

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Химический факультет

УТВЕРЖДЕНО:

И.о. декана химического факультета
А. С. Князев

Оценочные материалы по дисциплине

Физика

по направлению подготовки

04.03.01 Химия

Направленность (профиль) подготовки:
Химия

Форма обучения
Очная

Квалификация
Бакалавр

Год приема
2024

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
В.В. Шелковников

Председатель УМК
В.В. Шелковников

Томск – 2024

1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-3 Способен применять расчетно-теоретические методы для изучения свойств веществ и процессов с их участием с использованием современной вычислительной техники.

ОПК-4 Способен планировать работы химической направленности, обрабатывать и интерпретировать полученные результаты с использованием теоретических знаний и практических навыков решения математических и физических задач.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 3.1 Применяет теоретические и полуэмпирические модели при решении задач химической направленности.

ИОПК 3.2 Использует стандартное программное обеспечение при решении задач химической направленности.

ИОПК 4.1 Использует базовые знания в области математики и физики при планировании работ химической направленности.

ИОПК 4.2 Обрабатывает данные с использованием стандартных способов аппроксимации численных характеристик.

ИОПК 4.3 Интерпретирует результаты химических наблюдений с использованием физических законов и представлений.

2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания

Элементы текущего контроля:

- контрольные вопросы;
- задачи для самостоятельного решения;
- лабораторные работы;
- тесты.

По всем разделам дисциплины предусмотрены ответы на контрольные вопросы и решение задач. Контроль осуществляется в форме индивидуального собеседования, в процессе которого студент должен продемонстрировать умение пользоваться основными понятиями, законами и моделями общей физики; применять законы общей физики при решении задач общей физики. В процедуру оценивания включается рефлексия, направленная на критическое исследование методов и приемов решения физических задач, процедуры обоснования используемых при этом физических законов и теорий, проверяющие сформированность компетенции ОПК-3, ОПК-4 в соответствии с индикаторами усвоения компетенций ИОПК-3.1, ИОПК-3.2, ИОПК-4.1, ИОПК-4.2, ИОПК-4.3.

ПРИМЕРЫ ЗАДАЧ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Раздел «Механика»

Тема 1. Кинематика.

1. Сформулировать границы применимости Ньютоновской механики.
2. Что такое система отсчёта?
3. В чём состоит модель материальной точки?
4. Что такое радиус-вектор, траектория, путь?

5. Дать определение скорости и ускорения материальной точки. Что такое тангенциальное и нормальное ускорение материальной точки?
6. Дать определение угловой скорости и углового ускорения материальной точки; как они связаны с линейной скоростью и линейным ускорением.

Задача 1.

Радиус-вектор точки А относительно начала координат меняется со временем по закону $\vec{r} = at\vec{i} - bt^2\vec{j}$, где a и b - положительные постоянные; $\vec{i}$ и $\vec{j}$ - орты осей x, y . Найти:

- а) уравнение траектории точки $y(x)$;
- б) зависимость от времени векторов скорости $\vec{v}$, ускорения $\vec{w}$ и модулей этих величин;
- в) зависимость от времени угла α между векторами $\vec{w}$ и $\vec{v}$;
- г) средний вектор скорости за первые t секунд и модуль этого вектора.

Задача 2.

Небольшое тело бросили под углом к горизонту с начальной скоростью $\vec{v}_0$. Пренебрегая сопротивлением воздуха, найти:

- а) перемещение тела как функцию времени $\Delta\vec{r}(t)$;
- б) средний вектор скорости $\langle\vec{v}\rangle$ за первые t секунд и за всё время движения.

Задача 3.

Частица движется в плоскости xy со скоростью $\vec{v} = \alpha\vec{i} + \beta x\vec{j}$, где $\vec{i}$ и $\vec{j}$ - орты осей x и y ; α и β - постоянные. В начальный момент частица находилась в точке $x = y = 0$. Найти:

- а) уравнение траектории частицы $y(x)$;
- б) радиус кривизны траектории в зависимости от x .

Задача 4.

Колесо вращается вокруг неподвижной оси, так, что угол φ его поворота зависит от времени как $\varphi = \beta t^2$, где $\beta = 0.20 \text{ рад}/\text{с}^2$. Найти полное ускорение точки А на ободе колеса в момент $t = 2.5 \text{ с}$, если скорость точки А в этот момент $v = 0.65 \text{ м}/\text{с}$.

Ключи к задачам по теме «Кинематика».

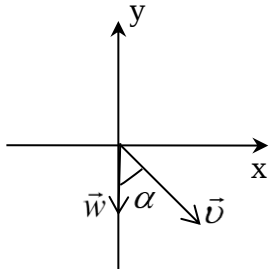
Задача 1.

В декартовом базисе радиус – вектор точки $\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j}$, следовательно, в данном случае

$$x = at \tag{1}$$

$$y = -bt^2,$$

выразив из (1) $t = f(x) = \frac{x}{a}$, получаем уравнение траектории



$$y = -\frac{b}{a^2} x^2.$$

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = a\vec{i} - 2bt\vec{j};$$

$$\vec{w} = \frac{d\vec{v}}{dt} = -2b\vec{j};$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{a^2 + 4b^2 t^2};$$

$$w = \sqrt{w_x^2 + w_y^2} = 2b.$$

Как видно из рисунка:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_x}{v_y} = \frac{a}{2b};$$

$$\langle \vec{v} \rangle = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = a\vec{i} - bt\vec{j}; \quad |\langle \vec{v} \rangle| = \sqrt{a^2 + b^2 t^2}.$$

Задача 2.

Если поместить начало координат в точку, из которой бросили тело, то $\Delta \vec{r}(t) = \vec{r}(t)$.

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j};$$

$$x = \int v_x dt = \int v_{0x} dt = v_{0x} t;$$

$$y = \int v_y dt;$$

$$v_y = \int a_y dt = a_y t + \text{const}.$$

Из начальных условий $t = 0; v_y = v_{0y} \Rightarrow \text{const} = v_{0y};$

$$a_y = -g \Rightarrow v_y = v_{0y} - gt.$$

$$y = \int (v_{0y} - gt) dt = v_{0y} t - \frac{gt^2}{2}.$$

Таким образом

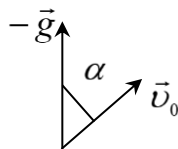
$$\vec{r}(t) = v_{0x} t \vec{i} + v_{0y} t \vec{j} - \frac{gt^2}{2} \vec{j}; \quad \vec{v}_0 = v_{0x} \vec{i} + v_{0y} \vec{j}; \quad \vec{g} = -g \vec{j}.$$

Следовательно

$$\vec{r}(t) = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{g} t^2}{2}.$$

$$\langle \vec{v} \rangle = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{\vec{r}}{t} = \vec{v}_0 + \frac{\vec{g} t}{2}.$$

Полное время движения τ определяется из условия $y = 0$. То есть необходимо решить уравнение:



$$v_{0y}\tau - \frac{g\tau^2}{2} = 0,$$

$$v_{0y} - \frac{g\tau}{2} = 0,$$

$$\tau = \frac{2v_{0y}}{g};$$

v_{0y} –? $v_{0y} = v_0 \cos \alpha$. Как видно из рисунка $\cos \alpha$ может быть выражен через скалярное произведение известных векторов $\vec{v}_0$ и $-\vec{g}$.

$$\cos \alpha = \frac{(-\vec{g} \cdot \vec{v}_0)}{g v_0} \text{ и } \tau = \frac{2(-\vec{g} \cdot \vec{v}_0)}{g^2}$$

$$\langle \vec{v} \rangle = \vec{v}_0 - \vec{g} \frac{(\vec{g} \cdot \vec{v}_0)}{g^2}.$$

$$\tau = \frac{2v_{0y}}{g};$$

v_{0y} –? $v_{0y} = v_0 \cos \alpha$. Как видно из рисунка $\cos \alpha$ может быть выражен через скалярное произведение известных векторов $\vec{v}_0$ и $-\vec{g}$.

$$\cos \alpha = \frac{(-\vec{g} \cdot \vec{v}_0)}{g v_0} \text{ и } \tau = \frac{2(-\vec{g} \cdot \vec{v}_0)}{g^2}$$

$$\langle \vec{v} \rangle = \vec{v}_0 - \vec{g} \frac{(\vec{g} \cdot \vec{v}_0)}{g^2}.$$

Задача 3.

В декартовом базисе

$$\vec{v} = v_x \vec{i} + v_y \vec{j},$$

Следовательно, в данном случае

$$v_x = \alpha, v_y = \beta x.$$

С другой стороны, по определению

$$v_x = \frac{dx}{dt} \Rightarrow \frac{dx}{dt} = \alpha \quad (1)$$

Решая дифференциальное уравнение (1), с учётом начальных условий получаем

$$x = \alpha t \Rightarrow$$

$$t = \frac{x}{\alpha}.$$

$$v_y = \frac{dy}{dt} = \beta x = \alpha \beta t \Rightarrow$$

$$y = \alpha \beta t^2 / 2$$

Таким образом уравнение траектории частицы

$$y = (\beta / 2\alpha) x^2.$$

Радиус кривизны можно найти из определения нормального ускорения частицы:

$$a_n = \frac{v^2}{R} \Rightarrow R = \frac{v^2}{a_n}.$$

$$\begin{aligned}
v^2 &= \alpha^2 + \beta^2 x^2 \\
a_n &= \sqrt{a^2 - a_\tau^2} \\
a^2 &= a_x^2 + a_y^2 = \left(\frac{dv_y}{dt}\right)^2 = \left(\frac{d}{dt}(\alpha\beta t)\right)^2 = \alpha^2 \beta^2 \\
a_\tau &= \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt} \sqrt{\alpha^2 + \alpha^2 \beta^2 t^2} = \frac{1}{2} \frac{2\beta^2 \alpha^2 t}{\sqrt{\alpha^2 + \alpha^2 \beta^2 t^2}} = \frac{\beta^2 \alpha x}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2 x^2}}; \\
a_n &= \sqrt{\alpha^2 \beta^2 - \left(\frac{\beta^2 \alpha x}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2 x^2}}\right)^2} = \frac{\alpha^2 \beta}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2 x^2}}; \\
R &= \frac{\alpha^2 \left[1 + \left(\frac{\beta x}{\alpha}\right)^2\right] \left[1 + \left(\frac{\beta x}{\alpha}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}}{\alpha \beta} = \frac{\alpha}{\beta} \left[1 + \left(\frac{\beta x}{\alpha}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}
\end{aligned}$$

Задача 4.

Выразим полное ускорение точки через его нормальную и тангенциальную составляющие:

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

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

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

$$v = \omega R,$$

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{d}{dt}(\beta t^2) = 2\beta t \Rightarrow$$

$$v = 2R\beta t. \quad (1)$$

$$a_\tau = 2\beta R = \text{const},$$

$$a_n = \frac{(2R\beta t)^2}{R} = 4R\beta^2 t^2 \Rightarrow$$

$$a = \sqrt{4\beta^2 R^2 + (4R\beta^2 t^2)^2} \quad (2).$$

Подставим в (2) значение радиуса в заданный момент времени, воспользовавшись уравнением (1): $R = \frac{v_1}{2\beta t_1}$, получим

$$a_1 = \sqrt{\frac{4\beta^2 v_1^2}{4\beta^2 t_1^2} + \left(\frac{4v_1\beta^2 t_1^2}{2\beta t_1}\right)^2} = \frac{v_1}{t_1} \sqrt{1 + 4\beta^2 t_1^4}.$$

Тема 2. Динамика материальной точки.

1. Первый закон Ньютона и инерциальные системы отсчёта.
2. Импульс материальной точки. Второй закон Ньютона. Сила. Роль начальных условий.
3. Третий закон Ньютона; границы его применимости.

Задача 1.

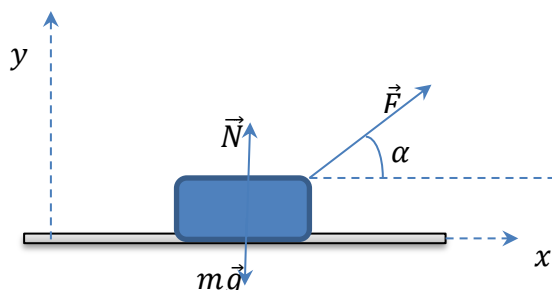
Частица движется вдоль оси x по закону $x = \alpha t^2 - \beta t^3$, где α и β - положительные постоянные. В момент $t = 0$ сила, действующая на частицу равна $\vec{F}_0$. Найти значение F_x силы в точках поворота и в момент, когда частица опять окажется в точке $x = 0$.

Задача 2.

В установке массы тел равны m_0 , m_1 и m_2 , массы блока и нитей пренебрежимо малы и трения в блоке нет. Найти ускорение a , с которым опускается тело m_0 , и силу натяжения нити, связывающей тела m_1 и m_2 , если коэффициент трения равен k .

Задача 3.

Брусек массы m тянут за нить так, что он движется с постоянной скоростью по горизонтальной плоскости с коэффициентом трения k . Найти угол α , при котором



натяжение нити будет минимальным.

Задача 4.

Нить перекинута через лёгкий вращающийся без трения блок. На одном конце нити прикреплен груз массы M , а по другой свисающей части нити скользит муфточка массы m с постоянным ускорением a' относительно нити. Найти силу трения, с которой нить действует на муфточку.

Ключи к задачам по теме «Динамика материальной точки»:

Задача 1.

Согласно второму закону Ньютона:

$$\vec{F} = m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2};$$

$$F_x = m \frac{d^2 x}{dt^2};$$

$$F_x = m(2\alpha - 6\beta t). \quad (1)$$

По условию задачи при $t = 0$ $F_x = F_0$, следовательно, из (1) можно выразить массу частицы: $m = \frac{F_0}{2\alpha}$. В результате получаем зависимость силы, действующей на частицу, от

времени:
$$F_x = \frac{F_0}{2\alpha} (2\alpha - 6\beta t). \quad (2)$$

В точках поворота скорость частицы должна быть равна нулю, то есть

$$\frac{dx}{dt} = 0.$$

Следовательно, $2\alpha t_n - 3\beta t_n^2 = 0$. Отсюда момент поворота $t_n = \frac{2\alpha}{3\beta}$.

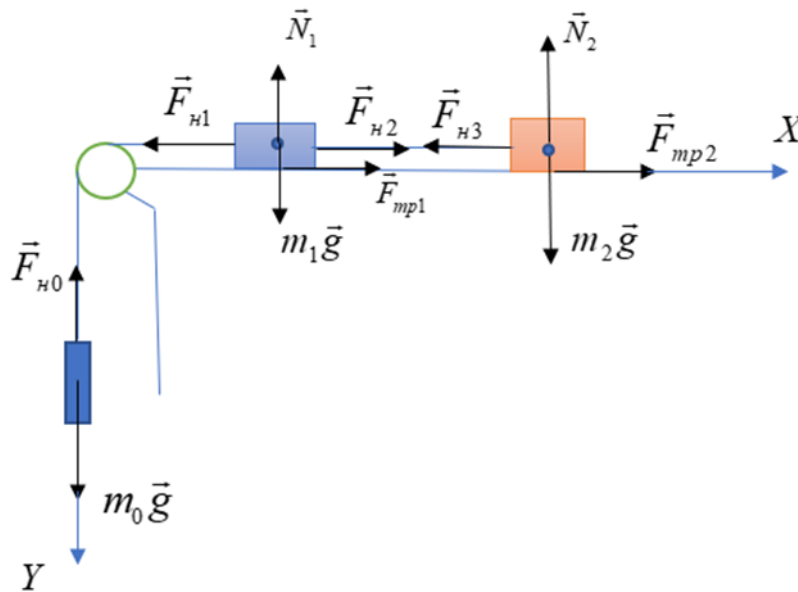
Таким образом сила в момент поворота равна:

$$F_{xn} = \frac{F_0}{2\alpha} (2\alpha - 6\beta \frac{2\alpha}{3\beta}) = -F_0.$$

Условие $x = 0$ выполняется при $t = \frac{\alpha}{\beta}$, следовательно

$$F_{x0} = -2F_0.$$

Задача 2.



Расположим систему координат как показано на рисунке. Каждое тело движется поступательно, поэтому для описания его движения можно воспользоваться уравнением движения для одной материальной точки.

$$\vec{F}_{n0} + m_0 \vec{g} = m_0 \vec{a}_0 \quad (1)$$

$$m_1 \vec{g} + \vec{N}_1 + \vec{F}_{n1} + \vec{F}_{n2} + \vec{F}_{mp1} = m_1 \vec{a}_1 \quad (2)$$

$$m_2 \vec{g} + \vec{N}_2 + \vec{F}_{n3} + \vec{F}_{mp2} = m_2 \vec{a}_2 \quad (3)$$

Спроектируем уравнения (2), (3) на ось X

$$-F_{n1} + F_{n2} + F_{mp1} = -ma_1$$

$$-F_{n3} + F_{mp2} = -ma_2.$$

Спроектируем уравнение (1) на ось Y:

$$m_0 g - F_{n0} = m_0 a_0$$

Для решения полученной системы уравнений учтем условие нерастяжимости нити:

$$x_2 - x_1 = \text{const}$$

$$\ddot{x}_2 = \ddot{x}_1 \Rightarrow a_1 = a_2$$

$$x_1 + y_0 = \text{const}$$

$$|\vec{a}_1| = |\vec{a}_0| \Rightarrow a_1 = a_2 = a_0 = a$$

По условию задачи массы блока и нитей пренебрежимо малы, следовательно, если мы выделим элемент нити массой Δm между телами m_1 и m_2 а также между телами m_1 и m_0 то, согласно второму закону Ньютона, получим

$$F_{n3} - F_{n2} = \Delta m a$$

$$\Delta m \Rightarrow 0$$

$$F_{n3} = F_{n2}$$

$$F_{n0} = F_{n1}.$$

Сила трения скольжения связана с силой нормальной реакции опоры соотношением $F_{mp} = kN$. Так как $N_1 = m_1 g$, $N_2 = m_2 g$, то

$$F_{mp1} = km_1 g, \quad F_{mp2} = km_2 g.$$

В результате имеем систему уравнений:

$$-F_{n1} + F_{n2} + km_1 g = -m_1 a$$

$$-F_{n2} + km_2 g = -m_2 a$$

$$m_0 g - F_{n1} = m_0 a.$$

Из этой системы уравнений следует:

$$F_{n1} = m_0 (g - a)$$

$$-F_{n1} + km_1 g + km_2 g = -a(m_1 + m_2)$$

$$m_0 g - m_0 a - km_1 g - km_2 g = a(m_1 + m_2) \Rightarrow$$

$$a = \frac{(m_0 - km_1 - km_2)g}{m_1 + m_2 + m_0};$$

$$F_{n2} = m_2 a + km_2 g = \frac{(1+k)m_0 m_2}{m_1 + m_2 + m_0} g$$

Задача 3.

Поскольку скорость бруска постоянна, его ускорение равно нулю и следовательно, уравнение движения центра масс бруска имеет вид:

$$\vec{F} + \vec{F}_{\text{тр}} = 0.$$

В проекциях на оси

$$F \cos \alpha - F_{\text{тр}} = 0$$

$$F \sin \alpha + N - mg = 0 \Rightarrow$$

$$N = mg - F \sin \alpha.$$

$$F_{\text{тр}} = kN \Rightarrow$$

$$F \cos \alpha + kF \sin \alpha - kmg = 0 \Rightarrow$$

$$F = \frac{kmg}{\cos \alpha + k \sin \alpha}.$$

Исследуем полученную функцию $F(\alpha)$ на минимум:

$$\frac{d}{d\alpha} \left(\frac{kmg}{\cos \alpha + k \sin \alpha} \right) = 0$$

$$\frac{kmg(k \cos \alpha - \sin \alpha)}{(\cos \alpha + k \sin \alpha)^2} = 0 \Rightarrow$$

$$k \cos \alpha = \sin \alpha \Rightarrow$$

$$\tan \alpha = k; \quad \sin \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + (\cot \alpha)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1/k^2}}; \quad \cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + (\tan \alpha)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + k^2}}$$

$$F_{\min} = \frac{kmg}{\left(\frac{1}{\sqrt{1 + k^2}} + \frac{k^2}{\sqrt{1 + k^2}} \right)} = \frac{kmg}{\sqrt{1 + k^2}}$$

Задача 4.

На тело m со стороны нити действует и действует сила $\vec{F}_{\text{тр}}$ следовательно, согласно третьему закону Ньютона, на нить со стороны тела также действует сила, равная по модулю $F_{\text{тр}}$, но направленная вниз. Со стороны тела M на нить действует сила, равная по модулю силе натяжения T . Таким образом на любой участок нити Δm действуют силы $\vec{F}_{\text{тр}}$ и $\vec{T}$. Запишем для элемента Δm второй закон Ньютона:

$$\Delta m \vec{a} = \vec{T} + \vec{F}_{\text{тр}}$$

Тогда, в приближении невесомости нити ($\Delta m = 0$), $T = F_{\text{тр}}$.

Запишем для рассматриваемых тел уравнения движения центра масс в системе отсчёта, связанной с землёй, в проекции на ось y :

$$-Ma = F_{\text{тр}} - Mg$$

$$m(a - a') = F_{\text{тр}} - mg,$$

в приближении не растяжимости нити, нить, по которой скользит муфточка, движется относительно земли с тем же ускорением a , что и тело M .

$$a = g - \frac{F_{\text{тр}}}{M} \Rightarrow$$

$$m\left(g - \frac{F_{\text{тр}}}{M} - a'\right) = F_{\text{тр}} - mg$$

$$F_{\text{тр}}\left(\frac{m}{M} + 1\right) = 2mg - ma'$$

$$F_{\text{тр}} = \frac{mM(2g - a')}{M + m}.$$

Тема 3. Система материальных точек. Закон сохранения импульса.

1. Сформулировать закон сохранения импульса.
2. Сформулировать принцип относительности Галилея.
3. Дать определение центра масс системы; сформулировать теорему о движении центра масс.

Задача 1.

Две одинаковые тележки движутся друг за другом (без трения) с одной и той же скоростью $\vec{V}_0$. На задней тележке находится человек массы m . В некоторый момент человек прыгнул в переднюю тележку со скоростью $\vec{U}$ относительно своей тележки. Имея ввиду, что масса каждой тележки равна M , найти скорости, с которыми будут двигаться обе тележки после этого.

Задача 2.

Плот массы M с человеком массы m покоится на поверхности пруда. Относительно плота человек совершает перемещение $\vec{l}'$ со скоростью $\vec{V}'(t)$ и останавливается. Пренебрегая сопротивлением воды, найти:

- a) перемещение $\vec{l}$ плота относительно берега;
- b) горизонтальную составляющую силы, с которой человек действовал на плот в процессе движения.

Задача 3.

Частица 1 столкнулась с частицей 2, в результате чего возникла составная частица. Найти её скорость $\vec{V}$ и модуль скорости, если масса у частицы 2 в $\eta = 2.0$ раза больше массы частицы 1, а их скорости перед столкновением соответственно равны: $\vec{V}_1 = 2\vec{i} + 3\vec{j}$; $\vec{V}_2 = 4\vec{i} - 5\vec{j}$, где компоненты скорости даны в системе «СИ».

Задача 4.

Через блок перекинута верёвка, на одном конце которой висит лестница с человеком, на другом – уравновешивающий груз массы M . Человек массы m совершил перемещение $\vec{l}'$ относительно лестницы вверх и остановился. Пренебрегая массами блока и верёвки, а также трением в оси блока, найти перемещение центра масс этой системы.

Ключи к задачам по теме «Система материальных точек. Закон сохранения импульса»:

Задача 1.

Рассмотрим систему тел: «две тележки + человек». Поскольку в горизонтальном направлении внешние силы на систему не действуют, выполняется закон сохранения импульса $\Rightarrow$ суммарный импульс системы в момент времени, когда человек находился на задней тележке, равен импульсу системы в момент времени, когда человек движется уже вместе с передней тележкой:

$$(M + m)\vec{V}_0 + M\vec{V}_0 = M\vec{V}_1 + (M + m)\vec{V}_2, \quad (1)$$

где $\vec{V}_1$ и $\vec{V}_2$ скорости задней и передней тележек после взаимодействия.

Для получения ещё одного уравнения рассмотрим систему тел: «задняя тележка + человек». Суммарный импульс этой системы в момент времени, когда человек находился на задней тележке равен суммарному импульсу в момент времени, когда непосредственно после прыжка, тележка движется со скоростью $\vec{V}_1$, а человек в воздухе движется со скоростью $\vec{U}$ относительно тележки:

$$(M + m)\vec{V}_0 = M\vec{V}_1 + m(\vec{V}_1 + \vec{U}) \quad (2)$$

$$(M + m)\vec{V}_0 - m\vec{U} = (M + m)\vec{V}_1 \Rightarrow$$

$$\vec{V}_1 = \vec{V}_0 - \frac{m}{m + M}\vec{U}$$

Подставим полученное выражение для скорости $\vec{V}_1$ в уравнение (1):

$$(M + m)\vec{V}_0 + M\vec{V}_0 = M\vec{V}_0 - \frac{mM}{m + M}\vec{U} + (M + m)\vec{V}_2 \Rightarrow$$

$$\vec{V}_2 = \vec{V}_0 + \frac{mM}{(M + m)^2}\vec{U}$$

Задача 2.

Поскольку на систему «человек + плот» в горизонтальном направлении не действуют внешние силы, положение центра масс этой системы относительно берега остаётся неизменным: $\vec{r}_c = const$ и $d\vec{r}_c = 0$.

$$\vec{r}_c = \frac{m\vec{r}_q + M\vec{r}_n}{M + m},$$

где $\vec{r}_q$ и $\vec{r}_n$ – радиус-векторы центров масс человека и плота в системе отсчёта, связанной с берегом.

Пусть $\vec{r}'_q$ определяет положение центра масс человека относительно центра масс плота, тогда

$$\begin{aligned} \vec{r}_q &= \vec{r}_n + \vec{r}'_q \Rightarrow \\ \vec{r}_c &= \frac{m(\vec{r}_n + \vec{r}'_q) + M\vec{r}_n}{M + m} \end{aligned}$$

$$\vec{r}_c = \frac{mr'_q + (M + m)\vec{r}_n}{M + m} = const \Rightarrow$$

$$\begin{aligned}\vec{dr}_c &= \frac{m d\vec{r}'_q + (M+m) d\vec{r}_n}{M+m} = 0 \Rightarrow \\ (M+m) \int d\vec{r}_n &= -m \int d\vec{r}'_q \Rightarrow \\ \vec{l} &= -\frac{m}{m+M} \vec{l}'.\end{aligned}$$

Изменение импульса плота относительно берега происходит за счёт действия на него силы в процессе движения человека. Таким образом, искомая сила:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{P}_n}{dt},$$

где $\vec{P}_n$ - импульс плота относительно берега. Следовательно:

$$\begin{aligned}\vec{P}_n &= M \frac{d\vec{l}}{dt} = -\frac{Mm}{m+M} \frac{d\vec{l}'}{dt} = \frac{Mm}{m+M} \vec{V}'(t) \Rightarrow \\ \vec{F} &= -\frac{Mm}{m+M} \frac{d\vec{V}'(t)}{dt}.\end{aligned}$$

Задача 3.

Закон сохранения импульса для абсолютно неупругого удара:

$$\begin{aligned}m(1+\eta)\vec{V} &= m\vec{V}_1 + \eta m\vec{V}_2 \Rightarrow \\ \vec{V} &= \frac{\vec{V}_1 + \eta\vec{V}_2}{1+\eta} = \frac{2\vec{i} + 3\vec{j} + 4\eta\vec{i} - 5\eta\vec{j}}{1+\eta} \\ \vec{V} &= \frac{2\vec{i}(1+2\eta) + \vec{j}(3-5\eta)}{1+\eta} \\ V &= \sqrt{\frac{4(1+2\eta)^2 + (3-5\eta)^2}{(1+\eta)^2}}\end{aligned}$$

Задача 4.

В системе отсчёта, связанной с центром блока, положение центра масс:

$$\vec{r}_c = \frac{M\vec{r}_1 + m\vec{r}_2 + (M-m)\vec{r}_3}{M+m+(M-m)},$$

где $\vec{r}_1, \vec{r}_2$ и $\vec{r}_3$ - радиус-векторы центров масс груза, человека и лестницы соответственно.

$$\begin{aligned}\Delta\vec{r}_c &= \frac{M\Delta\vec{r}_1 + m\Delta\vec{r}_2 + (M-m)\Delta\vec{r}_3}{2M} \\ \Delta\vec{r}_1 &= -\Delta\vec{r}_3 \\ \Delta\vec{r}_2 &= \Delta\vec{r}_3 + \vec{l}' \Rightarrow \\ \Delta\vec{r}_c &= \frac{m}{2M} \vec{l}'.\end{aligned}$$

Под действием какой силы центр масс перемещается? Когда человек начинает двигаться, он действует с дополнительной силой, направленной вниз. В результате натяжение верёвки возрастает и внешняя сила, действующая на систему со стороны подвеса, оказывается больше суммарной силы тяжести. Поэтому результирующая всех внешних сил будет направлена вверх, что и обуславливает перемещение вверх центра масс всей системы.

Тема 4. Работа. Мощность. Кинетическая энергия. Потенциальная энергия.

1. Что такое работа и кинетическая энергия; какова связь между ними?
2. Консервативные силы и потенциальная энергия.
3. Сформулировать закон сохранения полной механической энергии системы.

Задача 1.

Небольшая шайба массы $m = 50\text{г}$, если её положить на шероховатую поверхность полусферы, начинает скользить на высоте $h_1 = 60\text{см}$ от горизонтального основания полусферы. Продолжая скользить, шайба отрывается от полусферы на высоте $h_2 = 25\text{см}$. Найти работу сил трения, действующих на шайбу при её скольжении.

Задача 2.

Небольшому телу массы m , находящемуся на горизонтальной плоскости, сообщили скорость V_0 . Коэффициент трения зависит от пройденного пути S по закону $k = \alpha S$, где $\alpha = \text{const}$. Найти максимальную мгновенную мощность силы трения.

Задача 3.

Потенциальная энергия частицы в некотором поле имеет вид $U = a/r^2 - b/r$, где a и b положительные постоянные, r - расстояние от центра поля. Найти:

- значение r_0 , соответствующее равновесному положению частицы; выяснить устойчиво ли это положение;
- максимальное значение силы притяжения.

Задача 4.

Частица массы m движется по окружности радиуса R с нормальным ускорением, которое меняется со временем по закону $a_n = \alpha t^2$, где $\alpha = \text{const}$. Найти зависимость от времени мощности всех сил, действующих на частицу, а также среднее значение этой мощности за первые t секунд после начала движения.

Ключи к задачам по теме «Работа. Мощность. Кинетическая энергия. Потенциальная энергия»:

Задача 1.

$$A_{\text{тр}} = mg(h_2 - h_1) + \frac{mV_2^2}{2}$$

Запишем уравнение движения центра масс шайбы в проекции на ось R :

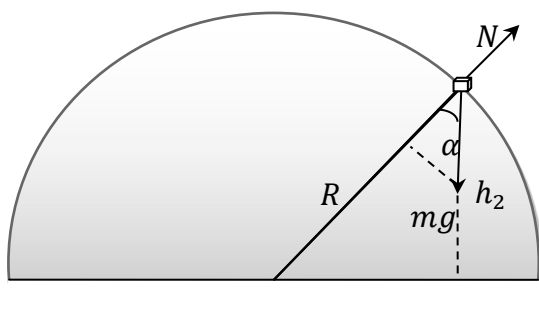
$$mg \cos \alpha - N = ma_n = \frac{mV^2}{R}$$

В момент отрыва шайбы от поверхности полусферы на высоте h_2 сила реакции опоры $N = 0 \Rightarrow$

$$mg \cos \alpha = \frac{V_2^2}{R}$$

Но, как следует из рисунка,

$$\cos \alpha = \frac{h_2}{R}$$



Поэтому:

$$mg \frac{h_2}{R} = \frac{mV_2^2}{R}$$

$$mV_2^2 = mgh_2 \Rightarrow$$

$$A_{\text{тр}} = mg(h_2 - h_1) + mg \frac{h_2}{2}$$

$$A_{\text{тр}} = mg \left(\frac{3}{2} h_2 - h_1 \right).$$

$$A_{\text{тр}} = mg(h_2 - h_1) + \frac{mV_2^2}{2}$$

Запишем уравнение движения центра масс шайбы в проекции на ось R :

$$mg \cos \alpha - N = ma_n = \frac{mV^2}{R}$$

В момент отрыва шайбы от поверхности полусферы на высоте h_2 сила реакции опоры $N = 0 \Rightarrow$

$$mg \cos \alpha = \frac{V_2^2}{R}$$

Но, как следует из рисунка,

$$\cos \alpha = \frac{h_2}{R}$$

Поэтому:

$$mg \frac{h_2}{R} = \frac{mV_2^2}{R}$$

$$mV_2^2 = mgh_2 \Rightarrow$$

$$A_{\text{тр}} = mg(h_2 - h_1) + mg \frac{h_2}{2}$$

$$A_{\text{тр}} = mg \left(\frac{3}{2} h_2 - h_1 \right).$$

Задача 2.

$$N_t = \vec{F}_{\text{тр}} \cdot \vec{V} = -kmg \cdot V$$

$$m \frac{dV}{dt} = -\alpha S mg$$

$$V = \frac{dS}{dt} \rightarrow dt = \frac{dS}{V}$$

$$\int V dV = - \int g \alpha S dS$$

$$\frac{V^2}{2} = -g \alpha \frac{S^2}{2} + C$$

когда $S = 0$, $V = V_0$, следовательно, $C = \frac{V_0^2}{2}$

$$V = \sqrt{V_0^2 - g \alpha S^2}$$

$$N(S) = \alpha S mg \sqrt{V_0^2 - g \alpha S^2}$$

$$\frac{dN}{dS} = 0; \quad \frac{d}{dS} (S^2 V_0^2 - g \alpha S^4) = 0$$

$$\begin{aligned}
2SV_0^2 - 4g\alpha S^3 &= 0 \\
S &= \frac{V_0}{\sqrt{2g\alpha}} \\
N_{max} &= mg\alpha \frac{V_0}{\sqrt{2g\alpha}} \sqrt{V_0^2 - \frac{g\alpha V_0^2}{2g\alpha}} \\
N_{max} &= \frac{mV_0^2}{2} \sqrt{g\alpha}
\end{aligned}$$

Задача 3

$$\begin{aligned}
\frac{dU}{dr} &= -\frac{2a}{r^3} + \frac{b}{r^2} = \frac{1}{r^2} \left(b - \frac{2a}{r} \right) = 0 \Rightarrow r_0 = \frac{2a}{b} \\
\left[\frac{d^2U}{dr^2} \right]_{r=r_0} &= \left[6\frac{a}{r^4} - 2\frac{b}{r^3} \right]_{r=r_0} = \frac{2}{r_0^3} \left(\frac{3ab}{2a} - b \right) > 0 \Rightarrow \\
[U]_{r=r_0} &= U_{min},
\end{aligned}$$

что соответствует положению устойчивого равновесия.

$$\begin{aligned}
F_r &= -\frac{dU}{dr} = \frac{2a}{r^3} - \frac{b}{r^2} \\
\frac{dF}{dr} &= \frac{2a}{r^3} \left(\frac{3a}{r} - b \right) = 0 \Rightarrow r_{l_{max}} = \frac{3a}{b} \\
F_{max} &= \frac{b^2}{9a^2} \left(\frac{2ab}{3a} - 1 \right) = -\frac{b^3}{27a^2}
\end{aligned}$$

Исследуем функции $U(r)$ и $F_r(r)$ для построения графиков:

$$\begin{aligned}
U = \frac{1}{r} \left(\frac{a}{r} - b \right) = 0 &\Rightarrow r_{U=0} = \frac{a}{b}; \quad r_0 = \frac{2a}{b} \Rightarrow U(r_0) = U_{min}; \quad r \rightarrow 0 \quad U \rightarrow \infty. \\
r_{F=0} = \frac{2a}{b}; \quad r \rightarrow 0 \quad F &\rightarrow \infty; \quad r_m = \frac{b^3}{27a^2} \quad F(r_m) = F_{min}.
\end{aligned}$$

Задача 4.

Работа всех действующих в течение какого-то времени на частицу сил, равна приращению её кинетической энергии. В начальный момент времени кинетическая энергия частицы равнялась нулю, поскольку

$$a_n = \alpha t^2 = \frac{V^2}{R} \rightarrow V^2 = R\alpha t^2$$

Следовательно, в любой момент времени приращение кинетической энергии

$$\Delta T = \frac{mV^2}{2}$$

Поэтому:

$$\begin{aligned}
A(t) &= \frac{mV^2}{2} = \frac{mR\alpha t^2}{2} \\
N_t &= \frac{dA}{dt} = mR\alpha t \\
\langle N \rangle &= \frac{A}{\Delta t} = \frac{m\alpha R}{2} t
\end{aligned}$$

Тема 5. Момент силы и момент импульса относительно точки и относительно оси. Момент инерции. Уравнение вращательного движения относительно неподвижной оси.

1. Момент силы и момент импульса относительно неподвижного начала и относительно неподвижной оси. Уравнение моментов.
2. Что такое момент инерции, его физический смысл?
3. Записать уравнение вращательного движения абсолютно твёрдого тела относительно неподвижной оси.
4. Сформулировать закон сохранения момента импульса системы.

Задача 1.

К точке радиус-вектор которой относительно начала координат O равен $\vec{r} = a\vec{i} + b\vec{j}$, приложена сила $\vec{F} = A\vec{i} + B\vec{j}$, где a, b, A, B - постоянные, $\vec{i}, \vec{j}$ - орты осей x и y . Найти момент $\vec{M}$ и плечо l силы $\vec{F}$ относительно точки O .

Задача 2.

Момент импульса частицы относительно точки O меняется со временем по закону $\vec{L} = \vec{a} + \vec{b}t^2$, где $\vec{a}$ и $\vec{b}$ - постоянные векторы, причём вектор $\vec{a}$ перпендикулярен вектору $\vec{b}$. Найти относительно точки O момент силы, действующей на частицу, когда угол α между векторами окажется равным 45 градусам.

Задача 3.

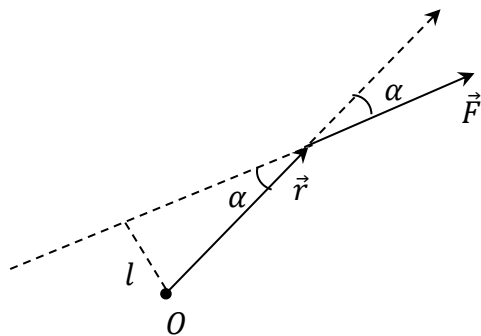
Горизонтальный тонкий однородный стержень AB массы m и длины l может свободно вращаться вокруг вертикальной оси, проходящей через его конец A . В некоторый момент на конец B начала действовать постоянная сила $\vec{F}$, которая всё время перпендикулярна к первоначальному положению покоившегося стержня и направлена в горизонтальной плоскости. Найти угловую скорость стержня как функцию его угла

Задача 4.

Однородный цилиндр радиуса R раскрутили вокруг его оси до угловой скорости ω_0 и затем поместили в угол. Коэффициент трения между стенками угла и цилиндром равен k . Сколько оборотов сделает цилиндр до остановки?

Ключи к задачам по теме «Момент инерции. Уравнение вращательного движения относительно неподвижной оси»:

Задача 1.



$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} = (a\vec{i} + b\vec{j}) \times (A\vec{i} + B\vec{j}) = (aB - bA)\vec{i} \times \vec{j} \Rightarrow$$

$$\vec{M} = (aB - bA)\vec{k}$$

Модуль момента силы можно представить как произведение модуля силы на плечо силы l , которое определяется как кратчайшее расстояние от точки O до линии действия силы. Как следует из рисунка: $l = r \sin \alpha$. С другой стороны, модуль векторного произведения: $M = Fr \sin \alpha$. Таким образом,

$$M = Fl.$$

$$M = aB - bA$$

$$F = \sqrt{A^2 + B^2} \Rightarrow$$

$$l = \frac{aB - bA}{\sqrt{A^2 + B^2}}$$

Задача 2.

$$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt} = 2\vec{b}t$$

$$\vec{M} \cdot \vec{L} = ML \cos \alpha \Rightarrow$$

$$\cos \alpha = \frac{\vec{M} \cdot \vec{L}}{ML}$$

$$\cos 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{2b^2 t_0^3}{\sqrt{a^2 + b^2 t_0^4} \cdot 2bt_0}$$

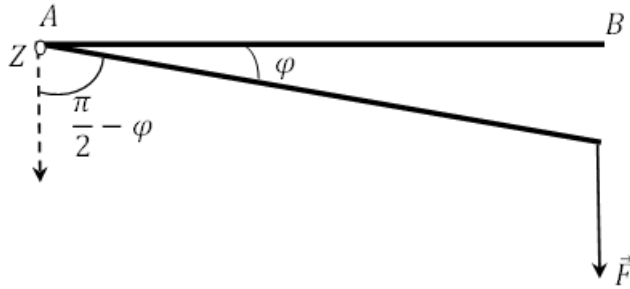
$$4b^2 t_0^4 = 2a^2 + 2b^2 t_0^4 \Rightarrow$$

$$t_0 = \sqrt{\frac{a}{b}}$$

$$\vec{M}(45^\circ) = 2\vec{b} \sqrt{a/b}.$$

Задача 3.

Запишем уравнение вращательного движения стержня относительно оси Z , проходящей через его конец A .



$$I \frac{d\omega}{dt} = M_z$$

$$M_z = lF \sin\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) = lF \cos \varphi$$

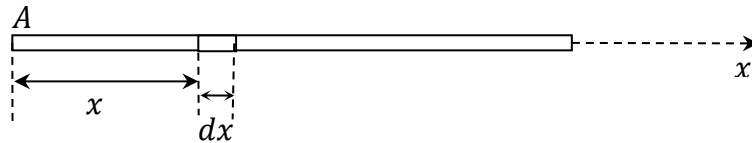
$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \Rightarrow dt = \frac{d\varphi}{\omega}$$

$$I\omega d\omega = lF \cos \varphi d\varphi$$

$$I \int \omega d\omega = lF \int \cos \varphi d\varphi; \quad I \frac{\omega^2}{2} = Fl \sin \varphi + C$$

$$t = 0 \quad F = 0 \Rightarrow \varphi = 0 \text{ и } \omega = 0 \Rightarrow C = 0.$$

Определим момент инерции однородного стержня. Для этого выделим на

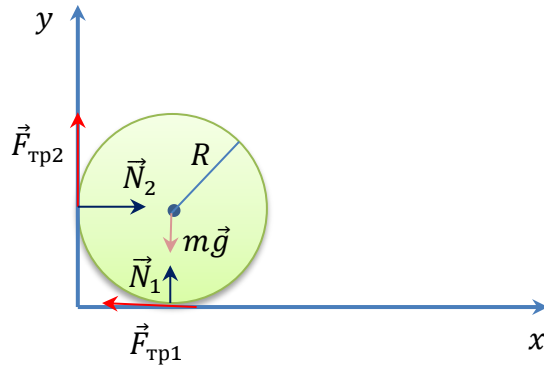


расстоянии x от оси элемент стержня dx , который можно считать материальной точкой массы dm . Тогда:

$$dI = x^2 dm, \quad \text{где } dm = \frac{m}{l} dx \Rightarrow I = \frac{m}{l} \int_0^l x^2 dx = \frac{ml^2}{3}$$

$$\frac{ml^2}{6} \omega^2 = Fl \sin \varphi \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{6F \sin \varphi}{ml}}$$

Задача 4.



Число оборотов цилиндра до его остановки можно определить из условия:

$$n = \frac{\varphi_k}{2\pi},$$

где φ_k – угол, на который повернется цилиндр за период времени от начала движения до остановки.

Предположим, что начальная угловая скорость направлена «к нам». На цилиндр в процессе движения действует момент сил трения, направленный «от нас». Следовательно, уравнение

вращательного движения в проекции на ось, совпадающую по направлению с начальной угловой скоростью, имеет вид:

$$\begin{aligned} I \frac{d\omega}{dt} &= -(F_1 + F_2)R \\ \omega &= \frac{d\varphi}{dt} \Rightarrow dt = \frac{d\varphi}{\omega} \Rightarrow \\ \frac{mR^2}{2} \omega d\omega &= -(F_1 + F_2)R d\varphi \\ \frac{mR}{2} \frac{\omega^2}{2} &= -(F_1 + F_2)\varphi + C; \end{aligned}$$

Начальные условия: $\varphi = 0, \omega = \omega_0 \Rightarrow$

$$C = \frac{mR}{4} \omega_0^2 \Rightarrow \text{поскольку при } \varphi = \varphi_k \omega = 0, \text{ получаем:}$$

$$\varphi_k = \frac{mR}{4(F_1 + F_2)} \omega_0^2$$

Силы трения определим из уравнения движения центра масс системы:

$$m\vec{g} + \vec{N}_1 + \vec{N}_2 + \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0$$

В проекциях на оси координат:

$$\text{ось } x: N_2 - F_1 = 0 \Rightarrow N_2 = F_1$$

$$\text{ось } y: N_1 + F_2 - mg = 0$$

$$F_1 = kN_1 \Rightarrow N_2 = kN_1$$

$$F_2 = kN_2 = k^2 N_1 \Rightarrow$$

$$N_1 + k^2 N_1 - mg = 0$$

$$N_1 = \frac{mg}{k^2 + 1}; \quad N_2 = \frac{kmg}{k^2 + 1} \Rightarrow$$

$$F_1 = \frac{kmg}{k^2 + 1}; \quad F_2 = \frac{k^2 mg}{k^2 + 1}$$

$$\varphi_k = \frac{mR\omega_0^2(k^2 + 1)}{4kmg(k + 1)}$$

$$n = \frac{R\omega_0^2(k^2 + 1)}{8\pi kg(k + 1)}$$

Тема 6. Колебания.

1. Что такое гармонические колебания?
2. Какие колебания называются собственными; чему равна частота собственных колебаний?
3. Записать уравнение движения, решением которого являются затухающие (свободные) колебания; чему равна частота затухающих колебаний?
4. Что такое время затухания (релаксации), коэффициент затухания, логарифмический декремент затухания, добротность колебательной системы; как они связаны между собой?
5. Каким образом гармонические колебания представляются методом векторной диаграммы? Сложение колебаний методом векторной диаграммы.
6. Комплексное представление колебаний.
7. Записать уравнение движения, установившимся решением которого являются вынужденные колебания. Чему равна частота вынужденных колебаний?
8. В чём заключается явление резонанса? Записать выражение для резонансной частоты.

Задача 1.

Частица массы m находится в одномерном силовом поле, где её потенциальная энергия зависит от координаты x как $U(x) = U_0(1 - \cos ax)$, где U_0 и a – постоянные. Найти период малых колебаний частицы около положения равновесия.

Задача 2.

Неподвижное тело, подвешенное на пружине, увеличивает её длину на $\Delta l = 70$ мм. Считая массу пружины пренебрежимо малой, найти период малых вертикальных колебаний тела.

Задача 3.

К невесомой пружине подвесили грузик и она растянулась на $\Delta x = 9.8$ см. С каким периодом будет колебаться грузик, если ему дать небольшой толчок в вертикальном направлении? Логарифмический декремент затухания $\lambda = 3.1$.

Задача 4.

Амплитуды смещения вынужденных гармонических колебаний при частотах $\omega_1 = 400 \text{ с}^{-1}$ и $\omega_2 = 600 \text{ с}^{-1}$ равны между собой. Найти частоту ω , при которой амплитуда смещения максимальна.

Ключи к задачам по теме «Колебания»:

Задача 1.

$$F = -\frac{dU}{dx} = -U_0 a \sin ax$$

Для малых x

$$\sin ax \cong ax \Rightarrow$$

$$F = -U_0 a^2 x$$

Таким образом, можно записать уравнение движения частицы

$$m\ddot{x} = -U_0 a^2 x$$

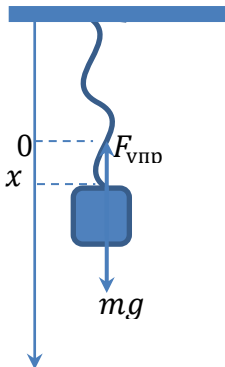
$$\ddot{x} + \frac{U_0 a^2}{m} x = 0 \Rightarrow$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{U_0 a^2}{m}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{U_0 a^2}}.$$

Задача 2.

Пусть x – удлинение пружины относительно нерастянутого состояния, когда $x = 0$.



Запишем уравнение движения центра масс груза под действием силы тяжести и силы упругости пружины:

$$m\ddot{x} = -kx + mg$$

Значение силы тяжести можно определить из условия равновесия:

$$k\Delta l = mg. \quad (1)$$

Таким образом, уравнение движения принимает вид:

$$m\ddot{x} = -kx + k\Delta l = -k(x - \Delta l)$$

Введём новую переменную $X = x - \Delta l$, то есть будем рассматривать движение груза относительно его статического положения, когда сила тяжести уравновешена силой упругости пружины ($X = 0$, когда $x = \Delta l$):

$$m\ddot{X} = -kX$$

$$\ddot{X} + \frac{k}{m} X = 0$$

Мы получили дифференциальное уравнение, решением которого являются гармонические колебания с собственной частотой

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Коэффициент упругости пружины находим из уравнения (1)

$$k = \frac{mg}{\Delta l} \Rightarrow$$

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{\Delta l}} \Rightarrow$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\Delta l}{g}}$$

Задача 3.

$$\begin{aligned}
T &= \frac{2\pi}{\omega} \\
\omega &= \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} \\
k\Delta x &= mg \\
\frac{k}{m} &= \frac{\Delta x}{g} = \omega_0^2 \\
\lambda &= \beta T \Rightarrow \\
\beta &= \frac{\lambda}{T} = \frac{\lambda\omega}{2\pi} \\
\omega^2 &= \omega_0^2 - \left(\frac{\lambda\omega}{2\pi}\right)^2 \\
\omega &= \sqrt{\frac{\omega_0^2}{1 + \left(\frac{\lambda}{2\pi}\right)^2}} \\
T &= \sqrt{(4\pi^2 + \lambda^2) \Delta x / g} = 0.7 \text{ c}
\end{aligned}$$

Задача 4.

Амплитуда вынужденных колебаний изменяется в зависимости от частоты вынуждающей силы по закону:

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

где F_0 – амплитуда вынуждающей силы; m – масса осциллятора; ω_0 – собственная частота колебаний; β – коэффициент затухания.

Амплитуда достигает максимального значения при резонансе, когда частота вынуждающей силы равна резонансной частоте:

$$\omega_{\text{рез}} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2},$$

Выразим коэффициент затухания из условия равенства амплитуд при заданных частотах вынужденных колебаний:

$$\begin{aligned}
\frac{F_0/m}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega_1^2)^2 + 4\beta^2\omega_1^2}} &= \frac{F_0/m}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega_2^2)^2 + 4\beta^2\omega_2^2}}; \\
(\omega_0^2 - \omega_2^2)^2 + 4\beta^2\omega_2^2 &= (\omega_0^2 - \omega_1^2)^2 + 4\beta^2\omega_1^2; \\
-2\omega_0^2\omega_2^2 + \omega_2^4 + 4\beta^2\omega_2^2 &= -2\omega_0^2\omega_1^2 + \omega_1^4 + 4\beta^2\omega_1^2 \Rightarrow \\
\beta^2 &= \frac{\omega_0^2}{2} - \frac{\omega_1^2 + \omega_2^2}{4};
\end{aligned}$$

Подставив выражение для коэффициента затухания в формулу для резонансной частоты, получим:

$$\omega_{\text{рез}} = \sqrt{\frac{\omega_1^2 + \omega_2^2}{2}} = 5.1 \cdot 10^2 \text{ c}^{-1}$$

Тема 7. Волны.

1. Какие процессы называются волновыми? Что такое длина волны, волновая поверхность, фронт волны?
2. Записать уравнения плоской и сферической упругих волн; что такое волновой вектор?
3. Волновое уравнение; границы его применимости.
4. Энергия, переносимая упругой волной; вектор Умова.
5. Стоячие упругие волны; условия их образования.

Задача 1.

Найти волновой вектор $\vec{k}$ и скорость V волны, имеющей вид
$$\xi = a \cos(\omega t - \alpha x - \beta y - \gamma z).$$

Задача 2.

Точечный изотропный источник испускает звуковые колебания с частотой $\mathcal{V}$. На расстоянии r_0 от источника амплитуда смещения частиц среды равна a_0 , а в точке А, находящейся на расстоянии r от источника, амплитуда смещения в η раз меньше a_0 . Найти:

- а) коэффициент затухания волны γ ;
- б) амплитуду колебаний скорости частиц среды в точке А.

Задача 3.

За сколько времени звуковые колебания пройдут расстояние между точками 1 и 2, если температура воздуха между ними меняется линейно от T_1 до T_2 . Скорость звука в воздухе $V = \alpha\sqrt{T}$, где α – постоянная.

Задача 4.

Точечный изотропный источник звука находится на перпендикуляре к плоскости кольца, проходящем через его центр О. Расстояние между точкой О и источником $l = 1.0$ м, радиус кольца $R = 0.5$ м. Найти средний поток энергии через площадь, ограниченную кольцом, если в точке О интенсивность звука $I_0 = 30$ мкВт/м². Затухание волн пренебрежимо мало.

Ключи к задачам по теме «Волны»:

Задача 1.

Уравнение плоской волны

$$\xi = a \cos(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r})$$

По условию задачи уравнение представлено в декартовом базисе. Следовательно:

$$k_x = \alpha; \quad k_y = \beta; \quad k_z = \gamma \Rightarrow$$

$$\vec{k} = \alpha \vec{i} + \beta \vec{j} + \gamma \vec{k}.$$

$$k = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2};$$

$$k = \frac{\omega}{V} \Rightarrow$$

$$V = \frac{\omega}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2}}$$

Задача 2.

Уравнение затухающей сферической волны:

$$\xi = \frac{ae^{-\gamma r}}{r} \sin(\omega t - kr)$$

По условию задачи

$$\begin{aligned} \frac{ae^{-\gamma r_0 r}}{ae^{-\gamma r} r_0} &= \eta \\ \gamma(r - r_0) &= \ln\left(\frac{r_0 \eta}{r}\right) \Rightarrow \\ \gamma &= \frac{\ln\left(\frac{r_0 \eta}{r}\right)}{(r - r_0)} \\ V &= \frac{d\xi}{dt} = \frac{\omega a e^{-\gamma r}}{r} \cos(\omega t - kr) \\ a_0 &= \frac{ae^{-\gamma r_0}}{r_0} \Rightarrow \\ a &= \frac{a_0 r_0}{e^{-\gamma r_0}} \\ V_{max} &= \frac{\omega a_0 r_0 e^{-\gamma r}}{r e^{-\gamma r_0}} = \frac{\omega a_0}{\eta} \end{aligned}$$

$$V_{max} = \frac{2\pi \nu a_0}{\eta}$$

Задача 3.

По условию задачи

$$T = ax + b.$$

Константы a и b находим из граничных условий:

$$x = 0, \quad T = T_1 \Rightarrow b = T_1$$

$$x = l, \quad T = T_2 \Rightarrow a = \frac{T_2 - T_1}{l}$$

Таким образом, получаем уравнение:

$$T = \frac{T_2 - T_1}{l} x + T_1. \quad (1)$$

Продифференцируем уравнение (1) по времени:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{T_2 - T_1}{l} \frac{dx}{dt} = \frac{T_2 - T_1}{l} V = \frac{T_2 - T_1}{l} \alpha \sqrt{T} \quad (2)$$

Решаем уравнение (2) методом разделения переменных:

$$\frac{l}{(T_2 - T_1)\alpha} \int \frac{dT}{\sqrt{T}} = \int dt \Rightarrow$$

$$\frac{l}{(T_2 - T_1)\alpha} 2\sqrt{T} = t + C.$$

Константу находим из начальных условий:

$$t = 0, \quad T = T_1 \Rightarrow$$

$$C = \frac{l}{(T_2 - T_1)\alpha} 2\sqrt{T_1}.$$

Нам необходимо найти момент времени, когда $T = T_2$.

Следовательно, искомое время

$$\tau = \frac{2l}{(T_2 - T_1)\alpha} (\sqrt{T_2} - \sqrt{T_1});$$

$$\tau = \frac{2l}{\alpha(\sqrt{T_2} + \sqrt{T_1})}$$

Задача 4.

Поскольку источник точечный и изотропный, направление вектора Умова $\vec{j}$ в произвольной точке плоскости, ограниченной кольцом, определяется радиусом r .

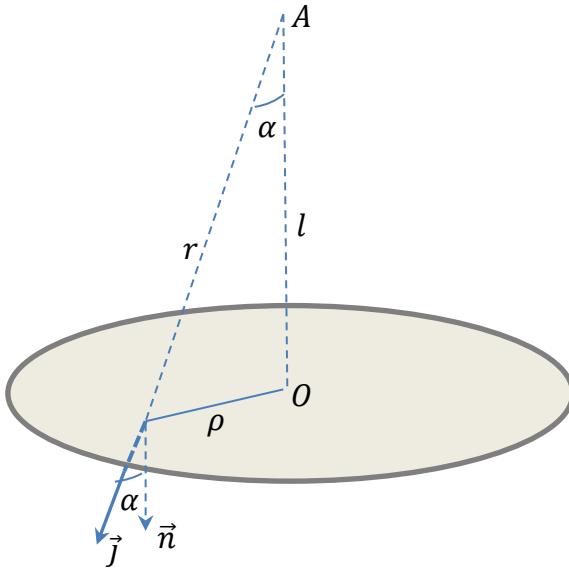
Следовательно, поток вектора Умова через элемент поверхности ds

$$d\Phi = \vec{j} \cdot \vec{ds} = j \cdot ds \cdot \cos \alpha$$

Таким образом, средний поток энергии через площадь, ограниченную кольцом

$$\langle \Phi \rangle = \int_S \langle j \rangle ds \cos \alpha$$

$$\langle j(r) \rangle = I(r)$$



Для изотропного точечного источника поток энергии через сферу любого радиуса, проведённого из точки, в которой находится источник, равен мощности источника, то есть должен быть постоянным.

$$\langle \Phi \rangle = \text{const} \Rightarrow 4\pi l^2 I_0 = 4\pi r^2 I(r).$$

Имея в виду, что $r^2 = l^2 + \rho^2$, получим

$$I(\rho) = \frac{l^2}{l^2 + \rho^2} I_0.$$

$$\cos \alpha = \frac{l}{\sqrt{l^2 + \rho^2}} \Rightarrow$$

$$\langle \Phi \rangle = \int_S I(\rho) ds \cos \alpha$$

$$\langle \Phi \rangle = I_0 l^2 \int_0^R \frac{2\pi \rho d\rho}{l^2 + \rho^2} \cdot \frac{l}{\sqrt{l^2 + \rho^2}}$$

Сделаем замену переменных:

$$l^2 + \rho^2 = z \Rightarrow$$

$$2\rho d\rho = dz \Rightarrow$$

$$\langle \Phi \rangle = I_0 l^2 \pi l \int_{l^2}^{l^2 + R^2} z^{-3/2} dz$$

$$\langle \Phi \rangle = I_0 l^2 2\pi l \left[\frac{1}{l} - \frac{1}{\sqrt{l^2 + R^2}} \right];$$

$$\langle \Phi \rangle = I_0 2\pi l^2 \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + R^2/l^2}} \right] = 20 \text{ мкВт.}$$

Тема 8. Специальная теория относительности.

1. Сформулировать постулаты специальной теории относительности.
2. Записать преобразования Лоренца. В чём состоит лоренцево сокращение длины и эффект замедления времени?
3. Что такое пространство Минковского? Какая физическая величина называется интервалом? Показать, что интервал является инвариантом.
4. Что такое релятивистская масса; релятивистский импульс?
5. Сформулировать закон взаимосвязи массы и энергии. Что такое масса покоя, энергия покоя?
6. Показать, что $E^2 - p^2 c^2$ является инвариантом.

Задача 1.

Собственное время жизни некоторой нестабильной частицы $\Delta t_0 = 10 \text{ нс}$. Какой путь пролетит эта частица до распада в лабораторной системе отсчёта, где её время жизни $\Delta t = 20 \text{ нс}$?

Задача 2.

Стержень движется вдоль линейки с некоторой постоянной скоростью. Если зафиксировать положение обоих концов данного стержня одновременно в системе отсчёта, связанной с линейкой, то разность отсчётов по линейке $\Delta x_1 = 4.0 \text{ м}$. Если же положение обоих концов зафиксировать одновременно в системе отсчёта, связанной со стержнем, то разность отсчётов по этой же линейке $\Delta x_2 = 9.0 \text{ м}$. Найти собственную длину стержня и его скорость относительно линейки.

Задача 3.

Сколько энергии (в расчёте на единицу массы) необходимо затратить, чтобы сообщить первоначально покоящемуся космическому кораблю скорость $V = 0,980c$? Сопротивления нет.

Задача 4.

Фотон с энергией ε испытал рассеяние на свободном электроне. Найти энергию ε' рассеянного фотона, если угол между направлениями движения рассеянного и налетающего фотонов равен θ .

Ключи к задачам по теме «Специальная теория относительности»:

Задача 1.

Предположим, что K' система связана с частицей и движется вместе с ней со скоростью V относительно лабораторной K системы. Тогда

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{C}\right)^2}} \Rightarrow$$

$$1 - \left(\frac{V}{C}\right)^2 = \left(\frac{\Delta t_0}{\Delta t}\right)^2 \Rightarrow$$

$$V = C \sqrt{1 - \left(\frac{\Delta t_0}{\Delta t}\right)^2}.$$

Таким образом, путь l , пройденный частицей в лабораторной системе отсчёта за время Δt

$$l = \Delta t C \sqrt{1 - \left(\frac{\Delta t_0}{\Delta t}\right)^2}.$$

Второй способ основан на инвариантности интервала:

$$S_{12}^2 = C^2 t_{12}^2 - l_{12}^2 = \text{const},$$

где t_{12} – промежуток времени между событиями, а l_{12} – расстояние между точками, в которых произошли события. В данном случае: событие 1 – зарождение частицы; событие 2 – распад частицы.

В K' системе

$$S_{12}'^2 = C^2 (\Delta t_0)^2,$$

а в K системе:

$$S_{12}^2 = C^2 (\Delta t)^2 - l^2 \Rightarrow$$

$$C^2 (\Delta t)^2 - l^2 = C^2 (\Delta t_0)^2$$

$$l = \Delta t C \sqrt{1 - \left(\frac{\Delta t_0}{\Delta t}\right)^2}.$$

Задача 2.

Прежде всего, необходимо определить, что в данном случае является событием и, соответственно, определить координаты и моменты времени, когда оно произошло в той и другой системе отсчёта.

Система отсчёта K связана с линейкой, система отсчёта K' связана со стержнем и движется относительно системы K со скоростью движения стержня V .

Событие 1- конец стержня с координатой x_2' совпадает с меткой на линейке с координатой x_2 . $A_1(x_2, t_1)$; $A_1'(x_2', t_1')$

Событие 2- конец стержня с координатой x_1' совпадает с меткой на линейке с координатой x_1 . $A_2(x_1, t_2)$; $A_2'(x_1', t_2')$

Поскольку в первом случае разность отсчётов $x_2 - x_1 = \Delta x_1$ зафиксирована в один и тот же момент времени ($t_1 = t_2$) удобно воспользоваться преобразованиями Лоренца при переходе из системы K в K' :

$$x_2' = \frac{x_2 - V t_1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}}; \quad x_1' = \frac{x_1 - V t_2}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}} \Rightarrow x_2' - x_1' = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}}$$

Таким образом, для собственной длины стержня получаем:

$$l_0 = \frac{\Delta x_1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}}. \quad (1)$$

Во втором случае, поскольку $t_1' = t_2'$, запишем:

$$x_2 = \frac{x'_2 + Vt'_1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}}; \quad x_1 = \frac{x'_1 + Vt'_2}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}} \Rightarrow x_2 - x_1 = \frac{l_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}} \Rightarrow$$

$$\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}} = \frac{l_0}{\Delta x_2} \quad (2)$$

Подстановка (2) в (1) даёт выражение для собственной длины стержня:

$$l_0 = \sqrt{\Delta x_1 \Delta x_2} = 6,0 \text{ м}$$

Зная l_0 , из уравнения (2) находим скорость движения стержня:

$$V = c \sqrt{1 - \frac{\Delta x_1}{\Delta x_2}} = 2,2 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

Задача 3.

Так как корабль первоначально покоился, ему необходимо сообщить энергию, равную его кинетической энергии с заданной скоростью. При этом масса покоя считается равной единице.

$$T = mc^2 - m_0c^2 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}} c^2 - m_0c^2$$

$$\Delta E = \frac{T}{m_0} = c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}} - 1 \right)$$

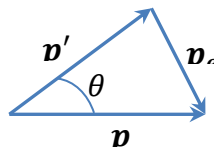
$$\Delta E = 3,3 \cdot 10^{17} \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

Задача 4.

$$\varepsilon + m_{0e}c^2 = (m_{0e}c^2 + T_e) + \varepsilon'$$

$$T_e = \varepsilon - \varepsilon'$$

$$\mathbf{p} = \mathbf{p}_e + \mathbf{p}'$$



Согласно теореме косинусов:

$$p_e^2 = p^2 + p'^2 - 2pp' \cos \theta$$

$$p_e = \sqrt{T_e(T_e + 2m_{0e}c^2)} = \sqrt{(\varepsilon - \varepsilon')(\varepsilon - \varepsilon' + 2m_{0e}c^2)}$$

Поскольку скорость фотона $V = c$

$$p = \frac{\varepsilon}{c^2} c \Rightarrow$$

$$p = \frac{\varepsilon}{c}$$

$$p' = \frac{\varepsilon'}{c}$$

Таким образом:

$$(\varepsilon - \varepsilon')(\varepsilon - \varepsilon' + 2m_{0e}c^2) = \left(\frac{\varepsilon}{c}\right)^2 + \left(\frac{\varepsilon'}{c}\right)^2 - 2\frac{\varepsilon\varepsilon'}{c^2}\cos\theta$$

$$\varepsilon' = \frac{\varepsilon}{1 + 2(\varepsilon/m_{0e}c^2)(\sin\theta/2)^2}$$

Раздел «Электричество и магнетизм»

Примеры контрольных вопросов для раздела «Электричество и магнетизм»:

1. Взаимодействие каких зарядов описывает закон Кулона?
2. Какой заряд называется точечным?
3. Каков физический смысл напряженности электростатического поля?
4. Как рассчитать напряженность поля заданного распределения зарядов?
5. Где начинаются и кончаются силовые линии вектора напряженности электрического поля?
6. Для каких систем зарядов удобно применять теорему Гаусса?
7. Каков физический смысл потенциала электростатического поля и разности потенциалов?
8. Как рассчитать потенциал поля заданного распределения электрических зарядов?
9. Как ориентированы линии напряженности электрического поля относительно эквипотенциальных поверхностей?
10. В чем заключается консервативность электростатических сил?
11. Какая система зарядов называется электрическим диполем?
12. Как определяется вектор электрического дипольного момента и куда он направлен?
13. Как зависят от расстояния напряженности электрического поля, создаваемые точечным зарядом и диполем?
14. Как ведет себя диполь в неоднородном электрическом поле?
15. Опишите качественно характер распределения заряда по поверхности заряженного проводника.
16. Зависит ли емкость проводника от присутствия других тел?
17. Почему емкость конденсатора не зависит от присутствия других тел?
18. Как изменится напряженность поля между обкладками плоского конденсатора, если заряд одной из обкладок увеличить в два раза?
19. Если незаряженный проводник поместить во внешнее электростатическое поле, то как изменится энергия этого поля?

20. Чему равно напряжение на зажимах разомкнутого и замкнутого на внешнюю цепь источника э.д.с.?
21. Какой смысл имеет отрицательное значение контурного тока?
22. Ток протекает по железной проволоке, которая при этом слегка накаливается. Если часть проволоки охлаждать, погрузив ее в воду, другая часть проволоки раскаляется сильнее. Почему?
23. Как рассчитать индукцию магнитного поля заданного распределения токов?
24. Чему равен поток вектора индукции магнитного поля через замкнутую поверхность?
25. Какую величину называют магнитным моментом замкнутого тока?
26. Возникает ли индукционный ток при поступательном движении контура в однородном магнитном поле?
27. Чем отличается вихревое поле от электростатического?
28. Что является источником электрических полей? Магнитных полей?
29. Диэлектрический равномерно заряженный диск находится в постоянном однородном магнитном поле, направленном нормально к поверхности диска. Внезапно поле исчезает. Что произойдет с диском?
30. Гибкая треугольная рамка с током помещена в магнитное поле. Изменится ли форма рамки?

Ключи для контрольных вопросов для раздела «Электричество и магнетизм»:

1. Закон Кулона описывает взаимодействие между точечными электрическими зарядами.
2. Точечный заряд - это материальная точка, обладающая зарядом. Материальная точка – это объект, размерами которого в условиях данной задачи можно пренебречь по сравнению с другими телами.
3. Напряженность электростатического поля показывает силу, действующую на единичный положительный заряд в данной точке поля.
4. Для расчета напряженности поля заданного распределения зарядов используют закон Кулона для определения вклада в общую напряжённость от каждого точечного заряда и принцип суперпозиции для определения итогового поля.
5. Линии напряженности начинаются на положительных зарядах и заканчиваются на отрицательных зарядах, либо на бесконечности, если таких нет.
6. Теорема Гаусса удобна для систем зарядов, обладающих некоторой степенью симметрии, таких как сферические, цилиндрические или плоские распределения зарядов.
7. Потенциал электростатического поля показывает работу, необходимую для перемещения единичного положительного заряда из бесконечности до данной точки поля. Разность потенциалов - это разница потенциалов между двумя точками поля.
8. Для расчета потенциала поля заданного распределения электрических зарядов используют принцип суперпозиции для электростатического поля. Согласно ему, потенциал в точке – есть алгебраическая сумма потенциалов, создаваемых точечными зарядами, составляющими систему зарядов.
9. Линии напряженности электрического поля ориентированы перпендикулярно к эквипотенциальным поверхностям.
10. Консервативность электростатических сил заключается в том, что работа, совершаемая электростатическим полем при перемещении заряда, не зависит от пути, по которому происходит перемещение.
11. Электрический диполь - это система из двух равных по величине, но противоположно заряженных точечных зарядов, разделенных на некотором расстоянии.

12. Вектор электрического дипольного момента обозначается как p , равен произведению положительного заряда диполя на вектор, соединяющий отрицательный и положительный заряды, и направлен от отрицательного заряда к положительному.
13. Напряженность поля, создаваемая точечным зарядом, убывает обратно пропорционально второй степени расстояния от заряда, а в случае диполя она убывает обратно пропорционально кубу расстояния.
14. Диполь в неоднородном электрическом поле будет подвержен вращательному моменту и силе, стремящейся развернуть его так, чтобы его момент совпадал с направлением поля. Если поле неоднородно так, что силы, действующие на разноимённые заряды не равны, то центр массы диполя будет двигаться с ускорением.
15. Заряд по поверхности заряженного проводника распределяется так, чтобы потенциал поверхности проводника всюду был одинаковым. В случае наличия симметрий у проводника, заряд будет распределён равномерно в соответствии с этими симметриями.
16. Если проводник не уединен, то потенциал, который он приобретает при сообщении ему определенного заряда, зависит от формы и присутствия других проводников. Это происходит благодаря явлению электростатической индукции – перераспределения зарядов под действием внешнего электрического поля.
17. Емкость конденсатора не зависит от присутствия других тел из-за того, что электрическое поле отлично от нуля только внутри конденсатора.
18. Если увеличить заряд одной из обкладок плоского конденсатора в два раза, то напряженность поля между обкладками увеличится в полтора раза.
19. Энергия внешнего электростатического поля при помещении незаряженного проводника в это поле уменьшится из-за возникновения поляризации проводника. Величина изменения энергии равна энергии электрического поля, заключённого внутри области, куда помещается проводник.
20. Напряжение на зажимах разомкнутого источника э.д.с. равно величине э.д.с. этого источника. Напряжение на зажимах замкнутого на внешнюю цепь источника равно величине э.д.с. источника за вычетом падения напряжения на внутреннем сопротивлении источника.
21. Отрицательное значение контурного тока указывает на то, что направление тока в контуре противоположно выбранному направлению.
22. Если часть проволоки охлаждать, погрузив ее в воду, то сопротивление этой части проволоки, а вместе с ней и сопротивление всей проволоки будет уменьшаться. Ток в цепи будет расти, а это приведёт к росту выделяемой на другой часть проволоки мощности, что приведёт к росту её температуры.
23. Индукцию магнитного поля заданного распределения токов можно рассчитать с помощью закона Био-Савара для расчёта величины индукции магнитных полей от каждого тока в отдельности, и принципа суперпозиции для определения результирующей индукции поля.
24. Поток вектора индукции магнитного поля через замкнутую поверхность равен нулю в случае отсутствия магнитных монополей.
25. Магнитным моментом замкнутого тока называется векторная величина, характеризующая магнитные свойства контура с током. Для плоского контура с током она определяется как произведения силы тока на ориентированную площадь витка.
26. Индукционный ток не возникает при поступательном движении контура в однородном магнитном поле.
27. Индукционное поле отличается от электростатического тем, что оно создается изменением магнитного поля, а не самим наличием электрических зарядов..
28. Источниками электрических полей являются заряды, а источниками магнитных полей – движущиеся заряды и магнитные моменты элементарных частиц.
29. Если заряженный диск находится в постоянном однородном магнитном поле, и оно вдруг исчезает, то диск закрутится за счёт возникающего индукционного тока.

30. За счёт сил Ампера, рамка с током примет форму круга, перпендикулярного вектору индуктивности магнитного поля.

Примеры задач для раздела «Электричество и магнетизм»:

1. Три одинаковых положительных заряда $Q_1 = Q_2 = Q_3 = 1 \text{ нКл}$ расположены по вершинам равностороннего треугольника (рисунок 1.1). Какой отрицательный заряд Q_4 нужно поместить в центре треугольника, чтобы сила притяжения с его стороны уравнивала силы взаимного отталкивания зарядов, находящихся в вершинах?

Решение

Все три заряда, расположенные по вершинам треугольника, находятся в одинаковых условиях. Поэтому для решения задачи достаточно выяснить, какой заряд следует поместить в центре треугольника, чтобы один из трех зарядов, например Q_1 , находился в равновесии.

В соответствии с принципом суперпозиции на заряд действует каждый заряд независимо от остальных. Поэтому заряд Q_1 будет находиться в равновесии, если векторная сумма действующих на него сил равна нулю:

$$F_2 + F_3 + F_4 = F + F_4 = 0,$$

где F_2, F_3, F_4 – силы, с которыми соответственно действуют на заряд Q_1 заряды Q_2, Q_3 и Q_4 ; F – равнодействующая сил F_2 и F_3 .

Так как силы F и F_4 направлены по одной прямой, то векторное равенство можно заменить скалярной суммой:

$$F - F_4 = 0, \text{ или } F = F_4.$$

Выразив в последнем равенстве $F = F_4$ через F_2 и F_3 и учитывая, что $F_2 = F_3$, получим $F_4 = F_2 \sqrt{2(1 + \cos \alpha)}$.

Применяя закон Кулона, и имея в виду, что $Q_2 = Q_3 = Q_4$, найдем

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{Q_1 \times Q_4}{\epsilon r_1^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{Q_1^2}{\epsilon r^2} \times \sqrt{2(1 + \cos \alpha)}, \quad Q_4 = \frac{Q_1 r_1^2}{\frac{r}{2}} \times \sqrt{2(1 + \cos \alpha)}.$$

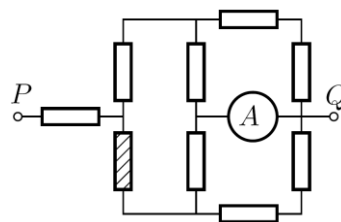
Из геометрических построений в равностороннем треугольнике следует, что

$$r_1 = \frac{\frac{r}{2}}{\cos 30^\circ} = \frac{r}{2 \cos 30^\circ} = \frac{r}{\sqrt{3}}, \quad \cos \alpha = \cos 60^\circ = \frac{1}{2}. \quad \text{С учетом этого формула примет вид}$$

$Q_4 = Q_1 \sqrt{3}$. Подставив значение Q_1 , получим $Q_4 = 0,58 \text{ нКл}$.

Равновесие системы зарядов будет неустойчивым.

2. В электрической цепи, указанной на рисунке амперметр А показывает $I_1 = 32 \text{ мА}$. Сопротивление всех резисторов одинаково и равно R . Вычислите силу тока I_x , который будет протекать через амперметр, если перегорит резистор, заштрихованный на схеме. Напряжение, подаваемое на разъёмы P и Q цепи, постоянно.



Решение

Пусть ток течёт от узла P к узлу Q . Укажем на схеме направление тока и силу тока в соответствующих участках цепи (рис. 1). С учетом симметрии схемы (относительно пунктирной линии) её можно упростить, «сложив» верхнюю и нижнюю части (рис. 2). Приведём последнюю схему к более удобному виду (рис. 3). Сила тока I_2 в нижней ветви в два раза меньше, чем I_1 . Следовательно, сила тока, втекающего в цепь, $I_0 = 3I_1/2$. Сопротивление всей цепи

$$R_0 = \frac{3}{2}R + \frac{1}{3}R = \frac{11}{6}R,$$

а напряжение между узлами P и Q равно

$$U = I_0 R_0 = \frac{3}{2}I_1 \cdot \frac{11}{6}R = \frac{11}{4}I_1 R.$$

Если перегорит резистор, заштрихованный на схеме, ток через нижнюю часть цепи течь не будет. В этом случае эквивалентная схема цепи может быть представлена в виде (рис. 4). Теперь сопротивление всей цепи

$$R'_0 = 2R + \frac{2}{3}R = \frac{8}{3}R,$$

а сила тока

$$I'_0 = \frac{U}{R'_0} = \frac{11}{4}I_1 R \cdot \frac{3}{8R} = \frac{33}{32}I_1.$$

Сила тока, протекающего через амперметр и последовательно соединённый с ним резистор R , вдвое больше, чем через верхний участок цепи с сопротивлением $2R$ (при параллельном соединении силы токов обратно пропорциональны сопротивлению резисторов). Следовательно,

$$I_x = \frac{2}{3}I'_0 = \frac{22}{32}I_1 = 22 \text{ мА}.$$

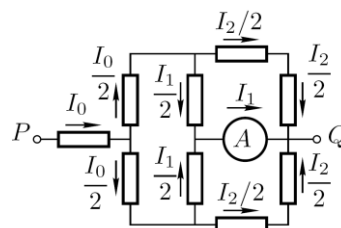


Рис. 1

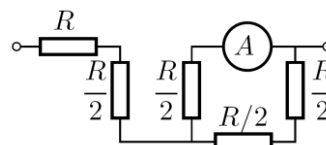


Рис. 2

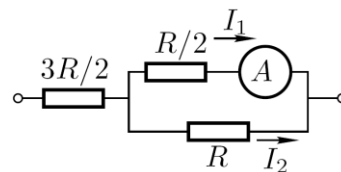


Рис. 3

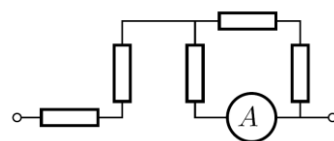


Рис. 4

3. Пространство между двумя коаксиальными металлическими цилиндрами заполнено водой, находящейся при температуре $t_0 = 20^\circ\text{C}$ (рис. 5). Расстояние между цилиндрами равно 1 мм и значительно меньше их радиусов. Цилиндры подключают к источнику постоянного напряжения $U = 42 \text{ В}$. Через какое время вода между цилиндрами закипит?

Теплоёмкостью цилиндров и потерями теплоты пренебречь. Атмосферное давление нормальное. Плотность воды $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, удельная теплоёмкость воды $c = 4200 \text{ Дж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$, удельное электрическое сопротивление воды $r = 3200 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Решение

Электрическое сопротивление слоя воды можно рассчитать по формуле

$$R = r \frac{d}{S} = r \frac{d}{lh}, \quad (1)$$

где d – расстояние между цилиндрами, S – площадь поверхности контакта, l – длина окружности цилиндров, h – высота цилиндров. Согласно закону Джоуля-Ленца количество теплоты, выделившейся при прохождении электрического тока, равно

$$Q = \frac{U^2}{R} t = \frac{U^2 lh}{rd} t, \quad (2)$$

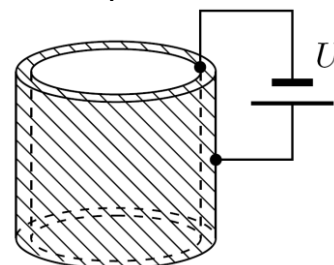


Рис. 5

где τ – время прохождения тока. Этого количества теплоты должно хватить для нагревания воды:

$$Q = mcDt = crlhdDt.$$

Приравнявая выражения (1) и (2), находим время нагревания

$$t = \frac{crrd^2Dt}{U^2} \gg 609 \text{ с.} \gg 10 \text{ мин.}$$

4. Конденсатор ёмкостью $c_1 = 3 \text{ мкФ}$ был заряжен до разности потенциалов $U_1 = 40 \text{ В}$. После отключения от источника тока конденсатор был соединен параллельно с другим незаряженным конденсатором ёмкостью $c_2 = 5 \text{ мкФ}$. Определить энергию ΔW , израсходованную на образование искры в момент присоединения второго конденсатора.

Решение

Энергия, израсходованная на образование искры, равна

$$\Delta W = W_1 - W_2, \quad (1)$$

где W_1 – энергия, которой обладал первый конденсатор до присоединения к нему второго конденсатора;

W_2 – энергия, которую имеет батарея, составленная из первого и второго конденсаторов.

Подставив в равенство (1) формулу энергии заряженного конденсатора $W = \frac{cU^2}{2}$ и приняв

во внимание, что общая ёмкость параллельно соединенных конденсаторов равна сумме ёмкостей отдельных конденсаторов, получим:

$$\Delta W = \frac{c_1 U_1^2}{2} - \frac{(c_1 + c_2) U_2^2}{2}, \quad (2)$$

где c_1 и c_2 – ёмкости первого и второго конденсаторов;

U_1 – напряжение, которое имел первый конденсатор;

U_2 – напряжение на зажимах батареи конденсаторов.

Учитывая, что заряд после присоединения второго конденсатора остался прежним, выразим разность потенциалов U_2 следующим образом:

$$U_2 = \frac{Q}{c_1 + c_2} = \frac{c_1 U_1}{c_1 + c_2}.$$

Подставив полученное выражение U_2 в формулу (2), получим:

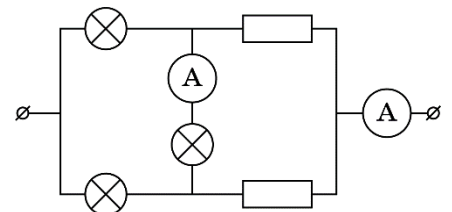
$$\Delta W = \frac{c_1 U_1^2}{2} - \frac{(c_1 + c_2) c_1^2 U_1^2}{2(c_1 + c_2)^2} = \frac{c_1 c_2}{2(c_1 + c_2)} U_1^2.$$

Произведя вычисления, получим $\Delta W = 1,5 \text{ мДж}$.

5. Цепь изображённая на схеме состоит из трёх одинаковых нелинейных элементов, двух резисторов и двух идеальных амперметров. Сила тока через нелинейный элемент пропорциональна квадратному корню из напряжения на нём. $I = a\sqrt{U}$

Известно, что один из амперметров показывает ток I_x , а другой I_y , причём $I_x > I_y$.

Определите силу тока в каждом из элементов схемы.



Решение

Из двух заданных токов наибольший (I_x) является общим током цепи, так как это наибольший из возможных токов в данной схеме, а I_y - током в нелинейном элементе. Расставим токи в цепи.

Из ВАХ нелинейного элемента следует, что

$$U = \frac{I^2}{a^2}$$

Напряжение на L_1 равно $U_{L1} = \frac{I_1^2}{a^2}$. С другой стороны,

это напряжение равно сумме напряжений на L_2 и L_3 : $U_{L1} = U_{L2} + U_{L3} = \frac{I_2^2}{a^2} + \frac{I_y^2}{a^2}$.

Дополним систему условием на сумму токов I_1 и I_2 :

$$\begin{cases} \frac{I_1^2}{a^2} = \frac{I_2^2}{a^2} + \frac{I_y^2}{a^2} \\ I_1 + I_2 = I_x \end{cases}$$

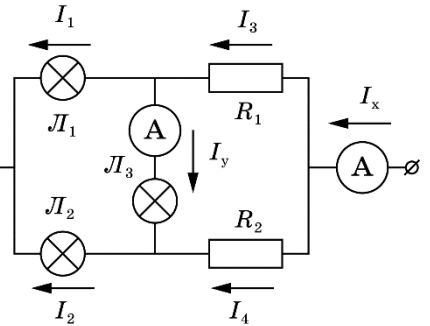
$$I_1 = \frac{I_x^2 + I_y^2}{2I_x}$$

Решая систему получаем выражения для I_1 и I_2 :

$$I_2 = \frac{I_x^2 - I_y^2}{2I_x}$$

Токи I_3 и I_4 найдём из условия разветвления токов в узлах:

$$\begin{cases} I_3 = I_1 + I_y \\ I_2 = I_4 + I_y \end{cases}, \text{ откуда } \begin{cases} I_3 = \frac{(I_x - I_y)^2}{2I_x} \\ I_4 = \frac{(I_x + I_y)^2}{2I_x} \end{cases}$$

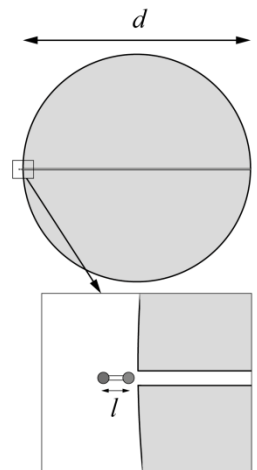


6. В большом однородном непроводящем шаре вдоль диаметра d просверлен узкий канал. Шар равномерно заряжен по объёму с объёмной плотностью заряда $\rho > 0$ и закреплён. Вещество шара не поляризуется.

Ко входу в канал подносят диполь, образованный двумя заряженными шариками одинаковой массы, закреплёнными на концах лёгкого жёсткого непроводящего стержня, и отпускают. Через время t_d он оказывается на противоположном конце канала. Когда тоже самое проделывают с одним из шариков, он пролетает канал за время $t_{ш}$.

Определите плечо диполя l , считая, что $l \ll d$.

Укажите знак ближнего к шару заряда диполя в момент старта в первом случае и знак заряда шарика во втором. Диаметр шариков практически равен диаметру канала.



Решение.

Напряжённость внутри однородно заряженного шара можно найти из теоремы Гаусса:

$$E(x) = \frac{\rho}{3\epsilon_0} x, \text{ где } \rho - \text{объёмная плотность заряда шара, } x - \text{расстояние до центра шара.}$$

На диполь в электрическом поле действует равнодействующая двух кулоновских сил. Для втягивания диполя в шар нужно расположить его таким образом, чтобы ближний к центру

шара заряд был положительным, так как поле ближе к центру слабее, а нам надо добиться превосходства силы притяжения над силой отталкивания.

$$F_d = F_+ - F_- = q(E(x+l) - E(x)) = \frac{ql\rho}{3\varepsilon_0} = \text{const},$$

где q – заряд диполя (модуль заряда каждого из шариков).

Таким образом, диполь будет разгоняться с постоянным ускорением a_d до вылета из шара.

$$\begin{cases} d = \frac{a_d t_d^2}{2}, \\ a_d = \frac{ql\rho}{6m\varepsilon_0}, \end{cases}$$

где m – масса одного из шариков диполя.

$$t_d = \sqrt{\frac{3m\varepsilon_0}{q\rho}} \sqrt{\frac{4d}{l}}.$$

Рассмотрим движение одного шарика. Если заряд шарика по знаку совпадает с зарядом большого шара, то в канал его не втянет, значит в условии речь идёт о шарике с противоположным (отрицательным) зарядом.

Второй закон Ньютона запишется в виде:

$$ma = qE(x),$$

$$m\ddot{x} = -\frac{q\rho}{3\varepsilon_0} x.$$

Это уравнение гармонических колебаний с периодом

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{3m\varepsilon_0}{q\rho}}.$$

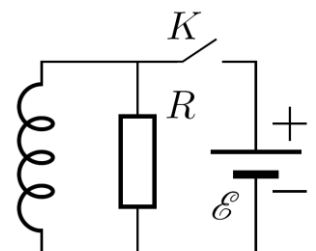
До противоположного конца канала шарик долетит за время

$$t_{\text{ш}} = \frac{T}{2} = \pi \sqrt{\frac{3m\varepsilon_0}{q\rho}}.$$

Используя выражения для $t_{\text{ш}}$ и t_d , получаем ответ:

$$l = d \left(\frac{2 t_{\text{ш}}}{\pi t_d} \right)^2.$$

7. В электрической цепи (рис) ключ K замкнули на некоторое время τ , а потом разомкнули. За время после размыкания ключа через катушку индуктивности протёк заряд $q_2 = 9$ мкКл. Какой заряд q_1 протёк через резистор R за время, пока ключ был замкнут? Вычислите продолжительность времени τ , на которое замкнули ключ K . Сопротивление резистора $R = 500$ кОм, ЭДС батарейки $U = 9$ В. Внутренним сопротивлением батарейки и сопротивлением катушки индуктивности пренебречь.



Решение

После замыкания ключа в катушке индуктивности возникнет ЭДС индукции, равная $LdI/dt = U$. Следовательно, $LdI = Udt$. Так как все элементы цепи можно считать идеальными, а в момент замыкания ключа ток по цепи не протекал, можно записать $L(I_K - 0) = U\tau$. Отсюда

$$I_K = \frac{U}{L} \tau. \quad (5)$$

За время τ через резистор протечёт заряд

$$q_1 = I_R \tau = \frac{U}{R} \tau. \quad (6)$$

После размыкания ключа сила тока в цепи будет изменяться по закону $LdI/dt = IR$, то есть $LdI = RI dt = R dq$. За время переходного процесса сила тока в цепи упадёт от I_K до 0, а через резистор протечёт заряд

$$q_2 = \frac{LI_K}{R}. \quad (7)$$

Из уравнений (5) и (7) следует:

$$\tau = \frac{q_2 R}{U} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ с.}$$

Подставив найденное время τ в уравнение (6), получим:

$$q_1 = I_R \tau = \frac{U}{R} \frac{q_2 R}{U} = q_2 = 9 \text{ мкКл.}$$

Примеры контрольных вопросов и задач для самостоятельного решения для раздела «Оптика»

Тема «Интерференция света».

4. Какие источники света называются когерентными?
5. В чем состоит явление интерференции света?
6. Условия максимумов и минимумов интерференционной картины.
7. Объясните происхождение цветов тонких пленок.
8. В чем заключается суть двухлучевой интерференции?
9. В чем заключается суть многолучевой интерференции?

Задача 1.

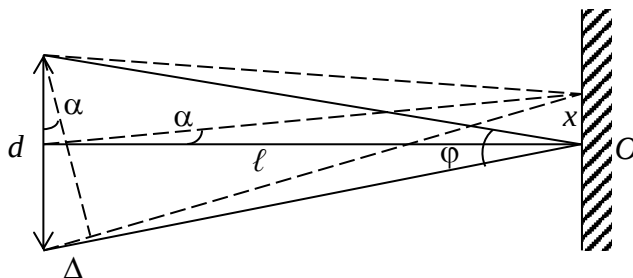
Две когерентные плоские волны, угол между направлениями распространения которых $\varphi \ll 1$, падают почти нормально на экран. Амплитуды волн одинаковы. Показать, что расстояние между соседними максимумами на экране $\Delta x = \lambda / \varphi$, где λ - длина волны.

Задача 2.

Плоская монохроматическая световая волна длины λ падает на поверхность стеклянного клина, угол между гранями которого $\alpha \ll 1$. Плоскость падения перпендикулярна к ребру клина, угол падения θ_1 . Найти расстояние между соседними максимумами интерференционных полос на экране, расположенном перпендикулярно к отражённому свету.

Ключи к задачам по теме «Интерференция света»:

Задача 1.



Пусть точка O – центр интерференционной картины. При смещении на x вдоль экрана между лучами появляется разность хода Δ . Из рисунка видно, что $\Delta = d\alpha$, а разность фаз $\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta = \frac{2\pi}{\lambda} d\alpha$.

Условие максимума $\frac{2\pi}{\lambda} d\alpha = 2\pi k$.

Пусть α_1 – угол на k – й максимум, α_2 – угол на $k + 1$ максимум, тогда

$$\frac{2\pi}{\lambda} d(\alpha_2 - \alpha_1) = 2\pi.$$

$$\Delta\alpha = (\alpha_2 - \alpha_1) = \frac{\lambda}{d}.$$

Положение максимумов на экране при этом задается x

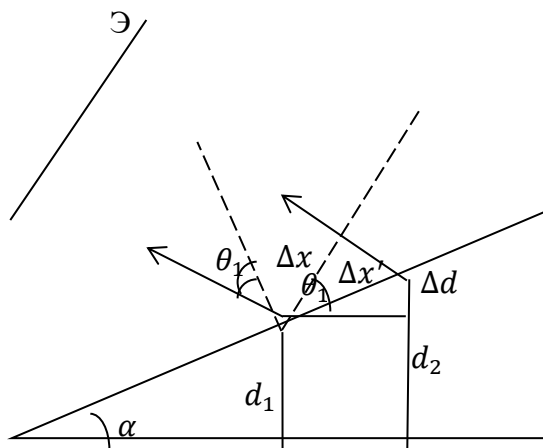
Для α_1 : $x_1 = l\alpha_1$

Для α_2 : $x_2 = l\alpha_2$

Отсюда следует $\Delta x = l\Delta\alpha$. Тогда $\Delta x = l \frac{\lambda}{d}$; где $\frac{d}{l} = \varphi$.

Значит, $\Delta x = \frac{\lambda}{\varphi}$.

Задача 2.



$$\Delta x = \Delta x' \cos \theta_1;$$

$$\Delta x' = \frac{\Delta d}{\sin \alpha'},$$

$$\text{где } \Delta d = d_2 - d_1.$$

$$2d_1 \sqrt{n^2 - (\sin \theta_1)^2} = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}$$

$$2d_2 \sqrt{n^2 - (\sin \theta_1)^2} = (2(m + 1) + 1) \frac{\lambda}{2} \Rightarrow$$

$$d_2 - d_1 = \frac{\lambda}{2 \sqrt{n^2 - (\sin \theta_1)^2}}$$

$$\Delta x = \frac{\lambda \cos \theta_1}{2 \alpha \sqrt{n^2 - (\sin \theta_1)^2}}$$

Тема «Дифракция света».

4. Что такое дифракция волн?
5. Сформулируйте принцип Гюйгенса — Френеля.
6. Что такое дифракция Френеля?
7. Что такое дифракция Фраунгофера?
8. Что такое период дифракционной решетки?

9. Сформулируйте условие главных максимумов дифракционной решетки.

Задача 1.

Между точечным источником света и экраном поместили диафрагму с круглым отверстием, радиус которого r можно менять в процессе опыта. Расстояния от диафрагмы до источника и экрана равны $a = 100\text{см}$ и $b = 125\text{см}$. Определить длину волны света, если максимум освещённости в центре картины на экране наблюдается при $r_1 = 1.00\text{мм}$ и следующий максимум при $r_2 = 1.29\text{мм}$.

Задача 2.

Монохроматическая плоская световая волна с интенсивностью I_0 падает нормально на непрозрачный диск, закрывающий для точки наблюдения Р первую зону Френеля. Какова стала интенсивность света в точке Р после того, как у диска удалили:

- а) половину (по диаметру);
- б) половину внешней половины первой зоны (по диаметру)?

Задача 3.

Плоская световая волна с $\lambda = 0.60\text{мкм}$ падает нормально на достаточно большую стеклянную пластинку, на противоположной стороне которой сделана круглая выемка. Для точки наблюдения Р она представляет собой первые полторы зоны Френеля. Найти глубину h выемки, при которой интенсивность света в точке Р будет

- а) максимальной?
- б) минимальной?
- с) равной интенсивности падающего света?

Задача 4.

Свет с $\lambda = 589.0\text{нм}$ падает нормально на дифракционную решётку с периодом $d = 2,5\text{мкм}$, содержащую $N = 10000$ штрихов. Найти угловую ширину дифракционного максимума второго порядка.

Ключи к задачам по теме «Дифракция света»:

Задача 1.

Максимум наблюдается всякий раз, когда в отверстие укладывается нечётное число зон Френеля, следовательно:

$$r_1^2 = \frac{ab}{a+b} m_1 \lambda$$

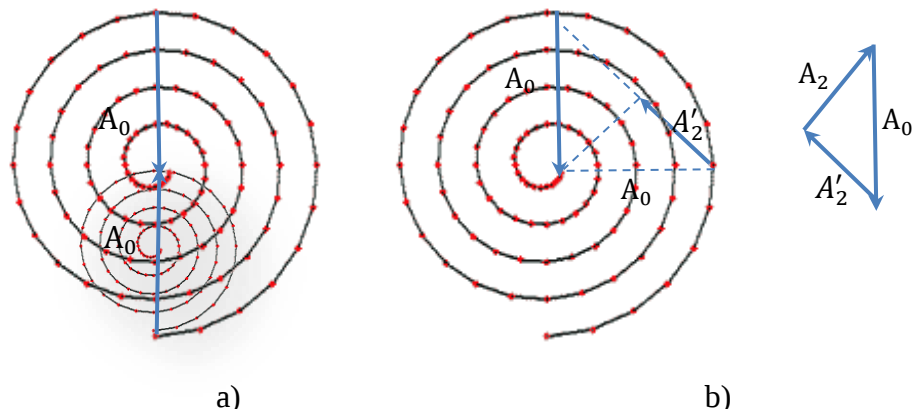
$$r_2^2 = \frac{ab}{a+b} m_2 \lambda,$$

где $m_2 = m_1 + 2$.

$$r_2^2 - r_1^2 = \frac{2ab}{a+b} \lambda \Rightarrow$$

$$\lambda = \frac{(r_2^2 - r_1^2)(a+b)}{2ab} = 0.60\text{мкм}.$$

Задача 2.



а) Амплитуда колебаний, пришедших в точку наблюдения от всего фронта за исключением перекрытой диском первой зоны, равна A_0 . Амплитуда колебаний, пришедших в точку наблюдения от открытой по диаметру части первой зоны также равна A_0 . Однако, эти колебания сдвинуты по фазе на π относительно колебаний, пришедших от всего фронта за исключением первой зоны. Таким образом, результирующая амплитуда

$$A_1 = 0 \Rightarrow I_1 = 0.$$

б) Вектор $\vec{A}_2$, изображающий результирующее колебание, равен сумме векторов $\vec{A}_0$ и $\vec{A}'_2$.

$$A_0^2 = A_2'^2 + A_2^2$$

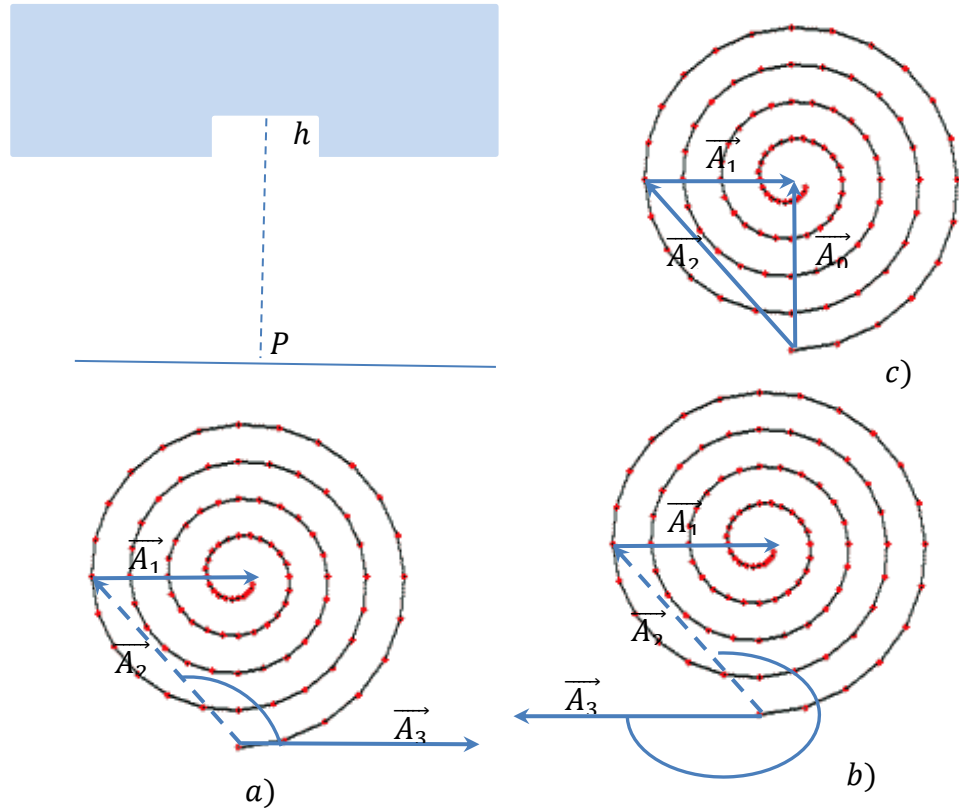
$$A_0^2 = 2A_2'^2 \Rightarrow A_2'^2 = \frac{1}{2}A_0^2 \Rightarrow$$

$$A_2^2 = A_0^2 - \frac{1}{2}A_0^2 \Rightarrow$$

$$I_2 = \frac{1}{2}I_0.$$

Задача 3.

Колебания, пришедшие в точку Р через выемку и помимо неё пройдут разные оптические



пути. Следовательно, между ними появится дополнительная оптическая разность хода $\Delta = h(n-1)$ и соответствующая разность фаз, величина которой зависит от глубины выемки h . Таким образом, вектор A_2 , изображающий результирующее колебание от полутора зон, развернётся на угол

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} h(n-1) \Rightarrow$$

$$a) \quad \delta = \frac{2\pi}{\lambda} h(n-1) = \frac{3}{4}\pi + 2k\pi; \quad h = \left(k + \frac{3}{8}\right) \frac{\lambda}{n-1};$$

$$b) \quad \delta = \frac{2\pi}{\lambda} h(n-1) = \frac{3}{4}\pi + \pi + 2k\pi; \quad h = \left(k + \frac{7}{8}\right) \frac{\lambda}{n-1};$$

$$c) \quad \delta = \frac{2\pi}{\lambda} h(n-1) = 2k\pi; \quad h = k \frac{\lambda}{n-1}.$$

Задача 4.

Угловая ширина максимума m – го порядка определяется разностью углов $\delta\varphi$, под которыми наблюдаются минимумы $\pm$ первого порядка для этого максимума.

$$d \sin \varphi = m\lambda$$

$$d \sin\left(\varphi - \frac{\delta\varphi}{2}\right) = \left(m - \frac{1}{N}\right)\lambda$$

$$d \sin\left(\varphi + \frac{\delta\varphi}{2}\right) = \left(m + \frac{1}{N}\right)\lambda$$

Из разложения в ряд Тейлора следует:

$$\sin(\varphi \pm \frac{\delta\varphi}{2}) = \pm(\cos \varphi) \frac{\delta\varphi}{2}$$

Таким образом

$$(\cos \varphi) \frac{\delta\varphi}{2} = (m + \frac{1}{N})\lambda$$

$$-(\cos \varphi) \frac{\delta\varphi}{2} = (m - \frac{1}{N})\lambda$$

$$2(\cos \varphi) \frac{\delta\varphi}{2} = \frac{2\lambda}{N}$$

$$\delta\varphi = \frac{2\lambda}{N\sqrt{1 - \left(\frac{m\lambda}{d}\right)^2}}$$

Тема «Поляризация света».

4. Какой свет называют плоскополяризованным?
5. Что такое плоскость поляризации?
6. Сформулируйте закон Малюса.
7. Сформулируйте закон Брюстера.
8. В чём заключается явление двойного лучепреломления?
9. Каким свойством обладают оптически активные вещества?
10. Что такое удельное вращение оптически активного вещества?

Задача 1.

Плоская монохроматическая волна с интенсивностью I_0 падает нормально на круглое отверстие, которое представляет собой первую зону Френеля для точки наблюдения Р. Найти интенсивность света в точке Р после того, как отверстие перекрыли двумя одинаковыми поляризаторами, плоскости пропускания которых перпендикулярны друг другу, а граница их раздела проходит

- а) по диаметру отверстия;
- б) по окружности, ограничивающей первую половину зоны Френеля.

Задача 2.

Линейно поляризованный световой пучок падает на поляризатор, вращающийся вокруг оси пучка с угловой скоростью ω . Найти световую энергию, проходящую через поляризатор за один оборот, если поток энергии в падающем пучке Φ_0 .

Задача 3.

Линейно поляризованный световой пучок падает на поляризатор, вращающийся вокруг оси пучка с угловой скоростью ω . Найти световую энергию, проходящую через поляризатор за один оборот, если поток энергии в падающем пучке Φ_0 .

Задача 4.

Естественный свет падает под углом Брюстера на поверхность стекла. Определить с помощью формул Френеля:

- а) коэффициент отражения;
- б) степень поляризации преломленного света

Задача 5.

Кварцевая пластинка, вырезанная параллельно оптической оси, помещена между двумя скрещенными поляризаторами так, что её оптическая ось составляет угол в 45° с плоскостями пропускания поляризаторов. При какой минимальной толщине пластинки свет с $\lambda_1 = 643\text{ нм}$ будет проходить через эту систему с максимальной интенсивностью, а свет с $\lambda_2 = 564\text{ нм}$ будет сильно ослаблен? Разность показателей преломления $\Delta n = 0.009$.

Ключи к задачам по теме «Поляризация света»:

Задача 1.

Свет, прошедший через разные поляризаторы будет поляризован во взаимно перпендикулярных направлениях. Следовательно, результирующая интенсивность будет равна сумме интенсивностей света, прошедшего через каждый из поляризаторов.

а)

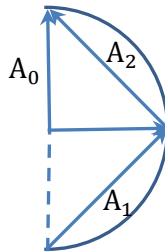
В отсутствие поляризатора амплитуда света, прошедшего через половину зоны, перекрытой по диаметру,

$$A = A_0; \quad I = I_0.$$

Через каждый поляризатор пройдёт

$$I' = \frac{1}{2} I_0 \Rightarrow \\ I_1 = I_0.$$

б) А



В отсутствие поляризаторов внутренняя и внешняя половины зоны пропускают свет с амплитудой

$$A_1 = A_2 = \sqrt{2} A_0; \quad I = 2I_0 \Rightarrow$$

Через поляризатор пройдёт

$$I' = \frac{I}{2} = I_0.$$

Таким образом, результирующая интенсивность

$$I_2 = 2I_0.$$

Задача 2.

По закону Малюса:

$$I = I_0 (\cos \varphi)^2,$$

где φ – угол между направлением колебаний напряжённости электрического поля в линейно поляризованном свете и плоскостью пропускания поляризатора. В данном случае этот угол меняется со временем по закону:

$$\varphi = \omega t.$$

Поток энергии, прошедшей через поляризатор,

$$\Phi = IS \Rightarrow$$

$$\Phi = \Phi_0(\cos \varphi)^2.$$

Энергия, проходящая через поляризатор за время Т,

$$W = \int_0^T \Phi(t) dt.$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega}.$$

$$W = \int_0^{2\pi/\omega} \Phi_0(\cos \omega t)^2 dt$$

$$W = \int_0^{2\pi/\omega} \frac{1}{2} \Phi_0(1 + \cos 2\omega t) dt;$$

$$W = \frac{\pi \Phi_0}{\omega}.$$

Задача 3

По закону Малюса:

$$I = I_0(\cos \varphi)^2,$$

где φ – угол между направлением колебаний напряжённости электрического поля в линейно поляризованном свете и плоскостью пропускания поляризатора. В данном случае этот угол меняется со временем по закону:

$$\varphi = \omega t.$$

Поток энергии, прошедшей через поляризатор,

$$\Phi = IS \Rightarrow$$

$$\Phi = \Phi_0(\cos \varphi)^2.$$

Энергия, проходящая через поляризатор за время Т,

$$W = \int_0^T \Phi(t) dt.$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega}.$$

$$W = \int_0^{2\pi/\omega} \Phi_0(\cos \omega t)^2 dt$$

$$W = \int_0^{2\pi/\omega} \frac{1}{2} \Phi_0(1 + \cos 2\omega t) dt;$$

$$W = \frac{\pi \Phi_0}{\omega}.$$

Задача 4.

$$\rho = \frac{I_{\text{отр}}}{I_0}$$

При падении света под углом Брюстера ($\tan \theta_1 = n$) в отражённом луче присутствует только свет, поляризованный в плоскости, перпендикулярной плоскости падения. Следовательно

$$\rho = \frac{I_{\perp}'}{I_0}; \quad I_{\perp}' = I_{\perp} \frac{\sin^2(\theta_1 - \theta_2)}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2)}$$

В падающем свете $I_{\perp} = \frac{1}{2} I_0$. Таким образом:

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{2} \frac{\sin^2(\theta_1 - \theta_2)}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2)}; \\ \theta_1 + \theta_2 &= \frac{\pi}{2}; \quad \theta_2 = \frac{\pi}{2} - \theta_1 \Rightarrow \\ \rho &= \frac{1}{2} \sin^2 \left(2\theta_1 - \frac{\pi}{2} \right) = \frac{1}{2} \cos^2 2\theta_1 = \frac{1}{2} (\cos^2 \theta_1 - \sin^2 \theta_1)^2 = \\ &= \frac{1}{2} \left(\frac{1}{1 + \tan^2 \theta_1} - \frac{1}{1 + \cot^2 \theta_1} \right)^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{1 + n^2} - \frac{n^2}{1 + n^2} \right)^2 \\ \rho &= \frac{1}{2} \left(\frac{1 - n^2}{1 + n^2} \right)^2 = 0.074. \end{aligned}$$

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

При падении света под углом Брюстера в преломленном луче максимальная интенсивность параллельной составляющей будет равна параллельной составляющей падающего света, поскольку в отражённом свете она отсутствует т.е.

$$I_{\max} = \frac{1}{2} I_0.$$

Минимальная интенсивность соответствует преломленной перпендикулярной составляющей, т. е.

$$I_{\min} = \frac{1}{2} I_0 - I_{\text{отр}} \Rightarrow P = \frac{\frac{1}{2} I_0 - \frac{1}{2} I_0 + I_{\text{отр}}}{I_0 - I_{\text{отр}}} = \frac{I_{\text{отр}}}{I_0 - I_{\text{отр}}} = \frac{\rho}{1 - \rho}.$$

$$P = \frac{(1 + n^2)^2 - 4n^2}{(1 + n^2)^2 + 4n^2} = 0.08$$

Задача 5.

Так как наблюдается интерференция в скрещенных поляризаторах, то интенсивность прошедшего света

$$I_{\perp} = I \sin^2 \delta / 2,$$

где

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} d \Delta n.$$

Поскольку по условию задачи условие максимума выполняется для длины волны λ_1 , то

$$\frac{2\pi}{\lambda_1} d \Delta n = (2m \pm 1)\pi.$$

А для длины волны λ_2 выполняется условие, близкое к минимуму:

$$\frac{2\pi}{\lambda_2} d \Delta n \cong 2m\pi. \quad (1)$$

И поскольку $\lambda_1 > \lambda_2$, то для того же значения m , условие максимума для λ_1 имеет вид:

$$\frac{2\pi}{\lambda_1} d \Delta n = (2m - 1)\pi. \quad (2) \Rightarrow$$

$$d = \frac{(2m - 1)\lambda_1}{2\Delta n}. \quad (3)$$

Подставив выражение (3) в (1), получим:

$$\frac{2\pi}{\lambda_2} \frac{(2m - 1)\lambda_1}{2\Delta n} \Delta n \cong 2m\pi$$

$$2m(\lambda_1 - \lambda_2) \cong \lambda_1$$

$$m \cong \frac{1}{2(1 - \lambda_2/\lambda_1)} = 4. \quad (4)$$

Так как условие максимума строго выполняется для λ_1 , то результат (4) подставляем в (3):

$$d = \frac{(m - 1/2)\lambda_1}{\Delta n} = 0.25 \text{ мм.}$$

Тема «Квантовая оптика»

5. Какова природа теплового излучения и люминесценции? Какое из этих излучений является равновесным?
6. Дайте определения понятий: а) энергетической светимости тела; б) испускательной и поглотительной способностей нагретого тела.
7. Какое тело называется: а) абсолютно черным; б) серым?
8. Сформулируйте законы Стефана–Больцмана и Вина.

Задача 1.

Имеются два абсолютно чёрных источника теплового излучения. Температура одного из них $T_1 = 2500 \text{ K}$. Найти температуру другого источника, если длина волны, отвечающая максимуму его испускательной способности на $\Delta\lambda = 0.5 \text{ мкм}$ больше длины волны, соответствующей испускательной способности первого источника.

Задача 2.

Излучение Солнца по своему спектральному составу близко к излучению абсолютно чёрного тела, для которого максимум испускательной способности приходится на длину волны $\lambda = 0.48 \text{ мкм}$. Найти массу, теряемую Солнцем каждую секунду за счёт этого излучения. Оценить время, за которое масса Солнца уменьшится на один процент.

Задача 3.

Медный шарик диаметром $d = 1.2 \text{ см}$ поместили в откаченный сосуд, температура стенок которого поддерживается близкой к абсолютному нулю. Начальная температура шарика $T_0 = 300 \text{ K}$. Считая поверхность шарика абсолютно чёрной, найти через сколько времени его температура уменьшится в $\eta = 2$ раза.

Задача 4.

Полость объёмом $V = 1 \text{ л}$ заполнена тепловым излучением при температуре $T = 1000 \text{ K}$. Найти:

- a) теплоёмкость C_V ;
- b) энтропию S этого излучения.

Ключи к задачам по теме «Квантовая оптика»:

Задача 1.

Из закона Вина

$$T\lambda_{max} = b = const$$

следует, что

$$T_1\lambda_{max1} = T_2\lambda_{max2}$$

$$T_1\lambda_{max1} = T_2(\lambda_{max1} + \Delta\lambda)$$

$$T_2 = \frac{T_1\lambda_{max1}}{\lambda_{max1} + \Delta\lambda}$$

И, поскольку

$$\lambda_{max1} = \frac{b}{T_1},$$

температура второго источника

$$T_2 = \frac{bT_1}{b + T_1\Delta\lambda} \approx 1750K$$

Задача 2.

Масса и энергия излучения связаны соотношением Эйнштейна

$$\Delta E = \Delta mc^2$$

Энергию, излучаемую Солнцем за одну секунду, можно определить на основании закона Стефана – Больцмана:

$$\Delta E = \sigma T^4 4\pi R^2,$$

где T и R соответственно температура поверхности и радиус Солнца.

Температуру поверхности определяем из закона Вина:

$$T\lambda_{max} = b.$$

Таким образом, искомая масса

$$\Delta m = \frac{\sigma 4\pi R^2 (b/\lambda_{max})^4}{c^2} = 5 \cdot 10^9 \text{ кг/с.}$$

$$R = 6.95 \cdot 10^8 \text{ м; } \sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2\text{К}^4; \text{ } b = 0.29 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{К.}$$

Масса Солнца равна $1.99 \cdot 10^{30}$ кг, следовательно, один процент массы составляет $1.99 \cdot 10^{28}$ кг и время, за которое масса Солнца изменится на эту величину

$$t = \frac{1.99 \cdot 10^{28} \text{ кг}}{5 \cdot 10^9 \text{ кг/с}} = 4 \cdot 10^{18} \text{ с} \approx 10^{11} \text{ лет.}$$

Задача 3.

Так как температура стенок откаченного сосуда, поддерживается близкой к абсолютному нулю, то они не излучают, и вся падающая на них энергия отводится.

Поэтому, если за время от t до $t + dt$ температура шарика уменьшилась от значения T до $T - dT$, то всё количество теплоты $\delta Q = c m dT$ будет равно энергии, излучаемой

шариком как абсолютно чёрным телом за время dt . Таким образом, можно записать дифференциальное уравнение:

$$\sigma T^4 4\pi r^2 dt = -c m dT$$

$$\sigma T^4 4\pi r^2 dt = -\rho \frac{4}{3} \pi r^3 c dT$$

Решаем дифференциальное уравнение методом разделения переменных:

$$-\frac{dT}{T^4} = \frac{3\sigma}{\rho c r} dt$$

$$\frac{1}{3T^3} = \frac{3\sigma}{\rho c r} t + const$$

Из начальных условий: $t = 0, T = T_0$ следует

$$const = \frac{1}{3T_0^3}; \Rightarrow$$

$$\frac{1}{3} \left(\frac{1}{T^3} - \frac{1}{T_0^3} \right) = \frac{3\sigma}{\rho c r} t;$$

$$t = \frac{[(T_0/T)^3 - 1] \rho c r}{9\sigma T_0^3}$$

$$t = \frac{(\eta^3 - 1) \rho c d}{18\sigma T_0^3} = 3 \text{ часа.}$$

Задача 4.

$$C_V = \frac{dU}{dT},$$

где U – энергия излучения в заданном объёме.

Поскольку известна температура излучения, можно определить энергетическую светимость, которая связана с объёмной плотностью равновесного теплового излучения:

$$\sigma T^4 = \frac{c}{4} u \Rightarrow$$

$$U = \frac{4\sigma T^4 V}{c} \Rightarrow$$

$$C_V = \frac{16\sigma T^3}{c} V$$

Из первого начала термодинамики

$$TdS = dU + PdV$$

при постоянном объёме, получаем

$$dS = \frac{dU}{T} = \frac{16\sigma T^3}{cT} V dT \Rightarrow$$

$$S = \frac{16\sigma T^3}{3c} V.$$

Критерии оценивания ответов на контрольные вопросы и решение задач:

Результаты ответов на контрольные вопросы и решения задач определяются оценками «зачтено» и «незачтено». Оценка «зачтено» выставляется, если студент

предъявляет правильные ответы на все контрольные вопросы и решение более одной задаче из каждого раздела. При этом может для каждой задачи обосновать метод решения, понимает используемые термины и формулы и получил правильный ответ. При невыполнении указанных критериев оценки выставляется оценка «незачтено».

Текущий контроль по лабораторному практикуму осуществляется в течение семестра и включает в себя входной контроль преподавателем степени подготовленности каждого студента к выполнению лабораторных работ, допуск к проведению эксперимента и проверку отчетов по лабораторным работам. При этом проверяется сформированность компетенций ОПК-3 и ОПК-4 в соответствии с индикаторами достижения ИОПК-3.1, ИОПК-3.2, ИОПК-4.1, ИОПК-4.2, ИОПК-4.3

Организация лабораторных работ включает самостоятельную внеаудиторную подготовку студента к выполнению каждой отдельной лабораторной в рамках часов, выделенных в программе дисциплины на самостоятельную проработку материала. Для подготовки к лабораторным работам студенты могут использовать методические разработки преподавателей кафедры общей и экспериментальной физики, размещенные в системе LMS Moodle или представленные в печатной форме в лаборатории. Методические разработки содержат теоретические материалы по теме работы, методику проведения эксперимента и обработки результатов, вопросы для самоконтроля, перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет. Критерий оценки эффективности самостоятельной работы студентов формируется в ходе текущего контроля процесса выполнения заданий и осуществляется на основе различных способов взаимодействия студента с преподавателем.

Пример. Контрольные вопросы для работы «Маятник Максвелла»:

1. Что называется моментом инерции относительно оси вращения материальной точки, системы материальных точек?
2. От чего зависит момент инерции системы материальных точек?
3. Получите формулы для моментов инерции относительно оси симметрии цилиндра, кольца.
4. Что называется центром масс системы материальных точек?
5. Сформулируйте теорему о движении центра масс системы материальных точек.
6. Какое движение твердого тела называется плоским?
7. Какие силы и моменты сил действуют на маятник Максвелла при его движении?
8. Как меняются ускорение, скорость и сила натяжения нити при движении маятника Максвелла?
9. Как меняется механическая энергия маятника Максвелла при его движении?
10. На каком участке движения маятника, верхнем или нижнем, потери механической энергии больше? Объясните причины.
11. Оценить натяжение нитей при прохождении маятником нижней точки (продолжительность “удара” в ней принять равной $\Delta t \approx 0,05\text{с}$).

Вопросы для допуска к выполнению лабораторных работ

- Цель работы.
- Какое явление изучается в работе?
- Какие законы изучаются в работе?
- Какие физические величины определяются в работе?
- Вывод рабочей формулы.
- Назначения приборов и принадлежностей.

- Описание экспериментальной установки.
- Порядок выполнения работы.
- Методика проведения измерений.

Текущий контроль заканчивается при сдаче/защите работ в виде оформленных отчетов.

Требования к содержанию отчета по лабораторной работе

Отчет должен содержать:

- Название лабораторной работы.
- Цели и задачи работы (сформулированы в методических указаниях).
- Приборы и принадлежности (приведены в методических указаниях).
- Схема экспериментальной установки.
- Рабочая формула(ы) (формулы, по которым проводятся расчеты величин, определяемых в упражнениях лабораторной работы, через экспериментально измеренные величины).
- Идея метода (в нескольких предложениях раскрывается суть физических явлений и процессов, лежащих в основе проводимого эксперимента).
- Таблица(ы), в которые заносятся экспериментальные и расчетные данные.
- Расчеты (приводятся основные расчеты значений определяемых в работе величин и их погрешностей). Если в работе определяется некоторая физическая постоянная, то необходимо указать значение, определенное экспериментально (включая погрешность), и сравнить его с табличной величиной. Если исследуется какая-либо зависимость, то указывается характер этой зависимости, выявленный в эксперименте (линейная, экспоненциальная и т.д.), и проводится сравнение с теоретической зависимостью.
- Выводы, в которых кратко излагаются основные результаты эксперимента исходя из его целей, проводится их анализ.

Требования по оформлению отчета по лабораторной работе

- Отчёт должен быть выполнен аккуратно, на отдельных листах или в тетради. Допускается оформление отчета, подготовленного с помощью программного обеспечения, или представление отчета в виде файла.
- При оформлении таблиц должны быть указаны обозначения величин и единицы измерения.
- При построении графика у каждой оси должны быть подписаны обозначения величин и единицы измерения; масштаб должен быть выбран рационально; на графике должны быть четко видны экспериментальные точки; не допускается соединение точек ломаной кривой, при необходимости на графике проводится аппроксимирующая линия.
- Окончательный результат должен быть записан в соответствии с принятыми правилами; обязательна оценка погрешности полученного результата и соблюдение правил округления значений определяемых в эксперименте величин и их погрешностей.

Критерии оценивания результатов собеседования по защите отчета по выполненной лабораторной работе:

К защите лабораторной работы студент должен:

- предоставить полностью оформленный отчет по лабораторной работе с заполненными таблицами, графиками, расчетами и заключением;
- знать необходимый теоретический материал;

- уметь кратко рассказать о содержании проведенного им эксперимента и обосновать выводы, сделанные в заключении;
- владеть средствами получения и обработки информации: уметь записывать результаты измерений, строить графики с учетом погрешностей, производить вычисления погрешностей прямых и косвенных измерений, анализировать полученные результаты и делать выводы;
- все опыты должны быть проведены в условиях и режимах, обеспечивающих получение результатов и выводов с наибольшей точностью с учетом техники безопасности.

В соответствии с этим при проведении заключительного контроля могут использоваться контрольные вопросы как к выполняемым работам лабораторного практикума, так и к соответствующим разделам основной дисциплины.

По результатам защиты выполненной лабораторной работы выставляется отметка «выполнено» в журнале учета выполнения лабораторных работ. Оценка «выполнено» означает выполнение студентом всех требований по формам и срокам контроля, по критериям оценки текущей работы студента.

3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания

Экзамен во втором и третьем семестрах проводится в устной форме по билетам. Экзаменационный билет предполагает ответ студента на два теоретических вопроса, проверяющих сформированность компетенций ОПК-3, ОПК-4 в соответствии с индикаторами достижения ИОПК-3.1, ИОПК-3.2., ИОПК-4.1, ИОПК-4.2, ИОПК-4.3.

Билет содержит два вопроса. Ответы даются в развернутой форме. К экзамену допускаются только студенты, аттестованные по результатам текущего контроля.

Вопросы для экзамена 2 семестр

Кинематика

1. Системы отсчёта.
2. Материальная точка.
3. Способы описания движения материальной точки. Скорость. Ускорение.
4. Кинематика вращательного движения.
5. Степени свободы и обобщённые координаты.

Динамика материальной точки

1. Первый закон Ньютона. Инерциальные системы отсчёта.
2. Масса тела.
3. Второй закон Ньютона. Сила. Роль начальных условий.
4. Третий закон Ньютона. Полевое взаимодействие.
5. Закон сохранения импульса.
6. Импульс силы и изменение импульса тела.
7. Теорема о движении центра масс системы
8. Принцип относительности Галилея. Преобразования Галилея.

Работа и энергия

1. Работа и кинетическая энергия. Связь между кинетическими энергиями в различных системах отсчёта. Теорема Кёнига.
2. Примеры на вычисление работы.
3. Консервативные и неконсервативные силы.

4. Потенциальная энергия частицы в поле.
5. Полная механическая энергия частицы.
6. Потенциальная энергия системы материальных точек.
7. Полная механическая энергия системы материальных точек. Закон сохранения механической энергии для системы материальных точек.
8. Силы и потенциальная энергия.
9. Условия равновесия механической системы.

Закон сохранения момента импульса

1. Момент силы и момент импульса относительно неподвижного начала.
2. Закон сохранения момента импульса.
3. Момент силы и момент импульса относительно неподвижной оси.
4. Уравнение момента импульса для вращения вокруг неподвижной оси. Момент инерции.
5. Вычисление момента инерции относительно оси вращения.
6. Теорема Гюйгенса.
7. Кинетическая энергия вращающегося твёрдого тела.

Колебательное движение

1. Малые колебания.
2. Гармонические колебания.
3. Затухающие колебания.
4. Векторная диаграмма и сложение колебаний.
5. Вынужденные колебания.
6. Резонанс.

Волны

1. Уравнения плоской и сферической упругих волн.
2. Волновое уравнение.
3. Энергия, переносимая упругой волной.
4. Эффекты сложения волн. Стоячие упругие волны.

Релятивистская механика

1. Основные постулаты специальной теории относительности.
2. Относительность одновременности в специальной теории относительности.
3. Синхронизация часов.
4. Преобразования Лоренца.
5. Следствия из преобразований Лоренца.
6. Интервал.
7. Сложение скоростей в теории относительности.
8. Релятивистские выражения для импульса и энергии.
9. Преобразование сил.
10. Система релятивистских частиц.
11. Система невзаимодействующих частиц.
12. Столкновение двух частиц.

Механика жидкостей

1. Кинематическое описание движения жидкости
2. Стационарное движение идеальной жидкости. Уравнение Бернулли.
3. Трение в движущейся реальной жидкости. Уравнение Пуазейля.

Механика упругих тел

1. Элементы механики сплошной среды. Виды деформаций твердого тела.
2. Закон Гука. Коэффициент Пуассона.
3. Деформация сдвига. Модуль сдвига.
4. Энергия упругих напряжений.

Методы рассмотрения систем, состоящих из большого числа частиц

1. Основные положения молекулярно-кинетической теории. Модель идеального газа.
2. Тепловое движение
3. Статистический и термодинамический методы описания молекулярных систем
4. Некоторые сведения из теории вероятности

Статистический метод

1. Равновесное состояние. Макроскопические параметры.
2. Распределение Максвелла.
3. Уравнение состояния идеального газа.
4. Распределение Больцмана.

Первое начало термодинамики

1. Внутренняя энергия. Распределение энергии по степеням свободы.
2. Обратимые и необратимые тепловые процессы.
3. Первое начало термодинамики.
4. Работа, совершаемая системой при изменении объема.
5. Теплоемкость.
6. Процессы в идеальных газах.
7. Политропный процесс.
8. Циклические процессы. Коэффициент полезного действия цикла.
9. Цикл Карно. Коэффициент полезного действия цикла Карно.

Второе начало термодинамики

1. Энтропия.
2. Энтропия идеального газа.
3. Статистический смысл энтропии.
4. Второе начало термодинамики.
5. Теорема Карно. Неравенство Клаузиуса.
6. Термодинамические потенциалы.
7. Термодинамический смысл химического потенциала.
8. Общие критерии термодинамической устойчивости. Принцип Ле-Шателье-Брауна.

Неидеальный газ

1. Молекулярные силы и отступления от законов идеальных газов.
2. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
3. Изотермы уравнения Ван-дер-Ваальса
4. Внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса.
5. Изотермы реального газа. Метастабильные состояния.

Фазовые переходы

1. Фазы и фазовые превращения.
2. Условие равновесия фаз химически однородного вещества.
3. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса
4. Тройные точки. Диаграммы состояний.
5. Фазовые превращения второго рода.
6. Многокомпонентные системы. Правило фаз

Жидкое состояние

1. Строение жидкости.
2. Поверхностное натяжение.
3. Условия равновесия на границе двух жидкостей и жидкость - твердое тело.
4. Давление под искривленной поверхностью. Формула Лапласа.
5. Капиллярные явления.
6. Термодинамика поверхностного натяжения.

Явления переноса

1. Виды процессов переноса.
2. Поперечное сечение и средняя длина свободного пробега. Экспериментальное определение поперечного сечения столкновений.
3. Расчет поперечного сечения и средней длины свободного пробега в модели твердых шаров.
4. Общее уравнение переноса.
5. Теплопроводность.
6. Вязкость.
7. Самодиффузия.
8. Связь между коэффициентами, характеризующими явления переноса

Вопросы для экзамена 3 семестр

Электрическое поле в вакууме

1. Свойства электрических зарядов
2. Закон Кулона. Системы единиц
3. Электрическое поле
4. Напряженность поля. Принцип суперпозиции полей.
5. Электрическое поле диполя
6. Поток вектора
7. Теорема Гаусса для электрических полей
8. Потенциал электрического поля
9. Связь между напряжённостью и потенциалом
10. Уравнение Пуассона

Электрическое поле в диэлектриках

1. Электрическое поле в веществе
2. Поляризация диэлектриков, типы диэлектриков. Поле внутри диэлектриков
3. Вектор поляризации. Поверхностная и объёмная плотности связанных зарядов.
4. Вектор электрического смещения. Теорема Гаусса для диэлектриков.
5. Условия на границе раздела двух диэлектриков.

Проводники в электрическом поле

1. Условия равновесия зарядов на проводнике.
2. Проводники во внешнем электрическом поле.
3. Ёмкость проводников.
4. Конденсаторы. Ёмкость конденсаторов.

Энергия электрического поля

1. Электрическая энергия системы зарядов.
2. Энергия заряженных проводника и конденсатора.
3. Энергия электрического поля.

Постоянный электрический ток

1. Постоянный электрический ток. Плотность тока, сила тока.
2. Закон сохранения электрического заряда
3. Электродвижущая сила.
4. Закон Ома для однородного участка цепи. Электрическое поле при наличии электрического тока.
5. Закон Ома для неоднородного участка цепи.
6. Закон Джоуля - Ленца.

Магнитное поле в вакууме

1. Магнитное поле. Индукция магнитного поля. Магнитная сила.
2. Сила Лоренца.
3. Сила Ампера.
4. Закон Био-Савара.
5. Виток с током в магнитном поле.
6. Теорема Гаусса для магнитных полей.
7. Теорема о циркуляции магнитного поля в вакууме.

Магнитное поле в веществе

1. Магнитное поле в веществе.
2. Напряженность магнитного поля.
3. Магнитная восприимчивость и магнитная проницаемость.
4. Виды магнетиков.
5. Условия на границе двух магнетиков.

Электромагнитная индукция

1. Явление электромагнитной индукции.
2. Универсальный закон электромагнитной индукции
3. Явление самоиндукции.
4. Энергия магнитного поля.

Уравнения Максвелла

1. Ток смещения
2. Система уравнений Максвелла.

Электромагнитные волны

- 1 Волновое уравнение для электромагнитного поля

- 2 Плоские монохроматические волны
- 3 Поляризация электромагнитных волн
- 4 Энергия и импульс электромагнитного поля
- 5 Шкала электромагнитных волн
- 6

Интерференция света

1. Когерентность колебаний
2. Интерференция двух монохроматических волн.
3. Проблема когерентности
4. Интерференционные устройства
5. Интерференция света в тонких пленках. Кольца Ньютона.

Дифракция света

1. Принцип Гюйгенса-Френеля.
2. Зоны Френеля.
3. Графическое вычисление амплитуды
4. Простейшие дифракционные задачи
5. Дифракция Фраунгофера на одной щели.
6. Дифракционная решетка.
7. Физические основы голографии.

Распространение электромагнитных волн в изотропных средах

1. Дисперсия света.
2. Классическая теория дисперсии света.
3. Поглощение света.

Поляризация света

1. Естественный и поляризованный свет. Закон Малюса.
2. Поляризация при отражении и преломлении.
3. Поляризация при двойном лучепреломлении.
4. Поляризационные устройства.
5. Интерференция поляризованных лучей
6. Искусственная анизотропия

7. Элементы квантовой оптики

1. Тепловое излучение.
2. Закон Кирхгофа.
3. Равновесная плотность энергии излучения.
4. Закон Стефана-Больцмана и закон смещения Вина.
5. Формулы Рэлея-Джинса и Вина.
6. Формула Планка.
7. Спонтанные и вынужденные переходы.
8. Фотозффект.
9. Эффект Комптона.

Элементы ядерной физики.

10. Состав и характеристика атомного ядра.
11. Масса и энергия связи ядра.
12. Модели атомного ядра.
13. Ядерные силы.
14. Радиоактивность.
15. Альфа - распад.
16. Бета - распад.
17. Деление ядер.
18. Синтез ядер.
19. Элементарные частицы. Виды взаимодействий и классы элементарных частиц.
20. Космические лучи.
21. Антивещество.
22. Кварки.

Пример экзаменационного билета для 3 семестра:

БИЛЕТ № 1

1. Теорема Гаусса для вектора напряженности электрического поля в интегральной и дифференциальной форме.
2. Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракция Фраунгофера на одной щели.

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка определяется, исходя из результатов текущей аттестации в течение семестра и согласуется с принятым соответствием с 5-ти балльной шкалой оценивания: «отлично»; «хорошо»; «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка «отлично» выставляется, если даны правильные ответы на все теоретические вопросы по билету, а также даны правильные ответы на дополнительные и/или уточняющие вопросы по содержанию дисциплины.

Оценка «хорошо» выставляется, если даны неполные правильные ответы на теоретические вопросы по билету, но имеются так же правильные ответы на часть дополнительных и/или уточняющих вопросов по содержанию дисциплины.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если даны неправильные ответы на теоретические вопросы, но при этом даны правильные ответы на дополнительные и/или уточняющие вопросы по содержанию дисциплины.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если даны неправильные ответы на оба теоретических вопроса билета и отсутствуют ответы на дополнительные или уточняющие вопросы.

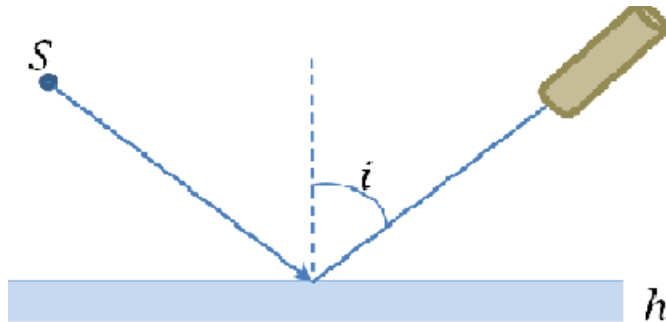
1. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)

Пример задачи.

С помощью зрительной трубы, установленной на бесконечность, наблюдают интерференционные полосы в тонкой плоскопараллельной стеклянной пластинке толщиной $h=0.2\text{мм}$ с показателем преломления $n=1.41$; при этом угол наблюдения i

может изменяться от 0 до 90°. Найти максимальный и минимальный порядок интерференционных полос, оценить допустимую некогерентность источника $\Delta\lambda$, при которой будут достаточно чётко наблюдаться все интерференционные полосы. Каков допустимый размер источника в этом интерференционном эксперименте? Используется зелёный свет с длиной волны $\lambda=560\text{нм}$.

Ключи к решению задачи:



$$2h\sqrt{n^2 - \sin^2 i} = m\lambda$$

$$m = \frac{2h\sqrt{n^2 - \sin^2 i}}{\lambda}$$

$$m_{\max}(i = 0) = \frac{2hn}{\lambda} \cong 1000.$$

$$m_{\min}\left(i = \frac{\pi}{2}\right) = \frac{2h\sqrt{n^2 - 1}}{\lambda} \cong 720$$

Допустимая некогерентность источника следует из условия временной когерентности: оптическая разность хода не должна превышать длину когерентности $\lambda^2/\Delta\lambda$. В данном эксперименте это означает, что

$$\Delta = \frac{2h\sqrt{n^2 - \sin^2 i}}{\lambda} = m_{\max} \leq \lambda^2/\Delta\lambda.$$

$$\Delta\lambda \leq \frac{\lambda}{m_{\max}} = \frac{560 \cdot 10^{-9}}{10^3} \cong 0.5\text{нм}$$

Поскольку наблюдение производится под определённым углом, условие пространственной когерентности выполняется при любом размере источника.

Примеры тестовых вопросов.

Раздел «Механика»

1. Какие кинематические характеристики движения не меняются при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой:

1-скорость, 2- ускорение, 3- относительная скорость двух частиц, 4- перемещение.

А. 1,3

Б. 2,3

В. 1,4

Г. 1,2

2. Чему равна мгновенная скорость материальной точки? Выберите правильные варианты ответов:

А. производной радиус-вектора, определяющего положение материальной точки, по времени

Б. производной от перемещения материальной точки по времени

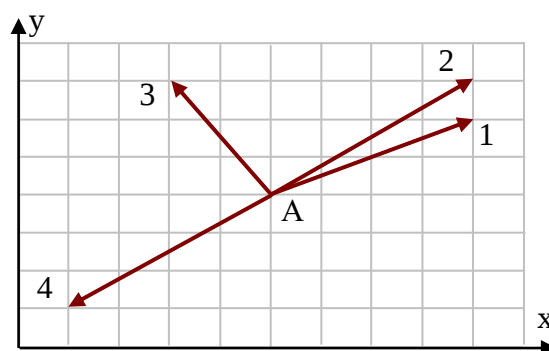
- В. производной от пути по времени
 Г. мгновенная скорость – это путь, пройденный материальной точкой в единицу времени

3. Какими величинами определяется механическое состояние материальной точки: радиус-вектором $\vec{r}(t)$, скоростью $\vec{v}(t)$, ускорением $\vec{a}(t)$?

- А. $\vec{r}(t)$, $\vec{a}(t)$
 Б. $\vec{r}(t)$, $\vec{v}(t)$, $\vec{a}(t)$
 В. $\vec{r}(t)$, $\vec{v}(t)$
 Г. $\vec{v}(t)$, $\vec{a}(t)$

4. Радиус-вектор частицы изменяется во времени по закону $\vec{r} = 2t^2\vec{i} + t^3\vec{j}$. В момент времени $t = 1$ частица оказалась в некоторой точке А. Скорость частицы в этот момент времени имеет направление

- А. 1
 Б. 2
 В. 3
 Г. 4

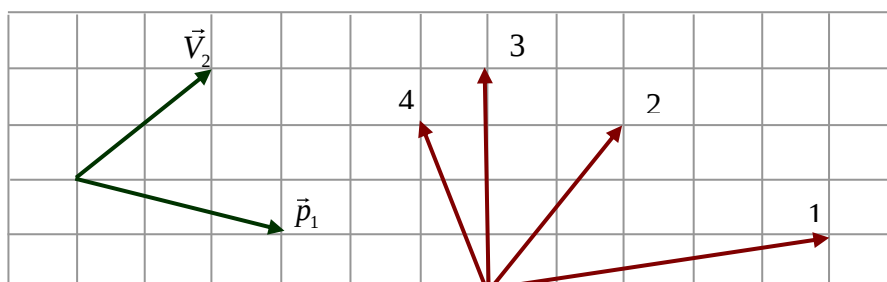


5. Какое из нижеприведенных утверждений справедливо?
 А. Масса – это количество вещества, содержащееся в теле
 Б. При прекращении действия на тело силы - тело мгновенно останавливается
 В. В классической механике масса тела меняется при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой
 Г. Масса является мерой инертности тела

6. Выделите неверное утверждение
 А. Сила – количественная мера взаимодействия по крайней мере двух тел, вызывающая движение тела или изменение его формы, или и то и другое вместе
 Б. Сила является причиной ускорения.
 В. Сила в классической механике изменяется при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой
 Г. При одновременном действии нескольких сил тело получает такое ускорение, какое бы оно получило под действием результирующей силы $\vec{F} = \sum_i \vec{F}_i$

7. Импульс тела $\vec{p}_1$ изменился под действием кратковременного удара, и скорость тела стала равной $\vec{V}_2$, как показано на рисунке. В момент удара сила действовала в направлении

...



- А. 1
- Б. 2
- В. 3
- Г. 4

8. Какое из приведенных утверждений справедливо:

- А. Направление равнодействующей силы совпадает с вектором скорости
- Б. Направление равнодействующей силы параллельно вектору ускорения
- В. Направление векторов силы и перемещения всегда совпадают
- Г. Если равнодействующая сила равна нулю, то тело всегда покоится.

9. Принцип относительности Галилея утверждает следующее:

- А. Все законы механики одинаковы во всех инерциальных системах отсчета
- Б. Все механические явления выглядят одинаково во всех инерциальных системах отсчета
- В. Все законы физики одинаковы во всех инерциальных системах отсчета
- Г. Все физические явления выглядят одинаково во всех инерциальных системах отсчета

10. Выделите неправильное утверждение.

- А. Импульс системы материальных точек равен геометрической сумме импульсов отдельных точек, входящих в систему
- Б. Импульс системы материальных точек равен произведению массы системы на скорость движения центра масс этой системы
- В. Импульс замкнутой системы материальных точек не меняется со временем
- Г. Закон сохранения импульс выполняется во всех системах отсчета

11. Какие силы влияют на движение центра масс системы взаимодействующих точек?

- А. внутренние силы
- Б. внешние силы
- В. внутренние и внешние силы
- Г. внутренние потенциальные силы и внешние силы

12. Выберите правильное утверждение:

- А. Работа всех сил, действующих на систему материальных точек, равна приращению кинетической энергии этой системы
- Б. Работа всех внешних сил, действующих на систему материальных точек, равна приращению кинетической энергии этой системы
- В. Работа всех внутренних сил, действующих на систему материальных точек, равна приращению кинетической энергии этой системы
- Г. Работа только потенциальных сил, действующих на систему материальных точек, равна приращению кинетической энергии этой системы

13. Выберите неверное утверждение.

- А. Силы, работа которых при изменении взаимных положений частиц не зависит от способа изменения конфигурации системы, то есть от того, по каким траекториям и в какой последовательности частицы системы перемещаются из своих начальных положений в конечные, называются потенциальными
- Б. Силы, работа которых на любой замкнутой траектории равна нулю, называются потенциальными
- В. Силы, не изменяющиеся со временем, называются потенциальными

Г. Работа потенциальных сил равна убыли потенциальной энергии

14. Меняются ли кинетическая и потенциальная энергия системы материальных точек при переходе из одной инерциальной системы отсчета в другую?

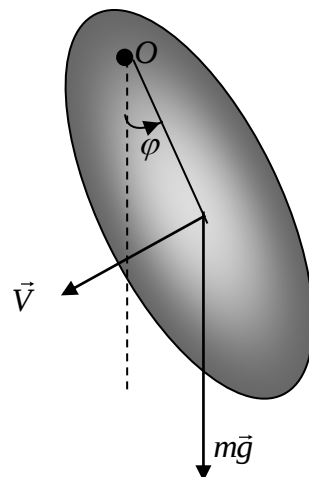
- А. Кинетическая энергия меняется, потенциальная – нет
- Б. Потенциальная энергия меняется, кинетическая – нет
- В. Меняются как кинетическая, так и потенциальная энергии
- Г. Не меняется ни кинетическая ни потенциальная энергии.

15. На материальную точку, движущуюся вдоль оси X , действует сила, изменяющаяся согласно графику. Кинетическая энергия точки на отрезке 0– 30 м...

- А. уменьшилась на 150 Дж
- Б. уменьшилась на 300 Дж
- В. не изменилась
- Г. увеличилась на 300 Дж

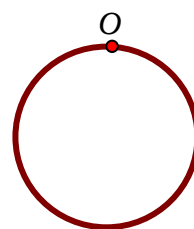
16. Физический маятник совершает колебания вокруг оси, проходящей через точку O и перпендикулярной плоскости рисунка. Для данного положения маятника момент силы тяжести относительно точки O направлен...

- А. перпендикулярно плоскости рисунка к нам
- Б. в плоскости рисунка вниз
- В. в плоскости рисунка вверх
- Г. перпендикулярно плоскости рисунка от нас



17. Чему равен период малых колебаний тонкого обруча массой M и радиуса R около оси, проходящей перпендикулярно плоскости обруча через точку O ?

- А. $T = \pi \sqrt{\frac{2R}{g}}$
- Б. $T = 2\pi \sqrt{\frac{2R}{g}}$
- В. $T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{2g}}$
- Г. $T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}$



18. Принцип относительности Эйнштейна утверждает следующее:

- А. Все законы механики одинаковы во всех инерциальных системах отсчета.
- Б. Все механические явления выглядят одинаково во всех инерциальных системах отсчета.
- В. Все законы физики одинаковы во всех инерциальных системах отсчета.

Г. Все физические явления выглядят одинаково во всех инерциальных системах отсчета.

19. Если материальная точка совершает вынужденные колебания, а вынуждающая сила изменяется по закону $\vec{F} = F_0 \cos \omega t$, то установившиеся вынужденные колебания будут совершаться с частотой, равной

А. собственной частоте ω_0

Б. частоте вынуждающей силы

В. $\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$

Г. $\sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$

20. Плоская незатухающая звуковая волна возбуждается источником колебаний частоты ν . Амплитуда колебаний источника равна a . Напишите уравнение колебаний источника $\xi(0, t)$, если в начальный момент смещение точек источника максимально.

А. $\xi(0, t) = a \cos 2\pi \nu t$

Б. $\xi(0, t) = a \sin 2\pi \nu t$

В. $\xi(0, t) = a \cos \left(2\pi \nu t + \frac{\pi}{2} \right)$

Г. $\xi(0, t) = a \sin \left(2\pi \nu t + \frac{\pi}{4} \right)$

Раздел «Электричество и магнетизм»

21. Потенциал поля $\varphi = (\vec{a}, \vec{r})$, где $\vec{a}$ - постоянный вектор. Поле какого вида описывает данный потенциал?

А. $\vec{E} = \vec{a}$

Б. $\vec{E} = -\vec{a}$

В. $\vec{E} = 3\vec{a}$

Г. $\vec{E} = -3\vec{a}$

22. Как ориентированы линии напряженности электростатического поля вблизи поверхности проводника?

А. перпендикулярны этой поверхности

Б. параллельны этой поверхности

В. ориентированы под углом, зависящем от величины напряжённости электрического поля

Г. ориентированы под углом, зависящем от величины диэлектрической проницаемости проводника

23. Линейные размеры плоского конденсатора увеличили в N раз. Во сколько раз изменится емкость конденсатора?

А. Увеличится в N раз

Б. Увеличится в N^2 раз

В. Уменьшится в N раз

Г. Уменьшится в N^2 раз

Ключи: 1Б, 2А, 3В, 4Б, 5Г, 6В, 7Г, 8Б, 9А, 10Г, 11Б, 12А, 13В, 14А, 15В, 16Г, 17Б, 18В, 19Б, 20А, 21Б, 22А, 23А.

Раздел «Молекулярная физика»

Идеальный газ

1. Как зависит давление воздуха у поверхности Земли от времени года?
А. зимой оно больше, т.к. молекулы воздуха сильнее «прижимаются к земле»;
Б. зимой оно меньше;
В. зимой оно больше, так как слабее тепловое движение;
Г. не зависит, т.к. масса атмосферы постоянна.

2. В двух одинаковых сосудах находится 100 г водорода и 100 г кислорода. В каком сосуде при одинаковой температуре давление больше?
А. в сосуде с кислородом, т.к. его молекулы тяжелее;
Б. в сосуде с водородом, т.к. в нём больше молекул;
В. в сосуде с водородом, т.к. его молекулы тяжелее;
Г. давление одинаково, т.к. масса газов в сосуде одинакова.

3. Когда применима классическая модель идеального газа?
А. при изучении любых процессов в разреженных газах;
Б. при изучении точки росы в разреженных газах;
В. при изучении процессов релаксации в разреженных газах;
Г. при вычислении давления равновесного разреженного газа при достаточно высоких температурах.

4. Определите молярную массу смеси, состоящей из 14 г азота и 11 г углекислого газа.
А. 25 г/моль;
Б. 36,8 г/моль;
В. 45,1 г/моль;
Г. 33,3 г/моль.

Броуновское движение

5. Участвует ли макроскопическое тело, помещенное в сосуд с газом, в тепловом движении?
А. нет, никогда не участвует, т.к. оно состоит из большого числа молекул;
Б. да, участвует, но только при очень высокой температуре;
В. да, всегда участвует;
Г. да, участвует, если оно имеет малые размеры и содержит относительно небольшое число молекул.

6. В воздухе находятся шарообразные броуновские частицы. Что больше: средняя энергия молекулы воздуха или средняя энергия броуновской частицы?
А. конечно, энергия броуновских частиц, т.к. они гораздо тяжелее молекул;
Б. в состоянии термодинамического равновесия средние энергии одинаковы;

- В. меньше средняя энергия молекул воздуха, т.к. они имеют меньшее число степеней свободы;
- Г. в состоянии термодинамического равновесия больше средняя энергия молекул воздуха, т.к. они имеют большее число степеней свободы.

Распределение молекул по скоростям

7. При данной температуре средняя скорость молекул воздуха равна 400 м/с. Сколько молекул в 1 кг воздуха имеет эту скорость?
- А. все;
- Б. ни одной;
- В. около 30 %;
- Г. около 70 %.
8. Если достигнуто состояние термодинамического равновесия, то каких молекул больше: которые движутся вверх или вниз?
- А. вниз, т.к. туда направлена сила тяжести;
- Б. одинаково, т.к. в состоянии равновесия отсутствуют макроскопические потоки;
- В. одинаково, т.к. пространство изотропно;
- Г. больше молекул движется в сторону внешней силы, действующей на частицы системы.
9. Как зависит вероятность появления у молекулы какого-то конкретного значения v_x от того, какую она имеет проекцию скорости v_y ?
- А. никак не зависит;
- Б. чем больше v_x , тем больше v_y ;
- В. чем меньше v_x , тем больше v_y ;
- Г. в случае отрицательных значений v_x чаще встречаются положительные значения v_y ;
10. Отметьте неправильные утверждения:
- А. для газа из более тяжелых молекул наиболее вероятная скорость меньше, чем для газа из более лёгких молекул;
- Б. с возрастанием температуры увеличивается наиболее вероятная скорость молекул;
- В. наиболее вероятная кинетическая энергия молекулы не зависит от вещества;
- Г. наиболее вероятная кинетическая энергия молекулы больше для веществ с более тяжёлыми молекулами.
11. Чему равна наиболее вероятная проекция скорости молекулы в равновесной системе?
- А. нулю;
- Б. $\sqrt{\frac{kT}{m}}$;
- В. $\sqrt{\frac{2kT}{m}}$;
- Г. $\frac{1}{2}\sqrt{\frac{kT}{m}}$.

12. Когда применимо распределение Максвелла?

- А. применимо только для идеального газа в состоянии термодинамического равновесия;
- Б. всегда применимо к плотным газам и жидкостям;
- В. применимо для всех веществ в состоянии термодинамического равновесия;
- Г. применимо для всех веществ в состоянии термодинамического равновесия, если движение молекул подчиняется законам классической механики.

Второе начало термодинамики

13. Как ведёт себя энтропия при очень низких температурах?

- А. согласно принципу Нернста она всегда быстро стремится к нулю;
- Б. она должна стремиться к нулю, но реально этому мешает замедление теплового движения при низких температурах;
- В. для чистых веществ она уменьшается, а для смесей может и увеличиваться;
- Г. поведение энтропии зависит от вещества.

14. Идеальный газ, находившийся в некотором состоянии, адиабатически расширили до некоторого объёма. Одинаково ли будет установившееся давление в конечном состоянии, если процесс: а) обратимый; б) необратимый?

- А. в первом случае давление больше, т.к. при обратимом процессе отсутствует теплопередача внутри системы;
- Б. одинаковы, т.к. начальный и конечный объёмы одинаковы;
- В. во втором случае давление больше, т.к. при необратимом процессе возрастает энтропия, а значит, в меньшей степени уменьшается температура;
- Г. в первом случае давление больше, т.к. при обратимом процессе отсутствуют любые потоки внутри системы.

15. 2 одинаковые системы совершают циклы: один обратимый, а другой необратимый. В каком случае энтропия изменяется сильнее?

- А. в случае обратимого цикла;
- Б. в случае необратимого цикла, т.к. при необратимом процессе энтропия изменяется сильнее, чем при обратимом;
- В. изменяется одинаково, если начальное и конечное состояния одинаковы;
- Г. в обоих случаях энтропия не изменяется.

Фазовые переходы

16. Что имеет более высокую температуру: жидкость или ее насыщенный пар?

- А. пар, он всегда горячее жидкости;
- Б. жидкость, ведь при испарении с поверхности жидкости молекулы теряют часть своей энергии;
- В. пар, т.к. при испарении с поверхности жидкости её покидают самые быстрые молекулы;
- Г. температуры одинаковы.

17. Можно ли превратить газ в жидкость при температуре выше критической?

- А. да, если приложить к ней большое давление;

- Б. идеальный газ нельзя, а неидеальный можно;
- В. нет, при больших давлениях получится сильно сжатый газ;
- Г. да, насыщенный пар всегда можно превратить в жидкость.

18. В каких случаях применяется уравнение Клапейрона - Клаузиуса?

- А. для любых фазовых переходов;
- Б. только для фазового перехода газ – жидкость;
- В. для фазовых переходов 1-го рода;
- Г. для перехода металла из нормального в сверхпроводящее состояние.

Явления переноса

19. Как зависит средняя длина свободного пробега от температуры газа?

- А. увеличивается с ростом температуры, т.к. молекулы движутся быстрее;
- Б. уменьшается с ростом температуры, т.к. столкновения происходят чаще;
- В. немного увеличивается с ростом температуры, т.к. уменьшается сечение столкновения;
- Г. немного уменьшается с ростом температуры, т.к. увеличивается сечение столкновения.

20. В результате некоторого процесса вязкость идеального газа увеличилась в 2 раза, а коэффициент диффузии – в 4 раза. Во сколько раз изменилось давление газа?

- А. увеличилось в 2 раза;
- Б. уменьшилось в 2 раза;
- В. увеличилось в 2,5 раза;
- Г. не изменилось.

Первое начало термодинамики

21. Чему равен показатель адиабаты для воздуха?

- А. в воздухе содержатся 3-атомные газы (H_2O , CO_2), поэтому показатель адиабаты близок к 1,33;
- Б. в воздухе содержатся 3-атомные газы (H_2O , CO_2), поэтому показатель адиабаты близок к 1,66;
- В. воздух состоит почти полностью из 2-атомных газов, поэтому показатель адиабаты примерно 1,4;
- Г. в воздухе содержатся много аргона (Ar), поэтому показатель адиабаты близок к 1,33.

22. Как изменится температура воздуха при выпускании его из накачанной автомобильной камеры?

- А. увеличится, т.к. молекулы воздуха взаимодействуют с молекулами вентиля камеры (что-то типа трения потока воздуха о вентиль);
- Б. не изменится, т.к. воздух по своим свойствам близок к идеальному газу;
- В. уменьшится, так как воздух расширяется;
- Г. уменьшится, т.к. может сконденсироваться входящий в состав воздуха водяной пар.

23. Существуют ли устройства, передающие теплоту от более холодного тела к более горячему?

- А. да, существуют, если при этом используется внешний источник энергии;

- Б. нет, т.к. от холодного тела к более горячему теплота никогда не передаётся;
В. это вечный двигатель, но он не существует;
Г. да, иногда тепло может так передаваться самопроизвольно, но нужно выждать некоторое время (для систем размером в 1 моль около года).
- Ключи: 1Г, 2Б, 3Г, 4Г, 5Г, 6Г, 7Б, 8Б, 9А, 10Г, 11А, 12Г, 13Б, 14В, 15Г, 16Г, 17В, 18В, 19В, 20А, 21В, 22В, 23А

Тест по разделу «Оптика» (Интерференция света)

1. При выдувании мыльного пузыря при некоторой толщине пленки он приобретает радужную окраску. Какое физическое явление лежит в основе этого наблюдения?

- А. дифракция;
Б интерференция;
В. поляризация;
Г. дисперсия.

2. По какой из формул определяется ширина Δx полосы на экране в опыте Юнга, если d – расстояние между когерентными источниками, L – расстояние от источников до экрана, λ – длина волны?

А. $\Delta x = \frac{Ld}{\lambda}$; Б. $\Delta x = \frac{\lambda L}{d}$; В. $\Delta x = \frac{\lambda d}{L}$; Г. $\Delta x = \frac{d}{\lambda L}$.

3. Во сколько раз изменится расстояние между соседними интерференционными полосами на экране в опыте Юнга, если зеленый светофильтр ($\lambda = 5 \cdot 10^{-5}$ см) заменить красным ($\lambda = 6 \cdot 10^{-5}$ см)?

- А. 7,5 раз; Б. 1,3 раза; В. 2 раза; Г. 8 раз.

4. Оптическая разность хода между световыми лучами в воздухе от двух когерентных источников $\Delta_1 = 400$ нм. Определить оптическую разность хода между этими лучами в стекле. Показатель преломления стекла $n = 1,4$.

- А. 285 нм; Б. 560 нм; В. 520 нм; Г. 300 нм.

5. Два когерентных луча максимально усиливают друг друга в некоторой точке. Какой толщины мыльную пленку нужно поставить нормально на пути одного из лучей, чтобы они максимально ослабили друг друга? Показатель преломления пленки $n = 1,33$; $\lambda = 0,8$ мкм.

- А. $2,78 \cdot 10^{-6}$ м; Б. $1,21 \cdot 10^{-6}$ м; В. $1,21 \cdot 10^{-5}$ м; Г. $3,48 \cdot 10^{-5}$ м.

6. В некоторую точку пространства приходят когерентные лучи с геометрической разностью хода 1,2 мкм, длина волны которых в вакууме 600 нм. Определить результат интерференции в этой точке пространства, если свет идет в воде ($n = 1,33$).

- А. минимум интенсивности;
Б. максимум интенсивности;
В. равномерная освещенность;
Г. среди ответов нет верного.

7. Разность хода двух интерферирующих волн равна $\lambda/4$. Разность фаз этих волн равна:

- А. $\frac{\pi}{4}$; Б. $\frac{\pi}{2}$; В. π ; Г. $\frac{3\pi}{4}$.

8. В результате наложения лучей от двух когерентных источников ($\lambda = 600$ нм) на экране наблюдается интерференционная картина. На сколько полос сместится интерференционная картина, если на пути одного из лучей перпендикулярно ему поставить стеклянную пластинку ($n = 1,6$) толщиной $d = 5$ мкм.

- А. 1; Б 4; В. 4; Г. 5.

9. Установка для получения колец Ньютона находится в воздухе и освещается падающим по нормали светом с длиной волны λ . Как изменится диаметр k -го кольца Ньютона, наблюдаемого в воздухе в отраженном свете, если вместо воздуха между линзой и пластинкой находится вода?

- А. не изменится;
Б. уменьшится;
В. увеличится;
Г. среди ответов нет правильного.

10. В воздухе интерферируют когерентные волны с частотой $5 \cdot 10^{14}$ Гц. Усилятся или ослабнет свет в точке, если разность хода лучей в ней равна 2,4 мкм? Почему?

- А. ослабнет, т.к. разность хода равна четному числу полуволн;
Б. ослабнет, т.к. разность хода равна нечетному числу полуволн;
В. усилятся, т.к. разность хода равна четному числу полуволн;
Г. усилятся, т.к. разность хода равна нечетному числу полуволн.

11. Соблюдается ли закон сохранения энергии в явлении интерференции света?

- А. соблюдается, т.к. световая энергия превращается в другие виды энергии;
Б. соблюдается, т.к. в области интерференции световая энергия перераспределяется;
В. не соблюдается, т.к. в точки минимумов освещенности световая энергия не поступает;
Г. не соблюдается, т.к. в точках максимумов освещенности световая энергия возрастает относительно суммарной световой энергии.

420 нм.

12. На экране видны чередующиеся темные и светлые полосы при наблюдении интерференции света от двух когерентных источников, находящихся в воздухе. Как изменится ширина полос, если свет будет распространяться в стекле ($n = 1,5$), причем все остальные условия останутся неизменными?

- А. уменьшится в 1,5 раза;
Б. увеличится в 1,5 раза;
В. не изменится;
Г. увеличится в 3 раза.

Ключи 1Б, 2Б, 3Б, 4Б, 5Б, 6А, 7Б, 8Г, 9Б, 10В, 11Б, 12А

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ПРОГРАММЕ КУРСА

Молекулярная физика

1. Какова физическая природа молекулярных сил?
2. Записать уравнение Ван-дер-Ваальса. Объяснить физический смысл поправок на объем и давление.
3. Внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса.
4. Проанализировать изотермы Ван-дер-Ваальса. Обсудить их сходство и различие с изотермами реального газа.
5. Какое состояние вещества называется критическим? В чем состоит явление критической опалесценции?
6. Что такое фаза вещества? Условие равновесия фаз химически однородного вещества.
7. В чем заключается правило Максвелла?
8. Какой газ называется насыщенным паром?
9. Записать и проанализировать уравнение Клапейрона-Клаузиуса.
10. Какие превращения относятся к фазовым переходам первого рода?
11. Что такое диаграмма состояния; тройная точка?
12. Объяснить механизм перехода газообразного состояния в жидкое, исследуя потенциал межмолекулярного взаимодействия.
13. Механизм возникновения поверхностного натяжения жидкости.
14. Формула Лапласа и капиллярные явления.
15. Кипение жидкости. Зависимость температуры кипения от давления,
16. Объяснить существование метастабильных состояний.

Электрическое поле в вакууме

1. Какие типы взаимодействий известны современной науке? Как осуществляется взаимодействие с полевой точки зрения?
2. Перечислить фундаментальные свойства электрических зарядов.
3. Сформулировать закон Кулона.
4. Что такое напряженность электрического поля; силовая линия?
5. В чем заключается принцип суперпозиции? Почему он выполняется для электрических полей?
6. Какое поле называется электростатическим?
7. Что такое диполь; дипольный момент? Какой диполь называется точечным?
8. Описать поведение диполя в электрическом поле.
9. Сформулировать теорему Гаусса для электрических полей в интегральной и дифференциальной форме.
10. Что такое потенциал электрического поля? Связь между напряженностью и потенциалом.

11. Чему равна циркуляция вектора напряженности электростатического поля?
12. Записать условие потенциальности электростатического поля в дифференциальной форме.

Электрическое поле в диэлектриках

1. Что такое вектор поляризации (или поляризованность) диэлектрика, диэлектрическая восприимчивость, диэлектрическая проницаемость?
2. В каком случае возникают объемные связанные заряды; чему равна их объемная плотность?
3. Что такое вектор электрического смещения (или вектор электрической индукции)?
4. Сформулировать теорему Гаусса для вектора электрического смещения в интегральной и дифференциальной форме.
5. Получить граничные условия на границе двух диэлектриков.

Проводники в электрическом поле

1. Что происходит при внесении проводника в электростатическое поле?
2. В чем заключается метод электростатической защиты?
3. Объясните возникновение "электрического ветра".
4. Что такое электрическая емкость проводника; емкость конденсатора?
5. Чему равна объемная плотность энергии электрического поля?

Постоянный электрический ток.

1. Что такое сила тока; плотность тока? Связь между ними.
2. Сформулировать закон сохранения заряда в интегральной и дифференциальной форме (уравнение непрерывности).
3. Дать определение электродвижущей силы.
4. Сформулировать закон Ома в интегральной и дифференциальной форме.
5. В чем заключается сходство и различие электрического поля стационарных токов и электростатического поля.
6. Сформулировать закон Джоуля-Ленца в интегральной и дифференциальной форме.

Магнитное поле в вакууме

1. В чем заключается релятивистская трактовка магнитных явлений? Что такое вектор магнитной индукции?
2. Сформулировать закон Био-Савара; закон Ампера.
3. Записать выражение для силы Лоренца.
4. Что такое магнитный момент;
5. Охарактеризовать поведение витка с током в магнитном поле.
6. Сформулировать теорему Гаусса для магнитных полей и теорему о циркуляции

вектора магнитной индукции.

Магнитное поле в веществе

1. Чем обусловлен магнетизм вещества; что такое токи намагничивания?
2. Что такое вектор намагничивания?
3. Ввести понятие вектора напряженности магнитного поля; сформулировать теорему о циркуляции вектора напряженности магнитного поля.
4. Дать определение магнитной восприимчивости и магнитной проницаемости вещества.
5. По какому признаку происходит разделение вещества на диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики?
6. Получить граничные условия на границе двух магнетиков.

Явление электромагнитной индукции. Уравнения Максвелла

1. Чем отличается трактовка явления электромагнитной индукции, сформулированная Максвеллом, от закона, полученного Фарадеем?
2. Записать закон электромагнитной индукции в дифференциальной форме.
3. Что такое индуктивность контура; чему равна электродвижущая сила самоиндукции?
4. Записать выражение для энергии магнитного поля.
5. Ввести понятие токов смещения.
6. Записать уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной форме. Объяснить физический смысл каждого уравнения.
7. Записать материальные уравнения в случае слабых полей, медленно меняющихся в пространстве и во времени.

Электромагнитные волны

1. Показать, что из уравнений Максвелла следует существование электромагнитных волн.
2. Записать выражение для векторов $\mathbf{E}(\mathbf{r},t)$ и $\mathbf{B}(\mathbf{r},t)$ в плоской гармонической электромагнитной волне.
3. Как соотносятся направления векторов $\mathbf{E}$, $\mathbf{B}$ и $\mathbf{k}$ в плоской гармонической электромагнитной волне?
4. Что такое вектор Умова-Пойтинга? Чему он равен для электромагнитной волны?
5. На какие диапазоны делится шкала электромагнитных волн? По какому принципу осуществляется это разделение?

Оптика

1. Что такое свет с классической точки зрения?
2. Что такое показатель преломления данной среды относительно вакуума?
3. Дать определение интенсивности света; светового луча.
4. Сформулировать в чем заключается явление интерференции и дифракции света.
5. Какие волны называются когерентными? Временная и пространственная когерентность световых волн.

6. Что такое оптическая разность хода? Сформулировать условия интерференционных максимумов и минимумов.
7. Каким образом в тонких пленках получаются полосы равного наклона и полосы равной толщины?
8. Сформулировать принцип Гюйгенса-Френеля. Что такое зоны Френеля?
9. Нарисовать угловое распределение интенсивности при дифракции света на одной щели и на дифракционной решетке, для которой число щелей равно четырем?
10. Что такое разрешающая способность спектрального прибора? Получить значение разрешающей способности для дифракционной решетки.
11. Что такое угловая дисперсия? Получить ее значение для дифракционной решетки.
12. Что такое голография? Каким образом получают голограммы и восстанавливают объемное изображение предметов?
13. Что такое поляризованный свет? Почему естественный свет не является поляризованным?
14. Что такое поляризатор? Чем отличается реальный поляризатор от идеального?
15. Сформулировать закон Малюса.
16. Что такое угол Брюстера?
17. Объяснить явление двойного лучепреломления в одноосных кристаллах.
18. Призма Николя.
19. Каким образом можно осуществить интерференцию поляризованного света?
20. Что такое дисперсия света?
21. Почему показатель преломления может оказаться меньше единицы?
22. Что такое групповая скорость? Записать формулу Релея.
23. Чем с классической точки зрения объясняется поглощение света в веществе?
24. Что такое тепловое излучение и чем оно отличается от других видов излучения?
25. Каким образом можно получить равновесное излучение и каковы его свойства?
26. Что такое спектральная плотность лучистой энергии?
27. Что такое испускательная способность тела; энергетическая светимость?
28. Сформулировать закон Кирхгофа.
29. В чем смысл введения понятия абсолютно черного тела?
30. Сформулировать эмпирические законы излучения абсолютно черного тела.
31. Как соотносятся теоретические выражения для спектральной плотности лучистой энергии с экспериментом?
32. Что такое фотон? Как соотносятся между собой классические и квантовые представления о свете?
33. Сформулировать законы фотоэффекта и объяснить их с квантовой точки зрения.
34. В чем заключается эффект Комптона?

Элементы ядерной физики

1. Что такое дефект массы ядра; чему равна энергия связи в ядре?
2. Объяснить на основании функциональной зависимости удельной энергии связи ядра от массового числа возможность явлений распада и синтеза ядер.
3. Модели атомного ядра.
4. Перечислить отличительные особенности сильного взаимодействия.
5. Что такое виртуальные частицы?
6. В чем согласно мезонной теории состоит механизм взаимодействия нуклонов в ядре?

7. Что такое естественная и искусственная радиоактивность; критическая масса?
8. Способы осуществления цепной реакции в атомной бомбе и ядерных реакторах.
9. Виды радиоактивного излучения; их воздействие на ткани живого организма.
10. Проблемы осуществления управляемой термоядерной реакции. ТОКАМАК.
11. По какому принципу элементарные частицы делятся на классы? Перечислить классы элементарных частиц.
12. Что собой представляют космические лучи?
13. Что такое антивещество?
14. Кварковая модель адронов.

ПРОВЕРКА ЗНАНИЯ ОСНОВНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, ЗАКОНОВ И ФОРМУЛ:

1. Что называется материальной точкой?
2. Дайте определение мгновенной скорости и мгновенного ускорения.
3. Как направлен вектор мгновенной скорости?
4. Что характеризуют нормальное и тангенциальное ускорения, как они направлены по отношению к траектории?
5. При каком движении нормальное ускорение равно нулю, а тангенциальное ускорение постоянно и отрицательно?
6. Материальная точка равномерно движется по окружности. Чему равно отношение линейной скорости материальной точки к ее угловой скорости?
7. В каких единицах выражается угловая скорость и угловое ускорение?
8. Что представляет собой производная угловой скорости по времени?
9. Что называется импульсом силы и импульсом тела?
10. Какой величиной является импульс тела: скалярной или векторной?
11. Как определяется импульс системы материальных точек?
12. В чем состоит значение первого закона Ньютона?
13. Всегда ли выполняется III закон Ньютона?
14. Какой физический смысл имеет масса?
15. Сформулируйте закон сохранения импульса.
16. Сформулируйте закон Гука.
17. Какая деформация называется упругой?
18. Сформулируйте принцип относительности Галилея.
19. Дайте определение работы и ее единицы.
20. Дайте определение единице мощности. Какова ее размерность?
21. Какие силы называются потенциальными?
22. Совершает ли работу результирующая всех сил, приложенных к телу, равномерно движущемуся по окружности?
23. Что называется потенциальной энергией? Приведите примеры.
24. Какие силы называются консервативными (потенциальными)? Приведите примеры.
25. Какое состояние системы называется состоянием устойчивого равновесия? Чему равна потенциальная энергия в этом состоянии?
26. Какая существует связь между силой и потенциальной энергией?
27. Что называется моментом инерции материальной точки и моментом инерции тела? В каких единицах выражается момент инерции?
28. Сколько значений момента инерции может иметь данное тело?
29. Как направлен вектор момента импульса материальной точки вращающейся относительно неподвижного начала?
30. Приведите примеры проявления закона сохранения момента импульса.
31. Чем отличается принцип относительности Эйнштейна от принципа относительности Галилея?

32. Сформулируйте постулаты специальной теории относительности.
33. Какие эксперименты подтверждают справедливость выводов СТО?
34. Какую роль играет изучение гармонических колебаний в общей теории колебаний?
35. Что характеризует логарифмический декремент затухания?
36. В чем заключается явление резонанса? Приведите примеры резонансных явлений.
37. Если затухание мало, что происходит с фазой вблизи резонанса?
38. Что такое волна?
39. Какую форму может принимать волновая поверхность?
40. В каких волнах имеет место перенос энергии, в каких нет?
41. Приведите примеры на применение уравнения Бернулли.
42. Каков характер зависимости сил межмолекулярного взаимодействия от расстояния между молекулами?
43. Чем обусловлено Броуновское движение?
44. Как влияют скорости хаотического движения молекул, составляющих тело, на его температуру?
45. Какими величинами (параметрами) характеризуется состояние газа?
46. Что называется удельной теплоемкостью вещества?
47. Какими законами описываются изотермические, изохорические и изобарические процессы?
48. Каким соотношением между собой связаны молярная газовая постоянная, постоянная Больцмана и число Авогадро?
49. Что называется идеальным газом?
50. Чем (по представлениям кинетической теории идеального газа) обусловлено давление, оказываемое газом, на помещенное в него тело?
51. Что называется числом степеней свободы тела?
52. От чего и как зависит внутренняя энергия моля газа?
53. Чему равна работа по расширению моля газа при нагревании на 1 К при постоянном давлении?
54. Что называется наиболее вероятной скоростью молекул газа?
55. Изменится ли площадь, ограниченная максвелловской кривой распределения числа молекул по скорости и осью скоростей, при изменении температуры газа?
56. Чем (по представлению молекулярно-кинетической теории строения вещества) объясняется различие между газом и жидкостью?
57. Каков характер теплового движения частиц (молекул, атомов, ионов) в газе и твердом теле?
58. Какую форму примет капля жидкости в условиях невесомости?
59. Что называется коэффициентом поверхностного натяжения жидкости?
60. Как зависит коэффициент поверхностного натяжения от температуры?
61. Два мыльных пузыря различного размера соединили между собой трубкой. Сохранятся ли после этого их размеры?
62. При каком условии жидкость смачивает твердое тело?
63. Как зависит высота поднятия (опускания) смачивающей (несмачивающей) жидкости в капилляре от его радиуса?
64. Чем обусловлены фазовые превращения вещества?
65. Какому агрегатному состоянию вещества соответствует тройная точка на диаграмме равновесия фаз?
66. Что представляет собой модель газа Ван-дер-Ваальса?
67. Почему испарение жидкости сопровождается ее охлаждением?
68. Что называется удельной теплотой испарения?
69. Можно ли вызвать кипение жидкости, не нагревая ее?
70. Что называется длиной свободного пробега молекул газа?

71. Чему равно произведение средней длины свободного пробега молекул газа на среднее число столкновений молекулы за секунду?
72. Как средняя длина свободного пробега молекул зависит от давления?
73. Перечислите явления переноса.
74. Переносом какой физической характеристики молекул газа обусловлено явление теплопроводности?
75. Что называется теплопроводностью?
76. Чем обусловлено внутреннее трение в газе?
77. Сформулируйте закон сохранения электрического заряда.
78. Что называется напряженностью электрического поля?
79. Чему равна напряженность электрического поля между двумя бесконечными параллельными плоскостями с одинаковыми по числовому значению и знаку поверхностными плотностями зарядов?
80. Сформулируйте теорему Остроградского-Гаусса для электрического поля в вакууме.
81. Сформулируйте определение потенциала точки электрического поля.
82. Чему равна работа по перемещению заряда вдоль эквипотенциальной поверхности?
83. Каким соотношением связаны между собой напряженность и потенциал электрического поля?
84. Четыре одинаковых конденсатора соединяются один раз параллельно, другой – последовательно. В каком случае и во сколько раз емкость блока будет больше?
85. Что характеризует относительная диэлектрическая проницаемость?
86. Каким соотношением связаны между собой напряженность электрического поля и вектор электрической индукции?
87. Что называется силой тока?
88. Что называется электродвижущей силой источника тока?
89. К полюсам генератора присоединили вольтметр. Покажет ли он точное значение э.д.с. генератора?
90. Несколько электронагревательных приборов, имеющих различные сопротивления, соединены между собой и включены в электросеть. В каком случае выделится наибольшее количество теплоты: 1) в случае их последовательного соединения; 2) в случае параллельного соединения?
91. Что называется магнитным полем?
92. Какую форму и ориентацию имеют линии магнитной индукции поля, создаваемого током в прямолинейном проводнике?
93. Чему равен и как направлен магнитный момент кругового тока?
94. Сформулируйте закон Ампера.
95. Из каких магнитных моментов состоит магнитный момент атома?
96. Что характеризует относительная магнитная проницаемость среды?
97. Каким соотношением связаны между собой вектор напряженности магнитного поля и вектор магнитной индукции?
98. Что называется точкой Кюри?
99. В каком случае магнитное поле не отклоняет движущуюся в нем заряженную частицу?
100. Электрон движется в магнитном поле по окружности. Как зависит период вращения электрона от его скорости?
101. Какая физическая величина выражается в веберах?
102. Какова первопричина возникновения э.д.с. индукции в замкнутом проводящем контуре? Перечислите конкретные случаи, когда в таком контуре индуцируется ток.
103. Проволочное кольцо вращается в магнитном поле вокруг оси, совпадающей с его диаметром и параллельной линиям индукции поля. Будет ли индуцироваться ток в кольце?
104. От чего зависит взаимная индуктивность двух контуров?

105. Напряженность магнитного поля возросла в четыре раза. Как изменилась при этом плотность его энергии?
106. Проводящий контур равномерно вращается в однородном магнитном поле. Какого характера ток возникает в контуре?
107. В ходе каких процессов происходит излучение электромагнитных волн?
108. Что такое свет?
109. Почему излучение светящихся тел и сред не обнаруживает асимметрии относительно луча?
110. Какое излучение называют когерентным? Что общего во всех методах получения когерентных волн в оптике? Приведите примеры.
111. Почему при наблюдении в белом свете интерференции в тонких пленках пленка должна быть тонкой?
112. Что называется длиной когерентности? Чему равна длина когерентности для квазимонохроматического излучения, занимающего спектральный интервал $\delta\lambda$ со средним значением длины волны λ ?
113. Сформулируйте принцип Гюйгенса–Френеля. В чем заключается его отличие от принципа Гюйгенса?
114. Объясните с помощью спирали Френеля дифракцию Френеля на круглом отверстии и непрозрачном экране.
115. При каких условиях происходят дифракция Френеля и дифракция Фраунгофера?
116. Чем отличаются дифракция от периодической структуры и от неупорядоченной структуры?
117. Что такое голография? Какими преимуществами обладает голография по сравнению с обычной фотографией?
118. Как при отражении естественного света получить полностью поляризованный свет? Можно ли получить полностью поляризованный свет при преломлении?
119. Какое явление в призме Николя позволяет разделить обыкновенный и необыкновенный лучи?
120. В результате каких воздействий можно наблюдать явление двойного преломления в прозрачных изотропных средах? Как это можно объяснить?
121. Какой физический смысл имеют вещественная и мнимая части комплексного показателя преломления?
122. В каких областях частот наблюдаются явления нормальной и аномальной дисперсии?
123. Какая модель среды рассматривается в классической теории дисперсии?
124. Какой физический смысл имеет плазменная частота?
125. В чем заключается физическая причина поглощения света?
126. Какой физический смысл имеет групповая скорость?
127. Почему рассеяние света не происходит в однородной среде? Какие среды называют мутными?
128. Как объяснить голубой цвет неба?
129. Как зависят интенсивность и поляризация рассеянного света от направления, если падающий свет: а) линейно поляризованный; б) естественный?
130. В чем отличие теплового излучения от всех других видов излучения?
131. У какого тела лучепоглощательная способность равна единице?
132. Сформулируйте закон Кирхгофа.
133. Что называется спектральной плотностью энергетической светимости тела?
134. Как и во сколько раз изменится полная лучеиспускательная способность абсолютно черного тела, если его термодинамическая температура возрастет вдвое?
135. Чему равно отношение кванта энергии излучения к частоте этого излучения?
136. Сформулируйте основные законы теплового излучения? Что называли «ультрафиолетовой катастрофой»?

137. Почему при выводе формулы Планк был вынужден прибегнуть к квантованию энергии?
138. Какими свойствами характеризуется вынужденное излучение? Сравните его со свойствами спонтанного излучения.
139. Как Вы понимаете корпускулярно-волновой дуализм? В каких явлениях проявляются квантовые свойства света?
140. Какие явления подтверждают существование у фотона импульса?
141. На каких основных идеях основывается принцип работы лазера?
142. Какие свойства – волновые или корпускулярные – обнаруживает свет в явлении фотоэффекта?
143. Сформулируйте три закона фотоэффекта.
144. Что такое красная граница фотоэффекта?
145. Что такое волны де Бройля?

Ответ на вопросы программы курса и на проверочные вопросы должен содержать запись необходимых формул (уравнений), пояснение используемых обозначений и (при необходимости) используемой системы единиц, объяснение физического смысла написанных формул (уравнений) или (если явно указано в вопросе) объяснение сущности описываемых ими физических эффектов.

Информация о разработчиках

Нявро Вера Федоровна, канд. физ.-мат. наук, доцент, кафедра общей и экспериментальной физики Национального исследовательского Томского государственного университета, доцент.