

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физика»

ФИЗИКА

*Методические рекомендации к практическим занятиям
для студентов всех специальностей
дневной и заочной форм обучения*

**ОПТИКА. ОСНОВЫ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА,
ЭЛЕМЕНТЫ АТОМНОЙ И ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ**



УДК 531
ББК 22.31
Ф 55

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физика» «12» марта 2018 г., протокол № 7

Составители: канд. физ.-мат. наук, доц. И. В. Терешко;
канд. физ.-мат. наук, доц. А. В. Шульга;
д-р физ.-мат. наук, доц. А. В. Хомченко;
ст. преподаватель В. Ф. Холомеев

Рецензент И. Д. Камчицкая

В методических рекомендациях приводятся условия задач для контрольных работ и требования к их выполнению, а также таблицы физических постоянных.

Учебно-методическое издание

ФИЗИКА

Ответственный за выпуск	А. В. Хомченко
Технический редактор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 56 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 24.01.2014.
Пр. Мира, 43, 212000, Могилев.

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский
университет», 2018



Содержание

1 Общие указания	4
2 Основные понятия и формулы	4
2.1 Волновая оптика	4
2.2 Квантовая природа излучения	7
2.3 Элементы атомной физики, квантовой механики и физики твердого тела.....	9
2.4 Элементы физики атомного ядра и элементарных частиц	12
3 Волновая и квантовая оптика	12
3.1 Интерференция волн	12
3.2 Дифракция света	14
3.3 Поляризация света. Степень поляризации. Закон Брюстера. Закон Малюса	16
3.4 Тепловое излучение	17
3.5 Фотоэффект. Давление света. Корпускулярные свойства электромагнитного излучения	19
3.6 Волновые свойства микрочастиц. Соотношение неопределенностей. Элементы квантовой механики	21
4 Элементы физики атомного ядра и элементарных частиц.....	22
4.1 Строение атома. Спектры молекул.....	22
4.2 Дефект массы и энергия связи. Ядерные реакции.	
Радиоактивность.....	24
Список литературы.....	27
Приложение А	28



1 Общие указания

Методические рекомендации содержат условия задач по разделам «Волновая и квантовая оптика», «Элементы квантовой физики атомов, молекул, твердых тел» и «Элементы физики атомного ядра и элементарных частиц». Справочная информация, необходимая для решения задач, приведена в таблицах А.1–А.14.

2 Основные понятия и формулы

2.1 Волновая оптика

Скорость света в среде

$$v = c/n,$$

где c – скорость света в вакууме;
 n – показатель преломления среды.

Оптическая длина пути световой волны

$$L = nl,$$

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

Оптическая разность хода двух световых волн

$$\Delta = L_1 - L_2.$$

Взаимосвязь разности фаз и оптической разности хода

$$\Delta\varphi = (2\pi/\lambda)\Delta,$$

где λ – длина световой волны.

Закон отражения света $\alpha = \beta$ (рисунок 1).

Закон преломления света (см. рисунок 1)

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Полное внутреннее отражение (при $n_2 < n_1$
и $\gamma = 90^\circ$)

$$\sin \alpha_{np} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Интерференция света:

– условие максимального усиления света при интерференции

$$\Delta = \pm k\lambda \quad (k = 0, 1, 2, \dots);$$

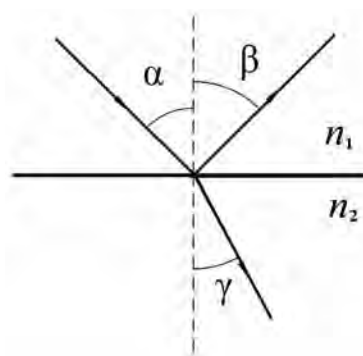


Рисунок 1 – Преломление света на границе раздела двух сред



– условие максимального ослабления света

$$\Delta = \pm(2k + 1)\lambda/2.$$

Интерференция в тонких пленках

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2} = 2m\frac{\lambda}{2} \quad \text{или} \quad (2m + 1)\frac{\lambda}{2} \quad (m = 0, 1, 2, \dots),$$

где d – толщина пленки;

i – угол падения.

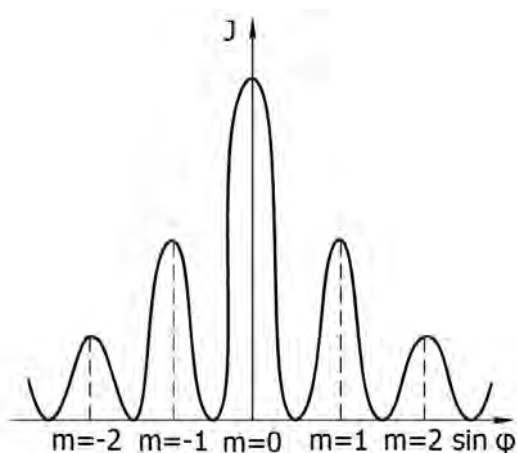
Кольца Ньютона:

– радиус светлых колец Ньютона в отраженном свете

$$r_m = \sqrt{\left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda_0 R} \quad (m = 1, 2, 3, \dots);$$

– радиус темных колец

$$r_m = \sqrt{m\lambda_0 R} \quad (m = 0, 1, 2, \dots).$$



Дифракция Фраунгофера:

– условие наблюдения дифракционных максимумов при дифракции света на щели шириной a (рисунок 2)

$$a \sin \varphi = \pm (2m + 1)\frac{\lambda}{2} \quad (m = 0, 1, 2, 3, \dots);$$

– условие дифракционных минимумов для одной щели

$$a \sin \varphi = \pm 2m\frac{\lambda}{2} \quad (m = 1, 2, 3, \dots);$$

Рисунок 2 – Дифракция

света на щели

– условие главных максимумов для дифракционной решетки

$$d \sin \varphi = \pm m\lambda \quad (m = 0, 1, 2, \dots);$$

– условие дополнительных минимумов для дифракционной решетки

$$d \sin \varphi = \pm \frac{m'\lambda}{N} \quad (m' = 1, 2, \dots, N - 1, N + 1, \dots);$$

– формула Вульфа–Брэггов – дифракция на пространственной решетке (рисунок 3)

$$2d \sin \theta = m\lambda \quad (m = 1, 2, 3, \dots).$$

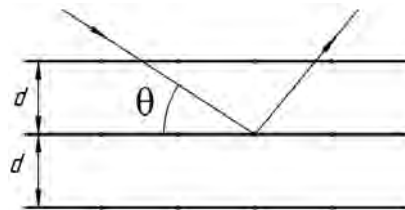


Рисунок 3 – Дифракция света на пространственной решетке

Дифракция Френеля:

– на круглом отверстии θ

а) в центре экрана наблюдается максимум $A = \frac{A_1}{2} + \frac{A_m}{2}$, если m – нечётное, и минимум $A = \frac{A_1}{2} - \frac{A_m}{2}$, если m – чётное;

б) если открыты все зоны, то $A = \frac{A_1}{2}$, открыта одна зона – $A = A_1$;

– на круглой преграде в центре экрана всегда наблюдается максимум $A = A_{m+1}/2$.

Дисперсия – зависимость показателя преломления n от частоты света. Следствие дисперсии – разложение в спектр пучка белого света. Показатель преломления обычно уменьшается с ростом длины волны (*красные* лучи отклоняются *слабее*, чем *фиолетовые*).

Поляризация:

– закон Малюса (рисунок 4);

$$I_A = I_{\Pi} \cos^2 \alpha \quad \left(I_{\Pi} = \frac{1}{2} I_0 \right);$$

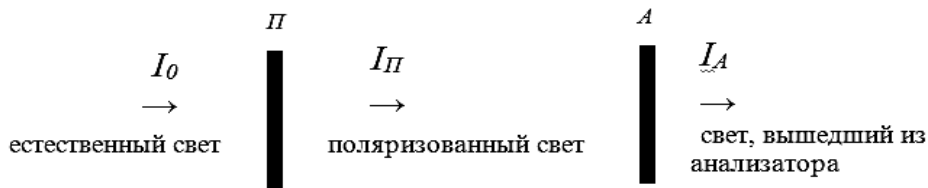


Рисунок 4 – Распространение света через систему «поляризатор-анализатор»

– степень поляризации

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

где I_{\max} и I_{\min} – максимальная и минимальная интенсивности частично поляризованного света;

– закон Брюстера (рисунок 5) определяет угол падения света, при котором отраженный луч является плоско поляризованным:

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

– угол поворота плоскости поляризации монохроматического света при прохождении через оптически активное вещество:

а) в твердых телах

$$\varphi = \alpha d,$$

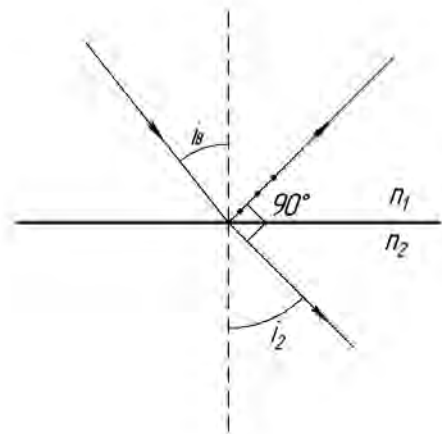


Рисунок 5 – Распространение света через границу раздела двух сред

где α – постоянная вращения;

d – длина пути, пройденного светом в оптически активном веществе;

б) в растворах

$$\varphi = \alpha_p \rho d,$$

где α_p – удельное вращение;

ρ – массовая концентрация оптически активного вещества в растворе.

2.2 Квантовая природа излучения

Тепловое излучение и его характеристики:

– спектральная плотность энергетической светимости (испускательной способности)

$$r_{\nu,T} = \frac{dW_{\nu,\nu+d\nu}}{dS dt d\nu} \left(r_{\nu,T} = \frac{\lambda^2}{c} r_{\lambda,T} \right);$$

– интегральная энергетическая светимость

$$R_T = \int_0^{\infty} r_{\nu,T} d\nu.$$

Законы теплового излучения:

– формула Планка обобщает все законы теплового излучения:

$$r_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{e^{h\nu/(kT)} - 1};$$

– закон Кирхгофа для теплового излучения определяет соотношение между поглощательной $A_{\nu,T}$ и испускательной способностью $R_{\nu,T}$ тел:

$$r_{\nu,T} = \frac{R_{\nu,T}}{A_{\nu,T}};$$

– закон Стефана-Больцмана

$$R_e = \sigma T^4 \text{ или } R = \alpha \sigma T^4,$$

где α – коэффициент нечерноты;

– формула Рэлея-Джинса

$$r_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} kT;$$

– закон смещения Вина

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}; r(\lambda,T)_{\max} = cT^5, \quad b = 2,9 \cdot 10^3 \text{ м} \cdot \text{К}, \quad c = 1,3 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}^5}.$$



С ростом температуры максимум смещается в коротковолновую область (рисунок 6).

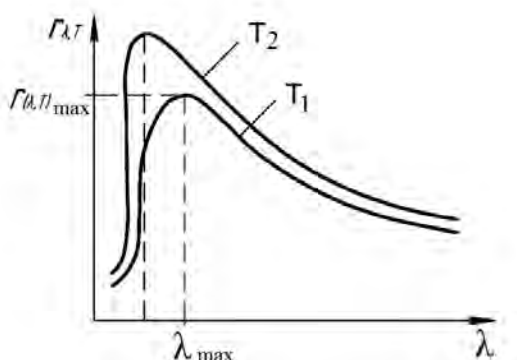


Рисунок 6 – Распределение энергии в спектре излучения АЧТ ($T_2 > T_1$)

Фотоэффект:

– уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта

$$h\nu = A + \frac{mv_{\max}^2}{2} \text{ или } h\nu = A + eU_3; h(\nu - \nu_{\text{кр}}) = eU_3 \left(\nu = \frac{c}{\lambda} \right);$$

– красная граница фотоэффекта $\nu_{\text{кр}} = \frac{A}{h}$ или $\lambda = \frac{hc}{A}$.

На основе анализа зависимости задерживающего потенциала от частоты света (рисунок 7) можно определить постоянную Планка, используя выражение

$$\frac{\Delta(eU_3)}{\nu - \nu_{\text{кр}}} = h.$$

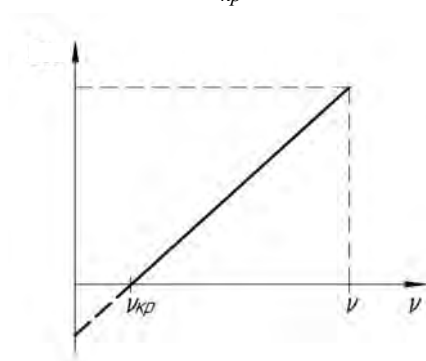


Рисунок 7 – Зависимость задерживающего потенциала от частоты света

Эффект Комптона – упругое рассеяние коротковолнового электромагнитного излучения на слабосвязанных электронах (рисунок 8).

Изменение длины волны фотона при комптоновском рассеянии

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta) \text{ или } \lambda' - \lambda = 2 \frac{h}{m_e c} \sin^2 \frac{\theta}{2}, \text{ или } \Delta \lambda = 2\Lambda_K \sin^2 \frac{\theta}{2},$$

где $\Lambda_K = 2,43 \cdot 10^{-12}$ м.

В процессе столкновения выполняются законы сохранения энергии и импульса. Этот эффект не может наблюдаться в видимой области спектра, т. к. энергия фотона сравнима с энергией электрона в атоме.

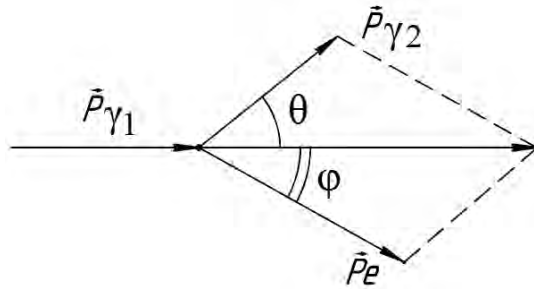


Рисунок 8 – Схема комптоновского рассеяния

Давление света

При нормальном падении на поверхность давление света

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

где E – энергетическая освещенность (энергия фотонов, падающих на единицу поверхности в единицу времени);

w – объемная плотность энергии излучения, $w = \frac{E}{c}$;

ρ – коэффициент отражения ($\rho_{\text{зерк}} = 1$; $\rho_{\text{зачер}} = 0$).

2.3 Элементы атомной физики, квантовой механики и физики твердого тела

Боровская теория водородоподобного атома. Момент электрона (второй постулат Бора) импульса

$$L_n = \hbar n \quad \text{или} \quad mV_n r_n = \hbar n,$$

где m – масса электрона;

V_n – скорость электрона на n -й орбите;

r_n – радиус n -й стационарной орбиты;

$\hbar = h/2\pi$;

h – постоянная Планка;

n – главное квантовое число, $n = 1, 2, 3, \dots$.

Радиус n -й стационарной орбиты

$$r_n = a_0 n^2,$$

где a_0 – первый боровский радиус.

Энергия электрона в атоме водорода

$$E_n = E_i / n^2,$$



где E_i – энергия ионизации атома водорода.

Энергия, излучаемая или поглощаемая атомом водорода,

$$\varepsilon = \hbar\omega = E_{n_2} - E_{n_1},$$

или

$$\varepsilon = E_i \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right),$$

где n_1 и n_2 – квантовые числа, соответствующие энергетическим уровням, между которыми совершается переход электрона в атоме.

Спектроскопическое волновое число

$$\tilde{\nu} = 1/\lambda = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right),$$

где λ – длина волны излучения или поглощения атомом;

R – постоянная Ридберга.

Волновые свойства частиц. Длина волны де Бройля

$$\lambda = h/p,$$

где p – импульс частицы.

Импульс частицы и его связь с кинетической энергией T :

$$p = m_0V; \quad p = \sqrt{2m_0T};$$

$$p = mV = \frac{m_0V}{\sqrt{1 - (V/c)^2}}; \quad p = \frac{1}{c} \sqrt{2m_0T};$$

где m_0 – масса покоя частицы;

m – релятивистская масса;

V – скорость частицы;

c – скорость света в вакууме;

E_0 – энергия покоя частицы, $E_0 = m_0 c^2$.

Соотношение неопределенностей:

– для координаты и импульса

$$\Delta p_x \Delta x \geq \hbar,$$

где Δp_x – неопределенность проекции импульса на ось X ;

Δx – неопределенность координаты;

– для энергии и времени

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

где ΔE – неопределенность энергии;

Δt – время жизни квантовой системы в данном энергетическом состоянии.

Одномерное уравнение Шредингера для стационарных состояний

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U) \psi(x) = 0,$$



где $\psi(x)$ – волновая функция, описывающая состояние частицы;

m – масса частицы;

E – полная энергия;

U – потенциальная энергия частицы.

Плотность вероятности

$$\frac{dw(x)}{dx} = |\psi(x)|^2,$$

где $dw(x)$ – вероятность того, что частица может быть обнаружена вблизи точки с координатой x на интервале dx .

Вероятность обнаружения частицы в интервале от x_1 до x_2

$$w = \int_{x_1}^{x_2} |\psi(x)|^2 dx.$$

Решение уравнения Шредингера для одномерного, бесконечно глубокого, прямоугольного потенциального ящика имеет вид:

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

(собственная нормированная волновая функция) для собственного значения энергии

$$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{2ml^2},$$

где n – квантовое число ($n = 1, 2, 3, \dots$);

l – ширина ящика.

В областях $x \leq 0$ и $x \geq l$ $U = \infty$ и $\Psi(x) = 0$.

Элементы квантовой статистики. Распределение свободных электронов в металле по энергиям при 0 К имеет вид:

$$dn(\varepsilon) = \frac{1}{2\pi^2} \left(\frac{2m}{\hbar^2} \right)^{3/2} \varepsilon^{1/2} d\varepsilon,$$

где $dn(\varepsilon)$ – концентрация электронов, энергия которых заключена в пределах от ε до $\varepsilon + d\varepsilon$;

m – масса электрона.

Это выражение справедливо при $\varepsilon < \varepsilon_F$ (где ε_F – энергия Ферми).

Энергия Ферми в металле при $T = 0$ К

$$\varepsilon_F = \frac{\hbar^2}{2m} (3\pi^2 n)^{2/3},$$

где n – концентрация электронов в металле.



2.4 Элементы физики атомного ядра и элементарных частиц

Энергия связи атомного ядра

$$E_{св} = \Delta mc^2 = [Zm_p + (A - Z)m_n - m_{я}] \cdot c^2 = [Zm_H + (A - Z)m_n - M_A] \cdot c^2.$$

Дефект массы $\Delta m = E_{св} / c^2$.

Спин ядра – векторная сумма спинов нуклонов и орбитальных моментов импульса нуклонов: $L_{я} = \hbar\sqrt{I(I+1)}$, где I – спиновое квантовое число (0; 1/2; 1; 2/3; ...).

Закон радиоактивного распада

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

где N – число нераспавшихся к моменту времени t ядер;

N_0 – начальное число ядер;

λ_p – постоянная распада.

При радиоактивном распаде выполняются закон сохранения электрических зарядов и закон сохранения масс.

Виды радиоактивных распадов:

α -распад: ${}^A_Z X = {}^{A-4}_{Z-2} Y + {}^4_2 He$ (Z – зарядовое число (число протонов); A – массовое число (число протонов и нейтронов));

β^- -распад: ${}^A_Z X = {}^{A-4}_{Z-2} Y + {}^4_2 He$ (${}_0^1 n \rightarrow {}_1^1 p + {}_{-1}^0 e + \tilde{\nu}$);

β^+ -распад: ${}^A_Z X = {}^{A-4}_{Z-1} Y + {}^0_1 e$ (${}_1^1 p \rightarrow {}_0^1 n + {}_{+1}^0 e + {}^0_0 \nu$).

3 Волновая и квантовая оптика

3.1 Интерференция волн

1 От двух когерентных источников S_1 и S_2 ($\lambda = 0,8$ мкм) лучи попадают на экран. На экране наблюдается интерференционная картина. Когда на пути одного из лучей перпендикулярно ему поместили мыльную пленку ($n = 1,33$), интерференционная картина изменилась на противоположную. При какой наименьшей толщине d_{\min} пленки это возможно?

2 Во сколько раз N в опыте Юнга нужно изменить расстояние до экрана, чтобы пятая светлая полоса новой интерференционной картины оказалась на том же расстоянии, что и третья полоса в прежней картине?

3 В опыте Юнга расстояние между щелями d равно 1 мм, а расстояние от щелей до экрана – 3 м. Определить положение первой светлой полосы, положение третьей темной полосы, если щели освещать монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 0,5$ мкм.



4 Мыльная пленка освещается излучением следующего спектрального состава: $\lambda_1 = 410,2$ нм, $\lambda_2 = 434$ нм, $\lambda_3 = 486,1$ нм, $\lambda_4 = 656,3$ нм. Наблюдение ведется в отраженном свете. Какие световые волны будут максимально усилены и какие максимально ослаблены в результате интерференции при толщине пленки $d = 0,615$ мкм? Свет падает перпендикулярно к поверхности пленки. Показатель преломления пленки $n = 1,34$.

5 На плоскопараллельную пленку с показателем преломления $n = 1,33$ падает параллельный пучок белого света под углом 45° . Определить, при какой наименьшей толщине пленки зеркально отраженный свет наиболее сильно окрасится в желтый цвет с длиной волны $\lambda = 0,6$ мкм.

6 Найти угол θ между гранями стеклянного клина, если на него нормально падает монохроматический свет, длина волны которого $\lambda = 0,52$ мкм и число интерференционных полос, приходящихся на 1 см, равно 8. Показатель преломления стекла для указанной длины волны $n = 1,49$.

7 Свет с длиной волны $\lambda = 600$ нм падает на тонкую мыльную пленку под углом $\alpha = 30^\circ$. В отраженном свете на пленке наблюдаются интерференционные полосы. Расстояние между соседними полосами $\Delta x = 4$ мм. Показатель преломления пленки $n = 1,33$. Найти угол θ между поверхностями пленки.

8 Найти радиус кривизны линзы, применяемой для наблюдения колец Ньютона, если расстояние между вторым и третьим светлыми кольцами равно 0,5 мм. Установка освещается светом с длиной волны $\lambda = 5,5 \cdot 10^{-7}$ м. Наблюдение ведется в отраженном свете.

9 Установка для получения колец Ньютона освещается белым светом, падающим по нормали к поверхности пластинки. Радиус кривизны линзы $R = 5$ м. Наблюдение ведётся в проходящем свете. Найти радиус r_1 четвертого синего кольца ($\lambda_1 = 400$ нм) и радиус r_1 третьего красного кольца ($\lambda_1 = 630$ нм).

10 Установка для наблюдения колец Ньютона освещается монохроматическим светом, падающим нормально. При заполнении пространства между линзой и стеклянной пластинкой прозрачной жидкостью радиусы темных колец в отраженном свете уменьшились в 1,21 раза. Определить показатель преломления жидкости.

11 В опыте Юнга щели (расстояние между ними $d = 1$ мм) освещаются монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 500$ нм. Определить ширину b интерференционных полос, если расстояние L от щелей до экрана равно 2 м.

12 В опыте Юнга щели освещаются монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 0,55$ мкм, расстояние между щелями $d = 1$ мм. Определить расстояние L от щелей до экрана, если вторая светлая полоса на экране отстоит от центра интерференционной картины на расстоянии $x = 2,75$ мм.

13 На экране наблюдается интерференционная картина в результате наложения лучей от двух когерентных источников ($\lambda = 600$ нм). На пути одного из лучей перпендикулярно ему поместили стеклянную пластинку ($n = 1,6$),



в результате чего интерференционная картина сместилась на $m = 10$ полос. Определить толщину этой пластинки.

14 От двух когерентных источников S_1 и S_2 ($\lambda = 0,8$ мкм) лучи попадают на экран. На экране наблюдается интерференционная картина. Когда на пути одного из лучей перпендикулярно ему поместили мыльную пленку ($n = 1,33$), интерференционная картина изменилась на противоположную. При какой наименьшей толщине d_{\min} пленки это возможно?

15 На прозрачную плоскопараллельную пластинку с показателем преломления $n = 1,5$ под углом $i = 30^\circ$ падает параллельный пучок белого света. Определить, при какой наименьшей толщине пленки зеркально отраженный свет наиболее сильно окрасится в красный свет ($\lambda = 670$ нм).

16 На тонкий стеклянный клин ($n = 1,55$) нормально падает монохроматический свет. Угол α между поверхностями клина равен $3'$. Определить длину световой волны λ , если расстояние b между двумя соседними интерференционными максимумами в отраженном свете равно $0,2$ мм.

17 Как изменится радиус колец Ньютона, если пространство между плосковыпуклой линзой и плоскопараллельной пластинкой заполнить прозрачной жидкостью с показателем преломления $n = 1,56$?

18 Для измерения показателя преломления аргона в одно из плеч интерферометра Майкельсона поместили пустую стеклянную трубку длиной $l = 12$ см с плоскопараллельными торцовыми поверхностями. При заполнении трубки аргоном интерференционная картина сместилась на $N = 106$ полос. Определить показатель преломления аргона, если длина волны света равна 639 нм.

3.2 Дифракция света

1 На дифракционную решетку длиной $l = 15$ мм, содержащую $N = 300$ штрихов, падает нормально монохроматический свет с длиной волны в $\lambda = 550$ нм. Определить число максимумов, наблюдаемых в спектре дифракционной решетки, угол, соответствующий последнему максимуму.

2 На дифракционную решетку нормально падает пучок света. Угол дифракции для линии, длина волны которой $\lambda_1 = 589$ нм, в спектре первого порядка $\varphi_1 = 17^\circ 8'$. Угол дифракции некоторой линии в спектре второго порядка $\varphi_2 = 24^\circ 12'$. Найти длину волны λ_2 этой линии и число штрихов N на 1 мм решетки.

3 На узкую щель нормально падает параллельный пучок монохроматического света. Дифракционная картина проецируется на экран с помощью линзы. Как надо изменить ширину щели, чтобы центральная светлая полоса уменьшилась в 2 раза?

4 Определить длину волны монохроматического света, падающего нормально на дифракционную решетку с периодом $d = 2,2$ мкм, если угол между максимумами первого и второго порядков спектра равен $\Delta\varphi = 15^\circ$.



5 На узкую щель падает нормально монохроматический свет. Угол отклонения лучей, соответствующих второй светлой дифракционной полосе, равен 1° . Скольким длинам волн падающего света равна ширина щели?

6 На узкую щель падает нормально монохроматический свет. Его направление на четвертую темную дифракционную полосу составляет $2^\circ 12'$. Определить, сколько длин волн укладывается на ширине щели.

7 Свет падает нормально на прозрачную дифракционную решетку шириной $L = 6,5$ см, имеющую 200 штрихов на 1 мм. Исследуемый спектр содержит спектральную линию длиной $\lambda_1 = 670,8$ нм, состоящую из двух компонент, отличающихся на $\Delta\lambda = 0,015$ нм. Найти, в каком порядке k спектра эти компоненты будут разрешены и какова наименьшая разность длин волн $\Delta\lambda_{\min}$, которую может разрешить эта решетка в области $\lambda_2 = 670$ нм.

8 Имеются две дифракционные решетки с периодами d_1 и d_2 и общим числом штрихов N_1 и N_2 . При этом $d_1 < d_2$, $N_1 > N_2$, но произведение $d \times N$ для обеих решеток одинаково. Для какой из решеток максимальная разрешающая способность больше, если наблюдать одну и ту же спектральную линию при нормальном падении света на решетку?

9 Параллельный пучок лучей рентгеновского излучения падает на грань кристалла. Под углом $\varphi = 65^\circ$ к плоскости грани наблюдается максимум первого порядка. Расстояние d между атомными плоскостями кристалла равно 280 пм. Определить длину волны λ рентгеновского излучения.

10 На грань кристалла каменной соли падает параллельный пучок рентгеновского излучения с длиной волны $\lambda = 147$ пм. Определить расстояние d между атомными плоскостями кристалла, если дифракционный максимум второго порядка наблюдается, когда излучение падает под углом $31^\circ 30'$ к поверхности кристалла.

11 Посередине между точечным источником монохроматического света $\lambda = 550$ нм и экраном находится диафрагма с круглым отверстием. Дифракционная картина наблюдается на экране, расположенном на расстоянии 5 м от источника. Определить радиус отверстия, при котором центр дифракционных колец, наблюдаемых на экране, будет наиболее темным.

12 Определить радиус восьмой зоны Френеля, если радиус второй зоны Френеля для плоского волнового фронта равен 1,5 мм.

13 Определить расстояние b от зонной пластинки до места наблюдения, если радиус третьей зоны Френеля для плоской монохроматической волны ($\lambda = 500$ нм) составляет 1,5 мм.

14 На диафрагму с круглым отверстием диаметром $d = 5$ мм падает нормально параллельный пучок света с длиной волны $\lambda = 0,6$ мкм. Определить расстояние от точки наблюдения до отверстия, если отверстие открывает две зоны Френеля, три зоны Френеля.



15 Постоянная d дифракционной решетки равна 35 мкм. Определить длину этой решетки, если она в первом порядке разрешает две спектральные линии калия.

3.3 Поляризация света. Степень поляризации. Закон Брюстера. Закон Малюса

1 Предельный угол полного внутреннего отражения для некоторого вещества равен 45° . При каком угле ε падения на это вещество отраженный пучок света максимально поляризован?

2 Свет, проходя через жидкость, налитую в стеклянный сосуд ($n = 1,5$), отражается от дна, причем отраженный свет плоскополяризован при падении его на дно сосуда под углом 41° . Определить показатель преломления жидкости, угол падения света на дно сосуда, при котором наблюдалось бы полное внутреннее отражение.

3 Предельный угол полного внутреннего отражения для пучка света на границе кристалла каменной соли с воздухом равен $40,5^\circ$. Определить угол Брюстера при падении света из воздуха на поверхность этого кристалла.

4 Угол α между плоскостями пропускания поляризатора и анализатора равен 45° . Во сколько раз уменьшится интенсивность света, выходящего из анализатора, если угол увеличить до 60° ?

5 Два николя N_1 и N_2 расположены так, что угол α между их плоскостями пропускания равен 60° . Во сколько раз уменьшится интенсивность света при прохождении через оба николя? При прохождении каждого из николей потери на поглощение света составляют 5 %.

6 Пластика кварца толщиной $d = 2$ мм (постоянная вращения кварца $\alpha = 27$ град/мм), вырезанная перпендикулярно оптической оси, помещена между двумя скрещенными николями. Пренебрегая потерями света в николях, определить, во сколько раз уменьшится интенсивность света, прошедшего эту систему.

7 Естественный свет проходит через поляризатор и анализатор, расположенные так, что угол между их главными плоскостями равен α . Как поляризатор, так и анализатор поглощают и отражают 8 % падающего на них света. Оказалось, что интенсивность луча, вышедшего из анализатора, равна 9 % интенсивности света, падающего на поляризатор. Найти угол α .

8 На пути частично поляризованного света поместили николь. При повороте николя на угол $\varphi = 60^\circ$ из положения, соответствующего максимуму пропускания света, интенсивность прошедшего света уменьшилась в 3 раза. Найти степень поляризации падающего света.

9 Определить массовую концентрацию C сахарного раствора, если при прохождении света через трубку длиной $L = 20$ см с этим раствором плоскость



поляризации поворачивается на угол $\varphi = 10^\circ$. Удельное вращение $[\alpha]$ для сахара равно $1,17 \cdot 10^{-2}$ рад·м²/кг.

10 Степень поляризации P частично-поляризованного света равна 0,5. Во сколько раз отличается максимальная интенсивность света, проходящего через анализатор, от минимальной?

11 Определить степень поляризации P света, который представляет собой смесь естественного света с плоскополяризованным, причем интенсивность поляризованного света в 4 раза больше интенсивности естественного.

12 Угол Брюстера i_B при падении света из воздуха в стекло составляет $57,5^\circ$. Определить скорость распространения света в стекле.

13 Предельный угол полного отражения для пучка света на границе некоторого вещества с воздухом равен 45° . Определить угол Брюстера при падении света из воздуха на поверхность этого вещества.

14 Определить угол преломления, если при отражении света от стекла с показателем преломления $n = 1,73$ отраженный луч оказался полностью поляризованным.

15 На пути естественного света поставлены поляризатор и анализатор (николи), угол α между главными плоскостями которых составляет 60° . Определить, во сколько раз уменьшится интенсивность света, прошедшего через систему, если потери на поглощение и отражение в каждом никеле составляют 10 %.

16 Естественный свет интенсивностью I_0 проходит через поляризатор и анализатор, угол между главными плоскостями которых равен α . После прохождения света через эту систему он падает на зеркало и, отразившись, проходит вновь через нее. Пренебрегая поглощением света, определить интенсивность I света после его обратного прохождения.

3.4 Тепловое излучение

1 На какую длину волны приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела при температуре 0°C ?

2 Определить температуру и энергетическую светимость солнечной поверхности, если длина волны, соответствующая максимуму излучательной способности, равна $0,412$ мкм.

3 Какова должна быть температура абсолютно черного тела, чтобы максимальная излучательная способность приходилась на $\lambda = 3,8 \cdot 10^{-7}$ м?

4 На сколько процентов увеличится энергетическая светимость абсолютно черного тела, если его температура увеличится на 1 % ?

5 Найти температуру печи, если известно, что из отверстия в ней, площадь которого равна $6,1$ см², излучается в 1 с энергия 32 Дж. Излучение считать



близким к излучению абсолютно черного тела.

6 На какую длину волны приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела, имеющего температуру человеческого тела, т. е. $37\text{ }^\circ\text{C}$?

7 Найти, какое количество энергии с 1 см^2 поверхности за 1 с излучает абсолютно черное тело, если максимальная спектральная плотность его энергетической светимости приходится на длину волны в 4840 \AA ($1\text{ \AA} = 10^{-10}\text{ м}$).

8 Вследствие изменения температуры абсолютно черного тела максимум спектральной плотности энергетической светимости сместился с $2,4\text{ мкм}$ на $0,8\text{ мкм}$. Как и во сколько раз изменились энергетическая светимость тела и максимальное значение спектральной плотности энергетической светимости?

9 Мощность излучения абсолютно твердого тела равна 34 кВт . Найти температуру этого тела, если известно, что площадь его поверхности равна $0,6\text{ м}^2$.

10 Абсолютно черное тело имеет температуру $100\text{ }^\circ\text{C}$. Какова будет температура тела, если в результате нагревания поток излучения увеличится в 4 раза?

11 Максимум испускательной способности абсолютно черного тела приходится на длину волны в 1 мкм . На какую длину волны он переместился, когда вследствие охлаждения тела суммарная мощность излучения уменьшилась в 4 раза?

12 При нагревании абсолютно черного тела длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости, изменилась от 690 до 500 нм . Во сколько раз увеличилась при этом энергетическая светимость тела?

13 Черный шарик остывает от 27 до $20\text{ }^\circ\text{C}$. На сколько изменилась длина волны, соответствующая максимуму излучающей способности?

14 В спектре излучения солнца максимум спектральной плотности излучательной способности соответствует $\lambda_{\text{max}} = 500\text{ нм}$. Принимая солнце за абсолютно черное тело, определить излучательную способность солнца R_e , поток энергии Φ , излучаемый солнцем, «массу» электромагнитных волн, излучаемых солнцем за 1 с .

15 Поток энергии, излучаемой из смотрового окошка плавильной печи, равен 34 Вт . Определить температуру печи, если площадь отверстия 6 см^2 .

16 Муфельная печь потребляет мощность $P = 1000\text{ Вт}$. Температура ее внутренней поверхности при открытом отверстии площадью 25 см^2 равна 1200 К . Считая, что отверстие печи излучает как абсолютно черное тело, определить, какая часть $P_{\text{пот}}$ мощности рассеивается стенками.

17 Температура верхних слоев солнца $T = 5300\text{ К}$. Считая Солнце абсолютно черным телом, определить λ_{max} , которой соответствует максимальная спектральная плотность излучательной способности $(r_{\lambda,T})_{\text{max}}$ Солнца.



18 Вследствие изменения температуры абсолютно чёрного тела максимум спектральной плотности излучательной способности сместился с $\lambda_1 = 2,4$ мкм на $\lambda_2 = 0,8$ мкм. Как и во сколько раз изменилась излучательная способность R_λ тела?

19 Температура $T_{ачт} = 2000$ К. Определить спектральную плотность излучательной способности $r_{\lambda,T}$ для $\lambda = 600$ нм, R_e в интервале длин волн от $\lambda_1 = 590$ нм до $\lambda_2 = 610$ нм. Принять, что $r_{\lambda,T}$ в этом интервале равен $r_{\lambda,T}$ при $\lambda = 600$ нм.

20 Длина волны, на которую приходится максимум энергии в спектре излучения абсолютно черного тела, $\lambda_0 = 0,58$ мкм. Определить излучательную способность R_e поверхности тела.

21 С поверхности сажи площадью $S = 2$ см² при температуре $T = 400$ К за время $t = 5$ мин излучается энергия $W = 83$ Дж. Определить коэффициент черноты сажи.

3.5 Фотозффект. Давление света. Корпускулярные свойства электромагнитного излучения

1 При какой температуре кинетическая энергия молекулы двухатомного газа будет равна энергии фотона с длиной волны $\lambda = 539$ нм?

2 Длина волны света, соответствующая красной границе фотозффекта, для некоторого металла $\lambda_0 = 275$ нм. Найти работу выхода электрона из металла, максимальную скорость электронов, вырываемых из металла светом с длиной волны $\lambda = 180$ нм, и максимальную кинетическую энергию электронов.

3 На поверхность серебряной пластинки направляется пучок ультрафиолетовых лучей с длиной волны 300 нм. Будет ли иметь место фотозффект в данном случае, если работа выхода электронов составляет $7,5 \cdot 10^{-19}$ Дж?

4 Найти задерживающую разность потенциалов U для электронов, вырываемых при освещении калия светом с длиной волны $\lambda = 330$ нм. Работа выхода равна 2 эВ.

5 Фотоны с энергией $\varepsilon = 4,9$ эВ вырывают электроны из металла с работой выхода $A = 4,5$ эВ. Найти максимальный импульс p_{\max} , передаваемый поверхности металла при вылете каждого электрона.

6 Определить длину волны рентгеновских лучей, рассеянных под углом $\pi/3$ к направлению падающих лучей. В данном случае комптоновское рассеяние на графитовом образце испытывает рентгеновское излучение с длиной волны 55,8 пм.

7 Найти световое давление P на стенки электрической 100-ваттной лампы. Колба лампы представляет собой сферический сосуд радиусом $r = 5$ см. Стенки



лампы отражают 4 % и пропускают 6 % падающего на них света. Считать, что вся потребляемая мощность идет на излучение.

8 Плоская световая волна интенсивностью $I = 0,20 \text{ Вт/см}^2$ падает на плоскую зеркальную поверхность с коэффициентом отражения $r = 0,8$. Определить давление, которое оказывает свет на эту поверхность.

9 Найти угол рассеяния рентгеновского фотона, испытавшего соударение с почти свободным электроном, если изменение длины волны при рассеянии составило $\Delta\lambda = 3,63 \text{ пм}$.

10 Рентгеновский фотон с энергией $0,25 \text{ МэВ}$ испытал рассеяние на почти свободном электроне. Определить угол рассеяния, если энергия рассеянного фотона оказалась равной $0,2 \text{ МэВ}$.

11 На поверхность площадью $S = 0,01 \text{ м}^2$ в единицу времени падает световая энергия $E = 1,05 \text{ Дж/с}$. Найти световое давление в случаях, когда поверхность полностью отражает и полностью поглощает падающие на нее лучи.

12 Монохроматический пучок света ($\lambda = 490 \text{ нм}$), падая по нормали к поверхности, производит световое давление $P = 4,9 \text{ мкПа}$. Какое число фотонов N падает в единицу времени на единицу площади этой поверхности? Коэффициент отражения света $\rho = 0,25$.

13 Рентгеновские лучи с длиной волны $\lambda_0 = 20 \text{ пм}$ испытывают комптоновское рассеяние под углом $\varphi = 90^\circ$. Найти изменение $\Delta\lambda$ длины волны рентгеновских лучей при рассеянии, а также энергию W_e и импульс электрона отдачи.

14 Используя формулу Комптона, определить максимальное изменение длины волны электромагнитного излучения при рассеянии его на свободных электронах, на свободных протонах.

15 Рентгеновский фотон с длиной волны $\lambda_1 = 10^{-12} \text{ м}$ рассеялся на почти свободном электроне под углом $\theta = \pi/2$. Какую долю своей энергии фотон передал электрону?

16 До какого максимального потенциала зарядится удаленный от других тел медный шарик при облучении его электромагнитным излучением с длиной волны $\lambda = 140 \text{ нм}$?

17 Фотон с энергией $1,00 \text{ МэВ}$ рассеялся на свободном покоившемся электроне. Найти кинетическую энергию электрона отдачи, если в результате рассеяния длина волны фотона изменилась на 25 %.

18 Фотон с импульсом $p = 1,02 \text{ МэВ/с}$, где c – скорость света, рассеялся на покоившемся свободном электроне, в результате чего импульс фотона стал $p' = 0,255 \text{ МэВ/с}$. Под каким углом рассеялся фотон?

19 Фотон рассеялся под углом $\theta = 120^\circ$ на покоившемся свободном электроне, в результате чего электрон получил кинетическую энергию $T = 0,45 \text{ МэВ}$. Найти энергию фотона до рассеяния.



20 Найти длину волны рентгеновского излучения, если максимальная кинетическая энергия комптоновских электронов $T_{\max} = 0,19$ МэВ.

3.6 Волновые свойства микрочастиц. Соотношение неопределенностей. Элементы квантовой механики

1 Заряженная частица, ускоренная разностью потенциалов $U = 200$ В, имеет длину волны де Бройля $\lambda = 2,02$ нм. Найти массу m частицы, если ее заряд численно равен заряду электрона.

2 α -частица движется по окружности радиусом $r = 8,3$ мм в однородном магнитном поле, напряженность которого $H = 18,9$ кА/м. Найти длину волны де Бройля для α -частицы.

3 Найти длину волны де Бройля для атома водорода, движущегося при температуре $T = 293$ К с наиболее вероятной скоростью.

4 Используя соотношение неопределенностей Гейзенберга, показать, что ядра атомов не могут содержать электронов. Считать радиус ядра равным 10^{-13} см.

5 Определить относительную неопределенность $\Delta p/p$ импульса движущейся частицы, если допустить, что неопределенность ее координаты равна длине волны де Бройля.

6 Частица массой m движется в одномерном потенциальном поле $U = kx^2/2$ (гармонический осциллятор). Оценить с помощью соотношения неопределенностей минимально возможную энергию частицы в таком поле.

7 Оценить с помощью соотношения неопределенностей минимально возможную энергию электрона в атоме водорода и соответствующее эффективное расстояние его от ядра.

8 Свободный электрон в момент $t = 0$ локализован в области $\Delta x_0 = 0,1$ нм (порядок размера атома). Оценить с помощью соотношения неопределенностей ширину области локализации этого электрона спустя $t = 1$ с.

9 След пучка электронов на экране электронно-лучевой трубки имеет диаметр $d \approx 0,5$ мм. Расстояние от электронной пушки до экрана $l \approx 20$ см, ускоряющее напряжение $U = 10$ кВ. Оценить неопределенность координаты на экране.

10 Оценить относительную ширину $\Delta\omega/\omega$ спектральной линии, если известны время жизни атома в возбужденном состоянии ($\tau = 10^{-8}$ с) и длина волны излучаемого фотона $\lambda = 0,6$ мкм.

11. Электрон с кинетической энергией $T = 4$ эВ локализован в области размером $l = 1$ мкм. Оценить с помощью соотношения неопределенностей относительную неопределенность его скорости.

12 Оценить наименьшие ошибки, с которыми можно определить скорость электрона, протона и шарика массой 1 мг, если координаты частиц и центра шарика установлены с неопределенностью 1 мкм.

13 Исходя из того, что радиус атома имеет величину около 0,1 нм, оценить скорость движения электрона в атоме водорода.

14 Собственная функция, описывающая состояние частицы в потенциальном ящике, имеет вид $\psi_n(x) = C \sin(\pi n/l)x$. Используя условие нормировки, определить постоянную C .

15 Изобразить на графике вид первых трех собственных функций $\psi_n(x)$, описывающих состояние электрона в потенциальном ящике шириной l , а также вид $|\psi_n(x)|^2$. Установить соответствие между числом N узлов волновой функции (т. е. числом точек, где волновая функция обращается в нуль в интервале $0 < x < l$) и квантовым числом n . Функцию считать нормированной на единицу.

16 Электрон находится в одномерном потенциальном ящике шириной l . Определить вероятность нахождения электрона на втором энергетическом уровне в средней трети ящика.

17 Электрон находится в одномерном потенциальном ящике шириной l . Определить среднее значение координаты $\langle x \rangle$ электрона ($0 < x < l$).

18 Электрон в атоме водорода описывается в основном состоянии волновой функцией $\psi(r) = Ce^{-r/a}$. Определить отношение вероятностей ω_1/ω_2 пребывания электрона в сферических слоях толщиной $\Delta r = 0,01a$ и радиусами $r_1 = 0,5a$ и $r_2 = 1,5a$.

19 Электронный пучок ускоряется в электронно-лучевой трубке разностью потенциалов $U = 1$ кВ. Известно, что неопределенность скорости составляет 0,1 % от его числового значения. Определить неопределенность координаты электрона. Являются ли электроны в данных условиях квантовой или классической частицей?

20 Кинетическая энергия электрона в атоме водорода составляет величину около 10 эВ. Используя соотношение неопределенностей, оценить минимальные линейные размеры атома.

4 Элементы физики атомного ядра и элементарных частиц

4.1 Строение атома. Спектры молекул

1 Найти кинетическую энергию электрона, находящегося на k -й орбите атома водорода, для $k = 1, 2, 3$ и ∞ .

2 Насколько изменилась кинетическая энергия электрона в атоме водорода при излучении атомом фотона с длиной волны $\lambda = 486$ нм?

3 Электрон в невозбужденном атоме водорода получил энергию 12,1 эВ. На какой энергетический уровень он перешел? Сколько линий спектра могут излучиться при переходе электрона на более низкие энергетические уровни?



4 Определить энергию фотона, испускаемую при переходе электрона в атоме водорода с третьего энергетического уровня на основной.

5 Определить первый потенциал возбуждения атома водорода.

6 Фотон с энергией $\varepsilon = 16,5$ эВ выбил электрон из невозбужденного атома водорода. Какую скорость будет иметь электрон вдали от ядра атома?

7 Атом водорода в основном состоянии поглотил квант света с длиной волны $\lambda = 121,5$ нм. Определить радиус электронной орбиты возбужденного атома водорода.

8 Атомарный водород, возбужденный светом определенной длины волны, при переходе в основное состояние испускает только три спектральных линии. Определить длины волн этих линий и указать, каким сериям они принадлежат.

9 Вычислить частоты ν_1 и ν_2 вращения электрона в атоме водорода на второй и третьей орбитах. Сравнить эти частоты с частотой излучения при переходе электрона с третьей на вторую орбиту.

10 Во сколько раз увеличится радиус орбиты электрона у атома водорода, находящегося в основном состоянии, при возбуждении его квантом с энергией 12,09 эВ?

11 В покоящемся атоме водорода электрон перешел с пятого энергетического уровня в основное состояние. Какую скорость приобрел атом за счет испускания фотона? Какова энергия отдачи?

12 Доказать, что для атома водорода на боровских стационарных орбитах укладывается целое число длин волн де Бройля. Определить длины волн на первой и третьей орбитах.

13 Найти для молекулы HF число вращательных уровней, расположенных между нулевым и первым возбужденным колебательными уровнями, считая вращательные состояния не зависящими от колебательных.

14 Найти радиус первой боровской электронной орбиты для однократно ионизированного гелия и скорость электрона на ней.

15 В каких пределах должны лежать длины волн монохроматического света, чтобы при возбуждении атомов водорода квантами этого света радиус орбиты r_k электрона увеличился в 9 раз?

16 Вычислить по теории Бора период T_2 вращения электрона в атоме водорода, находящегося в возбужденном состоянии, определяемом главным квантовым числом $n = 2$.

17 В каких пределах должны лежать длины волн монохроматического света, чтобы при возбуждении атома водорода квантами этого света наблюдались три спектральные линии?

18 Какую наименьшую энергию (в электрон-вольтах) должны иметь электроны, чтобы при возбуждении атомов водорода ударами этих электронов спектр водорода имел три спектральные линии? Найти длины волн этих линий.



19 Найти потенциал ионизации атома водорода.

20 Найти наименьшую λ_{\min} и наибольшую λ_{\max} длины волн спектральных линии водорода в видимой области спектра.

4.2 Дефект массы и энергия связи. Ядерные реакции. Радиоактивность

1 Ядро изотопа кобальта Co_{27}^{60} выбросило отрицательно заряженную β -частицу. В какое ядро превратилось ядро кобальта?

2 Сколько атомов распадается в радиоактивном нуклиде за 1 с, если его активность 2,7 мкКи? (1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк).

3 Какое количество энергии освободится при соединении одного протона и двух нейтронов в атомное ядро?

4 За 8 дней распалось 75 % начального количества радиоактивного нуклида. Определить период полураспада.

5 Найти период полураспада $T_{1/2}$ радиоактивного изотопа, если его активность за время $t = 10$ сут уменьшилась на 24 % по сравнению с первоначальной.

6 Определить энергию ядерной реакции $\text{Ca}_{20}^{44} + \text{H}_1^1 \rightarrow \text{K}_{19}^{41} + \text{He}_2^4$. Освобождается или поглощается энергия?

7 Вычислить энергию ядерной реакции $\text{Be}_4^9 + \text{H}_1^2 \rightarrow \text{B}_5^{10} + \text{n}_0^1$. Освобождается или поглощается энергия?

8 Во сколько раз отличается удельная энергия связи (энергия связи, рассчитанная на один нуклон) для ядер $m(\text{He}_2^3) = 3,01703$ а. е. м., $m(\text{H}_1^3) = 3,01605$ а. е. м., $m(\text{H}_1^1) = 1,00814$ а. е. м. и $m(\text{n}_0^1) = 1,00867$ а. е. м. ?

9 Сколько атомов полония распадается за сутки из 1 000 000 атомов?

10 Найти энергию, выделившуюся при реакции $\text{Be}_4^9 + \text{H}_1^2 \rightarrow \text{B}_5^{10} + \text{n}_0^1$; $m(\text{Be}_4^9) = 9,01219$ а. е. м., $m(\text{H}_1^2) = 2,01410$ а. е. м., $m(\text{B}_5^{10}) = 10,01294$ а. е. м., $m(\text{n}_0^1) = 1,00867$ а. е. м.

11 За какое время распадется 1/4 начального количества ядер радиоактивного нуклида, если период его полураспада 24 ч?

12 Определить число атомов радиоактивного распада йода I_{53}^{131} массой 0,5 мг, распавшегося в течение 1 мин. Период полураспада йода – 8 сут. $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹.

13 Вычислить энергию связи ядра изотопа H_1^3 . Вычислить удельную энергию связи (энергию связи, приходящуюся на один нуклон). Для этого ядра $m(\text{H}_1^3) = 3,01700$ а. е. м., $m(\text{p}_1^1) = 1,00759$ а. е. м., $m(\text{n}_0^1) = 1,00899$ а. е. м.



14 Найти энергию связи ядра атома алюминия Al_{13}^{27} , если $m(n_0^1) = 1,00899$ а. е. м., $m(p_1^1) = 1,00759$ а. е. м.

15 Найти среднюю продолжительность жизни атома радиоактивного изотопа кобальта Co_{27}^{60} .

16 Сколько энергии выделится при образовании 1 г гелия He_2^4 из протонов и нейтронов?

17 Период полураспада изотопа As_{33}^{74} равен 17,5 дня. Определить постоянную распада и среднюю продолжительность жизни атомов этого изотопа.

18 Определить атомные номера, массовые числа и химические символы ядер, которые получатся, если в ядрах He_2^3 , Be_4^7 , O_8^{15} протоны заменить нейтронами, а нейтроны протонами?

19 Найти радиоактивность радона Rn , образовавшегося из массы 1 г радия Ra за 1 ч. $T_{Rn} = 3,8$ сут, $T_{Ra} = 1620$ лет.

20 Вычислить энергию ядерной реакции $\text{Li}_3^6 + \text{H}_1^2 \rightarrow \text{Li}_3^7 + p_1^1$. Указать освобождается или поглощается энергия при этой реакции.

21 Определить работу выхода электронов из натрия, если красная граница фотоэффекта равна $5 \cdot 10^{-7}$ м.

22 Невозбужденный атом водорода поглощает квант излучения с длиной волны 102,6 нм. Вычислить, пользуясь теорией Бора, радиус электронной орбиты возбужденного атома водорода.

23 Найти наименьшую и наибольшую длины волн спектральных линий водорода в видимой области спектра.

24 Определить порядковый номер и массовое число нуклида, который получится из тория Th_{90} после трех α - и двух β -распадов.

25 Вычислить дефект массы и энергию связи ядра бора B_5^{11} . $m_p = 1,00728$ а. е. м., $m_n = 1,00867$ а. е. м.

26 Месторождения радиоактивных элементов всегда сопутствует свинец, который является конечным продуктом их распада. Ториевый ряд заканчивается изотопом свинца $_{82}\text{Pb}^{208}$. Считая возраст ториевой руды $4 \cdot 10^9$ лет, определить, сколько свинца появилось в руде на 1 кг находившегося там тория $_{90}\text{Th}^{232}$.

27 Сколько атомов распадается за 1 с в препарате радиоактивного изотопа иридия $_{77}\text{Ir}^{192}$ и сколько останется атомов через 30 сут, если первоначальное его количество 5 г?

28 Радиоактивный препарат с активностью $A = 3 \cdot 10^9$ Бк помещен в калориметр теплоемкостью 4,19 Дж/К. Найти повышение температуры в калориметре за 1 ч, если радиоактивное вещество испускает α -частицы с энергией 5,3 МэВ.

29 Как изменится активность препарата кобальта в течение двух лет? Период полураспада – 5,2 года.

30 Определить возраст изделия из дерева, если известно, что активность образца из этого изделия по изотопу ^{14}C составляет 1/3 активности свежей древесины.

31 Активность препарата урана с массовым числом 238 равна $2,5 \cdot 10^4$ распад/с, масса препарата – 2 г. Найти период полураспада.

32 Изотоп радия $^{226}_{88}\text{Ra}$ в результате спонтанного распада превратился в устойчивый изотоп свинца $^{206}_{82}\text{Pb}$. Сколько α - и β -распадов произошло при этом?

33 Ядро полония $^{210}_{84}\text{Po}$ превратилось в свинец $^{206}_{82}\text{Pb}$. Определить кинетическую энергию α -частицы и ядра отдачи.

34 Может ли ядро кремния $^{31}_{14}\text{Si}$ превратиться в ядро фосфора $^{31}_{15}\text{P}$? Какие частицы должны при этом выделиться? Какова их суммарная энергия?

35 Определить энергию, которая освобождается при термоядерной реакции $^6_3\text{Li} + ^2_1\text{H} \rightarrow 2^4_2\text{He}$. Расчет произвести на ядро и один нуклон. Сравнить с энергией выделяемой при делении урана.

36 При исследовании α -распада полония $^{210}_{84}\text{Po}$ обнаружены α -частицы с энергиями 5,3 и 4,5 МэВ. Учитывая отдачу ядра, определить энергию γ -квантов, испускаемых при распаде.

37 Альфа-частицы, покидающие материнское ядро, имеют строго монохроматические энергии. При спонтанном распаде ядра полония $^{210}_{84}\text{Po}$ кинетическая энергия одной из двух возможных α -частиц равна 5,3 МэВ. Определить энергию отдачи ядра.

38 Покоящийся пион распадается на мюон и нейтрино: $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$. Найти отношение энергии нейтрино к кинетической энергии мюона, если принять массу покоя нейтрино равной нулю, а энергию покоя мюона 106 МэВ.

39 Покоящийся нейтрон распался. Предполагая, что образовавшийся протон тоже покоится, найти кинетическую энергию электрона и энергию антинейтрино.

40 Протоны, ускоренные разностью потенциалов 6,8 МэВ, бомбардируют неподвижную литиевую мишень. При столкновении протона с ядром изотопа ^7_3Li образуются две α -частицы, разлетающиеся симметрично



по отношению к направлению пучка протонов. Определить кинетическую энергию и угол разлета α -частиц.

41 При делении одного ядра урана-235 выделяется энергия $Q = 200$ МэВ. Какую долю энергии покоя ядра составляет выделившаяся энергия?

42 Найти мощность атомной станции, расходующей 200 г урана-235 в сутки, если КПД станции равен 16 %.

43 Определить энергию, выделившуюся при образовании 1 г гелия из протонов и нейтронов.

44 Электрон и позитрон, имевшие одинаковые кинетические энергии, равные 240 кэВ, при соударении превратились в два одинаковых фотона. Определить энергию фотона и соответствующую ему длину волны.

45 Нейтральный π -мезон (π_0), распадаясь, превращается в два одинаковых γ -фотона. Определить длину волны фотона. Кинетической энергией и импульсом мезона пренебречь. Энергию покоя мезона считать неизвестной.

46 Какое количество энергии освободится при соединении одного протона и двух нейтронов в атомное ядро?

47 Сколько энергии выделится при образовании 1 г гелия He_2^4 из протонов и нейтронов?

Список литературы

1 **Савельев, И. В.** Курс общей физики : учебное пособие в 3 т. Т. 3 : Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц / И. В. Савельев. – 10-е изд., стер. – Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2016. – 320 с.

2 **Ташлыкова-Бушкевич, И. И.** Физика : учебник в 2 ч. Ч. 2 : Оптика. Квантовая физика. Строение и физические свойства вещества / И. И. Ташлыкова-Бушкевич. – 2-е изд., испр. – Минск : Вышэйшая школа, 2014. – 232 с.

3 **Трофимова, Т. И.** Курс физики : учебное пособие для втузов / Т. И. Трофимова. – Москва: Академия, 2007. – 560 с.

4 **Детлаф, А. А.** Курс физики / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – Москва : Высшая школа, 2001. – 718 с.

5 **Трофимова, Т. И.** Курс физики. Задачи и решения : учебное пособие для втузов / Т. И. Трофимова, А. В. Фирсов. – Москва : Академия, 2004. – 592 с.

6 **Волькенштейн, В. С.** Сборник задач по общему курсу физики / В. С. Волькенштейн. – Москва : Наука, 2003. – 328 с.

7 **Чертов, А. Г.** Задачник по физике / А. Г. Чертов, А. А. Воробьев. – Москва : Высшая школа, 1981. – 430 с.

8 **Сена, Л. А.** Единицы физических величин и их размерность / Л. А. Сена. – Москва : Наука, 1988. – 432 с.



Приложение А (справочное)

Таблица А.1 – Основные физические постоянные (округленные значения)

Физическая постоянная	Обозначение	Значение
Нормальное ускорение свободного падения	g	9,81 м/с ²
Гравитационная постоянная	γ	$6,67 \cdot 10^{-11}$ м ³ /(кг·с ²)
Постоянная Авогадро	N_A	$6,02 \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹
Молярная газовая постоянная	R	8,31 Дж/(моль·К)
Постоянная Больцмана	k	$1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Элементарный заряд	e	$1,60 \cdot 10^{-19}$ Кл
Скорость света в вакууме	c	$3,00 \cdot 10^8$ м/с
Постоянная Стефана-Больцмана	σ	$5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м ² ·К ⁴)
Постоянная закона смещения Вина	b	$2,9 \cdot 10^{-3}$ м·К
Постоянная Планка	h	$6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
	\hbar	$1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
Комптоновская длина волны электрона	λ_0	$2,43 \cdot 10^{-12}$ м
Магнетон Бора	μ_B	$0,927 \cdot 10^{-23}$ А·м ²
Энергия ионизации атома водорода	E_i	$2,18 \cdot 10^{-18}$ Дж (13,6 эВ)
Атомная единица массы	а. е. м.	$1,660 \cdot 10^{-27}$ кг
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м

Таблица А.2 – Плотность твердых тел

Твердое тело	Плотность, кг/м ³	Твердое тело	Плотность, кг/м ³
Алюминий	$2,70 \cdot 10^3$	Медь	$8,93 \cdot 10^3$
Барий	$3,50 \cdot 10^3$	Никель	$8,90 \cdot 10^3$
Ванадий	$6,02 \cdot 10^3$	Свинец	$11,3 \cdot 10^3$
Висмут	$9,80 \cdot 10^3$	Серебро	$10,5 \cdot 10^3$
Железо	$7,88 \cdot 10^3$	Цезий	$1,90 \cdot 10^3$
Литий	$0,53 \cdot 10^3$	Цинк	$7,15 \cdot 10^3$

Таблица А.3 – Диэлектрическая проницаемость

Диэлектрик	ϵ	Диэлектрик	ϵ
Вода	81	Слюда	7,5
Воздух	1,00058	Спирт	26
Воск	7,8	Стекло	6,0
Керосин	2,0	Фарфор	6,0
Парафин	2,0	Эбонит	2,7
Плексиглас	3,5	Масло трансформаторное	2,2
Полиэтилен	2,3		



Таблица А.4 – Магнитные восприимчивости пара- и диамагнетиков

Парамагнетик	$\mu - 1, 10^{-6}$	Диамагнетик	$\mu - 1, 10^{-6}$
Азот	0,013	Водород	-0,063
Воздух	0,38	Бензол	-7,5
Кислород	1,9	Вода	-9,0
Эбонит	14	Медь	-10,3
Алюминий	23	Стекло	-12,6
Вольфрам	176	Каменная соль	-12,6
Платина	360	Кварц	-15,1
Жидкий кислород	3400	Висмут	-176

Таблица А.5 – Энергия ионизации

Вещество	$E_i, \text{Дж}$	$E_i, \text{эВ}$
Водород	$2,18 \cdot 10^{-18}$	13,6
Гелий	$3,94 \cdot 10^{-18}$	24,6
Литий	$1,21 \cdot 10^{-17}$	75,6
Ртуть	$1,66 \cdot 10^{-18}$	10,4

Таблица А.6 – Подвижность ионов в газах

Газ	Положительный ион	Отрицательный ион
Азот	$1,27 \cdot 10^{-4}$	$1,81 \cdot 10^{-4}$
Водород	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$7,4 \cdot 10^{-4}$
Воздух	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$

Таблица А.7 – Показатель преломления

Вещество	Показатель	Вещество	Показатель
Алмаз	2,42	Глицерин	1,47
Вода	1,33	Стекло	1,50

Таблица А.8 – Работа выхода электронов

Металл	$A, 10^{-19} \text{ Дж}$	$A, \text{эВ}$
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 А.9 – Относительные атомные массы (округленные значения) A_r и порядковые номера Z некоторых элементов

Элемент	Символ	A_r	Z	Элемент	Символ	A_r	Z
Азот	N	14	7	Марганец	Mn	55	25
Алюминий	Al	27	13	Медь	Cu	64	29
Аргон	Ar	40	18	Молибден	Mo	96	42
Барий	Ba	137	56	Натрий	Na	23	11
Ванадий	V	60	23	Неон	Ne	20	10
Водород	H	1	1	Никель	Ni	59	28
Вольфрам	W	184	74	Олово	Sn	119	50
Гелий	He	4	2	Платина	Pt	195	78
Железо	Fe	56	26	Ртуть	Hg	201	80
Золото	Au	197	79	Сера	S	32	16
Калий	K	39	19	Серебро	Ag	108	47
Кальций	Ca	40	20	Углерод	C	12	6
Кислород	O	16	8	Уран	U	238	92
Магний	Mg	24	12	Хлор	Cl	35	17

Таблица А.10 – Константы двухатомных молекул

Молекула	Межъядерное расстояние $d, 10^{-10}$ м	Частота колебаний $\omega, 10^{14}$ с $^{-1}$	Молекула	Межъядерное расстояние $d, 10^{-10}$ м	Частота колебаний $\omega, 10^{14}$ с $^{-1}$
H ₂	0,741	8,279	HF	0,917	7,796
N ₂	1,094	4,445	HCl	1,275	5,632
O ₂	1,207	2,977	HBr	1,413	4,991
F ₂	1,282	2,147	HI	1,604	4,350
S ₂	1,889	1,367	CO	1,128	4,088
Cl ₂	1,988	1,064	NO	1,150	3,590
Br ₂	2,283	0,609	OH	0,971	7,035
I ₂	2,666	0,404			

Таблица А.11 – Массы покоя некоторых частиц

Частица	m_0	
	кг	а. е. м.
Электрон	$9,11 \cdot 10^{-31}$	0,00055
Протон	$1,672 \cdot 10^{-27}$	1,00728
Нейтрон	$1,675 \cdot 10^{-27}$	1,00867
Дейтрон	$3,35 \cdot 10^{-27}$	2,01355
α -частица	$6,64 \cdot 10^{-27}$	4,00149
Нейтральный π -мезон	$2,41 \cdot 10^{-28}$	0,14498

Таблица А.12 – Массы атомов легких изотопов

Изотоп	Символ	Масса, а. е. м.	Изотоп	Символ	Масса, а. е. м.
Нейтрон	$0n^1$	1,00867	Бериллий	$4Be^7$	7,01693
Водород	$1H^1$	1,00783	Бор	$4Be^9$	9,01219
	$1H^2$	2,01410		$5B^{10}$	10,01294
Гелий	$1H^3$	3,01605		$5B^{11}$	11,00930
	$2He^3$	3,01603	Углерод	$6C^{12}$	12,00000
Литий	$2He^4$	4,00260		$6C^{13}$	13,00335
	$3Li^6$	6,01513		$6C^{14}$	14,00324
Литий	$3Li^7$	7,01601	Азот	$7N^{14}$	14,00307
			Кислород	$8O^{16}$	15,99491
				$8O^{17}$	16,99913

Таблица А.13 – Периоды полураспада радиоактивных изотопов

Изотоп	Символ	Период полураспада
Актиний	$89Ac^{225}$	10 сут
Йод	$53I^{131}$	8 сут
Кобальт	$27Co^{60}$	5,3 лет
Магний	$12Mg^{27}$	10 мин
Радий	$88Ra^{226}$	1620 лет
Радон	$86Rn^{222}$	3,8 сут
Стронций	$38Sr^{90}$	27 лет
Фосфор	$15P^{32}$	14,3 сут
Церий	$58Ce^{144}$	285 сут



Таблица А.14 – Единицы СИ, имеющие специальные наименования

Величина		Единица		
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение	Выражение через основные и дополнительные единицы
<i>Основные единицы</i>				
Длина	L	метр	м	
Масса	M	килограмм	кг	
Время	T	секунда	с	
Сила электрического тока	I	ампер	A	
Термодинамическая температура	Θ	кельвин	K	
Количество вещества	N	моль	моль	
Сила света	J	кандела	кд	
<i>Дополнительные единицы</i>				
Плоский угол	–	радиан	рад	
Телесный угол	–	стерадиан	ср	
<i>Производные единицы</i>				
Частота	T^{-1}	герц	Гц	c^{-1}
Энергия, работа, количество теплоты	L^2MT^{-2}	джоуль	Дж	$m^2 \cdot kg \cdot c^{-2}$
Мощность, поток энергии	L^2MT^{-3}	ватт	Вт	$m^2 \cdot kg \cdot c^{-3}$
Световой поток	J	люмен	лм	кд·ср
Освещенность	$L^{-2}J$	люкс	лк	$m^{-2} \cdot кд \cdot ср$
Активность изотопа	T^{-1}	беккерель	Бк	c^{-1}
Поглощенная доза излучения	L^2I^{-2}	грей	Гр	$m^2 \cdot c^{-2}$

