

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Восточно–Сибирский государственный
Университет технологий и управления»
(ФГБОУ ВПО ВСГУТУ)

ФИЗИКА

Квантовые свойства света, квантовая механика,
элементы атомной и ядерной физики

Методические указания и контрольные задания
для студентов заочной формы обучения

Составители: А.П.Ринчинов
Е.С. Чагдурова
В.Б.Шагдаров

Улан-Удэ
Издательство ВСГУТУ
2011

Методическое указания и контрольные задания для студентов заочного обучения инженерно-технических и технологических специальностей. Содержат разделы программ "Квантовая оптика", "Квантовая физика", "Атомная физика", "Ядерная физика", примеры решения типовых задач и варианты контрольных заданий.

Подписано в печать 12.10.2011. Формат 60x84 1/16.
Усл.п.л. 1,86. Тираж 100 экз. Заказ №201

Издательство ВСГТУ.
670013. г.Улан-Удэ, ул.Ключевская, 40в.

© ВСГТУ, 2011 г.

Данный раздел включает задачи на темы квантовые свойства света, квантовая механика, элементы атомной и ядерной физики. Приведены основные формулы и справочные данные, применяемые для решения задач.

Основные законы и формулы.

1. Законы теплового излучения

Закон Стефана-Больцмана:

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

где R_e -энергетическая светимость черного тела; T -термодинамическая температура; σ -постоянная Стефана-Больцмана ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{Вт}{м^2 \cdot К^4}$).

Закон смещения Вина:

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

где λ_m -длина волны, на которую приходится максимум энергии излучения; b -постоянная закона смещения Вина ($b = 2,9 \cdot 10^{-3} м \cdot К$)

Формула Планка:

$$r_{\lambda,T} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1},$$

где $r_{\lambda,T}$ -спектральная плотность энергетической светимости черного тела; λ -длина волны; c -скорость света в вакууме; k -постоянная Больцмана; T -термодинамическая температура; h -постоянная Планка.

2.Законы Фотоэлектрического эффекта

Формула Эйнштейна для фотоэффекта

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2},$$

где $\varepsilon = h\nu$ - энергия фотона, падающего на поверхность металла; $A_{\text{вых}}$ - работа выхода электрона из металла; m - масса электрона; v - скорость электрона.

3. Эффект Комптона

Изменение длины волны $\Delta\lambda$ фотоны при рассеянии его на электроны на угол φ

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{2\pi\hbar}{mc}(1 - \cos\varphi) = \lambda_c \sin^2 \frac{\varphi}{2},$$

Где λ' и λ длина волны фотона после и до рассеяния соответственно; m - масса электрона отдачи; $\lambda_c = \frac{2\pi\hbar}{mc}$ -

комптоновская длина волны.

4. Давление света

Давление производимое светом при нормальном падении:

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

где E_e - облученность поверхности; ρ - коэффициент отражения; c - скорость света в вакууме.

Энергия фотона

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

где h - постоянная Планка; ν - частота света; λ - длина волны.

5. Атом Бора

Момент импульса электрона на стационарных орбитах

$$L = mvr = n\hbar \quad (n = 1, 2, 3, \dots),$$

где m - масса электрона; r - радиус орбиты; v - скорость электрона на орбите; n - главное квантовое число; \hbar - постоянная Планка.

Энергия электрона, находящегося на n -ой орбите,

$$E_n = -\frac{me^4}{32\pi^2 \varepsilon_0^2 \hbar^2 n^2},$$

где ε_0 -электрическая постоянная.

Длина волны λ и частота ν света, излучаемого или поглощаемого атомом водорода при переходе из одного стационарного состояния в другое,

$$\frac{1}{\lambda} = R' \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right); \quad \nu = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

где R' и R -постоянная Ридберга ($R' = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$; $R = cR' = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$); n_1, n_2 -целые числа; n_1 -номер серии спектральных линий($n_1 = 1$ -серия Лаймана, $n_2 = 2$ -серия Бальмера, $n_3 = 3$ -серия Пашена и т.д.)

энергия фотона, испускаемого атомом водорода при переходе из одного стационарного состояния в другое,

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

где $E_i = 2\pi\hbar R = 13,6\text{эВ}$ -энергия ионизации водорода.

6.Элементы квантовой механики

Формула де Бройля

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

где p -импульс частицы($p = m_0\nu$ -в классическом

случае; $p = \frac{m_0\nu}{\sqrt{1 - \frac{\nu^2}{c^2}}}$ -в релятивистском случае).

$$\sqrt{1 - \frac{\nu^2}{c^2}}$$

Связь длины волны де Бройля с кинетической энергией

E

а) в классическом случае

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0 E}}$$

б) в релятивистском случае

$$\lambda = \frac{hc}{\sqrt{E(E + 2E_0)}},$$

где $E_0 = m_0 c^2$ - энергия покоя частицы.

Соотношения де Бройля для энергии E и импульса p движущейся частицы:

$$E = \hbar\omega, p = \hbar k,$$

где $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ волновое число, $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с.

Соотношения неопределенностей:

а) для координаты и импульса частицы $\Delta p_x \Delta x \geq \hbar$, где Δp_x - неопределенность проекции импульса частицы на ось x ; Δx - неопределенность ее координаты;

б) для энергии и времени $\Delta E \Delta t \geq \hbar$, где ΔE - неопределенность энергии данного квантового состояния; Δt - время пребывания системы в этом состоянии.

Одномерное уравнение Лапласа для стационарных состояний

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

Где $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ - оператор Лапласа.

Вероятность W обнаружить частицу в интервале от x_1 до x_2

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

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

$$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{2ml^2} \quad (n = 1, 2, 3, \dots),$$

где l - ширина потенциального ящика.

Соответствующая этой энергии собственная волновая функция имеет вид

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

Коэффициент прозрачности D прямоугольного потенциального барьера конечной ширины

$$D \approx \exp \left[-\frac{2}{\hbar} \sqrt{2m(U - E)d} \right],$$

где U - высота потенциального барьера; E - энергия частицы; d - ширина барьера.

7. Элементы ядерной физики.

Закон радиоактивного распада

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

где N - число нераспавшихся атомов в момент времени t ; N_0 - число нераспавшихся атомов в момент времени $t = 0$; λ - постоянная радиоактивного распада.

Период полураспада

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

Активность A нуклида

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N, \quad A = A_0 e^{-\lambda t}.$$

Дефект массы атомного ядра

$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - m_\alpha,$$

где Z -зарядовое число(число протонов и нейтронов);
 m_p -масса протона; m_n -масса нейтрона; m_y -масса ядра.

Энергия связи

$$E_{св} = c^2 \Delta m ,$$

где $c^2 = 931,4 \frac{МэВ}{а.е.м.}$

Удельная энергия связи

$$E_{уд} = \frac{E_{св}}{A} ,$$

где A -массовое число определяет число нуклонов в ядре.

Энергия ядерной реакции

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

Примеры решения задач.

Задача 1.

Найти температуру T печи, если известно, что излучение из отверстия в ней площадью $S = 6,1 см^2$ имеет мощность $N = 34,6 Вт$. Излучение считать близким к излучению абсолютно черного тела.

Решение.

Мощность излучения из отверстия печи определяется соотношением

$$N = R_e S \tag{1}$$

Поскольку по условию излучение близко к излучению абсолютно черного тела, то по закону Стефана-Больцмана

$$R_e = \sigma T^4 \tag{2}$$

Подставляя (2) в (1), получаем

$$N = \sigma T^4 S ,$$

Откуда выразим температуру печи $T = \left(\frac{N}{\sigma S} \right)^{\frac{1}{4}} = 1000 \text{ K}$.

Задача 2.

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

Решение.

Из закона Вина имеем: $\lambda_1 T_1 = b$ и $\lambda_2 T_2 = b$. Приравняв левые части уравнений, получаем

$$\lambda_1 T_1 = \lambda_2 T_2 \text{ или } \frac{T_1}{T_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (1).$$

По закону Стефана-Больцмана для абсолютно черного тела энергетическая светимость $R_e = \sigma T^4$, из этой

формулы имеем $\frac{R_{e1}}{R_{e2}} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^4$ (2). Подставляя (1) в

$$(2), \text{ получим } \frac{R_{e1}}{R_{e2}} = \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right)^4 = 3,63.$$

Задача 3.

Длина волны света, соответствующая красной границе фотоэффекта, для некоторого металла $\lambda = 275 \text{ нм}$. Найти работу выхода A электрона из металла, максимальную скорость v_{max} электронов, вырываемых из металла светом с длиной волны $\lambda = 180 \text{ нм}$, и максимальную энергию W_{max} электронов.

Решение.

Работа выхода электрона $A = \frac{hc}{\lambda_0} = 7,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта: $h\nu = A + W_{\max}$,
где W_{\max} - максимальная кинетическая энергия
вылетающего электрона. $W_{\max} = h\nu - A = 3,7 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

$$W_{\max} = \frac{mv_{\max}^2}{2} \quad \text{выразим из данной формулы}$$
$$v_{\max} = \sqrt{\frac{2W_{\max}}{m}} = 9 \cdot 10^5 \text{ м/с}$$

Задача 4.

Найти частоту света, вырывающего из металла электроны, которые полностью задерживаются разностью потенциалов $U=3\text{В}$. Найти работу выхода электрона из металла, если фотоэффект прекращается при частоте света $\nu_0 = 6 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$.

Решение.

Работа выхода электрона
 $A = h\nu_0 = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 6 \cdot 10^{14} = 3,98 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$. Согласно
уравнению Эйнштейна для фотоэффекта

$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$. Если электроны полностью
задерживаются разностью потенциалов U , то по закону
сохранения энергии $eU = \frac{mv^2}{2}$. Тогда $h\nu = A + eU$,

откуда $\nu = \frac{A + eU}{h} = 13,2 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$.

Задача 5.

В результате эффекта Комптона фотон при соударении с электроном был рассеян на угол 90° . Энергия ε'

рассеянного фотона равна 0,4МэВ. Определить энергию ε фотона до рассеяния.

Решение.

Для определения первичного фотона воспользуемся

формулой Комптона в виде $\lambda' - \lambda = 2 \frac{2\pi\hbar}{mc} \sin^2 \frac{\theta}{2}$

(1). Формулу (1) преобразуем следующим образом: 1) выразим длины волн λ' и λ через ε' и ε соответствующих фотонов, воспользовавшись

соотношением $\varepsilon = \frac{2\pi\hbar c}{\lambda}$; 2) умножим числитель и

знаменатель правой части формулы на c . Тогда получим

$$\frac{2\pi\hbar c}{\varepsilon'} - \frac{2\pi\hbar c}{\varepsilon} = \frac{2\pi\hbar c}{mc^2} 2 \sin^2 \frac{\theta}{2}.$$

Сократив на $2\pi\hbar c$, выразим из этой формулы искомую энергию:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon' mc^2}{mc^2 - \varepsilon' \cdot 2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} = \frac{\varepsilon' E_0}{E_0 - 2\varepsilon' - \sin^2 \frac{\theta}{2}}, \text{ где } E_0 = mc^2 -$$

энергия покоя электрона.

Вычисления по формуле (2) удобнее вести во внесистемных единицах, взяв $E_0 = 0,511 \text{ МэВ}$ и

подставив числовые данные, получим $\varepsilon = 1,85 \text{ МэВ}$.

Задача 6.

Найти световое давление P на стенки электрической 100-ваттной лампы. Колба лампы представляет собой сферический сосуд радиусом $r=5$ см. Стенки лампы отражают 4% падающего на них света. Считать, что вся потребляемая мощность идет на излучение.

Решение.

По определению светового давления $p = \frac{E_e}{c}(1 + \rho)$ - (1),

где $E_e = \frac{N}{S}$ - (2) - энергия, падающая на единицу

поверхности за единицу времени, N - мощность лампы,

$S = 4\pi r^2$ - (3) - площадь поверхности колбы, ρ -

коэффициент отражения света. Подставляя (2), (3) в (1)

получим $P = \frac{N(1 + \rho)}{4\pi r^2 c} = 11,03 \text{ мкПа}$.

Задача 7.

Найти радиус второй боровской электронной орбиты в атоме водорода и скорость электрона на ней.

Решение.

На электрон, движущийся в атоме водорода по второй боровской орбите, действует кулоновская сила

$F = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_k^2}$ (1), где $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ - заряд электрона.

Эта сила является центростремительной и сообщает

электрону нормальное ускорение $a_n = \frac{v_k^2}{r_k}$ (2), где v_k -

скорость электрона на k -ой орбите. По второму закону

Ньютона $F = ma_n$ (3). Подставляя (1) и (2) в (3),

получим $\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_k^2} = \frac{mv_k^2}{r_k}$, откуда выразим $r_k = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 mv_k^2}$

(4). Согласно первому постулату Бора движение

электрона вокруг ядра возможны только по

определенным орбитам, радиусы которых

удовлетворяют соотношению $mv_k r_k = k\hbar$ (5), где

$\hbar = \frac{h}{2\pi}$. Решая совместно уравнения (4) и (5), найдем

$v_k = \frac{e^2}{2\varepsilon_0 kh}$ и $r_k = \frac{\varepsilon_0 k^2 h^2}{\pi m e^2}$. Подставляя числовые значения, получим $r_2 = 211,6 \cdot 10^{-12} \text{ м}$ и $v_2 = 1,08 \cdot 10^6 \text{ м/с}$.

Задача 8.

Найти наибольшую λ_{\max} и наименьшую λ_{\min} длины волн спектральных линий водорода в видимой части спектра.

Решение.

Длины волн спектральных линий водорода всех серий определяются формулой $\frac{1}{\lambda} = R' \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$ (1).

Видимой части спектра, серии Бальмера соответствует $n_1 = 2$ и $n_2 = 3, 4, 5, \dots$. Наименьшая длина волны спектральных линий этой серии будет при $n_2 = \infty$.

Тогда из (1) имеем $\frac{1}{\lambda_{\min}} = \frac{R'}{4}$ или

$\lambda_{\min} = \frac{4}{R'} = 365 \text{ нм}$. Наибольшая длина волны соответствует $n_2 = 3$, при этом $\lambda_{\max} = 656 \text{ нм}$.

Задача 9.

Найти длину волны де Бройля λ для электрона, прошедших разность потенциалов $U_1 = 1 \text{ В}$ и $U_2 = 100 \text{ В}$.

Решение.

Пучок элементарных частиц обладает свойствами плоской волны, распространяющейся в направлении перемещения этих частиц. Длина волны λ ,

соответствующая этому пучку, определяется соотношением де Бройля $\lambda = \frac{h}{p}$, где p - импульс

частицы. Для классического случая импульс частицы выражается через кинетическую энергию E ,

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0E}} \quad (1), \text{ в релятивистском случае}$$

$$\lambda = \frac{hc}{\sqrt{E(E + 2E_0)}} \quad (2), \text{ где } E_0 = 0,511\text{МэВ} - \text{энергия}$$

покоя электрона. Если кинетическая энергия электрона соизмерима с энергией покоя электрона, то частица релятивистская применяем формулу (2), в противном случае – формулу (1).

Пройдя разность потенциалов электрон приобретает кинетическую энергию $E = eU$. При $U_1 = 1\text{В}$ получили $E = 1\text{эВ}$, которая много меньше энергии покоя, тогда применяем (1) $\lambda_1 = 1,22 \cdot 10^{-9}\text{м}$, при $U_2 = 100\text{В}$ - $E = 0,1\text{МэВ}$, применяем (2) и $\lambda_2 = 0,122 \cdot 10^{-9}\text{м}$.

Задача 10.

Средняя кинетическая энергия электрона в невозбужденном атоме водорода равна 13,6 эВ. Используя соотношение неопределенностей, оценить минимальные линейные размеры атома

Решение.

Соотношение неопределенностей для координаты и импульса выражается формулой $\Delta p_x \Delta x \geq \hbar$. Из соотношения неопределенностей следует, что чем точнее определено положение частицы в пространстве (чем меньше Δx), тем более неопределенным становится ее импульс (тем больше Δp_x). Пусть атом имеет линейные размеры l , тогда электрон будет

находится где-то в пределах области с неопределенностью $\Delta x = \frac{l}{2}$ т.е. в пределах атома. Тогда

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

неизвестна, однако импульс p_x электрона можно найти, зная кинетическую энергию E . Поскольку кинетическая энергия много меньше энергии покоя электрона, то используем нерелятивистскую формулу $p_x = \sqrt{2mE}$.

Физически разумная неопределенность импульса не должна превышать значения самого импульса, т.е. $\Delta p_x \leq p_x$. В неравенстве (1) заменим Δp_x значением

$$p_x, \text{ такая замена не увеличит } l: l \geq \frac{2\hbar}{\sqrt{2mE}}. \text{ Переходя от}$$

неравенства к равенству, получим

$$l_{\min} = \frac{2\hbar}{\sqrt{2mE}} = 105 \text{ нм}.$$

Задача 11.

Частица находится в бесконечно глубоком прямоугольном потенциальном ящике шириной l в основном состоянии. Вычислить вероятность нахождения частицы в крайней трети ящика.

Решение.

Вероятность W обнаружить частицу в интервале от x_1 до x_2 определяется равенством

$$W = \int_{x_1}^{x_2} |\psi(x)|^2 dx \quad (1).$$

Волновая функция частицы, находящейся в бесконечно глубоком одномерном потенциальном ящике, имеет вид

$\psi(x) = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \frac{\pi n}{l} x$. Основному состоянию (при $n = 1$)

отвечает собственная функция $\psi_1(x) = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \frac{\pi x}{l}$ (2).

Подставив (2) в (1) получим $W = \frac{2}{l} \int_{x_1}^{x_2} \sin^2 \frac{\pi x}{l} dx$.

Согласно условию задачи $x_1 = 0$ и $x_2 = \frac{l}{3}$. Подставим

эти пределы интегрирования, произведем замену $\sin^2 \frac{\pi x}{l} = \frac{1}{2} \left(1 - \cos \frac{2\pi x}{l} \right)$ и разобьем интеграл на два:

$$W = \frac{2}{l} \int_0^{\frac{l}{3}} \sin^2 \frac{\pi x}{l} dx = \frac{1}{l} \left[\int_0^{\frac{l}{3}} dx - \int_0^{\frac{l}{3}} \cos \frac{2\pi x}{l} dx \right] = \frac{1}{3} - \frac{\sqrt{3}}{4\pi} = 0,195$$

Задача 12.

Первоначальная масса радиоактивного изотопа радона ${}_{86}^{222}\text{Rn}$ (период полураспада $T_{1/2} = 3,82 \text{ сут}$) равна 1,5 г.

Определить а) начальную активность изотопа; б) его активность через 5 суток.

Решение.

Начальная активность изотопа $A_0 = \lambda N_0$, где $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$ -

постоянная радиоактивного распада; N_0 - число ядер

изотопа в начальный момент времени. $N_0 = \frac{m_0 N_A}{M}$, где

$M = 222 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ - молярная масса изотопа.

Начальная активность изотопа

$$A_0 = \frac{m_0 N_A \ln 2}{M \cdot T_{1/2}} = 8,54 \cdot 10^{15} \text{ Бк} .$$

Активность изотопа через время t:

$$A = A_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\frac{\ln 2 t}{T_{1/2}}} = 3,45 \cdot 10^{15} \text{ Бк} .$$

Задача 13.

В результате соударения дейтрона с ядром бериллия ${}^9_4\text{Be}$ образовалось новое ядро и нейтрон. Определить порядковый номер и массовое число образовавшегося ядра, записать ядерную реакцию и определить ее энергетический эффект.

Решение.

Из закона сохранения электрического заряда и массовых чисел следует, что $Z = 5, A = 10$, т.е. образовался изотоп бора ${}^{10}_5\text{B}$.

Ядерную реакцию можно записать в виде

$${}^9_4\text{Be} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^{10}_5\text{B} + {}^1_0\text{n}$$

Энергетический эффект ядерной реакции:

$$Q = c^2 [(m_1 + m_2) - (m_3 + m_4)], \quad c^2 = 931,4 \frac{\text{МэВ}}{\text{а.е.м.}}$$

Подставим значения масс в а.е.м. и вычислим

$$Q = 931,4 [(9,01219 + 2,0141) - (10,01294 + 1,00867)] = 4,84 \text{ МэВ}$$

$Q > 0$, реакция экзотермическая.

Задачи для решения.

01. Имеются два абсолютно черных источника теплового излучения. Температура одного из них $T=2500\text{K}$. Найти температуру другого источника, если длина волны отвечающая максимуму его испускательной способности на $\Delta\lambda = 0,50\text{мкм}$ больше, соответствующей максимуму испускательной способности первого источника.
02. Энергетическая светимость абсолютно черного тела равна $3,0 \text{ Вт/см}^2$. Определить длину волны, отвечающую максимуму испускательной способности этого тела.
03. Максимум плотности энергетической светимости солнца приходится на длину волны $\lambda=0,48\text{мкм}$. Считая, что солнце излучает как абсолютно черное тело, определить: 1) температуру его поверхности 2) мощность излучаемую его поверхностью.
04. Определить количество теплоты, теряемой 50 см^2 поверхности расплавленной платины за 1 мин, если поглощательная способность платины $A_T= 0,8$. Температура t плавления платины равна 1770°C .
05. Определить, во сколько раз необходимо уменьшить термодинамическую температуру черного тела, чтобы его энергетическая светимость R , ослабилась 16 раз.
06. Какое количество энергии излучает солнце за 1 мин? Излучение энергии считать соответствующим абсолютно черному телу. Температура поверхности солнца равна 5800K .
07. Абсолютно черное тело находится при температуре $T_1=2900\text{K}$. В результате остывания этого тела длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости, изменилась на $\Delta\lambda=9\text{мкм}$. До какой температуры T_2 охладилось тело?

08. Найти какое количество энергии с 1 см^2 поверхности в 1 с излучает черное тело, если известно, что максимальная спектральная плотность его энергетической светимости приходится на $\lambda_{\text{max}} = 4840 \text{ \AA}$.
09. Мощность излучения абсолютно черного тела равна 10 кВт. Найти величину излучающей поверхности тела, если известно, что длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности его энергетической светимости, равна $7 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.
10. Определить температуру T абсолютно черного тела, при которой максимум спектральной плотности излучательной способности τ_λ приходится на длину волны $\lambda_1 = 750 \text{ нм}$ и на длину волны $\lambda_2 = 380 \text{ нм}$.
11. Найти красную границу фотоэффекта для лития и цезия, работа выхода электронов из металлов равна соответственно 2,4 эВ; 1,9 эВ.
12. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла равна 2750 \AA . Чему равно минимальное значение энергии фотона вызывающего фотоэффект?
13. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла равна 2750 \AA . Найти: 1) работу выхода электронов из этого металла, 2) максимальную скорость электронов, вырываемых из этого металла светом длиной волны 1800 \AA , 3) максимальную кинетическую энергию этих электронов.
14. Найти частоту света, вырывающего с поверхности металла электроны, полностью задерживающегося обратным потенциалом в 3 В. Фотоэффект из этого металла начинается при частоте падающего света в $6 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}$. Найти работу выхода из этого металла.
15. Найти величину задерживающего потенциала для фотоэлектронов, испускаемых при освещении калия светом, длина волны которого равна 3300 \AA .

16. При фотоэффекте с платиновой поверхности $A_{Pt} = 5.3$ эВ величина задерживающего потенциала оказалось равной 0,8 эВ. Найти: 1) длину волны применяемого для облучения, 2) максимальную длину волны, при которой еще возможен фотоэффект.

17. Кванты света с энергией $\varepsilon = 4,9$ эВ. Найти максимальный импульс, передаваемый поверхности металла при вылете каждого электрона.

18. Определить постоянную Планка h , если известно, что фотоэлектроны, вырываемые с поверхности некоторого металла светом частотой $2,2 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$ полностью задерживается обратным потенциалом в 6,6 В, а вырываемые светом с частотой $4,6 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$ – потенциалом в 16,5 В.

19. На металлическую пластину падает монохроматический свет ($\lambda = 0,25 \text{ мкм}$). Поток фотоэлектронов, вырываемых с поверхности металла, полностью задерживается, когда разность потенциалов тормозящего электрического поля достигает $U = 1 \text{ В}$. Определить: 1) работу выхода электронов с поверхности металла; 2) максимальную скорость электронов; 3) красную границу фотоэффекта.

20. На поверхность металла падает монохроматический свет ($\lambda = 0,1 \text{ мкм}$). Красная граница фотоэффекта $\lambda_{кр} = 0,3 \text{ мкм}$. Какая доля энергии фотона расходуется на сообщение электрону кинетической энергии?

21. Рентгеновское излучение длиной волны $0,558 \text{ \AA}$ рассеивается плиткой графита. Определить длину волны лучей рассеиваемых под углом 60° к направлению падающих лучей.

22. Определить максимальное изменение длины волны при комптоновском рассеянии на свободных электронах, на свободных протонах.

23. Определить угол рассеяния фотона, испытавшего соударение со свободным электроном, если изменение длины волны при рассеянии равно $0,0362 \text{ \AA}$.
24. Фотоны с энергией $0,4 \text{ МэВ}$ рассеялись под углом 90° на свободном электроне. Определить энергию рассеянного фотона и кинетическую энергию электрона отдачи.
25. Определить импульс электрона отдачи при эффекте Комптона, если фотон с энергией, равной энергии покоя электрона, был рассеян на угол, равный 180° .
26. Какая доля энергии фотона при эффекте Комптона приходится на электрон отдачи, если рассеяние фотона происходит под углом, равной 180° ? Энергия фотона до рассеяния равна $0,255 \text{ МэВ}$.
27. Фотон с энергией $0,25 \text{ МэВ}$ рассеялся на свободном электроне. Энергия рассеянного фотона $0,2 \text{ МэВ}$. Определить угол рассеяния.
28. Угол рассеяния фотона $\theta=90^\circ$. Угол отдачи электрона $\beta=30^\circ$. Определить энергию падающего фотона.
29. Фотон ($\lambda=0,01 \text{ \AA}$) рассеялся на свободном электроне под углом $\theta=90^\circ$. Какую долю своей энергии фотон передал электрону?
30. Фотон с длиной волны $0,01 \text{ \AA}$ был рассеян при эффекте Комптона на свободном электроне на угол 60° . Определить для электрона отдачи кинетическую энергию и импульс. До столкновения электрон покоился.
31. Параллельный пучок монохроматического света с длиной волны $\lambda=0,663 \text{ мкм}$ падает на зачерненную поверхность и производит на нее давление $p=0,3 \text{ мкПа}$. Определить концентрацию n фотонов в световом пучке.

32. На черную поверхность площадью $S=4 \text{ см}^2$ падает лучистый поток 8 Вт . Определить световое давление и силу светового давления на эту поверхность.
33. Монохроматический параллельный пучок света ($\lambda=0,662 \text{ мкм}$) нормально падает на зачерненную поверхность. Определить количество фотонов, ежесекундно поглощаемых 1 см^2 поверхности, если давление света на поверхность $p=0,1 \text{ Па}$.
34. Определить энергетическую освещенность (облученность) зеркальной поверхности, если давление, производимое излучением, $p=40 \text{ мкПа}$. Излучение падает нормально к поверхности.
35. Давление p света с длиной волны $\lambda=400 \text{ нм}$, падающего нормально на черную поверхность, равно 2 нПа . Определить число фотонов, падающих за время $t=10 \text{ с}$ на площадь $S=1 \text{ мм}^2$ этой поверхности.
36. Определить коэффициент отражения поверхности, если при энергетической освещенности $E_e=120 \text{ Вт/м}^2$ давление p света на нее оказалось равным $0,5 \text{ мкПа}$.
37. Давление света, производимое на зеркальную поверхность, $p=4 \text{ мПа}$. Определить концентрацию n_0 фотонов вблизи поверхности, если длина волны света падающего на поверхность, $\lambda=0,5 \text{ мкм}$.
38. Свет с длиной волны $\lambda=600 \text{ нм}$ нормально падает на зеркальную поверхность и производит на нее давление $p=4 \text{ мПа}$. Определить число N фотонов, падающих за время $t=10 \text{ с}$ на площадь $S=1 \text{ мм}^2$ этой поверхности.
39. На зеркальную поверхность площадью $S=6 \text{ см}^2$ падает нормально поток излучения $E_e=0,8 \text{ Вт}$. Определить давление p и силу F света на поверхность.
40. Точечный источник монохроматического ($\lambda=1 \text{ нм}$) излучения находится в центре сферической зачерненной колбы радиусом $R=10 \text{ см}$. Определить световое

давление p , производимое на внутреннюю поверхность колбы, если мощность источника $P=1\text{кВт}$.

41. Невозбужденный атом водорода поглощает квант излучения с длиной волны $\lambda=102,6\text{ нм}$. Вычислить, пользуясь теорией Бора, радиус r электронной орбиты возбужденного атома водорода.

42. Вычислить по теории Бора радиус r_2 второй боровской орбиты и скорость u_2 электрона на этой орбите для атома водорода.

43. Вычислить по теории Бора T обращения электрона в атоме водорода, находящегося в возбужденном состоянии, определяемом главным квантовым числом $n=2$.

44. Определить максимальную энергию ε_{max} фотона серии Бальмера в спектре излучения атомарного водорода.

45. Определить первый потенциал U_1 возбуждения и энергию ионизации E_i атома водорода, находящегося в основном состоянии.

46. Определить энергию ε фотона, испускаемого атомом водорода при переходе электрона с третьей орбиты на вторую.

47. Найти наибольшую λ_{max} и наименьшую λ_{min} длины волн в ультрафиолетовой серии водорода (серии Лаймана).

48. В однозначном ионе гелия электрон перешел с третьего энергетического уровня на первый. Определить длину волны λ излучения, испущенного ионом гелия.

49. Определить скорость электрона на второй орбите атома водорода.

50. Определить длину волны, соответствующую третьей спектральной линии в серии Бальмера.

51. Найти число электронов в атоме, у которых в нормальном состоянии заполнены: а) К-, L-оболочки; 3S-, 3p- подоболочки.
52. Записать электронные конфигурации атомов аргона ($Z=18$), криптона ($Z=36$), палладия ($Z=46$) и цезия ($Z=55$).
53. Найти максимальное число электронов, имеющих следующие одинаковые квантовые числа: а) n, l, m_l ; б) n, l ; в) n .
54. Определить число электронов в заполненной p -оболочке ($n=4$), у которых одинаковые значения квантовых чисел: а) $m_l=-1$; б) $m_l=+1$; $m_s=-1/2$.
55. электронная конфигурация некоторого элемента $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p$. Определите, что это за элемент.
56. Частица находится в потенциальном ящике. Найти отношение разности $\Delta E_{n,n-1}$ соседних энергетических уровней к энергии E_n частицы в трех случаях: 1) $n=2$; 2) $n=5$; 3) $n \rightarrow \infty$.
57. Частица в потенциальном ящике находится в основном состоянии. Какова вероятность ω обнаружить частицу в крайней четверти ящика?
58. Электрон находится в потенциальном ящике шириной l . В каких точках в интервале ($0 < X < l$) плотности вероятности нахождения электрона на втором и третьем энергетических уровнях одинаковы? Вычислить значение плотности вероятности для этих точек. Решение пояснить графиком.
59. Электрон находится в потенциальном ящике шириной $l=0,1$ нм. Определить в электрон-вольтах наименьшую разность энергетических уровней электрона.
60. Частица в потенциальном ящике шириной l находится в возбужденном состоянии ($n=3$). Определить, в каких точках интервала ($0 < X < l$)

плотность вероятности нахождения частицы имеет максимальное и минимальное значения.

61. Частица в потенциальном ящике находится в основном состоянии. Какова вероятность W нахождения частицы в средней трети ящика?

62. Электрон с энергией $E=10\text{эВ}$ падает на потенциальный барьер. Определить высоту U барьера, при котором показатель преломления волн де Бройля и коэффициент отражения ρ численно совпадают.

63. Коэффициент прохождения τ протонов через потенциальный барьер равен 0,8. определить показатель преломления n волн де Бройля.

64. На пути электрона с дебройлевской длиной волны $\lambda_1=0,1\text{нм}$ находится потенциальный барьер высотой $U=120\text{эВ}$. Определить длину волны де Бройля λ_2 после прохождения барьера.

65. Прямоугольный потенциальный барьер имеет ширину $\ell=0,1\text{нм}$. Определите в электрон-вольтах разность энергий $U-E$, при которой вероятность прохождения электрона сквозь барьер составит 0,5.

66. Определить длину волны λ де Бройля для частицы массой $m=1\text{г}$, движущейся со скоростью $u=10\text{ м/с}$. Нужно ли учитывать в этом случае волновые свойства частицы?

67. Вычислить длину волны λ де Бройля для электрона, обладающего кинетической энергией $T=13,6\text{эВ}$ (энергия ионизации атома водорода). Сравнить полученное значение λ с диаметром d атома водорода (найти отношение λ/d). Нужно ли учитывать волновые свойства электрона при излучении движения электрона в атоме водорода? Диаметр атома водорода принять равным удвоенному значению Боровского радиуса.

68. При анализе рассеяния α - частиц на ядрах (опыты Резерфорда) прицельные расстояния принимались

порядка 0,1 нм. Волновые свойства α - частиц ($e=7,7$ МэВ) при этом не учитывались. Допустимо ли это?

69. Вычислить длину волны λ де Бройля для тепловых ($T=300$ К) нейтронов. Следует ли учитывать волновые свойства нейтронов при анализе их взаимодействия с кристаллом? Расстояние между атомами в кристалле принять равными 0.5 нм.

70. Какую ускоряющую разность потенциалов U должен пройти протон, чтобы дебройлевская длина волны λ была равна: 1) 1 нм; 2) 1 пм?

71. Вычислить длину волны λ де Бройля протона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов U , равную: 1) 1МВ; 2) 1 ГВ.

72. Протон обладает кинетической энергией $T=1$ кэВ. Определить величину дополнительной энергии ΔT , которую необходимо ему сообщить для того, чтобы дебройлевская длина волны уменьшилась в три раза.

73. Определить длины волн де Бройля α - частиц и протона, прошедших одинаковую ускоряющую разность потенциалов $U=1$ кВ.

74. Электрон обладает кинетической энергией $T=1,02$ МэВ. Во сколько раз изменится длина волны де Бройля, если кинетическая энергия T электрона уменьшиться вдвое?

75. Предполагая, что неопределенность координаты движущейся частицы равна дебройлевской длине волны, определить относительную неточность $\Delta p/p$ импульса этой частицы.

76. Используя соотношение неопределенностей, оценить энергию электрона, находящегося на первой боровской орбите в атоме водорода.

77. Используя соотношение неопределенностей, оценить наименьшие ошибки Δp в определении импульса электрона и протона, если координаты центра

масс этих частиц могут быть установлены с неопределенностью $\Delta x = 0,01 \text{ мм}$.

78. Время жизни τ возбужденного ядра порядка 1 нс ., длина волны λ излучения равна $0,1 \text{ нм}$. С какой наибольшей точностью ($\Delta \varepsilon$) может быть определена энергия излучения?

79. Электрон с кинетической энергией $T = 15 \text{ эВ}$ находится в металлической пылинке диаметром $d = 1 \text{ мкм}$. Оценить относительную неточность Δv , с которой может быть определена скорость электрона.

80. Атом испустил фотон с длиной волны $\lambda = 800 \text{ нм}$. Продолжительность излучения 10 нс . Определить наибольшую точность ($\Delta \lambda$), с которой может быть измерена длина волны излучения.

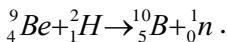
81. При распаде ${}_{94}\text{Pu}^{239} \rightarrow {}_{92}\text{U}^{235} + {}_2\text{He}^4$ освобождается энергия, большая часть которой составляет кинетическую энергию α - частиц. $0,09 \text{ мэВ}$ уносят γ -лучи, испускаемые ядрами урана. Определить скорость α -частиц, $m_{\text{Pu}} = 239,05122 \text{ а.е.м.}$, $m_{\text{U}} = 235,04299 \text{ а.е.м.}$, $m_{\text{Al}} = 4,00260 \text{ а.е.м.}$

82. В процессе деления ядро урана распадается на две части, общая масса которых меньше начальной массы ядра приблизительно на $0,2$ массы покоя одного протона. Сколько энергии выделяется при делении одного ядра урана?

83. Определить число атомов урана ${}_{92}\text{U}^{238}$ распавшихся в течение года, если первоначальная масса урана 1 кг . Вычислить постоянную распада урана.

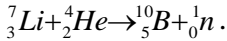
84. Вычислить число атомов радона, распавшихся в течение первых суток, если первоначальная масса радона 1 г . Вычислить постоянную распада урана.

85. Вычислить энергию ядерной реакции



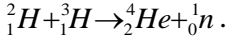
Освобождает или поглощает энергия?

86. Вычислить энергию ядерной реакции



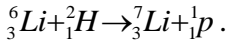
Освобождается или поглощается эта энергия?

87. Вычислить энергию ядерной реакции



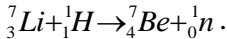
Освобождается или поглощается эта энергия?

88. Вычислить энергию ядерной реакции

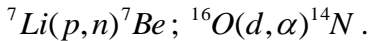


Освобождается или поглощается энергия при этой реакции?

89. Вычислить энергию ядерной реакции



90. Определить тепловые эффекты следующих реакций:



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

92. Определить, какая доля радиоактивного изотопа ${}^{225}_{89}\text{Ac}$ распадается в течение времени $t=6$ сут.

93. Активность A некоторого изотопа за время $t=10$ сут уменьшилась на 20%. Определить период $T_{1/2}$ полураспада этого изотопа.

94. Определить массу m изотопа ${}^{131}_{53}\text{I}$, имеющего активность $A=37$ ГБк.

95. Найти среднюю продолжительность жизни τ атома радиоактивного изотопа кобальта ${}^{60}_{27}\text{Co}$.

96. Определить, какая доля радиоактивного изотопа ${}^{225}_{89}\text{Ac}$ распадается в течении времени $t=6$ суток.

97. Определить число атомов урана ${}_{92}^{238}\text{U}$ распавшихся в течении года, если первоначальная масса урана 1 кг. Вычислить постоянную распада урана.
98. Найти среднюю продолжительность жизни τ атома радиоактивного изотопа кобальта ${}_{27}^{60}\text{Co}$.
99. Во сколько раз уменьшится активность препарата ${}_{15}^{32}\text{P}$ через 20 суток?
100. На сколько процентов уменьшится активность изотопа иридия ${}_{77}^{192}\text{Ir}$ за 15 суток?

Таблица вариантов.

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

Справочный материал.

1. Основные физические постоянные.

Физическая постоянная	Значение
Постоянная Авогадро	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Постоянная Больцмана	$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} / \text{К}$
Элементарный заряд	$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Масса электрона	$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Постоянная Стефана-Больцмана	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}^4$
Постоянная закона смещения Вина	$b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Постоянная Планка	$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Постоянная Ридберга	$R' = 1,1 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$ $R = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$
Комптоновская длина волны	$\lambda_C = 2,43 \cdot 10^{-12} \text{ м}$
Атомная единица массы	$1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$

Показатель преломления n.

Алмаз	2,42
Вода	1,33
Масло коричное	1,6
Сероуглерод	1,63
Стекло	1,5

Работа выхода электронов из металла

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

Масса и энергия покоя некоторых элементарных Масса нейтральных атомов

Элемент	Порядковый номер	Изотоп	Масса, а.е.м.
Водород	1	1H	1,00783
		2H	2,01410
		3H	3,01605
Гелий	2	3He	3,01603
		4He	4,00260
Литий	3	6Li	6,01513
		7Li	7,01601
Бериллий	4	7Be	7,01693
		9Be	9,01219
		^{10}Be	10,01354
Бор	5	9B	9,01333
		^{10}B	10,01294
		^{11}B	11,00931

Углерод	6	^{10}C ^{12}C ^{13}C ^{14}C	10,00168 12,00000 13,00335 14,00324
Азот	7	^{13}N ^{14}N ^{15}N	13,00574 14,00307 15,00011
Кислород	8	^{16}O ^{17}O ^{18}O	15,99491 16,99913 17,99916
Фтор	9	^{19}F	18,99840
Натрий	11	^{22}Na ^{23}Na	21,99444 22,98977
Магний	12	^{23}Mg	22,99414
Алюминий	13	^{30}Al	29,99817
Кремний	14	^{31}Si	30,97535
Фосфор	15	^{31}P	30,97376
Калий	19	^{41}K	40,96184
Кальций	20	^{44}Ca	43,95549
Свинец	82	^{206}Pb	205,97446
Полоний	84	^{210}Po	209,98297