Федеральное агентство по образованию РФ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ

Сборник задач

По курсу физики

Раздел I « Волновая оптика, квантовая оптика»
Контрольная работа №5

Раздел II «Квантовая механика, атомная и ядерная физика»
Контрольная работа №6

Для студентов II курса всех специальностей

Москва 2006 г.

УДК 530.1
ББК 22.33
С 23

Авторский коллектив:

Проф. Веревочкин Ю.Г. –«Тепловое излучение», «Атом водорода в квантовой механике», «Примеры решения задач» раздела II
Проф. Дунаенко Л.П. –«Фотоэффект», «Закон радиоактивного распада»
Доц. Малинникова О.Н. –«Стационарное уравнение Шредингера»
Доц. Падалка Н.М. – «Поляризация света»
Проф. Скорохватов Н.А. – «Эффект Комптона», «Энергия связи ядра»
Проф. Феофилактова Т. В.- «Основные законы и формулы», « Интерференция света», «Дифракция света», «Примеры решения задач» раздела I, общая редакция раздела I
Доц. Чернышев О.Н. – «Атом водорода в теории Бора», «Соотношение неопределенностей Гейзенберга», «Гипотеза де Бройля», «Ядерные реакции», «Краткие теоретические сведения», «Примеры решения задач», общая редакция раздела II

Рецензент проф. Самолюбов Б.И. МГУ им. Ломоносова, физ. факультет
проф. Ильин Ю.А. МГУГиК

«Сборник задач по курсу физики», - М., Изд. МГУГиК, 2006, - с.

Пособие подготовлено в соответствии с утвержденной программой курса физики и рекомендовано к изданию кафедрой физики.

В пособии содержатся краткие теоретические сведения по разделам «Волновая и квантовая оптика», «Квантовая механика», « Элементы атомной физики», «Элементы ядерной физики», примеры решения задач, основные формулы и варианты домашних контрольных работ №5 и №6.

Раздел I   Волновая и квантовая оптика

Основные законы и формулы раздела "Волновая и квантовая оптика".

•Скорость света в среде:

$$\mathbf{V} = \frac{\mathbf{c}}{\mathbf{n}},$$

где $\mathbf{c}$ – скорость света в вакууме; $\mathbf{n}$ – показатель преломления среды.
•Оптическая длина пути света в среде:

$$\mathbf{L} = \mathbf{nS},$$

где $\mathbf{S}$ – геометрическая длина пути в среде с показателем преломления n.
•Оптическая разность хода двух световых волн:

$$\mathbf{\Delta} = \mathbf{L_2} - \mathbf{L_1}.$$

•Разность фаз двух волн:

$$\boldsymbol{\delta} = 2\boldsymbol{\pi}\frac{\boldsymbol{\Delta}}{\boldsymbol{\lambda}},$$

где λ – длина световой волны в вакууме.
•Условие максимального усиления света при интерференции (условие максимума):

$$\boldsymbol{\Delta} = \pm \mathbf{m}\boldsymbol{\lambda} \quad \text{или} \quad \boldsymbol{\delta} = \pm 2\mathbf{m}\boldsymbol{\pi}, \quad \mathbf{m} = 0,1,2,...$$

•Условие наибольшего ослабления света (условие минимума):

$$\boldsymbol{\Delta} = \pm(2\mathbf{m}+1)\frac{\boldsymbol{\lambda}}{2} \quad \text{или} \quad \boldsymbol{\delta} = \pm(2\mathbf{m}+1)\boldsymbol{\pi}, \quad \mathbf{m} = 0,1,2,...$$

•Оптическая разность хода лучей, возникающая при прохождении и отражении монохроматического света от тонкой пленки, расположенной в воздухе, без учета дополнительной разности хода, возникающей при отражении от среды оптически более плотной:

$$\boldsymbol{\Delta} = 2\mathbf{d}\sqrt{\mathbf{n}^2 - \sin^2\boldsymbol{\varepsilon}} = 2\mathbf{dn}\cos\boldsymbol{\varepsilon}$$

где $\mathbf{d}$ – толщина пленки; $\mathbf{n}$ – показатель преломления пленки; $\boldsymbol{\varepsilon}$ – угол падения луча на пленку, $\boldsymbol{\varepsilon'}$ – угол преломления света в пленке.
При каждом отражении от среды оптически более плотной к оптической разности хода добавляется $\frac{\boldsymbol{\lambda}}{2}$.
•Радиус светлых колец Ньютона в отраженном свете:

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

где $\mathbf{k}$ – номер кольца $(\mathbf{k} = 1,2,3,...)$; $\mathbf{R}$ – радиус кривизны линзы, $\mathbf{n}$ - показатель преломления жидкости, налитой между линзой и плоскопараллельной пластинкой.

•Радиус темных колец Ньютона в отраженном свете:

$$r_k = \sqrt{kR\frac{\lambda}{n}} \qquad (k = 0,1,2,...).$$

При наблюдении колец Ньютона в проходящем свете вышеприведенные формулы для радиусов светлых и темных колец меняются местами.

•Расстояние между интерференционными полосами на экране, которые получаются в результате сложения волн от когерентных источников:

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

где λ – длина волны света; L – расстояние от экрана до источников света, отстоящих друг от друга на расстояние d.

•Радиус k-й зоны Френеля для сферической волны:

$$r_k = \sqrt{k\frac{ab\lambda}{a+b}},$$

где $k = 1,2,3,...$, a – расстояние от источника волн до волновой поверхности и b – расстояние от волновой поверхности до точки наблюдения.

•Радиус k-й зоны Френеля для плоской волны:

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

•Положение минимумов (темная полоса) освещенности при дифракции от щели, на которую нормально падает пучок параллельных лучей, определяется условиями:

$$b\sin\varphi = \pm k\lambda, \qquad (k = 1,2,3,...),$$

где b – ширина щели; φ – угол дифракции; λ – длина волны падающего света.

•Положение главных максимумов при дифракции на решетке, на которую нормально падает пучок параллельных лучей, определяется условием:

$$d\sin\varphi = \pm m\lambda, \qquad (m = 0,1,2,3,...),$$

где d – период дифракционной решетки; φ – угол дифракции, m - номер максимума для монохроматического света (порядок спектра для белого света).

•Разрешающая способность дифракционной решетки:

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

где N – общее число щелей решетки; λ и $\lambda + \Delta\lambda$ – длины волн двух близких спектральных линий, которые в m порядке видны как раздельные.

•Закон Брюстера:

$$\mathrm{tg}\,\varepsilon = \frac{n_2}{n_1},$$

где ε – угол падения луча, при котором отразившийся от диэлектрика луч полностью поляризован; n_1 – показатель преломления первой среды, n_2 – показатель преломления второй среды.

•Закон Малюса:

$$\mathbf{I} = \mathbf{I_0} \mathbf{cos}^2 \varphi,$$

где $\mathbf{I_0}$ – интенсивность плоскополяризованного света, падающего на поляризатор; $\mathbf{I}$ – интенсивность света, вышедшего из поляризатора, φ – угол между плоскостью колебаний вектора $\vec{\mathbf{E}}$ в падающей волне и плоскостью колебаний вектора $\vec{\mathbf{E}}$ в вышедшей волне.

•Закон Малюса с учетом потерь на отражение и поглощение в поляризаторе:

$$\mathbf{I} = \mathbf{I_0}(\mathbf{1} - \mathbf{k})\mathbf{cos}^2 \varphi,$$

где $\mathbf{k}$ – коэффициент потерь на отражение и поглощение в поляризаторе; $(\mathbf{1} - \mathbf{k})$ – коэффициент пропускания.

•Энергетическая светимость:

$$\mathbf{R_э} = \frac{\mathbf{\Phi}}{\mathbf{S}} = \frac{\mathbf{E}}{\mathbf{St}},$$

где $\mathbf{E}$ – энергия, излучаемая поверхностью, площадь которой $\mathbf{S}$, $\mathbf{t}$ – время излучения, $\mathbf{\Phi}$ – поток излучения.

•Закон Стефана-Больцмана:

$$\mathbf{R_э} = \boldsymbol{\sigma}\mathbf{T}^4,$$

где $\mathbf{R_э}$ – энергетическая светимость черного тела, $\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{5{,}67 \cdot 10^{-8}} \ \frac{\mathbf{Вт}}{\mathbf{м^2 К^4}}$ – постоянная Стефана-Больцмана, $\mathbf{T}$ – термодинамическая температура по шкале Кельвина.

•Энергетическая светимость серого тела:

$$\mathbf{R_э} = \mathbf{a_T}\boldsymbol{\sigma}\mathbf{T}^4,$$

где $\mathbf{a_т}$ – поглощательная способность серого тела/

•Закон смещения Вина:

$$\boldsymbol{\lambda}_{\mathbf{max}}\mathbf{T} = \mathbf{b},$$

где $\boldsymbol{\lambda}_{\mathbf{max}}$ – длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости; $\mathbf{b} = \mathbf{2{,}90 \cdot 10^{-3}}$ $\mathbf{м \cdot К}$ – постоянная Вина.

•Энергия фотона:

$$\mathbf{E} = \mathbf{h}\boldsymbol{\nu},$$

где $\mathbf{h}$ – постоянная Планка; $\boldsymbol{\nu}$ – частота.

•Импульс фотона:

$$\mathbf{P} = \frac{\mathbf{h}}{\boldsymbol{\lambda}}.$$

•Формула Эйнштейна для фотоэффекта:

$$\mathbf{h}\boldsymbol{\nu} = \mathbf{A_{вых}} + \mathbf{W_{max}},$$

где $\mathbf{h}\boldsymbol{\nu}$ – энергия фотона, падающего на поверхность металла; $\mathbf{A_{вых}}$ – работа выхода электрона из металла; $\mathbf{W_{max}}$ – максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона.

•Красная граница фотоэффекта:

$$\nu_{кр} = \frac{A_{вых}}{h}$$

•Задерживающее напряжение:

$$eU_з = \frac{mV_{max}^2}{2}$$

•Формула Комптона:

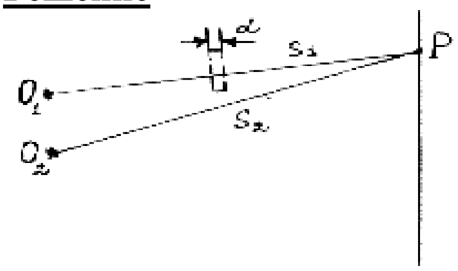
$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos\theta) = 2\frac{h}{mc}\sin^2\frac{\theta}{2},$$

где λ – длина волны падающего фотона; λ' – длина волны фотона, рассеянного на угол θ после столкновения; m – масса частицы, на которой происходит рассеяние.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

<u>Пример 1.</u> От двух когерентных источников O_1 и O_2 (λ = 600нм) лучи падают на экран. На экране наблюдается интерференционная картина. Когда на пути одного из лучей перпендикулярно ему поместили тонкую стеклянную пластинку, показатель преломления которой n = 1,5, то центральная светлая полоса сместилась в положение, первоначально занятое пятой светлой полосой. При какой толщине d пластинки это возможно?

<u>Решение</u>



В результате внесения стеклянной пластинки разность хода между интерферирующими лучами изменится.

Первоначальная разность хода равна $\Delta_1 = S_2 - S_1$, после внесения пластинки:

$$\Delta_2 = S_2 - (S_1 - d + nd) = \Delta_1 - (n-1)d.$$

Так как произошло смещение на Δk полос, то добавочная разность хода $\Delta = \Delta_1 - \Delta_2 = \Delta k\lambda$.

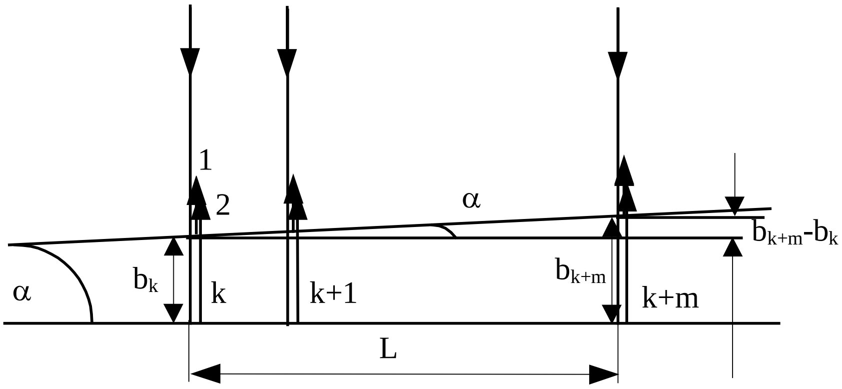
Следовательно, $(n-1)d = \Delta k\lambda$.

Откуда $d = \dfrac{\Delta k\lambda}{n-1}$.

После подстановки числовых значений величин найдем: $d = \dfrac{5 \cdot 600 \cdot 10^{-9}}{1,5 - 1} = 6 \cdot 10^{-6}$ м

Пример 2. На стеклянный клин ($n_{ст}$ = 1,5) с малым углом нормально к его грани падает параллельный пучок лучей монохроматического света с длиной волны λ = 0,6 мкм. Число m возникающих при этом интерференционных полос, приходящихся на 1 см, равно 10. Наблюдение ведется в отраженном свете. Определить угол α клина.

Решение



Интерферировать будут волны 1 и 2,отраженные соответственно от верхней и нижней грани клина. Интерференционная картина наблюдается вблизи поверхности клина.

Пусть произвольной темной интерференционной полосе k-ого номера соответствует толщина b_k клина, а темной интерференционной полосе k+m-ого номера—толщина b_{k+m} клина. Разность хода Δ двух волн, образующих интерференционную полосу, складывается из разности оптических длин путей этих волн и добавочной разности хода $\frac{\lambda}{2}$, которая возникает при отражении волны 1 от оптически более плотной среды.

$$\Delta = 2b_k n + \frac{\lambda}{2}$$

Темные полосы видны на тех участках клина, для которых разность хода волн удовлетворяет условию минимума, т. е.:

$$\Delta = 2b_k n + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$$

После упрощения получим для k-той полосы

$$2b_k n = k\lambda$$

Соответственно для k+m-ой полосы

$$2b_{k+m} n = (k+m)\lambda$$

Из рисунка видно, что

$$tg\alpha = \frac{b_{k+m} - b_k}{L}$$

Выразив из предыдущих равенств b_k и b_{k+m}, получим:

$$tg\alpha = \frac{b_{k+m} - b_k}{L} = \frac{\frac{k+m}{2n}\lambda - \frac{k}{2n}\lambda}{L} = \frac{m\lambda}{2nL}$$

Учитывая, что угол мал $\mathbf{tg\alpha \approx \alpha}$, получим:

$$\boldsymbol{\alpha} = \frac{\mathbf{m\lambda}}{\mathbf{2nL}}$$

Подставляя числовые значения физических величин, найдем

$$\boldsymbol{\alpha} = \frac{\mathbf{10 \cdot 0{,}6 \cdot 10^{-6}}}{\mathbf{2 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-2}}}\,\mathbf{рад} = \mathbf{2 \cdot 10^{-4}\ рад \approx 41{,}2''}.$$

Пример 3. На дифракционную решетку нормально падает параллельный пучок лучей с длиной волны λ = 500 нм. На экране, параллельном дифракционной решетке и отстоящем от нее на расстояние L = 1 м, получается дифракционная картина. Расстояние между максимумами первого порядка, наблюдаемыми на экране, равно l=20,2 см. Определить: 1) постоянную дифракционной решетки; 2) число максимумов, даваемых дифракционной решеткой; 3) максимальный угол отклонения лучей.

Решение

Воспользуемся формулой, определяющей положение максимумов при дифракции на решетке:

$\mathbf{d\sin\varphi = \pm m\lambda}$, где $\mathbf{m}$ – порядок спектра.

Из рисунка видно, что $\mathbf{tg}\,\varphi = \dfrac{\mathbf{l/2}}{\mathbf{L}} = \dfrac{\mathbf{l}}{\mathbf{2L}}$.

Обычно угол дифракции ($\mathbf{m}$=1) первого порядка мал и можно считать

$$\mathbf{tg}\,\varphi \approx \mathbf{sin}\,\varphi = \frac{\mathbf{l}}{\mathbf{2L}}, \qquad \text{тогда } \mathbf{d} = \frac{\boldsymbol{\lambda}\,\mathbf{2L}}{\mathbf{l}}.$$

Подставив численные значения, имеем:

$$\mathbf{d} = \frac{\mathbf{2 \cdot 1 \cdot 500 \cdot 10^{-9}}}{\mathbf{20{,}2 \cdot 10^{-2}}} = \mathbf{4{,}95 \cdot 10^{-6}\ м}$$

Для определения числа максимумов, даваемых дифракционной решеткой, вычислим максимальный порядок спектра m_{max}, который определяется из условия, что максимальный угол отклонения лучей дифракционной решеткой не может превышать 90^o, т.е. $\mathbf{sin}\,\varphi \le \mathbf{1}$. Тогда для $\mathbf{m_{max}}$ получим:

$$\mathbf{m_{max}} \le \frac{\mathbf{d}}{\boldsymbol{\lambda}} = \frac{\mathbf{4{,}95 \cdot 10^{-6}}}{\mathbf{500 \cdot 10^{-9}}} = \mathbf{9{,}9}$$

Так как $\mathbf{m}$ – обязательно целое число, то $\mathbf{m_{max} = 9}$ (округлять до 10 нельзя, т.к. тогда $\mathbf{sin}\,\varphi \ge \mathbf{1}$).

Итак, влево и вправо от центрального (нулевого) максимума будет наблюдаться одинаковое число максимумов, равное $\mathbf{m_{max}}$, учитывая также центральный максимум, получаем:

$$\mathbf{Z = 2m_{max} + 1 = 19}.$$

Максимальный угол отклонения лучей, соответствующих последнему дифракционному максимуму, найдем по формуле

$$\mathbf{d\sin\varphi_{max} = \pm m_{max}\lambda},$$

т.е.

$$\mathbf{\sin\varphi_{max} = \frac{m_{max}\cdot\lambda}{d} = 0.91}$$

Откуда искомое значение угла

$$\varphi_{max} = \mathbf{65°5'}.$$

Пример 4. Естественный свет проходит через поляризатор и анализатор, установленные так, что угол между их плоскостями пропускания равен φ. Как поляризатор, так и анализатор поглощают и отражают 8% падающего на них света. Оказалось, что луч, вышедший из анализатора, имеет 9% от интенсивности естественного света, падающего на поляризатор. Найти угол φ.

Решение. Интенсивность естественного света, прошедшего через поляризатор, по закону Малюса равна:

$$\mathbf{I_п = \frac{1}{2}I_{ест}(1-k)},$$

где $\mathbf{k}$ – коэффициент потерь интенсивности света в поляризаторе; коэффициент 1/2 появляется при усреднении по всем состояниям поляризации падающего света.

Интенсивность света, прошедшего через анализатор, определяется также по закону Малюса:

$$\mathbf{I_а = I_п\cos^2\varphi(1-\alpha)}.$$

Где $\mathbf{I_п}$ – интенсивность света, падающего на анализатор; φ – угол между плоскостями пропускания поляризатора и анализатора; $\boldsymbol{\alpha}$ – коэффициент потерь интенсивности света в анализаторе.

Подставим $\mathbf{I_п}$ из первой формулы и учтем, что вышедший из анализатора свет составляет 9% от интенсивности естественного света:

$$\mathbf{0.09\,I_{ест} = \frac{1}{2}(1-k)(1-\alpha)\,I_{ест}\cdot\cos^2\varphi}.$$

По условию задачи $\mathbf{k} = \boldsymbol{\alpha}$ = 0,08. Сокращая на $\mathbf{I_{ест}}$, получим:

$$\mathbf{\cos^2\varphi = \frac{0,09\cdot 2}{(1-0,08)^2} = 0,2127;}$$

Искомое значение угла

$$\varphi = \mathbf{62°32'}.$$

Пример 5. Определить максимальную скорость $\mathbf{V_{max}}$ фотоэлектронов, вырываемых с поверхности серебра ультрафиолетовыми лучами с длиной волны λ = 0,160 мкм.

Решение. Максимальную скорость фотоэлектронов можно найти из уравнения Эйнштейна для фотоэффекта:

$$\mathbf{h\nu = A_{вых} + W_{max}},$$

где $\mathbf{h\nu}$ – энергия фотонов, падающих на поверхность металла; $\mathbf{A_{вых}}$ – работа выхода электрона из металла; $\mathbf{W_{max}}$ – максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов.

Энергию фотона можно выразить через длину волны $\boldsymbol{\lambda}$:

$$\mathbf{E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}}.$$

Кинетическая энергия электрона может быть определена по классической формуле:

$$\mathbf{W_{max} = \frac{mV^2{}_{max}}{2}},$$

Подставим энергию фотона и кинетическую энергию в уравнение Эйнштейна:

$$\mathbf{\frac{hc}{\lambda} = A_{вых} + \frac{mV^2{}_{max}}{2}},$$

откуда

$$\mathbf{V_{max} = \sqrt{\frac{2(\frac{hc}{\lambda} - A_{вых})}{m}}}.$$

Используя значение $\mathbf{A_{вых} = 4{,}7\,эВ = 0{,}75 \cdot 10^{-18}}$ **Дж** (из таблиц), получаем

$$\mathbf{V_{max} = \sqrt{\frac{2 \cdot (\frac{6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}}{0{,}16 \cdot 10^{-6}} - 0{,}75 \cdot 10^{-18})}{9{,}11 \cdot 10^{-31}}} = 1{,}04 \cdot 10^{6}\ м/с}.$$

Пример 6. В результате эффекта Комптона фотон при соударении с электроном был рассеян на угол $\mathbf{\Theta = 90^\circ}$. Энергия рассеянного фотона $\mathbf{\varepsilon' = 0{,}4\,МэВ}$. Определить энергию фотона $\boldsymbol{\varepsilon}$ до рассеяния.

Решение. Для определения энергии первичного фотона воспользуемся формулой Комптона:

$$\mathbf{\Delta\lambda = 2\frac{h}{mc}\sin^2\frac{\Theta}{2}},$$

где $\mathbf{\Delta\lambda = \lambda' - \lambda}$ – изменение длины волны фотона в результате рассеяния на свободном электроне; Θ – угол рассеяния фотона.

Выразим длины волн $\boldsymbol{\lambda}$ и $\boldsymbol{\lambda'}$ через энергии $\boldsymbol{\varepsilon}$ и $\boldsymbol{\varepsilon'}$ фотонов:

$$\mathbf{\lambda = \frac{hc}{\varepsilon}, \quad \lambda' = \frac{hc}{\varepsilon'}}.$$

Умножая числитель и знаменатель правой части формулы Комптона на скорость фотона с, получаем:

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

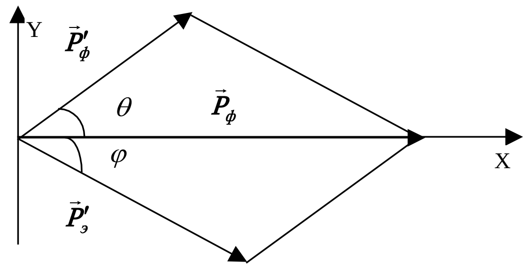
Сократим на hc и найдем ε:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon' mc^2}{mc^2 - \varepsilon' 2\sin^2\frac{\Theta}{2}} = \frac{\varepsilon' E_0}{E_0 - 2\varepsilon'\sin^2\frac{\Theta}{2}}$$

Вычисления по этой формуле удобно вести во внесистемных единицах, где энергия покоя электрона $mc^2 = E_0 = 0{,}511\,МэВ$:

$$\varepsilon = \frac{0{,}4 \cdot 0{,}511}{0{,}511 - 2\cdot 0{,}4\sin^2\frac{\Theta}{2}} МэВ = 1{,}85\ МэВ$$

__Пример 7__. В результате эффекта Комптона фотон с энергией 0,51 МэВ был рассеян на свободном электроне на угол $\theta = \frac{\pi}{3}$. Определить угол рассеяния φ электрона.



__Решение__: Энергия фотона 0,51 МэВ соответствует энергии покоя электрона mc^2. Длина волны фотона с такой энергией равна $\lambda = \frac{h}{mc}$=2,43 пм, что соответствует комптоновской длине волны $\lambda = \lambda_c$. Рассчитаем по формуле Комптона длину волны рассеянного фотона:

$\lambda'' - \lambda = \lambda_0(1 - \cos\theta) = \lambda_0\left(1 - \cos\frac{\pi}{3}\right) = \frac{\lambda_0}{2}$ Так как $\lambda = \lambda_0$, получаем $\lambda' = \frac{3\lambda_0}{2}$. Из закона сохранения импульса для проекции на ось X: $p_ф = p'_ф \cdot \cos\theta + p'_э \cdot \cos\varphi$ следует: $\frac{h}{\lambda} = \frac{h}{\lambda'}\cos\theta + p\cos\varphi$. Подставив найденные величины, получим:

$\frac{hmc}{h} = \frac{2hmc}{3h}\cdot\frac{1}{2} + p\cos\varphi$. Упростив, получим: $p\cos\varphi = \frac{2}{3}mc$.

Импульс электрона можно определить из известной релятивистской формулы: $W = c\sqrt{p^2 + (mc)^2} - mc^2$. Кинетическую энергию электрона найдем из закона сохранения энергии: $\mathbf{W = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda'} = mc^2 - \frac{2mc^2}{3} = \frac{mc^2}{3}}$. Подставим найденное соотношение в предыдущую формулу: $\mathbf{\frac{mc^2}{3} = c\sqrt{p^2 + (mc)^2} - mc^2}$.

Упрощая, получим: $\mathbf{p = \sqrt{\frac{7}{9}}mc}$. Тогда, использовав эту формулу, будем иметь: $\mathbf{\sqrt{\frac{7}{9}}mc \cdot \cos\varphi = \frac{2}{3}mc,}$ следовательно, $\mathbf{\cos\varphi = \frac{2}{\sqrt{7}}}$. Искомый угол равен $\varphi = \mathbf{40{,}9^\circ}$.

<u>Пример 8.</u> Длина волны, на которую приходится максимум энергии в спектре излучения черного тела, равна λ_{max} = 0,58 мкм. Определить энергетическую светимость $\mathbf{R_э}$ поверхности тела.

<u>Решение</u>. Энергетическая светимость $\mathbf{R_э}$ черного тела может быть найдена из закона Стефана-Больцмана:

$$\mathbf{R_э = \sigma T^4}$$

Температуру найдем из закона смещения Вина:

$$\mathbf{\lambda_{max} = \frac{b}{T}}.$$

Отсюда:

$$\mathbf{R_э = \sigma\left[\frac{b}{\lambda_{max}}\right]^4} \qquad \mathbf{R_э = 5{,}67 \cdot 10^{-8}\left[\frac{2{,}9 \cdot 10^{-3}}{5{,}8 \cdot 10^{-7}}\right]^4 = 3{,}54 \cdot 10^7\ \frac{Вт}{м^2}}.$$

<u>Контрольная работа № 5</u>

Указания к выполнению и оформлению контрольной работы.

К решению задач следует приступать после тщательного изучения теории соответствующего раздела. Каждая задача должна быть оформлена на отдельном листе с указанием фамилии студента, группы, номера варианта и дня сдачи. Условие задачи нужно переписывать полностью. Решение задачи должно сопровождаться подробными пояснениями. Работы, содержащие в решении только набор формул, к проверке не принимаются. Как правило, необходимо делать чертеж (рисунок), поясняющий решение задачи. Решение задачи желательно получить в общем виде, а затем подставить числовые значения заданных величин, выраженных в единицах системы СИ.

Номер варианта соответствует порядковому номеру фамилии студента в журнале группы.

№ номер в журнале группы	Номера задач					
1	501	516	531	546	561	576
2	502	517	532	547	562	577
3	503	518	533	548	563	578
4	504	519	534	549	564	579
5	505	520	535	550	565	580
6	506	521	536	551	566	581
7	507	522	537	552	567	582
8	508	523	538	553	568	583
9	509	524	539	554	569	584
10	510	525	540	555	570	585
11	511	526	541	556	571	586
12	512	527	542	557	572	587
13	513	528	543	558	573	588
14	514	529	544	559	574	589
15	515	530	545	560	575	590
16	501	517	533	549	565	581
17	501	518	534	550	566	582
18	502	519	535	551	567	583
19	503	520	536	552	568	584
20	504	521	537	553	569	585
21	505	522	538	554	570	586
22	506	523	539	555	571	587
23	507	524	540	556	572	588
24	508	525	541	557	573	589
25	509	526	542	558	574	590
26	510	516	531	546	561	576
27	515	527	532	547	562	577
28	514	528	543	548	563	578
29	513	529	544	560	564	579
30	511	530	545	559	575	580

Интерференция света

В задачах данного раздела обязателен рисунок, показывающий ход лучей и область интерференции.

501. Сферическая поверхность плосковыпуклой линзы (n_1 = 1,52) соприкасается со стеклянной пластинкой (n_2 = 1,7). Пространство между линзой, радиус кривизны которой R = 1,0 м, и пластинкой заполнено жидкостью. Наблюдая кольца Ньютона в отраженном свете (λ = 0,589 мкм), измерили радиус десятого темного кольца r_{10} = 2,05 мм. Определить показатель преломления жидкости $n_ж$, если $n_ж<n_1<n_2$.

502. Для уменьшения потерь света при отражении от стекла на поверхность объектива (n_2 = 1,7) нанесена прозрачная пленка (n = 1,3). При какой наименьшей толщине ее произойдет максимальное ослабление отраженного света, длина волны которого приходится на среднюю часть видимого спектра (λ = 0,56 мкм)? Считать, что лучи падают нормально к поверхности объектива.

503. Между двумя плоскопараллельными стеклянными пластинками заключен очень тонкий воздушный клин. На пластинки нормально падает монохроматический свет (λ = 0,50 мкм). Определить угол α между пластинками, если в отраженном свете на протяжении l = 1см наблюдается N = 20 интерференционных полос.

504. Сферическая поверхность плосковыпуклой линзы (n_1 = 1,52) соприкасается со стеклянной пластинкой (n_2 = 1,7). Пространство между линзой, радиус кривизны которой R = 1,0 м, и пластинкой заполнено жидкостью. Наблюдая кольца Ньютона в отраженном свете (λ = 0,608 мкм), измерили радиус десятого темного кольца r_{10} = 1,90 мм. Определить показатель преломления жидкости $n_ж$, если $n_1<n_ж<n_2$.

505. Плоскопараллельная пластинка с показателем преломления n = 1,50 освещается параллельным пучком монохроматического света (λ = 0,59 мкм). При постепенном увеличении угла падения лучей ε интерференционная картина в отраженном свете изменяется. Определить толщину пластинки b, зная, что при измерении угла ε в некотором интервале имеются лишь два значения ε_1 = 30° и ε_2 = 34°, соответствующие максимальной интенсивности отраженного света.

506. Между двумя плоскопараллельными стеклянными пластинками ($n_{ст}$ = 1,5) заключен очень тонкий клин, заполненный жидкостью ($n_ж$ = 1,7). Угол клина равен 30″. На пластинки нормально падает монохроматический свет с

длиной волны λ = 0,55 мкм. Определить, какое число светлых интерференционных полос наблюдается на протяжении 1см, если наблюдение проводится в отраженном свете.

507. Свет с длиной волны λ = 0,55 мкм падает на поверхность стеклянного клина под углом ε = 15°. Показатель преломления стекла n = 1,5, угол при вершине клина α = 1′. Определить расстояние между двумя соседними минимумами при наблюдении интерференции в отраженном свете.

508. Какого цвета будет мыльная пленка в отраженном и проходящем свете, если на нее падает белый свет под углом 45°? Толщина пленки 0,45 мкм, показатель преломления равен 1,33.

509. На тонкий стеклянный клин падает нормально монохроматический свет с длиной волны 600нм. Расстояние между соседними интерференционными полосами в отраженном свете L = 0,4 мм, показатель преломления стекла $n_{сп}$ = 1,5. Определить угол между поверхностями клина.

510. В установке для наблюдения колец Ньютона пространство между стеклянной линзой и стеклянной пластинкой заполнено жидкостью ($n_ж<n_{ст}$). Определить показатель преломления жидкости, если радиус третьего светлого кольца получился равным 3,65 мм. Наблюдение ведется в проходящем свете. Радиус кривизны линзы 10 м. Длина волны света $5{,}89\cdot10^{-5}$ см.

511. Плосковыпуклая линза положена на стеклянную пластинку выпуклой стороной и освещается монохроматическим светом с длиной волны 600 нм. Найти радиус кривизны линзы, если радиус седьмого темного кольца Ньютона в отраженном свете равен 2,2 мм.

512. Расстояние между пятым и двадцать пятым светлыми кольцами Ньютона равно 9 мм. Радиус кривизны линзы равен 15 м. Найти длину волны монохроматического света, падающего нормально на установку. Наблюдение проводится в отраженном свете.

513. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается монохроматическим светом с длиной волны 589 нм, падающим нормально. Определить толщину воздушного слоя между линзой и стеклянной пластинкой в том месте, где наблюдается шестое темное кольцо в отраженном свете.

514. Плосковыпуклая стеклянная линза с радиусом кривизны 1 м положена на стеклянную пластинку выпуклой стороной. Радиус пятого светлого кольца Ньютона в проходящем свете равен 1,5 мм. Найти длину волны

монохроматического света, падающего нормально на установку, если пространство между линзой и пластинкой заполнено жидкостью с показателем преломления $n_ж$ = 1,33. Показатель преломления стекла $n_{ст}$ = 1,5.

515. В установке для наблюдения колец Ньютона пространство между линзой с радиусом кривизны 5 м и стеклянной пластинкой заполнено жидкостью с показателем преломления $n_ж$ = 1,33. Определить радиус третьего светлого кольца Ньютона в проходящем свете. Длина волны света равна 600 нм. Свет падает нормально к поверхности линзы.

Дифракция света

В задачах данного раздела обязателен рисунок, показывающий ход лучей

516. На диафрагму с круглым отверстием падает нормально параллельный пучок монохроматического света (λ = 600 нм). На экране наблюдается дифракционная картина. При каком наибольшем расстоянии между диафрагмой и экраном в центре дифракционной картины еще будет наблюдаться минимум освещенности? Диаметр отверстия 1,96 мм.

517. На какую длину волны в спектре второго порядка накладывается фиолетовая линия (λ = 0,4 мкм) спектра третьего порядка, если на дифракционную решетку падает нормально параллельный пучок белого света?

518. На дифракционную решетку, содержащую 500 штрихов на миллиметр, падает нормально белый свет. Определить длину спектра первого порядка на экране, если расстояние от решетки до экрана 1м. Границы видимого спектра: $\lambda_{кр}$= 780нм, $\lambda_ф$ = 400 нм.

519. На дифракционную решетку, имеющую 5000 штрихов на 1 см, падает нормально параллельный пучок белого света. Найти разность углов отклонения конца первого и начала второго порядков спектра. Длины красных и фиолетовых волн принять равными 760нм и 400нм.

520. Дифракционная картина наблюдается на расстоянии X от точечного источника монохроматического света (λ = 600 нм). На расстоянии 0,3·X от источника помещена круглая непрозрачная преграда диаметром 1 мм. Чему равно расстояние X, если преграда закрывает только центральную зону Френеля?

521. Найти наибольший порядок спектра для линий с длинами волн 400нм и 600 нм, если постоянная дифракционной решетки равна 5 мкм. Сколько штрихов на 1 см имеет такая решетка?

522. Между точечным источником света и экраном поместили диафрагму с круглым отверстием, радиус r которого можно менять. Расстояния от диафрагмы до источника и экрана равны a = 100 см и b = 125 см. Определить длину волны света, если максимум освещенности в центре дифракционной картины на экране наблюдается при r_1 = 1,0 мм и следующий при r_2 = 1,29 мм.

523. На круглое отверстие диаметром d = 4мм падает нормально параллельный пучок лучей (λ = 0,5 мкм). Точка наблюдения находится на оси отверстия на расстоянии b = 2м от него. Сколько зон Френеля укладывается в отверстии? Минимальная или максимальная освещенность пятна получится в центре дифракционной картины, если в месте наблюдения поместить экран?

524. Период дифракционной решетки d = 0,01 мм. Какое наименьшее число штрихов должна содержать решетка, чтобы две составляющие желтой линии натрия (λ_1 = 589,0 нм, λ_2 = 589,6 нм) можно было видеть раздельно в спектре первого порядка? Определить наименьшую длину L решетки

525. Длина решетки L = 15 мм, период d = 5 мкм. В спектре какого наименьшего порядка получаются раздельные изображения двух спектральных линий с разностью длин волн Δ λ = 0,1 нм, если линии лежат в крайней красной части спектра (от 780 до 700 нм)?

526. Сколько порядков спектров для линий с длинами волн 400 нм и 600 нм можно наблюдать от дифракционной решетки, имеющей 500 штрихов на 1 мм? Найти максимальные углы отклонения этих спектральных линий.

527. На дифракционную решетку, имеющую 5000 штрихов на 1 см, падает нормально белый свет. Спектр проектируется на экран линзой, помещенной вблизи решетки. Определить ширину спектра второго порядка на экране, если расстояние от линзы до экрана 0,5 м. Границы видимого спектра: $\lambda_{кр}$ = 750 нм и $\lambda_{ф}$ = 400 нм.

528. Длина дифракционной решетки L = 16 мм и период d = 4 мкм. В спектре какого наименьшего порядка получаются раздельные изображения двух спектральных линий с разностью длин волн Δλ = 0,1 нм, если линии лежат в области 400 нм? Найти угол отклонения спектральной линии (λ = 750 нм) в этом порядке.

529. На непрозрачную преграду с отверстием диаметром $d = 2$ мм падает монохроматическая плоская световая волна. Когда расстояние от преграды до экрана равно $b_1 = 57{,}5$ см, в центре дифракционной картины наблюдается максимум интенсивности. При увеличении расстояния до $b_2 = 86{,}2$ см максимум интенсивности сменяется минимумом. Определить длину волны света.

530. На препятствие с круглым отверстием диаметром 1мм падает плоская монохроматическая волна λ=600нм. С какого минимального расстояния между отверстием и экраном в центре дифракционной картины будет наблюдаться только максимум освещенности?

Поляризация света

531. Угол полной поляризации для некоторого вещества равен 56°. Чему равен предельный угол полного отражения для этого вещества?

532. Естественный свет падает на систему из трех последовательно расположенных одинаковых поляроидов, причем плоскость пропускания среднего поляроида составляет угол $\varphi = 60°$ с плоскостями пропускания двух других поляроидов. Каждый поляроид обладает коэффициентом пропускания $\tau = 0{,}81$. Во сколько раз уменьшится интенсивность света после прохождения этой системы?

533. Интенсивность луча, вышедшего из анализатора, равна 10% интенсивности естественного света, падающего на поляризатор. Найти угол между плоскостями пропускания поляризатора и анализатора, если каждый из них поглощает и отражает 5% падающего на них света.

534. Во сколько раз уменьшится интенсивность естественного света после прохождения двух николей, каждый из которых поглощает 10% падающего на него света, если угол между их плоскостями пропускания 60°?

535. На какой угловой высоте над горизонтом должно находиться Солнце, чтобы солнечный свет, отраженный от поверхности воды, был полностью поляризован? $n_{воды} = 1{,}33$

536. Луч света, идущий в воде, отражается от грани алмаза, погруженного в воду. При каком угле падения отраженный луч полностью поляризован? $n_{воды} = 1{,}33$, $n_{алм} = 2{,}42$

537. Угол полной поляризации при отражении света от кристалла каменной соли 57°. Определить скорость распространения света в этом кристалле

538. Предельный угол полного отражения для некоторого вещества равен 45°. Чему равен для этого вещества угол полной поляризации отраженного луча?

539. Чему равен угол между плоскостями пропускания поляризатора и анализатора, если интенсивность естественного света, прошедшего через поляризатор и анализатор, уменьшилась в 4 раза? Потерями света в поляроидах пренебречь.

540. Во сколько раз ослабляется естественный свет, проходя через два николя, плоскости пропускания которых составляют угол 45°, если в каждом из николей в отдельности теряется 10% падающего на него светового потока?

541. Чему равен показатель преломления стекла, если при падении на него света отраженный луч будет полностью поляризован, а преломленный луч пойдет под углом 30°?

542. Луч света проходит через жидкость, налитую в стеклянный сосуд ($n_{ст}$ = 1,5), и отражается от дна. Отраженный луч полностью поляризован при падении его на дно сосуда под углом 42°37′. Найти: 1)показатель преломления жидкости, 2)под каким углом должен падать на дно сосуда луч света, идущий в этой жидкости, чтобы наступило полное отражение.

543. Плоскополяризованный свет, длина волны которого в вакууме равна 589 нм, падает на пластинку исландского шпата перпендикулярно его оптической оси. Принимая показатели преломления исландского шпата для обыкновенного и необыкновенного лучей соответственно n_o = 1,66 и n_e = 1,49, определите длины волн этих лучей в кристалле.

544. Плоскополяризованный свет, длина волны которого в вакууме равна 530 нм, падает на пластинку кварца перпендикулярно его оптической оси. Определите показатели преломления кварца для обыкновенного (n_o) и необыкновенного (n_e) лучей, если длины волн этих лучей в кристалле соответственно равны λ_o = 344 нм и λ_e = 341 нм.

545. Определите концентрацию сахарного раствора, если при прохождении света через трубку длиной 20 см с этим раствором плоскость поляризации света поворачивается на угол φ = 10°. Удельное вращение сахара$[\boldsymbol{\alpha}]$ = $1{,}17\cdot10^{-2}$ рад·м^2/кг.

Тепловое излучение

546. Максимум спектральной плотности энергетической светимости излучения Солнца соответствует длине волны λ=0,5 мкм. Считая Солнце черным телом, определить на сколько уменьшится его масса за год вследствие теплового излучения. Радиус Солнца $R=6{,}96\cdot10^5$ км.

547. Диаметр вольфрамовой спирали в электрической лампочке равен 0,3 мм, а ее длина — 10 см. При включении лампочки в сеть с напряжением 220 В через лампочку течет ток 0,19 А. Найти температуру спирали. Считать, что по установлению равновесия все выделяющееся тепло теряется в результате излучения, а спираль — серое тело с поглощательной способностью 0,31.

548. Диаметр вольфрамовой спирали в электрической лампочке равен 0,05 мм, а ее длина — 50 см. Какую температуру будет иметь спираль при включении лампочки в сеть с напряжением 220 В? Считать, что по установлению равновесия все выделяющееся тепло теряется в результате излучения, а спираль — серое тело с поглощательной способностью 0,31. Удельное сопротивление вольфрама в рассматриваемом диапазоне температур равно $0{,}83\ \frac{\textbf{Ом}\times\textbf{мм}^2}{\textbf{м}}$.

549. Определить поглощательную способность серого тела, если при температуре 727°C поток излучения с 10 см^2 его поверхности равен 25 Вт.

550. При условиях, когда максимум спектральной плотности энергетической светимости приходится на длину волны 3 мкм, поток теплового излучения некоторого черного тела равен 100 Вт. Каким станет этот поток при температуре тела равной 500 К?

551. Температура черного тела изменилась при нагревании от 1000 К до 2000 К. Во сколько раз увеличился при этом поток излучения этого тела? На сколько изменилась длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости?

552. Тонкая металлическая пластинка, обладающей свойствами серого тела, расположена вне атмосферы так, что одна её сторона освещается Солнцем. Определить установившуюся температуру пластинки, если на единицу площади её освещаемой поверхности падает поток излучения равный $\mathbf{600}\,\frac{\textbf{Вт}}{\textbf{м}^2}$.

553. Тонкая металлическая пластинка, обладающая свойствами серого тела, расположена вне атмосферы. Одна её сторона, имеющая площадь 2 м^2,

освещается Солнцем. Определить установившуюся температуру пластинки, если падающий на неё поток солнечного излучения равен 1000 Вт.

554. Тонкая металлическая пластинка обладает свойствами серого тела с поглощательной способностью 0.35 и расположена вне атмосферы. Одна её сторона, имеющая площадь 2 м^2, освещается Солнцем. Определить установившуюся температуру пластинки, если поглощаемый ею поток солнечного излучения равен 1000 Вт.

555. Раскаленная металлическая поверхность площадью 10 см^2 излучает в одну минуту $4\cdot10^4$ Дж. Температура поверхности равна 2500 К.. Рассматривая поверхность как серое тело, определить её поглощательную способность при этой температуре.

556. Температура вольфрамовой спирали 25-ватной электрической лампочки равна 2450 К. Определить величину излучающей поверхности спирали, если её поглощательная способность при данной температуре равна 0,3.

557. Температура черного тела увеличилась в два раза, в результате чего λ_{max} уменьшилась на 500 нм. Определить начальную и конечную температуру тела.

558. Температура черного тела уменьшилась в три раза, в результате чего λ_{max} увеличилась на 1500 нм. Определить начальную и конечную температуру тела.

559. Как и во сколько раз изменится поток излучения черного тела, если максимум спектральной плотности энергетической светимости переместится с красной границы видимого спектра (λ_{max} = 780 нм) на фиолетовую (λ_{max} = 390 нм)?

560. Найти температуру печи, если каждую минуту из отверстия площадью 5 см^2 излучается электромагнитная энергия 1500 Дж. Печь рассматривать как черное тело.

Фотоэффект

561. На цинковую пластину падает монохроматический свет с длиной волны 220 нм. Определить максимальную кинетическую энергию и максимальную скорость фотоэлектронов.

562. На пластину падает монохроматический свет с длиной волны 0,42 мкм. Фототок прекращается при задерживающей разности потенциалов равной 0,95 В. Определить работу выхода электронов с поверхности пластины.

563. Найти потенциал уединенного серебряного шарика, если на него падает пучок ультрафиолетового излучения с длиной волны равной 0,2 мкм. Работа выхода электронов из серебра $\mathbf{A}_{\text{вых}}$ = 4,7 эВ.

564. При освещении вакуумного фотоэлемента монохроматическим светом с длиной волны равной 0,4 мкм он зарядился до разности потенциалов в 2 В. До какой разности потенциалов зарядится фотоэлемент при освещении его монохроматическим светом с длиной волны равной 0,3 мкм?

565. Какова должна быть длина монохроматического излучения, падающего на поверхность некоторого металла, чтобы максимальная скорость фотоэлектронов была равна $10^7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$? Работой выхода электронов из металла пренебречь.

566. Фотоны с энергией 6 эВ выбивают электроны из металла. Работа выхода из металла A = 4,0 эВ. Найти максимальный импульс, получаемый поверхностью металла при выходе электрона.

567. Плоский серебряный электрод освещается монохроматическим светом с длиной волны равной 83 нм. Найти, на какое максимальное расстояние от поверхности электрода может переместиться фотоэлектрон, если напряженность задерживающего электрического поля $\mathbf{E = 10\frac{В}{м}}$. Красная граница фотоэффекта для серебра $\boldsymbol{\lambda}_{\text{кр}} = \mathbf{264\,нм}$.

568. Определить максимальную скорость фотоэлектронов, вырываемых с поверхности цинка при облучении его излучением с длиной волны λ = 247 нм.

569. Максимальная скорость фотоэлектронов, вылетающих из металла при облучении его монохроматическим излучением равна $1{,}1 \cdot 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определить энергию фотонов, если работа выхода равна 2,3 эВ.

570. При освещении катода вакуумного фотоэлемента монохроматическим светом с длиной волны λ = 310 нм фототок прекращается при некотором задерживающем напряжении. При увеличении длины волны на 25%

задерживающее напряжение оказывается меньше на 0,8 В. Найти постоянную Планка по этим данным.

571. Какая доля энергии израсходована на работу выхода электрона из металла, если красная граница фотоэффекта равна $\boldsymbol{\lambda_{кр} = 0{,}307\,мкм}$, а максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона 1 эВ?

572. На платиновую пластинку падают ультрафиолетовые лучи. Для прекращения фотоэффекта нужно приложить задерживающую разность потенциалов равную 3,7 В. Если платиновую пластинку заменить пластинкой из другого метала, то задерживающую разность потенциалов нужно увеличить до 6 В. Найти работу выхода электронов с поверхности этой пластины.

573. Фотоны с энергией 4,9 эВ вырывают фотоэлектроны из металла, работа выхода которого $A_{вых}$ = 4,5 эВ. Найти максимальный импульс, передаваемый поверхности металла при вылете каждого электрона.

574. Определить постоянную Планка h, если известно, что фотоэлектроны, вырываемые с поверхности некоторого метала излучением с частотой равной $2{,}2 \cdot 10^{15}$ Гц полностью задерживаются потенциалом U_1 = 6,6 В, а вырываемые излучением с частотой равной $4{,}6 \cdot 10^{15}$ Гц - потенциалом U_2 = 16,5 В

575. При фотоэффекте с платиновой поверхности величина задерживающего потенциала U = 0,8 В. Найти: 1) длину волны излучения, под действием которого происходит фотоэффект; 2) максимальную длину волны, при которой еще возможен фотоэффект.

Эффект Комптона

576. Фотон при эффекте Комптона на свободном электроне был рассеян на угол $\theta = \pi/2$. Определить угол рассеяния электрона, если энергия фотона до рассеяния была 1,02 МэВ.

577. Энергия фотона до рассеяния на свободном электроне равна удвоенной энергии покоя электрона. Определить, какую долю своей энергии фотон передал электрону, если угол рассеяния фотона 90°?

578. Фотон с длиной волны 15 пм был рассеян при эффекте Комптона на свободном электроне. Длина волны рассеянного фотона 16 пм. Определить угол рассеяния и кинетическую энергию электрона.

579. Фотон с длиной волны 10 пм был рассеян при эффекте Комптона на свободном электроне под углом 150°. Определить импульс, приобретенный электроном.

580. В результате эффекта Комптона на свободном электроне фотон с энергией 1,53 МэВ был рассеян на угол $\theta = \pi/2$. Определить импульс, приобретенный электроном.

581. Фотон с длиной волны 12 пм при эффекте Комптона на свободном электроне был рассеян на угол $\theta = \pi/2$. Определить, какую долю своей энергии фотон передал электрону?

582. В результате эффекта Комптона на свободном электроне фотон с энергией 0,51 МэВ был рассеян на угол $\theta = \pi/3$. Определить импульс, приобретенный электроном.

583. Фотон при эффекте Комптона на свободном электроне был рассеян на угол $\theta=3\pi/2$. Определить импульс, приобретенный электроном, если энергия фотона до рассеяния была 1,02 МэВ.

584. Энергия фотона до рассеяния на свободном электроне равна энергии покоя электрона. Определить, какую долю своей энергии фотон передал электрону, если угол рассеяния фотона 60°?

585. Энергия фотона до рассеяния на свободном электроне равна утроенной энергии покоя электрона. Определить угол рассеяния фотона, если $\frac{1}{3}$ своей энергии фотон передал электрону.

586. Фотон с длиной волны 6 пм при эффекте Комптона на свободном электроне был рассеян на угол $\theta=\pi/2$. Определить кинетическую энергию и угол рассеяния электрона.

587. Фотон при эффекте Комптона на свободном электроне был рассеян на угол $\theta = \pi/3$. Определить импульс, приобретенный электроном, если энергия фотона до рассеяния была 1,02 МэВ.

588. Определить угол рассеяния фотона при эффекте Комптона на свободном электроне, если при рассеянии фотон потерял треть своей первоначальной энергии, составляющей 1,53 МэВ .

589. Энергия фотона до рассеяния на свободном электроне равна утроенной энергии покоя электрона. Определить, какую долю своей энергии фотон передал электрону, если угол рассеяния фотона $60°$?

590. В результате эффекта Комптона на свободном электроне фотон с энергией 1,02 МэВ был рассеян на угол $\theta = \pi/2$. Определить импульс, приобретенный электроном.

Раздел II Атомная и ядерная физика.

1.1 Основные положения теории Бора

Планетарная модель атома Резерфорда позволила объяснить целый ряд накопленных опытных данных по структуре атома. Вместе с этим она встретилась с другой, казалось, неразрешимой трудностью. Дело в том, что движение электронов по эллиптической траектории является ускоренным движением, а согласно электродинамике ускоренно движущиеся электроны излучают электромагнитные волны и вследствие этого непрерывно теряют энергию. Таким образом, атом Резерфорда, состоящий из атомного ядра и обращающихся вокруг него электронов, согласно законам классической физики неустойчив, что противоречит действительности.

Эти противоречия разрешены в качественно новой – квантовой теории водородоподобного (одноэлектронного $\mathbf{H}$, $\mathbf{He^{+}}$, $\mathbf{Li^{++}}$ и т.д.) атома. В основе этой теории лежат три постулата Бора.

1. Постулат стационарных состояний.

В атоме существуют стационарные (не изменяющиеся во времени) состояния определенной энергии $\mathbf{E_n}$, в которых он не излучает энергии. Этим состояниям соответствуют стационарные орбиты, по которым движутся электроны. Движение электронов по стационарным орбитам не сопровождается излучением электромагнитных волн.

2. Второй постулат Бора (правило частот).

При переходе электрона с одной стационарной орбиты на другую излучается или поглощается фотон с энергией

$$h\nu_{km}=E_k-E_m$$

равной разности энергий соответствующих стационарных состояний до и после излучения или поглощения. При $\mathbf{E_k > E_m}$ происходит излучение фотона, т.е. переход атома на близлежащую к ядру орбиту, при $\mathbf{E_k < E_m}$ поглощение, т.е. переход на более удаленную орбиту

.

3. Постулат квантования момента импульса.

В стационарном состоянии атома электрон, двигаясь по круговой орбите, должен иметь дискретные квантованные значения момента импульса, удовлетворяющие условию

$$m_e v_n r_n = n\frac{h}{2\pi} \qquad (n=1,2,\ldots),$$

где m_e-масса электрона; v_n-его скорость по **n**-й орбите радиуса r_n; $h=6{,}63\cdot10^{-34}$ **Дж·с**- постоянная Планка.

1.2 Модель водородоподобного атома по Бору

В предположении, что электрон движется в водородоподобном атоме по круговой орбите, постулаты Бора позволяют найти:

1) радиусы r_n стационарных орбит электрона:

$$r_n = n^2 \frac{h^2\varepsilon_0}{\pi m Z e^2}$$

2) энергетические уровни E_n электрона в атоме

$$E_n = -\frac{m_e Z^2 e^4}{8h^2\varepsilon_0^2}\cdot\frac{1}{n^2}$$

3) частоту света, испускаемого (поглощаемого) при переходе $k \to m$

$$\nu_{km} = Z^2 R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{k^2}\right),$$

здесь $R=3{,}2921\cdot10^{15}\ c^{-1}$- постоянная Ридберга, $k=m+1, m+2, \ldots$

4) длину волны излучения, связанного с переходом $k\to m$

$$\lambda = \frac{c}{\nu_{km}} = \frac{hc}{E_k - E_m}$$

1.3 Корпускулярно-волновой дуализм

Согласно де Бройлю, с каждым микрообъектом связываются, с одной стороны, корпускулярные характеристики - энергия **E** и импульс **p** , а с другой - волновые характеристики – частота ν и длина волны λ. Количественные соотношения, связывающие корпускулярные и волновые свойства частиц, такие же, как для фотона:

$$E = h\nu \qquad\qquad p = \frac{h}{\lambda}$$

В классической механике ($v \ll c$) импульс определен формулой $\vec{p} = m\vec{v}$, где **m**- масса частицы.

Для релятивистских условий, когда скорость движения соизмерима со скоростью света в вакууме:

$$\vec{p} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

Выражая импульс через кинетическую энергию E_k, получаем для классической механики:

$$\mathbf{p} = \sqrt{\mathbf{2mE_к}}$$

для релятивистских условий:

$$\mathbf{p} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{c}}\sqrt{\mathbf{E_k}\left(\mathbf{E_k} + \mathbf{2E_0}\right)},$$ где $\mathbf{E_0}$ – энергия покоя.

1.4 Соотношение неопределенностей

В силу двойственной корпускулярно-волновой природы частиц вещества существуют ограничения в применении к микрообъектам понятий классической механики, в частности, понятия траектории. Дело в том, что понятие «длина волны в данной точке» лишено физического смысла- это понятие интегральное. С другой стороны, длина волны однозначно связана с импульсом. Таким образом, если микрочастица имеет определенный импульс, она имеет определенную длину волны и, следовательно, полностью неопределенную координату.

В общем виде эта связь выражается принципом неопределенности Гейзенберга:

а) для координат и импульса:

$$\mathbf{\Delta p_x \cdot \Delta x \geq \frac{h}{2\pi}}$$

$$\mathbf{\Delta p_y \cdot \Delta y \geq \frac{h}{2\pi}}$$

$$\mathbf{\Delta p_z \cdot \Delta z \geq \frac{h}{2\pi}},$$

где $\mathbf{\Delta p_i}$- неопределенность проекции импульса на ось $\mathbf{i}$; $\mathbf{\Delta x}$, $\mathbf{\Delta y}$, $\mathbf{\Delta z}$ - неопределенности координат.

б) для энергии и времени:

$$\mathbf{\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{2\pi}},$$

где $\mathbf{\Delta E}$ и $\mathbf{\Delta t}$ - неопределенности энергии и времени, в течение которого измеряется энергия.

Соотношение неопределенностей не ставит предел в познании микромира. Оно является квантовым ограничением применимости классической механики к микрообъектам.

1.5 Одномерное стационарное уравнение Шредингера

Более последовательной теорией описания микрочастиц в различных силовых полях является квантовая механика. Основным уравнением этой теорией является уравнение Шредингера относительно волновой функции микрочастицы, например электрона в водородоподобном атоме.

В простейшем случае одномерного движения для стационарных силовых полей **U=U(x)** уравнение Шредингера принимает вид:

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2}(E - U)\Psi = 0,$$

где **E** и **U** – полная и потенциальная энергия частицы; **Ψ(x)** – координатная часть волновой функции.

Физический смысл волновой функции раскрывается через вероятность обнаружения частицы в интервале координат **(x,x+dx)**:

$dw = |\Psi(x)|^2 dx$, где $|\Psi(x)|^2$- плотность вероятности**.**

Вероятность обнаружить частицу в конечном интервале координат (например, в одномерной потенциальной яме) от x_1 до x_2**:**

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

Пусть **L -** ширина потенциальной ямы при бесконечных значениях потенциальной энергии на краях ямы. Тогда собственные значения энергии частицы на энергетическом уровне с квантовым числом **n** определяются формулой:

$$E_n = \frac{h^2}{8mL^2} \cdot n^2$$

Соответствующая этой энергии волновая функция частицы в потенциальной яме:

$$\psi(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin\left(\frac{\pi n}{L} x\right)$$

Среднее значение местоположения частицы в интервале (x_1,x_2) определяется по формуле

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

1.6 Дефект массы и энергия связи ядра

Атомное ядро любого химического элемента состоит из положительно заряженных частиц – протонов и не имеющих электрического заряда нейтронов. Количество протонов **Z** в ядре совпадает с атомным номером соответствующего химического элемента в периодической таблице Менделеева. Число нейтронов в ядре обозначается через **N**. Массовым числом **A** ядра называется общее число
нуклонов в ядре: **A=Z+N**. Символ обозначения ядра $^{A}_{Z}X$**,** где **X**- обозначение атома данного химического элемента. Ядра с одним и тем же числом протонов, но с разными значениями **A** называются изотопами.

Массы ядер и атомов измеряются в атомных единицах массы (**а.е.м.**). За атомную единицу массы принимается **1/12** массы изотопа углерода $^{12}_{6}\mathbf{C}$

$$\mathbf{1\,а.е.м. = 1{,}66 \cdot 10^{-27}\,кг = \frac{1}{c^2}931{,}5(МэВ)}$$

Атомные ядра являются устойчивыми образованиями, следовательно, для разделения ядра на составные части необходимо затратить вполне определенное количество энергии. Энергия, которую необходимо затратить, чтобы расщепить ядро на отдельные нуклоны, без сообщения им кинетической энергии, называется энергией связи ядра.

Энергия связи атомного ядра $\mathbf{E_{св}}$ определяется через дефект масс $\mathbf{\Delta m}$, т.е. через разность между суммарной массой всех нуклонов ядра в свободном состоянии и массой ядра $\mathbf{m_я}$:

$$\mathbf{E_{св}=\Delta mc^2=(Zm_p+Nm_n-m_я)c^2}$$

здесь $\mathbf{m_p}$ и $\mathbf{m_n}$ – соответственно массы протона и нейтрона.

В справочных таблицах, как правило, приводятся не массы ядер, а массы $\mathbf{M_a}$ атомов. В пренебрежении энергией взаимодействия электронов с ядрами в сравнении с энергией ядерного взаимодействия можно записать:

$$\mathbf{M_a=m_я+Zm_e}\,,$$

и, следовательно, переписать дефект масс в виде:

$$\mathbf{\Delta m=Z\,M_{^1_1H}+Nm_n-M_a}\,,$$

здесь $\mathbf{M_{^1_1H}=m_p+m_e}$ – масса изотопа водорода $^{1}_{1}\mathbf{H}$.

Отношение энергии связи ядра $\mathbf{\Delta E_{св}}$ к числу нуклонов **А** в ядре называется удельной энергией связи нуклонов в ядре. Удельная энергия связи нуклонов в атомных ядрах в сотни тысяч раз превосходит энергию связи электронов в атомах.

1.7 Радиоактивный распад

Радиоактивность представляет собой самопроизвольное превращение неустойчивых ядер одного элемента в ядра другого, в результате чего происходит излучение **α**- или **β**-частиц, которые представляют собой соответственно ядра атомов гелия $^{4}_{2}\mathbf{He}$ и электроны с высокой кинетической энергией. В тех случаях, когда атомное ядро переходит из возбужденного состояния в основное или промежуточное, радиоактивность сопровождается жестким электромагнитным излучением.

Распад ядер– явление случайное: невозможно сказать, что происходит с данным ядром; оно может, как претерпеть распад, так и сохраниться независимо от того,
сколько времени оно вообще существовало. Теория самопроизвольного радиоактивного распада основывается на двух предположениях:

1) число ядер, распадающихся за время dt, пропорционально числу нераспавшихся ядер:

$$\mathbf{dN=-\lambda Ndt}$$

2) коэффициент пропорциональности λ в этом уравнении называется постоянной распада, характеризующей вероятность 1 распада в 1 секунду, есть величина, не зависящая от времени.

Интегрируя уравнение **$dN=-\lambda Ndt$** , получаем основной закон радиоактивного распада:

$$\mathbf{N(t)=N_0e^{-\lambda t}}\ ,$$

где **N_0**- число нераспавшихся ядер в момент времени **$t=0$**;**$N(t)$** – число нераспавшихся ядер в момент времени **t**.

Число ядер, распавшихся за время **Δt**:

$$\mathbf{\Delta N=N(t)-N(t+\Delta t)=N(t)(1-e^{-\lambda\Delta t})}$$

Если интервал времени распада **Δt** очень мал по сравнению с периодом полураспада **T**, то число ядер, распавшихся за время **Δt**, можно найти по приближенной формуле:

$$\mathbf{\Delta N=\lambda N(t)\Delta t}$$

Период полураспада **T**– это промежуток времени, за который число нераспавшихся ядер уменьшается в два раза (см. рис. 1.1).

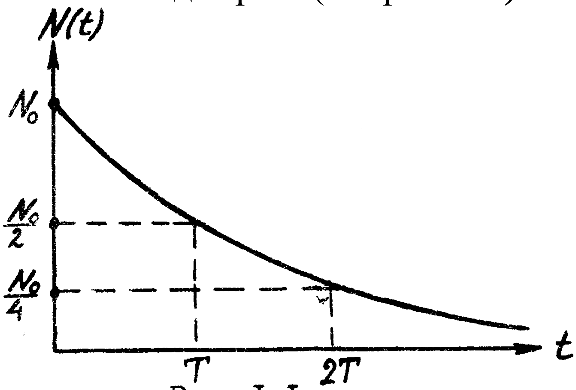


Рис. I.I

За время **2T** число ядер снижается в 4 раза и т.д. Связь между периодом полураспада и постоянной распада

$$\mathbf{T=\frac{ln2}{\lambda}=\frac{0,693}{\lambda}}$$

Число ядер, содержащихся в массе **m** радиоактивного вещества:

$$\mathbf{N = \frac{m}{\mu} N_A},$$

где **μ** – молярная масса вещества; $\mathbf{N_A}$– число Авогадро ($\mathbf{N_A}=6{,}02\cdot10^{23}$ моль$^{-1}$).

Активность радиоактивного препарата – это число ядер, распавшихся в единицу времени:

$$\mathbf{a = -\frac{dN}{dt} = \lambda N(t)}$$

или

$$\mathbf{a = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = a_0 e^{-\lambda t}},$$

где $\mathbf{a_0=\lambda N_0}$– активность в начальный момент времени.

Единица активности в СИ – беккерель (Бк): 1 Бк – активность изотопа, при которой за 1 с происходит один акт распада.
Внесистемная единица – кюри (Ku) : 1 Ku=$3{,}7\cdot10^{10}$ Бк.
Удельной активностью называется число распадов в 1 с на единицу массы распадающегося вещества**.**

1.8 Правила смещения при радиоактивном распаде

В процессах радиоактивного распада имеют место так называемые правила смещения, позволяющие определить массовое число и заряд ядра нового элемента, возникающего в результате **α-** и **β-** превращений:

при α - распаде $\mathbf{{}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He}$

при **β** - распаде $\mathbf{{}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e}$

при **γ-** излучении значения **A** и **Z** у ядра не изменяются.

Если дочернее ядро **Y** также оказывается радиоактивным, то возникает цепочка радиоактивных превращений. Из правил смещения видно, что массовое число при **α -** распаде уменьшается на 4, а при **β -**распаде не меняется. Следовательно, для всех ядер одного и того же радиоактивного семейства остаток от деления массового числа на 4 одинаков, т.е. существует четыре различных семейства, для каждого из которых массовые числа определяются значениями

$$\mathbf{A = 4n,\ \ 4n+1,\ \ 4n+2,\ \ 4n+3,}$$

где **n** – целое положительное число.

Семейства начинаются на наиболее долгоживущем (с наибольшим периодом полураспада) «родоначальнике» семейства: тории , уране и актинии

$$\mathbf{{}^{232}_{90}Th \quad {}^{238}_{92}U \quad {}^{235}_{89}Ac}$$

и заканчиваются после цепочки **α-** и **β-** превращений на устойчивых изотопах свинца:

$$^{208}_{82}\mathbf{Pb} \quad ^{206}_{82}\mathbf{Pb} \quad ^{207}_{82}\mathbf{Pb}$$

Семейство **4n+1** нептуния $^{237}_{93}\mathbf{Np}$ состоит из цепочки искусственно-радиоактивных ядер и заканчивается висмутом $^{209}_{90}\mathbf{Bi}$.

1.9 Ядерные реакции

Ядерные реакции – это превращения атомных ядер, вызванные взаимодействиями их друг с другом или с элементарными частицами.

Как правило, в ядерных реакциях участвуют два ядра и две частицы. Развернутый вид ядерной реакции выглядит, к примеру, следующим образом:

$$^{A_1}_{Z_1}\mathbf{X} + ^{A_2}_{Z_2}\mathbf{a} \rightarrow ^{A_3}_{Z_3}\mathbf{Y} + ^{A_4}_{Z_4}\mathbf{b}$$

При ядерных реакциях выполняются законы сохранения массового и зарядового числа

$$\mathbf{A_1+A_2=A_3+A_4} \quad \text{и} \quad \mathbf{Z_1+Z_2=Z_3+Z_4},$$

где индексы 1 и 2 относятся к исходным реагентам, а 3 и 4 – к продуктам реакции. В законе сохранения зарядового числа учитывается знак заряда реагента (алгебраическая сумма). Кроме того, выполняются закон сохранения импульса и релятивистской полной энергии.

Широко распространен сокращенный способ записи ядерных реакций согласно следующему правилу: вначале записывается бомбардируемое ядро (ядро- мишень), затем в скобках указывается на первом месте налетающая частица (частица-снаряд), а за ней – все частицы, вылетевшие в результате реакции; после скобок обозначается окончательно получившееся ядро (ядро-продукт). Сокращенная запись реакции представима в виде:

$$^{A_1}_{Z_1}\mathbf{X}\left(^{A_2}_{Z_2}\mathbf{a}, ^{A_3}_{Z_3}\mathbf{b}\right)^{A_4}_{Z_4}\mathbf{Y}$$

Энергетический эффект ядерной реакции рассчитывается по формуле:

$$\mathbf{Q=c^2[(m_1+m_2)-(m_3+m_4)]} \ ,$$

где $\mathbf{m_i}$ – массы реагентов.

Если $\mathbf{(m_1+m_2)>(m_3+m_4)}$**,** то энергия выделяется, энергетический эффект положителен $\mathbf{(Q>0)}$ – экзотермическая реакция. В противном случае – $\mathbf{(Q<0)}$**,** реакция эндотермическая.

При расчете энергии (или мощности), выделяющейся при работе ядерного реактора надо учитывать, что при делении одного ядра урана –235 освобождается энергия 200 МэВ.

Число разделившихся ядер при полном делении массы **m** ядерного горючего определяется по формуле:

$$\mathbf{N} = \frac{\mathbf{m}}{\boldsymbol{\mu}}\mathbf{N_A}$$

Распад радиоактивного вещества является частным случаем ядерной реакции, однако в этом случае реакция самопроизвольно идет всегда в одну сторону – в сторону получения продуктов распада. Это объясняется тем, что сумма масс продуктов распада всегда меньше, чем масса делящегося вещества. Избыток энергии выделяется в виде кинетической энергии частиц – продуктов распада.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 1.Найти энергию фотона для третьей линии серии Лаймана спектра атома водорода (рис. 2.1.).

Решение.

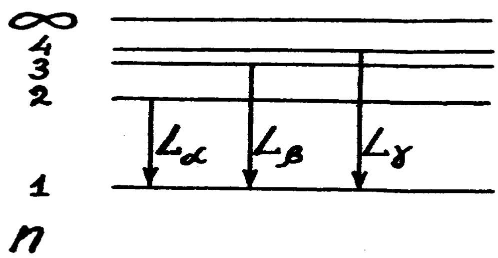


Рис. 2.I

Третья линия серии Лаймана испускается при переходе электрона с уровня **n**=4 на уровень 1 (ее обозначают $\mathbf{L_\gamma}$).Энергию фотона определяют по формуле:

$$\boldsymbol{\varepsilon_\gamma = h\nu_{41} = Rhc\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{4^2}\right) \cong 20{,}4 \cdot 10^{-19}(Дж) = 12{,}75\ (эВ)}$$

Пример 2. Найти длину волны де Бройля электрона, прошедшего разность потенциалов 1 МВ. Найти скорость электрона.

Решение. Кинетическая энергия электрона, прошедшего разность потенциалов **U**, равна:

$$\mathbf{E_K = eU = 1 \cdot 10^6 = 10^6(эВ) = 1{,}6 \cdot 10^{-13}(Дж)}$$

Сравним кинетическую энергию электрона с его энергией покоя $\mathbf{E_0}$, чтобы определить, в каких условиях находится частица- классических или релятивистских:

$$E_0 = m_e c^2 = 9{,}1\cdot10^{-31}\cdot(3\cdot10^8)^2 = 0{,}82\cdot10^{-13}(Дж)$$

Так как $\frac{E_К}{E_0} > 1$, то условия релятивистские.

Для определения длины волны де Бройля применим формулу:

$$\lambda = \frac{hc}{\sqrt{(2E_0 + E_К)E_К}} = \frac{6{,}63\cdot10^{-34}\cdot3\cdot10^8}{\sqrt{1{,}6\cdot10^{-13}(2\cdot0{,}82\cdot10^{-13}+1{,}6\cdot10^{-13})}} = 8{,}75\cdot10^{-13}(м)$$

Найдем скорость движения электрона. Определим сначала величину β из формулы:

$$E = E_0 + E_К = \frac{E_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

$$\beta = \frac{\sqrt{(2E_0 + E_К)E_К}}{E_0 + E_К} \cong 0{,}941$$

Следовательно, скорость электрона:

$$V = \beta c = 0{,}941\cdot3\cdot10^8 = 2{,}82\cdot10^8 \ (м/с)$$

Заметим, что использование формул классической механики привело бы к неправильному результату для скорости. Кинетическая энергия в классических условиях

$$E_К = \frac{m_e v_{кл}^2}{2}$$

откуда

$$v_{кл} = \sqrt{\frac{2E_К}{m_e}} \cong 5{,}95\cdot10^8(м/с) > 3\cdot10^8(м/с)$$

Видно, что $v_{кл} > c$, что вообще невозможно.

Пример 3. Кинетическая энергия электрона в атоме водорода порядка 10 эВ. Оценить минимальный размер атома водорода, используя соотношение неопределенностей.

Решение. Для координаты и импульса соотношение неопределенностей имеет вид:

$$\Delta p_x \cdot \Delta x \geq \frac{h}{2\pi}$$

Полагая линейные размеры атома вдоль оси OX равными L, находим неопределенность координаты электрона, находящегося внутри атома:

$$\Delta x \cong \frac{L}{2}$$

Подставляя в соотношение неопределенностей, получаем

$$\Delta p_x \cdot \frac{L}{2} \geq \frac{h}{2\pi}$$

откуда

$$L \geq \frac{h}{\pi \cdot \Delta p_x}$$

Неопределенность импульса не должна превышать значения самого импульса, т.е.

$$\Delta p_x = p_e = \sqrt{2m_e E_k} \,,$$

где $E_к$- кинетическая энергия электрона (**$E_к \approx 10$ эВ « $E_o = 0{,}511$ МэВ**). Заменяя **ΔP_x** максимальным его значением – импульсом электрона, получаем:

$$L_{min} = \frac{h}{\pi\sqrt{2m_e E_k}} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}}{3{,}14\sqrt{2 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}}} \cong 1{,}23 \cdot 10^{-10}\ (м)$$

__Пример 4__. Электрон размещается в одномерной, бесконечно глубокой потенциальной яме шириной l. Найти вероятность того, что электрон в возбужденном состоянии с **n**=2 будет находиться в средней трети ямы.

__Решение__. Пусть яма расположена в интервале **(0 , L)** оси **x** , вероятность обнаружить частицу в интервале **(L/3 , 2L/3).**

$$w = \int_{\frac{L}{3}}^{2\frac{L}{3}} |\psi(x)|^2 dx$$

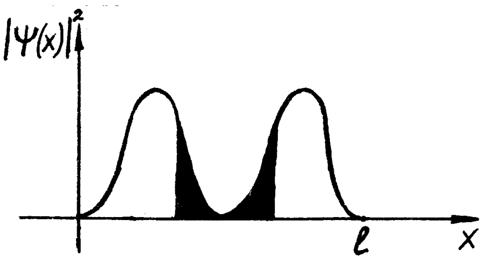


Рис. 2.2

Для частицы в возбужденном состоянии **n=2** волновая функция определена формулой (рис. 2.2):

$$\Psi_2(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin\left(\frac{2\pi}{L} x\right)$$

Подставляя ее в формулу для **w** получаем:

$$w = \frac{L}{2} \int_{\frac{L}{3}}^{2\frac{L}{3}} \sin^2\left(\frac{2\pi}{L} x\right) dx$$

Для интегрирования произведем замену:

$$\sin^2\left(\frac{2\pi}{L}x\right)=\frac{1}{2}\left[1-\cos\left(\frac{4\pi}{L}x\right)\right]$$

Тогда

$$w=\frac{1}{L}\left\{\int_{\frac{L}{3}}^{2\frac{L}{3}}dx-\int_{\frac{L}{3}}^{2\frac{L}{3}}\cos\left(\frac{4\pi}{L}x\right)\right\}=\frac{1}{L}\left\{\frac{L}{3}-\frac{L}{4\pi}\sin\frac{4\pi}{L}x\Big|_{\frac{L}{3}}^{2\frac{L}{3}}\right\}=\frac{1}{3}-\frac{1}{4\pi}\left(\sin\frac{8\pi}{3}-\sin\frac{4\pi}{3}\right)\cong 0{,}195$$

Пример 5. Найти энергию связи и удельную энергию связи ядра атома бериллия $^{10}_{4}\mathbf{Be}$

Решение. Энергию связи ядра найдем из выражения:

$$E_{св}=c^2\Delta m,$$

где Δm - дефект массы

$$\Delta m=Zm_p+(A-Z)m_n-M_я^{Be},$$

где m_p, m_n и $M_я^{Be}$ - массы протона, нейтрона и ядра соответственно. Так как в таблице 2.3 приложения даны массы не ядер, а нейтральных атомов учтем это:

$$M_я=M_a-Zm_e,$$

где m_e – масса электрона, тогда выражение для дефекта будет выглядеть следующим образом:

$$\Delta m=Zm_p+(A-Z)m_n-M_a^{Be}+Zm_e \quad \text{или} \quad \Delta m=Z(m_p+m_e)+(A-Z)m_n-M_a^{Be}$$

Энергию связи ядра Be^{10}_{4} найдем, умножив дефект массы на **c^2=931,5 МэВ/а.е.м.**

$$E_{св}=c^2[Z(m_p+m_e)+(A-Z)m_n-M_a^{Be}]$$

Воспользовавшись таблицами 2.3 и 2.4 приложения , получим:

$$E_{св}=931{,}5[4(1{,}00728+0{,}00055)+6\cdot1{,}00867-10{,}01354]=65\ (МэВ)$$

Удельную энергию связи, т.е. энергию связи приходящуюся на один нуклон, найдем, разделив $E_{св}$ на общее число нуклонов:

$$E_{св\ уд}=\frac{E_{св}}{A}=\frac{E_{св}}{10}=6.5(МэВ/нукл.)$$

<u>Пример 6</u>. При измерении периода полураспада счетчик в течении 1 мин насчитал 250 импульсов, а спустя 1 час после начала первого измерения- 92 импульса в минуту. Найти постоянную распада $\boldsymbol{\lambda}$ и период полураспада **T**.

<u>Решение</u>. Число импульсов $\mathbf{\Delta n}$ регистрируемых счетчиком за время $\mathbf{\Delta t}$, пропорционально числу распадов $\mathbf{\Delta N}$. При первом измерении

$$\Delta n_1 = k\Delta N_1 = kN_1\left(1 - e^{-\lambda\Delta t_1}\right) \qquad \mathbf{(1)}$$

где $\mathbf{N_1}$-количество нераспавшихся радиоактивных ядер к моменту начала первого счета; **k**-коэффициент пропорциональности.

При втором измерении

$$\Delta n_2 = k\Delta N_2 = kN_2\left(1 - e^{-\lambda\Delta t_2}\right), \qquad \mathbf{(2)}$$

где $\mathbf{N_2}$-количество нераспавшихся ядер к началу второго измерения; $\mathbf{\Delta t_2 = \Delta t_1 = 1}$ мин
времена измерений.

Согласно закону радиоактивного распада

$$N_1 = N_0 e^{-\lambda\Delta t_1} \quad \text{и} \quad N_2 = N_0 e^{-\lambda(\Delta t_1 + \Delta t)}, \qquad (3)$$

где $\mathbf{\Delta t}$ -время, прошедшее от первого до второго измерения (по условию $\mathbf{\Delta t}$=60 мин),

Разделим уравнение (2) на уравнение (1) и, учитывая (3), получим:

$$\frac{\Delta n_2}{\Delta n_1} = e^{-\lambda\Delta t} \quad \text{или}$$

$$\frac{\Delta n_1}{\Delta n_2} = e^{\lambda\Delta t}$$

После логарифмирования получим:

$$\ln\frac{\Delta n_1}{\Delta n_2} = \lambda\Delta t$$

Итак, постоянная распада

$$\lambda = \frac{1}{\Delta t}\ln\frac{\Delta n_1}{\Delta n_2} = \frac{1}{60}\ln\frac{250}{92} \cong 0{,}0166 \quad \left(\text{мин}^{-1}\right),$$

период полураспада:

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0{,}693}{0{,}0166} = 41{,}5 \ (\text{мин})$$

<u>Пример 7</u>. Радиоактивное ядро магния $^{23}_{12}\mathbf{Mg}$ выбросило позитрон и нейтрино. Найти энергию $\boldsymbol{\beta}^{+}$-распада ядра.
<u>Решение</u>. Реакцию $\boldsymbol{\beta}^{+}$-распада можно записать так:

$$^{23}_{12}\mathbf{Mg}\rightarrow{}^{23}_{11}\mathbf{Na}+{}^{0}_{1}\mathbf{e}\ +{}^{0}_{0}\boldsymbol{\nu}\,,$$

здесь $^{0}_{1}\mathbf{e}$- позитрон, а $^{0}_{0}\boldsymbol{\gamma}$ -нейтрино.
Энергетический эффект ядерной реакции подсчитывается по формуле:

$$\mathbf{Q}=\mathbf{c}^{2}(\mathbf{m}^{\mathbf{Mg}}-\mathbf{m}^{\mathbf{Na}}-\mathbf{m}_{\mathbf{e}^{+}})$$

Перейдем от масс ядер к массам атомов:

$$\mathbf{Q}=\mathbf{c}^{2}\left[(\mathbf{M}^{\mathbf{Mg}}-\mathbf{12m}^{\mathbf{e}})-(\mathbf{M}^{\mathbf{Na}}-\mathbf{11m}_{\mathbf{e}})-\mathbf{m}_{\mathbf{e}^{+}}\right]$$

Так как массы электрона и позитрона одинаковы, то

$$\mathbf{Q=c^{2}(M^{Mg}\text{-}M^{Na}\text{-}2m_{e})}$$

Произведя подстановку табличных значений (см. таблицу 2.3 приложения), получаем:

$$\mathbf{Q=931{,}5(22{,}99414\text{-}22{,}98977\text{-}0{,}0011)=3{,}04(\text{МэВ})}$$

<u>Пример 8</u>. Написать недостающие обозначения ядерной реакции и найти энергию, выделяющуюся в результате этой реакции.

$$^{14}\mathbf{N(X,p)}^{14}\mathbf{C}$$

<u>Решение</u>. В развернутом виде эта ядерная реакция записывается:

$$^{14}_{7}\mathbf{N}+{}^{A}_{Z}\mathbf{X}\rightarrow{}^{1}_{1}\mathbf{p}+{}^{14}_{6}\mathbf{C}$$

В силу законов сохранения зарядового и массового числа имеем:

$$\mathbf{Z=(1+6)\text{-}7=0,\qquad A=(1+14)\text{-}14=1,}$$

т.е. налетающая частица является нейтроном $^{1}_{0}\mathbf{n}$.
Энергия реакции представима формулой:

$$\mathbf{Q=c^{2}[(M^{^{14}N}+m_{n})\text{-}(m_{p}+M^{^{14}C})}$$

или, перегруппировывая и заменяя массы ядер на массы атомов, в

$$Q = c^2\left[(M^{^{14}N} - M^{^{14}C}) + (m_n - M^{^{1}H})\right]$$

Подставляя из таблиц 2.3 и 2.4 значения входящих в эту формулу величин и учитывая связь атомной единицы массы с энергией (см. 1.6), имеем:

$$Q=931{,}5[(14{,}00307-14{,}00324)+(1{,}00867-1{,}00783)]=0{,}62\ (\text{МэВ}).$$

Пример 9.: Электрон в атоме водорода находится на энергетическом уровне $5g$. Определить орбитальный момент импульса L этого электрона, а также наименьший угол, который L может составить с осью z. Фотон какой энергии может быть испущен этим электроном спонтанно?

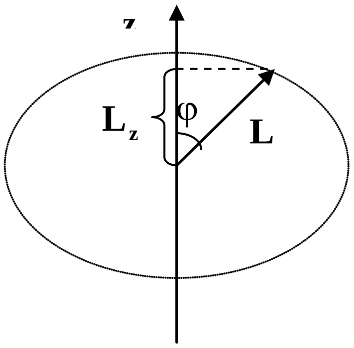
Решение: 1) В g-состояниях азимутальное квантовое число $\ell = 4$ Поэтому орбитальный момент импульса электрона

$$L = \hbar\sqrt{\ell(\ell+1)} = \hbar\sqrt{20},$$

где $\hbar = 1.05\times10^{-34}$ Дж·с - постоянная Планка. При заданной величине момента импульса (при заданном l) его проекция на ось z может быть равной

$$L_z = m\hbar, \quad (1)$$

где m - магнитное квантовое число ($m = -\ell, -\ell+1, \ldots, \ell-1, \ell$). В соответствии с (1), L_z может принимать $2\ell+1$ значение, каждому из которых соответствует определенная ориентация момента импульса относительно оси z. При этом, угол между L и осью z будет минимальным тогда, когда L_z будет максимальной (см. рис.). Согласно (1), максимальное значение проекции момента импульса на ось z



$$L_{z,max} = 4\hbar \qquad (L_{z,max} < L).$$

$$\cos\varphi = \frac{L_{z,max}}{L} = \frac{4\hbar}{\sqrt{20}\hbar} = \frac{2}{\sqrt{5}},$$

то есть $\varphi = 26.6^0$.

изменение азимутального квантового числа $\Delta\ell = \pm1$. Поэтому с уровня $5g$ электрон

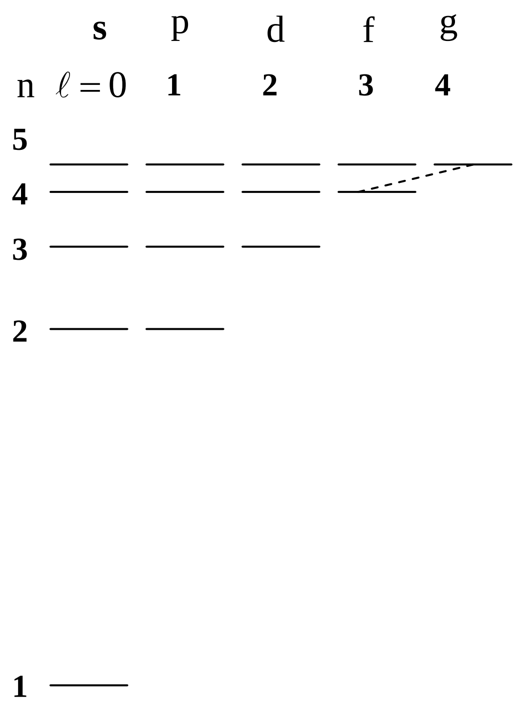
спонтанно может перейти только на уровень $4f$ ($\Delta\ell = -1$). Энергию электрона на энергетическом уровне с главным квантовым числом n можно рассчитать по формуле :

$$\mathbf{E_n = -\frac{13.6}{n^2}}\text{, }\mathbf{эВ}$$

Следовательно, энергия фотона, испускаемого при переходе $\mathbf{5g \to 4f}$, равна

$$\mathbf{E = E_5 - E_4 = 13.6 \times (\frac{1}{4^2} - \frac{1}{5^2}) = 0.306\ эВ.}$$

Схема энергетических уровней атома водорода с главным квантовым числом $n \le 5$:



Контрольная работа № 6

Указания к выполнению и оформлению контрольной работы.

К решению задач следует приступать после тщательного изучения теории соответствующего раздела. Каждая задача должна быть оформлена на отдельном листе с указанием фамилии студента, группы, номера варианта и дня сдачи. Условие задачи нужно переписывать полностью. Решение задачи должно сопровождаться подробными пояснениями. Работы, содержащие в решении только набор формул, к проверке не принимаются. Как правило, необходимо делать чертеж (рисунок), поясняющий решение задачи. Решение задачи желательно получить в общем виде, а затем подставить числовые значения заданных величин, выраженных в единицах системы СИ.

Номер варианта контрольной работы студент определяет по своему номеру в журнале группы.

№ номер в рнале ппы	Номера задач						
1	601	630	640	655	670	676	691
2	602	629	641	656	671	677	692
3	603	628	642	657	672	678	693
4	604	627	643	658	673	679	694
5	605	626	644	659	674	680	695
6	606	625	645	660	675	681	696
7	607	624	631	659	674	682	697
8	608	623	632	658	673	683	698
9	609	622	633	657	672	684	699
10	610	621	634	656	671	685	700
11	611	620	635	655	670	686	701
12	612	619	636	654	669	687	702
13	613	618	637	653	668	688	703
14	614	617	638	652	667	689	704
15	615	616	639	651	666	690	705
16	614	630	640	650	665	689	691
17	613	629	641	649	664	688	692
18	612	628	642	648	663	687	693
19	611	627	634	647	662	686	694
20	610	626	644	646	661	685	695
21	609	625	645	647	670	684	696
22	608	624	644	648	671	683	697
23	601	623	643	649	672	682	698
24	602	622	642	650	673	681	699
25	605	621	641	651	674	680	700
26	604	620	640	652	675	679	701
27	603	619	639	653	661	678	702
28	606	618	638	654	662	677	703
29	607	617	637	655	663	676	704
30	615	630	645	660	664	689	705

601. Найти потенциальную, кинетическую и полную энергию на 2-м уровне в атоме водорода.

602. Определить длины волн всех спектральных линий, которые наблюдаются в видимом диапазоне спектра атома водорода.

603. Найти и сравнить потенциальную и кинетическую энергии электрона на n-м уровне атома водорода в нерелятивистском приближении.

604. Найти λ_{min} и λ_{max} для серии Лаймана в спектре атома водорода.

605. Фотон с энергией 26,5 эВ выбил электрон из невозбужденного атома водорода. Какова скорость электрона на бесконечности?

606. Используя теорию Бора для атома водорода, определить: 1) радиус ближайшей к ядру орбиты (первый боровский радиус); 2) скорость движения электрона по этой орбите.

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

608. Определите изменение орбитального механического момента электрона при переходе его из возбужденного состояния, в основное с испусканием фотона с длиной волны $\lambda = 1{,}02 \cdot 10^{-7}$м.

609. Определите частоту света, испускаемого атомом водорода, при переходе электрона на уровень с главным квантовым числом $n = 2$, если радиус орбиты электрона уменьшился в $k = 9$ раз.

610. Определите частоту вращения электрона по третьей боровской орбите атома водорода.

611. 1) Найти наибольшую длину волны для серии Лаймана в спектре водорода; 2) какую наименьшую энергию должны иметь электроны, чтобы при возбуждении атомов водорода ударами этих электронов появилась эта линия?

612. Определить потенциал ионизации атома водорода, найдя работу удаления электрона с первой боровской орбиты за пределы атома.

613. На сколько изменилась кинетическая энергия электрона в атоме водорода при излучении фотона с длиной волны $\lambda = 486$ нм?

614. Какова должна быть длина волны монохроматического света, чтобы при возбуждении атомов водорода квантами этого света радиус орбиты электрона увеличился в 9 раз?

615. Найти: 1)радиус второй боровской орбиты для однократно ионизированного атома гелия; 2) скорость электрона на ней.

616. Найти длину волны де Бройля для электрона, движущегося со скоростью 4 Мм/с.

617. Найти длину волны де Бройля для протона, летящего со скоростью 2 Мм/с.

618. Какую ускоряющую разность потенциалов должна пройти α-частица (m_α = $4m_p$; q_α = 2e), чтобы длина ее волны составляла $2 \cdot 10^{-14}$ м.?

619. С какой скоростью движется электрон, если длина волны де Бройля у него равна комптоновской длине волны? Указание: комптоновской длиной волны называют величину $\boldsymbol{\lambda_0 = \frac{h}{m_0 c}}$, где $\mathbf{m_0}$ **-** масса покоя частицы.

620. Найти длину волны де Бройля (в нерелятивистском приближении) для электрона находящегося на третьем (n = 3) энергетическом уровне в атоме водорода и сравнить ее с радиусом третьей боровской орбиты.

621. Электрон с кинетической энергией 20эВ находится в металлической пылинке диаметром 2 мкм. Оценить (в %) относительную погрешность с которой может быть определена скорость электрона из соотношения неопределенностей.

622. Среднее время жизни нейтрона $1{,}01 \cdot 10^{-3}$с. Определить предел точности в определении массы покоя этой частицы.

623. Из соотношения неопределенностей для энергии и времени найти ширину энергетического уровня в атоме водорода, находящегося в возбужденном состоянии (время жизни электрона в этом состоянии считать равным 10^{-7}с).

624. Считая, что минимальная кинетическая энергия нуклона в ядре E_K = 8 МэВ, найти из соотношения неопределенностей размеры ядра.

625. Найти отношение дебройлевской длины волны частицы к величине неопределенности **Δx** ее координаты, соответствующей неопределенности импульса в 0,1%.

626. Определить какую ускоряющую разность потенциалов должен пройти протон, чтобы длина волны де Бройля для него была 1 пм.

627. Заряженная частица, ускоренная разностью потенциалов U = 500 В, имеет длину волны де Бройля λ = 1,282 пм. Принимая заряд этой частицы равной заряду электрона, определить ее массу.

628. Вывести зависимость между длиной волны де Бройля релятивистской частицы и ее кинетической энергией.

629. Определить отношение неопределенностей скоростей электрона, если его координата установлена с точностью до 10^{-5} м, и пылинки массой m = 10^{-12} кг, если ее координата установлена с такой же точностью.

630. Длина волны λ излучаемого атомом фотона составляет 0,6 мкм. Принимая время жизни возбужденного состояния $\Delta t = 10^{-8}$ с, определить отношение ширины энергетического уровня, на котором находился возбужденный электрон, к энергии излучаемой атомом.

631. Частица находится в потенциальной яме. Найти отношение разности соседних энергетических уровней $\Delta E_{n+1,n}$ к энергии E_n, если: 1) n = 2; 2) $n \to \infty$

632 Электрон находится в потенциальной яме шириной **L**=1нм. Найти минимальную разность энергий ΔE соседних энергетических уровней. Ответ выразить в эВ.

633. Частица в потенциальной яме находится в возбужденном состоянии (n = 3). Ширина ямы **L**. Определить, в каких точках интервала ($0<x<\mathbf{L}$) плотность вероятности обнаружить частицу имеет максимальное и минимальное значение.

634. Частица находится в потенциальной яме в основном (невозбужденном состоянии). Найти вероятность обнаружить частицу в начальной трети ямы.

635.Электрон находится в потенциальной яме шириной 2**L**. Найти вероятность нахождения электрона в основном состоянии в интервале $\Delta \mathbf{L} = \frac{1}{4} \cdot \mathbf{L}$ равноудаленном от стенок ямы.

636. Частица находится в потенциальной яме в первом возбужденном состоянии. Найти вероятность нахождения частицы в средней трети ямы.

637. Собственная волновая функция, описывающая состояние частицы в потенциальной яме, имеет вид $\psi(x) = C\sin\frac{2\pi}{L}x$. Используя условие нормировки, найти постоянную С.

638. Электрон находится в потенциальной яме шириной **L.** Найти среднее значение координаты x электрона в состоянии n = 1.

639. Электрон находится в потенциальной яме шириной 1 нм. Найти значение энергии, соответствующие n = 3, n = 10.

640. Частица находится в потенциальной яме. Найти отношение разности соседних энергетических уровней $\Delta E_{n+1,n}$ к энергии E_n для n = 5. Как оно изменится для n = 12?

641.Какова ширина **L** одномерной потенциальной ямы с бесконечно высокими стенками, если при переходе электрона со второго квантового уровня на первый излучается энергия 1 эВ? Как изменится энергия, если **L** увеличится в 10 раз?

642. Определить при какой ширине потенциальной ямы **L** дискретность энергии становится сравнимой с энергией теплового движения kT.

643. Электрон находится в потенциальной яме шириной **L**. Найти среднее значение координаты < x > электрона в состоянии n = 2.

644. Частица находится в потенциальной яме в первом возбужденном состоянии. Найти вероятность нахождения частицы в третьей четверти ямы.

645. Ширина потенциальной ямы **L** = 3 нм. Чему равна частота излученного фотона при переходе электрона с третьего квантового уровня на первый? Как она изменится при увеличении ширины ямы в три раза?

646. Найти энергию связи и удельную энергию связи ядра атома лития ${}^{7}_{3}Li$. Ответ дать в эВ и в Дж.

647. Удельная энергия связи ядра, состоящего из восьми протонов и девяти нейтронов, равна 7,51 МэВ/нукл. Определить массу нейтрального атома, обладающего таким ядром. Ответ дать в а.е.м. и в кг. Какой это элемент?

648. Найти энергию связи и удельную энергию связи ядра атома магния ${}^{23}_{12}\mathbf{Mg}$. Ответ дать в эВ и в Дж.

649. Найти массу нейтрального атома, если его ядро состоит из двух протонов и двух нейтронов, а энергия связи равна 26,3 МэВ. Ответ дать в а.е.м. и в кг. Какой это элемент?

650. Найти энергию связи и удельную энергию связи ядра атома алюминия $^{30}_{13}\mathbf{Al}$. Ответ дать в эВ и в Дж.

651. Найти массу нейтрального атома, ядро которого состоит из четырех протонов и шести нейтронов, если энергия связи этого ядра равна 65,02 МэВ. Ответ дать в а.е.м. и в кг. Какой это элемент?

652. Определить зарядовые числа ядер, массовые числа и символы ядер, которые получатся, если в ядрах $^{9}_{4}\mathbf{Be}$, $^{13}_{7}\mathbf{N}$, $^{23}_{11}\mathbf{Na}$ заменить нейтроны протонами, а протоны – нейтронами.

653. Энергия связи ядра состоящего из трех протонов и четырех нейтронов, равна 39,3 МэВ. Определить массу нейтрального атома, обладающего этим ядром. Ответ дать в а.е.м. и в кг. Какой это элемент?

654. Найти энергию связи и удельную энергию связи ядра атома кальция $^{40}_{20}\mathbf{Ca}$. Ответ дать в эВ и в Дж.

655. Какая энергия выделится при соединении одного протона и двух нейтронов в атомное ядро? Какой это элемент? Ответ дать в эВ и в Дж.

656. Найти энергию связи и удельную энергию связи ядра атома урана $^{235}_{92}\mathbf{U}$. Ответ дать в эВ и в Дж.

657. Найти массу нейтрального атома, ядро которого состоит из шести протонов и восьми нейтронов, если удельная энергия связи этого ядра равна 7,53 МэВ/нукл. Ответ дать в а.е.м. и в кг. Какой это элемент?

658. Найти энергию связи и удельную энергию связи ядра атома натрия $^{22}_{11}\mathbf{Na}$. Ответ дать в эВ и в Дж.

659. Найти энергию связи и удельную энергию связи ядра атома кремния $^{30}_{14}\mathbf{Si}$. Ответ дать в эВ и в Дж.

660. Найти энергию связи и удельную энергию связи ядра атома $^{14}_{7}\mathbf{N}$. Ответ дать в эВ и в Дж.

661. Период полураспада радиоактивного изотопа актиния $^{225}_{89}\mathbf{Ac}$ составляет 10 сут. Определить время, за которое распадается 1/3 начального количества ядер актиния.

662. Некоторый радиоактивный препарат имеет постоянную распада λ = $1{,}44 \cdot 10^{-3}$ 1/час. Через сколько времени распадется 75% первоначального количества ядер?

663.Некоторое количество радона помещено в пустой сосуд.

1) Построить на миллиметровке график зависимости относительного количества радона N/N_0 в сосуде от времени в интервале $0 \leq t < 20$ сут. через каждые двое суток. Для радона $\lambda = 0{,}811$ сут$^{-1}$.
2) Из этой кривой $N/N_0 = f(t)$ найти период полураспада.

664. Найти начальную удельную активность урана $^{235}_{92}\mathbf{U}$ и радона $^{222}_{86}\mathbf{Rn}$.

665. Ионизационный счетчик Гейгера-Мюллера в отсутствие радиоактивного препарата регистрирует определенный «фон», вызываемый космическим излучением или радиоактивными загрязнениями. Какому количеству радона соответствует «фон» если счетчик регистрирует один импульс за 5с?

666. Пользуясь таблицей Менделеева и правилами смещения, определить в какой элемент превращается $^{238}_{92}\mathbf{U}$ после трех α – и двух β - распадов?

667. Сколько процентов начального количества ядер радиоактивного изотопа распадается за время равное средней продолжительности жизни этого изотопа?

668. Ядра радиоактивного изотопа $^{232}_{90}\mathbf{Th}$ претерпевают последовательно 5 α – распадов и 2 β - распада. Определить конечный продукт реакции.

669. В результате распада 1 г радия за год образовалось некоторое количество гелия, занимающего при нормальных условиях $V = 0{,}043$ м^3. Найти из этих данных число Авогадро.

670. Определить во сколько раз начальное количество ядер радиоактивного элемента уменьшится за три года, если за 1 год оно уменьшилось в 4 раза.

671. Какое количество урана $^{238}_{92}\mathbf{U}$ имеет такую же активность как 1 мг стронция $^{90}_{38}\mathbf{Sr}$?

672. В ампулу помещаем радон, активность которого равна 400 мкюри. Через сколько времени после наполнения ампулы радон будет давать $2{,}22\cdot 10^9$ расп/с?

673. К 10 мг радиоактивного изотопа $^{45}_{20}\mathbf{Ca}$ примешали 30 мг стабильного изотопа $^{40}_{20}\mathbf{Ca}$. На сколько уменьшилась начальная удельная активность препарата?

674. Счетчик Гейгера-Мюллера, установленный вблизи препарата радиоактивного изотопа серебра, при первом измерении регистрирует 5200 импульсов в мин., а через сутки 2800 имп в мин. Определить период полураспада изотопа.

675. Определить, какая часть (в %) начального количества ядер радиоактивного изотопа останется не распавшейся по истечении времени t, равного двум средним временам жизни τ радиоактивного ядра.

676. Написать недостающие обозначения и дать развернутый вид ядерных реакций: 1) $^{19}\mathbf{F(p,x)}^{16}\ \mathbf{0}$; 2) $^{55}\mathbf{Mn(x,n)}^{55}\ \mathbf{Fe}$; 3) $^{27}\mathbf{Al(\alpha,p)X}$. Подсчитать число α и β переходов в семействе урана.

677. Написать недостающие обозначения и дать развернутый вид ядерных реакций: 1) $^{40}\mathbf{Ca(p,\alpha)X}$; 2) $^{7}\mathbf{Li(\alpha,n)X}$; 3) $^{2}\mathbf{H(d,x)}^{4}\mathbf{He}$. Подсчитать число α и β переходов в семействе тория.

678. Написать недостающие обозначения и дать развернутый вид ядерных реакций: 1) $^{14}\mathbf{N(x,p)}^{14}\ \mathbf{C}$; 2) $^{10}\mathbf{Be(d,x)}^{12}\ \mathbf{C}$; 3) $^{13}\mathbf{C(d,x)}^{4}\mathbf{He}$. Подсчитать число α и β переходов в семействе актиния.

679. Найти энергию выделяющуюся при реакции $^{27}\mathbf{Al(\alpha,p)}^{30}\mathbf{Si}$, если в реакции превращению подвергаются все ядра, содержащиеся в 3г алюминия.

680. При бомбардировке изотопа азота $^{14}_{7}\mathbf{N}$ нейтронами образуется β-радиоактивный изотоп некоторого элемента и протон. Найти энергию, выделяющуюся при β-распаде этого изотопа.

681.Рассчитать энергетический эффект ядерной реакции $^{10}\mathbf{Be(d,n)}^{11}\mathbf{B}$. Выделяется или поглощается при этом энергия?

682. В ядерной реакции $^{2}\mathbf{H(d,n)}^{3}\mathbf{He}$ выделяется энергия Е = 3,27 МэВ. Определите массу атома $^{3}_{2}\mathbf{He}$.

683. Рассчитать энергетический эффект ядерной реакции $^{14}\mathbf{N(\alpha,p)}^{17}\mathbf{O}$. Выделяется или поглощается энергия в этой реакции?

684. Ядро урана $^{238}_{92}\mathbf{U}$, захватывая быстрый нейтрон, превращается в радиоактивный изотоп урана, который претерпевает β-распад, и превращается в трансурановый элемент, который в свою очередь также претерпевает β-распад, в результате образуется плутоний. Запишите все эти процессы в виде ядерных реакций.

685. Термоядерная реакция при взрыве водородной бомбы приводит к образованию гелия из дейтерия и трития. 1) Написать уравнение ядерной реакции в развернутом виде. 2) Найти энергетический эффект. 3) Сколько энергии выделяется при расходе 3 г трития?

686. В результате углеродного цикла четыре ядра водорода $^{1}_{1}\mathbf{H}$ превращаются в ядро гелия $^{4}_{2}\mathbf{He}$, а также образуется три γ-кванта, два позитрона и два нейтрино. Запишите уравнение этой реакции, определите выделившуюся при этом энергию.

687*. Определить мощность атомной электростанции при расходе 0,32 г урана –235 в сутки, если КПД станции составляет 22%.

688*. Сколько ядер урана –235 должно делиться в 1 с, чтобы мощность ядерного реактора была равна 120 МВт?

689*. Определить, сколько тонн угля с теплотворной способностью 700 ккал/кг необходимо сжигать в сутки, чтобы создать мощность эквивалентную мощности атомной электростанции, расходующей 1 г урана за то же время (принять КПД обеих станций одинаковыми).

690*. Атомная подводная лодка имеет мощность атомных установок 14,7 МВт. Топливом служит обогащенный уран (25% $^{235}_{92}\mathbf{U}$ + 75% $^{238}_{92}\mathbf{U}$). Определить запас горючего, необходимого для месячного плавания лодки.

<u>*Примечание.</u> В задачах №№687-690 принять, что при делении ядра урана-235 выделяется энергия 200 Мэв.

691. Электрон в атоме водорода находится на энергетическом уровне **3d**. Определить орбитальный момент импульса **L** этого электрона, а также наименьший угол, который **L** может составить с осью **z**.

692. Определить возможные значения орбитального момента импульса электрона в возбужденных состояниях атома водорода, энергия возбуждения которых равна 12,09 эВ.693. Электрон в атоме водорода, находившийся на энергетическом уровне **3s**, спонтанно испустил фотон. Определить изменение орбитального момента импульса электрона.

694. Электрон в атоме водорода, находившийся на энергетическом уровне **3s,** спонтанно испустил фотон. Определить изменение энергии электрона.

695. Фотон с длиной волны $\lambda = 0{,}05$ мкм выбил электрон из покоившегося атома водорода, находившегося в основном состоянии. С какой скоростью движется этот электрон вдали от образовавшегося иона?

696. Электрон в атоме водорода, находившийся в основном состоянии, поглотил фотон и перешел в состояния с главным квантовым числом $\mathbf{n} = \mathbf{3}$. Определить изменение энергии и орбитального момента импульса электрона.

697. Определить возможные значения проекции орбитального момента импульса электрона на ось $\mathbf{z}$ и наименьший угол, который орбитальный момент импульса может иметь с этой осью, если электрон находится в $\mathbf{f}$ - состояниях.

698. Определить углы, которые спин электрона может иметь с осью $\mathbf{z}$.

699. Какие значения орбитального момента импульса может иметь электрон в атоме водорода в состояниях с главным квантовым числом $\mathbf{n} = \mathbf{3}$?

700. При возбуждении электронным ударом атомы водорода, находившиеся в основном состоянии, переходят в состояния с некоторым значением главного квантового числа $\mathbf{n}$. При этом спектр излучения атомов имеет три спектральные линии. Определить $\mathbf{n}$ и длины волн этих линий.

701. Электрон в атоме водорода, находившийся на энергетическом уровне **3d**, спонтанно испустил фотон. Определить изменение орбитального момента импульса электрона.

702. Электрон в атоме водорода, находившийся на энергетическом уровне **3d,** спонтанно испустил фотон. Определить изменение энергии электрона.

703. Определить максимальную и минимальную длину волны и максимальную и минимальную энергию фотона в серии Лаймана.

704.Определить максимальную и минимальную длину волны и максимальную и минимальную энергию фотона в серии Бальмера.

705. Определить максимальную и минимальную длину волны и максимальную и минимальную энергию фотона в серии Пашена.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 2.1

ПРИБЛИЖЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Число Авогадро	$\mathbf{N_A} = 6{,}023 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$
Постоянная Планка	$\mathbf{h} = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Дж$\cdot$с
Скорость света	$\mathbf{c} = 3 \cdot 10^{8}$ м/с
Электрическая постоянная	$\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Постоянная Ридберга	$\mathbf{R} = 1{,}098 \cdot 10^{7}$ м$^{-1}$
Масса электрона	$\mathbf{m_e} = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ кг
Заряд электрона	$\mathbf{e} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл

Таблица 2.2

НЕКОТОРЫЕ ВНЕСИСТЕМНЫЕ ЕДИНИЦЫ

Калория	1 кал = 4,14 Дж
Атомная единица массы	1 а.е.м. = $1{,}66 \cdot 10^{-27}$ кг
Электрон-вольт	1 эВ = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж

Таблица 2.3

МАССЫ НЕЙТРАЛЬНЫХ АТОМОВ (в атомных единицах массы)

Элемент	Z	Изотоп	Масса	Элемент	Z	Изотоп	Масса
Водород	1	$^{1}\mathbf{H}$	1,00783	Азот	7	$^{13}\mathbf{N}$	13,00574
		$^{2}\mathbf{H}$	2,01410			$^{14}\mathbf{N}$	14,00307
		$^{3}\mathbf{H}$	3,01605	Кислород	8	$^{16}\mathbf{O}$	15,99491
Гелий	2	$^{4}\mathbf{He}$	4,00260			$^{17}\mathbf{O}$	17,00358
Литий	3	$^{7}\mathbf{Li}$	7,01601	Натрий	11	$^{22}\mathbf{Na}$	21,99444
Бериллий	4	$^{8}\mathbf{Be}$	8,00785			$^{23}\mathbf{Na}$	22,98977
		$^{10}\mathbf{Be}$	10,01354	Магний	12	$^{23}\mathbf{Mg}$	22,99414
Бор	5	$^{10}\mathbf{B}$	10,01294	Алюминий	13	$^{27}\mathbf{Al}$	26,99010
		$^{11}\mathbf{B}$	11,00931			$^{30}\mathbf{Al}$	29,99817
Углерод	6	$^{12}\mathbf{C}$	12,00000	Кремний	14	$^{30}\mathbf{Si}$	29,98325
		$^{13}\mathbf{C}$	13,00335	Кальций	20	$^{40}\mathbf{Ca}$	39,97542
		$^{14}\mathbf{C}$	14,00324	Уран	92	$^{235}\mathbf{U}$	235,11750

Таблица 2.4

МАССА И ЭНЕРГИЯ ПОКОЯ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ И ЛЕГКИХ ЯДЕР

Частица	Обозначение	Масса		E_0 , МэВ
		кг	а.е.м.	
Электрон	**β^-, e**	$9{,}11 \odot 10^{-31}$	0,00055	0,511
Протон	**p**	$1{,}672 \odot 10^{-27}$	1,00728	938
Нейтрон	**n**	$1{,}675 \odot 10^{-27}$	1,00867	939
Дейтон	**d**	$3{,}350 \odot 10^{-27}$	2,01355	1976
α - частица	**α**	$6{,}640 \odot 10^{-27}$	4,00149	3733

Таблица 2.5

ПЕРИОДЫ ПОЛУРАСПАДА РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ

Изотоп	Тип распада	Период полураспада
Актиний $^{235}_{89}\mathbf{Ac}$	**α**	10сут = $8{,}64 \odot 10^5$ с
Магний $^{27}_{12}\mathbf{Mg}$	**β^-**	10мин = 600 с
Радий $^{219}_{88}\mathbf{Ra}$	**α**	10^{-2} с
Радий $^{226}_{88}\mathbf{Ra}$	**α, γ**	1620 лет = $5{,}12 \odot 10^{10}$ с
Радон $^{222}_{86}\mathbf{Rn}$	**α**	3,8 сут = $3{,}28 \odot 10^5$ с
Торий $^{229}_{90}\mathbf{Th}$	**α, γ**	7000 лет = $2{,}2 \odot 10^{11}$ с
Уран $^{235}_{92}\mathbf{U}$	**α**	$7 \odot 10^8$ лет = $2{,}21 \odot 10^{16}$ с
Уран $^{238}_{92}\mathbf{U}$	**α**	$4{,}5 \odot 10^9$ лет = $1{,}42 \odot 10^{17}$ с
Стронций $^{90}_{38}\mathbf{Sr}$	**β^-**	26,6 лет = $8{,}39 \odot 10^8$ с
Кальций $^{45}_{20}\mathbf{Ca}$	**β^-**	163,8 сут = $1{,}42 \odot 10^7$ с

Таблица 2.6

РАБОТА ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНОВ ИЗ МЕТАЛЛА

Металл	А, эВ
Калий	2,2
Литий	2,3
Платина	6,3
Рубидий	2,1
Серебро	4,7
Цезий	2,0
Цинк	4,0