

Воронежский государственный
архитектурно-строительный университет

835

Кафедра физики

**ВОЛНОВАЯ ОПТИКА.
КВАНТОВАЯ ПРИРОДА ИЗЛУЧЕНИЯ.
ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ
И ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ**

*методические указания и задания к контрольным работам
№ 5 и № 6 по физике для студентов заочного факультета*

Воронеж 2006

Библиотека ВГАСУ.

Составители: В.Н. Белко, В.М. Назаров

УДК 53.07

Волновая оптика. Квантовая природа излучения. Элементы квантовой механики и ядерной физики [Текст]: метод. указания и задания к контрольным работам №5 и №6 по физике для студ. заочного факультета / Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т; сост.: В.Н. Белко, В.М. Назаров. – Воронеж, 2006. – 43 с.

Предназначены для студентов заочного факультета. Приведены условия задач для выполнения контрольных работ №5 и №6 с разбивкой по вариантам, содержится краткий теоретический материал по разделам «Волновая оптика», «Квантовая природа излучения», «Элементы квантовой механики и ядерной физики» и примеры решения задач по этим разделам курса физики.

Ил.: 4. Табл.: 11. Библиогр.: 10 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного архитектурно-строительного университета

Рецензент — В.П. Авдеев, кандидат физ.-мат. наук, доц., зав. кафедрой математического моделирования и вычислительной техники ВГАСУ

Введение

«Методические указания» предназначены для студентов заочного факультета ВГАСУ. Составлены в соответствии с учебным планом и рабочими программами курса физики. «Указания» призваны помочь студенту-заочнику правильно спланировать изучение учебных пособий по соответствующим разделам курса. В «Указаниях» приведен краткий теоретический материал по этим разделам, который может быть использован при выполнении контрольных работ.

Приступая к выполнению контрольных работ, помните о тех требованиях, которые обязательно должны соблюдаться при оформлении:

1. Условия задач своего варианта переписывать полностью.
2. Сделать краткую запись условия, при этом числовые данные перевести в одну систему единиц (преимущественно в СИ).
3. Выполнить (если это необходимо и помогает решению задачи) чертеж, рисунок или схему, поясняющие описанный в задаче физический процесс.
4. Решение каждой задачи сопровождать краткими и ясными комментариями используемых физических законов и формул.
5. Получив ответ задачи в общем виде, проверить выполнение правила размерностей.
6. В полученную расчетную формулу подставить числовые данные и оценить правдоподобность ответа.
7. Обязательно оставлять поля для замечаний рецензента.
8. На титульном листе необходимо указать номер контрольной работы, наименование дисциплины, курс и специальность, фамилию и инициалы студента, шифр и домашний адрес.
9. На повторную проверку работу представлять обязательно вместе с предыдущей рецензией.

Контрольная работа №5 (Волновая оптика)

Законы и формулы

Прежде чем выполнять данную контрольную работу, необходимо по учебным пособиям познакомиться с оптическими явлениями, обусловленными волновой природой света.

Необходимо уяснить условие интерференции волн, понимать и уметь объяснять перераспределение энергии при образовании минимумов и максимумов интенсивности. Изучая явления интерференции и дифракции, нужно обратить внимание на общность этих явлений для волн любой физической природы и на специфические особенности световых волн. Необходимо иметь навыки расчета интерференционной картины от двух когерентных источников света, в тонких пластинках или пленках, различать явления дифракции в параллельных лучах на одной щели, на плоской и пространственной дифракционных решетках. Требуется также знание способов получения поляризованных волн и особенностей их поведения.

1. Абсолютный показатель преломления среды

$$n = \frac{c}{v},$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ — скорость распространения света в вакууме, v — скорость распространения света в среде.

2. Оптический ход светового луча (оптическая длина пути)

$$L = nl,$$

где l — геометрический ход луча.

3. Оптическая разность хода двух волн

$$\Delta = L_1 - L_2.$$

4. Условие усиления при интерференции волн от двух когерентных источников

$$\Delta = \pm 2k \frac{\lambda}{2},$$

где $k = 0, 1, 2, \dots$

5. Условие ослабления при интерференции двух волн

$$\Delta = \pm (2k + 1) \frac{\lambda}{2}.$$

6. Линейное расстояние между соседними интерференционными максимумами или минимумами на экране

$$\delta = \frac{l}{d} \lambda,$$

где l — расстояние от когерентных источников волн до экрана, d — расстояние между источниками волн, λ — длина волны, излучаемой источниками.

7. Оптическая разность хода световых волн при интерференции на тонких пленках (или пластинках) в отраженном свете

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2} \quad \text{или} \quad \Delta = 2dn \cos r + \frac{\lambda}{2},$$

где d — толщина пленки, i — угол падения лучей на пленку, r — угол преломления лучей в пленке, n — показатель преломления пленки.

8. Радиусы светлых колец Ньютона в отраженном свете

$$r_k = \sqrt{(2k - 1)R \frac{\lambda}{2}},$$

где R — радиус сферической поверхности, $k = 1, 2, \dots$

9. Радиусы темных колец Ньютона в отраженном свете

$$r_k = \sqrt{kR\lambda}.$$

10. Условие максимума дифракции света от одной щели

$$a \sin \varphi = (2k + 1) \frac{\lambda}{2},$$

где a — размер щели, φ — угол дифракции, $k = 0, 1, 2, \dots$

11. Условие минимума дифракции света от одной щели

$$a \sin \varphi = 2k \frac{\lambda}{2}.$$

12. Условия максимума дифракции света на дифракционной решетке

$$d \sin \varphi = k\lambda,$$

где d — постоянная (период) решетки, $k = 0, 1, 2, \dots$

13. Разрешающая способность дифракционной решетки

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

где $\Delta\lambda$ — наименьшая разность длин волн двух соседних спектральных линий (λ и $\lambda + \Delta\lambda$), при которой эти линии могут отдельно наблюдаться в спектре, полученном с помощью данной решетки, N — полное число щелей решетки.

14. Угловая дисперсия дифракционной решетки

$$D_\varphi = \frac{d\varphi}{d\lambda}.$$

15. Формула Вульфа-Брэггов

$$2d \sin \Theta = m\lambda,$$

где d — расстояние между соседними атомными плоскостями в кристалле; Θ — угол скольжения; λ — длина волны рентгеновского излучения.

16. Закон Бугера

$$I = I_0 e^{-ka},$$

здесь I_0 — интенсивность падающего на вещество света; I — интенсивность света, прошедшего слой вещества толщиной a ; k — коэффициент поглощения.

17. Степень поляризации частично поляризованного света определяется формулой

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

где I_{\max} — максимальная интенсивность света, прошедшего через анализатор; I_{\min} — минимальная интенсивность этого света.

18. Коэффициент отражения падающего света

$$\rho = \frac{I}{I_e},$$

где $I = I_\perp + I_\parallel$; I — интенсивность отраженного света; I_e — интенсивность падающего естественного света; I_\perp — интенсивность лучей с колебаниями, перпендикулярными к плоскости падения; I_\parallel — интенсивность лучей с колебаниями, лежащими в плоскости падения.

19. I_\perp и I_\parallel определяются выражениями

$$I_\perp = 0,5 I_e \frac{\sin^2(i-r)}{\sin^2(i+r)}, \quad I_\parallel = 0,5 I_e \frac{\operatorname{tg}^2(i-r)}{\operatorname{tg}^2(i+r)},$$

где I_e — интенсивность естественного света, падающего на границу изотропных сред; i — угол падения; r — угол преломления.

20. Закон Малюса

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

где I_0 — интенсивность плоскополяризованного света, падающего на анализатор, I — интенсивность этого света после прохождения анализатора, φ — угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора.

21. Закон Брюстера

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

где i_B — угол падения естественного света, при котором отраженный от диэлектрика свет полностью поляризован (угол Брюстера), $n_{21} = n_2/n_1$ — относительный показатель преломления второй среды относительно первой.

22. Угол поворота плоскости колебаний поляризованного света при прохождении его через вещество

$$\varphi = \alpha \cdot l \text{ — для твердых веществ, } \varphi = C \cdot \alpha \cdot l \text{ — для растворов,}$$

где l — толщина слоя вещества; α — удельное вращение; C — концентрация раствора оптически активного вещества. Следует помнить, что удельное вращение α зависит от длины волны света (дисперсия удельного вращение) $\alpha = a/\lambda^2$, где a — некоторая константа.

23. Пластинкой «в четверть длины волны» называется кристаллическая пластинка, вырезанная параллельно оптической оси, при прохождении через которую в направлении, перпендикулярном оптической оси, обыкновенный и необыкновенный лучи приобретают разность хода, равную четверти длины волны ($\lambda/4$).

Примеры решения задач

Задача 1. В опыте с зеркалами Френеля расстояние между источниками света равно 0,5 мм, расстояние от источников до экрана 5 м. В зеленом свете на экране получились интерференционные полосы на расстоянии 5 мм друг от друга. Чему равна длина волны зеленого света?

Дано:
 $d = 0,5 \text{ мм} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$
 $l = 5 \text{ м}$
 $\delta x = 5 \text{ мм} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$
 Найти: λ

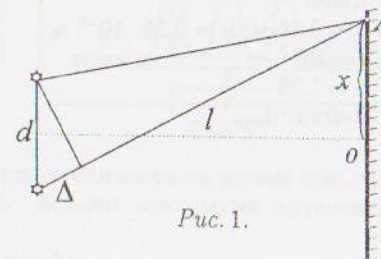


Рис. 1.

Решение

Расстояние между источниками света d , расстояние от источников до экрана l , разность хода лучей Δ от источников света до некоторой точки экрана A и положение x точки экрана относительно центра экрана связаны соотношением

$$x = \frac{l \cdot \Delta}{d} \quad (1)$$

Для светлых полос, например:

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

где m — порядок интерференции. Подставляя (2) в (1), получим

$$x = \frac{l \cdot m \cdot \lambda}{d} \quad (3)$$

Из (3) следует, что расстояние между соседними максимумами (или минимумами)

$$\delta x = \frac{\lambda \cdot l}{d} \quad (4)$$

Отсюда следует:

$$\lambda = \frac{\delta x \cdot d}{l} \quad (5)$$

Подставляя сюда числовые данные, найдем

$$\lambda = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{5} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 0,5 \text{ мкм.}$$

Задача 2. В просветленной оптике для устранения отражения света на поверхность линзы наносится тонкая пленка вещества с показателем преломления $n = 1,26$ меньшим, чем у стекла. При какой наименьшей толщине пленки отражение света от линзы не будет наблюдаться? Длина волны падающего света $0,55 \text{ мкм}$, угол падения 30° .

Дано:
 $\lambda = 0,55 \text{ мкм} = 0,55 \cdot 10^{-6} \text{ м}$
 $i = 30^\circ$
 $n = 1,26$
 Найти: d_{\min}

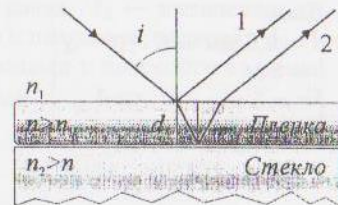


Рис. 2.

Решение

Лучи 1 и 2 отражаются от среды с большим показателем преломления, как это показано на рис. 2, поэтому как на верхней, так и на нижней поверхности пленки происходит потеря полуволны, и, следовательно, оптическая разность хода лучей равна

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

где d — толщина пленки, n — ее показатель преломления, i — угол падения.

Отражения света от линзы не будет, если выполнится условие минимума освещенности при интерференции лучей 1 и 2 (условие минимума интерференции света), т.е.

$$\Delta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad \text{или} \quad 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}.$$

Отсюда:

$$d = \frac{(2k + 1)\lambda}{4\sqrt{n^2 - \sin^2 i}}.$$

Полагая, что $k = 0$ и подставляя числовые данные, найдем минимальную толщину пленки

$$d_{\min} = \frac{0,55 \cdot 10^{-6}}{4\sqrt{1,26^2 - \sin^2 30^\circ}} = 0,117 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 0,117 \text{ мкм.}$$

Задача 3. На дифракционную решетку нормально падает монохроматический свет с длиной волны $0,65 \text{ мкм}$. На экране, расположенном параллельно решетке и отстоящем от нее на расстоянии $0,5 \text{ м}$, наблюдается дифракционная картина. Расстояние между дифракционными максимумами первого порядка равно 10 см . Определить постоянную дифракционной решетки и общее число максимумов, получаемых с помощью этой решетки.

Дано:
 $\lambda = 0,65 \text{ мкм} = 0,65 \cdot 10^{-6} \text{ м}$
 $L = 0,5 \text{ м}$
 $l = 0,1 \text{ м}$
 $k = 1$
 Найти: d, m

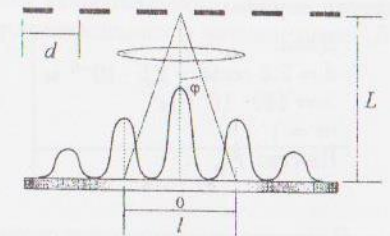


Рис. 3.

Решение

Картина распределения интенсивности света на экране при дифракции на решетке показана на рис. 3. Условие максимума интенсивности выглядит так:

$$d \sin \varphi = k \lambda, \quad (1)$$

где d — период решетки, φ — угол дифракции, λ — длина волны света, $k = 0, 1, 2, \dots$ — порядок максимума. По условию задачи $l/2 \ll L$, поэтому

$$\sin \varphi \sim \operatorname{tg} \varphi = \frac{l/2}{L}. \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1), получим $d \cdot (l/2L) = k\lambda$, откуда

$$d = \frac{2k\lambda L}{l}. \quad (3)$$

Вычислим постоянную решетки при $k = 1$

$$d = \frac{2 \cdot 0,65 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5}{0,1} = 6,5 \cdot 10^{-6} \text{ (м)} = 6,5 \text{ мкм}.$$

Для определения общего количества максимумов, получаемых с помощью дифракционной решетки, найдем максимальный порядок дифракции. Максимальный угол отклонения лучей от нормального направления распространения не может превышать 90° , т.е. формула (1) примет вид

$$d = k_{\max} \lambda, \quad \text{откуда} \quad k_{\max} = \frac{d}{\lambda}, \quad (4)$$

тогда

$$k_{\max} = \frac{6,5 \cdot 10^{-6}}{0,65 \cdot 10^{-6}} = 10.$$

Общее количество максимумов равно: $m = 2k_{\max} + 1$, так как слева и справа от центрального ($k = 0$) будут наблюдаться по k_{\max} максимумов. Окончательно, $m = 2 \cdot 10 + 1 = 21$.

Задача 4. Постоянная дифракционной решетки 2,5 мкм. Найти угловую дисперсию решетки для света с длиной волны 589 нм в спектре первого порядка.

Дано:
$d = 2,5 \text{ мкм} = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$
$\lambda = 589 \cdot 10^{-9} \text{ м}$
$m = 1$
Найти: D_φ

Решение

Угловая дисперсия дифракционной решетки

$$D_\varphi = \frac{d\varphi}{d\lambda}. \quad (1)$$

Угол дифракции света связан с длиной волны условием максимума

$$d \sin \varphi = m\lambda, \quad (2)$$

где d — постоянная дифракционной решетки; m — порядок дифракционного максимума.

Дифференцируя (2), получим

$$d \cos \varphi d\varphi = m \cdot d\lambda, \quad (3)$$

отсюда

$$D_\varphi = \frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{m}{d \cos \varphi}. \quad (4)$$

Ясно, что правило размерностей выполняется

$$\left[\frac{d\varphi}{d\lambda} \right] = \frac{1}{[d]} = \text{м}^{-1} = \text{рад} \cdot \text{м}^{-1}.$$

Подставляя числовые значения в (2), получим

$$\sin \varphi = \frac{589 \cdot 10^{-9}}{2,5 \cdot 10^{-6}} = 0,236,$$

откуда $\varphi = 13^\circ 38'$, а $\cos \varphi = \cos 13^\circ 38' = 0,972$ и, подставляя это значение в (4), находим

$$\frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{1}{2,2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,972} = 4,1 \cdot 10^5 \text{ (рад} \cdot \text{м}^{-1}\text{)}.$$

Задача 5. Чему равен угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора, если интенсивность естественного света, прошедшего через поляризатор и анализатор, уменьшилась в четыре раза? Поглощением света пренебречь.

Дано:
$I/I_e = 1/4$
Найти: φ

Решение

При прохождении через поляризатор интенсивность естественного света уменьшается вдвое:

$$I_0 = \frac{1}{2} I_e,$$

где I_e — интенсивность естественного света, I_0 — интенсивность света, прошедшего через поляризатор.

При прохождении света через анализатор интенсивность света уменьшается по закону *Малюса*

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

где I — интенсивность света, вышедшего из анализатора.

По условию задачи $I = I_e/4$, следовательно:

$$\frac{I_e}{4} = I_0 \cos^2 \varphi = \frac{I_e}{2} \cos^2 \varphi,$$

отсюда

$$\cos^2 \varphi = \frac{1}{2}, \quad \cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{и} \quad \varphi = 45^\circ.$$

Задача 6. Трехпроцентный раствор сахара при некоторой толщине слоя поворачивает плоскость поляризации света с длиной волны 0,75 мкм на угол $7^\circ 30'$. Какой концентрации надо взять раствор сахара, чтобы при той же толщине слоя вызвать поворот плоскости поляризации света с длиной волны 0,5 мкм на 30° ?

Дано:

$$C_1 = 3\%$$

$$\lambda_1 = 0,75 \text{ мкм}$$

$$\varphi_1 = 7^\circ 30'$$

$$l_1 = l_2 = l$$

$$\lambda_2 = 0,5 \text{ мкм}$$

$$\varphi_2 = 30^\circ$$

Найти: C_2

Решение

Угол поворота плоскости поляризации

$$\varphi = C \cdot \alpha \cdot l, \quad (1)$$

где C — концентрация раствора; l — толщина слоя; α — удельное вращение.

Но

$$\alpha = \frac{a}{\lambda^2}, \quad (2)$$

следовательно:

$$\varphi = C \frac{a}{\lambda^2} l. \quad (3)$$

В соответствии с (3) для двух растворов имеем

$$\varphi_1 = C_1 \frac{a}{\lambda_1^2} l_1, \quad (4)$$

$$\varphi_2 = C_2 \frac{a}{\lambda_2^2} l_2. \quad (5)$$

Разделив (4) на (5) получим

$$\frac{\varphi_2}{\varphi_1} = \frac{C_2}{C_1} \cdot \frac{\lambda_1^2}{\lambda_2^2} \cdot \frac{l_2}{l_1}, \quad (6)$$

откуда

$$C_2 = \frac{\varphi_2 \cdot C_1 \cdot \lambda_2^2 \cdot l_1}{\varphi_1 \cdot \lambda_1^2 \cdot l_2}; \quad (7)$$

или, имея в виду, что $l_1 = l_2$, получим

$$C_2 = \frac{\varphi_2 \cdot C_1 \cdot \lambda_2^2}{\varphi_1 \cdot \lambda_1^2} = \frac{30^\circ \cdot 3\% \cdot 0,5 \text{ мкм}}{7^\circ 30' \cdot 0,75 \text{ мкм}} = 8\%.$$

Задачи контрольной работы №5

1. В опыте *Юнга* расстояние между щелями 1 мм, а положение первой светлой полосы на экране 1,5 мм. Каково расстояние от щелей до экрана, если щели освещаются светом с длиной волны $5 \cdot 10^{-7}$ м? Определить положение третьей темной полосы на экране.
2. Во сколько раз увеличится расстояние между соседними интерференционными полосами на экране в опыте *Юнга*, если зеленый светофильтр заменить на красный? Длины волн зеленого и красного света 500 и 650 нм.
3. Определить расстояние между мнимыми изображениями источника света в опыте с зеркалами *Френеля*, если зеркала освещаются зеленым светом с длиной волны 0,53 мкм, а расстояние от зеркал до экрана равно 4 м. В зеленом свете ширина интерференционной полосы 5 мм.
4. Определить расстояние между двумя щелями в опыте *Юнга*, если в желтом свете с длиной волны 0,6 мкм ширина интерференционных полос, наблюдаемых на экране, расположенном на расстоянии 1 м от щелей, равна 1,2 мм.
5. Угловое расстояние между соседними светлыми полосами в опыте *Юнга* $5 \cdot 10^{-4}$ рад. Расстояние от щелей до экрана 3 м. На каком расстоянии от центра интерференционной картины находится третья светлая полоса?
6. Во сколько раз изменится ширина интерференционных полос на экране в опыте *Юнга*, если зеленый светофильтр (0,5 мкм) заменить красным (0,75 мкм)?
7. В опыте *Юнга* отверстия освещены монохроматическим светом с длиной волны 600 нм. Расстояние между отверстиями 1 мм, расстояние от отверстий до экрана 3 м. Найти положение трех первых светлых полос.

Таблица 1 (для специальностей ПГС, ПЗ, ЭУН)

Вариант	Номера задач в контрольной работе №5					
1	2	17	32	60	75	89
2	3	19	34	59	74	88
3	4	20	36	56	73	86
4	6	22	37	55	72	84
5	8	23	38	54	70	83
6	9	24	40	53	67	82
7	11	25	41	51	66	81
8	13	27	42	50	65	80
9	14	28	43	47	63	79
10	15	30	39	46	62	78

Таблица 2 (для специальностей АТП, СДМ)

Вариант	Номера задач в контрольной работе №5					
1	9	16	31	51	63	76
2	10	17	32	53	70	83
3	11	21	34	55	71	84
4	12	23	36	57	72	86
5	14	24	38	59	74	89
6	2	27	40	60	75	90
7	4	28	42	58	73	88
8	6	29	44	46	66	78
9	8	30	41	47	67	79
10	3	25	43	49	69	80

Таблица 3 (для специальностей ТВ, ВВ)

Вариант	Номера задач в контрольной работе №5					
1	3	25	43	59	74	89
2	8	30	41	58	72	86
3	6	29	44	60	75	90
4	4	28	42	57	73	88
5	2	27	40	55	71	84
6	14	24	38	53	70	83
7	12	23	36	51	69	80
8	11	21	34	49	67	79
9	10	17	32	47	66	78
10	9	16	31	46	63	76

Таблица 4 (для специальностей ГСХ, ПСК)

Вариант	Номера задач в контрольной работе №5					
1	14	30	44	60	75	90
2	12	29	43	59	74	89
3	11	28	42	57	73	88
4	10	27	41	55	72	87
5	9	25	40	53	71	86
6	8	24	38	50	69	85
7	6	23	36	49	67	84
8	4	21	34	48	65	83
9	3	17	32	47	63	82
10	2	16	31	46	61	81

Таблица 5 (для специальностей АД, ПБ)

Вариант	Номера задач в контрольной работе №5					
1	2	17	32	46	63	81
2	3	16	31	47	66	82
3	8	18	36	48	67	83
4	6	19	34	49	69	84
5	4	20	33	50	71	85
6	9	22	35	52	73	86
7	10	24	40	54	75	87
8	11	26	41	56	77	88
9	12	28	42	58	79	89
10	14	30	45	60	80	90

8. В опыте Юнга на пути одного из интерферирующих лучей помещалась тонкая стеклянная пластинка, вследствие чего центральная светлая полоса смещалась в положение, первоначально занятое пятой светлой полосой (не считая центральной). Луч падает перпендикулярно к поверхности пластинки. Показатель преломления пластинки 1,5. Длина волны 600 нм. Какова толщина пластинки?
9. На мыльную пленку падает белый свет под углом 45° к поверхности пленки. При какой наименьшей толщине пленки отраженные лучи будут окрашены в желтый цвет (длина волны желтого цвета 600 нм)? Показатель преломления мыльной воды принять равным 1,33.
10. На мыльную пленку с показателем преломления 1,33 падает по нормали монохроматический свет с длиной волны 0,6 мкм. Отраженный свет имеет наибольшую яркость. Какова должна быть при этом наименьшая толщина пленки?

11. На тонкую глицериновую пленку толщиной 1 мм нормально к ее поверхности падает белый свет. Определить длины волн лучей видимого спектра (от 0,4 мкм до 0,8 мкм), которые будут максимально ослаблены в результате интерференции.
12. На стеклянный клин с показателем преломления 1,52 нормально падает монохроматический свет. Угол клина равен $4'$. Определить длину световой волны, если расстояние между двумя соседними светлыми полосами в отраженном свете равно 0,2 мм.
13. На тонкую мыльную пленку, показатель преломления которой 1,33, под углом 30° падает монохроматический свет с длиной волны 0,4 мкм. Определить угол между поверхностями пленки, если расстояние между интерференционными полосами в отраженном свете равно 2,7 мм.
14. На тонкий стеклянный клин падает нормально к его поверхности монохроматический свет с длиной волны 600 нм. Определить угол между поверхностями клина, если расстояние между смежными интерференционными минимумами в отраженном свете 4 мм. Показатель преломления стекла 1,5.
15. Мыльная пленка, расположенная вертикально, образует клин вследствие стекания жидкости. Интерференция наблюдается в отраженном свете через красное (длина волны красного света 631 нм) стекло. Расстояние между соседними красными полосами при этом 3 мм. Затем эта же пленка наблюдается через синее стекло (длина волны синего света 400 нм). Найти расстояние между соседними синими полосами. Свет падает перпендикулярно к поверхности пленки.
16. Плосковыпуклая линза радиусом кривизны 4 м выпуклой стороной лежит на стеклянной пластинке. Определить длину волны падающего монохроматического света, если радиус пятого светлого кольца в отраженном свете равен 3 мм.
17. Монохроматический свет с длиной волны 0,55 мкм падает нормально на установку для наблюдения колец *Ньютона*. Определить толщину воздушного зазора между плоскопараллельной пластинкой и соприкасающейся с ней плосковыпуклой линзой в том месте, где в отраженном свете наблюдается четвертое темное кольцо.
18. Плосковыпуклая линза с радиусом кривизны 12,5 см прижата к стеклянной пластинке. Диаметр десятого темного кольца *Ньютона* в отраженном свете равен 1 мм. Определить длину волны падающего света.
19. При наблюдении колец *Ньютона* в проходящем свете с длиной волны 0,65 мкм определяется толщина слоя воздуха там, где видно второе светлое кольцо. Какова эта толщина?
20. Расстояние между первым и вторым кольцами *Ньютона* в отраженном свете 1 мм. Определить расстояние между десятым и девятым

кольцами.

21. Плосковыпуклая линза выпуклой стороной лежит на стеклянной пластинке. Определить толщину слоя воздуха там, где в отраженном свете (длина волны 0,6 мкм) видно первое светлое кольцо *Ньютона*.
22. Диаметр второго светлого кольца *Ньютона* при наблюдении в отраженном свете 1,2 м. Определить оптическую силу плосковыпуклой линзы, взятой для опыта.
23. Плосковыпуклая линза с оптической силой 2 дптр выпуклой стороной лежит на стеклянной пластинке. Радиус четвертого темного кольца *Ньютона* в проходящем свете 0,7 мм. Определить длину световой волны.
24. Диаметры двух светлых колец *Ньютона* 4,0 и 4,8 мм. Порядковые номера колец не определялись, но известно, что между двумя измеренными кольцами расположено три светлых кольца. Кольца наблюдались в отраженном свете с длиной волны 500 нм. Найти радиус кривизны плосковыпуклой линзы, взятой для опыта.
25. Установка для получения колец *Ньютона* освещается светом от ртутной дуги, падающим нормально к поверхности пластинки. Наблюдение ведется в проходящем свете. Какое по порядку светлое кольцо, соответствующее свету с длиной волны 579,1 нм, совпадает со следующим светлым кольцом, соответствующим свету с длиной волны 577 нм?
26. Монохроматический свет с длиной волны 0,55 мкм падает нормально на линзу с показателем преломления 1,58. Для устранения потерь света в результате отражения линза покрывается тонкой пленкой. Определить показатель преломления пленки и ее толщину.
27. Для уменьшения коэффициента отражения света от оптических стекол их поверхность покрывают тонкой пленкой вещества с показателем преломления 1,22, меньшим, чем у стекла. При какой толщине пленки отражение света от стекла будет равно нулю? Длина волны света 500 мкм, угол падения лучей 70° .
28. Какова длина волны света, используемого в опыте с интерферометром *Майкельсона*, если для смещения интерференционной картины на 112 полос зеркало пришлось переместить на расстояние 33 мкм?
29. В одно из плеч интерферометра *Майкельсона* помещена закрытая с обеих сторон откачанная до высокого вакуума стеклянная трубка длиной 15 см. При заполнении трубки аммиаком интерференционная картина для длины волны 589 нм сместилась на 192 полосы. Определить показатель преломления аммиака.
30. На пути лучей интерференционного рефрактометра помещаются трубки длиной 2 см с плоскопараллельными стеклянными основаниями, наполненные воздухом (показатель преломления воздуха 1,000277). Одну трубку заполняют хлором (показатель преломления хлора 1,000866).

На сколько полос при этом сместится интерференционная картина, если наблюдение проводится в монохроматическом свете с длиной волны 0,589 мкм?

31. На узкую щель нормально падает монохроматический пучок света. Угол дифракции для спектра второго порядка равен 2° . Скольким длинам волн падающего света равна ширина щели?
32. На узкую щель шириной 0,1 мм падает нормально свет с длиной волны 0,4 мкм. Какова ширина центрального дифракционного максимума, наблюдаемого на экране, расположенном параллельно щели на расстоянии 1 м?
33. Монохроматический свет с длиной волны 0,6 мкм падает нормально на узкую щель шириной 0,1 мм. Определить расстояние между первыми дифракционными максимумами, наблюдаемыми на экране, расположенном параллельно щели на расстоянии 1 м от нее.
34. Сколько длин волн монохроматического света укладывается на ширине узкой щели, если третья темная дифракционная полоса наблюдается под углом $1^\circ 48'$ по отношению к первоначальному направлению света, падающему нормально на щель?
35. Монохроматический свет с длиной волны 0,69 мкм нормально падает на узкую щель. Вторая дифракционная полоса при этом наблюдается под углом 2° по отношению к первоначальному направлению света. Какова ширина щели?
36. На щель шириной 0,1 мм падает нормально пучок параллельных лучей белого света (0,38 – 0,76 мкм). На экране, отстоящем на расстоянии 1 м, наблюдается дифракционная картина. Найти ширину дифракционного максимума второго порядка.
37. 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.
38. На дифракционную решетку нормально падает свет с длиной волны 0,6 мкм. Определить наибольший порядок максимума, который можно получить с помощью этой решетки, если на длине 1 см решетки нанесено 5000 штрихов.
39. Дифракционная решетка длиной 1,5 см содержит 3000 штрихов. Сколько максимумов можно наблюдать в спектре этой решетки при нормальном падении на нее света с длиной волны 0,6 мкм? Под каким углом наблюдается последний максимум?
40. Четвертый максимум при дифракции света длиной волны 500 нм на дифракционной решетке, имеющей 2500 штрихов на 1 см, наблюдается под углом 30° . Определить длину волны монохроматического света, падающего нормально на эту решетку.

41. На поверхность дифракционной решетки нормально падает монохроматический свет. Постоянная дифракционной решетки в 4,6 раза больше длины световой волны. Найти общее число дифракционных максимумов, которые теоретически возможно наблюдать в данном случае.
42. На дифракционную решетку нормально падает монохроматический свет. Определить угол дифракции для линии 0,55 мкм в четвертом порядке, если этот угол для линии 0,6 мкм в третьем порядке составляет 30° .
43. Наивысший порядок дифракционного спектра, наблюдаемого с помощью дифракционной решетки, равен 6. Определить угол, под которым наблюдается максимум первого порядка при нормальном падении света на эту решетку.
44. На дифракционную решетку падает нормально свет с длиной волны 0,664 мкм. Постоянная решетки $3,3 \cdot 10^{-6}$ м. Определить угол между направлениями на максимумы первого и второго порядка.
45. На дифракционную решетку, содержащую 600 штрихов на одном миллиметре, падает нормально белый свет. Спектр проецируется помещенной вблизи решетки линзой на экран. Определить ширину спектра первого порядка на экране, если расстояние от линзы до экрана 1,2 м. Границы видимого спектра: длина волны красного света 780 нм, фиолетового — 400 нм.
46. На дифракционную решетку падает нормально монохроматический свет с длиной волны 0,54 мкм. Определить период решетки, если угол между максимумами первого и второго порядков равен 15° .
47. Какое наименьшее число штрихов должна содержать решетка, чтобы в спектре первого порядка можно было видеть раздельно две желтые линии натрия с длинами волн 589 нм и 589,6 нм? Какова длина такой решетки, если расстояние между штрихами 10 мкм?
48. На дифракционную решетку длиной 0,36 см нормально падает монохроматический свет с длиной волны 0,65 мкм. Под каким углом наблюдается пятый максимум дифракции, если минимальная разрешаемая решеткой разность длин волн составляет 0,2 нм? Какова постоянная этой дифракционной решетки?
49. Две дифракционные решетки имеют одинаковую длину 4 мм, но разные периоды, равные 2 и 4 мкм. Определить и сравнить их наибольшую разрешающую способность для желтой линии натрия, которой соответствует длина волны 0,589 мкм.
50. Дифракционная решетка имеет 800 штрихов на одном миллиметре. На нее нормально падает монохроматический свет с длиной волны 0,585 мкм. Определить, как изменится угол дифракции для спектра второго порядка, если взять решетку с 500 штрихами на одном миллиметре.

51. Пучок параллельных лучей монохроматического света падает нормально на дифракционную решетку. Угол дифракции для спектра второго порядка 10° . Каким будет угол дифракции для спектра пятого порядка?
52. На дифракционную решетку падает нормально параллельный пучок лучей белого света. Спектры второго и третьего порядка частично накладываются друг на друга. На какую длину волны в спектре второго порядка накладывается фиолетовая граница (длина волны фиолетовых лучей 400 нм) спектра третьего порядка?
53. Каковы длины двух дифракционных решеток с периодами, равными 4 и 8 мкм соответственно? Наибольшая разрешающая способность этих решеток для красной линии кадмия с длиной волны $0,644 \text{ мкм}$ равна 7500 .
54. Дифракционная решетка с постоянной $34,6 \text{ мкм}$ в спектре первого порядка разрешает две спектральные линии калия ($0,578$ и $0,580 \text{ мкм}$). Какова длина этой дифракционной решетки?
55. Определить длину волны, для которой дифракционная решетка с постоянной 3 мкм в спектре второго порядка имеет угловую дисперсию $7 \cdot 10^5 \text{ рад/м}$.
56. Для монохроматического света какой длины волны угловая дисперсия дифракционной решетки с постоянной $5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ в спектре второго порядка равна $4,08 \cdot 10^5 \text{ рад/м}$?
57. Какой должна была бы быть толщина плоскопараллельной стеклянной пластинки с показателем преломления $1,55$, чтобы в отраженном свете максимум второго порядка для света с длиной волны $0,65 \text{ мкм}$ наблюдался под тем же углом, что и у дифракционной решетки с постоянной, равной 10^{-6} м ?
58. Параллельный пучок рентгеновского излучения с длиной волны 245 пм падает на естественную грань монокристалла каменной соли. Определить расстояние между атомными плоскостями монокристалла, если дифракционный максимум второго порядка наблюдается при падении излучения на поверхность монокристалла под углом 29° .
59. Параллельный пучок монохроматического рентгеновского излучения падает на грань кристалла с расстоянием между его атомными плоскостями $0,3 \text{ нм}$. Какова длина волны излучения, если при угле падения на грань кристалла в 60° наблюдается дифракционный максимум первого порядка?
60. Пучок монохроматического рентгеновского излучения падает под углом скольжения 60° на естественную грань кристалла NaCl , молярная масса и плотность которого $58,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ и $2,16 \text{ г/см}^3$ соответственно. Определить длину волны излучения, если при зеркальном отражении от этой грани наблюдается максимум третьего порядка.

61. При прохождении слоя вещества интенсивность света уменьшилась в 9 раз. Во сколько раз уменьшится интенсивность света при прохождении пути, равного половине толщины этого слоя?
62. Коэффициент поглощения некоторого вещества для света определенной длины волны равен $0,1 \text{ см}^{-1}$. Определить толщину слоя вещества, которая необходима для ослабления света в 2 раза и в 5 раз. Потери на отражение света не учитывать.
63. Монохроматическая световая волна распространяется в некоторой среде толщиной в 1 м . При этом интенсивность света уменьшается на 70% . Определить коэффициент поглощения среды для данной световой волны.
64. Интенсивность света, прошедшего через некоторую пластину толщиной $0,5 \text{ см}$, составила 82% от начальной интенсивности. Какая доля интенсивности пройдет через пластину из этого же вещества толщиной в 1 см , если коэффициент поглощения этого вещества равен $0,404 \text{ см}^{-1}$?
65. Отношение максимальной интенсивности света, пропускаемого анализатором, к минимальной равно 7 . Определить степень поляризации частично поляризованного света.
66. Главные плоскости анализатора и поляризатора между собой составляют угол 60° . Определить изменение интенсивности поляризованного света, прошедшего через них, если угол между главными плоскостями равен 45° .
67. Интенсивность естественного света, прошедшего через два николя, уменьшилась в 8 раз. Определить угол между главными плоскостями николей. Поглощением света пренебречь.
68. Определить угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора, если интенсивность света, прошедшего через них, уменьшилась в $9,45$ раз, а в каждом из них теряется 8% интенсивности падающего света.
69. Пучок света последовательно проходит через два поляризатора (две призмы *Николя*), плоскости пропускания которых образуют между собой угол 40° . Принимая, что коэффициент поглощения каждого поляризатора равен $0,15$, найти, во сколько раз пучок света, выходящий из второго поляризатора, ослаблен по сравнению с пучком, падающим на первый поляризатор.
70. Естественный свет проходит через два николя, каждый из которых как поглощает, так и отражает 5% падающего света. На выходе из второго николя интенсивность света уменьшилась в $9,88$ раз. Определить угол между главными плоскостями николей.
71. Какую долю интенсивности света, падающего на поляризатор, составляет интенсивность света, вышедшего из анализатора, если поляриза-

- тор и анализатор как поглощают, так и отражают 10% падающего на них света, а угол между их главными плоскостями составляет $52^{\circ}14'$?
72. Угол падения луча на поверхность жидкости 50° . Отраженный луч максимально поляризован. Определить угол преломления луча.
73. Отраженный от поверхности стекла свет является полностью поляризованным, если угол преломления равен 35° . Определить показатель преломления стекла.
74. Солнечные лучи, отраженные от поверхности озера, оказались максимально поляризованы. Под каким углом к горизонту должно при этом находиться Солнце? Показатель преломления воды принять равным 1,33.
75. Угол Брюстера при падении света из воздуха на поверхность кристалла каменной соли равен 57° . Определить предельный угол полного отражения света на границе этого кристалла с воздухом.
76. Предельный угол полного внутреннего отражения света на границе жидкости с воздухом равен 43° . Каков должен быть угол падения луча света из воздуха на поверхность жидкости, чтобы отраженный луч был максимально поляризован?
77. Свет, проходя через жидкость, налитую в стеклянный сосуд, отражается от дна, причем отраженный свет является плоскополяризованным при падении света на дно сосуда под углом 45° . Каков показатель преломления жидкости, если показатель преломления стекла 1,5?
78. Свет, проходя через жидкость, налитую в стеклянный сосуд, отражается от дна, причем отраженный свет является плоскополяризованным при угле падения 41° . Определить угол падения света на дно сосуда, при котором наблюдалось бы полное отражение.
79. Угол между плоскостями пропускания поляроидов равен 50° . Естественный свет, проходя через такую систему, ослабляется в 4 раза. Пренебрегая потерей света при отражении, определить коэффициент поглощения света в поляроидах.
80. Найти коэффициент отражения естественного света, падающего на стекло с показателем преломления 1,54 под углом полной поляризации.
81. Определить степень поляризации света, который представляет собой смесь естественного света с плоскополяризованным, если интенсивность поляризованного света в 5 раз больше интенсивности естественного.
82. Параллельный пучок света падает нормально на пластинку из исландского шпата, вырезанную параллельно оптической оси. Измерения показали, что разность хода обыкновенного и необыкновенного лучей составляет 8,5 мкм. Определить толщину пластинки, если показатели преломления для обыкновенного и необыкновенного лучей равны соответственно 1,66 и 1,49.

83. Длины волн обыкновенного и необыкновенного лучей в кристалле исландского шпата при падении плоскополяризованного света перпендикулярно его оптической оси равны соответственно 0,355 и 0,395 мкм. Определить длину волны света, падающего на кристалл, если показатель преломления обыкновенного луча равен 1,66 а необыкновенного — 1,49.
84. Плоскополяризованный свет, длина волны которого в вакууме 530 нм, падает на пластинку из кварца перпендикулярно ее оптической оси. Определить показатели преломления для обыкновенного и необыкновенного лучей, если длины волн этих лучей в кристалле равны соответственно 344 и 341 нм.
85. Разность показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей для некоторой длины волны света составляет 0,01. Определить длину волны света, если наименьшая толщина кристаллической «пластинки в четверть волны» равна 13,3 мкм.
86. Кристаллическая пластинка из исландского шпата с наименьшей толщиной 0,86 мкм служит «пластинкой в четверть волны» для света с длиной волны 590 нм. Определить разность показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей.
87. Определить толщину кварцевой пластинки, для которой угол поворота плоскости поляризации монохроматического света с определенной длины волны равен 180° . Удельное вращение в кварце для данной длины волны 0,52 рад/мм.
88. Пластинка кварца толщиной 6 мм, вырезанная перпендикулярно оптической оси кристалла, помещается между параллельными николями и полностью гасит данный монохроматический свет. На какой угол поворачивает плоскость поляризации такого света пластинка кварца толщиной 2 мм?
89. Определить удельное вращение сахара, если при прохождении света через трубку длиной 20 см с раствором сахара плоскость поляризации поворачивается на 10° . Массовая концентрация сахарного раствора 74,8 кг/м³.
90. Раствор глюкозы с массовой концентрацией 0,21 г/см³, находящийся в стеклянной трубке, поворачивает плоскость поляризации монохроматического света, проходящего через раствор, на угол 24° . Определить концентрацию глюкозы в другом растворе в трубке такой же длины, если он поворачивает плоскость поляризации на 18° .

Контрольная работа №6

(Квантовая природа излучения. Элементы атомной и ядерной физики)

Законы и формулы

Изучая тему «Квантовая природа излучения», необходимо знать гипотезу Планка о квантовом характере излучения, знать формулу для спектральной лучеиспускающей способности, которая позволяет теоретически вывести законы теплового излучения Стефана-Больцмана и Вина.

С позиций квантовой теории света объясняются и такие явления, как фотоэффект, эффект Комптона. Последний эффект подтверждает квантовый характер светового давления.

Изучение раздела «Элементы атомной и ядерной физики» следует начинать с некоторых вопросов квантовой механики: корпускулярно-волновой дуализм материи, гипотеза де Бройля, соотношения неопределенностей Гейзенберга. Нужно знать стационарное уравнение Шредингера и вид волновой функции, вытекающий из решения этого уравнения для частицы, находящейся в прямоугольной потенциальной яме с бесконечными стенками.

Необходимо знать состав атомного ядра и его характеристики: массу, дефект массы ядра, энергию и удельную энергию связи ядра. Важно понимать, что во всех ядерных реакциях выполняются законы сохранения: энергии, импульса, момента импульса, электрического заряда, массового числа. Особое внимание необходимо уделить реакциям деления тяжелых и синтеза легких ядер, вопросам ядерной энергетики и проблемам управления ядерными реакциями.

1. Закон Стефана-Больцмана

$$R_0 = \sigma T^4,$$

где R_0 — интегральная лучеиспускающая способность абсолютно черного тела (его энергетическая светимость), σ — постоянная Стефана-Больцмана ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м² · К⁴)), T — абсолютная температура тела.

2. Закон смещения Вина

$$\lambda_m = \frac{b}{T},$$

где λ_m — длина волны, на которую приходится максимум излучения тела, b — постоянная Вина ($b = 2,90 \cdot 10^{-3}$ м · К).

3. Поток излучения абсолютно черного тела

$$\Phi_0 = R_0 S,$$

где S — площадь излучаемой поверхности.

4. Энергия фотона

$$E = h\nu \quad \text{или} \quad E = \hbar\omega,$$

где ν — частота фотона, $\omega = 2\pi\nu$ — циклическая частота, h и $\hbar = h/(2\pi)$ — постоянная Планка ($h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж · с).

5. Масса фотона

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

где c — скорость света в вакууме.

6. Импульс фотона

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

7. Формула Эйнштейна для внешнего фотоэффекта

$$h\nu = A + \frac{m_0 v_{max}^2}{2}, \quad \text{если} \quad \frac{m_0 v_{max}^2}{2} < 5 \text{ кэВ},$$

$$h\nu = A + T, \quad \text{если} \quad T > 5 \text{ кэВ},$$

где $T = m_0 c^2 (1/\sqrt{1 - v_{max}^2/c^2} - 1)$, A — работа выхода электрона из металла, m_0 — масса покоя электрона, v_{max} — максимальная скорость фотоэлектрона.

8. Красная граница фотоэффекта

$$\lambda_{max} = \frac{ch}{A},$$

где λ_{max} — максимальная длина волны света, при которой еще возможен фотоэффект.

9. Давление света

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

где I — интенсивность света (энергетическая освещенность), ρ — коэффициент отражения преграды, на которую падает свет.

10. Формула Комптона

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\Theta) \quad \text{или}$$

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2 \frac{h}{m_0 c} \sin^2 \frac{\Theta}{2},$$

где λ — длина волны фотона, встретившегося со свободным или слабо связанным электроном, λ' — длина волны фотона, рассеянного на угол Θ после столкновения с электроном, m_0 — масса покоящегося электрона.

11. Длина волны де Бройля

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv},$$

где λ — длина волны, связанная с частицей, обладающей импульсом p , v — скорость частицы, $m = m_0/\sqrt{1-v^2/c^2}$ — масса движущейся частицы, m_0 — масса покоящейся частицы. Если $v \ll c$, то $\lambda = h/(m_0v)$.

12. Соотношения неопределенностей Гейзенберга

а) для координаты и импульса

$$\Delta p_x \Delta x \geq \hbar;$$

б) для энергии и времени

$$\Delta E \Delta t \geq \hbar,$$

где Δp_x — неопределенность проекции импульса на ось x , Δx — неопределенность координаты x , ΔE — неопределенность энергии, Δt — неопределенность времени, $\hbar = h/(2\pi)$.

13. Вероятность обнаружения частицы в интервале от x_1 до x_2

$$\omega = \int_{x_1}^{x_2} |\Psi(x)|^2 dx,$$

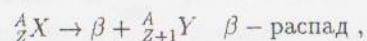
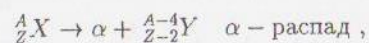
где $\Psi(x)$ — волновая функция частицы, $|\Psi(x)|^2$ — плотность вероятности.

14. Волновая функция частицы, находящейся в одномерном прямоугольном потенциальном ящике

$$\Psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \frac{n\pi}{l} x,$$

где l — ширина ящика.

15. Законы радиоактивного распада Содди-Фаянса



где ${}^A_Z X$ — исходное радиоактивное ядро, Z, A — зарядовое и массовое числа соответственно, ${}^{A-4}_{Z-2} Y$ и ${}^A_{Z+1} Y$ — ядра, образовавшиеся в процессе α и β - распада соответственно.

16. Основной закон радиоактивного распада

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

где N_0 — число нераспавшихся ядер в начальный ($t = 0$) момент времени, N — число нераспавшихся ядер в момент времени t , e — основание натуральных логарифмов, λ — постоянная радиоактивного распада.

17. Период полураспада

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda}.$$

18. Среднее время жизни радиоактивного ядра

$$\tau = \frac{1}{\lambda}.$$

19. Активность радиоактивного препарата

$$a = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = a_0 e^{-\lambda t},$$

где $a_0 = \lambda N_0$ — активность препарата в начальный момент времени ($t = 0$).

20. Законы, выполняющиеся при ядерных реакциях

а) Закон сохранения числа нуклонов

$$A_1 + A_2 + \dots = A_3 + A_4 + \dots;$$

б) Закон сохранения заряда

$$Z_1 + Z_2 + \dots = Z_3 + Z_4 + \dots,$$

где A_i и Z_i — соответственно массовые и зарядовые числа ядер, участвующих в реакции.

21. Дефект массы ядра

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

где Z — заряд ядра (число протонов в ядре), A — массовое число ядра (число нуклонов в ядре), $(A - Z)$ — число нейтронов в ядре, m_p — масса протона, m_n — масса нейтрона, $m_{\text{я}}$ — масса ядра.

22. Энергия связи ядра

$$E_{\text{св}} = \Delta m c^2,$$

где c — скорость света в вакууме. Во внесистемных единицах энергия связи ядра $E_{\text{св}} = 931 \Delta m$ МэВ. Здесь Δm — дефект массы ядра, выраженный в а.е.м (1 а.е.м. ~ 931 МэВ).

Примеры решения задач

Задача 1. Длина волны, на которую приходится максимум энергии в спектре излучения абсолютно черного тела 0,58 мкм. Определить энергетическую светимость поверхности тела.

Дано:
$\lambda_0 = 0,58 \text{ мкм} = 0,58 \cdot 10^{-6} \text{ м}$
$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$
$b = 2,90 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Найти: R_s

Решение

Энергетическая светимость абсолютно черного тела $R_s = \sigma T^4$, где T — абсолютная температура, σ — постоянная Стефана-Больцмана.

Температуру T можно связать с длиной волны λ_0 законом Вина: $\lambda_0 = b/T$, откуда $T = b/\lambda_0$. Следовательно:

$$R_s = \sigma \left(\frac{b}{\lambda_0} \right)^4.$$

Подставив числовые данные, получим

$$R_s = 5,76 \cdot 10^{-8} \left(\frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{0,58 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 3,54 \cdot 10^7 \text{ (Вт/м}^2\text{)} = 35,4 \text{ МВт/м}^2.$$

Задача 2. Определить красную границу фотоэффекта для цезия, если при облучении его поверхности фиолетовыми лучами длиной волны 400 нм максимальная скорость фотоэлектронов $6,5 \cdot 10^5 \text{ м/с}$.

Дано:
$\lambda = 400 \text{ нм} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$
$v_{max} = 6,5 \cdot 10^5 \text{ м/с}$
Найти: λ_{max}

Решение

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта

$$h\nu = A_{вых} + \frac{mv_{max}^2}{2}, \quad (1)$$

где $h\nu$ — энергия кванта света, падающего на поверхность металла, $A_{вых}$ — работа выхода электронов, m — масса электрона, v_{max} — максимальная скорость фотоэлектронов.

Наименьшая энергия кванта света, при которой еще возможен фотоэффект с поверхности металла, запишется из условия $mv_{max}^2/2 = 0$. Тогда

$$h\nu_{min} = A_{вых}. \quad (2)$$

Но $\nu_{min} = c/\lambda_{max}$, следовательно:

$$h \frac{c}{\lambda_{max}} = A_{вых}. \quad (3)$$

Из (3) следует, что

$$\lambda_{max} = \frac{ch}{A_{вых}}. \quad (4)$$

Работу выхода электронов $A_{вых}$ можно выразить из (1)

$$A_{вых} = h\nu - \frac{mv_{max}^2}{2} = h \frac{c}{\lambda} - \frac{mv_{max}^2}{2}. \quad (5)$$

Подставив (5) в (4), окончательно получаем

$$\lambda_{max} = \frac{ch}{h \frac{c}{\lambda} - \frac{mv_{max}^2}{2}}. \quad (6)$$

Проверим размерность результата (6)

$$[\lambda] = \frac{[c][h]}{[\varepsilon]} = \frac{\text{м/с} \cdot \text{Дж} \cdot \text{с}}{\text{Дж}} = \text{м}.$$

Подставим числовые данные в выражение (6)

$$\lambda_{max} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 6,62 \cdot 10^{-34}}{\frac{6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{4 \cdot 10^{-7}} - \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (6,5 \cdot 10^5)^2}{2}} =$$

$$= 650 \cdot 10^{-9} \text{ (м)} = 650 \text{ нм}.$$

Задача 3. В результате эффекта Комптона фотон при соударении с электроном был рассеян на угол $\Theta = 90^\circ$. Энергия рассеянного фотона $\varepsilon_2 = 0,4 \text{ МэВ}$. Определить энергию фотона ε_1 до рассеяния.

Дано:
$\Theta = 90^\circ$
$\varepsilon_2 = 0,4 \text{ МэВ}$
Найти: ε_1

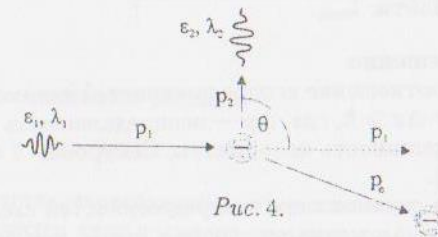


Рис. 4.

Решение

Изменение длины волны фотона, рассеянного на свободном электро-
не (рис. 4), определяется формулой Комптона

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = 2 \frac{h}{m_0 c} \sin^2 \frac{\Theta}{2}, \quad (1)$$

где m_0 — масса покоя электрона, c — скорость света в вакууме, Θ —
угол рассеяния фотона. Учитывая, что $\lambda = c/\nu$ и $\varepsilon = h\nu$, выразим
длины волн λ_1 и λ_2 через энергии ε_1 и ε_2 фотонов

$$\frac{c}{\nu_2} - \frac{c}{\nu_1} = 2 \frac{h}{m_0 c} \sin^2 \frac{\Theta}{2}, \quad \text{или} \quad \frac{ch}{\varepsilon_2} - \frac{ch}{\varepsilon_1} = 2 \frac{h}{m_0 c} \sin^2 \frac{\Theta}{2}. \quad (2)$$

Из (2) следует, что

$$\frac{ch}{\varepsilon_1} = \frac{ch}{\varepsilon_2} - 2 \frac{h}{m_0 c} \sin^2 \frac{\Theta}{2}, \quad \text{или} \quad \frac{c}{\varepsilon_1} = \frac{c}{\varepsilon_2} - \frac{2 \sin^2(\Theta/2)}{m_0 c}. \quad (3)$$

Выразим из полученной формулы искомую величину

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_2 m_0 c^2}{m_0 c^2 - 2 \varepsilon_2 \sin^2(\Theta/2)}. \quad (4)$$

Подставим числовые данные, учитывая при этом, что $1 \text{ МэВ} = 10^6 \text{ эВ} =$
 $1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^6 \text{ Дж} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$

$$\varepsilon_1 = \frac{0,4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 9 \cdot 10^{16}}{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 9 \cdot 10^{16} - 2 \cdot 0,4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \cdot (\sqrt{2}/2)^2} = 2,96 \cdot 10^{-13} \text{ (Дж)} = 1,85 \text{ МэВ}.$$

Задача 4. Кинетическая энергия электрона в атоме водорода составля-
ет величину порядка 10 эВ . Используя соотношение неопределенно-
стей Гейзенберга, оценить минимальные линейные размеры атома.

Дано:
$T = 10 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$
Найти: l_{\min}

Решение

Соотношение неопределенностей для координаты и импульса имеет
вид $\Delta p \cdot \Delta x \geq \hbar$, где Δp — неопределенность импульса электрона, Δx —
неопределенность координаты электрона, $\hbar = h/(2\pi)$ (h — постоянная
Планка).

Из соотношения неопределенностей следует, что чем точнее опре-
деляется положение электрона в атоме, тем более неопределенным стано-
вится импульс, а, следовательно, и энергия электрона.

Пусть атом имеет линейный размер l . Тогда электрон будет нахо-
диться где-то в пределах области с неопределенностью $\Delta x = l/2$. Соот-
ношение неопределенностей можно переписать в виде

$$\frac{l}{2} \Delta p \geq \hbar, \quad \text{откуда} \quad l \geq 2 \frac{\hbar}{\Delta p}. \quad (1)$$

Неопределенность импульса Δp не должна превышать импульса p , т.е.
 $\Delta p \leq p$. Но импульс связан с кинетической энергией T соотношением
 $p = \sqrt{2m_0 T}$ и тогда (1) принимает вид

$$l_{\min} = \frac{2\hbar}{p} = \frac{2\hbar}{\sqrt{2m_0 T}}, \quad (2)$$

где m_0 — масса покоя электрона.

Убедимся, что правило размерностей выполняется

$$[l_{\min}] = \frac{[\hbar]}{[m_0]^{1/2} [T]^{1/2}} = \frac{\text{Дж} \cdot \text{с}}{\text{кг}^{1/2} \cdot \text{Дж}^{1/2}} = \frac{\text{Дж}^{1/2} \cdot \text{с}}{\text{кг}^{1/2}} =$$

$$= \frac{\text{Н}^{1/2} \cdot \text{м}^{1/2} \cdot \text{с}}{\text{кг}^{1/2}} = \frac{\text{кг}^{1/2} \cdot \text{м}^{1/2} / \text{с} \cdot \text{м}^{1/2} \cdot \text{с}}{\text{кг}^{1/2}} = \text{м}.$$

Вычислим результат (2)

$$l_{\min} = \frac{2 \cdot 6,62 \cdot 10^{-34}}{2 \cdot 3,14 \sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,6 \cdot 10^{-18}}} = 1,24 \cdot 10^{-10} \text{ (м)} = 1,24 \text{ \AA}.$$

Здесь использована единица длины \AA (ангстрем), $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$.

Задача 5. Определить, сколько ядер в 1 г радиоактивного изотопа
стронция $^{90}_{38}\text{Sr}$ распадается в течение одного года. Период полураспада
стронция 27 лет .

Дано:
$m = 10^{-3} \text{ г}$
$t = 1 \text{ год}$
$T = 27 \text{ лет}$
Найти: ΔN

Решение

Используем закон радиоактивного распада

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

где N_0 — начальное количество нераспавшихся ядер в момент времени
 $t = 0$, N — число нераспавшихся ядер в момент времени t , λ — постоянная радиоактивного распада.

Запишем количество распавшихся ядер в момент времени t

$$\Delta N = N_0 - N = N_0 - N_0 e^{-\lambda t} = N_0(1 - e^{-\lambda t}). \quad (2)$$

Учитывая, что постоянная радиоактивного распада λ связана с периодом полураспада соотношением $\lambda = \ln 2/T$, получим

$$\Delta N = N_0(1 - e^{-\ln 2/T \cdot t}). \quad (3)$$

Но число радиоактивных ядер в момент времени $t = 0$ можно связать с массой радиоактивного вещества формулой

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

где N_A — постоянная (число) Авогадро, ν — число молей, содержащихся в массе данного изотопа, μ — молярная масса изотопа.

Вместе с тем $\mu = A \cdot 10^{-3}$ кг/моль, где A — относительная атомная масса. Таким образом, число распавшихся ядер

$$\Delta N = \frac{m N_A}{A \cdot 10^{-3}} (1 - e^{-\ln 2/T \cdot t}). \quad (4)$$

Подставим в (4) числовые данные задачи

$$\Delta N = \frac{10^{-3} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{90 \cdot 10^{-3}} (1 - e^{-0,693/27 \cdot 1}) = 6,4 \cdot 10^{21}.$$

Задача 6. При соударении α -частицы с ядром бора ${}^{10}_5\text{B}$ произошла ядерная реакция, в результате которой образовалось два новых ядра. Одним из этих ядер было ядро водорода ${}^1_1\text{H}$. Определить порядковый номер и массовое число второго ядра, дать символическую запись ядерной реакции и определить ее энергетический баланс.

Решение

Обозначим неизвестное ядро символом ${}^A_Z\text{X}$. Так как α -частица представляет собой ядро гелия ${}^4_2\text{He}$, то запись реакции имеет вид



Применяя законы сохранения числа нуклонов и заряда, получим уравнения:

$$4 + 10 = 1 + A, \quad 2 + 5 = 1 + Z.$$

Отсюда $A = 13$ и $Z = 6$. Следовательно, неизвестное ядро является ядром атома изотопа углерода ${}^{13}_6\text{C}$. Теперь можно записать ядерную реакцию в окончательном виде



Энергетический баланс ядерной реакции определим по формуле

$$Q = 931[(m_{He} + m_B) - (m_H + m_C)].$$

Здесь $m_{He} + m_B$ — сумма масс исходных данных ядер, $m_H + m_C$ — сумма масс продуктов реакции. При расчетах по этой формуле массы ядер можно заменить массами нейтральных атомов. Это возможно по следующей причине: число электронов в электронной оболочке нейтрального атома равно его зарядовому числу Z . Сумма зарядов чисел исходных ядер равна сумме зарядов чисел продуктов реакции. Следовательно, электронные оболочки ядер гелия и бора содержат вместе столько же электронов, сколько их содержат электронные оболочки ядер углерода и водорода. Таким образом, при вычитании суммы масс нейтральных атомов углерода и водорода из суммы масс атомов гелия и бора массы электронов выпадут. Получим тот же результат, как если бы брали массы только ядер. Подставим массы атомов в формулу для Q и получим

$$Q = 931[(4,00260 + 10,01294) - (1,00783 + 13,00335)] = 4,06 \text{ МэВ}.$$

Получим $Q > 0$, следовательно, энергетический баланс указанной ядерной реакции положителен, т.е. реакция проходит с выделением тепла.

Задачи контрольной работы №6

1. Вычислить энергию, излучаемую за 1 мин с площади в 1 см^2 абсолютно черного тела, температура которого 1000 К .
2. Определить температуру и энергетическую светимость абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения приходится на длину волны 400 нм .
3. Поток излучения абсолютно черного тела 1 кВт , максимум энергии излучения приходится на длину волны $1,45 \text{ мкм}$. Определить площадь излучающей поверхности.
4. Абсолютно черное тело имеет температуру 100°C . Какова будет температура тела, если в результате нагревания поток излучения увеличивается в 4 раза?
5. Как и во сколько раз изменится поток излучения абсолютно черного тела, если максимум излучения переместится с красной границы видимого спектра (длина волны красного света 780 нм), на фиолетовую (длина волны фиолетового света 390 нм)?
6. На какую длину волны приходится максимум энергии излучения, если температура абсолютно черного тела равна 500 К ? Во сколько раз возрастает суммарная мощность излучения, если температура увеличится до 1300 К ?

Таблица 1 (для специальностей ПГС, ПЗ, ЭУН)

Вариант	Номера задач в контрольной работе №6					
1	6	21	36	51	66	81
2	7	22	37	52	67	82
3	8	23	38	53	68	83
4	9	24	39	54	69	84
5	10	25	40	55	70	85
6	11	26	41	56	71	86
7	12	27	42	57	72	87
8	13	28	43	58	73	88
9	14	29	44	59	74	89
10	15	30	45	60	75	90

Таблица 2 (для специальностей АТП, СДМ)

Вариант	Номера задач в контрольной работе №6					
1	11	26	41	56	71	86
2	12	27	42	57	72	87
3	13	28	43	58	73	88
4	14	29	44	59	74	89
5	15	30	45	60	75	90
6	6	21	36	51	66	81
7	7	22	37	52	67	82
8	8	23	38	53	68	83
9	9	24	39	54	69	84
10	10	25	40	55	70	85

Таблица 3 (для специальностей ТВ, ВВ)

Вариант	Номера задач в контрольной работе №6					
1	15	30	45	60	75	90
2	14	29	44	59	74	89
3	13	28	43	58	73	88
4	12	27	42	57	72	87
5	11	26	41	56	71	86
6	10	25	40	55	70	85
7	9	24	39	54	69	84
8	8	23	38	53	68	83
9	7	22	37	52	67	82
10	6	21	36	51	66	81

Таблица 4 (для специальностей ГСХ, ПСК)

Вариант	Номера задач в контрольной работе №6					
1	4	19	34	49	64	79
2	5	20	35	50	65	80
3	6	21	36	51	66	81
4	7	22	37	52	67	82
5	8	23	38	53	68	83
6	9	24	39	54	69	84
7	10	25	40	55	70	85
8	11	26	41	56	71	86
9	12	27	42	57	72	87
10	13	28	43	58	73	88

Таблица 5 (для специальностей АД, ПБ)

Вариант	Номера задач в контрольной работе №6					
1	1	16	31	42	61	72
2	2	17	32	44	62	74
3	3	18	33	46	63	76
4	4	19	34	48	64	78
5	5	20	35	50	65	80
6	6	21	36	52	66	82
7	7	22	37	54	67	84
8	8	23	38	56	68	86
9	9	24	39	58	69	88
10	10	25	40	60	70	90

7. Принимая спектр Солнца за спектр излучения абсолютно черного тела, определить мощность суммарного (интегрального, т.е. приходящегося на все длины волн) излучения, если максимум испускательной способности соответствует длине волны 0,48 мкм. Радиус Солнца считать равным $6,5 \cdot 10^5$ км.
8. Температура абсолютно черного тела при охлаждении понизилась с 1000 до 850 К. Определить, как и на сколько при этом изменилась длина волны, отвечающая максимуму распределения энергии.
9. Из смотрового окошка печи излучается поток в 4 кДж/мин. Определить температуру печи (в модели абсолютно черного тела), если площадь окошка 8 см².
10. На сколько процентов увеличится энергетическая светимость абсолютно черного тела, если температура увеличится на 1%?
11. Максимальное значение спектральной плоскости энергетической све-

- тисмоти абсолютно черного тела $4,16 \cdot 10^{11}$ Вт/м³. На какую длину волны оно приходится?
12. Температура абсолютно черного тела 2000 К. Определить длину волны, на которую приходится максимум энергии излучения, и спектральную плотность энергетической светимости тела (его излучательности) для этой длины волны.
 13. Определить количество теплоты, теряемое поверхностью расплавленной платины при 1770°C за 1 мин, если площадь поверхности 100 см². Коэффициент поглощения принять равным 0,8.
 14. Какое количество теплоты в 1 с нужно подводить к свинцовому шару радиусом 4 см, чтобы поддерживать его температуру при 27°C, если температура окружающей среды -23°C. Считать, что тепло теряется вследствие излучения. Поглощательная способность свинца 0,6.
 15. Абсолютно черное тело имеет температуру 2900 К. В результате остывания тела длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости, изменилась на 9 мкм. До какой температуры охладилось тело?
 16. Облучение литиевого потока фотокатода производится фиолетовыми лучами, длина волны которых 400 мкм. Определить скорость фотоэлектронов, если красная граница фотоэффекта для лития равна 520 мкм.
 17. Кинетическая энергия электронов, выбитых из цезиевого фотокатода, равна 3 эВ. Определить, при какой максимальной длине волны света выбивается этот электрон. Работа выхода электрона для цезия $A = 1,9$ эВ.
 18. Фотон с длиной волны 0,2 мкм вырывает с поверхности натрия фотоэлектрон, кинетическая энергия которого 2 эВ. Определить работу выхода и красную границу фотоэффекта.
 19. Красная граница фотоэффекта для цинка 310 нм. Определить максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов в электрон-вольтах, если на цинк падает свет с длиной волны 200 нм.
 20. Свет с длиной волны 150 нм падает на поверхность калия. Определить максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов. Работа выхода электрона для калия $A = 2,0$ эВ.
 21. Фотон с энергией 10 эВ падает на серебряную пластину и вызывает фотоэффект. Определить импульс, полученный пластиной, если принять, что направления движения фотона и фотоэлектрона лежат на одной прямой, перпендикулярной поверхности пластины. Работа выхода электрона для серебра $A = 4,74$ эВ.
 22. На фотозлемент с катодом из лития падает свет с длиной волны 200 нм. Найти наименьшее значение задерживающей разности потенциалов,

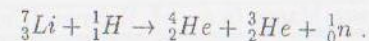
- которую нужно приложить к фотоэлементу, чтобы прекратить фототок. Работа выхода электрона для лития $A = 2,7$ эВ.
23. Какова должна быть длина волны γ - излучения, падающего на платиновую пластину, если максимальная скорость фотоэлектронов $3 \cdot 10^6$ м/с? Работа выхода электрона для платины $A = 5,3$ эВ.
 24. На металлическую пластину направлен пучок ультрафиолетового излучения с длиной волны 0,25 мкм. Фототок прекращается при минимальной задерживающей разности потенциалов 0,98 В. Определить работу выхода электронов из металла.
 25. На платиновую пластину падают ультрафиолетовые лучи. Для прекращения фотоэффекта нужно приложить задерживающую разность потенциалов 3,7 В. Если платиновую пластину заменить пластиной из другого металла, то задерживающую разность потенциалов нужно увеличить до 6 В. Определить работу выхода электронов с поверхности этой пластины. Работа выхода электрона для платины $A = 5,3$ эВ.
 26. Какова должна быть длина волны ультрафиолетовых лучей, падающих на поверхность некоторого металла, чтобы максимальная скорость фотоэлектронов была равна $10 \cdot 10^6$ м/с? Работой выхода пренебречь.
 27. Определить максимальную скорость электронов, вылетающих из металла под действием γ -лучей с длиной волны 0,03 Å ($1 \text{ Å} = 10^{-10}$ м).
 28. Определить максимальную скорость фотоэлектронов, вылетающих из металла при облучении γ - квантами с энергией 1,53 МэВ.
 29. Максимальная скорость фотоэлектронов, вылетающих из металла при облучении его γ - квантами, равна $2,91 \cdot 10^8$ м/с. Определить энергию γ - квантов.
 30. На металл падают рентгеновские лучи длиной волны 4 нм. Пренебрегая работой выхода, определить максимальную скорость фотоэлектронов.
 31. Найти коэффициент отражения поверхности, если при энергетической освещенности (интенсивности света) 120 Вт/м² давление света на нее оказалось равным 0,5 мкПа.
 32. Свет длиной волны 600 нм нормально падает на зеркальную поверхность и производит на нее давление 4 мкПа. Определить число фотонов, падающих за 10 с на 1 мм² этой поверхности.
 33. На зеркальную поверхность площадью 6 см² падает нормально поток излучения 0,8 Вт. Определить давление и силу давления света на эту поверхность.
 34. Пучок параллельных лучей монохроматического света с длиной волны 500 нм падает нормально на зеркальную плоскую поверхность. Поток излучения 0,6 Вт. Определить силу давления, испытываемую этой поверхностью.

35. Параллельный пучок лучей с длиной волны 0,662 мкм падает нормально на абсолютно черную поверхность, производя давление 10 мкПа. Определить концентрацию фотонов в потоке (число фотонов в единице объема).
36. Параллельный пучок лучей с длиной волны 0,662 мкм падает нормально на абсолютно черную поверхность, производя давление 10 мкПа. Определить число фотонов, падающих на единицу площади в единицу времени.
37. Поток монохроматического излучения с длиной волны 500 нм падает нормально на зеркальную (абсолютно отражающую) поверхность и давит на нее с силой 10^{-8} Н. Определить число фотонов, ежесекундно падающих на эту поверхность.
38. Точечный источник монохроматического излучения с длиной волны 1 нм находится в центре сферической абсолютно черной колбы радиусом 10 см. Определить световое давление, производимое на внутреннюю поверхность колбы, если мощность источника 1 кВт.
39. Фотон с энергией 0,4 МэВ рассеялся под углом 90° на свободном электроном. Определить энергию рассеянного фотона и кинетическую энергию электрона отдачи.
40. Определить импульс электрона отдачи при эффекте Комптона, если фотон с энергией, равной энергии покоя электрона, был рассеян на угол равный 180° .
41. Фотон с длиной волны 1 пм рассеялся на свободном электроном под углом 90° . Какую долю своей энергии фотон передал электрону?
42. Какая доля энергии фотона приходится при эффекте Комптона на электрон отдачи, если рассеяние фотона происходит на угол 180° ? Энергия фотона до рассеяния 0,255 МэВ.
43. Фотон жестких рентгеновских лучей с длиной волны 27 пм при соударении со свободным электроном передал ему 9% своей энергии. Определить длину волны рассеянного рентгеновского излучения.
44. Фотон рентгеновских лучей с частотой $1,5 \cdot 10^{18}$ Гц, при комптоновском столкновении с электроном потерял 10% своей энергии. Каковы его энергия и длина волны до и после столкновения с электроном?
45. Энергия падающего фотона равна энергии покоя электрона. Сколько процентов энергии падающего фотона остается у рассеянного фотона и сколько процентов получает электрон отдачи, если углы рассеяния равны 60, 90, 180° ?
46. Вычислить длину волны де Бройля для электрона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов 22,5 В.
47. Какую ускоряющую разность потенциалов должен пройти протон, чтобы длина волны де Бройля была равна: 1) 1 нм; 2) 1 пм?

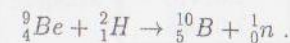
48. Протон обладает кинетической энергией 1 кэВ. Определить дополнительную энергию, которую нужно ему сообщить для того, чтобы длина волны де Бройля уменьшилась в три раза.
49. Определить длины волн де Бройля α -частицы и протона, прошедших одинаковую разность потенциалов, равную 1 кВ.
50. Электрон обладает кинетической энергией 1,02 МэВ. Во сколько раз изменится длина волны де Бройля, если кинетическая энергия электрона уменьшится вдвое?
51. Кинетическая энергия электрона равна удвоенному значению его энергии покоя. Вычислить длину волны де Бройля для такого электрона.
52. Масса движущегося электрона в 2 раза больше массы покоя. Определить длину волны де Бройля для такого электрона.
53. Показать, что для частицы, неопределенность координаты которой составляет $\lambda/(2\pi)$, где λ — длина волны де Бройля, неопределенность ее скорости равна по порядку величине самой скорости частицы.
54. Используя соотношения неопределенностей Гейзенберга, показать, что ядра атомов не могут содержать электронов. Считать радиус ядра равным 10^{-15} м, а энергию связи электрона в атоме принять равной 13,6 эВ.
55. Исходя из соотношения неопределенностей, оценить размеры ядра атома, считая, что минимальная энергия нуклона в ядре 8 МэВ.
56. Атом испустил фотон с длиной волны 0,550 мкм. Продолжительность излучения 10 нс. Определить наибольшую погрешность, с которой может быть измерена длина волны излучения.
57. Используя соотношения неопределенностей, оценить наименьшие ошибки в определении импульса электрона и протона, если координаты в центре масс этих частиц могут быть установлены с неопределенностью 0,01 мм.
58. Частица в потенциальном ящике шириной l находится в возбужденном состоянии с главным квантовым числом $n = 2$. Определить, в каких точках ящика плотность вероятности нахождения частицы имеет максимальное и минимальное значения.
59. Частица в потенциальном ящике находится в основном состоянии. Какова вероятность обнаружить частицу в средней трети ящика?
60. Частица в потенциальном ящике находится в основном (невозбужденном) состоянии. Какова вероятность обнаружить частицу в крайней трети ящика?
61. Период полураспада ${}_{27}^{60}\text{Co}$ равен 5,3 года. Определить, какая доля первоначального количества ядер этого изотопа распадется через 5 лет.

62. За год распалось 60% некоторого радиоактивного элемента. Определить период полураспада этого элемента.
63. Определить постоянную радиоактивного распада и число атомов радона, распавшихся в течение суток, если первоначальная масса радона 10 г. Период полураспада радона равен 3,82 суток.
64. Определить начальную активность радиоактивного препарата магния $^{27}_{12}Mg$ массой 0,2 мкг, а так же его активность через 6 часов. Период полураспада магния 10 мин.
65. Определить активность радиоактивного препарата $^{98}_{36}Sr$ массой 0,1 мкг. Период полураспада стронция 27 лет.
66. Определить число атомов радиоактивного препарата йода $^{131}_{53}I$ массой 0,5 мкг, распавшихся в течение 1 мин и в течение 7 суток. Период полураспада йода 8 суток.
67. Определить количество радия, которое распадается за 1000 лет из 1 г чистого радия, если период полураспада радия 1620 лет.
68. Принимая, что из каждого миллиарда атомов радия в 1 с распадается 58 атомов, найти период его полураспада.
69. Постоянная распада радона составляет $0,181 \text{ день}^{-1}$. Найти период его полураспада и определить, какая доля первоначального числа атомов радона распадается за 30 дней.
70. Найти период полураспада радиоактивного изотопа, если его активность за время 10 суток уменьшилась на 24% по сравнению с первоначальной.
71. Определить какая доля радиоактивного изотопа $^{225}_{89}Ac$ распадается в течение 6 суток. Период распада этого изотопа 10 суток.
72. Активность некоторого изотопа за 10 суток уменьшилась на 20%. Определить период полураспада этого изотопа.
73. Определить массу радиоактивного изотопа магния $^{27}_{12}Mg$, если его активность 139 Ки. Период полураспада этого изотопа 10 минут.
74. Найти среднюю продолжительность жизни атома радиоактивного изотопа кобальта $^{60}_{27}Co$. Период полураспада изотопа 5,3 лет.
75. Счетчик α -частиц, установленный вблизи радиоактивного изотопа, при первом измерении регистрировал 1400 частиц в минуту, а через 4 часа — только 400 частиц в минуту. Определить период полураспада изотопа.
76. Определить удельную энергию связи (т.е. среднюю энергию связи, приходящуюся на один нуклон) ядра $^{12}_6C$.
77. Энергия связи ядра, состоящего из двух протонов и одного нейтрона, равна 7,72 МэВ. Определить массу нейтрального атома, имеющего это ядро.

78. Определить массу нейтрального атома, если ядро этого атома состоит из трех протонов и двух нейтронов и энергия связи ядра равна 26,3 МэВ.
79. Ядро, поглотившее γ -квант с длиной волны $4,7 \cdot 10^{-13} \text{ м}$, пришло в возбужденное состояние и распалось на отдельные нуклоны, разлетевшиеся в разные стороны. Суммарная кинетическая энергия нуклонов равна 0,4 МэВ. Определить энергию связи ядра.
80. Сколько энергии выделится при образовании одного грамма гелия 4_2He из протонов и нейтронов?
81. Энергия связи электрона с ядром невозбужденного атома водорода 1_1H (энергия ионизации) равна 13,6 эВ. Определить, на сколько масса атома водорода меньше суммы масс свободных протона и электрона.
82. Вычислить дефект массы, энергию связи ядра и удельную энергию связи для элемента $^{108}_{47}Ag$.
83. Вычислить дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи для элемента $^{24}_{12}Mg$.
84. Ядро, состоящее из 92 протонов и 143 нейтронов, выбросило α -частицу. Какое ядро образовалось в результате α -распада? Определить дефект массы и энергию связи образовавшегося ядра.
85. Найти энергию связи ядер 3_1H и 3_2He . Какое из этих ядер более устойчиво?
86. При термоядерном взаимодействии двух дейтронов возможны образования двух типов, одно из которых есть ядро 3_2He . Определить тепловой эффект этой реакции.
87. Какое количество энергии освобождается при соединении одного протона и двух нейтронов в атомное ядро 3_1He ?
88. Найти энергию ядерной реакции



89. Найти энергию ядерной реакции



90. Найти энергию ядерной реакции



Библиографический список рекомендуемой литературы

1. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики: учеб. пособие для втузов. — М.: Высш. шк., 1989. — 608 с.
2. Савельев И.В. Курс общей физики: учеб. пособие для вузов, тт. 2-3. — М.: Наука, 1989.
3. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов. — М.: Высш. шк., 2001. — 542 с.
4. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Справочник по физике для втузов: изд. 2-е перераб. — М.: Наука, главная редакция физ.-мат. литературы, 1985. — 512 с.
5. Сивухин Д.В. Общий курс физики, тт. 1-5. — М.: Наука, 1989.
6. Енохович А.Е. Справочник по физике и технике: учеб. пособие для учащихся. — М.: Просвещение, 1989. — 224 с.
7. Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике. — М.: Наука, 1980. — 208 с.
8. Сена Л.А. Единицы физических величин и их размерности: учебно-справочное руководство. — М.: Наука, 1988. — 432 с.
9. Джанколи Д. Физика, т. 2: пер. с англ. / Под ред. Ю.Г. Рудого. — М.: Мир, 1989.
10. Орир Дж. Физика, т. 2: пер. с англ. / Под ред. Е.М. Лейкина. — М.: Мир, 1981.

Приложение (Массы изотопов некоторых элементов)

Таблица 6

Изотоп	Символ	Масса (а.е.м.)	Изотоп	Символ	Масса (а.е.м.)
Нейтрон	1_0n	1,00867	Бор	${}^{10}_5B$	10,01294
Водород	1_1H	1,00783		${}^{11}_5B$	11,00930
Дейтерий	2_1H	2,01410	Углерод	${}^{12}_6C$	12,00000
Тритий	3_1H	3,01605		${}^{13}_6C$	13,00335
Гелий	3_2He	3,01603		${}^{14}_6C$	14,00324
	4_2He	4,00260	Азот	${}^{14}_7N$	14,00307
Литий	6_3Li	6,01513	Кислород	${}^{16}_8O$	15,99491
	7_3Li	7,01601		${}^{17}_8O$	16,99913
Бериллий	9_4Be	9,01219	Магний	${}^{24}_{12}Mg$	23,98504
			Серебро	${}^{108}_{47}Ag$	107,86800

Оглавление

Введение	3
Контрольная работа №5	4
Законы и формулы	4
Примеры решения задач	7
Задачи контрольной работы №5	13
Контрольная работа №6	24
Законы и формулы	24
Примеры решения задач	28
Задачи контрольной работы №6	33
Список литературы	42
Приложение	42

Волновая оптика. Квантовая природа излучения. Элементы квантовой механики и ядерной физики

Методические указания и задания к контрольным работам
№5 и №6 по физике для студентов заочного факультета

Составители: доц. Владимир Николаевич Белко
доц. Вячеслав Михайлович Назаров

Редактор Суханова Т.В.

Подписано в печать 30.01.2006. Формат 60 × 84 1/16. Уч. изд. л. 2,7.
Усл. печ. л. 2,8. Бумага писчая. Заказ № 50. Тираж 500 экз.

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии Воронежского
государственного архитектурно-строительного университета
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84