) $\dfrac{A_1}{2}-\dfrac{A_m}{2}$.

3.3. Радиусы m зоны Френеля в случае плоской волны определяются выражением:

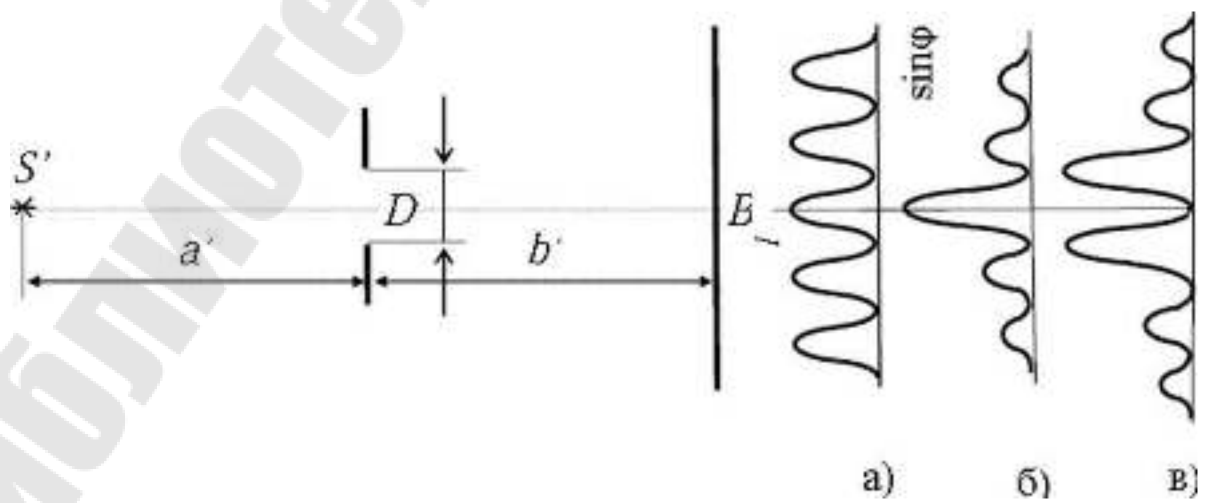
а) $r_m=\sqrt{\dfrac{ab}{a+b}m\lambda}$; б) $r_m=\sqrt{bm\lambda}$; в) $r_m=\sqrt{m(a+b)\dfrac{\lambda}{2}}$.

3.4. Какое из приведенных выражений определяет положения главных максимумов интенсивности в дифракционной картине от дифракционной решетки?

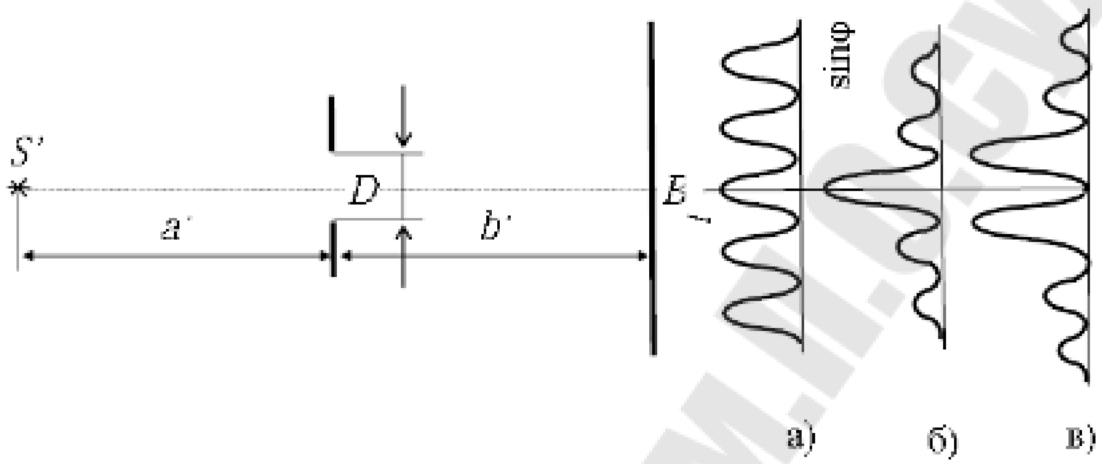
а) $d\sin\varphi=\pm\dfrac{k}{N}\lambda$; б) $d\sin\varphi=\pm\left(m+\dfrac{k}{N}\right)\dfrac{\lambda}{2}$;

в) $d\sin\varphi=\pm m\lambda$; г) $d\sin\varphi=\pm(2m+1)\dfrac{\lambda}{2}$.

3.5. Перед точечным источником монохроматического света S с длиной волны λ на расстоянии a установлен непрозрачный диск с отверстием диаметра D (см. рисунок). Отверстие открывает четыре зоны Френеля. Какой из приведенных графиков описывает зависимость интенсивности света $I=f(\sin\varphi)$ в дифракционной картине получающейся на экране, помещенном на расстоянии b от диска $(D \ll a, b)$.



3.6. Плоская световая волна (с длиной волны X) падает нормально на узкую щель ширины b. График зависимости $I = f(\sin\varphi)$ интенсивности света в дифракционной картине, наблюдаемой на экране, имеет вид:



3.7. На круглое отверстие диаметром d = 4 мм падает нормально параллельный пучок лучей $(\lambda = 0,5\ \text{мкм})$. Точка наблюдения находится на оси отверстия на расстоянии $r_0 = 1\ \text{м}$ от него. Сколько зон Френеля укладывается в отверстии? Темное или светлое пятно получится в центре дифракционной картины, если в месте наблюдения поместить экран?

а) $m = 7$, пятно темное; б) $m = 8$, пятно темное;
в) $m = 4$, пятно темное; г) $m = 5$, пятно темное.

3.8. Сферическая волна, распространяющаяся от точечного монохроматического источника света $(\lambda = 600\ \text{нм})$, встречает на своем пути диафрагму с круглым отверстием. Определить, при каком радиусе r отверстия центр дифракционной картины, наблюдаемой на экране, будет максимально освещенным. Считать расстояние от источника света до диафрагмы и от диафрагмы до экрана равным $a = 1\ \text{м}$.

а) $r = 0{,}45$мм; б) $r = 0{,}55$мм; в) $r = 0{,}65$мм; г) $r = 0{,}85$мм.

3.9. Монохроматический свет $(\lambda = 0{,}5\ \text{мкм})$ падает нормально на круглое отверстие диаметром $d = 1\ \text{см}$. На каком расстоянии от отверстия должна находиться точка наблюдения, чтобы в отверстии помещалась одна зона Френеля?

а) $r_о = 50$м; б) $r_о = 60$м; в) $r_о = 50$м; г) $r_о = 45$м.

3.10. На щель шириной $a = 4\lambda$ падает нормально параллельный пучок монохроматического света с длиной волны λ. Сколько минимумов будет наблюдаться на экране в дифракционном спектре?

а) N=4; б) N = 6; в) N=10; г) N=8.

19.11. На щель шириной $a = 0{,}1$ мм падает нормально монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 0{,}5$ мкм. Дифракционная картина наблюдается на экране, расположенном параллельно щели. Определить расстояние l от щели до экрана, если ширина центрального дифракционного максимума $h = 1$ см.

а) l=2 м; б) l=1 м; в) l=4 м; г) l=1,5 м.

3.12. Найти постоянную дифракционной решетки d, если при наблюдении в монохроматическом свете $(\lambda = 600 \text{ нм})$ максимум пятого порядка отклонен на угол $\varphi = 18°$. Какое число штрихов N нанесено на единицу длины этой решетки?

а) $d = 1070$нм, $N = 93$мм$^{-1}$; б) $d = 970$нм, $N = 103$мм$^{-1}$;
в) $d = 9{,}7$мм, $N = 10{,}3$мм$^{-1}$; г) $d = 8700$нм, $N = 203$мм$^{-1}$.

3.13. На дифракционную решетку нормально падает монохроматический свет. Определить угол дифракции для линии $\lambda_1 = 550$ нм в четвертом порядке, если этот угол для линии $\lambda_2 = 600$ нм в третьем порядке составляет $30°$.

а) $\varphi_1 = 37°42'$; б) $\varphi_1 = 47°42'$; в) $\varphi_1 = 57°42'$; г) $\varphi_1 = 17°42'$.

3.14. При освещении дифракционной решетки белым светом спектры второго и третьего порядков отчасти перекрывают друг друга. На какую длину волны в спектре второго порядка накладывается фиолетовая граница $(\lambda_2 = 0{,}4 \text{ мкм})$ спектра третьего порядка?

а) $\lambda_1 = 700$нм; б) $\lambda_1 = 550$нм; в) $\lambda_1 = 500$нм; г) $\lambda_1 = 600$нм.

3.15. На дифракционную решетку длиной l = 15 мм, содержащую $N = 3000$ штрихов, падает нормально монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 570$ нм. Определить максимально возможный порядок спектра, наблюдаемый с помощью этой решетки.

а) $m_{max} = 8$; б) $m_{max} = 9$; в) $m_{max} = 7$; г) $m_{max} = 6$.

3.16. Дифракционная решетка длиной 5 мм может разрешить в первом порядке две спектральные линии натрия – $\lambda_1 = 589,0$ нм и $\lambda_2 = 589,6$ нм. Определить, под каким углом в спектре третьего порядка будет наблюдаться максимум интенсивности света с $\lambda_3 = 600$ нм, падающего на решетку нормально.

а) $\varphi = 20,7°$; б) $\varphi = 20,3°$; в) $\varphi = 21,0°$; г) $\varphi = 20,0°$.

3.17. Сравнить наибольшую разрешающую способность для желтой линии натрия $(\lambda = 589$ нм$)$ двух дифракционных решеток одинаковой длины $(l = 4$ мм$)$, но разных периодов $(d_1 = 5$ мкм, $d_2 = 10$ мкм$)$.

а) $R_{1max} = R_{2max} = 6800$; б) $R_{1max} = R_{2max} = 6200$;
в) $R_{1max} = R_{2max} = 6400$; г) $R_{1max} = R_{2max} = 6800$.

3.18. Определить расстояние между атомными плоскостями в кристалле каменной соли, если дифракционный максимум первого порядка наблюдается при падении рентгеновских лучей с длиной волны 0,147 нм под углом $15°12'$ к поверхности кристалла.

а) $d = 0,30$нм; б) $d = 0,28$нм; в) $d = 0,25$нм; г) $d = 0,31$нм.

3.19. Угловая дисперсия D_φ дифракционной решетки для $\lambda = 600$ нм в спектре второго порядка составляет $4 \cdot 10^5 \frac{\text{рад}}{\text{м}}$. Определить постоянную дифракционной решетки.

а) $d = 5,24$мкм; б) $d = 5,20$мкм; в) $d = 5,18$мкм; г) $d = 5,14$мкм.

3.20. При нормальном падении света на дифракционную решётку на экране с помощью линзы (фокусное расстояние $F = 0,8$ м) наблюдается дифракционная картина. Красная линия $(\lambda = 630\text{ нм})$ в спектре второго порядка наблюдается под углом $\varphi = 11°$. Определить: 1) постоянную решетки.

а) $d = 6{,}6$мкм; б) $d = 6{,}8$мкм; в) $d = 6{,}3$мкм; г) $d = 6{,}0$мкм.

3.2.4. Тестовые задачи по поляризации и дисперсии света

4.1. Угол между плоскостями поляризации двух поляроидов 70°. Как изменится интенсивность пошедшего через них света, если этот угол уменьшится в 5 раз?

а) $\frac{I_2}{I_1} = 9$; интенсивность возрастет в 9 раз;

б) $\frac{I_2}{I_1} = 8{,}5$; интенсивность возрастет в 8,5 раз;

в) $\frac{I_2}{I_1} = 8$; интенсивность возрастет в 8 раз;

г) $\frac{I_2}{I_1} = 7{,}8$; интенсивность возрастет в 7,8 раз.

4.2. Какой угол образуют плоскости поляризации двух николей, если свет, вышедший из второго николя, был ослаблен в 5 раз? Учесть, что поляризатор поглощает 10, а анализатор – 8 % падающего на них света.

а) $\varphi = 45°$; б) $\varphi = 46°$; в) $\varphi = 48°$; г) $\varphi = 50°$.

4.3. Естественный свет интенсивностью I_0 проходит чрез два николя, плоскости пропускания которых расположены под углом 60° друг к другу. После прохождения через второй николь свет падает на зеркало и, отразившись, проходит опять через оба николя. Во сколько раз изменится интенсивность света после обратного прохождения через оба николя?

а) $\frac{I_0}{I_3} = 32$; б) $\frac{I_0}{I_3} = 30$; в) $\frac{I_0}{I_3} = 35$; г) $\frac{I_0}{I_3} = 34$.

4.4. Раствор сахара концентрацией $0,25$ г/см^3 толщиной 20 см поворачивает плоскость поляризации монохроматического света на $30^\circ 20$. Второй раствор толщиной 15 см поворачивает плоскость поляризации на 20^0. Определить концентрацию сахара во втором растворе.

а) $c_2 = 0,22$ г/см^3; б) $c_2 = 0,25$ г/см^3; в) $c_2 = 0,20$ г/см^3; г) $c_2 = 0,28$ г/см^3.

4.5. Пластинка кварца толщиной 2 мм (удельное вращение кварца 15 град/мм), вырезанная перпендикулярно к оптической оси, помещена между двумя скрещенными николями (рис. 1). Пренебрегая потерями света в николях, определить, во сколько раз уменьшится интенсивность света, прошедшего через эту систему.

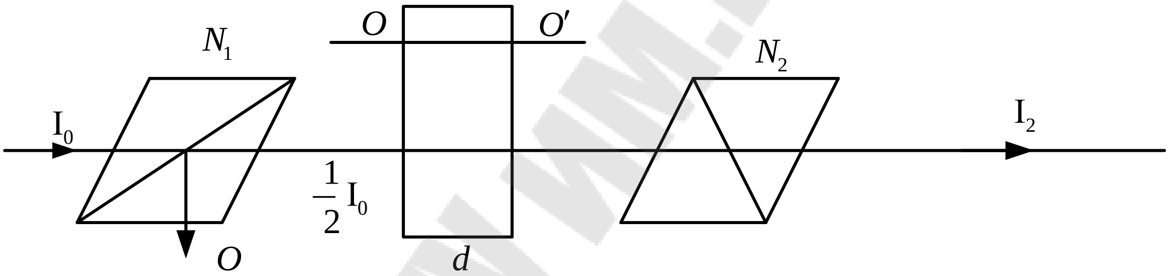


Рис. 1

а) $\frac{I_0}{I_2} = 9$; б) $\frac{I_0}{I_2} = 7,5$; в) $\frac{I_0}{I_2} = 8$; г) $\frac{I_0}{I_2} = 7$.

4.6. Естественный свет падает на поверхность диэлектрика под углом полной поляризации. Степень поляризации преломленного луча составляет 0,124. Найти коэффициент пропускания света.

а) $\tau = 0,90$; б) $\tau = 0,89$; в) $\tau = 0,87$; г) $\tau = 0,89$.

4.7. Определить степень поляризации Р света, являющегося смесью естественного света с плоско поляризованным, если интенсивность поляризованного света и естественного равны.

а) $\mathrm{P} = 0,6$; б) $\mathrm{P} = 0,45$; в) $\mathrm{P} = 0,7$; г) $\mathrm{P} = 0,5$.

4.8. Степень поляризации частично поляризованного света равна 0,8. Во сколько раз отличается амплитуда светового вектора, соответствующая максимальной интенсивности света, прошедшего через поляризатор, от амплитуды, соответствующей минимальной интенсивности?

а) $\frac{E_{\max}}{E_{\min}} = 3$; б) $\frac{E_{\max}}{E_{\min}} = 3,5$; в) $\frac{E_{\max}}{E_{\min}} = 4$; г) $\frac{E_{\max}}{E_{\min}} = 4,5$.

4.9. Определить минимальную толщину пластинки исландского шпата, вырезанной параллельно оптической оси, чтобы падающий на нее нормально плоско поляризованный свет выходил циркулярно поляризованным. Показатели преломления для необыкновенного и обыкновенного лучей $n_e = 1,489$, $n_0 = 1,664$ (длина световой волны 527 нм).

а) $d_{\min} = 0,755$ мкм; б) $d_{\min} = 0,753$ мкм; в) $d_{\min} = 0,758$ мкм;
г) $d_{\min} = 0,750$ мкм.

4.10. Определить разность показателей преломления для необыкновенного и обыкновенного лучей, если наименьшая толщина кварцевой кристаллической пластинки в целую длины волны для голубого света $\lambda = 486$ нм равна 54 мкм.

а) $n_e - n_0 = 0,006$; б) $n_e - n_0 = 0,007$; в) $n_e - n_0 = 0,008$;
г) $n_e - n_0 = 0,009$.

4.11. Ячейку Керра поместили между скрещенными поляризатором и анализатором. Вектор $\vec{E}$ напряженности электрического поля составляет угол $\alpha = 45°$ с плоскостями пропускания (главными плоскостями) поляризаторов. Конденсатор имеет длину $l = 15$ см и заполнен нитробензолом, постоянная Керра B для используемой длины волны и данной температуры равна $2,2 \cdot 10^{-10}$ м/В. Определить минимальное значение напряженности электрического поля в конденсаторе, при котором интенсивность света за анализатором не будет зависеть от поворота анализатора.

а) $E_{\min} = 8,6 \frac{кВ}{см}$; б) $E_{\min} = 8,7 \frac{кВ}{см}$; в) $E_{\min} = 8,3 \frac{кВ}{см}$; г) $E_{\min} = 8,9 \frac{кВ}{см}$.

4.12. Изменение дисперсии показателя преломления оптического стекла дало $n_1 = 1,528$ для $\lambda_1 = 0,434$ мкм и $n_2 = 1,523$ для

$\lambda_2 = 0,486$ мкм. Вычислить отношение групповой скорости к фазовой для света с длиной волны $0,434$ мкм.

а) $\frac{u_1}{\upsilon_1} = 0,970$; б) $\frac{u_1}{\upsilon_1} = 0,975$; в) $\frac{u_1}{\upsilon_1} = 0,978$; г) $\frac{u_1}{\upsilon_1} = 0,973$.

4.13. Показатель преломления сероуглерода для света с длинами волн 509, 534 и 589 нм равен соответственно 1,647, 1,640 и 1,630. Вычислить фазовую и групповую скорость света вблизи длины волны 534 нм.

а) $u = 1,7 \cdot 10^8 \frac{м}{с}, \upsilon = 1,83 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$; б) $u = 1,8 \cdot 10^8 \frac{м}{с}, \upsilon = 1,85 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$;
в) $u = 1,75 \cdot 10^8 \frac{м}{с}, \upsilon = 1,88 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$; г) $u = 1,6 \cdot 10^8 \frac{м}{с}, \upsilon = 1,9 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$.

4.14. В черенковском счетчике из каменной соли релятивистские протоны излучают в конусе с раствором $82°$. Определить кинетическую энергию протонов. Показатель преломления каменной соли 1,54.

а) $E_K = 903,8$ МэВ; б) $E_K = 901,2$ МэВ; в) $E_K = 904,6$ МэВ;
г) $E_K = 902,9$ МэВ.

4.15. Закону поставьте в соответствие математическое выражение.

Закон	Математическое выражение
а) закон полного внутреннего отражения	1) $tg\theta = n_{21}$
б) закон Брюстера	2) $2d \sin\theta = \pm m\lambda$
в) закон Малюса	3) $\sin\theta = n_{21}$
г) формула Брэгга-Вульфа	4) $I = I_0 \cos^2 \varphi$

4.16. Естественный свет падает на поверхность стекла под углом Брюстера. Чему равна степень поляризации отраженных лучей?

а) 0; б)0,25; в) 0,5; г) 1.

4.17. Чему равен угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора, если интенсивность естественного света, прошедшего через поляризатор и анализатор уменьшается в четыре раза.

а) π; б) $\frac{\pi}{3}$; в) $\frac{\pi}{4}$; г) $\frac{\pi}{2}$.

4.18. Степень поляризации P частично поляризованного света равна 0,5. Во сколько раз отличается максимальная интенсивность света, пропускаемого через анализатор, от минимальной.

а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

4.19. Естественный свет проходит последовательно через два совершенных поляризатора, плоскости колебания которых образуют угол $\varphi = \frac{\pi}{3}$. Во сколько раз уменьшится интенсивность света, по выходе из второго поляризатора?

а) 1,3 раза; б) 2 раза; в) 4 раза; г) 8 раза.

4.20. Установите соответствие между физическим явлением и его математическим выражением:

Явление	Математическое выражение
а) искусственное двойное лучепреломление	1) $\varphi = VIH$
б) эффект Керра	2) $n_0 - n_t = k\sigma$
в) естественное вращение плоскости) поляризации	3) $\delta = 2\pi BIE^2$
г) магнитное вращение плоскости поля (эффект Фарадея)	4) $\varphi = [\alpha]cI$

3.2.5. Тестовые задачи по тепловому излучению

5.1. Какое из приведенных выражений описывает излучение серого тела?

а) $R_T = \int_0^{\infty} r_{\lambda T} d\lambda$; б) $R = a_1 \sigma T^4$; в) $r_\omega = r_\lambda \dfrac{\lambda^2}{2\pi c}$; г) $\left(\dfrac{r_{\omega T}}{a_{\omega T}}\right) = f(\omega, T)$;
д) $(r^*{}_{\lambda T})_{\max} = CT^5$.

5.2. Каким из приведенных ниже соотношений нужно воспользоваться, чтобы перейти от функции $f(\omega, T)$ к функции $\varphi(\lambda, T)$?

а) $\varphi(\lambda, T) = \dfrac{\lambda^2}{2\pi c} f(\omega, T)$; б) $\varphi(\lambda, T) = \dfrac{\omega^2}{2\pi c} f(\omega, T)$;
в) $\varphi(\lambda, T) = \left(\dfrac{\omega}{2\pi c}\right)^3 f(\omega, T)$; г) $\varphi(\lambda, T) = \left(\dfrac{\lambda}{2\pi c}\right)^3 f(\omega, T)$.

5.3. Степень черноты определяется выражением

а) $K = \dfrac{dW_{погл}}{dW_{пад}}$; б) $K = \dfrac{\int_0^{\infty} a_{\lambda,\tau} r_{\lambda,\tau} d\lambda}{\int_0^{\infty} r^*{}_{\lambda\tau} d\lambda}$; в) $K = \dfrac{\int_0^{\infty} r^*{}_{\lambda\tau} d\lambda}{\int_0^{\infty} a_{\lambda,\tau} r_{\lambda,\tau} d\lambda}$.

5.4. Закону поставьте в соответствие математическое выражение.

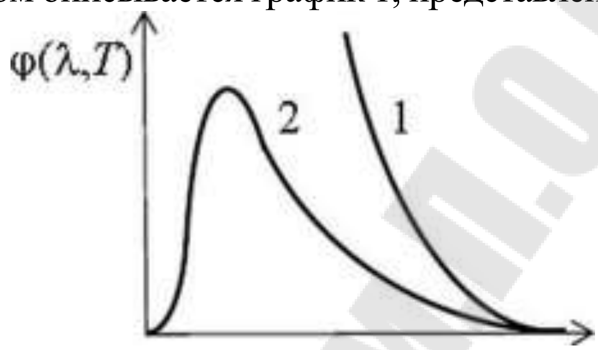
Закон	Математическое выражение
а) Кирхгофа	1) $f(\omega, T) = \dfrac{\hbar\omega^3}{4\pi c^2} \dfrac{1}{\exp\left(\dfrac{\hbar\omega}{kT}\right) - 1}$;
б) Рэлея – Джинса	2) $T\lambda_m = b$;
в) Стефана – Больцмана	3) $\left(\dfrac{r_{\omega T}}{a_{\omega T}}\right)_1 = \left(\dfrac{r_{\omega T}}{a_{\omega T}}\right)_2 = \left(\dfrac{r_{\omega T}}{a_{\omega T}}\right)_3 = \ldots$;
г) Вина	4) $f(\omega, T) = \dfrac{\hbar\omega^2}{4\pi^2 c^2} kT$;
д) Планка	5) $R^* = \sigma T^4$.

5.5. Какие из приведенных выражений описывают законы Вина?

а) $\lambda_m = \dfrac{b}{T}$; б) $R_T = \int_0^\infty r_{\lambda T} d\lambda$; в) $\left(r_{\lambda T}{}^*\right)_{\max} = CT^5$; г) $R^* = \dfrac{c}{4}u$;

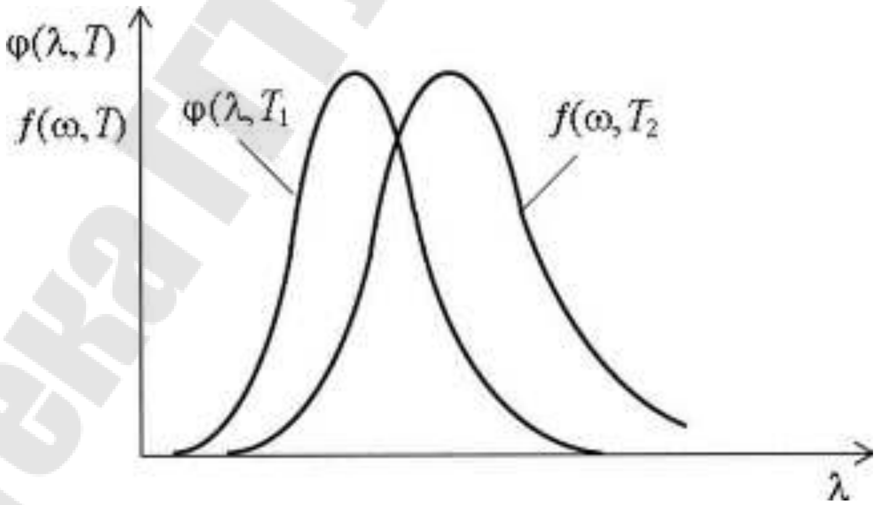
д) $r_\lambda = r_\omega \dfrac{\omega^2}{2\pi c}$.

5.6. Каким законом описывается график 1, представленный на рисунке.



а) Стефана - Больцмана; б) Вина; в) Рэлея -Джинса; г) Планка.

5.7. Что можно сказать о температуре излучающего тела, изотермы которого изображены на рисунке.



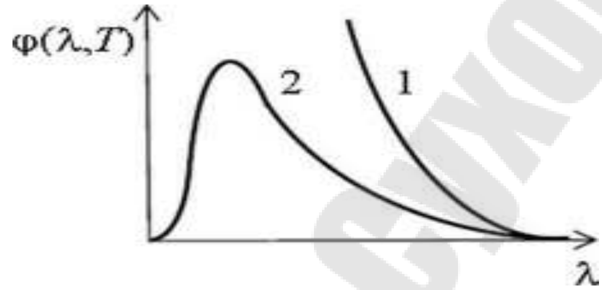
а) $T_1 = T_2$; б) $T_1 > T_2$; в) $T_1 < T_2$.

5.8. Представим себе три тела, одинаковые по размерам, но отличающиеся друг от друга своей поглощательной способностью. Пусть для определенности это будут: абсолютно черное тело (1), серое тело (2) и белое тело (3). Что можно сказать о температурах этих тел, если на них направить одинаковой по величине поток лучистой энергии?

а) $T_1 < T_2 < T_3$; б) $T_1 > T_2 > T_3$; в) $T_1 > T_2 < T_3$;

г) $T_1 > T_2 = T_3$; д) $T_1 = T_2 = T_3$; е) $T_1 = T_2 < T_3$.

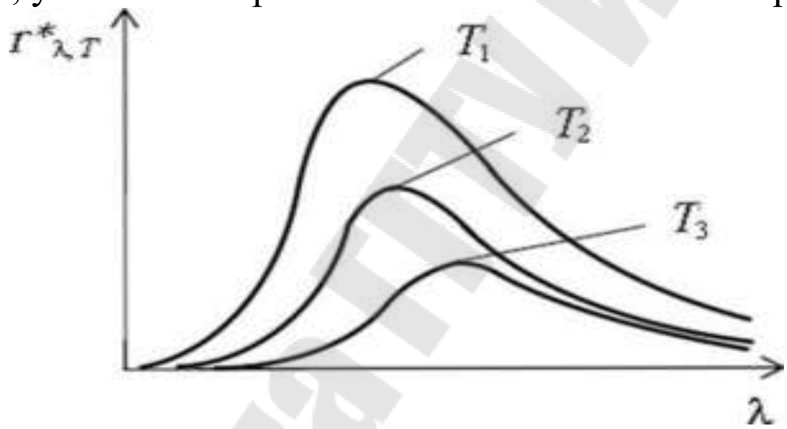
5.9. График 2, представленный на рисунке, описывается уравнением



а) $r_{\lambda T}{}^{*} = \dfrac{4\pi^2\hbar c^2}{\lambda^5}\dfrac{1}{\exp\left(\dfrac{2\pi\hbar c}{kT\lambda}\right)-1}$; б) $\left(r_{\lambda,T}{}^{*}\right)_{\max} = CT^5$;

в) $f(\omega,T) = \dfrac{\hbar\omega^2}{4\pi^2c^2}kT$; $\varphi(\lambda,T) = \left(\dfrac{2\pi c}{\lambda}\right)^5 F\left(\dfrac{2\pi c}{\lambda T}\right)$.

5.10. Для изотерм абсолютно черного тела, представленных на рисунке, установите правильное соотношение температур.



а) $T_1 > T_2 > T_3$; б) $T_1 < T_2 < T_3$; в) $T_1 = T_2 = T_3$.

5.11. Температура внутренней поверхности электрической печи T=700^{0}С. Определите мощность излучения печи через небольшое отверстие диаметром d=5см, рассматривая его как излучение абсолютно черного тела.

а) $N = 85{,}6$Вт; б) $N = 99{,}7$Вт; в) $N = 121$Вт; г) $N = 94{,}2$Вт.

5.12. Мощность излучения расплавленного свинца, площадь поверхности которого $S = 40\,\text{см}^2$, взятого при температуре плавления, равна $N = 17{,}6$Вт. Найти отношение энергетических светимостей свинца и абсолютно черного тела для данной температуры.

а) A_T=0,2; б) A_T=0,6; в) A_T=0,3; г) A_T=0,8.

5.13. Пренебрегая потерями тепла на теплопроводность, подсчитать мощность электрического тока, необходимую для накаливания вольфрамовой нити диаметром 1мм и длиной 20см до температуры 3500К. Коэффициент черноты вольфрама для данной температуры A_T=0,35. Какой ток потечет через лампу, если напряжение в сети 220В?

а) $N = 2560\,\text{Вт}; I = 12{,}5\text{А}$; б) $N = 1240\,\text{Вт}; I = 6{,}45\text{А}$;
в) $N = 2125\,\text{Вт}; I = 11{,}2\text{А}$; г) $N = 1870\,\text{Вт}; I = 8{,}5\text{А}$.

5.14. Температура черного тела T_2=3000К. При остывании тела длина волны, соответствующая максимальному значению спектральной плотности энергетической светимости, изменилась на $\Delta\lambda = 8$мкм. Определить температуру T_2, до которой тело охладилось.

а) T_2=264К; б) T_2=323К; в) T_2=679К; г) T_2=1873К.

5.15. Принимая Солнце за абсолютно черное тело и учитывая, что максимальное значение его плотности энергетической светимости приходится на длину волны $\lambda\,\text{max}$=500 нм определить массу, теряемую Солнцем за 10 мин за счет излучения.

а) $\Delta m = 2{,}6 \cdot 10^{12}\,\text{кг}$; б) $\Delta m = 3{,}26 \cdot 10^{12}\,\text{кг}$;
в) $\Delta m = 4{,}2 \cdot 10^{12}\,\text{кг}$; г) $\Delta m = 1{,}6 \cdot 10^{12}\,\text{кг}$.

5.16. Исследование спектра излучения Солнца показывает, что максимум спектральной плотности энергетической светимости соответствует длине волны 5000 Å. Принимая Солнце за абсолютно черное тело, определить: 1) энергетическую светимость Солнца; 2) поток энергии, излучаемый Солнцем.

а) $R_э = 32\,\dfrac{\text{МВт}}{\text{м}^2}, \Phi_W = 2{,}6 \cdot 10^{26}\,\dfrac{\text{Дж}}{\text{с}}$;

б) $R_э = 64\,\dfrac{\text{МВт}}{\text{м}^2}, \Phi_W = 3{,}9 \cdot 10^{26}\,\dfrac{\text{Дж}}{\text{с}}$;

в) $R_э = 89\,\dfrac{\text{МВт}}{\text{м}^2}, \Phi_W = 4{,}8 \cdot 10^{26}\,\dfrac{\text{Дж}}{\text{с}}$;

г) $R_э = 72\,\dfrac{\text{МВт}}{\text{м}^2}, \Phi_W = 4{,}1 \cdot 10^{26}\,\dfrac{\text{Дж}}{\text{с}}$.

5.17. В результате охлаждения черного тела длина волны, отвечающая максимуму спектральной плотности энергетической светимости, сместилась с $\lambda_{1\max} = 0{,}8$мкм до $\lambda_{2\max} = 2{,}4$мкм. Определить, во сколько раз изменятся: 1) энергетическая светимость тела; 2) максимальная спектральная плотность энергетической светимости

а) уменьшится в 9 раз; уменьшится в 143 раза;
б) уменьшится в 81 раз; уменьшится в 243 раза;
в) уменьшится в 181 раз; уменьшится в 343 раза;
г) увеличиться в 81 раз; увеличиться в 243 раза.

5.18. Длина волны, на которую приходится максимум энергии в спектре излучения абсолютно черного тела, равна 0,58 мкм. Определить: 1) энергетическую светимость поверхности тела; 2) спектральную плотность энергетической светимости, рассчитанную на интервал длин волн, равный 1 нм, вблизи $\lambda_{\max}$.

а) $R_э = 35\frac{\text{МВт}}{\text{м}^2}$, $r_э = 40{,}6\frac{\text{кВт}}{\text{м}^2\cdot\text{нм}}$; б) $R_э = 13\frac{\text{МВт}}{\text{м}^2}$, $r_э = 21\frac{\text{кВт}}{\text{м}^2\cdot\text{нм}}$;
в) $R_э = 63\frac{\text{МВт}}{\text{м}^2}$, $r_э = 54{,}3\frac{\text{кВт}}{\text{м}^2\cdot\text{нм}}$; г) $R_э = 41\frac{\text{МВт}}{\text{м}^2}$, $r_э = 48{,}3\frac{\text{кВт}}{\text{м}^2\cdot\text{нм}}$.

5.19. Определить количество теплоты, теряемой 50 см^2 поверхности расплавленной платины за 1 мин, если поглощательная способность платины $A_T = 0{,}8$. Температура t плавления платины равна 1770 $°\text{C}$.

а) $Q = 137$ кДж; б) $Q = 357$ кДж; в) $Q = 284$ кДж; г) $Q = 237$ кДж.

5.20. Определите связь между истинной T и радиационной T_p температурами, если известна поглощательная способность A_T серого тела.

а) $T = \frac{T_p}{\sqrt[4]{A_T}}$; б) $T = \frac{\sqrt[4]{A_T}}{T_p}$; в) $T = \frac{T_p^2}{\sqrt[4]{A_T}}$; г) $T = \frac{T_p}{\sqrt[2]{A_T}}$.

3.2.6. Тестовые задачи по квантово-оптическим явлениям

6.1. Работа выхода электрона зависит от:
1) природы металла;
2) состояния поверхности металла;

3) частоты падающего света;

4) интенсивности падающего света.

а) 1; б)2; в) 1, 2; г) 4; д) 3; е) 1,2, 3,4.

6.2. Максимальная кинетическая энергия вырываемых с поверхности металла фотоэлектронов пропорциональна:

1) интенсивности света;

2) плотности светового потока энергии;

3) разности потенциалов между катодом и анодом;

4) частоте света.

а)1; б)2; в)2,3; г)4; д)3,4.

6.3. Какое из приведенных ниже уравнений описывает эффект Комптона?

а) $n\hbar\omega = A + \dfrac{m_e \upsilon^2}{2}$ б) $\varphi(\lambda, T) = \left(\dfrac{2\pi c}{\lambda}\right)^5 F\left(\dfrac{2\pi c}{\lambda}\right)$;

в) $\Delta\lambda = 2\lambda_c \sin^2\dfrac{\theta}{2}$; г) $\dfrac{2\pi\hbar}{m_e c}$.

6.4. Установите соответствие между физическим явлением и его математическим выражением.

Явление

а) фотоэффект

б) рентгеновское характеристическое излучение

в) эффект Комптона

г) красная граница фотоэффекта

д) давление света

Математическое выражение

1) $\lambda_0 = \dfrac{2\pi\hbar c}{A}$;

2) $\lambda' - \lambda = \dfrac{2\pi\hbar}{m_e c}(1 - \cos\theta)$;

3) $p = \dfrac{W}{c}(1 + \rho)$;.

4) $\hbar\omega = A + \dfrac{m\mathrm{v}^2}{2}$;

5) $\omega = R(Z - \sigma)^2\left(\dfrac{1}{n_1^2} - \dfrac{1}{n_2^2}\right)$.

6.5. Красная граница фотоэффекта для металла $\lambda_k = 6{,}2 \cdot 10^{-5}$ см. Найти величину запирающего напряжения $U_з$ для фотоэлектронов при освещении металла светом длиной волны $\lambda = 330$ нм.

а) $U_З = 1{,}761$ В; б) $U_З = 2{,}761$ В; в) $U_З = 1{,}231$ В; г) $U_З = 0{,}621$ В.

6.6. Красная граница фотоэффекта для никеля равна 0,257 мкм. Найти длину волны света, падающего на никелевый электрод, если фототок прекращается при задерживающей разности потенциалов, равной 1,5 В.

а) $\lambda = 0{,}394$ мкм; б) $\lambda = 0{,}196$ мкм; в) $\lambda = 0{,}124$ мкм;
г) $\lambda = 0{,}684$ мкм.

6.7. Какую часть энергии фотона составляет энергия, которая пошла на совершение работы выхода электронов из фотокатода, если красная граница для материала фотокатода равна 0,54 мкм? Кинетическая энергия фотоэлектронов 0,5 эВ.

а) $\frac{A_в}{\varepsilon} = 100\%$; б) $\frac{A_в}{\varepsilon} = 82\%$; в) $\frac{A_в}{\varepsilon} = 41\%$; г) $\frac{A_в}{\varepsilon} = 20{,}5\%$.

6.8. Определить максимальную скорость электрона, вырванного с поверхности материала γ-квантом с энергией 1,53 МэВ.

а) $\upsilon = 5{,}6 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$; б) $\upsilon = 1{,}4 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$; в) $\upsilon = 2{,}8 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$;
г) $\upsilon = 0{,}7 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$.

6.9. Определить, с какой скоростью υ должен двигаться электрон, чтобы его кинетическая энергия $E_к$ была равна энергии ε фотона с длиной волны $\lambda = 1$пм.

а) $\upsilon = 1{,}47 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$; б) $\upsilon = 5{,}67 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$; в) $\upsilon = 2{,}87 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$;
г) $\upsilon = 8{,}21 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$.

6.10 Определить длину волны λ фотона, импульс P которого в два раза меньше импульса P_e электрона, движущегося со скоростью 0,1 Мм/с.

а) $\lambda = 29{,}0$ нм; б) $\lambda = 7{,}5$ нм; в) $\lambda = 10{,}0$ нм; г) $\lambda = 14{,}5$ нм.

6.11. На зачерненную поверхность нормально падает монохроматический свет с длиной волны 0,65 мкм, производя давление $5\,5 \cdot 10^{-6}$ Па. Определить концентрацию фотонов вблизи поверхности и число фотонов, падающих на площадь 1м^2 в 1 с.

а) $n_0 = 3{,}2 \cdot 10^{13}$ м$^{-3}$; $n = 9{,}6 \cdot 10^{21}$ с$^{-1} \cdot$ м$^{-2}$;

б) $n_0 = 1{,}6 \cdot 10^{13}$ м$^{-3}$; $n = 4{,}8 \cdot 10^{21}$ с$^{-1} \cdot$ м$^{-2}$;

в) $n_0 = 0{,}8 \cdot 10^{13}$ м$^{-3}$; $n = 2{,}4 \cdot 10^{21}$ с$^{-1} \cdot$ м$^{-2}$;

г) $n_0 = 1 \cdot 10^{13}$ м$^{-3}$; $n = 4 \cdot 10^{21}$ с$^{-1} \cdot$ м$^{-2}$.

6.12. На идеально отражающую поверхность площадью S=5см^2 за время t=3мин нормально падает монохроматический свет, энергия которого W=9Дж. Определить световое давление, оказываемое на поверхность.

а) $P = 467$ нПа; б) $P = 867$ нПа; в) $P = 667$ нПа; г) $P = 589$ нПа.

6.13. Световое давление, испытываемое зеркальной поверхностью площадью 1м^2, равно 10^{-6} Па. Найти длину волны света, если на поверхность ежесекундно падает $5 \cdot 10^{16}$ фотонов.

а) $\lambda = 6{,}63 \cdot 10^{-4}$ м; б) $\lambda = 6{,}63 \cdot 10^{-7}$ м; в) $\lambda = 4{,}63 \cdot 10^{-7}$ м;
г) $\lambda = 3{,}36 \cdot 10^{-5}$ м.

6.14. Давление монохроматического света с длиной волны $\lambda = 500$ нм на поверхность с коэффициентом отражения $\rho = 0{,}3$, расположенную перпендикулярно к падающему свету, равно 0,2мкПа. Определить число фотонов, поглощаемых ежесекундно 1м^2 этой поверхности.

а) $N = 8{,}12 \cdot 10^{12}$; б) $N = 4{,}06 \cdot 10^{19}$; в) $N = 2{,}26 \cdot 10^{19}$;
г) $N = 7{,}98 \cdot 10^{15}$.

6.15. Давление света с длиной волны 0,55 мкм, нормально падающего на зеркальную поверхность, равно 9мкПа. Определить концентрацию фотонов вблизи поверхности.

а) $n = 1{,}24 \cdot 10^{15}$ м; б) $n = 2{,}48 \cdot 10^{13}$ м; в) $n = 1{,}24 \cdot 10^{9}$ м;
г) $n = 0{,}98 \cdot 10^{13}$ м.

6.16. Угол рассеяния фотона с энергией 1,2 МэВ на свободном электроне $60°$. Найти длину волны рассеянного фотона.

а) $\lambda' = 2{,}25 \cdot 10^{-9}\, м$; б) $\lambda' = 2{,}25 \cdot 10^{-12}\, м$;
в) $\lambda' = 1{,}25 \cdot 10^{-12}\, м$; г) $\lambda' = 4{,}5 \cdot 10^{-12}\, м$.

6.17. В результате эффекта Комптона фотон рассеялся на покоившемся свободном электроне на угол $\theta = 90^{\circ}$. Энергия рассеянного фотона $\varepsilon' = 400\,\text{кэВ}$. Определить: 1) энергию фотона до рассеяния; 2) кинетическую энергию E_K электрона отдачи; 3) угол φ, под которым движется электрон отдачи.

а) $\varepsilon = 374\,\text{кэВ}, E_K = 158\,\text{кэВ}, \varphi = 45^{\circ}$;
б) $\varepsilon = 400\,\text{кэВ}, E_K = 178\,\text{кэВ}, \varphi = 45^{\circ}$;
в) $\varepsilon = 300\,\text{кэВ}, E_K = 127\,\text{кэВ}, \varphi = 15^{\circ}$;
г) $\varepsilon = 158\,\text{кэВ}, E_K = 374\,\text{кэВ}, \varphi = 30^{\circ}$.

6.18. Фотон с энергией $\varepsilon = 0{,}23\,\text{МэВ}$ рассеялся на первоначально покоившемся свободном электроне. Определить кинетическую энергию электрона отдачи, если длина волны рассеянного фотона изменилась на 15 %.

а) $E_K = 15\,\text{кэВ}$; б) $E_K = 30\,\text{кэВ}$; в) $E_K = 45\,\text{кэВ}$; г) $E_K = 60\,\text{кэВ}$.

6.19. Гамма-фотон с длиной волны 1,2пм в результате комптоновского рассеяния на свободном электроне отклонился от первоначального направления на угол 60°. Определить кинетическую энергию и импульс электрона отдачи. До столкновения электрон покоился.

а) $E_K = 0{,}433 \cdot 10^{-13}; P = 2{,}08 \cdot 10^{-22}\,\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$;
б) $E_K = 4{,}8 \cdot 10^{-22}; P = 0{,}833 \cdot 10^{-13}\,\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$;
в) $E_K = 0{,}833 \cdot 10^{-13}; P = 4{,}08 \cdot 10^{-22}\,\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$;
г) $E_K = 1{,}833 \cdot 10^{-13}; P = 6{,}8 \cdot 10^{-22}\,\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$.

6.20. В результате комптоновского рассеяния на свободном покоящемся электроне длина волны γ- фотона λ_1 увеличилась вдвое. Найти кинетическую энергию и импульс электрона отдачи, если угол рассеяния равен 60^{o}.

а) $E_K = 1\text{МэВ}; P = 4{,}7 \cdot 10^{-22}\,\dfrac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$;

б) $E_K = 0{,}5\text{МэВ}; P = 6{,}8 \cdot 10^{-22}\,\dfrac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$;

в) $E_K = 0{,}5\text{МэВ}; P = 4{,}7 \cdot 10^{-22}\,\dfrac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$;

г) $E_K = 1{,}5\text{МэВ}; P = 6{,}7 \cdot 10^{-22}\,\dfrac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$.

3.2.7. Тестовые задачи по атому водорода в теории Бора

7.1. Квантовым числам поставьте в соответствие значения, которые они принимают

Квантовое число	Значение
а) главное квантовое число, n	1) 0, 1, 2, ... $n-1$
б) орбитальное квантовое число, 1	2) $I+s,\ldots,\lvert I-s\rvert$
в) магнитное квантовое число, m_j	3) $-\frac{1}{2},+\frac{1}{2}$
г) спиновое квантовое число, m_s	4) 1, 2, 3,
д) квантовое число полного момента атома, m_j	5) $-I,\ldots 0,\ldots I$

7.2. Максимальное число электронов в состоянии с $n = 4$ равно

а) 8; б) 18; в) 32; г) 50.

7.3 Значение, которое может принимать проекция момента импульса элек трона на выбранное направление при заданном значении I опреде-ляется выражением

а) $I\hbar$; б) $-I\hbar$; в) $(2I+1)\hbar$.

7.4. Угловым моментам электрона (орбитальному, спиновому и полному) и их проекциям на направление оси Z поставьте в соответствие собственные значения

Угловой момент/проекция Значение

а) орбитальный момент импульса — 1) $\hbar\sqrt{j(j+1)}$

б) собственный момент импульса — 2) $\hbar m_I$

в) полный момент импульса — 3) $\hbar\sqrt{s(s+1)}$

г) проекция орбитального момента импульса — 4) $\hbar m_j$

д) проекция собственного момента импульса — 5) $\hbar\sqrt{I(I+1)}$

е) проекция полного момента импульса — 6) $\hbar m$.

7.5. Спектральной серии водородоподобного атома поставьте в соответствие формулу

а) Бальмера $R\left(\frac{1}{1^2}-\frac{1}{n^2}\right)$ $(n = 2.3.4...)$;

б) Брекета $R\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2}\right)$ $(n = 2.3.4...)$;

в) Лаймана $R\left(\frac{1}{3^2}-\frac{1}{n^2}\right)$ $(n = 2.3.4...)$;

г) Пфунда $R\left(\frac{1}{4^2}-\frac{1}{n^2}\right)$ $(n = 2.3.4...)$;

д) Пашена $R\left(\frac{1}{5^2}-\frac{1}{n^2}\right)$ $(n = 2.3.4...)$.

7.6. Электрон находится на третьей боровской орбите атома водорода. Определить: 1) радиус этой орбиты; 2) скорость электрона на этой орбите; 3) частоту вращения электрона на этой орбите; 4) потенциальную энергию электрона; 5) кинетическую энергию электрона; 6) полную энергию электрона на этой орбите.

а) $r_3 = 476{,}1\cdot10^{-12}\,\text{м}; \upsilon_3 = 0{,}731\cdot10^6\,\frac{\text{м}}{\text{с}}; \nu = 2{,}42\cdot10^{14}\,\text{Гц};$

$E_к = 1{,}5\,\text{эВ}; E_p = -3{,}0\,\text{эВ}; E = -1{,}5\,\text{эВ};$

б) $r_3 = 376{,}1\cdot10^{-12}\,\text{м}; \upsilon_3 = 0{,}531\cdot10^6\,\frac{\text{м}}{\text{с}}; \nu = 2{,}12\cdot10^{14}\,\text{Гц};$

$E_к = 1{,}3\,\text{эВ}; E_p = -3{,}0\,\text{эВ}; E = -1{,}7\,\text{эВ};$

в) $r_3 = 861{,}2\cdot10^{-12}\,\text{м}; \upsilon_3 = 1{,}12\cdot10^6\,\frac{\text{м}}{\text{с}}; \nu = 4{,}42\cdot10^{14}\,\text{Гц};$

$E_к = 2\,\text{эВ}; E_p = -4\,\text{эВ}; E = -2\,\text{эВ};$

г) $r_3 = 781{,}1\cdot10^{-12}\,\text{м}; \upsilon_3 = 0{,}931\cdot10^6\,\frac{\text{м}}{\text{с}}; \nu = 3{,}42\cdot10^{14}\,\text{Гц};$

$E_к = 1\,\text{эВ}; E_p = -2\,\text{эВ}; E = -1\,\text{эВ}.$

7.7. Определить частоту света, излучаемого возбужденным атомом водорода при переходе электрона на второй энергетический уровень, если радиус орбиты электрона изменится в 9 раз.

а) $\nu = 7{,}31 \cdot 10^{7}$ Гц; б) $\nu = 4{,}31 \cdot 10^{14}$ Гц; в) $\nu = 9{,}31 \cdot 10^{14}$ Гц;
г) $\nu = 7{,}31 \cdot 10^{14}$ Гц.

7.8. Атом водорода испустил фотон с длиной волны $4{,}86 \cdot 10^{-7}$ м. Насколько изменилась энергия электрона в атоме?

а) $\Delta E = 1{,}28$ эВ; б) $\Delta E = 2{,}56$ эВ; в) $\Delta E = 5{,}12$ эВ; г) $\Delta E = 10{,}24$ эВ.

7.9. Определить длину волны спектральной линии, соответствующей переходу электрона в атоме водорода с шестой орбиты на вторую

а) $\lambda = 4{,}1 \cdot 10^{-3}$ м; б) $\lambda = 4{,}1 \cdot 10^{-7}$ м; в) $\lambda = 2{,}05 \cdot 10^{-7}$ м;
г) $\lambda = 4{,}1 \cdot 10^{7}$ м.

7.10. Найти длину волны λ фотона, соответствующую переходу электрона со второй орбиты на первую для двукратного ионизированного атома лития.

а) $\lambda = 13{,}5$ нм; б) $\lambda = 27$ нм; в) $\lambda = 16$ нм; г) $\lambda = 4{,}5$ нм.

7.11. Какую разность потенциалов прошел электрон, если, сталкиваясь с атомом ртути, переводит его в первое возбужденное состояние? Частота излучения фотона, соответствующая переходу атома ртути в нормальное состояние, равна $\nu = 5{,}63 \cdot 10^{14}$ Гц.

а) $U = 1{,}15$ В; б) $U = 2{,}3$ В; в) $U = 4{,}6$ В; г) $U = 2$ В.

7.12. Определить первый боровский радиус орбиты в атоме водорода и скорость движения электрона по этой орбите.

а) $r_1 = 0{,}53 \cdot 10^{-5}$ м; $\upsilon = 2{,}2 \cdot 10^{8}\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$; б) $r_1 = 0{,}53 \cdot 10^{-10}$ м; $\upsilon = 2{,}2 \cdot 10^{6}\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$;

в) $r_1 = 1 \cdot 10^{-10}$ м; $\upsilon = 3 \cdot 10^{6}\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$; г) $r_1 = 3 \cdot 10^{-10}$ м; $\upsilon = 1 \cdot 10^{6}\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

7.13. Определить наибольшие и наименьшие длины волн фотонов, излучаемых при переходе электронов в сериях Лаймана, Бальмера и Пашена.

а) $\lambda_{3\max} = 0{,}128$мкм; $\lambda_{3\min} = 0{,}091$мкм; $\lambda_{2\max} = 0{,}656$мкм; $\lambda_{2\min} = 0{,}365$мкм; $\lambda_{3\max} = 1{,}88$мкм; $\lambda_{3\min} = 0{,}82$мкм;

б) $\lambda_{3\max} = 0{,}5$мкм; $\lambda_{3\min} = 0{,}1$мкм; $\lambda_{2\max} = 0{,}5$мкм; $\lambda_{2\min} = 0{,}2$мкм; $\lambda_{3\max} = 3$мкм; $\lambda_{3\min} = 1{,}5$мкм;

в) $\lambda_{3\max} = 128$мкм; $\lambda_{3\min} = 91$мкм; $\lambda_{2\max} = 656$мкм; $\lambda_{2\min} = 365$мкм; $\lambda_{3\max} = 188$мкм; $\lambda_{3\min} = 82$мкм;

г) $\lambda_{3\max} = 1{,}28$мкм; $\lambda_{3\min} = 0{,}91$мкм; $\lambda_{2\max} = 6{,}56$мкм; $\lambda_{2\min} = 3{,}65$мкм; $\lambda_{3\max} = 18{,}8$мкм; $\lambda_{3\min} = 8{,}2$мкм.

7.14. Сколько линий спектра атома водорода попадает в видимую область ($\lambda = 0{,}4...0{,}76$ мкм)? Вычислить длины волн этих линий. Каким цветам они соответствуют?

а) $\lambda_1 = 5{,}35 \cdot 10^{-7}$ м–зеленая линия; $\lambda_1 = 6{,}56 \cdot 10^{-7}$ м– красная линия; $\lambda_1 = 5{,}73 \cdot 10^{-7}$ м– желтая линия ; $\lambda_1 = 4{,}1 \cdot 10^{-7}$ м– фиолетовая линия;

б) $\lambda_1 = 6{,}56 \cdot 10^{-7}$ м-красная линия; $\lambda_1 = 4{,}86 \cdot 10^{-7}$ м– голубая линия; $\lambda_1 = 4{,}34 \cdot 10^{-7}$ м– фиолетовая линия; $\lambda_1 = 4{,}1 \cdot 10^{-7}$ м– фиолетовая линия;

в) $\lambda_1 = 6{,}12 \cdot 10^{-7}$ м–оранжевая линия; $\lambda_1 = 4{,}1 \cdot 10^{-7}$ $м$– фиолетовая линия; $\lambda_1 = 4{,}45 \cdot 10^{-7}$ м– синяя линия; $\lambda_1 = 5{,}35 \cdot 10^{-7}$ м– зеленая линия;.

г) $\lambda_1 = 4{,}1 \cdot 10^{-7}$ м–фиолетовая линия; $\lambda_1 = 5{,}35 \cdot 10^{-7}$ м– зеленая линия ; $\lambda_1 = 6{,}56 \cdot 10^{-7}$ м– красная линия; $\lambda_1 = 4{,}45 \cdot 10^{-7}$ м– синяя линия .

7.15. На дифракционную решетку с периодом $d = 5$мкм нормально падает пучок света от разрядной трубки, наполненной атомарным водородом. В спектре дифракционный максимум пятого порядка, наблюдаемый под углом $\varphi = 7°$, соответствует одной из линий серии Лаймана. Определить главное квантовое число, соответствующее энергетическому уровню, с которого произошел переход.

а) $k = 1$; б) $k = 2$; в) $k = 3$; г) $k = 4$.

7.16. Найти наибольшую длину волны в ультрафиолетовой области спектра атомарного водорода. Какую наименьшую скорость должен иметь электрон, чтобы при возбуждении атома водорода ударом появилась эта линия?

а) $\lambda_{max} = 121$ мкм, $\upsilon_{min} = 1.9 \cdot 10^{12}$ м/с;

б) $\lambda_{max} = 121$ нм, $\upsilon_{min} = 1.9 \cdot 10^{6}$ м/с;

в) $\lambda_{max} = 242$ нм, $\upsilon_{min} = 3{,}8 \cdot 10^{6}$ м/с;

г) $\lambda_{max} = 51$ мкм, $\upsilon_{min} = 1 \cdot 10^{6}$ м/с

7.17. Определить потенциал ионизации φ_i и первый потенциал возбуждения φ_1 атома водорода.

а) $\varphi_i = 27{,}2$ эВ, $\varphi_1 = 10{,}2$ эВ; б) $\varphi_i = 13.6$ эВ, $\varphi_1 = 20{,}4$ эВ;

в) $\varphi_i = 27{,}2$ эВ, $\varphi_1 = 13{,}6$ эВ; г) $\varphi_i = 10{,}2$ эВ, $\varphi_1 = 13{,}6$ эВ.

7.18. Максимально возможная проекция момента импульса орбитального движения электрона, находящегося в атоме в l –состоянии, на направление внешнего магнитного поля равна

а) $\hbar$; б) $\hbar\sqrt{6}$; в) $2\hbar$.

7.19. Чему равен момент импульса орбитального движения электрона, находящегося в атоме в основном состоянии?

а) 0; б) $\hbar$; в) $\hbar\sqrt{2}$.

7.20. Утверждение: «в любом квантовом состоянии может находиться не более одного электрона» получило название

а) принципа неопределенности;

б) принципа суперпозиции состояний;

в) принципа Паули;

г) комбинационного принципа Ритца;

д) принципа минимума энергии.

3.2.8. Тестовые задачи по квантовой механике

8.1. Вычислить длину волны де Бройля электрона, движущегося со скоростью $\upsilon = 0{,}75c$ (c – скорость света в вакууме).

а) $\lambda = 1{,}77 \cdot 10^{-12}$ м; б) $\lambda = 1{,}77 \cdot 10^{-10}$ м;

в) $\lambda = 1{,}77 \cdot 10^{-15}$ м; г) $\lambda = 1{,}77 \cdot 10^{12}$ м.

8.2. Какой кинетической энергией должен обладать протон, чтобы его длина волны де Бройля равнялась комптоновской длине волны?

а) $E_K = 389$ эВ; б) $E_K = 389$ МэВ; в) $E_K = 900$ МэВ;
г) $E_K = 38{,}9$ МэВ.

8.3. Электрон прошел ускоряющую разность потенциалов U. Найти длину волны де Бройля для случаев: $U = 51$ В; $U = 510$ кВ.

а) $\lambda_1 = 1{,}72 \cdot 10^{-10}$ м; $\lambda_2 = 1{,}4 \cdot 10^{12}$ м;
б) $\lambda_1 = 1{,}4 \cdot 10^{-10}$ м; $\lambda_2 = 1{,}72 \cdot 10^{-12}$ м;
в) $\lambda_1 = 3{,}44 \cdot 10^{-10}$ м; $\lambda_2 = 2{,}8 \cdot 10^{-12}$ м;
г) $\lambda_1 = 1{,}72 \cdot 10^{-10}$ м; $\lambda_2 = 1{,}4 \cdot 10^{-12}$ м.

8.4. Заряженная частица, ускоренная разностью потенциалов $U = 500$ В, имеет длину волны де Бройля $\lambda = 1{,}282$ пм. Принимая заряд этой частицы равным заряду электрона, определить массу частицы.

а) $m_0 = 1{,}672 \cdot 10^{-27}$ кг; б) $m_0 = 1{,}672 \cdot 10^{-17}$ кг;
в) $m_0 = 1{,}672 \cdot 10^{27}$ кг; г) $m_0 = 1{,}672 \cdot 10^{17}$ кг.

8.5. Электрон в атоме водорода находится p-состоянии. Максимально возможное значение полного момента импульса электрона равно

а) $\frac{\hbar}{2}\sqrt{15}$; б) $\frac{\hbar}{2}\sqrt{3}$; в) $\frac{\hbar}{2}$.

8.6. Среднее время жизни атома в возбужденном состоянии 10 нс. Вычислить естественную ширину спектральной линии ($\lambda = 0{,}7$ мкм), соответствующую переходу между возбужденными уровнями атома.

а) $\Delta\lambda_{\min} = 5{,}2 \cdot 10^{-14}$ м; б) $\Delta\lambda_{\min} = 5{,}2 \cdot 10^{14}$ м;
в) $\Delta\lambda_{\min} = 5{,}2 \cdot 10^{-7}$ м; г) $\Delta\lambda_{\min} = 5{,}2 \cdot 10^{7}$ м.

8.7. Оценить с помощью соотношения неопределенностей минимально возможную энергию электрона в атоме водорода.
а) $E_{\min} = -27{,}2$ эВ; б) $E_{\min} = -13{,}6$ эВ; в) $E_{\min} = 13{,}6$ эВ;
г) $E_{\min} = 27{,}2$ эВ.

8.8. Кинетическая энергия электрона в атоме водорода – порядка

$E_{\min} = 10{,}0$ эВ. Используя соотношение неопределенностей, оценить минимальные линейные размеры атома

а) $r = 0{,}62 \cdot 10^{-10}$ м; б) $r = 0{,}62 \cdot 10^{5}$ м;

в) $r = 0{,}62 \cdot 10^{-5}$ м; г) $r = 0{,}62 \cdot 10^{10}$ м.

8.9 Терм атома ${}^2P_{\frac{3}{2}}$. Чему равен максимальный момент атома?

а) $\hbar\sqrt{\frac{3}{2}}$; б) $\hbar\sqrt{\frac{3}{2}}$; в) $\hbar\sqrt{15}$.

8.10. Атомы лития, бериллия, бора и углерода находятся соответственно в состояниях $1s^22s$, $1s^22s2p$, $1s^22s2p^2$, $1s^22s^22p^2$. Какие из перечисленных атомов находятся в возбужденном состоянии?

а) Li;) Be; в) B; г) C; д) Li,C; е) Be, B.

8.11. Символ терма атома в состоянии с электронной конфигурацией $1s^22p3d$ запишется в виде

а)${}^1P_1$; б)${}^3P_2$; в)${}^1D_1$; д)${}^3D_2$; е) ${}^3F_4$.

8.12. Символ терма атома в состоянии с электронной конфигурацией

а)${}^1P_1$; б)${}^3P_2$; В)${}^1D_1$; д)${}^3D_2$; е) ${}^3F_4$.

8.13. Какой из термов: ${}^1S_0$, ${}^3P_0$, ${}^3P_1$, ${}^3P_2$, ${}^1D_2$ соответствует основному состоянию для конфигурации np^2?

а) ${}^1S_0$; б) ${}^3P_0$; в) ${}^3P_1$; г) ${}^3P_2$; д) ${}^1D_2$.

8.14. Основному состоянию атома бора B соответствует терм

а) ${}^2{}^2S_{1/2}$; б) ${}^2P_{1/2}$; в) ${}^2P_{3/2}$; г) ${}^2D_{5/2}$ д) ${}^2D_{7/2}$.

8.15. Средняя кинетическая энергия электрона в невозбужденном атоме водорода $E_к = 13{,}6$ эВ. Используя соотношение неопределенностей, найти наименьшую погрешность, с которой можно вычислить координату электрона в атоме.

а) $\Delta x = 10^{10}$ м; б) $\Delta x = 10^{-10}$ м; в) $\Delta x = 10^{-15}$ м; г) $\Delta x = 10^{-15}$ м.

8.16. Определить (в электрон-вольтах) неопределенность кинетической энергии электрона, который находится внутри атома диаметром d=1 нм.

а) $\Delta E_к$=1,51эВ; б) $\Delta E_к$=2,51эВ; в) $\Delta E_к$=3,51эВ;

г) $\Delta E_к$=4,51эВ.

8.17. Электрон находится в одномерной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками, ширина которой $1,4 \cdot 10^{-9}$ м. Определить энергию, излучаемую при переходе электрона с третьего энергетического уровня на второй.

а) $\Delta E = 15,2$ МэВ; б) $\Delta E = 2$ эВ; в) $\Delta E = 3$ эВ; г) $\Delta E = 4$ МэВ.

8.18. Частица находится в одномерной потенциальной яме шириной l с бесконечно высокими стенками. Пользуясь уравнением Шредингера, найти собственные значения энергии E_n частицы

а) $E_n = n^2 \dfrac{\pi\hbar}{2ml} (n = 1,2,3,...)$; б) $E_n = n^2 \dfrac{2ml^2}{\pi^2\hbar^2} (n = 1,2,3,...)$;

в) $E_n = n^2 \dfrac{\pi^2\hbar^2}{2ml^2} (n = 1,2,3,...)$; г) $E_n = n^2 \dfrac{2\pi^2 m\hbar^2}{l^2} (n = 1,2,3,...)$.

8.19. Частица находится в одномерной потенциальной яме шириной l с бесконечно высокими стенками. Определить нормированную собственную волновую функцию $\psi_n(x)$, описывающую состояние частицы при данных условиях.

а) $\psi_n(x) = \sqrt{\dfrac{l}{2}} \sin \dfrac{l}{n\pi} x (n = 1,2,3,...)$;

б) $\psi_n(x) = \sin \dfrac{n\pi}{l} x (n = 1,2,3,...)$;

в) $\psi_n(x) = \sqrt{\dfrac{2}{l}} \sin x (n = 1,2,3,...)$;

г) $\psi_n(x) = \sqrt{\dfrac{2}{l}} \sin \dfrac{n\pi}{l} x (n = 1,2,3,...)$.

8.20. Определить ширину l одномерной прямоугольной потенциальной ямы с бесконечно высокими стенками, при которой дискретность энергетического спектра электрона, находящегося в возбужденном состоянии (n=3), вдвое больше его средней кинетической энергии при температуре T=300К.

а) l=2,05нм; б) l=4,1нм; в) l=8,2нм; г) l=16,4нм.

3.2.9. Тестовые задачи по физике атомного ядра

9.1. Определению поставьте в соответствие название ядер.

Определение	Название ядер
а) ядра с одинаковым массовым числом	1) изомеры
б) ядра с одинаковым числом нейтронов	2) изотопы
в) ядра с одинаковым зарядом, но разными массовыми числами	3) изобары
г) ядра с одинаковым зарядом и массовым числом, но с разными периодами полураспада	4) изотопы

9.2. Какое из приведенных утверждений является ошибочным?

а) ядерные силы являются короткодействующими;
б) ядерные силы являются центральными;
в) ядерные силы обладают свойством насыщения;
г) ядерные силы обладают зарядовой независимостью;
д) ядерные силы зависят от взаимной ориентации спинов

9.3. Дефектом массы ядра называется величина:

а) $Zm_p + (A-Z)m_n - m_я$; б) $c^2\left[Zm_p + (A-Z)m_n - m_я\right]$;

в) $Zm_p + (A-Z)m_n - m_a$; г) $\dfrac{c^2\left[Zm_p + (A-Z)m_n - m_я\right]}{A}$.

9.4. Приведите в соответствие определению его математическое выражение.

Определение	Математическое выражение
а) массовое число	1) $Zm_p + (A-Z)m_n - m_я$;
б) энергия связи нуклонов в ядре	2) $c^2\left(\sum m_{исх} - \sum m_{прод}\right)$;
в) дефект массы	3) $\dfrac{c^2\left[Zm_p + (A-Z)m_n - m_я\right]}{A}$;
г) удельная энергия связи	4) $\sum m_p - \sum m_n$;
д) энергия ядерной реакции	5) $c^2\left(\sum m_N - \sum m_я\right)$.

9.5. Установите соответствие между определением и его математическим выражением.

Определение — Математическое выражение

а) период полураспада — 1) $\frac{1}{\lambda}$;

б) среднее время жизни радиоактивного ядра — 2) $N_0[1-\exp(-\lambda t)]$;

в) число атомов, распавшихся за время t — 3) $\frac{\lambda N}{m}$;

г) удельная активность радиоактивного препарата — 4) $\frac{0.693}{\lambda}$.

9.6. Закон радиоактивного распада записывается в виде

а) $\Delta N = N_0[1-\exp(-\lambda t)]$; б) $N = N_0\exp(-\lambda t)$;
в) $N = N_0\exp(-\sigma n\delta)$; г) $\Delta N = N\sigma n\delta$.

9.7. Число атомов, содержащихся в радиоактивном изотопе, определяется выражением

а) $\Delta N \approx \lambda N\Delta t$; б) $N = N_0\exp(-\lambda t)$; в) $N = \frac{m}{M}N_{A.}$

25.8. Сколько электронов содержится в ядре хлора $_{17}CI^{35}$?
а) 35; б) 18; в) 17; г) 0.

9.9. При бомбардировке α-частицами ядер алюминия $_{13}Al^{27}$ образуется новое ядро неизвестного элемента X и $_0n^1$. Этим элементом является

а) $_{10}B^{20}$; б) $_{11}Na^{23}$; в) $_{15}P^{30}$; г) $_{14}Si^{32}$.

9.10. Ядро радия $_{88}Ra^{226}$ претерпевает α-распад. Какое ядро образуется в результате радиоактивного распада?

а) $_{84}Po^{209}$; б) $_{86}Rn^{222}$; в) $_{90}Th^{232}$; г)$_{92}U^{235}$.

9.11. Сколько протонов содержится в ядре бария $_{56}Ba^{137}$?

а) 56; 6)81; в) 137; г) 193.

9.12. Укажите, какая частица образуется в результате реакции $_2He^4 + {}_3Li^7 = {}_5B^{10} + X$.

а) электрон; б) нейтрон; в) протон; г) дейтон.

25.13. Вычислить дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи ядра $^{16}_{8}O$.

а) $\Delta m = 0{,}26$ а.е.м., $E_{св} = 231$ МэВ, $\varepsilon_{св} = 12$ МэВ;;

б) $\Delta m = 12$ а.е.м., $E_{св} = 5$ МэВ, $\varepsilon_{св} = 19$ МэВ;;

в) $\Delta m = 0{,}1370$ а.е.м., $E_{св} = 128$ МэВ, $\varepsilon_{св} = 8$ МэВ;;

г) $\Delta m = 0{,}17$ а.е.м., $E_{св} = 139$ МэВ, $\varepsilon_{св} = 10$ МэВ;.

9.14. Вычислить дефект массы и энергию связи ядра бора $^{11}_{5}B$ при распаде на свободные нуклоны.

а) $\Delta m = 0{,}818$ а.е.м; $\Delta E = 7{,}625$ МэВ;

б) $\Delta m = 0{,}008186$ а.е.м; $\Delta E = 762{,}5$ МэВ;

в) $\Delta m = 12$ а.е.м; $\Delta E = 17$ МэВ;

г) $\Delta m = 0{,}08186$ а.е.м; $\Delta E = 76{,}25$ МэВ.

9.15. Определить период полураспада радиоактивного изотопа, если $5/8$ начального количества ядер этого изотопа распалось за время t=849 с.

а) $T_{1/2} = 2$ мин; б) $T_{1/2} = 5$ мин; в) $T_{1/2} = 10$ мин; г) $T_{1/2} = 15$ мин.

9.16. В какой элемент превращается $^{238}_{92}U$ после трех α-распадов и двух β -распадов?

а) $X = {}^{222}_{87}Rn$; б) $X = {}^{226}_{88}Ra$; в) $X = {}^{210}_{84}Po$; г) $X = {}^{207}_{82}Pb$.

9.17. Вычислить энергию ядерной реакции $^{2}_{1}H + {}^{7}_{3}Li \to 2 \cdot {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n$.

а) $E = 30{,}4$ МэВ; б) $E = 15{,}2$ МэВ;

в) $E = 7{,}2$ МэВ; г) $E = 10{,}2$ МэВ.

9.18. Какое количество энергии освобождается при соединении одного протона и двух нейтронов в одно ядро?

а) $E = 2$ МэВ; б) $E = 4$ МэВ; в) $E = 8$ МэВ; г) $E = 16$ МэВ.

9.19. Первоначальная масса радиоактивного изотопа радона $^{222}_{86}Rn$ (период полураспада $T_{1/2} = 3.82$ суток) равна 1,5 г. Определить: 1) начальную активность препарата изотопа; 2) его активность через 5 суток

а) $A_0 = 8{,}5 \cdot 10^{-15}$ Бк; $A = 3{,}5 \cdot 10^{-15}$ Бк;

б) $A_0 = 8{,}5 \cdot 10^{15}$ Бк; $A = 3{,}5 \cdot 10^{15}$ Бк;

в) $A_0 = 3{,}5 \cdot 10^{15}$ Бк; $A = 8{,}5 \cdot 10^{15}$ Бк;

г) $A_0 = 8{,}5 \cdot 10^{15}$ Бк; $A = 8{,}5 \cdot 10^{15}$ Бк.

9.20. Каков к.п.д. атомной электростанции мощностью $P = 5 \cdot 10^8$ Вт, если за t=1год было израсходовано m=965кг урана $^{235}_{92}U$? В каждом акте деления выделяется $\Delta E = 200$ МэВ энергии.

а) $\eta = 10\%$; б) $\eta = 20\%$; в) $\eta = 30\%$; г) $\eta = 40\%$.

Приложение

1. Основные физические постоянные:

скорость света в вакууме – $c = 3{,}00 \cdot 10^{8}$ м/с

ускорение свободного падения – $g = 9.81$ м/с^{2}

гравитационная постоянная – $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ Нм^{2}/кг^{2}

постоянная Авогадро – $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$

молекулярная газовая постоянная – $R = 8.31$ Дж /моль·К

объём моля идеального газа при нормальных условиях –

$V_0 = 22{,}4 \cdot 10^{-3}$ м^{3}/моль

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

элементарный заряд – $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл;

магнетон Бора – $\mu_{\acute{A}} = 9627 \cdot 10^{-24}$ Дж/Тл;

масса протона – $m_p = 1{,}67 \cdot 10^{-27}$ кг;

масса электрона – $m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ кг;

удельный заряд электрона – $e/m = 1{,}76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг;

электрическая постоянная – $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

магнитная постоянная – $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

постоянная Ридберга – $R = 1{,}10 \cdot 10^{7}$ м$^{-1}$

скорость света в вакууме – $c = 3{,}00 \cdot 10^{8}$ м/с

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

заряд электрона – $e = 1{,}60 \cdot 10^{-19}$ Кл

постоянная Планка – $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с

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

постоянная в законе Вина – $b = 2{,}89 \cdot 10^{-3}$ м · К

радиус первой боровской орбиты – $a_o = 5{,}29 \cdot 10^{-11}$ м

атомная единица массы – 1а.е.м. $= 1{,}660 \cdot 10^{-27}$ кг

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

Приставка		
Наименование	Обозначение	Множитель
гига	Г	10^9
мега	М	10^6
кило	к	10^3
гекто	г	10^2
милли	м	10^{-3}
микро	мк	10^{-6}
нано	н	10^{-9}
пико	п	10^{-12}

3. Некоторые характеристики Солнца, Земли и Луны

Физические параметры	Солнце	Земля	Луна
Масса, кг	$1{,}97 \cdot 10^{30}$	$5{,}96 \cdot 10^{24}$	$7{,}33 \cdot 10^{22}$
Радиус, м	$6{,}95 \cdot 10^{8}$	$6{,}37 \cdot 10^{6}$	$1{,}74 \cdot 10^{6}$
Средняя плотность, кг/ $м^3$	1400	5518	3350
Среднее расстояние от Земли, км	$1{,}496 \cdot 10^{8}$	--	384440

4. Плотность газов (при нормальных условиях)

Газ	Плотность, кг/ $м^3$	Газ	Плотность, кг/ $м^3$
Азот	1,25	Воздух	1,29
Аргон	1,78	Гелий	0,18
Водород	0,09	Кислород	1,43

5. Эффективный диаметр молекулы

Газ	Диаметр, 10^{-9}м	Газ	Диаметр, 10^{-9}м
Аргон	0,29	Гелий	0,19
Водород	0,23	Кислород	0,29

6.Поправки Ван-дер-Ваальса

Газ	а, н·м/ моль^2	в, 10^5 м^3/ моль
Азот	0,135	3,86
Аргон	0,134	3,22
Кислород	0,136	3,17
Неон	0,209	1,70
Углекислый газ	0,361	4,28

7. Диэлектрическая проницаемость ε

Вода – 81;
Парафин – 2,0;
Слюда – 6,0;
Стекло – 7,0;
Фарфор – 5,0;
Масло трансформаторное – 2,2;
Эбонит – 6,0.

8.Удельное сопротивление ρ и температурный коэффициент проводников (при 20^{o}C)

Проводник	Удельное сопротивление, нОм·м	Температурный коэффициент, К$^{-1}$
Алюминий	28	0,0038
Вольфрам	55	0,0051
Железо	98	0,0062
Константан	480	0,00002
Медь	17,2	0,0043
Никель	400	0,000017
Нихром	980	0,00026

9. Работа выхода электронов

Металл	А, Дж	А, эВ
Калий	$3,5\cdot 10^{-19}$	2,2
Литий	$3,7\cdot 10^{-19}$	2,3
Платина	$10\cdot 10^{-19}$	6,3
Рубидий	$3,4\cdot 10^{-19}$	2,1

Серебро	$7,5 \cdot 10^{-19}$	4,7
Цезий	$3,2 \cdot 10^{-19}$	2,0
Цинк	$6,4 \cdot 10^{-19}$	4,0

10. Относительные атомные массы (округленные значения) A_r и порядковые номера Z некоторых элементов.

Элемент	Символ	A_r	Z	Элемент	Символ	A_r	Z
Азот	N	14	7	Марганец	Mn	55	25
Алюминий	Al	27	13	Медь	Cu	64	29
Аргон	Ar	40	18	Молибден	Mo	96	42
Барий	Ba	137	56	Натрий	Na	23	11
Ванадий	V	60	23	Неон	Ne	20	10
Водород	H	1	1	Никель	Ni	59	28
Вольфрам	W	184	74	Олово	Sn	119	50
Гелий	He	4	2	Платина	Pt	195	78
Железо	Fe	56	26	Ртуть	Hg	201	80
Золото	Au	197	79	Сера	S	32	16
Калий	K	39	19	Серебро	Ag	108	47
Кальций	Ca	40	20	Углерод	C	12	6
Кислород	O	16	8	Уран	U	238	92
Магний	Mg	24	12	Хлор	Cl	35	17

11. Массы атомов легких изотопов

Изотоп	Символ	Масса, а.е.м.	Изотоп	Символ	Масса, а.е.м.
Нейтрон	${}_{0}^{1}n$	1,00867	Бериллий	${}_{4}^{7}Be$	7,01693
Азот	${}_{7}^{14}N$	14,00307		${}_{4}^{9}Be$	9,01219
Водород	${}_{1}^{1}H$	1,00783	Бор	${}_{5}^{10}B$	10,01294
	${}_{1}^{2}H$	2,01410		${}_{5}^{11}B$	11,00930
	${}_{1}^{3}H$	3,01605	Углерод	${}_{6}^{14}C$	12,00000
Гелий	${}_{2}^{3}He$	3,01603		${}_{6}^{13}C$	13,00335
	${}_{2}^{4}He$	4,00260		${}_{6}^{14}C$	14,00324
Литий	${}_{3}^{6}Li$	6,01513	Кислород	${}_{8}^{16}O$	15,99491
	${}_{3}^{7}Li$	7,01601		${}_{8}^{17}O$	16,99913

12. Периоды полураспада радиоактивных изотопов

Изотоп	Символ	Период полураспада
Актиний	${}^{225}_{89}Ac$	10 суток
Иод	${}^{131}_{53}I$	8 суток
Кобальт	${}^{60}_{27}Co$	5,3 года
Магний	${}^{27}_{12}Mg$	10 минут
Радий	${}^{226}_{86}Ra$	1620 лет
Радон	${}^{222}_{86}Rn$	3,8 суток
Стронций	${}^{90}_{38}Sr$	27 лет
Фосфор	${}^{32}_{15}P$	14,3 суток
Церий	${}^{144}_{58}Ce$	285 суток

13. Масса и энергия покоя некоторых частиц

Частица	m_o		E_o	
	кг	а.е.м.	Дж	МэВ
Электрон	$9{,}11\cdot10^{-31}$	0,00055	$8{,}16\cdot10^{-14}$	0,511
Протон	$1{,}672\cdot10^{-27}$	1,00728	$1{,}50\cdot10^{-10}$	938
Нейтрон	$1{,}675\cdot10^{-27}$	1,00867	$1{,}51\cdot10^{-10}$	939
Дейтрон	$3{,}35\cdot10^{-27}$	2,01355	$3{,}00\cdot10^{-10}$	939
α-частица	$6{,}64\cdot10^{-27}$	4,00149	$5{,}96\cdot10^{-10}$	3733
Нейтральный π-мезон	$2{,}41\cdot10^{-28}$	0,14498	$2{,}16\cdot10^{-11}$	135

Литература

Основная литература

1. Савельев И.В. Курс физики. Т. 1-3. - М.: Наука, 1989.
2. Детлаф А. А., Яворский М. Б. Курс физики.- М.: Высш. шк., 1989. - 608с.
3. Трофимова Т. И. Курс физики. - М.: Высш. шк., 1990. - 478 с.
4. Трофимова Т. И. Сборник задач по курсу физики для вузов. - М., 2003. - 303 с.
5. Чертов А. Г., Воробьёв А. А. Задачник по физике. - М.: Высш. шк., 1988. - 526 с.
6. Волькенштейн В. С. Сборник задач по общему курсу физики. - Наука, 1988. - 381 с.
7. Чертов А. Г. Физические величины. - М.: Высш. шк., 1990. – 315 с.

Дополнительная литература

8. Иродов И.Е. Основные законы механики - М.: Высш. шк, 1985 - 248с.
9. Калашников С. Г. Электричество. - М: Наука, 1977. - 668 с.
10. Матвеев А. Н. Электричество и магнетизм. - М.: Высшая школа,1983. - 463 с.
11. Ландсбер Г.С. Оптика. - М.: Наука, 1976. - 936 .
12. Калитиевский Н. И. Волновая оптика. - М.: Высш. шк., 1978. - 384 с.
13. Шпольский Э. В. Атомная физика. Т. 1, 2. - М.: Наука, 1974.
14. Епифанов Г. И. Физика твёрдого тела. - М.: Высшая школа, 1977. - 288с.
15. Широков Ю. М., Юдин Н. П. Ядерная физика. - М.: Наука, 1980. - 312с.
16. Иродов И. Е. Задачи по общей физике.- М.: Наука, 1988. – 416 с.
17. Фирганг Е.В. Руководство к решению задач по курсу общей физики. - М.: Высш. шк. 1977.-351 с.
18. Савельев И.В. Сборник задач и вопросов по общей физике.- М.: Наука, 1988.-288 с.
19. Яворский Б. М., Детлаф А. А. Справочник по физике.- М.: Наука,1990. - 624 с.
20. Кузглин Х. Справочник по физике. - М.: Мир, 1985. - 520 с.

Методические указания и пособия

21.154эл. Механика и молекулярная физика: практикум по курсу «Физика» для студентов всех специальностей дневной формы обучения: в3ч. Ч. 1/ О.И. Проневич, С.В. Пискунов. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2010. – 69с.

27. 329эл. Электричество и магнетизм: курс лекций по одноим. дисциплине для студентов техн. специальностей днев. и заоч. форм обучения: в 3 ч. Ч. 2 / П. А. Хило. А. И. Кравченко. - Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого. 2013. - 274 с.

28. 3981. Электричество и магнетизм: практикум по курсу «Физика» для студентов всех специальностей дневной формы обучения: в3ч. Ч. 2/ А.И. Кравченко, П.Д. Петрашенко, П.А. Хило. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2010. – 68с.

33. 58эл. Оптика, атомная и ядерная физика: конспект лекций по курсу «Физика» для студентов дневной и заочной формы обучения / А.А. Панков, П.А. Хило. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2009. – 170 с.

34. 235эл. Оптика, атомная и ядерная физика: практикум по курсу «Физика» для студентов технических специальностей дневной формы обучения: в 3 ч. Ч.3. / П.А. Хило, А.И. Кравченко, П.Д. Петрашенко. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2011. – 54 с.

Содержание

Предисловие……………………………………………………………........... 3
1. «Механика и молекулярная физика» ………………………………….. 4
1.1.1. Кинематика поступательного и вращательного движения
Основные понятия и формулы…………………………………….............. 4
1.1.2. Динамика материальной точки. Основные понятия и
формулы………………………………..............…………………….... 8
1.1.3. Динамика вращательного движения.Основные понятия и
формулы…………………….. 13
1.1.4. Механика жидкостей. Основные понятия и формулы................. 16
1.1.5. Основы специальной теории относительности (СТО).
Основные понятия и формулы…………………….................................. 18
1.1.6. Механические колебания. Упругие волны. Основные понятия
и формулы………………….. 20
1.1.7. Молекулярно-кинетическая теория идеального газа.
Законы идеального газа. Основные понятия и формулы..................... 29
1.1.8. Элементы статистической физики. Основные понятия и
формулы……………………………..............……………………… 32
1.1.9. Основы термодинамики. Основные понятия и формулы……… 35
1.1.10. Реальные газы и насыщенные пары. Основные понятия и
формулы……………………………..............…………………….. 39
1.1.11. Жидкости и твердые тела. Основные понятия и формулы… 40
1.2.1. Тестовые задачи по кинематике поступательного и
вращательного движения………………..............…………………… 43
1.2.2. Тестовые задачи по динамике материальной точки…………… 47
1.2.3.Тестовые задачи по динамике вращательного движения……… 52
1.2.4.Тестовые задачи по механике жидкостей.........………………… 58
1.2.5. Тестовые задачи по основам специальной теории
относительности…………………………………...............……….... 62
1.2.6. Тестовые задачи по механическим колебаниям и упругим
волнам……………………..............……………………………... 65
1.2.7. Тестовые задачи по молекулярно-кинетической теории
идеального газа и законам идеального газа. ..…………………….... 70
1.2.8. Тестовые задачи по элементам статистической физики……….. 74
1.2.9. Тестовые задачи по основам термодинамики………………….... 78
1.2.10. Тестовые задачи по реальным газам и насыщенным парам 82
1.2.11. Тестовые задачи по жидкостям и твёрдому телу. ……............. 86
2. Электричество и магнетизм……..............……..............………...... 91
2.1.1. Электростатика. Основные понятия и формулы………............. 91
2.1.2. Законы постоянного тока. Основные понятия и формулы……. 97

2.1.3. Магнитное поле. Основные понятия и формулы……................. 101
2.1.4. Электромагнитная индукция. Основные понятия и формулы… 103
2.1.5. Электромагнитные колебания и волны. Основные понятия и формулы……...............…….............……..............……............... 104
2.2.1. Тестовые задачи по электростатике……………................ 107
2.2.2.Тестовые задачи на законы постоянного тока........................... 112
2.2.3.Тестовые задачи по магнитному полю................ 117
2.2.4. Тестовые задачи по электромагнитной индукции..................... 122
2.2.5.Тестовые задачи по электромагнитным колебаниям и волнам 127
3. Оптика. Атомная и ядерная физика……………….................... 132
3.1.1. Геометрическая оптика. Основные понятия и формулы............ 132
3.1.2. Интерференция света. Основные понятия и формулы............... 135
3.1.3. Дифракция света. Основные понятия и формулы....................... 148
3.1.4. Поляризация и дисперсия света. Основные понятия и формулы. …… ……………………………………………………….. 141
3.1.5. Тепловое излучение. Основные понятия и формулы. 143
3.1.6. Квантово-оптические явления. Основные понятия и формулы. 145
3.1.7. Атом водорода в теории Бора. Основные понятия и формулы 146
3.1.8. Элементы квантовой механики. Основные понятия и формулы. ……………………………………………………… 148
3.1.9. Элементы физики атомного ядра. Основные понятия и формулы. …………………….………………………..................... 151
3.2.1. Тестовые задачи по геометрической оптике. ……................... 153
3.2.2.Тестовые задачи по интерференции света……......................... 157
3.2.3. Тестовые задачи по дифракции света…….............................. 161
3.2.4. Тестовые задачи по поляризации и дисперсии света………… 166
3.2.5. Тестовые задачи по тепловому излучению……....................... 172
3.2.6. Тестовые задачи по квантово-оптическим явлениям……......... 176
3.2.7. Тестовые задачи по атому водорода в теории Бора……........... 181
3.2.8. Тестовые задачи по квантовой механике……........................... 185
3.2.9.Тестовые задачи по физике атомного ядра……......................... 189
Приложение……………………………………………………... 193
Литература………………………………………………………. 198
Содержание…………………………………………………….. 200

УДК 53(075.8)
ББК 22я73
Х45

Рекомендовано научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(*протокол № 5 от 27.01.2015 г.*)

Рецензент: доц. каф. «Высшая математика» ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук *В. И. Лашкевич*

Хило, П. А.

Х45 Физика : практикум по выполнению тестовых заданий к экзамену для студентов специальности 1-27 01 01 «Экономика и организация производства (по направлениям)» и 1-40 05 01 «Информационные системы и технологии (по направлениям)» днев. формы обучения / П. А. Хило, А. И. Кравченко, Т. Н. Савкова. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – 208 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: http://elib.gstu.by. – Загл. с титул. экрана.

Содержит тестовые задачи к экзамену по разделам «Механика и молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Оптика. Атомная и ядерная физика», а также приложение и список литературы.

Для студентов специальностей 1-27 01 01 «Экономика и организация производства (по направлениям)» и 1-40 05 01 «Информационные системы и технологии (по направлениям)» дневной формы обучения.

УДК 53(075.8)
ББК 22я73

Хило Петр Анатольевич
Кравченко Александр Ильич
Савкова Татьяна Николаевна

ФИЗИКА

Практикум
по выполнению тестовых заданий к экзамену для студентов специальностей 1-27 01 01 «Экономика и организация производства (по направлениям» и 1-40 05 01 «Информационные системы и технологии (по направлениям)» дневной формы обучения

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 29.02.16.
Рег. № 29Е.
http://www.gstu.by