

Министерство образования Республики Беларусь

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

Кафедра «Физика»

П. А. Хило, А. И. Кравченко, П. Д. Петрашенко

ОПТИКА, АТОМНАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

**ПРАКТИКУМ
по курсу «Физика»
для студентов технических специальностей
дневной формы обучения
В трех частях
Часть 3**

Гомель 2011

УДК 535+539.1(075.8)
ББК 22.34+22.38я73
Х45

*Рекомендовано научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 10 от 31.05.2011 г.)*

Рецензент: канд. физ.-мат. наук, доц. каф. «Высшая математика»
ГГТУ им. П. О. Сухого *В. И. Лашкевич*

Хило, П. А.
Х45 Оптика, атомная и ядерная физика : практикум по курсу «Физика» для студентов техн. специальностей днев. формы обучения : в 3 ч. Ч. 3 / П. А. Хило, А. И. Кравченко, П. Д. Петрашенко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2011. – 54 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц; 32 Mb RAM; свободное место на HDD 16 Mb; Windows 98 и выше; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

Содержит задачи для практических занятий по разделу «Оптика, атомная и ядерная физика»; основные формулы, примеры решения типовых задач и справочный материал.
Для студентов технических специальностей дневной формы обучения

УДК 535+539.1(075.8)
ББК 22.34+22.38я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2011

Предисловие

Предлагаемый практикум составлен в соответствии с программой курса общей физики для технических университетов, по разделу «Оптика, атомная и ядерная физика».

Сборник предполагает интенсификацию самостоятельной работы студентов при подготовке к практическим занятиям.

Практикум по разделу «Оптика, атомная и ядерная физика» курса «Физика» ч.3 содержит подборку задач различной степени сложности как для использования на практических занятиях, так и для самостоятельной работы студентов.

Практикум содержит задачи по основным темам практических занятий раздела «Оптика, атомная и ядерная физика»: «Интерференция света», «Дифракция света», «Поляризация света», «Тепловое излучение», «Энергия и импульс световых квантов. Внешний фотоэффект. Давление света.», «Эффект Комптона», «Спектр атома водорода. Постулаты Бора», «Атом водорода в квантовой механике», «Основной закон радиоактивного распада. Активность нуклида.», «Ядерные реакции. Законы сохранения» и др.

Приводятся так же основные формулы, примеры решения типовых задач и справочный материал.

Практикум предназначен для студентов дневного отделения.

1. Основные теоретические сведения

Частота колебаний ν , длина волны λ и скорость распространения v света в среде связаны соотношением

$$\lambda\nu = v.$$

Скорость света в среде

$$v = \frac{c}{n}, \text{ где } c \text{ – скорость света в вакууме; } n \text{ – абсолютный показатель преломления среды.}$$

Оптическая длина пути световой волны

$l = nS$, где S – геометрическая длина пути в среде с показателем преломления n .

Оптическая разность хода двух световых волн

$$\Delta = l_2 - l_1.$$

Условие максимумов интенсивности света при интерференции

$$\Delta = \pm 2k \frac{\lambda}{2}, (k=0, 1, 2, 3\dots).$$

Условие минимумов интенсивности света при интерференции

$$\Delta = \pm (2k + 1) \frac{\lambda}{2}, (k=0, 1, 2, 3\dots).$$

Связь разности фаз колебаний с оптической разностью хода световых волн

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta}{\lambda}.$$

Разность хода двух волн, приходящих на экран в опыте Юнга

$\Delta = \frac{xd}{L}$, где x – координата точки экрана; d – расстояние между источниками, L – расстояние до экрана.

Координаты максимумов интенсивности (светлых полос) в опыте Юнга

$$x_{\max} = \pm k \frac{L}{d} \lambda, \quad (k=0, 1, 2, 3 \dots).$$

Координаты минимумов интенсивности

$$x_{\min} = \pm \left(k + \frac{1}{2} \right) \frac{L}{d} \lambda, \quad (k=0, 1, 2, 3 \dots).$$

Расстояние между полосами в опыте Юнга

$$\Delta x = \frac{L}{d} \lambda.$$

Оптическая разность хода световых волн, отраженных от верхней и нижней поверхностей тонкой пластинки или пленки, находящейся в воздухе

$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \frac{\lambda}{2}$ или $\Delta = 2dn \cos r - \frac{\lambda}{2}$, где d – толщина пленки; i – угол падения; r – угол преломления.

Второе слагаемое в этих формулах учитывает изменение оптической длины пути световой волны на $\frac{\lambda}{2}$ при отражении ее от среды с большим показателем преломления (оптически более плотной среды).

В проходящем свете отражение световой волны происходит от среды оптически менее плотной и дополнительной разности хода не возникает.

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

$$r_k = \sqrt{(2k-1)R\frac{\lambda}{2}}, \text{ где } k - \text{ номер кольца } (k=1, 2, 3\dots); R - \text{ радиус}$$

кривизны линзы.

Радиусы темных колец в отраженном свете (или светлых в проходящем)

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

Радиус k -й зоны Френеля для сферической волны

$$r_k = \sqrt{\frac{ab}{a+b}k\lambda}, \text{ где } a - \text{ расстояние от точечного источника света до фронта волны; } b - \text{ расстояние от фронта волны до точки наблюдения.}$$

Радиус k -й зоны Френеля для плоской волны

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

Условие максимумов интенсивности при дифракции света на одной щели

$$a \sin \varphi = \pm(2k+1)\frac{\lambda}{2}, \text{ (} k=1, 2, 3\dots), \text{ где } a - \text{ ширина щели; } \varphi -$$

угол дифракции.

Условие минимумов интенсивности при дифракции света на одной щели

$$a \sin \varphi = \pm 2k\frac{\lambda}{2}, \text{ (} k=1, 2, 3\dots).$$

Условие главных максимумов интенсивности при дифракции света на дифракционной решетке

$d \sin \varphi = \pm k\lambda$ ($k=1, 2, 3\dots$), где d – период (постоянная) решетки; k – порядок (номер) максимума; φ – угол дифракции.

Закон Брюстера

$\operatorname{tg} i_B = n_{21}$, где i_B - угол падения, при котором отраженная световая волна полностью поляризована; n_{21} - относительный показатель преломления.

Закон Малюса

$I = I_0 \cos^2 \alpha$, где I - интенсивность плоскополяризованного света, прошедшего через анализатор; I_0 - интенсивность плоскополяризованного света, падающего на анализатор; α - угол между направлением колебаний светового вектора волны, падающей на анализатор, и плоскостью пропускания анализатора.

Степень поляризации света

$p = \frac{(I_{\max} - I_{\min})}{(I_{\max} + I_{\min})}$, где I_{\max} и I_{\min} - соответственно максимальная

и минимальная интенсивность частично-поляризованного света пропускаемого анализатором.

Энергия фотона

$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$, где ν - частота света; λ - длина волны.

Масса фотона

$m = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h}{c\lambda}$.

Модуль импульса фотона

$p = mc = \frac{h}{\lambda}$.

Закон Стефана-Больцмана

$R_e = \sigma T^4$, где R_e - излучательность абсолютно черного тела; T - термодинамическая температура; σ - постоянная Стефана-Больцмана.

Излучательность серого тела

$R_c = a_T \sigma T^4$, где a_T - коэффициент черноты (коэффициент излучения) серого тела.

Закон смещения Вина

$\lambda_m = \frac{b}{T}$, где λ_m - длина волны, на которую приходится максимум энергии излучения; b - постоянная закона смещения Вина.

Зависимость максимальной спектральной плотности излучательности от температуры

$(r_{\lambda,T})_{\max} = c_1 T^5$, где c_1 - постоянная в законе, связывающем максимальную спектральную плотность энергетической светимости черного тела с термодинамической температурой.

Формула Эйнштейна для фотоэффекта

$\varepsilon = h\nu = A + T_{\max} = A + \frac{m_0 v_{\max}^2}{2}$, где $h\nu$ - энергия фотона, падающего на поверхность металла; A - работа выхода электрона; T_{\max} - максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона; h - постоянная Планка.

В случае, если энергия фотона много больше работы выхода ($h\nu \gg A$),

$h\nu = T_{\max}$, если фотоэффект вызван фотоном, имеющим энергию ($h\nu < 0,51 \text{ МэВ}$), то

$T_{\max} = \frac{m_0 v_{\max}^2}{2}$, где m_0 - масса покоя электрона.

Если фотоэффект вызван фотоном, имеющим энергию ($h\nu > 0,51 \text{ МэВ}$), то

$$T_{\max} = (m - m_0)c^2 = m_0c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right), \text{ где } \beta = \frac{v_{\max}}{c}, \text{ } m - \text{ масса}$$

релятивистского электрона; $m_0c^2 = E_0$ - энергия покоя электрона; c - скорость света в вакууме.

Красная граница фотоэффекта

$$v_0 = \frac{A}{h} \text{ или } \lambda_0 = \frac{h \cdot c}{A}, \text{ где } v_0 - \text{ минимальная частота света, при}$$

которой еще возможен фотоэффект; λ_0 - максимальная длина волны света, при которой еще возможен фотоэффект.

Давление, производимое светом при нормальном падении,

$$p = \frac{E_e}{c}(1 + \rho) = \omega(1 + \rho), \text{ где } E_e - \text{ облучённость поверхности; } c -$$

скорость света в вакууме; ω - объемная плотность энергии излучения; ρ - коэффициент отражения.

Изменение длины волны при эффекте Комптона

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\Theta) = \frac{2h}{m_0c} \sin^2 \frac{\Theta}{2}, \text{ где } \lambda - \text{ длина волны фо-}$$

тона, испытавшего соударение со свободным или слабосвязанным электроном; λ' - длина волны фотона, рассеянного на угол Θ после столкновения с электроном; m_0 - масса покоящегося электрона.

Комптовская длина волны

$$\lambda_C = \frac{h}{m_0c}.$$

Энергия светового фотона равна разности энергий тех стационарных состояний, между которыми совершается квантовый переход электрона:

$$\hbar\omega = E_k - E_n, \text{ или } \hbar\omega = E_i \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right), \text{ где } E_i - \text{ энергия ионизации}$$

атома водорода ($E_i = 13,6 \text{ эВ}$); \hbar - постоянная Планка; E_n - энергия

электрона на орбите n ; E_k – энергия электрона на орбите k ; ω – циклическая частота излучения.

Если $E_n > E_k$, фотон излучается, при $E_n < E_k$ наблюдается поглощение фотона с частотой ω .

Модуль момента импульса электрона, движущегося вокруг ядра, кратен \hbar :

$L = m v_n r_n = n\hbar$, где m – масса электрона; v_n – его скорость на n -й орбите; r_n – радиус этой орбиты; $n=1, 2, 3, \dots$ – целое положительное число (главное квантовое число).

Длина волны де Бройля

$$\lambda = \frac{2\pi\hbar}{P}, \text{ где } P \text{ – модуль импульса частицы.}$$

Модуль импульса частицы и его связь с кинетической энергией T :

а) $P = m_0 v$, $P = \sqrt{2m_0 T}$;

б) $P = m v = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$ и $P = \frac{1}{c} \sqrt{(2E_0 + T) \cdot T}$, где m_0 – масса по-

кой частицы; m – релятивистская масса; v – скорость частицы; c – скорость света в вакууме; E_0 – энергия покоя частицы ($E_0 = m_0 c^2$).

Одномерное уравнение Шредингера для стационарных состояний.

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}(E - U)\psi = 0, \text{ где } \psi(x) \text{ – волновая функция, описы-}$$

вающая состояние частицы; m – масса частицы; E – полная энергия; $U = U(x)$ – потенциальная энергия частицы.

Вероятность dw обнаружить частицу в интервале от x до $x+dx$ (в одномерном случае) выражается формулой

$$dw = |\psi(x)|^2 dx, \text{ где } |\psi(x)|^2 \text{ – плотность вероятности.}$$

Вероятность обнаружить частицу в интервале от x_1 до x_2 находится интегрированием dw в указанных пределах:

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

Собственное значение энергии E_n частицы, находящейся на n -м энергетическом уровне в бесконечно глубоком одномерном прямоугольном потенциальном ящике, определяется формулой

$$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ml^2} \cdot n^2 \quad (n=1, 2, 3, \dots), \text{ где } l - \text{ ширина потенциального}$$

ящика.

Соответствующая этой энергии собственная волновая функция имеет вид

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

Массовое число ядра (число нуклонов в ядре)

$$A = Z + N,$$

где Z — зарядовое число (число протонов); N — число нейтронов.

Закон радиоактивного распада

$dN = \lambda \cdot N \cdot dt$, или $N = N_0 \cdot \exp(-\lambda \cdot t)$, где dN — число ядер, распадающихся за интервал времени dt ; N — число ядер, не распавшихся к моменту времени t ; N_0 — число ядер в начальный момент ($t=0$); λ — постоянная радиоактивного распада.

Число ядер, распавшихся за время t ,

$$\Delta N = N_0 - N = N_0(1 - \exp(-\lambda \cdot t)).$$

В случае если интервал времени Δt , за который определяется число распавшихся ядер, много меньше периода полураспада $T_{1/2}$,

то число распавшихся ядер можно определить по формуле

$$\Delta N = \lambda \cdot N \cdot \Delta t.$$

Зависимость периода полураспада от постоянной радиоактивного распада

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda = 0,693 / \lambda.$$

Среднее время τ жизни радиоактивного ядра, т. е. интервал времени, за который число не распавшихся ядер уменьшается в e раз,

$$\tau = 1 / \lambda.$$

Число N атомов, содержащихся в радиоактивном изотопе,

$$N = m \cdot N_A / M, \text{ где } m - \text{ масса изотопа; } M - \text{ молярная масса,}$$

N_A — постоянная Авогадро.

Активность A радиоактивного изотопа

$A = -dN/dt$ или $A = \lambda \cdot N_0 \cdot \exp(-\lambda \cdot t) = A_0 \cdot \exp(-\lambda \cdot t)$, где dN — число ядер, распадающихся за интервал времени dt ; A_0 — активность изотопа в начальный момент времени.

Удельная активность изотопа

$$a = A/m.$$

Дефект массы ядра

$\Delta m = Z \cdot m_p + (A - Z)m_n - m_y$, где Z — зарядовое число (число протонов в ядре); A — массовое число (число нуклонов в ядре); $(A - Z)$ — число нейтронов в ядре; m_p — масса протона; m_n — масса нейтрона; m_y — масса ядра.

Энергия связи ядра

$E_{св} = c^2 \cdot \Delta m$, где Δm — дефект массы ядра; c — скорость света в вакууме.

Во внесистемных единицах энергия связи ядра равна

$E_{св} = c^2 \cdot \Delta m$, где дефект массы Δm — в а.е.м.; c^2 — коэффициент пропорциональности равный 931 МэВ/а.е.м..

2. Примеры решения задач

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

Решение. Изменение интерференционной картины на противоположную означает, что на тех участках экрана, где наблюдались интерференционные максимумы, стали наблюдаться интерференционные минимумы. Такой сдвиг интерференционной картины возможен при изменении оптической разницы хода пучков световых волн на нечетное число половин длин волн, т.е.

$$\Delta_2 - \Delta_1 = \frac{(2k + 1)\lambda}{2}, \quad (1.1)$$

где Δ_1 – оптическая разность хода пучков световых волн до внесения пленки; Δ_2 – оптическая разность хода тех же пучков после внесения пленки; $k=0, \pm 1, \pm 2, \dots$

Наименьшей толщине d_{\min} пленки соответствует $k=0$. При этом формула (1.1) примет вид

$$\Delta_2 - \Delta_1 = \frac{\lambda}{2}. \quad (1.2)$$

Выразим оптические разности хода Δ_2 и Δ_1 . Из рисунка 1 следует:

$$\Delta_1 = l_1 - l_2, \quad \Delta_2 = [(l_1 - d_{\min}) + nd_{\min}] - l_2 = (l_1 - l_2) + d_{\min}(n - 1).$$

Подставим выражения Δ_2 и Δ_1 в формулу (1.2):

$$(l_1 - l_2) + d_{\min}(n - 1) - (l_1 - l_2) = \frac{\lambda}{2}, \quad \text{или} \quad d_{\min}(n - 1) = \frac{\lambda}{2}.$$

$$\text{Отсюда} \quad d_{\min} = \frac{\lambda}{2(n - 1)}.$$

Произведем вычисления:

$$d_{\min} = \frac{0,8}{2(1,33 - 1)} = 1,21 \text{ (мкм)}.$$

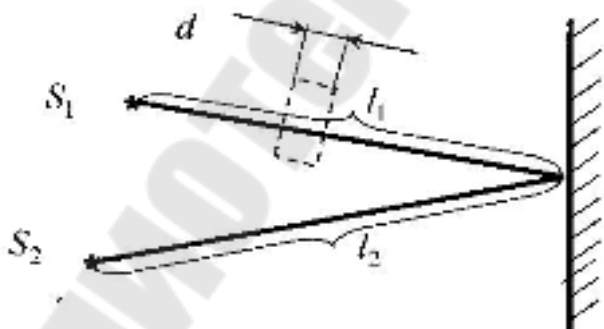


Рис. 1.

Ответ: наименьшая толщина пленки $d_{\min} = 1,21$ мкм

Пример 2. На стеклянный клин с малым углом нормально к его грани падает параллельный пучок лучей монохроматического света с длиной волны $\lambda = 0,6 \text{ мкм}$. Число m возникающих при этом интерференционных полос, приходящихся на отрезок клина длиной $l = 1 \text{ см}$, равно 10. Определить угол α клина.

Решение. Параллельный пучок света, падая нормально к грани клина, отражается как от верхней, так и от нижней грани. Эти отраженные пучки света когерентны. Поэтому на поверхности клина будут наблюдаться интерференционные полосы. Так как угол клина мал, то отраженные пучки 1 и 2 света (рис.2) будут практически параллельны.

Темные полосы видны на тех участках клина, для которых разность хода лучей кратна нечетному числу половин длин волн:

$$\Delta = \frac{(2k+1)\lambda}{2}, (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots). \quad (2.1)$$

Разность хода Δ двух волн складывается из разности оптических длин путей этих волн ($2dn$) и половины длины волны ($\frac{\lambda}{2}$). Величина $\frac{\lambda}{2}$ представляет собой добавочную разность хода, возникающую при отражении световой волны 1 от оптически более плотной среды. Подставляя в формулу (2.1) разность хода Δ световых волн,

$$\text{получаем } 2d_k n - \frac{\lambda}{2} = \frac{(2k+1)\lambda}{2}, \quad (2.2)$$

где n – показатель преломления стекла ($n = 1,5$); d_k – толщина клина в том месте, где наблюдается темная полоса, соответствующая номеру k .

$$\text{Раскрыв скобки в правой части равенства (2.2), после упрощения получим } 2d_k n = k\lambda. \quad (2.3)$$

Пусть произвольной темной полосе k -го номера соответствует толщина d_k клина, а темной полосе $(k+m)$ -го номера – толщина d_{k+m} клина. Тогда (рис.2), учитывая, что m полос укладывается на расстоянии l , найдем: $\sin \alpha = \frac{d_{k+m} - d_k}{l}$. (2.4)

Выразим из (2.3) d_k и d_{k+m} и подставим их в формулу (2.4). Затем, учитывая, что $\sin \alpha \approx \alpha$ (из-за малости угла α), получим

$$\alpha = \frac{(k+m)\lambda - k\lambda}{2nl} = \frac{m\lambda}{2nl}.$$

Подставляя значения физических величин, найдем

$$\alpha = \frac{10 \cdot 0,6 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 1,5 \cdot 1} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ (рад.)}.$$

Выразим α в секундах. Для этого можно воспользоваться соотношением между радианом и секундой: $1 \text{ рад} = 206265'' \approx 0,6 \cdot 10^5''$. Тогда $\alpha = 2 \cdot 10^{-4} \cdot 2,06 \cdot 10^5'' = 41,2''$.

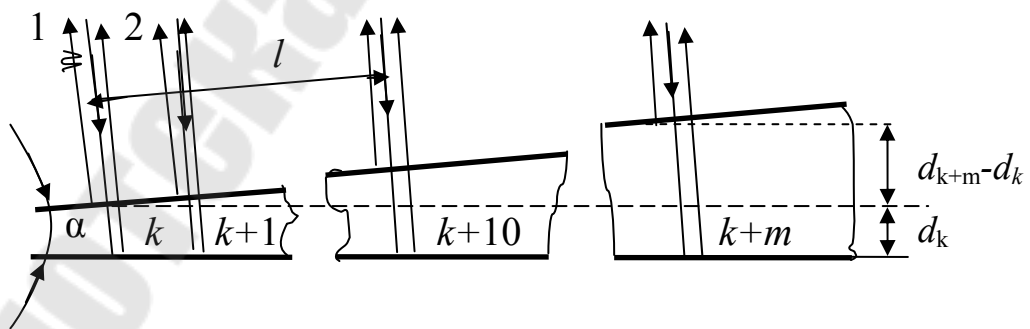


Рис. 2.

Ответ: $\alpha = 41,2''$.

Дифракция света. Пример 3. 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.

Решение. Пусть отверстие диафрагмы открывает m зон Френеля. Тогда радиус m -й зоны Френеля есть не что иное, как радиус отверстия, равный

$$r_m = \sqrt{\frac{ab}{a+b}} m \lambda, \text{ где } m \text{ – номер зоны Френеля; } \lambda \text{ – длина волны;}$$

a и b – соответственно расстояния диафрагмы с круглым отверстием от точечного источника и от экрана, на котором наблюдается дифракционная картина.

Центр дифракционных колец, наблюдаемых на экране, будет наиболее темным, если в отверстии укладываются две зоны Френеля, т.е. $m=2$. Следовательно, искомый радиус отверстия

$$r = \sqrt{\frac{2ab}{a+b}} \lambda. \text{ Вычисляя, получим}$$

$$r = \sqrt{\frac{2 \cdot 2,5 \cdot 2,5}{2,5 + 2,5}} \cdot 0,55 \cdot 10^{-6} = 1,17 \cdot 10^{-3} (\text{м}) = 1,17 (\text{мм}).$$

Ответ: радиус отверстия $r = 1,17$ мм.

Пример 4. На дифракционную решетку в направлении нормали к ее поверхности падает монохроматический свет. Период решетки $d = 2$ мкм. Определить наибольший порядок дифракционного максимума, который дает эта решетка в случае красного ($\lambda_1 = 0,7$ мкм) и в случае фиолетового ($\lambda_2 = 0,41$ мкм) света.

Решение. Из формулы, определяющей положение главных максимумов дифракционной решетки, найдем порядок m дифракционного максимума:

$$m = \frac{d \sin \varphi}{\lambda}, \tag{4.1}$$

где d – период решетки; φ – угол дифракции; λ – длина волны монохроматического света.

Так как $\sin \varphi$ не может быть больше 1, то число m не может быть больше $\frac{d}{\lambda}$, т.е.

$$m \leq \frac{d}{\lambda}. \quad (4.2)$$

Подставив в формулу (4.2) значения величин, получим:

$$m \leq 2/0,7 = 2,86 \text{ (для красных лучей);}$$

$$m \leq 2/0,41 = 4,88 \text{ (для фиолетовых лучей).}$$

Если учесть, что порядок максимумов является целым числом, то для красного света $m_{\max} = 2$ и для фиолетового $m_{\max} = 4$.

Ответ: для красного света $m_{\max} = 2$; для фиолетового света $m_{\max} = 4$.

Поляризация. Пример 4. Определите, во сколько раз ослабится интенсивность света, прошедшего через два николя, расположенные так, что угол между их главными плоскостями $\alpha = 60^\circ$, а в каждом из николей теряется 8% интенсивности падающего на него света.

Решение. Пучок естественного света интенсивности I_0 , падая на грань николя N_1 (рис.3) расщепляется вследствие двойного лучепреломления на два пучка: обыкновенный и необыкновенный.

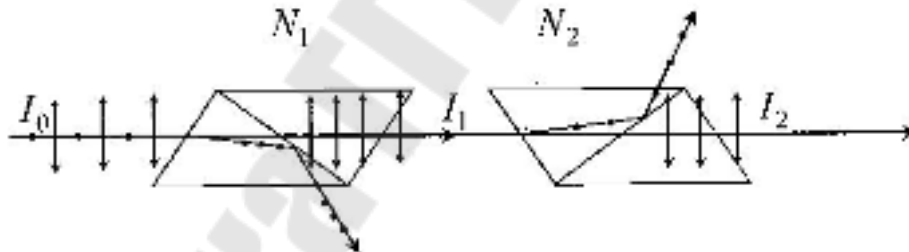


Рис.3

Оба пучка одинаковы по интенсивности и полностью поляризованы. Плоскость колебаний для необыкновенного пучка лежит в плоскости чертежа (плоскость главного сечения). Плоскость колебаний для обыкновенного пучка перпендикулярна плоскости чертежа. Обыкновенный пучок вследствие полного внутреннего отражения от границы раздела отбрасывается на зачерненное основание призмы и поглощается. Таким образом, интенсивность света прошедшего через николь N_1 с учетом потери равна:

$$I_1 = \frac{1}{2} I_0 (1 - k),$$

где k относительная потеря интенсивности в николе.

Пучок плоскополяризованного света интенсивности I_1 падая на грань николя N_2 также расщепляется на обыкновенный и необыкновенный. Интенсивность необыкновенного пучка света вышедшего из николя определяется законом Малюса и с учетом поглощения, в этом николе, равна:

$$I_2 = I_1(1-k)\cos^2 \alpha = \frac{1}{2} I_o(1-k)^2 \cos^2 \alpha,$$

где α - угол между направлением колебаний светового вектора волны, падающей на николь N_2 , и плоскостью пропускания николя.

Искомое уменьшение интенсивности при прохождении света через оба николя найдем,разделив интенсивность I_o на интенсивность I_2 света, прошедшего систему из двух николей:

$$\frac{I_o}{I_2} = \frac{I_o}{I_1(1-k)\cos^2 \alpha} = \frac{2I_o}{I_o(1-k)^2 \cos^2 \alpha} = \frac{2}{(1-k)^2 \cos^2 \alpha}.$$

В полученную формулу подставив данные, произведем вычисления:

$$\frac{I_o}{I_2} = \frac{2}{(1-0.08)^2 \cdot 0,25} = 9,45.$$

Ответ: интенсивность света, прошедшего через два николя ослабится в 9,45 раза.

Тепловое излучение. Пример 5. Принимая Солнце за черное тело и учитывая, что его максимальной спектральной плотности энергетической светимости соответствует длина волны 500 нм, определите: 1) температуру поверхности солнца; 2) энергию, излучаемую Солнцем в виде электромагнитных волн за 10 мин; 3) массу, теряемую Солнцем за это время за счет излучения.

Решение. Закон смещения Вина:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}, \text{ где } b - \text{ постоянная смещения Вина.}$$

$$\text{Откуда: } T = \frac{b}{\lambda_{\max}}$$

После подстановки значений величин b , λ_{\max} , получим

$$T = \frac{2,90 \cdot 10^{-3}}{500 \cdot 10^{-9}} = 5,8 \cdot 10^3 \text{ K} = 5,8 \text{ кК.}$$

Энергия излучаемая Солнцем:

$W = R_e S \cdot t$, где R_e - излучательность абсолютно черного тела,

$S = 4\pi R_c^2$ - площадь Солнца или

$$W = R_e 4\pi R_c^2 \cdot t = \sigma T^4 4\pi R_c^2 \cdot t.$$

Подставив в выражение для энергии исходные величины, получим

$$W = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (5,8 \cdot 10^3)^4 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot (6,95 \cdot 10^8)^2 \cdot 600 \text{ (Дж)} = 2,34 \cdot 10^{29} \text{ (Дж)}.$$

Масса теряемая Солнцем за счет излучения:

$$m = \frac{W}{c^2}, \text{ где } c - \text{ скорость света в вакууме.}$$

Вычисляем массу:

$$m = \frac{2,34 \cdot 10^{29}}{(3 \cdot 10^8)^2} = 2,6 \cdot 10^{12} \text{ кг.}$$

Ответ: масса теряемая Солнцем за десять минут за счет излучения составляет $2,6 \cdot 10^{12}$ кг, температура поверхности $T = 5,8$ кК и излучаемая энергия $W = 2,34 \cdot 10^{29}$ (Дж).

Фотоэлектрический эффект. Давление света. Пример 6. На идеально отражающую поверхность нормально падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 550$ нм. Поток излучения Φ_e составляет 0,45 Вт. Определите: 1) Число фотонов N , падающих на поверхность за время $t = 3$ с; 2) силу давления, испытываемую этой поверхностью.

Решение. Энергия излучения W получаемая поверхностью

$$W = \varepsilon \cdot N = \frac{hc}{\lambda} N. \quad (6.1)$$

Поток Φ_e энергии излучения с учетом формулы (1)

$$\Phi_e = \frac{W}{t} = \frac{hc}{\lambda t} N.$$

Тогда:

$$N = \frac{\Phi_e \lambda \cdot t}{hc},$$

$$N = \frac{0,45 \cdot 5,5 \cdot 10^{-7} \cdot 3}{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8} = 3,73 \cdot 10^{18} \text{ фотонов.}$$

Сила светового давления на поверхность равна произведению светового давления p на площадь S поверхности:

$$F = pS.$$

Так как произведение облучаемости E_e на площадь S поверхности равно потоку Φ_e

$$F = \frac{E_e S}{c} (\rho + 1) = \frac{\Phi_e}{c} (\rho + 1).$$

Подставив значения физических величин, найдем величину силы:

$$F = \frac{0,45}{3 \cdot 10^8} (1 + 1) = 3 \cdot 10^{-9} \text{ (Н)} = 3 \text{ (нН)}..$$

Ответ: Число фотонов, падающих на поверхность - $3,73 \cdot 10^{18}$, сила светового давления 3 нН.

Пример 7. Чему равны максимальная кинетическая энергия и скорость электрона, выбитого с поверхности натрия светом с длиной волны 410 нм. Работа выхода $A = 2,28$ эВ.

Решение.

Воспользуемся уравнением Эйнштейна для внешнего фотоэффекта:

$$h\nu = E_k + A, \quad (7.1)$$

где $\nu = \frac{c}{\lambda}$ - частота падающего излучения. Таким образом, максимальная кинетическая энергия:

$$E_k = \frac{hc}{\lambda} - A. \quad (7.2)$$

Вычисляя с учетом табличных значений, получаем $E_k = 0,75$ эВ или $E_k = 1,2 \cdot 10^{-19}$ Дж.

Скорость электрона, выбитого с поверхности натрия, получим на основании выражения для кинетической энергии $E_k = \frac{m\nu^2}{2}$. Выразив скорость электрона, получим:

$$\nu = \sqrt{\frac{2E_k}{m}}, \quad (7.3)$$

где m – масса электрона. Вычисляя с учетом табличных значений, получаем $\nu = 5,1 \cdot 10^5$ м/с.

Ответ: максимальная кинетическая энергия электрона $E_k = 1,2 \cdot 10^{-19}$ Дж, скорость электрона $v = 5,1 \cdot 10^5$ м/с.

Эффект Комптона

Пример 8. В результате эффекта Комптона фотон при соударении с электроном был рассеян на угол $\Theta = 90^\circ$. Энергия ε' рассеянного фотона равна 0,4 МэВ. Определить энергию ε фотона до рассеяния.

Решение. Для определения энергии первичного фотона воспользуемся формулой Комптона в виде

$$\lambda' - \lambda = \frac{2h}{mc} \sin^2 \frac{\Theta}{2}. \quad (8.1)$$

Формулу (8.1) преобразуем следующим образом:

1) выразим длины волн λ' и λ через энергию ε' и ε соответствующих фотонов, воспользовавшись соотношением $\varepsilon = \frac{hc}{\lambda}$;

2) умножим числитель и знаменатель правой части формулы на c .

Тогда получим

$$\frac{hc}{\varepsilon'} - \frac{hc}{\varepsilon} = \frac{hc}{mc^2} 2 \sin^2 \frac{\Theta}{2}.$$

Сократив на hc , выразим из этой формулы искомую энергию:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon' mc^2}{mc^2 - \varepsilon' \cdot 2 \sin^2 \left(\frac{\Theta}{2} \right)} = \frac{\varepsilon' E_0}{E_0 - 2\varepsilon' \sin^2 \left(\frac{\Theta}{2} \right)}, \quad (8.2)$$

где $E_0 = m_0 c^2$, где m_0 - масса покоя электрона.

Вычисления по формуле (8.2) удобнее вести во внесистемных единицах. Взяв значение энергии покоя электрона $E_0 = 0,51$ МэВ и подставив числовые данные, получим

$$\varepsilon = \frac{0,4 \cdot 10^6 \cdot 0,511 \cdot 10^6}{0,51 \cdot 10^6 - 2 \cdot 0,4 \cdot 10^6 \sin^2 45^\circ} = 1,85 \cdot 10^6 \text{ эВ} = 1,85 \text{ МэВ}.$$

Ответ: энергия фотона до рассеяния равна 1,85 МэВ.

Атом водорода. Пример 9. Определить энергию E фотона, соответствующую второй линии в серии Лаймана атома водорода.

Решение. Энергия E фотона, излучаемого атомом водорода при переходе электрона с одной орбиты на другую:

$$E = E_i \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right),$$

где E_i – энергия ионизации атома водорода, ($E_i = 13,6$ эВ); $n = 1, 2, 3, \dots$ – номер орбиты, на которую переходит электрон; $k = n+1; n+2; \dots$; $n+m$ – номер орбиты, с которой переходит электрон; m – номер спектральной линии в данной серии.

Для серии Лаймана $n=1$, для второй линии этой серии $m=2$, тогда $k=n+m=1+2=3$.

Поставив числовые значения, найдем энергию фотона: $E=12,09$ эВ.

Ответ: энергию фотона $E=12,09$ эВ.

Пример 10. Определите, какую ускоряющую разность потенциалов U должен пройти протон, чтобы длина волны де Бройля для него была равна $\lambda=1$ нм.

Решение. Протон, прошедший ускоряющую разность потенциалов U , приобретает кинетическую энергию $T = \frac{p^2}{2m}$, которая равна eU . Отсюда

$$T = eU = \frac{p^2}{2m},$$

где e – заряд протона; U – ускоряющая разность потенциалов; m – масса протона; p – величина импульса протона.

Откуда $P = \sqrt{2meU}$.

$$\text{Длина волны де Бройля } \lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2meU}},$$

где h – постоянная Планка,

$$\text{и } U = \frac{h^2}{2me\lambda^2}.$$

Произведем вычисления:

$$U = \frac{(6,63 \cdot 10^{-34})^2}{2 \cdot 1,675 \cdot 10^{-27} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot (1 \cdot 10^{-9})^2} = 8,2 \cdot 10^{-4} \text{ В.}$$

Ответ: ускоряющая разность потенциалов $U = 8,2 \cdot 10^{-4}$ В.

Ядерная физика. Пример 11. Сколько атомов распадается в 1 г ${}^3_1\text{H}$ за среднее время жизни этого изотопа?

Решение. Согласно закону радиоактивного распада,

$$N = N_0 \exp(-\lambda t), \quad (11.1)$$

где N - число нераспавшихся атомов в момент времени t ;

N_0 - начальное число радиоактивных атомов в момент $t=0$;

λ - постоянная радиоактивного распада.

Среднее время жизни радиоактивного изотопа есть величина, обратная постоянной распада:

$$\tau = \frac{1}{\lambda}. \quad (11.2)$$

По условию задачи, $t = \tau$, тогда

$$N = \frac{N_0}{e}. \quad (11.3)$$

Число атомов, распавшихся за время t ,

$$N' = N_0 - N = N_0 \left(1 - \frac{1}{e}\right). \quad (11.4)$$

Число атомов, содержащихся в массе m изотопа λ ,

$$N_0 = \frac{m}{M} N_A, \quad (11.5)$$

где M - молярная масса изотопа ${}^3_1\text{H}$; N_A - постоянная Авогадро.

С учетом (11.5) выражение (11.4) примет вид

$$N' = \frac{m}{M} N_A \left(1 - \frac{1}{e}\right);$$

$$N' = \frac{10^{-3} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{3 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} \left(1 - \frac{1}{2,72}\right) = 1,27 \cdot 10^{23}.$$

Ответ: распадается $1,27 \cdot 10^{23}$ атомов.

Пример 12. Вычислить дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи ядра ${}^{16}_8\text{O}$.

Решение. Дефект массы

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}}, \quad (12.1)$$

где Z - зарядовое число; A - массовое число; m_n - масса нейтрона; $m_{\text{я}}$ - масса ядра.

Формулу (12.1) можно также записать в виде

$$\Delta m = Zm_{1\text{H}} + (A - Z)m_n - m_a, \quad (12.2)$$

где $m_{1\text{H}}$ - масса атома ${}^1_1\text{H}$; m_a - масса атома, дефект массы ядра которого определяется.

Из справочных таблиц находим $m_{1\text{H}} = 1,00783$ а.е.м.; $m_n = 1,00867$ а.е.м.; $m_{16\text{O}} = 15,99492$ а.е.м. Подставляя в (12.2) числовые данные (для ${}^{16}_8\text{O}$ числа $Z=8$, $A=16$), получаем $\Delta m = 0,13708$ а.е.м. Энергия связи ядра

$$E_{\text{св}} = c^2 \Delta m, \quad (12.3)$$

где c - скорость света в вакууме. Если дефект массы Δm выражать в а.е.м., а энергию связи $E_{\text{св}}$ в МэВ, то формула (12.3) примет вид

$$E_{\text{св}} = 931 \Delta m;$$

$$E_{\text{св}} = 931 \text{ МэВ/а.е.м.} \cdot 0,13708 \text{ а.е.м.} = 127,6 \text{ МэВ.}$$

Удельная энергия связи

$$\varepsilon_{\text{св}} = \frac{E_{\text{св}}}{A}; \quad \varepsilon_{\text{св}} = \frac{127,6 \text{ МэВ}}{16} = 7,98 \text{ МэВ.}$$

Ответ: удельная энергия связи $\varepsilon_{\text{св}} = 7,98$ МэВ.

Пример 13. Вычислить энергию ядерной реакции ${}^7_3\text{Li} + p \rightarrow {}^7_4\text{Be} + n$. Выделяется или поглощается энергия при этой реакции?

Решение. Энергия ядерной реакции

$$Q = c^2 [m_1 + m_2 - \sum m'_i], \quad (13.1)$$

где m_1 и m_2 - массы частиц, вступающих в реакцию; $\sum m'_i$ - сумма масс частиц, образовавшихся в результате реакции.

Если массы частиц выражать в а.е.м., а энергию реакции в МэВ, то формула (13.1) примет вид:

$$Q = 931 [m_1 + m_2 - \sum m'_i], \text{ или с учетом записи формулы ядерной реакции - } Q = 931 [m_{1\text{H}} + m_{7\text{Li}} - m_{7\text{Be}} - m_n]. \quad (13.2)$$

При вычислении энергии ядерной реакции можно использовать массы атомов, а не их ядер. Из справочных данных находим

$$m_{1\text{H}} = 1,00738 \text{ а.е.м.}; \quad m_n = 1,00738 \text{ а.е.м.}; \quad m_{4\text{Be}} = 7,01693 \text{ а.е.м.};$$

$$m_{3\text{Li}} = 7,01601 \text{ а.е.м.}$$

Подставляя числовые значения в (13.2), получаем
 $Q = 931 \text{ МэВ/а.е.м.} \cdot (-0,00176) \text{ а.е.м.} = -1,64 \text{ МэВ}.$

Так как $Q < 0$, то энергия в результате реакции поглощается.

Ответ: в результате ядерной реакции поглощается энергия $Q = 1,64 \text{ МэВ}.$

3. Задачи для самостоятельного решения

Интерференция.

1. На пути световой волны, идущей в воздухе, поставили стеклянную пластинку толщиной $d = 1 \text{ мм}$. Насколько изменится оптическая длина пути, если волна падает на пластинку; 1) нормально; 2) под углом $\alpha = 30^\circ$?

2. Найти все длины волн видимого света (от 0,76 до 0,38 мкм), которые будут: 1) максимально усилены; 2) максимально ослаблены при оптической разности хода Δ интерферирующих волн, равной 1,8 мкм.

3. Угол между зеркалами Френеля $15'$. Источник монохроматического света расположен на расстоянии 10 см от зеркал, а картина интерференции рассматривается на экране, расположенном на расстоянии 120 см от линии пересечения зеркал. Ширина интерференционных полос 0,1 см. Определить длину волны монохроматического света и показать на рисунке схему образования картины интерференции.

4. В опыте с зеркалами Френеля расстояние между мнимыми источниками 0,35 мм, они расположены на расстоянии 2 м от экрана. Длина световой волны 0,5 мкм. Найти ширину светлых полос. Как изменится ширина полос, если длина световой волны будет 0,7 мкм?

5. В опыте Юнга расстояние d между щелями равно 0,8 мм. На каком расстоянии l от щелей следует расположить экран, чтобы ширина интерференционной полосы оказалась равной 1,5 мм.

6. Расстояние L от щелей до экрана в опыте Юнга равно 1 м. Определить расстояние между щелями, если на отрезке длиной $l = 1 \text{ см}$ укладывается $N = 10$ темных интерференционных полос. Длина волны $\lambda = 0,7 \text{ мкм}$.

7. Расстояние между двумя когерентными источниками света ($\lambda = 0,5$ мкм) равно 0,1 мм. Расстояние между светлыми полосами на экране в средней части интерференционной картины равно 1 см. Определить расстояние от источника до экрана.

8. Определить, во сколько раз изменится ширина интерференционных полос на экране в опыте Юнга, если фиолетовый светофильтр (длина волны 0,4 мкм) заменить красным (длина волны 0,7 мкм).

9. В опыте Юнга расстояние между щелями равно 1,2 мм, источники посылают свет с длиной волны 0,57 мкм. На расстоянии 3,2 м от щелей помещен экран. Определить общее число световых интерференционных полос, расположенных на расстоянии 1 см от середины экрана. Показать на рисунке схему образования картины интерференции.

10. 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. Свет падает на пластинку нормально. Показатель преломления пластинки 1,5. Длина волны 600 нм. Какова толщина пластинки?

11. Расстояние между двумя когерентными источниками света равно 0,1 мм. Расстояние между светлыми полосами на экране в средней части интерференционной картины равно 1 см. Длина световой волны 0,5 мкм. Определить расстояние от источников до экрана.

12. В опыте Юнга расстояние от щелей до экрана равно 3 м. Определить угловое расстояние между соседними светлыми полосами, если третья светлая полоса на экране отстоит от центра интерференционной картины на расстоянии 4,5 мм.

13. На экране наблюдается интерференционная картина в результате наложения лучей от двух когерентных источников. Длина световой волны 500 нм. На пути одного из лучей перпендикулярно ему поместили стеклянную пластинку с показателем преломления 1,6 и толщиной 5 мкм. Определить, на сколько полос сместится при этом интерференционная картина.

14. Пучок монохроматических световых волн ($\lambda = 0,6 \cdot 10^{-6}$ м) падает под углом $\alpha = 30^\circ$ на находящуюся в воздухе мыльную пленку с показателем преломления $n = 1,3$. При какой наименьшей толщине d пленки отраженные лучи будут максимально усилены интерференцией?

15. На тонкую пленку с показателем преломления 1,5 расположенную в воздухе, падает нормально монохроматический свет с длиной волны λ . Определить, какой должна быть наименьшая толщина пленки, чтобы в отраженном свете она казалась темной. Какой цвет будет иметь пленка, если ее толщина будет $1,66 \lambda$?

16. На толстую стеклянную пластинку, покрытую очень тонкой пленкой, показатель преломления n_2 вещества которой равен 1,4, падает нормально параллельный пучок монохроматического света ($\lambda = 0,6$ мкм). Отраженный свет максимально ослаблен вследствие интерференции. Определить толщину пленки.

17. На стеклянную пластину нанесен тонкий слой прозрачного вещества с показателем преломления $n = 1,3$. Пластинка освещена параллельным пучком монохроматического света с длиной волны $\lambda = 640$ нм, падающим на пластинку нормально. Какую минимальную толщину d_{\min} должен иметь слой, чтобы отраженный пучок имел наименьшую яркость?

18. На мыльную пленку (показатель преломления 1,33) падает белый свет под углом 45° . При какой наименьшей толщине пленки отраженные лучи будут окрашены в желтый свет? Длина волны желтого света 600 нм.

19. Мыльная пленка, расположенная вертикально, образует клин вследствие стекания жидкости. В отраженном свете (длина волны 546 нм) наблюдаются интерференционные полосы. Расстояние между пятью полосами равно 2 см. Свет падает перпендикулярно поверхности пленки. Показатель преломления пленки 1,33. Найти угол клина в секундах.

20. Поверхности стеклянного клина образуют между собой угол $\alpha = 0,2'$. На клин нормально к его поверхности падает пучок лучей монохроматического света с длиной волны $\lambda = 0,55$ мкм. Определить ширину b интерференционной полосы.

21. На стеклянный клин нормально падает монохроматический свет с длиной волны 6680 \AA . С какой наименьшей толщины клина будут видны интерференционные полосы? Определить угол клина, если расстояние между полосами 5,6 мм.

22. На тонкий стеклянный клин падает нормально параллельный пучок света с длиной волны $\lambda = 500$ нм. Расстояние между соседними темными интерференционными полосами в отраженном свете $b = 0,5$

мм. Определить угол α между поверхностями клина. Показатель преломления стекла, из которого изготовлен клин, $n = 1,6$.

23. Между двумя плоскопараллельными пластинами на расстоянии $b = 10$ см от границы их соприкосновения находится проволока диаметром $d = 0,01$ мм, образуя воздушный клин. Пластины освещаются нормально падающим монохроматическим светом ($\lambda = 0,6$ мкм). Определить ширину b интерференционных полос, наблюдаемых в отраженном свете.

24. На стеклянный клин с показателем преломления $1,5$ нормально падает монохроматический свет с длиной волны 698 нм. Определить угол между поверхностями клина, если расстояние между двумя соседними минимумами в проходящем свете равно 2 мм.

25. Расстояние между вторым и первым кольцами Ньютона в отраженном свете $b = 1$ мм. Определить между десятым и девятым кольцами.

26. Плосковыпуклая линза выпуклой стороной лежит на стеклянной пластине. Определить толщину слоя воздуха, там, где в отраженном свете ($\lambda = 0,60$ мкм) видно первое светлое кольцо Ньютона.

27. Между стеклянной пластинкой и лежащей на ней плосковыпуклой линзой находится жидкость показатель преломления которой больше показателя преломления стекла ($n_{ст} = 1,5$). Найти показатель преломления жидкости, если радиус r_3 третьего темного кольца Ньютона при наблюдении в отраженном свете с длиной волны $\lambda = 0,6$ мкм равен $0,82$ мм. Радиус кривизны линзы $R = 0,5$ м.

28. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается нормально падающим монохроматическим светом ($\lambda = 590$ нм). Радиус кривизны R линзы равен 5 м. Определить толщину d_3 воздушного промежутка в том месте, где в отраженном свете наблюдается третье светлое кольцо.

29. Плосковыпуклая стеклянная линза с радиусом кривизны 10 м положена на стеклянную пластину, пространство между ними заполнено жидкостью показатель преломления которой больше показателя преломления стекла ($n_{ст} = 1,5$). Определить коэффициент преломления жидкости, если в проходящем свете с длиной волны $0,6$ мкм радиус шестого светлого кольца равен $4,9$ мм. Чему будет равен радиус этого кольца, если между линзой и пластиной будет воздушный зазор?

30. Плосковыпуклая линза положена на стеклянную пластинку. Через эту оптическую систему проходит свет ($\lambda = 5890 \text{ \AA}$). Диаметр пятого темного кольца Ньютона в отраженном свете равен 8 мм. Определить оптическую силу линзы. Какая толщина воздушного зазора соответствует этому кольцу?

Дифракция

1. Сферическая волна, распространяющаяся из точечного монохроматического источника света (длина волны 600 нм), встречает на своем пути диафрагму с круглым отверстием радиусом 0,4 мм. Расстояние от источника до диафрагмы равно 1 м. Определить расстояние от диафрагмы до точки, лежащей на линии, соединяющей источник с центром диафрагмы, где наблюдается максимум освещенности.

2. Между точечным источником монохроматического света с длиной волны 6000 \AA и экраном, посередине между ними, находится ширма с отверстием диаметра 4,4 мм. Как изменится освещенность экрана в точке, лежащей на оси пучка, если диаметр отверстия увеличить до 4,9 мм? Расстояние от источника до экрана 8 м.

3. От монохроматического источника с длиной волны 0,6 мкм, расположенного на расстоянии 1,2 м от диафрагмы с круглым отверстием диаметром 2,2 мм, падает сферическая волна. Определить расстояние от диафрагмы до точки наблюдения. Число зон Френеля, укладывающихся в отверстие, равно 4.

4. Определить радиус третьей зоны Френеля, если расстояние от точечного источника света до волновой поверхности и от волновой поверхности до точки наблюдения равны 1,5 м. Длина световой волны 600 нм.

5. Дифракция наблюдается на расстоянии 1 м от точечного источника монохроматического света (длина волны 500 нм). Посередине между источником света и экраном находится диафрагма с круглым отверстием. Определить радиус отверстия, при котором центр дифракционных колец на экране является наиболее темным.

6. Точечный источник света ($\lambda = 0,5 \text{ мкм}$) помещен на расстоянии 0,5 м перед непрозрачной преградой с отверстием радиуса 0,5 мм. Определить расстояние от преграды до точки, для которой число открываемых зон Френеля будет равно 2; 5.

7. Монохроматический свет нормально падает на диафрагму с круглым отверстием. Определить радиус четвертой зоны Френеля, если радиус второй зоны Френеля равен 2 мм.

8. Вычислить радиус пятидесятой зоны Френеля для плоского волнового фронта ($\lambda = 0,5$ мкм), если построение делается для точки наблюдения, находящейся на расстоянии $b = 1$ м от фронта волны.

9. На экран с круглым отверстием радиусом 1,5 мм нормально падает параллельный пучок монохроматического света с длиной волны 500 нм. Точка наблюдения находится на оси отверстия на расстоянии 1,5 м от него. Определить темное или светлое пятно наблюдается в центре дифракционной картины.

10. Радиус четвертой зоны Френеля для плоского волнового фронта равен 3 мм. Определить радиус двадцать пятой зоны.

11. Определить отношение площадей зон и разность радиусов пятой и шестой зон Френеля для плоского волнового фронта с длиной волны 0,5 мкм, если экран расположен на расстоянии 1 м от фронта волны.

12. На непрозрачную пластину с узкой щелью падает нормально плоская монохроматическая световая волна ($\lambda = 600$ нм). Угол отклонения лучей, соответствующих второму дифракционному максимуму, $\varphi = 20^\circ$. Определить ширину b щели.

13. Какое наибольшее значение числа m (номера дифракционного минимума) для желтой линии натрия ($\lambda = 0,589$ мкм) при нормальном падении лучей на щель 1 мкм. Сколько всего наблюдается минимумов?

14. На щель шириной 0,1 мм падает нормально монохроматический свет с длиной волны 500 нм. Что будет наблюдаться на экране, если угол дифракции равен: а) 17° ; в) 43° .

15. На узкую щель падает нормально монохроматический свет. Угол отклонения пучка света, соответствующий третьей тёмной дифракционной полосе равен $1,5^\circ$. Скольким длинам волн падающего света равна ширина щели?

16. Какое наибольшее значение числа m (номера дифракционного максимума) для желтой линии натрия ($\lambda = 0,589$ мкм) при нормальном падении лучей на щель 2 мкм. Сколько всего наблюдается максимумов?

17. На непрозрачную пластинку с узкой щелью нормально падает монохроматический свет. Угол отклонения лучей, соответствующий

щий второй светлой дифракционной полосе, равен 1° . Скольким длинам волн падающего света равна ширина щели?

18. На щель шириной $0,05$ мм падает нормально монохроматический свет с длиной волны 600 нм. Определить угол между первоначальным направлением пучка света и направлением на четвертую темную дифракционную полосу.

19. На щель падает нормально параллельный пучок монохроматического света. Ширина щели в шесть раз больше длины волны. Под каким углом будет наблюдаться третий дифракционный минимум интенсивности света?

20. Дифракционная решетка освещается нормально падающим монохроматическим светом, отклоняет спектр второго порядка на угол равный 14° . На какой угол она отклонит спектр третьего порядка.

21. На дифракционную решетку нормально падает пучок монохроматического света. Максимум третьего порядка наблюдается под углом $36^\circ 48'$ к нормали. Найти постоянную дифракционной решетки, выраженную в длинах волн падающего света

22. При освещении дифракционной решетки белым светом спектры второго и третьего порядков перекрывают друг друга. На какую длину волны в спектре второго порядка накладывается фиолетовая граница ($\lambda = 0,4 \cdot 10^{-6}$ м) спектра третьего порядка.

23. Какое наименьшее число N_{\min} штрихов должна содержать дифракционная решетка, чтобы в спектре второго порядка можно было видеть раздельно две желтые линии натрия с длинами волн $\lambda_1 = 589,0$ нм и $\lambda_2 = 589,6$ нм? Какова длина l такой решетки, если постоянная решетки $d = 5$ мкм?

24. На поверхность дифракционной решетки нормально к ее поверхности падает монохроматический свет. Постоянная дифракционной решетки в $n = 4,6$ раза больше длины световой волны. Найти общее число M дифракционных максимумов, которые теоретически можно наблюдать в данном случае.

25. На дифракционную решетку падает нормально параллельный пучок белого света. Спектры третьего и четвертого порядка частично накладываются друг на друга. На какую длину волны в спектре четвертого порядка накладывается граница ($\lambda = 780$ нм) спектра третьего порядка?

26. На дифракционную решетку, содержащую $n = 600$ штрихов на миллиметр, падает нормально белый свет. Спектр проецируется

помещенной вблизи решетки линзой на экран. Определить длину l спектра первого порядка на экране, если расстояние от линзы до экрана $L = 1,2$ м. Границы видимого спектра - $\lambda_{кр} = 780$ нм и $\lambda_{фил} = 400$ нм.

27. На дифракционную решетку, содержащую $n = 100$ штрихов на 1 мм, нормально падает монохроматический свет. Зрительная труба спектрометра наведена на максимум второго порядка. Чтобы навести трубу на другой максимум того же порядка, ее нужно повернуть на угол $\Delta\varphi = 16^\circ$. Определить длину волны λ света, падающего на решетку.

28. На дифракционную решетку падает нормально монохроматический свет ($\lambda = 410$ нм). Угол $\Delta\varphi$ между направлениями на максимумы первого и второго порядков равен $2^\circ 21'$. Определить число n штрихов на 1 мм дифракционной решетки.

29. На грань кристалла каменной соли падает параллельный пучок рентгеновского излучения. Расстояние d между атомными плоскостями равно 280 пм. Под углом $\theta = 65^\circ$ к атомной плоскости наблюдается дифракционный максимум первого порядка. Определить длину волны λ рентгеновского излучения.

30. Какое расстояние между атомными плоскостями в кристалле каменной соли, если дифракционный максимум первого порядка наблюдается при падении лучей под углом $15^\circ 12'$ к поверхности кристалла? Длина волны λ рентгеновских лучей 14,7 нм.

Поляризация.

1. Определить коэффициент преломления прозрачного вещества, для которого предельный угол полного отражения равен углу полной поляризации.

2. Чему равен показатель преломления стекла, если при отражении от него света отраженный луч будет полностью поляризован при угле преломления 30° .

3. Угол Брюстера i_B при падении света из воздуха на кристалл каменной соли 57° . Определить скорость света в этом кристалле.

4. Луч света, идущий в воздухе, падает на поверхность жидкости под углом 54° . Определить угол преломления луча, если отраженный луч максимально поляризован.

5. Угол падения i_1 луча на поверхность стекла равен 60° . При этом отраженный пучок света оказался максимально поляризованным. Определить угол i_2 преломления луча.
6. Пучок света переходит из жидкости в стекло. Угол падения пучка $i_1 = 60^\circ$, угол преломления $i_2 = 50^\circ$. При каком угле падения i_B пучок света, отраженный от границы раздела этих сред, будет максимально поляризован?
7. Луч света, проходящий через слой воды, падает на кварцевую пластину, частично отражается, частично преломляется. Определить, каким должен быть угол падения, чтобы преломленный луч был перпендикулярен к отраженному.
8. Параллельный пучок света переходит из глицерина в стекло так, что пучок, отраженный от границы раздела этих сред, оказывается максимально поляризованным. Определить угол γ между падающим и преломленным пучками.
9. Пучок света, идущий в стеклянном сосуде с глицерином, отражается от дна сосуда. При каком угле i_1 падения отраженный пучок света максимально поляризован?
10. Степень поляризации P частично поляризованного света равна 0,5. Во сколько раз отличается максимальная интенсивность света, пропускаемого через анализатор, от минимальной?
11. Частично - поляризованный свет проходит через николю. Интенсивность света увеличивается в 4 раза, если повернуть николю на 60° от положения, соответствующего минимальной интенсивности. Какова степень поляризации света?
12. Анализатор в два раза уменьшает интенсивность света, приходящего к нему от поляризатора. Определить угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора.
13. При переходе луча света из первой среды во вторую предельный угол оказался равным 61° . Под каким углом на границу раздела этих сред должен падать луч, идущий из второй среды в первую, чтобы отраженный луч был бы полностью поляризован? Сделать чертеж.
14. Во сколько раз ослабляется свет. Проходя через два николя, угол между плоскостями поляризации которых составляет 30° , если в каждом из николей в отдельности теряется 10% падающего светового потока.

15. Угол между главными осями поляризатора и анализатора равен 45° . Во сколько раз уменьшится интенсивность света, выходящего из анализатора, если угол увеличить до 60° .
16. Пучок света последовательно проходит через два николя, плоскости пропускания которых образуют между собой угол $\varphi = 40^\circ$. Принимая, что коэффициент поглощения k каждого николя равен 0,15, найти, во сколько раз пучок света, выходящий из второго николя, ослаблен по сравнению с пучком, падающим на первый николь.
17. Угол α между плоскостями пропускания поляроидов равен 50° . Естественный свет, проходя через такую систему, ослабляется в $n = 8$ раз. Пренебрегая потерей света при отражении, определить коэффициент поглощения k света в поляроидах.
18. Главные плоскости двух призм николя образуют между собой угол в 60° . Насколько следует изменить угол между главными плоскостями, чтобы интенсивность прошедшего света увеличилась вдвое?
19. Определить, во сколько раз интенсивность света после прохождения двух николей будет ослаблена, если угол между плоскостями поляризации составляет $74^\circ 20'$. Поглощение света в поляризаторе составляет 5%, а в анализаторе 10%?
20. Луч естественного света при прохождении двух николей был ослаблен в пять раз. В каждом николе интенсивность света за счет отражения и поглощения уменьшилась на 10%. Определить угол между плоскостями поляризации николей. Дать схему опыта.
21. Во сколько раз будет ослаблен луч естественного света, если его пропустить через три поляроида, плоскости поляризации соседних составляют угол 15° ? За счет поглощения света в каждом поляроиде теряется 5% энергии.
22. Луч света падает перпендикулярно к плоскости одной из граней стеклянной призмы. Определить, сколько процентов излучения отражается. Какова степень поляризации отраженного света?
23. Угол Брюстера i_B при падении света из воздуха на кристалл каменной соли 57° . Определить скорость света в этом кристалле и коэффициент отражения границы раздела этих сред при угле падения пучка $i_1 = 60^\circ$.
24. Чему равен показатель преломления стекла, если при отражении от него света отраженный луч будет полностью поляризован при угле преломления 30° . Определить степень поляризации лучей прошедших в стекло.

25. Пластинку кварца толщиной $d = 2$ мм поместили между параллельными николями, в результате чего плоскость поляризации монохроматического света повернулась на угол $\varphi = 53^\circ$. Какой наименьшей толщины d_{\min} следует взять пластинку, чтобы поле зрения поляриметра стало совершенно темным?
26. Кварцевую пластинку поместили между скрещенными николями. При какой наименьшей толщине d_{\min} кварцевой пластины поле зрения между николями будет максимально просветлено? Постоянная вращения кварца равна 27 град/мм.
27. Пластина кварца толщиной в $1,5$ мм, вырезанная перпендикулярно к оптической оси, помещена между параллельными николями. Для некоторой длины волны вращение плоскости поляризации равно 36° . Во сколько раз изменилась интенсивность света после прохождения николей? При какой толщине кварца свет данной длины волны будет полностью поглощен? Показать схему опыта.
28. При прохождении света через трубку длиной $l_1 = 20$ см, содержащую раствор сахара концентрацией $C_1 = 10\%$, плоскость поляризации света повернулась на угол $\varphi_1 = 13,3^\circ$. В другом растворе сахара, налитом в трубку длиной $l_2 = 15$ см, плоскость поляризации повернулась на угол $\varphi_2 = 5,2^\circ$. Определить концентрацию C_2 второго раствора.
29. При прохождении света через слой 5% - ного сахарного раствора толщиной 15 см плоскость поляризации света повернулась на угол $6,5^\circ$. Насколько повернет плоскость поляризации 13% - ный раствор с толщиной слоя в 12 см?
30. На пластинку исландского шпата, вырезанную параллельно оптической оси, падает нормально луч с длиной волны 588 нм. Между обыкновенным и необыкновенным лучами возникает разность хода в $0,007$ мм. Найти толщину пластины, если показатель преломления обыкновенного луча для данного света $1,658$, а необыкновенного $1,486$. Сделать чертеж.

Тепловое излучение.

1. Температура абсолютно черного тела изменяется от 727 °С до 1727 °С. Во сколько раз изменится при этом полное количество получаемой телом энергии?
2. Длина волны, соответствующая максимуму энергии в спектре абсолютно черного тела, 720 нм, излучающая поверхность $S = 5$ см². Определить мощность излучения.

3. Максимум энергии излучения абсолютно черного тела приходится на длину волны 450 нм. Определить температуру и энергетическую светимость тела.

4. Поток излучения абсолютно черного тел 2,5 кВт. Максимум энергии излучения приходится на длину волны 1,65 мкм. Определить площадь излучающей поверхности.

5. Поток энергии, излучаемый из смотрового окошка плавильной печи 34 Вт. Определить температуру печи, если площадь отверстия 6 см².

6. Абсолютно черное тело имеет температуру $T = 2900$ К. В результате остывания тела длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости, изменилась на $\Delta = 9 \cdot 10^{-6}$ м. До какой температуры охладилось тело? ($b = 2,9 \cdot 10^{-3}$ м·К).

7. Определить энергию W излучаемую за время $t = 1$ мин из смотрового окошка площадью $S = 8$ см² плавильной печи, если ее температура $T = 1,2$ кК.

8. Муфельная печь потребляет мощность $P = 1$ кВт температура T ее внутренней поверхности при открытом отверстии площадью $S = 25$ см² равна 1,2 кК. Считая, что отверстие печи излучает как абсолютно черное тело, определить, какая доля η мощности рассеивается стенками.

9. Какую энергетическую светимость имеет затвердевший свинец. Отношение энергетических светимостей свинца и абсолютно черного тела $a = 0,6$.

10. При увеличении термодинамической температуры T черного тела в два раза длина волны λ_{\max} , на которую приходился максимум спектральной плотности энергетической светимости $(r_{\lambda,T})_{\max}$ уменьшилась на $\Delta\lambda = 400$ нм. Определить начальную и конечную температуру T_1 и T_2 .

11. Вычислить истинную температуру T вольфрамовой раскаленной ленты, если радиационный пирометр показывает температуру $T_{\text{град}} = 2,5$ кК. Принять, что поглощательная способность для вольфрама не зависит от частоты излучения и равна $a_T = 0,35$.

12. Черное тело имеет температуру $T_1 = 500$ К. Какова будет температура T_2 тела, если в результате нагревания поток излучения увеличится в $n = 5$ раз?

13. Температура абсолютно черного тела $T = 2$ кК. Определить длину волны λ_{\max} , на которую приходится максимум энергии излуче-

ния, и спектральную плотность энергетической светимости (излучательности) $(r_{\lambda,T})_{\max}$ для этой длины волны.

14. Определить температуру T и энергетическую светимость (излучательность) R_e абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения приходится на длину волны $\lambda_{\max} = 600$ нм.

15. Из смотрового окошечка печи излучается поток $\Phi_e = 4$ кДж/мин. Определить температуру T печи, если площадь окошечка $S = 8$ см².

16. Поток излучения абсолютно черного тела $\Phi_e = 10$ кВт. Максимум энергии излучения приходится на длину волны $\lambda_{\max} = 0,8$ мкм. Определить площадь S излучающей поверхности.

17. Как и во сколько раз изменится поток излучения абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения переместится с красной границы видимого спектра ($\lambda_{\max 1} = 780$ нм) на фиолетовую ($\lambda_{\max 2} = 390$ нм)?

18. Определить поглощательную способность a_T серого тела, для которого температура, измеренная радиационным пирометром, $T_{\text{град}} = 1,4$ кК, тогда как истинная температура T тела равна $3,2$ кК.

19. Муфельная печь, потребляющая мощность $P = 1$ кВт, имеет отверстие площадью $S = 100$ см². Определить долю η мощности, рассеиваемой стенками печи, если температура ее внутренней поверхности равна 1 кК.

20. Средняя энергетическая светимость R поверхности Земли равна $0,54$ Дж/(см²·мин). Какова должна быть температура T поверхности Земли, если условно считать, что она излучает как серое тело с коэффициентом черноты $a_T = 0,25$?

21. Во сколько раз увеличится мощность излучения абсолютно черного тела, если максимум излучения переместится от красной границы видимого света (760 нм) к его фиолетовой границе (380 нм)?

22. При какой температуре энергетическая светимость абсолютно черного тела равна 1 кВт/м²?

23. Температура абсолютно черного тела уменьшилась на 1% . На сколько процентов уменьшилась энергетическая светимость тела?

24. Количество лучистой энергии Солнца, падающей на площадку, перпендикулярную к солнечным лучам, находящуюся за пределами атмосферы, вблизи Земли, равна $1,35$ кВт/м². Какова будет температура абсолютно черной пластинки, установленной за пределами атмосферы вблизи Земли перпендикулярно лучам Солнца? Температуру поверхности Солнца принять 5800 К.

25. Стальная болванка при температуре $927\text{ }^\circ\text{C}$ излучает за секунду $8,2\text{ Дж}$ с каждого 1 см^2 поверхности. Определить интегральную поглотательную способность данной болванки.

26. Площадь поверхности нити накала 60-ваттной вольфрамовой лампы накаливания $0,5\text{ см}^2$. Интегральная поглотательная способность вольфрама $0,6$. Определить температуру нити накала.

27. Принимая температуру поверхности Солнца равной 5800 К , определить количество солнечной энергии, падающей за 1 с на площадку в 1 м^2 , поставленную перпендикулярно солнечным лучам вблизи Земли за пределами земной атмосферы. Считать Солнце абсолютно черным телом.

28. Принимая температуру поверхности Солнца, равной 5800 К и считая излучение абсолютно черным, вычислить уменьшение массы Солнца вследствие излучения за 1 с . За сколько лет масса Солнца уменьшится на $0,001\text{ \%}$?

29. Стальной шар радиусом $4,5\text{ см}$ нагрет до температуры 1300 К . Шар остывает в открытом пространстве. За какое время температура шара понизится до 1200 К ? Считать, что шар остывает как серое тело с поглотательной способностью $0,5$.

30. При нагревании тела длина волны, на которую приходится максимум излучательной способности, изменилась от $1,45\text{ мкм}$ до $1,16\text{ мкм}$. Насколько изменилась максимальная спектральная плотность энергетической светимости тела?

Фотоэлектрический эффект. Давление света.

1. Фотон с длиной волны $0,12\text{ мкм}$ вырывает с поверхности натрия фотозлектрон, кинетическая энергия которого $7,2\text{ эВ}$. Определить работу выхода и красную границу фотоэффекта.

2. Работа выхода электронов из молибдена $4,2\text{ эВ}$. Какова скорость электронов, вылетающих с поверхности молибдена при освещении его лучами с длиной волны 200 нм ?

3. На цинковую пластинку направлен монохроматический пучок света. Фототок прекращается при задерживающей разности потенциалов $U = 1,5\text{ В}$. Определить длину волны λ света, падающего на пластину.

4. На поверхность металла падает монохроматический свет длиной волны $\lambda = 0,15\text{ мкм}$. Красная граница фотоэффекта $\lambda_0 = 0,56\text{ мкм}$. Какая доля энергии фотона расходуется на сообщение электрону ки-

нетической энергии? Определить величину максимальной скорости v_{\max} фотоэлектронов.

5. Красная граница фотоэффекта для цинка $\lambda_0 = 310$ нм. Определить максимальную кинетическую энергию T_{\max} фотоэлектронов в электрон-вольтах, если на цинк падает свет с длиной волны $\lambda = 200$ нм.

6. На поверхность калия падает свет с длиной волны $\lambda = 150$ нм. Определить максимальную кинетическую энергию T_{\max} фотоэлектронов.

7. Фотон с энергией $\varepsilon = 10$ эВ падает на серебряную пластину и вызывает фотоэффект. Определить величину импульса p , полученного пластиной, если принять, что направления движения фотона и фотоэлектрона лежат на одной прямой, перпендикулярной поверхности пластин.

8. На фотоэлемент с катодом из лития падает свет; длиной волны $\lambda = 200$ нм. Найти наименьшее значение задерживающей разности потенциалов U_{\min} , которую нужно приложить к фотоэлементу, чтобы прекратить фототок.

9. Выбиваемые светом при фотоэффекте электроны полностью задерживаются обратным потенциалом 4 В. Красная граница фотоэффекта $0,6$ мкм. Определить частоту падающего света.

10. На металлическую пластину направлен монохроматический пучок света с частотой $\nu = 7,3 \cdot 10^{14}$ Гц. Красная граница λ_0 фотоэффекта для данного материала равна 560 нм. Определить величину максимальной скорости v_{\max} фотоэлектронов.

11. На поверхность металла падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 0,1$ мкм. Красная граница фотоэффекта $\lambda_0 = 0,3$ мкм. Какая доля энергии фотона расходуется на сообщение электрону кинетической энергии?

12. На металлическую пластину направлен пучок ультрафиолетового излучения ($\lambda = 0,25$ мкм). Фототок прекращается при минимальной задерживающей разности потенциалов $U_{\min} = 0,96$ В. Определить работу выхода A электронов из металла.

13. На металл падает рентгеновское излучение с длиной волны $\lambda = 1$ пм. Пренебрегая работой выхода, определить величину максимальной скорости v_{\max} фотоэлектронов.

14. Какова должна быть длина волны γ -излучения, падающего на платиновую пластину, чтобы величина максимальной скорости фотоэлектронов была $v_{\max} = 30 \text{ Мм/с}$?

15. Определить величину максимальной скорости v_{\max} фотоэлектронов, вылетающих из металла под действием γ -излучения с длиной волны $\lambda = 0,03 \text{ нм}$.

16. На зеркальную поверхность площадью $S = 6 \text{ см}^2$ падает нормально поток излучения $\Phi_e = 0,8 \text{ Вт}$. Определить давление p и силу давления F света на эту поверхность.

17. Свет с длиной волны $\lambda = 600 \text{ нм}$ нормально падает на зеркальную поверхность и производит на неё давление $p = 4 \text{ мкПа}$. Определить число N фотонов, падающих за время $t = 10 \text{ с}$ на площадь $S = 1 \text{ мм}^2$ этой поверхности.

18. Параллельный пучок света длиной волны $\lambda = 500 \text{ нм}$ падает нормально на зачерненную поверхность, производя давление $p = 10 \text{ мкПа}$. Определить концентрацию n фотонов в пучке.

19. Монохроматическое излучение с длиной волны $\lambda = 500 \text{ нм}$ падает нормально на плоскую зеркальную поверхность. Поток энергии $\Phi = 0,6 \text{ Вт}$. Определить число N фотонов, падающих на неё за время $t = 5 \text{ с}$.

20. Определить коэффициент отражения ρ поверхности, если при энергетической освещенности $E_e = 120 \text{ Вт/м}^2$ давление p света на неё оказалось равным $0,5 \text{ мкПа}$.

21. Определить энергетическую освещенность (облученность) E_e зеркальной поверхности, если давление p , производимое излучением, равно 40 мкПа . Излучение падает нормально к поверхности.

22. Давление p света с длиной волны $\lambda = 40 \text{ нм}$, падающего нормально на черную поверхность, равно 2 нПа . Определить число N фотонов, падающих за время $t = 10 \text{ с}$ на площадь $S = 1 \text{ мм}^2$ этой поверхности.

23. Давление света, производимое на зеркальную поверхность, $p = 5 \text{ мПа}$. Определить концентрацию n_0 фотонов вблизи поверхности, если длина волны света, падающего на поверхность, $\lambda = 0,5 \text{ мкм}$.

24. На расстоянии $r = 5 \text{ м}$ от точечного монохроматического ($\lambda = 0,5 \text{ мкм}$) изотропного источника расположена площадка ($S = 8 \text{ мм}^2$) перпендикулярно падающим пучкам. Определить число фотонов, ежесекундно падающих на площадку. Мощность излучения $P = 100 \text{ Вт}$.

25. На зеркальную поверхность под углом $\alpha = 60^\circ$ к нормали падает пучок монохроматического света ($\lambda = 590$ нм). Плотность потока энергии светового пучка $\Phi = 1$ кВт/м². Определить давление p , производное светом на зеркальную поверхность.

26. Свет падает нормально на зеркальную поверхность, находящуюся на расстоянии $r = 10$ см от точечного изотропного излучателя. При какой мощности P излучателя давление p на зеркальную поверхность будет равным 1 мПа?

27. Точечный источник монохроматического ($\lambda = 1$ нм) излучения находится в центре сферической зачерненной колбы радиусом $R = 10$ см. Определить световое давление p , производимое на внутреннюю поверхность колбы, если мощность источника $P = 1$ кВт.

28. Определить давление солнечных лучей, падающих перпендикулярно на зеркальную пластинку, поставленную вблизи Земли выше границы земной атмосферы. Температуру поверхности Солнца принять равной 5800 К.

29. Накаленная нить проходит по оси цилиндра длиной 10 см, радиуса 5 см. Нить излучает световой поток мощностью 600 Вт. Считая световой поток симметричным относительно нити канала, определить давление света на поверхность цилиндра. Коэффициент отражения цилиндра равен 10%.

30. Поток монохроматических лучей с длиной волны 600 нм падает нормально на пластинку с коэффициентом отражения 0,2. Сколько фотонов ежесекундно падает на пластинку, если давление лучей на пластинку составляет 10^{-7} Н/м²?

Эффект Комптона.

1. В результате эффекта Комптона фотон при соударении с электроном был рассеян на угол $\theta = 90^\circ$. Энергия рассеянного фотона 0,4 МэВ. Определить энергию фотона до рассеяния.

2. Фотон с энергией $\epsilon = 0,25$ МэВ рассеялся на свободном электроном. Энергия ϵ' рассеянного фотона 0,2 МэВ. Определить угол рассеяния θ .

3. Определить угол рассеяния фотона, испытавшего соударение со свободным электроном, если изменение длины волны при рассеянии равно $0,0362 \text{ \AA}$.

4. Фотон ($\lambda = 1$ пм) при соударении со свободным электроном испытал комптоновское рассеяние под углом 60° . Определить долю энергии, оставшуюся у фотона.

5. Определить угол, θ на который был рассеян фотон с энергией $\varepsilon = 1,53$ МэВ при эффекте Комптона, если кинетическая энергия электрона отдачи $T = 0,51$ МэВ.

6. Фотон с длиной волны $\lambda = 5$ пм рассеялся на свободном электроне. Длина волны рассеянного фотона $\lambda = 6$ пм. Определить угол θ рассеяния.

7. Длина волны λ фотона равна комптоновской длине λ_c электрона. Определить энергию ε и величину импульса p фотона.

8. Определить величину импульса p_e электрона отдачи, если фотон с энергией, равной энергии покоя электрона, был рассеян на угол $\theta = 180^\circ$.

9. Определить величину импульса p_e электрона отдачи, если фотон с энергией $\varepsilon = 1,53$ МэВ в результате рассеяния на свободном электроне потерял $\frac{1}{3}$ своей энергии.

10. Фотон при эффекте Комптона на свободном электроне был рассеян на угол $\theta = \pi/2$. Определить величину импульса p (в МэВ/с), приобретенного электроном, если энергия фотона до рассеяния была $\varepsilon_1 = 1,02$ МэВ.

11. Рентгеновское излучение ($\lambda = 10$ пм) рассеивается электронами, которые можно считать практически свободными. Определить максимальную длину волны λ_{\min} рентгеновского излучения в рассеянном пучке.

12. Какая доля энергии фотона приходится при эффекте Комптона на электрон отдачи, если рассеяние фотона происходит на угол $\theta = \pi/2$? Энергия фотона до рассеяния $\varepsilon_1 = 0,51$ МэВ.

13. Определить максимальное изменение длины волны $(\Delta\lambda)_{\max}$ при комптоновском рассеянии света на свободных электронах и свободных протонах.

14. Фотон с длиной волны $\lambda_1 = 15$ пм рассеялся на свободном электроне. Длина волны рассеянного фотона $\lambda_2 = 16$ пм. Определить угол θ рассеяния.

15. Фотон с энергией $\varepsilon_1 = 0,51$ МэВ был рассеян при эффекте Комптона на свободном электроне на угол $\theta = 180^\circ$. Определить кинетическую энергию T электрона отдачи.

16. В результате эффекта Комптона фотон с энергией $\varepsilon_1 = 1,02$ МэВ рассеян на свободных электронах на угол $\theta = 150^\circ$. Определить энергию ε_2 рассеянного фотона.

17. Фотон с энергией $\varepsilon_1 = 0,51$ МэВ при рассеянии на свободном электроны потерял половину своей энергии. Определить угол рассеяния θ .

18. Определить отношение величины релятивистского импульса p -электрона с кинетической энергией $T = 1,53$ МэВ к величине комптоновского импульса m_0c электрона.

19. Фотон с энергией $0,49$ МэВ рассеялся на свободном электроны под углом 60° . Определить энергию рассеянного фотона и кинетическую энергию электрона отдачи.

20. Гамма-квант рассеялся на свободном протоне под углом 90° , при этом энергия его уменьшилась в два раза. Определить энергию падающего кванта.

21. Фотон рассеивается на свободном электроны. Определить угол рассеяния фотона и энергию фотона, если величина импульса рассеянного фотона равна половине величины импульса падающего фотона, а величина импульса электрона отдачи равна величине импульса падающего фотона.

22. Определить величину импульса электрона отдачи при эффекте Комптона, если энергия падающего фотона равна удвоенной энергии покоя электрона и фотон был рассеян на угол 60° .

23. Рентгеновское излучение ($\lambda = 1,5$ пм) рассеивается электронами, которые можно считать практически свободными. Определить максимальную длину волны λ_{\max} рентгеновского излучения в рассеянном пучке.

24. Какая доля энергии фотона приходится при эффекте Комптона на электрон отдачи, если рассеяние фотона происходит на угол $\theta = \pi/4$? Энергия фотона до рассеяния $\varepsilon_1 = 0,2$ МэВ.

25. Определить минимальное изменение длины волны $\Delta\lambda_{\min}$ при комптоновском рассеянии света на свободных протонах.

26. Определить импульс \vec{p}_e электрона отдачи, если фотон с энергией $\varepsilon = 1,15$ МэВ в результате рассеяния на свободном электроны потерял $1/3$ своей энергии.

27. Фотон с энергией $\varepsilon_1 = 0,85$ МэВ при рассеянии на свободном электроны потерял половину своей энергии. Определить угол рассеяния θ и энергию электрона отдачи.

28. Фотон при эффекте Комптона на свободном электроном был рассеян на угол $\theta = \pi/6$. Определить импульс \vec{p} , приобретенный электроном, если энергия фотона до рассеяния была $\varepsilon_1 = 1,33 \text{ МэВ}$.

29. Фотон с энергией $\varepsilon_1 = 1,21 \text{ МэВ}$ был рассеян при эффекте Комптона на свободном электроном на угол $\theta = 120^\circ$. Определить кинетическую энергию T и величину импульса электрона отдачи.

30. Рентгеновское излучение длиной волны $\lambda = 20,5 \text{ пм}$ рассеивается плиткой графита. Определить длину волны λ' рентгеновского излучения в рассеянном пучке и \vec{p} , приобретенный электроном.

Атом водорода.

1. Найти длину волны де Бройля λ для электрона, движущегося по круговой орбите атома водорода, находящегося в 1-ом возбужденном состоянии.

2. Определите изменение длины волны де Бройля для электрона, совершающего переход в атоме водорода с третьего энергетического уровня на второй.

3. Электрон прошел ускоряющую разность потенциалов $U = 510 \text{ кВ}$. Определить длину волны де Бройля, учитывая релятивистские эффекты.

4. Фотон, соответствующий длине волны $0,02 \text{ мкм}$, выбил электрон из невозбужденного атома водорода. Вычислить скорость электрона за пределами атома.

5. Определить границы спектральной области, в которой лежат линии серии Бальмера.

6. Найти наибольшую λ_{\max} и наименьшую λ_{\min} длины волн в первой инфракрасной серии спектра водорода (серии Пашена).

7. Какую энергию надо сообщить атому водорода для того, чтобы в спектре его появилась одна линия серии Бальмера?

8. Атом водорода, возбуждаемый некоторым монохроматическим источником света, испускает только три спектральные линии. Определить квантовое число энергетического уровня, на который переходят возбужденные атомы, а также длины волн испускаемых линий.

9. Определить радиусы двух первых орбит электрона в атоме водорода и скорость электрона на этих орбитах.

10. Определить потенциальную, кинетическую и полную энергии электрона, находящегося на первой орбите атома водорода.

11. Возбужденный атом водорода при переходе в основное состояние испустил последовательно два кванта с длинами волн 40510 \AA и $972,5 \text{ \AA}$. Определить энергию первоначального состояния данного атома и соответствующее этому состоянию квантовое число.

12. Какие спектральные линии появятся в видимой области спектра при возбуждении атомов водорода электронами с энергией $12,8 \text{ эВ}$.

13. При переходе электрона атома водорода с одной из возможных орбит на другую, более близкую к ядру, атом испустил фотон с длиной волны 18751 \AA . Определить кинетическую T , потенциальную U и полную E энергию электрона в этом промежуточном возбужденном состоянии.

14. Во сколько раз изменится период $T_{\text{вр}}$ вращения электрона в атоме водорода, если при переходе в невозбужденное состояние атом излучил фотон с длиной волны $\lambda = 97,5 \text{ нм}$?

15. Во сколько раз изменится период вращения электрона в атоме водорода, если при переходе из одного возбужденного состояния в другое атом излучил фотон с длиной волны 3970 \AA .

16. Определите изменение орбитального механического момента электрона при переходе его из возбужденного состояния в основное с испусканием фотона с длиной волны $\lambda = 0,972 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

17. Атом водорода в основном состоянии поглотил квант света с длиной волны $\lambda = 121,5 \text{ нм}$. Определить радиус r орбиты, скорость v и частоту n обращения электрона в возбужденном состоянии атома водорода.

18. Определить первый потенциал U_1 возбуждения и потенциал ионизации U_i атома водорода.

19. Вычислить длину волны λ , которую испускает ион гелия He^+ при переходе со второго энергетического уровня на первый. Сделать такой же подсчет для иона лития Li^{++} .

20. Найти энергию E_i и потенциал U_i ионизации ионов He^+ и Li^{++} .

21. В прямоугольной потенциальной яме шириной l с абсолютно непроницаемыми стенками ($0 < x < l$) находится частица в основном состоянии. Найти вероятность w местонахождения для этой частицы в области $1/3l < x < 2/3l$.

22. Электрон находится в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной $l = 10^{-9}$ м с абсолютно непроницаемыми стенками. Найти наименьшее значение энергии электрона.

23. Частица находится в бесконечно глубоком одномерном прямоугольном потенциальном ящике шириной l в возбужденном состоянии ($n = 2$). Определить, в каких точках интервала $0 < x < l$ плотность вероятности нахождения частицы имеет максимальное и минимальное значение.

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

25. Волновая функция, описывающая движение электрона в основном состоянии атома водорода, имеет вид

$$\psi(r) = c \cdot e^{-\frac{r}{a_0}},$$

где c – некоторая постоянная; a_0 – первый боровский радиус.

Найти для основного состояния атома водорода наиболее вероятное расстояние электрона от ядра.

26. Атом водорода находится в основном состоянии. Вычислить: 1) вероятность w_1 того, что электрон находится внутри области, ограниченной сферой радиуса, равного боровскому радиусу a_0 ; 2) вероятность w_2 того, что электрон находится вне этой области; 3) отношение вероятностей w_2/w_1 . Волновую функцию основного состояния считать известной:

$$\psi_{100}(r) = \frac{1}{\sqrt{\pi a_0^3}} \cdot e^{-\frac{r}{a_0}}$$

27. Атом водорода находится в основном состоянии. Собственная волновая функция, описывающая состояние электрона в атоме имеет вид

$$\psi(r) = c \cdot e^{-\frac{r}{a_0}},$$

где c – некоторая постоянная.

Из условия нормировки волновой функции найти постоянную c .

28. Волновая функция, описывающая движение электрона в основном состоянии атома водорода, имеет вид

$$\psi(r) = c \cdot e^{-\frac{r}{a_0}},$$

где c – некоторая постоянная; a_0 – первый боровский радиус.

Найти для основного состояния атома водорода среднее значение $\langle U \rangle$ потенциальной энергии. Ответ выразить в электрон-вольтах.

29. Волновая функция, описывающая основное состояние электрона в атоме водорода, имеет вид:

$$\psi(r) = c \cdot e^{-\frac{r}{a_0}}$$
, где r – расстояние электрона от ядра; c – нормировочный множитель; a_0 – первый Боровский радиус.

Определите среднее значение квадрата расстояния $\langle r^2 \rangle$ электрона до ядра в основном состоянии.

30. Решение уравнения Шредингера для бесконечно глубокого одномерного прямоугольного потенциального ящика можно записать в виде

$$\psi(x) = c_1 \cdot e^{-ikx} + c_2 \cdot e^{-ikx}, \text{ где } k = \sqrt{\frac{2mE}{\hbar}}.$$

Используя граничные условия и нормировку ψ – функции, определить: коэффициенты c_1 и c_2 ; собственные значения энергии E_n .

Найти выражение для собственных нормированных волновых функций ψ_n – функции.

Ядерная физика

1. Найти период полураспада радиоактивного препарата, если за сутки его активность уменьшится в четыре раза.

2. За какое время распадается 75% атомов кальция $^{45}_{20}\text{Ca}$?

3. Определить число ядер, распадающихся в течение времени: 1) $t_1 = 1$ мин; 2) $t_2 = 15$ сут, - в радиоактивном изотопе фосфора $^{35}_{15}\text{P}$ массой $m = 1$ мг. Период полураспада фосфора $T_{1/2} = 14,3$ сут.

4. Какая часть начального количества атомов распадается за один год в радиоактивном изотопе тория $^{229}_{90}\text{Th}$? Период полураспада тория $T_{1/2} = 7 \cdot 10^8$ лет.

5. Определить энергию связи $\epsilon_{\text{св}}$, которая выделится при образовании из протонов и нейтронов ядер гелия ^4_2He массой $m = 1$ г.

6. Вычислить дефект массы, энергию связи ядра атома и его удельную энергию связи, т.е. энергию, приходящуюся на один нуклон, для элемента $^{24}_{12}\text{Mg}$.

7. Определить энергию связи $\epsilon_{\text{св.}}$, которая освободится при соединении одного протона и двух нейтронов в атомное ядро.

8. Определить активность A препарата массой $m = 0,3$ мг радиоактивного изотопа ${}^{228}_{88}\text{Ra}$ с периодом $T_{1/2} = 6,7$ года через время $t = 5$ лет.

9. Активность некоторого радиоактивного элемента за 10ч уменьшилась на 20%. Определить постоянную распада этого элемента.

10. Вычислить удельную активность α кобальта ${}^{60}\text{Co}$.

11. Написать недостающие обозначения в следующих ядерных реакциях: 1) ${}^{227}_{13}\text{Al}(n, \alpha)\text{X}$; 2) ${}^{19}_9\text{Fe}(p, x){}^{16}_8\text{O}$.

12. Ядро урана ${}^{235}_{92}\text{U}$, захватив один нейтрон, разделилось на два осколка, причем освободилось два нейтрона. Одним из осколков оказалось ядро ксенона ${}^{140}_{54}\text{Xe}$. Определить порядковый номер Z и массовое число A второго осколка.

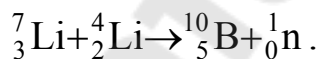
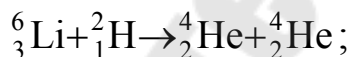
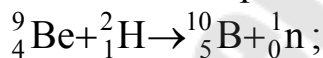
13. При делении ядра урана-235 выделяется энергия $Q = 200$ МэВ. Какую долю энергии покоя ядра урана-235 составляет выделенная энергия?

14. Определить энергию E , которая освободится при делении всех ядер, содержащихся в уране-235 массой $m = 1$ г.

15. Какой изотоп образуется из тория ${}^{229}_{90}\text{Th}$ после четырех α -распадов и двух β -распадов?

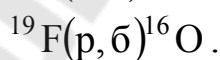
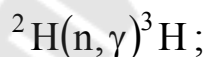
16. Сколько α и β -частиц выбрасывается при превращении ядра урана ${}^{233}_{92}\text{U}$ в ядро висмута ${}^{209}_{83}\text{Bi}$?

17. Найти энергию Q ядерных реакций:



Освобождается или поглощается энергия в каждой из указанных реакций?

18. Найти энергию ядерных реакций:



19. Найти энергию Q ядерной реакции ${}^{14}_7\text{N}(n, p){}^{14}_6\text{C}$, если энергия связи $\epsilon_{\text{св.}}$ ядра ${}^{14}_7\text{N}$ равна 104,66 МэВ, а ядра ${}^{14}_6\text{C}$ - 105,29 МэВ.

20. Найти максимальную кинетическую энергию электрона T , испускаемого при распаде нейтрона. Написать уравнение распада.

21. При делении ядра урана ^{235}U выделяется энергия $Q = 200$ МэВ. Какую долю энергии покоя ядра урана ^{235}U составляет выделившаяся энергия?

22. Найти энергию Q , которая освобождается при делении всех ядер, содержащихся в уране ^{235}U массой $m = 1$ г.

23. Энергия связи $\epsilon_{\text{св.}}$ ядра, состоящая из двух протонов и одного нейтрона, равна $\epsilon_{\text{св.}} = 7,72$ МэВ. Найти массу m нейтрального атома, имеющего это ядро

24. Ядро углерода $^{14}_6\text{C}$ выбросило отрицательно заряженную β -частицу и антинейтрино. Определить полную энергию Q β -распада ядра.

25. Найти энергию Q α -распада ядра полония $^{210}_{84}\text{Po}$.

26. Покоившееся ядро полония $^{210}_{84}\text{Po}$ выбросило α -частицу с кинетической энергией $T = 5,3$ МэВ. Определить кинетическую энергию T ядра отдачи и полную энергию Q , выделившуюся при α -распаде.

27. Электрон и позитрон движутся друг к другу со скоростью, равной $0,6$ скорости света каждый. При соударении они превращаются в два фотона. Вычислить длину волны фотонов.

28. Покоившееся ядро полония $^{210}_{84}\text{Po}$ выбросило α -частицу с кинетической энергией $T = 0,3$ МэВ. Определить величину импульса p и кинетическую энергию T ядра отдачи и полную энергию Q , выделившуюся при α -распаде.

29. Определить кинетическую энергию электрона при β -распаде нейтрона. Написать уравнение этой реакции.

30. Какой изотоп образуется из $^{238}_{92}\text{U}$ после трех α -распадов и одного β -распада?

4. Приложения

Таблица 1: Значения некоторых физических постоянных

Постоянные	Значения
Постоянная Ридберга	$R = 1,10 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$
Скорость света в вакууме	$c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Число Авогадро	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Заряд электрона	$e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Постоянная Планка	$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Постоянная Стефана-Больцмана	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$
Постоянная в законе Вина	$b = 2,89 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Радиус первой боровской орбиты	$a_o = 5,29 \cdot 10^{-11} \text{ м}$
Атомная единица массы	$1 \text{ а.е.м.} = 1,660 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$

Таблица 3: 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 2: Работа выхода электронов

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

Таблица 4: Массы атомов легких изотопов

Изотоп	Символ	Масса, а.е.м.	Изотоп	Символ	Масса, а.е.м.
Нейтрон	${}_0^1n$	1,00867	Бериллий	${}_4^7\text{Be}$	7,01693
				${}_4^9\text{Be}$	9,01219
Водород	${}_1^1\text{H}$	1,00783	Бор	${}_5^{10}\text{B}$	10,01294
	${}_1^2\text{H}$	2,01410		${}_5^{11}\text{B}$	11,00930
	${}_1^3\text{H}$	3,01605			
Гелий	${}_2^3\text{He}$	3,01603	Углерод	${}_6^{14}\text{C}$	12,00000
				${}_2^4\text{He}$	4,00260
	${}_6^{14}\text{C}$	14,00324			
Литий	${}_3^6\text{Li}$	6,01513	Азот	${}_7^{14}\text{N}$	14,00307
	${}_3^7\text{Li}$	7,01601	Кислород	${}_8^{16}\text{O}$	15,99491
				${}_8^{17}\text{O}$	16,99913

Таблица 5: Периоды полураспада радиоактивных изотопов

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

Таблица 6: Масса и энергия покоя некоторых частиц

Частица	m_0		E_0	
	кг	а.е.м.	Дж	МэВ
Электрон	$9,11 \cdot 10^{-31}$	0,00055	$8,16 \cdot 10^{-14}$	0,511
Протон	$1,672 \cdot 10^{-27}$	1,00728	$1,50 \cdot 10^{-10}$	938
Нейтрон	$1,675 \cdot 10^{-27}$	1,00867	$1,51 \cdot 10^{-10}$	939
Дейтрон	$3,35 \cdot 10^{-27}$	2,01355	$3,00 \cdot 10^{-10}$	939
α -частица	$6,64 \cdot 10^{-27}$	4,00149	$5,96 \cdot 10^{-10}$	3733
Нейтральный π -мезон	$2,41 \cdot 10^{-28}$	0,14498	$2,16 \cdot 10^{-11}$	135

Таблица 6: Некоторые характеристики Солнца, Земли и Луны

Физические параметры	Солнце	Земля	Луна
Масса, кг	$1,97 \cdot 10^{30}$	$5,96 \cdot 10^{24}$	$7,33 \cdot 10^{22}$
Радиус, м	$6,95 \cdot 10^8$	$6,37 \cdot 10^6$	$1,74 \cdot 10^6$
Средняя плотность, кг/м ³	1400	5518	3350
Среднее расстояние от Земли, км	$1,496 \cdot 10^8$	--	384440

Таблица 6: Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования

Приставка		
Наименование	Обозначение	Множитель
гига	Г	10^9
мега	М	10^6
кило	к	10^3
гекто	г	10^2
милли	м	10^{-3}
микро	мк	10^{-6}
нано	н	10^{-9}
пико	п	10^{-12}

Литература

1. Трофимова, Т. И. Курс физики / Т. И. Трофимова. Москва : Высшая школа, 1985.
2. Савельев, И. В. Курс общей физики / И. В. Савельев. Москва : Наука, 1978–1989.
3. Детлаф, А.А. Курс физики / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. – М.: Высшая школа, 1989. – 608 с.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики/ Д.В. Сивухин – Москва: Наука, 1979.
4. Трофимова, Т.И. Сборник задач по курсу физики / Т.И. Трофимова. – М.: Высшая школа, 1991. – 303 с.
5. Волькенштейн, В.С. Сборник задач по общему курсу физики / В.С. Волькенштейн. – М.: Наука, 1973. – 464 с.
6. Чертов, А.Г. Задачник по физике / А.Г. Чертов, А.А. Воробьев. – М.: Высшая школа, 1988. – 572 с.
7. Савельев, И.В. Сборник вопросов и задач по общей физике / И.В. Савельев. – М.: Наука, 1983. – 386 с.

Содержание

Предисловие.....	3
1. Основные теоретические сведения.....	4
2. Примеры решения задач.....	12
3. Задачи для самостоятельного решения.....	25
4. Приложения	50
5. Литература.....	53

**Хило Петр Анатольевич
Кравченко Александр Иванович
Петрашенко Петр Дмитриевич**

ОПТИКА, АТОМНАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

**Практикум
по курсу «Физика»
для студентов технических специальностей
дневной формы обучения
В трех частях
Часть 3**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 18.11.11.

Рег. № 48Е.

E-mail: ic@gstu.by

<http://www.gstu.by>