

Министерство образования Российской Федерации
Архангельский государственный технический университет

**КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ. ОПТИКА.
АТОМНАЯ ФИЗИКА**

Методические указания к выполнению контрольного задания № 2
для студентов–заочников
специальности 260400 “Лесное и лесопарковое хозяйство”

Архангельск
2004

Рассмотрены и рекомендованы к изданию
методической комиссией факультета промышленной энергетики
Архангельского государственного технического университета
2004 г.

Составители:

В.В. Аксенов, доц., канд.техн. наук;

А.Г. Корельская, асс.;

Л. Н. Фролова, ст.преп.

Рецензент

В.К. Любов, доц., канд.техн. наук

УДК 530.1

Аксенов В.В., Корельская А.Г., Фролова Л.Н. Колебания и волны. Оптика. Атомная физика: Методические указания к выполнению контрольного задания № 2 для студентов-заочников специальности 260400 “Лесное и лесопарковое хозяйство”. - Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2004. - 35 с.

Подготовлены кафедрой физики АГТУ.

В указаниях приведены основные понятия и формулы, необходимые для решения задач по колебательным и волновым процессам, оптике и атомной физике, имеются примеры решения задач и контрольное задание. Предназначены для студентов специальности 260400 “Лесное и лесопарковое хозяйство” заочной формы обучения.

Ил.6. Табл.7. Библиогр. 2 назв.

© Архангельский государственный
технический университет, 2004

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Основные законы и формулы

1. Уравнение гармонических колебаний материальной точки:

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

где x – смещение точки от положения равновесия; A – амплитуда, $(\omega t + \varphi_0)$ – фаза, φ_0 – начальная фаза, t – время.

2. Циклическая частота колебаний:

$$\omega = 2\pi\nu$$

или

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

где ν – частота и T – период колебаний.

3. Период колебаний пружинного маятника массой m :

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

где k – коэффициент жесткости пружины.

4. Период колебаний математического маятника длиной l :

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

где g – ускорение свободного падения.

5. Период колебаний физического маятника массой m , имеющего момент инерции J , относительно оси, проходящей через центр качаний на расстоянии « a » от центра масс маятника:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mga}}.$$

6. Длина волны:

$$\lambda = \nu T,$$

где ν – фазовая скорость волны, T – период колебаний материальных точек среды, в которой распространяется волна.

7. Уравнение плоской волны, распространяющейся в положительном направлении оси x :

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

где $\psi(x, t)$ – смещение материальных точек среды на расстоянии « x » от источника колебаний в момент времени t ; A – амплитуда, ω – циклическая частота, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число, $(\omega t - kx + \varphi_0)$ – фаза, φ_0 – начальная фаза колебаний.

8. Период собственных электромагнитных колебаний в контуре индуктивностью L и емкостью C :

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

Примеры решения задач

Пример 1. Определить максимальные значения скорости и ускорения материальной точки, совершающей гармонические колебания с амплитудой $A=3,0$ см и циклической частотой $\omega = \pi/2$ с⁻¹.

Дано: $A=3,0$ см = $3,0 \cdot 10^{-2}$ м, $\omega = \pi/2$ с⁻¹.

Найти: v_{max} , a_{max} .

Решение. Используя уравнение гармонических колебаний $x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$, найдем скорость колеблющейся материальной точки как первую производную от смещения x по времени t :

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt} [A \cos(\omega t + \varphi_0)] = -A\omega \sin(\omega t + \varphi_0)$$

Максимальное значение скорости v_{max} будет определяться максимальным значением $\sin(\omega t + \varphi_0)$, которое, как известно, равно единице.

Поэтому

$$v_{max} = A\omega .$$

Ускорение колеблющейся материальной точки найдем как первую производную от скорости v по времени t :

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt} [-A\omega \sin(\omega t + \varphi_0)] = -A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi_0) .$$

Максимальное значение ускорения a_{max} будет определяться максимальным значением $\cos(\omega t + \varphi_0)$, которое, как известно, равно единице.

Поэтому

$$a_{max} = A\omega^2 .$$

Произведем расчет искомых величин, используя условие задачи:

$$v_{max} = 3,0 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{1}{2} \cdot 3,14 = 4,7 \cdot 10^{-2} \text{ м/с} = 4,7 \text{ см/с} ;$$

$$a_{max} = 3,0 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{1}{4} \cdot (3,14)^2 = 7,4 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}^2 = 7,4 \text{ см/с}^2 .$$

Проверим размерность:

$$[v_{max}] = [A][\omega] = \text{м} \cdot \text{с}^{-1} = \text{м/с}$$

$$[a_{max}] = [A][\omega^2] = \text{м} \cdot \text{с}^{-2} = \text{м/с}^2$$

В дальнейшем проверка размерности производиться не будет, так как она осуществляется аналогичным образом.

Ответ: $v_{max} = 4,7$ см/с; $a_{max} = 7,4$ см/с².

Пример 2. Если увеличить массу груза, подвешенного к спиральной пружине, на $0,6$ кг, то период колебаний груза возрастает в 2 раза. Определить массу первоначально подвешенного груза.

Дано: $m=0,6$ кг, $T/T_0=2$.

Найти: m_0 .

Решение. Рассматривая груз на пружине как пружинный маятник, запишем формулы для расчета периода колебаний такого маятника с исходным грузом m_0 :

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m_0}{k}}$$

и после добавления груза массой m :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m+m_0}{k}}.$$

Следовательно,

$$\frac{T}{T_0} = \sqrt{\frac{m+m_0}{m_0}}.$$

Выражая из последней формулы m_0 , получим:

$$m_0 = \frac{m}{(T/T_0)^2 - 1}.$$

Произведем расчет искомой величины:

$$m_0 = \frac{0,6}{(2)^2 - 1} = 0,2 \text{ кг}.$$

Ответ: $m_0=0,2$ кг

Пример 3. Определить фазовую скорость v плоской волны в упругой среде, если разность фаз колебаний $\Delta\varphi$ двух точек среды, отстоящих друг от друга на расстояние $\Delta x=10$ см, равна $\pi/3$, частота колебаний $\nu=2,5$ Гц.

Дано: $\Delta x=10 \text{ см}=0,10 \text{ м}$, $\Delta\varphi=\pi/3$, $\nu=2,5 \text{ Гц}$.

Найти: v .

Решение. Запишем, используя уравнение плоской волны, уравнение, описывающее колебательный процесс в произвольный момент времени t на расстоянии x_1 от источника колебаний:

$$\Psi(x_1, t) = A \cos(\omega t - kx_1 + \varphi_0),$$

и на расстоянии x_2 от этого источника:

$$\Psi(x_2, t) = A \cos(\omega t - kx_2 + \varphi_0)$$

Тогда разность фаз $\Delta\varphi$ колебаний в точках x_2 и x_1 , отстоящих друг от друга на расстоянии

$$\Delta x = x_2 - x_1,$$

определится по формуле:

$$\Delta\varphi = k(x_2 - x_1) = k\Delta x.$$

Так как волновое число

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{vT} = \frac{2\pi\nu}{v},$$

то

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

Следовательно,

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

Произведем расчет искомой величины:

$$v = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5}{(3,14/3)} \cdot 0,10 = 15 \text{ м/с} .$$

Ответ: $v = 15 \text{ м/с}$.

Пример 4. В колебательном контуре имеется конденсатор электроемкостью $C = 500 \text{ нФ}$ и катушка индуктивности длиной $l = 40 \text{ см}$ и площадью поперечного сечения $S = 5,0 \text{ см}^2$. Катушка содержит $N = 1000$ витков провода. Найти период колебаний в контуре. Относительная магнитная проницаемость среды в катушке $\mu = 1,0$. Активным сопротивлением пренебречь.

Дано: $C = 500 \text{ нФ} = 500 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$, $l = 40 \text{ см} = 0,40 \text{ м}$, $S = 5,0 \text{ см}^2 = 5,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, $N = 1000$, $\mu = 1,0$.

Найти: T .

Решение. В нашем случае длина катушки l гораздо больше ее диаметра d . Следовательно, индуктивность L катушки индуктивности может быть найдена по формуле

$$L = \mu\mu_0 \frac{N^2}{l} S ,$$

где μ_0 – магнитная постоянная (см. Приложение, таблица 1).

Поэтому, используя формулу для расчета собственных колебаний в колебательном контуре, получим:

$$T = 2\pi\sqrt{LC} = 2\pi\sqrt{\mu\mu_0 \frac{N^2}{l} SC} .$$

Вычислим период колебаний:

$$T = 2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{1,0 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{(1000)^2}{0,40} \cdot 5,0 \cdot 10^{-4} \cdot 500 \cdot 10^{-12}} = 5,6 \cdot 10^{-3} \text{ с} = 5,6 \text{ мс} .$$

Ответ: $5,6 \text{ мс}$.

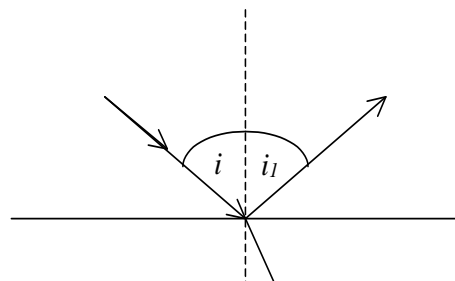
ОПТИКА

Основные законы и формулы

Геометрическая оптика

1. Первый закон геометрической оптики:

угол отражения i_l равен углу



падения i (рис. 1),

2. Второй закон геометрической оптики:

отношение синуса угла падения $\sin i$ к синусу угла преломления $\sin r$ (рис. 1) равно относительному показателю преломления второй среды относительно первой:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{21} .$$

Величина

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} ,$$

где n_2 – абсолютный показатель преломления второй среды (т.е. среды, в которой распространяется свет после преломления), а n_1 – первой (т.е. среды, в которой распространялся свет до преломления)

При этом

$$n_1 = \frac{c}{v_1} ,$$

а

$$n_2 = \frac{c}{v_2} ,$$

где c - скорость света в вакууме, v_1 и v_2 – соответственно скорости света в первой и второй средах.

3. Формула тонкой линзы:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} ,$$

где d – расстояние от предмета (отрезок

AB на рис.2) до оптического центра линзы (точка O, рис.2), f – расстояние от оптического центра до изображения (отрезок A'B'); F – фокусное расстояние линзы (отрезок OF, рис.2).

при этом в правой части последней формулы или перед слагаемыми в левой части ставится знак плюс, если эти величины являются действительными, и знак минус, если они являются мнимыми.

4. Оптическая сила линзы:

$$D = \frac{1}{F} .$$

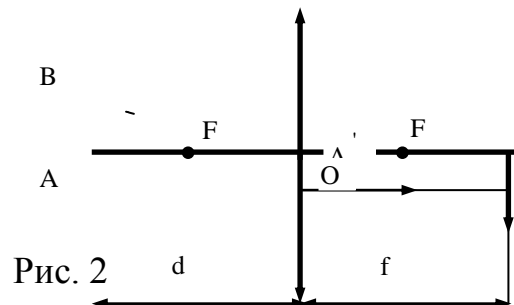


Рис. 2

5. Линейное увеличение (в дальнейшем просто увеличение) линзы (рис.2):

$$\Gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{f}{d} .$$

6. Увеличение лупы:

$$\Gamma = \frac{L}{F} ,$$

где $L = 0,25 \text{ м}$ – расстояние наилучшего зрения; F – фокусное расстояние лупы.

Волновая оптика

Интерференция света

1. Оптическая длина пути световой волны:

$$L = nl ,$$

где l – геометрическая длина пути световой волны в среде с абсолютным показателем преломления n .

2. Оптическая разность хода двух световых когерентных волн:

$$\Delta L = L_1 - L_2$$

Здесь L_1 – оптическая длина пути первой, а L_2 – второй волны.

3. Условие максимумов интенсивности света при интерференции когерентных волн длиной λ :

$$\Delta L = \pm 2m \frac{\lambda}{2} ,$$

где $m = 0, 1, 2, 3, \dots$

4. Условие минимумов интенсивности света при интерференции когерентных волн длиной λ :

$$\Delta L = \pm (2m + 1) \frac{\lambda}{2} ,$$

где $m = 0, 1, 2, 3, \dots$

5. Оптическая разность хода ΔL световых волн длиной λ , отраженных от верхней и нижней поверхностей тонкой плоскопараллельной пластинки или пленки толщиной d , находящейся в воздухе:

$$\Delta L = 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \frac{\lambda}{2} ,$$

где i – угол падения луча на пластинку или пленку.

Слагаемое $\lambda/2$ в этой формуле учитывает изменение оптической длины пути световой волны при отражении волны от оптически более плотной среды, т.е. среды, имеющей больший показатель преломления.

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

$$r = \sqrt{(2m-1) \frac{R \lambda}{n 2}},$$

где m – номер кольца ($m = 1, 2, 3, \dots$), R – радиус кривизны поверхности линзы, n – показатель преломления среды в кольцевом зазоре между линзой и пластиной, λ – длина волны света.

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

$$r = \sqrt{\frac{m\lambda R}{n}}.$$

Дифракция света

8. Условие главных максимумов интенсивности при дифракции света на дифракционной решетке при нормальном падении лучей:

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

где d – постоянная (период) решетки; φ – угол дифракции; $m = 1, 2, 3, \dots$ – номер дифракционного максимума (порядок спектра); λ – длина волны

9. Разрешающая сила дифракционной решетки:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta \lambda} = mN$$

Здесь $\Delta \lambda$ – наименьшая разность длин волн соседних спектральных линий, при которой эти линии могут быть видны отдельно в спектре; N – число штрихов решетки.

10. Угловая дисперсия дифракционной решетки:

$$D_{\varphi} = \frac{m}{d \cos \varphi}.$$

11. Линейная дисперсия дифракционной решетки:

$$D_l = D_{\varphi} F,$$

где F – фокусное расстояние линзы, в фокальной плоскости которой наблюдается дифракционная картина.

Поляризация света

12. Закон Брюстера:

$$\operatorname{tg} i_B = n_{21}$$

Здесь i_B – угол падения, при котором отраженная световая волна полностью поляризована (угол Брюстера); n_{21} – относительный показатель преломления среды, от которой происходит отражение света.

13. Закон Малюса:

$$I = I_0 \cos^2 \alpha,$$

где I – интенсивность плоскополяризованного света, вышедшего из анализатора; I_0 – интенсивность плоскополяризованного света, падающего на анализатор; α – угол между плоскостями пропускания поляризатора и анализатора.

14. Угол поворота φ плоскости поляризации:

- в твердой оптически активной среде толщиной l , имеющей удельное вращение (постоянную вращения) $[\alpha]$

$$\varphi = [\alpha]l;$$

- в жидкой оптически активной среде плотностью ρ

$$\varphi = [\alpha]\rho l;$$

- в растворе оптически активного вещества с массовой концентрацией „ C ”

$$\varphi = [\alpha]Cl.$$

Квантовая оптика

Тепловое излучение. Фотоны

1. Закон Стефана-Больцмана:

$$R_s = \sigma T^4,$$

где R_s и T – соответственно, энергетическая светимость и термодинамическая температура абсолютно черного тела; σ – постоянная Стефана – Больцмана.

2. Первый закон Вина:

$$\lambda_m = \nu_1/T$$

Здесь λ_m – длина волны, на которую приходится максимальное значение спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела при термодинамической температуре тела T ; ν_1 – первая константа Вина.

3. Второй закон Вина:

$$(r_{\lambda,T})_{max} = \nu_2 T^5,$$

где $(r_{\lambda,T})_{max}$ – максимальное значение спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела при термодинамической температуре T ; ν_2 – вторая константа Вина.

4. Энергия ε , масса m и импульс p фотона выражаются соответственно формулами:

$$\varepsilon = h\nu;$$

$$m = \frac{h\nu}{c^2};$$

$$p = \frac{h\nu}{c},$$

где h – постоянная Планка; ν – частота излучения; c – скорость света в вакууме.

Внешний фотоэффект

5. Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта:

$$\varepsilon = A + \frac{mv_{\max}^2}{2},$$

где ε – энергия фотона, падающего на поверхность металла; A – работа выхода электрона из металла; m – масса электрона; v_{\max} – максимально возможная скорость покидающих металл электронов.

6. Красная граница фотоэффекта определяется соотношением:

$$\nu_0 = \frac{A}{h}$$

или

$$\lambda_0 = \frac{hc}{A},$$

где ν_0 , λ_0 – соответственно, минимальная частота и максимальная длина волны электромагнитного излучения, при которых еще возможен фотоэффект.

Давление света

7. Облученность E поверхности площадью S , на которую за время Δt нормально падает N фотонов энергией $\varepsilon = h\nu$ каждый:

$$E = \frac{Nh\nu}{S\Delta t}$$

8. Давление P , производимое светом при нормальном падении лучей на поверхность:

$$P = \frac{E}{c}(1 + \rho),$$

где c – скорость света в вакууме, ρ – коэффициент отражения света поверхностью.

Примеры решения задач

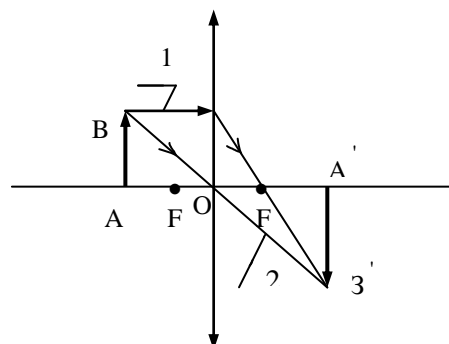
Пример 5. Тонкая собирающая линза дает на экране изображение предмета с линейным увеличением $\Gamma = 2,0$. Расстояние от предмета до линзы превышает ее фокусное расстояние на величину $a = 6,0$ мм. Найти расстояние f от линзы до изображения.

Дано: $\Gamma = 2,0$; $a = 6,0$ мм = $6,0 \cdot 10^{-3}$ м

Найти: f .

Решение.

Схематично изобразим предмет в виде вертикальной стрелки АВ, перпендикулярной главной оптической оси линзы (рис. 3), полагая, что начало стрелки (точка А) находится на этой оси. Следовательно-



но, изображение точки А (точка А' на рис. 3) также будет находиться на главной оптической оси линзы.

Рис. 3

Положение изображения точки В (точка В' на рис. 3) найдем как точку пересечения лучей 1 и 2, первый из которых, выйдя из точки В параллельно главной оптической оси линзы, пройдет после преломления через главный фокус линзы (точка F, рис. 3), а второй, пройдя через оптический центр линзы (точка О, рис. 3), не изменит своего направления.

Опустив из точки В' перпендикуляр на главную оптическую ось, найдем положение изображения точки А (точка А' на рис. 3).

Запишем формулу тонкой линзы:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} . \quad (1)$$

Учитывая, что по условию задачи

$$d = a + F ,$$

получим

$$1/d + 1/f = 1/(d - a) . \quad (2)$$

Умножим правую и левую часть уравнения (2) на f :

$$f/d + 1 = f/(d - a) , \quad (3)$$

а затем преобразуем правую часть полученного таким образом уравнения (3), разделив числитель и знаменатель правой части на f :

$$\frac{f}{d - a} = \frac{1}{\frac{d}{f} - \frac{a}{f}} .$$

Следовательно, уравнение (2) примет вид:

$$\frac{f}{d} + 1 = \frac{1}{\frac{d}{f} - \frac{a}{f}} . \quad (4)$$

Так как увеличение

$$\Gamma = f/d , \quad (5)$$

то с учетом формулы (5) уравнение (4) преобразуется к виду:

$$\Gamma + 1 = \frac{1}{\frac{1}{\Gamma} - \frac{a}{f}} .$$

Следовательно,

$$1/\Gamma - 1/(\Gamma + 1) = a/f$$

Поэтому

$$1/[\Gamma(\Gamma + 1)] = a/f .$$

Отсюда

$$f = a\Gamma(\Gamma + 1) .$$

Произведем расчет искомой величины, используя условие задачи:

$$f = 6,0 \cdot 10^{-3} \cdot 2,0 \cdot (2,0 + 1,0) = 36 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 36 \text{ мм} .$$

Ответ: $f = 36 \text{ мм}$.

Пример 6. Тонкая пленка воды с показателем преломления $n=1,33$ находится на поверхности стекла с показателем преломления $n_1=1,50$. На нее падает свет с длиной волны $\lambda = 0,68 \text{ мкм}$ под углом падения $i = 30^\circ$. Найти минимальную толщину пленки d_{\min} , при которой будет происходить максимальное усиление отраженного от пленки света.

Дано: $\lambda = 0,68 \text{ мкм} = 0,68 \cdot 10^{-6} \text{ м}$; $i = 30^\circ$; $n = 1,33$; $n_1 = 1,50$.

Найти: d_{\min} .

Решение. Максимальное усиление света будет происходить в том случае, если на оптической разности хода лучей, отраженных от верхней и нижней границ пленки, будет укладываться четное число длин полу-волн.

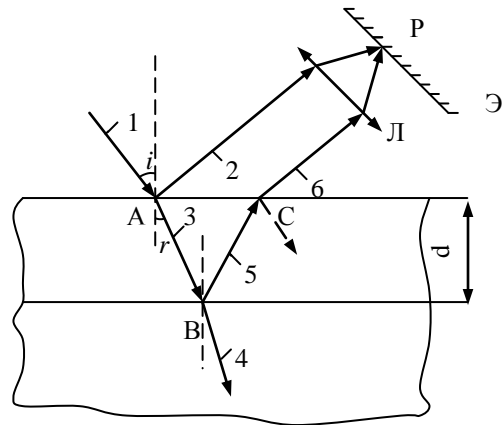


Рис.4

Пусть, например, один из лучей (луч 1, рис.4) светового потока падает на пленку в точку А, где часть света отразится (луч 2), а часть преломится (луч 3, рис.2).

При падении луча 3 на нижнюю границу пленки (точка В, рис. 4) часть света снова преломится (луч 4), уйдет в стекло и не будет участвовать в интерференции, а часть – отразится от нижней границы пленки в точке В (луч 5, рис.4). На верхней границе пленки, в точке С, часть света снова отразится (этот луч на рисунке 4 показан пунктиром), а часть преломится (луч 6, рис. 4). Лучи 2 и 6, пройдя через собирающую линзу „Л”, будут интерферировать на экране „Э” в точке Р, установленном в фокальной плоскости этой линзы.

Так как показатель преломления воздуха ($n_0 = 1$) меньше, чем пленки ($n = 1,33$), а показатель преломления пленки меньше, чем у стекла ($n_1 = 1,50$), то фаза колебаний будет меняться на π при отражении света как в точке А, так и в точке В. Поэтому оптическая разность хода лучей 2 и 6 определится следующим образом:

$$\Delta L = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} \quad (1)$$

Так как по условию задачи эти лучи при интерференции должны максимально усиливать друг друга, следовательно

$$\Delta L = 2m \frac{\lambda}{2} = m\lambda \quad (2)$$

Приравняв правые части формул (1) и (2), найдем толщину пленки d :

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

Минимальная толщина пленки наблюдается при $m = 1$.
Следовательно,

$$d_{\min} = \frac{\lambda}{2\sqrt{n^2 - \sin^2 i}}$$

Произведем расчет искомой величины:

$$d_{\min} = \frac{0,68 \cdot 10^{-6}}{2,0\sqrt{(1,33)^2 - (0,50)^2}} = 0,28 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 0,28 \text{ мкм}$$

Ответ: $d_{\min} = 0,28 \text{ мкм}$.

Пример 7. На дифракционную решетку, имеющую 100 штрихов на 1 мм. длины, падает нормально свет длиной волны $\lambda = 500 \text{ нм}$. Определить угол φ , под которым расположен максимум третьего порядка.

Дано: $n = 100 \text{ мм}^{-1} = 10^5 \text{ м}^{-1}$; $\lambda = 500 \text{ нм} = 5,00 \cdot 10^{-7} \text{ м}$; $m = 3$.

Найти: φ .

Решение. Пусть третий главный максимум дифракционной решетки (Д.Р., рис. 5) наблюдается под углом φ на экране Э в точке Р, расположенном в фокальной плоскости собирающей линзы Л.

Запишем условие главных максимумов интенсивности света для дифракционной решетки:

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

Учитывая связь между периодом решетки d и числом штрихов на единицу длины n

$$d = \frac{1}{n},$$

получим:

$$\frac{1}{n} \sin \varphi = m\lambda.$$

Отсюда

$$\sin \varphi = nm\lambda.$$

Поэтому

$$\varphi = \arcsin(nm\lambda)$$

Произведем расчет искомой величины:

$$\varphi = \arcsin(10^5 \cdot 3,0 \cdot 5,00 \cdot 10^{-7}) = 8,6^\circ$$

Ответ: $\varphi = 8,6^\circ$.

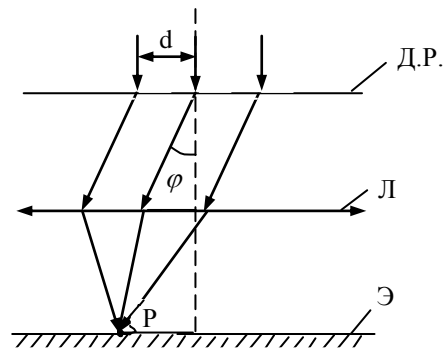
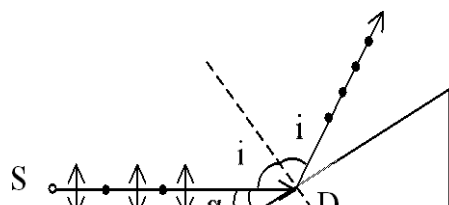


Рис.5

Пример 8. На стеклянную призму



(рис.6) с показателем преломления $n = 1,6$ падает параллельный пучок естественного света. При этом направление распространения света SD параллельно основанию призмы. Определить двугранный угол Θ призмы, если отраженный пучок света полностью поляризован, а призма находится в воздухе.

Дано: $n = 1,6$.

Найти: Θ .

Решение: Так как отраженный луч полностью поляризован, следовательно, свет падает на призму под углом Брюстера i_B .

Угол падения $i = i_B$ найдем, восстановив перпендикуляр в точке падения луча (точка D на рис. 6).

Как следует из рис.6 и условия задачи, угол $\Theta = \alpha$ как углы с соответственно параллельными сторонами.

Следовательно,

$$i = 90^\circ - \Theta.$$

Поэтому по закону Брюстера:

$$\operatorname{tg}(90^\circ - \Theta) = \frac{n}{n_0},$$

где $n_0 \approx 1$ – показатель преломления воздуха.

По формулам приведения:

$$\operatorname{tg}(90 - \Theta) = \operatorname{ctg}\Theta.$$

Поэтому

$$\operatorname{ctg}\Theta = n.$$

Следовательно,

$$\Theta = \operatorname{arcctg} n.$$

Произведем расчет искомой величины:

$$\Theta = \operatorname{arcctg}(1,6) = 32^\circ.$$

Ответ: $\Theta = 32^\circ$.

Пример 9. Вследствие изменения температуры абсолютно черного тела максимум его спектральной плотности энергетической светимости $(r_{\lambda,T})_{\max}$ сместился с $\lambda_{1m} = 2,4 \text{ мкм}$ на $\lambda_{2m} = 0,80 \text{ мкм}$. Как и во сколько раз изменилось максимальное значение спектральной плотности энергетической светимости этого тела?

Дано: $\lambda_{1m} = 2,4 \text{ мкм} = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}$; $\lambda_{2m} = 0,80 \text{ мкм} = 0,80 \cdot 10^{-6} \text{ м}$.

Найти: $n = (r_{\lambda_2, T_2})_{\max} / (r_{\lambda_1, T_1})_{\max}$.

Решение. В соответствии со вторым законом Вина

$$(r_{\lambda_1, T_1})_{\max} = \epsilon_2 T_1^5 \quad (1)$$

$$(r_{\lambda_2, T_1})_{max} = \epsilon_2 T_2^5 \quad (2)$$

где $(r_{\lambda_1, T_1})_{max}$ - максимальное значение спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела при термодинамической температуре T_1 , а $(r_{\lambda_2, T_2})_{max}$ - при термодинамической температуре T_2 ; ϵ_2 - вторая константа Вина.

Разделив почленно второе уравнение на первое, получим:

$$n = (r_{\lambda_2, T_2})_{max} / (r_{\lambda_1, T_1})_{max} = (T_2 / T_1)^5 \quad (3)$$

Согласно первому закону Вина:

$$\lambda_{1m} = \frac{\epsilon_1}{T_1}, \quad (4)$$

$$\lambda_{2m} = \frac{\epsilon_1}{T_2}, \quad (5)$$

где ϵ_1 - первая константа Вина.

Разделив почленно четвертое уравнение на пятое, получим:

$$\frac{\lambda_{1m}}{\lambda_{2m}} = \frac{T_2}{T_1}. \quad (6)$$

Поэтому уравнение (3) с учетом формулы (6) преобразуется к виду

$$n = (\lambda_{1m} / \lambda_{2m})^5.$$

Произведем расчет искомой величины:

$$n = \left(\frac{2,4 \cdot 10^{-6}}{0,80 \cdot 10^{-6}} \right)^5 = 243.$$

Следовательно, спектральная плотность энергетической светимости тела увеличилась в 243 раза.

Ответ: $n = 243$.

Пример 10. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла соответствует длине волны света $\lambda_0 = 500 \text{ нм}$. Определить максимальную скорость v_{max} электронов, вырывааемых из этого металла светом с длиной волны $\lambda = 400 \text{ нм}$.

Дано: $\lambda_0 = 500 \text{ нм} = 5,00 \cdot 10^{-7} \text{ м}$; $\lambda = 400 \text{ нм} = 4,00 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

Найти: v_{max} .

Решение. Запишем уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта:

$$\epsilon = A + \frac{m v_{max}^2}{2}.$$

Учитывая, что энергия ϵ кванта света

$$\epsilon = h \nu = h \frac{c}{\lambda},$$

а также связь между длиной волны λ_0 , соответствующей красной границе фотоэффекта и работой выхода A

$$A = h \frac{c}{\lambda_0},$$

получим:

$$\frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda_0} + \frac{m v_{\max}^2}{2}$$

Следовательно,

$$hc \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \right) = \frac{m v_{\max}^2}{2}.$$

Отсюда скорость v_m определится следующим образом:

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{2hc}{m} \left(\frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda \lambda_0} \right)}.$$

Произведем расчет искомой величины:

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{9,1 \cdot 10^{-31}} \cdot \left(\frac{5,00 \cdot 10^{-7} - 4,00 \cdot 10^{-7}}{4,00 \cdot 10^{-7} \cdot 5,00 \cdot 10^{-7}} \right)} = 4,7 \cdot 10^5 \text{ м/с}.$$

Ответ: $v_m = 4,7 \cdot 10^5 \text{ м/с}$.

Пример 11. На зеркальную поверхность площадью $S = 6 \text{ см}^2$ оказывается световое давление $p = 9 \text{ мкПа}$. Считая, что свет падает на такую поверхность нормально, вычислить количество световой энергии w , падающей каждую секунду на такую поверхность.

Дано: $S = 6 \text{ см}^2 = 6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$; $p = 9 \text{ мкПа} = 9 \cdot 10^{-6} \text{ Па}$; $\rho = 1$.

Найти: w .

Решение. Как известно, световое давление при нормальном падении света на поверхность

$$p = \frac{E}{c} (1 + \rho), \quad (1)$$

где облученность поверхности

$$E = \frac{N h \nu}{S \Delta t}. \quad (2)$$

Искомую величину w можно найти следующим образом:

$$w = \frac{N h \nu}{\Delta t}, \quad (3)$$

т. к. она численно равна энергии, которую получает поверхность в результате падения на нее N квантов света с энергией $\varepsilon = h\nu$ каждый в единицу времени.

Подставив выражение (3) в формулу (2), получим

$$E = \frac{w}{S}. \quad (4)$$

Следовательно, после подстановки соотношения (4) в уравнение (1) будем иметь

$$p = \frac{w}{cS} (1 + \rho).$$

Отсюда выражаем искомую величину:

$$w = \frac{pcS}{1 + \rho} .$$

Произведем расчет:

$$w = \frac{9 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 6 \cdot 10^{-4}}{1 + 1} = 0,8 \text{ Вт} .$$

Ответ: $w = 0,8 \text{ Вт}$.

АТОМНАЯ ФИЗИКА

Основные законы и формулы

Атом водорода

1. Серийная формула, определяющая длину волны света, излучаемого или поглощаемого атомом водорода при переходе электрона с одной орбиты на другую:

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

где R – постоянная Ридберга;

m – номер орбиты атома, на которую переходит электрон;

n – номер орбиты атома, с которой переходит электрон.

В частности, при переходах электрона с более высокой на первую боровскую орбиту происходит излучение кванта света в ультрафиолетовой области спектра, а при обратном переходе – поглощение.

Если электрон переходит на вторую орбиту с более высокой – происходит излучение, а при обратном переходе – поглощение кванта света в видимой части спектра.

Переходам электрона с более высоких на третью боровскую орбиту соответствует излучение кванта света в инфракрасной области спектра, а при обратных переходах – поглощение.

Радиоактивность

2. Закон радиоактивного распада:

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

где N – число нераспавшихся ядер в момент времени t ; N_0 – число нераспавшихся ядер в начальный момент времени (т.е. при $t = 0$); λ – постоянная радиоактивного распада.

3. Период полураспада радиоактивного изотопа:

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

4. Активность радиоактивного изотопа:

$$a = a_0 e^{-\lambda t},$$

где $a_0 = \lambda N_0$ - начальная активность (т.е. активность в момент времени $t = 0$).

Физика атомного ядра. Ядерные реакции

5. Дефект массы ядра:

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

где m_p , m_n , $m_{\text{я}}$ - соответственно, массы покоя протона, нейтрона и ядра; A , Z - массовое и зарядовое числа ядра.

Учитывая, что

$$m_{\text{я}} \cong m_a - Zm_e,$$

а

$$m_p + m_e \cong m_{\text{H}^1},$$

где m_e , m_a , m_{H^1} - соответственно, массы покоя электрона, атома и изотопа водорода H^1 , дефект массы ядра можно приближенно рассчитать следующим образом:

$$\Delta m \cong Zm_{\text{H}^1} + (A - Z)m_n - m_a.$$

6. Энергия связи ядра:

$$E_{\text{св}} = c^2 \Delta m,$$

при этом c - скорость света в вакууме.

7. Удельная энергия связи (энергия связи, приходящаяся на один нуклон):

$$\delta E_{\text{св}} = \frac{E_{\text{св}}}{A}.$$

8. Энергия ядерной реакции:

$$Q = c^2 (\sum m_i - \sum m_j),$$

где $\sum m_i$, $\sum m_j$ - соответственно, сумма масс покоя частиц до и после реакции; c - скорость света в вакууме.

При этом, если $\sum m_i > \sum m_j$, то реакция идет с выделением энергии (экзотермическая реакция), если же $\sum m_i < \sum m_j$ - то реакция протекает с поглощением энергии (эндотермическая реакция).

Отметим также, что если массы частиц выражаются в атомных единицах массы (а. е. м.), а энергия ядерной реакции - в мегаэлектрон - вольтах (МэВ), то величина $c^2 \cong 931,4 \frac{\text{МэВ}}{\text{а.е.м.}}$.

Пример 12. Какую наименьшую скорость $v_{e \text{ min}}$ должны иметь электроны, чтобы при возбуждении атомов водорода ударами этих электронов появилась спектральная линия, соответствующая наибольшей длине волны в ультрафиолетовой части спектра излучения атома водорода?

Дано: $m = 1; n = 2$.

Найти: $v_{e \min}$.

Решение. Атом водорода будет излучать в ультрафиолетовой части спектра, если электрон в этом атоме будет переходить с более удаленных от ядра орбит на первую боровскую орбиту. Т.к. по условию задачи длина волны должна быть максимальной, то электроны должны переходить, как следует из сериальной формулы

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

со второй (т. е. $n = 2$) на первую (т. е. $m = 1$) боровскую орбиту.

Для того, чтобы это произошло, необходимо, чтобы энергия электрона ε_e , в результате удара которого появляется эта спектральная линия, была не меньше, чем энергия ε излучаемого фотона, т.е.

$$\varepsilon_e \geq \varepsilon \quad (2)$$

Как известно, энергия кванта света:

$$\varepsilon = h\nu = h \frac{c}{\lambda} \quad (3)$$

Подставляя в формулу (3) величину $1/\lambda$ из формулы (1), получим

$$\varepsilon = hcR \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (4)$$

Следовательно, учитывая неравенство (2),

$$\varepsilon_e \geq hcR \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right). \quad (5)$$

Полагая, что скорость электронов, взаимодействующих с атомами водорода, мала по сравнению со скоростью света в вакууме, энергию каждого такого электрона можно рассчитать по следующей формуле:

$$\varepsilon_e = \frac{m_e v_e^2}{2}, \quad (6)$$

где m_e – масса, v_e – скорость электрона.

Подставляя формулу (6) в неравенство (5), получим:

$$\frac{m_e v_e^2}{2} \geq hcR \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right).$$

Отсюда

$$v_e \geq \sqrt{\frac{2hcR}{m_e} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)}.$$

Произведем расчет искомой величины:

$$v_{e \min} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3,0 \cdot 10^8 \cdot 1,10 \cdot 10^7}{9,1 \cdot 10^{-31}} \cdot \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right)} = 1,9 \cdot 10^6 \text{ м/с}.$$

Ответ: $v_{e \min} = 1,9 \cdot 10^6 \text{ м/с}$.

Пример 13. Определить начальную активность a_0 радиоактивного магния ${}_{12}\text{Mg}^{27}$ массой $m = 0,20 \text{ мг}$, а также активность a по истечении времени $t = 1,0 \text{ ч}$.

Дано: $m = 0,20 \text{ мг} = 0,20 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$; $t = 1,0 \text{ ч} = 3,6 \cdot 10^3 \text{ с}$.

Найти: a_0, a .

Решение. Как известно, начальная активность изотопа определяется по формуле:

$$a_0 = \lambda N_0,$$

а постоянная радиоактивного распада:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \quad (1)$$

Поэтому

$$a_0 = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} N_0$$

Так как начальное количество ядер радиоактивного изотопа

$$N_0 = \frac{m}{\mu} N_A,$$

следовательно,

$$a_0 = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \frac{m}{\mu} N_A$$

Произведем расчет начальной активности, используя табличные данные из Приложения для периода полураспада $T_{1/2}$, молярной массы μ радиоактивного изотопа ${}_{12}\text{Mg}^{27}$ и для числа Авогадро N_A :

$$a_0 = \frac{\ln 2}{6,0 \cdot 10^2} \cdot \frac{0,20 \cdot 10^{-6}}{27 \cdot 10^{-3}} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 5,2 \cdot 10^{15} \text{ Бк}.$$

Активность изотопа уменьшается со временем по закону:

$$a = a_0 e^{-\lambda t}$$

или, учитывая формулу (1)

$$a = a_0 e^{\left(\frac{-\ln 2}{T_{1/2}} t\right)} = a_0 \left(e^{\ln 2}\right)^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$$

Так как $e^{\ln 2} = 2$, окончательно получим

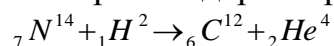
$$a = a_0 (2)^{-t/T_{1/2}}$$

Произведем расчет активности в указанный в условии момент времени, используя найденное ранее значение начальной активности a_0 :

$$a = 5,2 \cdot 10^{15} \cdot (2)^{-\frac{3,6 \cdot 10^3}{6,0 \cdot 10^2}} = 5,2 \cdot 10^{15} \cdot 2^{-6} = 8,0 \cdot 10^{13} \text{ Бк}$$

Ответ: $a_0 = 5,2 \cdot 10^{15} \text{ Бк}$; $a = 8,0 \cdot 10^{13} \text{ Бк}$.

Пример 14. Вычислить энергию ядерной реакции



и определить, будет выделяться или поглощаться при этом энергия.

Дано: масса изотопа азота ${}_7N^{14}$ $m_1 = 14,00307$ а.е.м.; масса изотопа водорода ${}_1H^2$ $m_2 = 2,01410$ а.е.м.; масса изотопа углерода ${}_6C^{12}$ $m_3 = 12,00000$ а.е.м.; масса изотопа гелия ${}_2He^4$ $m_4 = 4,00260$ а.е.м. (массы взяты из таблиц Приложения)

Найти: Q .

Решение. Как известно, энергия ядерной реакции:

$$Q = c^2(\sum m_i - \sum m_j)$$

В данном случае сумма масс покоя исходных частиц

$$\sum m_i = m_1 + m_2,$$

а продуктов реакции:

$$\sum m_j = m_3 + m_4$$

Поэтому

$$Q = c^2[(m_1 + m_2) - (m_3 + m_4)].$$

Т.к. массы исходных частиц и продуктов реакции выражены в атомных единицах массы, удобно произвести расчет искомой величины Q в мегаэлектрон-вольтах:

$$Q = 931,4[(14,00307 + 2,01410) - (12,00000 + 4,00260)] = 13,57 \text{ МэВ}$$

Т.к. $Q > 0$, то энергия в ходе реакции выделяется.

Ответ: $Q = 13,57 \text{ МэВ}$.

Задачи к контрольной работе

Контрольная работа включает решение десяти задач. Вариант контрольной работы выбирается по последней цифре шифра, номера задач – по таблице. Справочные материалы приведены в Приложении.

Номер Варианта	Номера задач									
	1	11	21	31	41	51	61	71	81	91
0	1	11	21	31	41	51	61	71	81	91
1	2	12	22	32	42	52	62	72	82	92
2	3	13	23	33	43	53	63	73	83	93
3	4	14	24	34	44	54	64	74	84	94
4	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95
5	6	16	26	36	46	56	66	76	86	96
6	7	17	27	37	47	57	67	77	87	97
7	8	18	28	38	48	58	68	78	88	98
8	9	19	29	39	49	59	69	79	89	99
9	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

1. Точка совершает гармонические колебания, описываемые уравнением $x = 0,05 \cos(4\pi t)$. Определить ускорение точки через время $t = 2/3$ с после начала колебаний.
2. Материальная точка совершает гармонические колебания. Период колебаний $T = 0,15$ с, максимальная скорость $v = 8$ м/с. Определить амплитуду колебаний.
3. Найти максимальную кинетическую энергию материальной точки массой 2 г, совершающей гармонические колебания с амплитудой 4 см и частотой 5 Гц.
4. Найти отношение длин двух математических маятников, если отношение периодов их колебаний равно $1,5$.
5. Частота колебаний пружинного маятника $\nu = 3$ с⁻¹. Определить жесткость пружины, если масса маятника $m = 300$ г.
6. Определить период колебаний тонкого однородного стержня длиной $l = 30$ см относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его конец.
7. Определить период T гармонических колебаний однородного диска радиусом $R = 40$ см около горизонтальной оси, проходящей через образующую диска перпендикулярно плоскости диска.
8. На стержне длиной $l = 30$ см укреплены два одинаковых грузика: один – в середине стержня, другой – на одном из его концов. Стержень с грузиками колеблется около горизонтальной оси, проходящей через свободный конец. Определить период гармонических колебаний T , считая грузы материальными точками. Массой стержня пренебречь.
9. Плоская волна имеет период колебаний $T = 3$ мс, амплитуду $A = 0,2$ мм и длину волны $\lambda = 1,2$ м распространяется в упругой среде. Найти скорость точек среды, удаленных от источника колебаний на расстояние $x = 2$ м в момент времени $t = 7$ мс. Начальную фазу колебаний принять равной нулю.

10. Две материальные точки упругой среды находятся на расстоянии 50 см друг от друга на прямой, вдоль которой распространяется плоская волна с фазовой скоростью 50 м/с , имеющая период колебаний $T = 50 \text{ мс}$. Найти разность фаз колебаний в этих точках.
11. Плоский конденсатор с площадью пластин $S = 100 \text{ см}^2$ каждая, заполненный слоем парафина толщиной $d = 0,01 \text{ мм}$, вместе с катушкой индуктивности образуют колебательный контур, частота электромагнитных колебаний которого $\nu = 10 \text{ кГц}$. Какова индуктивность катушки?
12. Колебательный контур, состоящий из воздушного конденсатора с площадью пластин $S = 50 \text{ см}^2$ каждая и катушки индуктивности $L = 1 \text{ мкГн}$, резонирует на длину волны $\lambda = 20 \text{ м}$. Определить расстояние между пластинами конденсатора.
13. На какую длину волны будет резонировать колебательный контур, состоящий из катушки индуктивности $L = 4 \text{ мкГн}$ и конденсатора емкостью $C = 1 \text{ мкФ}$?
14. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью $L = 1 \text{ мГн}$ и конденсатора переменной емкости. При какой емкости контур резонирует на частоту $\nu = 10 \text{ кГц}$?
15. Катушка, индуктивность которой $L = 30 \text{ мкГн}$, присоединена к плоскому конденсатору с площадью пластин $S = 100 \text{ см}^2$ каждая, расстояние между которыми $d = 0,10 \text{ мм}$. Чему равна диэлектрическая проницаемость среды, заполняющей пространство между пластинами, если контур резонирует на длину волны $\lambda = 750 \text{ м}$?
16. Колебательный контур состоит из катушки индуктивности $L = 10 \text{ мГн}$ и конденсатора $C = 1,0 \text{ мкФ}$. Определить частоту колебаний в контуре.
17. Плоский конденсатор с площадью пластин $S = 50 \text{ см}^2$ каждая, между которыми находится слой слюды толщиной $d = 0,10 \text{ мм}$ и катушка индуктивности $L = 10^{-3} \text{ Гн}$, образуют колебательный контур. Определить период колебаний в таком контуре.
18. Какова емкость конденсатора в колебательном контуре индуктивностью $L = 50 \text{ мГн}$, если частота электромагнитных колебаний в таком контуре равна 10^3 Гц ?
19. Пластины воздушного конденсатора в колебательном контуре раздвинули так, что расстояние между ними увеличилось в два раза. Как изменится период колебаний в таком контуре?
20. К плоскому конденсатору колебательного контура параллельно присоединили точно такой же конденсатор. Как изменится период колебаний в таком контуре?
21. Вычислить увеличение лупы с фокусным расстоянием $F = 3 \text{ см}$.
22. Какое увеличение дает тонкая собирающая линза с оптической силой $D = 5 \text{ дптр}$, если она находится на расстоянии $d = 25 \text{ см}$ от предмета? (Изобразить ход лучей).

23. Предмет высотой 16 см находится на расстоянии 80 см от тонкой собирающей линзы с оптической силой $2,5\text{ дптр}$. Как изменится высота изображения, если предмет подвинуть к линзе на 20 см ?
24. Оптическая сила объектива $D = 2,1\text{ дптр}$. Расстояние от объектива до экрана $l = 10\text{ м}$. Каково увеличение объектива?
25. Определить оптическую силу объектива, дающего десятикратное увеличение. Расстояние от объектива до экрана $l = 3,7\text{ м}$.
26. В 15 см от тонкой собирающей линзы, оптическая сила которой равна 10 дптр , поставлен перпендикулярно к оптической оси предмет высотой 2 см . Найти высоту изображения предмета.
27. Тонкая собирающая линза дает увеличение в 3 раза предмета, находящегося на расстоянии 10 см от нее. Найти фокусное расстояние линзы.
28. На каком расстоянии от экрана необходимо установить тонкую собирающую линзу, чтобы получить пятикратное увеличение? Фокусное расстояние линзы равно 10 см .
29. Предмет высотой 2 см проецируется на экран с помощью тонкой собирающей линзы. Какое фокусное расстояние должна иметь эта линза, чтобы изображение на экране имело высоту 8 см ? Расстояние от линзы до экрана равно 10 см .
30. Расстояние от предмета до тонкой собирающей линзы и от линзы до изображения одинаковы и равны $0,5\text{ м}$ каждое. Во сколько раз увеличится изображение, если предмет сместить по направлению к линзе на 20 см ?
31. На пути световой волны, идущей в воздухе, поставили стеклянную пластинку толщиной $1,0\text{ мм}$. На сколько изменится при этом оптическая длина пути света, если волна падает на пластинку нормально?
32. На тонкую мыльную плёнку с показателем преломления $n = 1,33$, находящуюся в воздухе, нормально падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 0,60\text{ мкм}$. Какова должна быть толщина плёнки, если после её прохождения оптическая длина пути света изменилась на $\lambda/2$?
33. На мыльную пленку с показателем преломления $n = 1,33$, находящуюся в воздухе, падает нормально пучок лучей белого света. При какой наименьшей толщине пленки отраженный свет с длиной волны $\lambda = 0,55\text{ мкм}$ окажется максимально усиленным в результате интерференции?
34. Пучок монохроматических световых волн ($\lambda = 0,60\text{ мкм}$) падает под углом 30° на находящуюся в воздухе мыльную пленку с показателем преломления $n = 1,33$. При какой наименьшей толщине пленки отраженные световые волны будут максимально ослаблены при интерференции?
35. На мыльную пленку ($n = 1,33$) падает белый свет под углом 45° . При какой наименьшей толщине пленки отраженные лучи будут окрашены в желтый цвет ($\lambda = 600\text{ нм}$)? Пленка находится в воздухе.
36. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается монохроматическим светом. При этом радиусы двух соседних темных

колец Ньютона в отраженном свете равны соответственно $4,0$ мм и $4,9$ мм. Найти порядковые номера этих колец, если наблюдение проводится в воздухе.

37. Расстояние между пятым и двадцать пятым светлыми кольцами Ньютона равно 11 мм. Радиус кривизны линзы 15 м. Найти длину волны монохроматического света, падающего нормально на установку. Наблюдение производится в воздухе в отраженном свете.
38. Найти расстояние между третьим и шестнадцатым темными кольцами Ньютона, если расстояние между вторым и двадцатым темными кольцами равно $4,8$ мм. Наблюдение производится в воздухе в отраженном свете.
39. Между стеклянной пластинкой и лежащей на ней стеклянной линзой налита жидкость, показатель преломления которой меньше показателя преломления стекла. Радиус восьмого темного кольца Ньютона при наблюдении в отраженном свете ($\lambda = 700$ нм) равен $2,0$ мм. Радиус кривизны выпуклой поверхности линзы равен $1,0$ м. Найти показатель преломления жидкости.
40. Установка для наблюдения колец Ньютона в отраженном свете освещается монохроматическим светом, падающим нормально. Первоначально измерения провели в воздухе, а затем пространство между линзой и стеклянной пластинкой заполнили жидкостью, в результате чего радиусы темных колец уменьшились в $1,25$ раза. Найти показатель преломления жидкости.
41. Определить постоянную дифракционной решетки, если при ее освещении светом с длиной волны 656 нм второй максимум виден под углом 15° .
42. Сколько штрихов на 1 см имеет дифракционная решетка, если четвертый максимум, даваемый решеткой при нормальном падении на нее света длиной $\lambda = 650$ нм, отклонен на угол $\varphi = 6^\circ$?
43. Дифракционная решетка освещена нормально падающим монохроматическим светом. При этом дифракционный максимум второго порядка наблюдается под углом 14° . Под каким углом наблюдается максимум третьего порядка?
44. Дифракционная решетка содержит 200 штрихов на каждый миллиметр длины. На решетку падает нормально монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 600$ нм. Максимум какого наибольшего порядка дает эта решетка?
45. На дифракционную решетку, содержащую 400 штрихов на каждый миллиметр длины, падает нормально монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 600$ нм. Найти общее число дифракционных максимумов, которое дает эта решетка.
46. Постоянная дифракционной решетки в 4 раза больше длины световой волны монохроматического света, нормально падающего на ее поверхность. Определить угол между двумя первыми симметричными дифракционными максимумами.

47. При освещении дифракционной решетки белым светом спектры второго и третьего порядков частично перекрывают друг друга. На какую длину волны в спектре второго порядка накладывается фиолетовая граница ($\lambda = 400 \text{ нм}$) в спектре третьего порядка?
48. Чему равна постоянная дифракционной решетки, если эта решетка может разрешить в первом порядке линии спектра калия $\lambda_1 = 404,4 \text{ нм}$ и $\lambda_2 = 404,7 \text{ нм}$? Ширина решетки равна 3 см .
49. Определить угловую дисперсию дифракционной решетки для света длиной волны $\lambda = 589,0 \text{ нм}$ в спектре первого порядка. Постоянная решетки равна $2,50 \text{ мкм}$.
50. На каком расстоянии друг от друга будут находиться на экране две спектральные линии ртути длиной волны соответственно $\lambda_1 = 577,0 \text{ нм}$ и $\lambda_2 = 579,1 \text{ нм}$ в спектре первого порядка дифракционной решетки с периодом $2,0 \text{ мкм}$? Фокусное расстояние линзы, проектирующей спектр на экран, равно 60 см .
51. Определить угол падения, при котором наблюдается полная поляризация при отражении света от стекла, находящегося в воздухе.
52. Под каким углом к горизонту должно находиться Солнце, чтобы его лучи, отраженные от горизонтальной водной поверхности были полностью поляризованы?
53. Пучок естественного света, идущий в воде, отражается от грани алмаза, погруженного в воду. При каком угле падения отраженный луч окажется полностью поляризованным?
54. Угол Брюстера при падении света из воздуха на кристалл каменной соли равен 57° . Определить скорость света в этом кристалле.
55. Анализатор в 2 раза уменьшает интенсивность света, проходящего к нему от поляризатора. Определить угол между плоскостями пропускания поляризатора и анализатора. Поглощением света пренебречь.
56. Определить плотность чистой оптически активной жидкости, содержащейся в стеклянной трубке длиной 8 см , если при прохождении трубки плоскость поляризации света поворачивается на угол 137° . Удельное вращение жидкости $[\alpha] = 1,69 \text{ град} \cdot \text{м}^3 / (\text{м} \cdot \text{кг})$.
57. Раствор глюкозы концентрацией $C = 0,28 \text{ г/см}^3$, налитый в стеклянную трубку длиной 15 см , поворачивает плоскость поляризации монохроматического света, проходящего через этот раствор, на угол 32° . Определить удельное вращение раствора глюкозы.
58. При прохождении через трубку длиной 20 см с сахарным раствором плоскость поляризации света поворачивается на угол, равный 5° . Удельное вращение раствора сахара $[\alpha] = 0,6 \text{ град} / (\text{м} \cdot \%)$. Определить концентрацию раствора.
59. При прохождении света через слой 10% сахарного раствора толщиной 15 см плоскость поляризации повернулась на угол $12,9^\circ$. В другом растворе в слое толщиной 12 см плоскость поляризации повернулась на угол $7,2^\circ$. Найти концентрацию второго раствора.

60. При прохождении света через слой 5% раствора сахара толщиной 10 см плоскость поляризации света поворачивается на угол 5° . На сколько градусов повернется плоскость поляризации этого света при прохождении 10% раствора сахара толщиной 20 см?
61. На какую длину волны приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости чернозема при температуре 20°C ? Принять что поверхность чернозема является абсолютно черной.
62. Максимум спектральной плотности энергетической светимости поверхности поля соответствует длине волны 9,60 мкм. Определить температуру поверхности поля, считая ее абсолютно черной.
63. При какой температуре энергетическая светимость почвы равна 418 Вт/м^2 ? Считать почву абсолютно черным телом.
64. Вычислить энергию, излучаемую с одного гектара пахотного поля при температуре 20°C за время 1 мин, считая поверхность поля абсолютно черной.
65. Мощность излучения абсолютно черного тела равна 1 кВт, максимум спектральной плотности энергетической светимости приходится на длину 1,45 мкм. Определить площадь излучающей поверхности.
66. Температура абсолютно черного тела $T = 2 \text{ К}$. Определить длину волны λ_m , на которую приходится максимальное значение спектральной плотности энергетической светимости и спектральную плотность энергетической светимости тела для этой длины волны.
67. Из смотрового окошечка печи излучается поток энергии теплового излучения $\Phi = 4 \text{ кДж/мин}$. Определить температуру печи T , если площадь окошечка $S = 8 \text{ см}^2$.
68. Вследствие изменения температуры абсолютно черного тела максимум спектральной плотности энергетической светимости переместился с 500 нм на 600 нм. Как и во сколько раз изменилась энергетическая светимость тела?
69. Температура абсолютно черного тела изменилась при нагревании с 1000 К до 3000 К. Во сколько раз увеличилась его максимальная спектральная плотность энергетической светимости?
70. Лазерной установкой в течение 10 мин облучаются семена огурцов. Длина волны излучаемого света $\lambda = 632 \text{ нм}$, интенсивность излучения $I = 250 \text{ Вт/м}^2$. Сколько фотонов попало на одно семя площадью 4 мм^2 ?
71. Найти длину волны, соответствующую красной границе фотоэффекта для калия.
72. Будет ли иметь место фотоэффект, если на серебряную пластину направить ультрафиолетовые лучи с длиной волны 300 нм?
73. Определить кинетическую энергию электронов, вылетающих из цинка при освещении его лучами с длиной волны 300 нм.
74. Какова должна быть длина волны излучения, падающего на поверхность калия, если максимальная скорость фотоэлектронов $v_m = 2 \cdot 10^5 \text{ м/с}$?

75. Поверхность металла освещается светом с длиной волны $\lambda = 200 \text{ нм}$. Определить долю энергии кванта света, которая затрачивается на сообщение фотоэлектрону кинетической энергии, если красная граница фотоэффекта для этого металла соответствует длине волны света $\lambda = 640 \text{ нм}$.
76. Определить энергию, массу и импульс фотона, которому соответствует длина волны $\lambda = 380 \text{ нм}$.
77. Свет, падая нормально на зеркальную поверхность, оказывает на нее давление $P = 10 \text{ мкПа}$. Определить энергию такого света, падающего на поверхность площадью 1 м^2 за 1 с .
78. Вычислить давление солнечных лучей, падающих нормально на поверхность чернозема, имеющую коэффициент отражения $\rho = 0,08$, если на каждый квадратный метр этой поверхности каждую секунду падает энергия излучения, равная $1,39 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.
79. На поверхность площадью 100 см^2 каждую минуту нормально падает $6,3 \text{ Дж}$ световой энергии. Найти величину светового давления в случаях, когда поверхность: 1) полностью отражает все лучи; 2) полностью поглощает все падающие на нее лучи.
80. На поверхность почвы нормально падает параллельный пучок лучей, производя давление $P = 5,4 \text{ мкПа}$. Найти коэффициент отражения почвы, если на каждый квадратный метр ее поверхности каждую секунду падает энергия излучения, равная $1,5 \text{ кДж}$.
81. Вычислить энергию, которую поглощает атом водорода при переходе электрона со второго энергетического уровня на пятый.
82. Определить энергию фотона, испускаемого при переходе электрона в атоме водорода с третьего энергетического уровня на основной.
83. Найти наименьшую частоту в видимой части спектра излучения атома водорода.
84. Электрон в атоме водорода перешел с четвертого энергетического уровня на второй. Определить длину волны испускаемого фотона.
85. Какова частота электромагнитной волны, излучаемой атомом водорода, при переходе с четвертого энергетического уровня на третий?
86. В каких пределах должна находиться энергия электронов, бомбардирующих атомы водорода, чтобы при возбуждении атомов водорода этими электронами спектр атома водорода имел только одну спектральную линию?
87. Какую наименьшую энергию должны иметь электроны, чтобы при возбуждении атомов водорода ударами этих электронов спектр водорода имел бы три спектральные линии?
88. Найти наименьшую длину волны спектра излучения атома водорода в видимой части спектра.
89. Найти наибольшую частоту в ультрафиолетовой части спектра излучения атома водорода.
90. Сколько квантов с различной энергией может испустить атом водорода, если электрон находится на третьей боровской орбите?

91. При радиометрических исследованиях в навеске почвы обнаружен стронций ${}_{38}^{90}\text{Sr}$, активность которого $a = 10^7$ Бк. Какова масса стронция в навеске?
92. За 12,7 суток активность семян пшеницы, смоченных раствором, содержащем радиоактивный изотоп, уменьшилась в 3,0 раза. Определить период полураспада изотопа.
93. Определить активность 1 г радиоактивного изотопа йода ${}_{53}^{131}\text{I}$.
94. Сколько атомов распадается за 1 с в 1 г кобальта ${}_{27}^{60}\text{Co}$?
95. За один год начальное количество радиоактивного изотопа уменьшилось в три раза. Во сколько раз оно уменьшится за два года?
96. Вычислить дефект массы Δm и энергию связи $E_{\text{св}}$ ядра ${}_{3}^6\text{Li}$.
97. Найти энергию Q ядерной реакции

$${}_{1}^3\text{H} + {}_{1}^1\text{H} \rightarrow {}_{2}^4\text{He}$$
98. Найти энергию Q ядерной реакции

$${}_{4}^9\text{Be} + {}_{1}^2\text{H} \rightarrow {}_{5}^{10}\text{B} + {}_{0}^1\text{n}$$
99. Найти энергию Q ядерной реакции

$${}_{3}^6\text{Li} + {}_{1}^2\text{H} \rightarrow {}_{2}^4\text{He} + {}_{2}^4\text{He}$$

 Освобождается или поглощается энергия?
100. Найти энергию Q ядерной реакции

$${}_{3}^7\text{Li} + {}_{2}^4\text{He} \rightarrow {}_{5}^{10}\text{B} + {}_{0}^1\text{n}$$

 Освобождается или поглощается энергия?

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Некоторые физические постоянные

Константа	Обозначение	Значение
Постоянная Планка	h	$6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
	\hbar	$1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
Постоянная Ридберга	R	$1,10 \cdot 10^7$ м ⁻¹
Атомная единица массы	<i>a. e. m.</i>	$1,66 \cdot 10^{-27}$ кг
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м
Постоянная Стефана-Больцмана	σ	$5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$
Первая константа Вина	b_1	$2,90 \cdot 10^{-3}$ м·К

Вторая константа Вина	ϵ_2	$1,29 \cdot 10^{-5} \frac{Вт}{м^3 К^5}$
Скорость света в вакууме	c	$3,00 \cdot 10^8 м/с$

Таблица 2

Диэлектрическая проницаемость

Вещество	ϵ	Вещество	ϵ
Воздух	1,0	Парафин	2,0
Масло	2,2	Слюда	7,0

Таблица 3

Показатель преломления

Вещество	Показатель	Вещество	Показатель
Алмаз	2,42	Воздух	1,00
Вода	1,33	Стекло	1,50

Таблица 4

Работа выхода электрона

Металл	$A \cdot 10^{+19}, Дж$	$A, эВ$
Калий	3,5	2,2
Литий	3,7	2,3
Платина	10	6,3
Рубидий	3,4	2,1
Серебро	7,5	4,7
Цезий	3,2	2,0
Цинк	6,4	4,0

Таблица 5

Периоды полураспада радиоактивных изотопов

Название	Обозначение	Период полураспада
Актиний	${}_{89}^{225}Ac$	10 суток
Йод	${}_{53}^{131}I$	8 суток
Кобальт	${}_{27}^{60}Co$	5,3 суток
Магний	${}_{12}^{27}Mg$	10 минут
Радий	${}_{86}^{226}Ra$	1620 лет
Радон	${}_{86}^{222}Rn$	3,8 суток
Стронций	${}_{38}^{90}Sr$	27 лет
Фосфор	${}_{15}^{32}P$	14,3 суток

Церий	$^{144}_{58}\text{Ce}$	285 суток
-------	------------------------	-----------

Таблица 6

Массы атомов легких изотопов

Название	Обозначение	Масса, а.е.м.	Название	Обозначение	Масса, а.е.м.
Водород	^1_1H	1,00783	Бор	$^{10}_5\text{B}$	10,01294
	^2_1H	2,01410		$^{11}_5\text{B}$	11,00930
	^3_1H	3,01605	Углерод	$^{12}_6\text{C}$	12,00000
Гелий	^3_2He	3,01603		$^{13}_6\text{C}$	13,00335
	^4_2He	4,00260		$^{14}_6\text{C}$	14,00324
Литий	^6_3Li	6,01513	Азот	$^{14}_7\text{N}$	14,00307
	^7_3Li	7,01601	Кислород	$^{16}_8\text{O}$	15,99491
Бериллий	^7_4Be	7,01693		$^{17}_8\text{O}$	16,99913
	^9_4Be	9,01219	Фтор	$^{19}_9\text{F}$	18,99840

Таблица 7

Масса и энергия покоя некоторых частиц

Частица	m_0		E_0	
	кг	а.е.м	Дж	МэВ
Электрон	$9,11 \cdot 10^{-31}$	0,00055	$8,16 \cdot 10^{-14}$	0,511
Протон	$1,672 \cdot 10^{-27}$	1,00728	$1,50 \cdot 10^{-10}$	938
Нейтрон	$1,675 \cdot 10^{-27}$	1,00867	$1,51 \cdot 10^{-10}$	939
Дейтрон	$3,35 \cdot 10^{-27}$	2,01355	$3,00 \cdot 10^{-10}$	1876
α - частица	$6,64 \cdot 10^{-27}$	4,00149	$5,96 \cdot 10^{-10}$	3733

Литература

1. Грабовский Р.И. Курс физики.- М.: Высш. шк., 1980. - 607с.
2. Трофимова Т. И. Курс физики.- М.: Высш. шк., 1999.-432с.

Оглавление

стр.

Колебания и волны

3

Оптика

7

Атомная физика

19

Задачи к контрольной работе	24
Приложение	33
Литература	35