

6. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 5 “КВАНТОВАЯ ФИЗИКА”

6.1. Методические указания к выполнению контрольной работы №

5

В контрольную работу № 5 включены задачи на следующие темы: тепловое излучение; фотоэффект; строение атома; спектры атомов; элементы квантовой механики; физика твердого тела; физика атомного ядра; радиоактивность.

Для решения задач 501...510 по теме “Тепловое излучение” необходимо изучить его основные характеристики: энергетическая светимость, спектральная поглотительная и излучательная способность тел. Особенно важно усвоить законы излучения абсолютно черного тела как оптимального излучателя для тепловых источников.

Приступая к решению задач 501...510 проработайте соответствующий материал по учебному пособию [1], с. 367...373.

Исследованию квантовой природы внешнего фотоэффекта и его закономерностей посвящено решение задач 511...520. Предварительно необходимо ознакомиться с данным явлением, рассмотреть вольт-амперную и световую характеристики, изучить этот материал по пособию [1], с. 376...381.

Решение задач 521...530 требует понимания квантовой природы спектров излучения атомов, на примере атома водорода. Следует уяснить, что излучение атомом света происходит при переходе электрона с высшего энергетического уровня на низкий. При этом излучается один квант (фотон), частота которого определяется разностью энергий соответствующих уровней. Если в задаче не указаны номера каких-либо энергетических уровней, то их можно определить по принадлежности излучения к той или иной части спектра. Проработайте этот материал по учебному пособию [1], с. 387...389, 412...426.

Задачи 531...550 на тему “Элементы квантовой механики” требуют понимания корпускулярно-волнового дуализма микрочастиц (знание волн де

Бройля и их свойств), а также знание соотношения неопределенностей как границы применимости классических представлений к микрочастицам квантовой природы.

Приступая к решению этих задач проработайте материал данной темы по пособию [1], с. 393...398.

Задачи 551...560 относятся к теме “Физика твёрдого тела”. Здесь нужно обратить внимание на зонную структуру энергетических зон твердых тел, изучить зависимость проводимости полупроводников от температуры, ознакомиться с эффектом Холла по учебному пособию [1], с. 442...450.

Исследованию элементов физики атомного ядра посвящено решение задач 561...580.

Задачи 561...570 посвящены радиоактивному излучению и закону радиоактивного распада. Проработайте этот материал по учебному пособию [1], с. 471...474.

Решение задач 571...580 требует знания состава ядра, понятий дефекта массы и энергии связи ядра, характеристик ядерных сил.

Решение задач 571...580 требует понимания закономерностей ядерных реакций, в частности законов сохранения. Обратите внимание на способ определения энергии реакции деления ядер.

Приступая к решению этих задач ознакомьтесь с этим материалом по учебному пособию [1], ч. 484...493.

Табл. 5

Вариант	Номера задач							
0	501	511	521	531	541	551	561	571
1	502	512	522	532	542	552	562	572
2	503	513	523	533	543	553	563	573
3	504	514	524	534	544	554	564	574
4	505	515	525	535	545	555	565	575
5	506	516	526	536	546	556	566	576
6	507	517	527	537	547	557	567	577
7	508	518	528	538	548	558	568	578
8	509	519	529	539	549	559	569	579

6.2. Основные законы и формулы. Примеры решения задач

6.2.1. Тепловое излучение

1. Энергетическая светимость тела R_e – это энергия, излучаемая единицей поверхности тела за единицу времени в диапазоне длин волн от 0 до ∞

$$R_e = \frac{\Phi}{t}.$$

2. Поток Φ , излучаемый (поглощаемый) телом, равен

$$\Phi = \frac{W}{t},$$

где W – энергия, излучаемая (поглощаемая) телом; t – время.

3. Закон Стефана-Больцмана

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

где R_e – энергетическая светимость (излучательность) абсолютно черного тела; $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м² · К⁴) – постоянная Стефана-Больцмана; T – термодинамическая температура.

4. Первый закон Вина (закон смещения Вина)

$$\lambda_m = b/T,$$

где λ_m – длина волны, на которую приходится максимум излучения абсолютно черного тела; $b = 2,90 \cdot 10^{-3}$ м · К – постоянная первого закона Вина.

5. Второй закон Вина

$$(r_{\lambda,T})_{\max} = b' \cdot T^5,$$

где $(r_{\lambda,T})_{\max}$ – максимальная спектральная плотность энергетической светимости абсолютно черного тела; $b' = 1,3 \cdot 10^{-5}$ Вт / (К⁵ · м³) – постоянная второго закона Вина.

Примеры решения задач

Задача 1

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

Дано:	Решение:
$\lambda_m = 0,58 \text{ мкм} = 5,8 \cdot 10^{-7} \text{ м}$	Энергетическая светимость R_e абсолютно черного тела в соответствии с законом Стефана-Больцмана пропорциональна четвертой степени термодинамической температуры и выражается формулой
$R_e - ?$	$R_e = \sigma T^4,$

(1)

где σ – постоянная Стефана-Больцмана; T – термодинамическая температура.

Температуру T можно вычислить с помощью закона Вина:

$$\lambda_m = b / T, \quad (2)$$

где b – постоянная закона смещения Вина.

Используя формулы (2) и (1), получаем

$$R_e = \sigma(b/\lambda_m)^4.$$

Произведем вычисления

$$R_e = 5,67 \cdot 10^{-8} \left(\frac{2,90 \cdot 10^{-3}}{5,8 \cdot 10^{-7}} \right)^4 \text{ Вт/м}^2 = 3,54 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2 = 35,4 \text{ МВт/м}^2 .$$

6.2.2. Фотоэффект

Энергия фотона

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

где h – постоянная Планка; $\hbar = h/2\pi$ – приведенная постоянная Планка; ν – частота фотона; $\omega = 2\pi\nu$ – циклическая частота.

Импульс фотона

$$p = h/\lambda.$$

Формула Эйнштейна для фотоэффекта

$$h\nu = A + \frac{mv_{\max}^2}{2},$$

где $h\nu$ – энергия фотона, падающего на поверхность металла; A – работа выхода электрона; $\frac{mv_{\max}^2}{2}$ – максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов.

Красная граница фотоэффекта

$$\nu_0 = A/h \quad \text{или} \quad \lambda_0 = hc/A,$$

где ν_0 и λ_0 – минимальная частота света и соответствующая длина волны, при которых еще возможен фотоэффект.

Примеры решения задач

Задача 1

Работа выхода материала фотокатода равна 3,4 эВ. Какова должна быть максимальная длина волны излучения, падающего на фотокатод, если фототок прекращается при разности потенциалов 1,2 В?

Дано:

$$A_{\text{вых}} = 3,4 \text{ эВ}$$

$$U_3 = 1,2 \text{ В}$$

$$\lambda_{\max} - ?$$

Решение:

Запишем уравнение Эйнштейна для фотоэффекта

$$\varepsilon = A_{\text{вых}} + \frac{mv_{\max}^2}{2},$$

где ε – энергия фотонов, падающих на поверхность фотокатода;

$A_{\text{вых}}$ – работа выхода электрона; $W_{\max} = \frac{mv_{\max}^2}{2}$ – максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов.

Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов равна работе сил задерживающего электрического поля, т.е.

$$\frac{mv_{\max}^2}{2} = eU_3,$$

где e – заряд электрона; U_3 – задерживающая разность потенциалов. Минимальная энергия фотонов, при которой возможен фотоэффект, равна $\varepsilon = h \frac{c}{\lambda_{\max}}$, где λ_{\max} – максимальная длина волны фотонов.

Подставим полученные соотношения в уравнение Эйнштейна, получим:

$$h \frac{c}{\lambda_{\max}} = A_{\text{вых}} + eU_3, \text{ откуда находим } \lambda_{\max}:$$

$$\lambda_{\max} = \frac{hc}{A_{\text{вых}} + eU_3}.$$

Подставим числовые значения

$$\lambda_{\max} = \frac{6,610^{-34} \cdot 310^8}{5,4 \cdot 10^{-19} + 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,2} = 2,710^{-7} \text{ м}$$

6.2.3. Физика атома. Спектры атомов

1. Полная энергия электрона в состоянии, характеризуемом главным квантовым числом n

$$E_n = -\frac{E_i Z^2}{n^2},$$

(3)

где $E_i = Rhc$ – энергия ионизации атома водорода; Z – порядковый номер элемента в таблице Менделеева; $E_i = 13,5$ эВ.

2. Энергия, излучаемая или поглощаемая атомом водорода или водородоподобным ионом

$$E = h\nu = E_{n_2} - E_{n_1} = Z^2 E_i \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right),$$

где n_1 и n_2 – главные квантовые числа, соответствующие энергетическим состояниям, между которыми совершается переход электрона.

3. Сериальная формула для определения длины волны спектра излучения атома водорода (или водородоподобного иона)

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

где λ – длина волны фотона; R – постоянная Ридберга.

Примеры решения задач

Задача 1

Атом водорода перешел из возбужденного состояния, характеризуемого главным квантовым числом, равным трем, в основное. Определить возможные спектральные линии в спектре излучения водорода. Найти максимально возможную энергию фотона.

Дано:

$$n_1 = 1$$

$$n_2 = 3$$

$$\lambda - ?$$

$$\varepsilon_{\text{ф}} - ?$$

Решение:

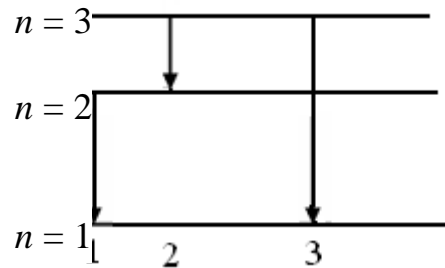


Рис. 1

Из рисунка видно, что при переходе атома из состояния, характеризуемого главным квантовым числом $n = 3$, в основное ($n = 1$), возможно излучение трех спектральных линий.

Для определения длины волны воспользуемся серийной формулой для водородоподобных ионов

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

где λ – длина волны фотона; R – постоянная Ридберга; Z – заряд ядра в относительных единицах (при $Z = 1$ формула переходит в серийную формулу для водорода); n_1 – главное квантовое число состояния, в которое перешел атом; n_2 – главное квантовое число исходного состояния.

Найдем длину волны линии, излученной при переходе атома из состояния $n_2 = 3$ в состояние $n_1 = 2$, приняв постоянную Ридберга $R = 1,1 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$:

$$\frac{1}{\lambda_1} = 1,1 \cdot 10^7 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right), \lambda_1 = \frac{36}{5} \cdot \frac{10^{-7}}{1,1} = 0,65 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 0,65 \text{ мкм.}$$

Аналогично находим длину волны спектральной линии, излученной атомом при переходе из состояния $n_2 = 2$ в состояние $n_1 = 1$.

$$\frac{1}{\lambda_2} = 1,1 \cdot 10^7 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right), \lambda_2 = \frac{4}{3} \cdot \frac{10^{-7}}{1,1} = 0,12 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 0,12 \text{ мкм.}$$

При переходе из состояния $n_2 = 3$ в состояние $n_1 = 1$ длина волны линии равна

$$\frac{1}{\lambda_3} = 1,1 \cdot 10^7 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{3^2} \right), \lambda_3 = \frac{9}{8} \cdot \frac{10^{-7}}{1,1} = 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 0,1 \text{ мкм.}$$

Энергия фотона определяется из выражения

$$\mathcal{E}_\phi = hc/\lambda,$$

где h – постоянная Планка, $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$, c – скорость света в вакууме, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.

Максимальная энергия фотона соответствует минимальной длине волны, следовательно

$$\mathcal{E}_\phi = hc/\lambda_{\min} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{10^{-7}} = 2 \cdot 10^{-18} \text{ Дж} = 12,3 \text{ эВ.}$$

6.2.4. Элементы квантовой механики

1. Длина волны де Бройля

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{2\pi\hbar}{p},$$

где p – импульс частицы.

2. Если кинетическая энергия частицы много меньше энергии покоя ($E_k \ll E_0$), то для определения импульса частиц можно пользоваться классическим выражением, т.е.

$$p = mv = \sqrt{2m_0 E_k} ,$$

где кинетическая энергия частицы $E_k = \frac{mv^2}{2}$.

3. Если кинетическая энергия частицы $E_k \geq E_0$, то импульс частицы следует вычислять по формуле релятивистской механики, т.е.

$$p = \frac{1}{c} \sqrt{(2E_0 + E_k)E_k} ,$$

где E_0 – энергия покоя частицы; E_k – кинетическая энергия частицы, равная

$$E_k = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right) ,$$

где m_0 – масса покоя частицы; v – скорость частицы.

4. Соотношения неопределенностей:

а) для координаты и импульса $\Delta p_x \Delta x \geq \hbar/2$,

где Δp_x – неопределенность проекции импульса на ось x ;

Δx – неопределенность координаты x ;

б) для энергии и времени $\Delta E \Delta t \geq \hbar/2$,

где ΔE – неопределенность энергии; Δt – время жизни квантовой системы в данном энергетическом состоянии.

Примеры решения задач

Задача 1

Электрон, начальной скоростью которого можно пренебречь, прошел ускоряющую разность потенциалов U . Найти длину волны де Бройля для двух случаев: 1) $U_1 = 51$ В; 2) $U_2 = 510$ кВ.

Дано:

|

Решение:

$$U_1 = 51 \text{ В}$$

$$U_2 = 510 \text{ кВ} = 5,1 \cdot 10^5 \text{ В}$$

$$\lambda - ?$$

Длина волны де Бройля λ для частицы зависит от ее импульса p и определяется формулой

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

(1)

где h – постоянная Планка.

Импульс частицы можно определить, если известна ее кинетическая энергия E_k . Связь импульса с кинетической энергией различна для нерелятивистского случая (когда кинетическая энергия частицы много меньше энергии ее покоя) и для релятивистского случая (когда кинетическая энергия сравнима с энергией покоя частицы):

- в нерелятивистском случае

$$p = \sqrt{2mE_k}, \quad (2)$$

- в релятивистском случае

$$p = \frac{1}{c} \sqrt{(2E_0 + E_k)E_k}, \quad (3)$$

где $E_0 = m_0c^2$ – энергия покоя частицы.

Формула (1) с учетом соотношений (2) и (3) запишется:

- в нерелятивистском случае

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}, \quad (4)$$

- в релятивистском случае

$$\lambda = \frac{h}{\frac{1}{c} \sqrt{(2E_0 + E_k)E_k}}.$$

(5)

Сравним кинетические энергии электрона, прошедшего заданные в условии задачи разности потенциалов $U_1 = 51 \text{ В}$ и $U_2 = 510 \text{ кВ}$, с энергией покоя

электрона и, в зависимости от этого, решим, которую из формул – (4) или – (5) следует применить для вычисления длины волны де Бройля.

Как известно, кинетическая энергия электрона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов U , равна

$$E_k = eU.$$

В первом случае

$E_k = eU_1 = 51 \text{ эВ} = 0,51 \cdot 10^{-4} \text{ МэВ}$, что много меньше энергии покоя электрона, равной $E = m_0 c^2 = 0,51 \text{ МэВ}$.

Следовательно, в этом случае можно применить формулу (4). Для упрощения расчетов заметим, что $E_k = 10^{-4} m_0 c^2$. Подставив это выражение в формулу (4), перепишем ее в виде

$$\lambda_1 = \frac{h}{\sqrt{2m_0 \cdot 10^{-4} m_0 c^2}} = \frac{10^2}{\sqrt{2}} \cdot \frac{h}{m_0 c}.$$

Учитывая, что $h/m_0 c$ есть комптоновская длина волны λ_k , получим:

$$\lambda_1 = \frac{10^2}{\sqrt{2}} \lambda_k.$$

Так как $\lambda_k = 2,43 \text{ пм}$, то

$$\lambda_1 = \frac{10^2}{\sqrt{2}} 2,43 \text{ пм} = 171 \text{ пм}.$$

Во втором случае кинетическая энергия

$$E_k = eU_2 = 510 \text{ кэВ} = 0,51 \text{ МэВ},$$

т.е. равна энергии покоя электрона. В этом случае необходимо применить релятивистскую формулу (5). Учитывая, что $E_k = 0,51 \text{ МэВ} = m_0 c^2$, по формуле (5) найдем

$$\lambda_2 = \frac{h}{\frac{1}{c} \sqrt{(2m_0 c^2 + m_0 c^2) m_0 c^2}} = \frac{h}{\sqrt{3m_0^2 c^2}},$$

$$\text{или } \lambda_2 = \frac{\lambda_k}{\sqrt{3}}.$$

Подставив значение λ_k и произведя вычисления, получим:

$$\lambda_2 = \frac{2,43}{\sqrt{3}} \text{ пм} = 1,40 \text{ пм.}$$

Задача 2

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

Дано:	Решение:
$E_k = 10 \text{ эВ}$	Соотношение неопределенностей для координаты и импульса имеет вид $\Delta p_x \Delta x \geq \hbar/2$, где Δp_x – неопределенность импульса частицы (электрона); Δx – неопределенность координаты частицы (в данном случае электрона); $\hbar = h/2\pi$ – приведенная постоянная Планка h .
$l_{\min} - ?$	

Из соотношения неопределенностей следует, что чем точнее определяется положение частицы в пространстве, тем более неопределенным становится импульс, а следовательно, и энергия частицы. Пусть атом имеет линейные размеры l , тогда электрон атома будет находиться где-то в пределах области с неопределенностью

$$\Delta x = l/2.$$

Соотношение неопределенностей можно записать в этом случае в виде

$$\frac{l}{2} \Delta p \geq \frac{\hbar}{2},$$

откуда

$$l \geq \frac{\hbar}{\Delta p}.$$

Физически разумная неопределенность импульса Δp , во всяком случае, не должна превышать значение самого импульса p , т. е. $\Delta p \leq p$.

Импульс p связан с кинетической энергией E_k соотношением

$$p = \sqrt{2mE_k}.$$

Заменим Δp значением $\sqrt{2mE_k}$ (такая замена не увеличит l). Перейдем к равенству

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

Подставив числовые значения и произведя вычисления, получим:

$$l_{\min} = \frac{2 \cdot 1,05 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10}} \text{ м} = 1,16 \cdot 10^{-10} \text{ м} = 116 \text{ пм}.$$

Задача 3. Оценить относительную ширину испускаемой спектральной линии, длина волны которой составляет 0,6 мкм, при переходе атома из возбужденного в основное состояние. Время жизни атома в возбужденном состоянии оставляет приблизительно $3 \cdot 10^{-7}$ с.

<p>Дано:</p> <p>$\lambda = 0,6 \text{ мкм} = 6 \cdot 10^{-7} \text{ м}$</p> <p>$\Delta t = 3 \cdot 10^{-7} \text{ с}$</p> <hr/> <p>$\frac{\Delta \nu}{\nu} - ?$</p>	<p>Решение:</p> <p>Выразим ширину испускаемой спектральной линии через энергию фотона с помощью формулы Планка:</p> <p>$\varepsilon = h\nu$, где ν – частота фотона; h – постоянная Планка; ε – энергия фотона, откуда $\Delta \nu = \frac{\Delta \varepsilon}{h}$.</p>
--	--

Частота испускаемого фотона связана с длиной волны соотношением

$$\nu = \frac{c}{\lambda},$$

где c – скорость света в вакууме.

Искомая величина $\frac{\Delta \nu}{\nu}$ равна $\frac{\Delta \nu}{\nu} = \frac{\Delta \varepsilon \lambda}{hc}$.

Для нахождения $\Delta \varepsilon$ воспользуемся соотношением неопределенностей для энергии и времени $\Delta \varepsilon \Delta t \geq \hbar/2$,

где $\Delta\varepsilon$ – неопределенность энергии; Δt – время жизни атома в возбужденном энергетическом состоянии.

$$\Delta\varepsilon = \hbar/2\Delta t.$$

Подставим $\Delta\varepsilon$ в искомую величину, получим:

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{2\lambda\hbar}{2\pi \cdot hc\Delta t} = \frac{\lambda}{\pi \cdot c \cdot \Delta t}.$$

Подставим числовые значения и находим

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{6 \cdot 10^{-7}}{4 \cdot 3,14 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 3 \cdot 10^{-7}} = 5,3 \cdot 10^{-10}.$$

6.2.5. Физика твердого тела

1. Удельная электропроводность полупроводника

$$\gamma = e(nu_n + pu_p),$$

где e – заряд электрона; n и p – концентрация носителей заряда (подвижных электронов и дырок); u_n и u_p – подвижности электронов и дырок.

В случае проводимости одного типа одним из слагаемых в выражении (1) можно пренебречь. Для чистого, беспримесного полупроводника проводимость называется собственной и в формуле для γ следует положить $n = p$.

2. Зависимость собственной удельной электропроводности полупроводника от температуры

$$\gamma = \gamma_0 \exp\left(-\frac{\Delta E}{2kT}\right),$$

где ΔE – ширина запрещенной зоны полупроводника; γ_0 – константа, почти не зависящая от температуры; k – постоянная Больцмана.

3. Холловская разность потенциалов равна

$$U_H = R_H \frac{B}{a} I,$$

где B – индукция магнитного поля; a – толщина образца; I – сила тока в образце; R_H – постоянная Холла.

4. Для полупроводника с кристаллической решеткой типа алмаза (Ge, Si) с примесной проводимостью одного типа постоянная Холла равна

$$R_H = \frac{3\pi}{8} \frac{1}{ep}.$$

Примеры решения задач

Задача 1

До какой температуры нужно нагреть образец из арсенида галлия, находящегося при температуре 0°C , чтобы его проводимость возросла в 4 раза?

<p>Дано:</p> <p>$T = 273\text{K}$</p> <p>$\gamma_2 / \gamma_1 = 4$</p> <hr style="border: 0.5px solid black;"/> <p>$T = ?$</p>	<p>Решение:</p> <p>Удельная проводимость полупроводников связана с температурой соотношением</p> $\gamma = \gamma_0 e^{-\Delta E / 2kT},$
---	---

где γ – постоянная; ΔE – ширина запрещенной зоны; k – постоянная Больцмана.

Таким образом,
$$\frac{\gamma_2}{\gamma_1} = \frac{e^{-\Delta E / 2kT_2}}{e^{-\Delta E / 2kT_1}} = \exp\left[\frac{\Delta E}{2k} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right] = 4.$$

Прологарифмируем выражение и получим:

$$\frac{\Delta E}{2k} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) = \ln 4,$$

откуда

$$T_2 = \left(\frac{1}{T_1} - \frac{2k \ln 4}{\Delta E}\right)^{-1}.$$

Полагая для арсенида галлия $\Delta E = 1,43$ эВ, произведем вычисления

$$T_2 = \left(\frac{1}{273} - \frac{1,3810^{-23} \cdot 2 \cdot 0,69}{1,43 \cdot 1,610^{-19}} \right)^{-1} = 300\text{К}.$$

Задача 2

Некоторый примесный полупроводник имеет решетку типа алмаза и обладает только дырочной проводимостью. Определить концентрацию носителей и их подвижность, если постоянная Холла равна $3,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{Кл}$.

Удельная проводимость полупроводника $110 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$.

Дано:	Решение:
$R_H = 3,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{Кл}$	Концентрация p дырок связана с постоянной Холла, которая для полупроводников с решеткой типа алмаза, обладающих носителями только одного знака, выражается формулой
$\gamma = 110 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$	
$n_p - ? \quad u_p - ?$	

$$R_H = \frac{3\pi}{8} \frac{1}{ep},$$

где e – элементарный заряд.

Отсюда

$$p = \frac{3\pi}{8} \frac{1}{eR_H}. \quad (1)$$

Запишем все величины в единицах СИ: $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$; $R_H = 3,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{Кл}$.

Подставим числовые значения величин в формулу (1) и произведем вычисления

$$p = \frac{3 \cdot 3,14}{8} \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 3,8 \cdot 10^{-4}} \text{ м}^{-3} = 1,19 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}.$$

Удельная проводимость γ полупроводников выражается формулой

$$\gamma = e(nu_n + pu_p),$$

(2)

где n и p – концентрации электронов и дырок; u_n и u_p – их подвижности.

При отсутствии электронной проводимости первое слагаемое в скобках равно нулю и формула (2) примет вид

$$\gamma = e r u_p.$$

Отсюда искомая подвижность

$$u_p = \frac{\gamma}{e r}. \quad (3)$$

Подставим в (3) выражение r по формуле (1)

$$u_p = \frac{8}{3\pi} \gamma R_H. \quad (4)$$

Подставив в (4) значения γ и R_H и произведя вычисления, получим:

$$u_p = \frac{8}{3 \cdot 3,14} 110 \cdot 3,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 / (\text{В} \cdot \text{с}) = 3,6 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2 / (\text{В} \cdot \text{с}).$$

6.2.6. Физика атомного ядра. Радиоактивность

1. Обозначение ядра химического элемента:



где X – химический символ элемента; A – массовое число (число нуклонов в ядре)

$$A = (Z + N);$$

Z – зарядовое число (число протонов); N – число нейтронов.

2. Закон радиоактивного распада

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

где N – число ядер, нераспавшихся к моменту времени t ; N_0 – число ядер в начальный момент времени ($t = 0$); λ – постоянная распада.

3. Связь периода полураспада с постоянной распада

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

Число ядер, распавшихся за время t ,

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

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

$$\Delta N \approx \lambda N \Delta t.$$

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

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

6. Число атомов N , содержащихся в радиоактивном изотопе,

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

где m – масса изотопа; μ – молярная масса; N_A – постоянная Авогадро.

7. Активность A радиоактивного изотопа

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t},$$

где dN – число ядер, распавшихся за интервал времени dt ; A_0 – активность изотопа в начальный момент времени.

В системе СИ единица активности препарата – *беккерель* (Бк)

1 Бк = 1 распад/с.

Внесистемная единица активности – *кюри* (Ки)

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}.$$

1 *Кюри* – это активность препарата изотопа радия-226 массой 1 г.

8. Дефект массы ядра

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - m_{\text{я}},$$

где m_p – масса протона; m_n – масса нейтрона; $m_{\text{я}}$ – масса ядра.

9. Энергия связи ядра

$$E_{\text{св}} = \Delta m \cdot c^2,$$

где Δm – дефект массы ядра; c – скорость света в вакууме.

$$E_{\text{св}} = 931,5 \cdot \Delta m \text{ МэВ},$$

где дефект массы Δm выражен в атомных единицах массы (а.е.м.), 931,5 – энергетический эквивалент 1 а.е.м.

10. Удельная энергия связи равна $E_{\text{св}} / A$ [МэВ/нуклон].

Примеры решения задач

Задача 1

Вычислить дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи ядра



Решение:

Дефект массы

$$\Delta m = Z \cdot m_p + N \cdot m_n - m_{\text{я}}, \text{ где } m_p - \text{масса протона; } m_n - \text{масса нейтрона;}$$

Z – количество протонов; N – количество нейтронов в ядре; $m_{\text{я}}$ – масса ядра атома.

Так как в справочной литературе всегда приводятся массы нейтральных атомов m , но не ядер, формулу для дефекта массы целесообразно преобразовать.

Масса нейтрального атома $m = m_{\text{я}} + Zm_e$, где m_e – масса электрона.

Откуда $m_{\text{я}} = m - Zm_e$. Следовательно, дефект массы будет равен

$$\Delta m = Z(m_p + m_e) + (A - Z)m_n - m.$$

Учитывая, что $(m_p + m_e) = m_{1H}$, где m_{1H} – масса атома водорода, для дефекта массы окончательно получим выражение:

$$\Delta m = Zm_{1H} + (A - Z)m_n - m.$$

В данной задаче для меди $Z = 29$, $N = A - Z = 63 - 29 = 34$

$$\Delta m = (29 \cdot 1,00783 + 34 \cdot 1,00867 - 62,92960) \text{ а.е.м.} = 0,59191 \text{ а.е.м.}$$

$$1 \text{ а.е.м.} = 1,6605655 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

$$\Delta m = 0,59191 \text{ а.е.м.} \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \frac{\text{кг}}{\text{а.е.м.}} = 0,98257 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

$$E_{\text{связи}} = \Delta m \cdot c^2 = 0,98257 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ м/с})^2 = 8,84314 \cdot 10^{-11} \text{ Дж},$$

$$\text{т.к. } 1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$E_{\text{св.}} = 5,527 \cdot 10^{-8} \text{ эВ} = 552 \text{ МэВ.}$$

Энергия связи, приходящаяся на 1 нуклон (удельная энергия связи),

$$\frac{E_{\text{св.}}}{A} = \frac{552 \text{ МэВ}}{63 \text{ нуклона}} = 8,76 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}.$$

Примечание

Ответ 552 МэВ можно было получить короче, если учесть, что энергетический эквивалент 1 а.е.м. равен 931,5 МэВ, тогда

$$E_{\text{св.}} = 0,59191 \text{ а.е.м.} \cdot 931,5 \text{ МэВ} = 552 \text{ МэВ.}$$

$$1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

$$1,6605655 \text{ кг} \cdot (2,998 \cdot 10^8 \text{ м/с})^2 = 14,9517 \cdot 10^{-11} \text{ Дж} = 931,5 \text{ МэВ.}$$

Задача 2

Определить начальную активность радиоактивного препарата магния-27 массой 0,2 мкг, а также его активность через 6 часов.

<p>Дано:</p> $m = 0,2 \text{ мкг} = 2 \cdot 10^{-10} \text{ кг}$ $t = 6 \text{ ч} = 2,16 \cdot 10^4 \text{ с}$ $T_{1/2} = 10 \text{ мин} = 600 \text{ с}$	<p>Решение:</p> <p>Активность A изотопа характеризует скорость радиоактивного распада и определяется</p>
<p>$A_0 - ?$ $A - ?$</p>	

отношением числа dN ядер, распавшихся за интервал времени dt , к этому интервалу

$$A = - \frac{dN}{dt}, \quad (1)$$

знак "-" показывает, что число N радиоактивных ядер с течением времени убывает.

Чтобы найти dN/dt , воспользуемся законом радиоактивного распада

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

где N – число радиоактивных ядер, содержащихся в изотопе в момент времени t ; N_0 – число радиоактивных ядер в момент времени, принятый за начальный ($t = 0$); λ – постоянная распада.

Продифференцируем выражение (2) по времени

$$dN / dt = -\lambda N_0 e^{-\lambda t}. \quad (3)$$

Исключив из формул (1) и (3) dN/dt , находим активность препарата в момент времени t

$$A = \lambda N_0 e^{-\lambda t}. \quad (4)$$

Начальную активность A_0 препарата получим при $t = 0$

$$A_0 = \lambda N_0. \quad (5)$$

Постоянная радиоактивного распада λ связана с периодом полураспада $T_{1/2}$ соотношением

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}. \quad (6)$$

Число N_0 радиоактивных ядер, содержащихся в изотопе, равно произведению постоянной Авогадро N_A на количество вещества ν данного изотопа

$$N_0 = \nu N_A = \frac{m}{\mu} N_A, \quad (7)$$

где m – масса изотопа; μ – молярная масса.

С учетом выражений (6) и (7) формулы (5) и (4) принимают вид:

$$A_0 = \frac{m \ln 2}{\mu T_{1/2}} N_A,$$

(8)

$$A = \frac{m \ln 2}{\mu T_{1/2}} N_A \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t\right).$$

(9)

Произведя вычисления и учитывая, что $T_{1/2} = 600$ с; $\ln 2 = 0,693$; $t = 6$ ч = $63,6 \cdot 10^3$ с = $2,16 \cdot 10^4$ с, получим:

$$A_0 = \frac{0,2 \cdot 10^{-9}}{27 \cdot 10^{-3}} \frac{0,693}{600} 6,02 \cdot 10^{23} \text{ Бк} = 5,13 \cdot 10^{12} \text{ Бк} = \frac{5,13 \cdot 10^{12}}{3,7 \cdot 10^{10}} = 138 \text{ Ку},$$

$$A = A_0 \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t\right) = 138 \exp\left(-\frac{0,693}{600} \cdot 2,16 \cdot 10^4\right) = 1,4 \text{ Ку}.$$

Задача 3

Определить расход урана-235 в ядерном реакторе атомной электростанции за 1 сутки. Электрическая мощность электростанции равна 15 МВт, КПД электростанции составляет 20 %. Считать, что при каждом акте деления ядра урана-235 выделяется энергия 200 МэВ.

Дано:

$$P_{\text{эл}} = 15 \text{ МВт} = 1,5 \cdot 10^7 \text{ Вт}$$

$$\eta = 20\% = 0,2$$

$$E = 200 \text{ МэВ} = 3,2 \cdot 10^{-11} \text{ Дж}$$

Дж

$$t = 1 \text{ сутки} = 8,6 \cdot 10^4 \text{ с}$$

m -?

Решение:

КПД электростанции определяется из соотношения:

$$\eta = \frac{P_{\text{эл}}}{P_{\text{тепл}}} \cdot 100\%,$$

откуда находим тепловую мощность станции:

$$P_{\text{тепл}} = \frac{P_{\text{эл}}}{0,2}.$$

Выразим тепловую энергию электростанции, вырабатываемую за время t :

$$P_{\text{тепл}} = \frac{W_{\text{тепл}}}{t} \Rightarrow W_{\text{тепл}} = P_{\text{тепл}} \cdot t = \frac{P_{\text{эл}}}{0,2} \cdot t.$$

Исходя из этих данных, найдем число распавшихся атомов N за сутки:

$$N = \frac{W_{\text{тепл}}}{E} = \frac{P_{\text{эл}} t}{0,2E}.$$

Выразим массу урана, распавшегося за сутки

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

где N – количество атомов, распавшихся за сутки; μ – молярная масса урана ($\mu = 235 \cdot 10^{-3}$ кг/моль); N_A – число Авогадро ($6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹).

$$m = \frac{N \cdot \mu}{N_A} = \frac{P_{\text{эл}} \cdot t \cdot \mu}{0,2 \cdot E \cdot N_A}.$$

Подставим числовые значения

$$m = \frac{N \cdot \mu}{N_A} = \frac{1,5 \cdot 10^7 \cdot 8,64 \cdot 10^4 \cdot 235 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 3,2 \cdot 10^{-11} \cdot 6,6 \cdot 10^{23}} = 0,072 \text{ кг}.$$

6.3. Задание на контрольную работу № 5

501. Абсолютно черное тело имеет температуру 500 К. Какова будет температура тела, если в результате нагревания поток излучения увеличится в 5 раз? Исходя из формулы Планка, изобразить графически начальный и конечный спектры излучения.

502. Температура абсолютно черного тела равна 2000 К. Определить длину волны, на которую приходится максимум спектра энергии излучения, и спектральную плотность энергетической светимости для этой длины волны.

503. Определить температуру и энергетическую светимость абсолютно черного тела, если максимум энергии спектра излучения приходится на длину волны 600 нм.

504. Из смотрового окошечка печи излучается поток 4 кДж/мин. Определить температуру печи, если площадь окошечка равна 8 см².

505. Поток излучения абсолютно черного тела равен 10 кВт, а максимум спектра излучения приходится на длину волны 0,8 мкм. Определить площадь излучающей поверхности.

506. Как и во сколько раз изменится поток излучения абсолютно черного тела, если максимум видимого спектра излучения переместится с красной границы спектра 780 нм на фиолетовую 390 нм?

507. Вычислить энергию (в кВт·ч), излучаемую за сутки с площади 0,5 м² нагревателя, температура которого 70 °С. Считать, что нагреватель излучает как серое тело с коэффициентом поглощения 0,3.

508. Печь, потребляющая мощность 1 кВт, имеет отверстие площадью 100 см². Определить долю мощности, рассеиваемую стенками печи, если температура ее внутренней поверхности равна 1000 К.

509. При остывании абсолютно черного тела максимум его спектра излучения сместился на 500 нм. На сколько градусов остыло тело? Начальная температура тела 2000 К.

510. Определить мощность, необходимую для накаливания вольфрамовой нити электролампы длиной 10 см и диаметром нити 1 мм до температуры 3000 К. Коэффициент поглощения нити 0,34.

511. Красная граница фотоэффекта для цинка составляет 310 нм. Определить максимальную кинетическую энергию (в электрон-вольтах) фотоэлектронов и задерживающую разность потенциалов, если на цинк падает ультрафиолетовое излучение с длиной волны 200 нм.

512. Фотоэлектроны, вылетающие с поверхности серебряной пластины, полностью задерживаются при приложении задерживающей разности

потенциалов, равной 8 В. Найти длину волны излучения, падающего на фотокатод.

513. Фотон с энергией 10 эВ выбивает электроны из серебряной пластины. Определить импульс, полученный пластиной, если принять, что направления импульсов фотона и фотоэлектрона перпендикулярны поверхности пластины.

514. На поверхность фотокатода падает ультрафиолетовое излучение с длиной волны 0,3 мкм. Задерживающая разность потенциалов, при которой фототок прекращается, равна 1,6 В. Определить красную границу фотоэффекта.

515. Какова должна быть длина волны излучения, падающего на платиновую пластину, если максимальная скорость фотоэлектронов равна 3 Мм/с?

516. Ультрафиолетовое излучение с длиной волны 0,25 мкм, направленное на металлическую пластину, вызывает фототок, который прекращается при минимальной задерживающей разности потенциалов 0,96 В. Определить работу выхода электрона из металла.

517. На поверхность металла падает ультрафиолетовое излучение с длиной волны 0,1 мкм. Красная граница фотоэффекта равна 0,3 мкм. Какая доля энергии фотона расходуется на сообщение электрону кинетической энергии?

518. На поверхность лития падает рентгеновское излучение с длиной волны 1 нм. Определить максимальную скорость фотоэлектронов. Можно ли пренебречь работой выхода электрона?

519. Две пластины, одна из которых медная, а другая из неизвестного материала, освещаются ультрафиолетовым излучением из одного и того же источника. Для фотоэлектронов из медной пластины задерживающая разность потенциалов равна 2,4 В, а для неизвестной пластины она равна 4,2 В. Найти работу выхода электронов из неизвестного материала.

520. Красная граница фотоэффекта для вольфрама равна 275 нм. Определить задерживающую разность потенциалов для электронов, вырываемых из вольфрама светом с длиной волны 180 нм.

521. Фотон, соответствующий длине волны 0,020 мкм, выбил электрон из невозбужденного атома водорода. Вычислить скорость электрона за пределами атома.

522. Найти наибольшую и наименьшую длины волн в видимой области спектра излучения атома водорода.

523. Определить все возможные спектральные линии, возникающие при переходе атома водорода из возбужденного состояния с главным квантовым числом, равным 3, в основное.

524. Атом водорода в основном состоянии поглотил фотон с длиной волны 0,1215 мкм. Определить главное квантовое число возбужденного состояния атома водорода.

525. В водородоподобном ионе лития электрон перешел из состояния с главным квантовым числом, равным четырем, в состояние, характеризуемое главным квантовым числом, равным двум. Определить энергию кванта и длину волны излучения, испущенного ионом.

526. Какую наименьшую энергию должны иметь электроны, чтобы возбужденный этими электронами спектр водорода имел три спектральные линии?

527. Определить энергию фотона, испускаемого при переходе электрона в атоме водорода из возбужденного состояния с главным квантовым числом, равным трём, в основное состояние.

528. Определить диапазон длин волн монохроматического излучения, чтобы при возбуждении атома водорода этим излучением наблюдались три спектральные линии?

529. Как изменилась энергия электрона в атоме водорода при испускании атомом фотона с частотой $1,2 \cdot 10^{15}$ Гц?

530. Какой диапазон длин волн должно иметь монохроматическое излучение, чтобы при возбуждении атомов водорода этим излучением главное квантовое число возросло в 3 раза?

531. Определить неопределенность координаты электрона, движущегося в атоме водорода со скоростью $2,0 \cdot 10^6$ м/сек, если относительная неопределенность скорости равна 0,1. Сравнить полученную неопределенность с диаметром атома водорода, вычисленным по теории Бора для основного состояния, и указать, применимо ли понятие траектории в данном случае.

532. Электрон с кинетической энергией 10 эВ находится в металлической пылинке диаметром 1 мкм. Оценить (в процентах) относительную неопределенность скорости электрона.

533. Если допустить, что неопределенность координаты движущейся частицы равна дебройлевской длине волны, то какова будет относительная неопределенность импульса этой частицы?

534. Диаметр пузырька в жидководородной пузырьковой камере составляет величину порядка 10^{-7} м. Рассчитать неопределенность в измерении скоростей электрона и α -частицы в такой камере, если неопределенность координаты принять равной диаметру пузырька.

535. Используя соотношение неопределенностей, оценить наименьшую ошибку в определении импульса электрона и протона, если координаты этих частиц определяются с точностью 50 мкм.

536. Среднее время жизни атома в возбужденном состоянии составляет $1 \cdot 10^{-8}$ с. При переходе в основное состояние атом испустил фотон с длиной волны 0,5 мкм. Оценить энергию фотона и неопределенность его длины волны.

537. Атом испустил фотон с длиной волны 700 нм. Найти наибольшую точность, с которой может быть измерена длина волны излучения, если продолжительность излучения равна 40 нс.

538. Оценить относительное уширение спектральной линии $\frac{\Delta\nu}{\nu}$, если известны время жизни атома в возбужденном состоянии ($\sim 1 \cdot 10^{-8}$ с) и длина волны излучаемого фотона, равная $6 \cdot 10^{-7}$ м.

539. Время жизни возбужденного ядра составляет величину порядка 0,5 нс, длина волны излучения равна 0,2 нм. С какой наибольшей точностью может быть определена энергия излучения?

540. Среднее время жизни атома в возбужденном состоянии составляет примерно $2 \cdot 10^{-8}$ с. При переходе атома в основное состояние испускается фотон, длина волны которого составляет 0,5 мкм. Оценить относительную ширину $\Delta\lambda/\lambda$ испускаемой спектральной линии.

541. Найти длину волны де Бройля для электрона, если его кинетическая энергия равна энергии покоя.

542. Определить длину волны де Бройля для протона, движущегося со средней квадратичной скоростью при $T = 300$ К.

543. α -частица движется в однородном магнитном поле с индукцией 5 мТл по окружности радиусом 0,8 м. Определить длину волны де Бройля α -частицы.

544. Длина волны де Бройля протона равна 2 нм. Какую ускоряющую разность потенциалов прошел протон?

545. Кинетическая энергия нейтрона равна 2 МэВ. Определить длину волны де Бройля нейтрона.

546. Кинетическая энергия протона равна его энергии покоя. Определить длину волны де Бройля для такого протона.

547. Какую ускоряющую разность потенциалов должен пройти электрон, чтобы длина волны де Бройля была равна 1,0 нм?

548. Найти длину волны де Бройля нейтрона, кинетическая энергия которого равна удвоенной энергии покоя.

549. Кинетическая энергия протона равна 1876 МэВ. Как и во сколько раз изменится длина волны де Бройля, если кинетическая энергия уменьшится в два раза?

550. Определить длину волны де Бройля протона, движущегося в магнитном поле с индукцией 1 мТл по окружности радиусом 10 см.

551. Как изменится удельное сопротивление чистого арсенид-галлиевого образца при нагреве его от комнатной температуры до 400 К?

552. Определить ширину запрещенной зоны полупроводниковой пластины, если при нагревании от 0 до 10 градусов Цельсия её удельное сопротивление уменьшилось в 2,28 раз. Из какого материала изготовлена пластина?

553. Перпендикулярно однородному магнитному полю, индукция которого равна 0,1 Тл, помещена тонкая пластинка из примесного кремния. Толщина пластинки соответствует 400 мкм. Определить плотность тока, при которой холловская разность потенциалов достигнет значения 0,5 В. Постоянную Холла для кремния принять равной $0,3 \text{ м}^3/\text{Кл}$.

554. Удельное сопротивление кремния *p*-типа равно $10^{-2} \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Определить концентрацию дырок и их подвижность. Принять постоянную Холла равной $4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{Кл}$.

555. Тонкая пластинка из кремния *p*-типа толщиной 200 мкм расположена перпендикулярно силовым линиям однородного магнитного поля с индукцией 0,5 Тл. При плотности тока $2 \text{ мкА}/\text{мм}^2$, направленного вдоль пластины, холловская разность потенциалов оказалась равной 2,8 В. Определить концентрацию носителей тока.

556. Концентрация носителей тока в чистом кремнии равна $5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$. Определить сопротивление кремниевого стержня длиной 2 см и сечением 1 мм^2 при комнатной температуре.

557. Вычислить постоянную Холла для кремния *p*-типа, если его удельное сопротивление равно $0,2 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

558. Кристалл из чистого германия, ширина запрещенной зоны которого равна 0,72 эВ, нагревают от температуры 0 °С до температуры 15 °С. Во сколько раз возрастает его удельная проводимость?

559. При нагревании кристалла из чистого кремния от температуры 0 °С до температуры 10 °С его удельная проводимость возрастает в 2,28 раза. По этим данным определить ширину запрещенной зоны кристалла кремния.

560. Найти удельное сопротивление чистого германиевого образца при температуре 100 °С, если при 20 °С оно составляет величину 0,5 Ом·м.

561. Определить, какая доля радиоактивного изотопа $^{225}_{89}\text{Ac}$ распадается в течение 6 суток.

562. Активность некоторого изотопа за 10 суток уменьшилась на 20 %. Определить период полураспада этого изотопа.

563. Определить массу изотопа $^{131}_{53}\text{I}$, имеющего активность, равную 37 ГБк.

564. Найти среднюю продолжительность жизни атома радиоактивного изотопа кобальт $^{60}_{27}\text{Co}$.

565. Счетчик α -частиц, установленный вблизи радиоактивного изотопа, при первом измерении регистрировал 1400 частиц в минуту, а через 4 часа только 400 частиц. Определить период полураспада изотопа.

566. Во сколько раз уменьшится активность изотопа $^{32}_{15}\text{P}$ через 20 суток?

567. На сколько процентов уменьшится активность изотопа $^{27}_{12}\text{Mg}$ за 7 минут?

568. Определить число ядер, распадающихся в течение времени: 1) $t_1 = 1$ мин; 2) $t_2 = 5$ сут, – в радиоактивном изотопе фосфора $^{32}_{15}\text{P}$ массой, равной 1 мг.

569. Из каждого миллиона атомов радиоактивного изотопа каждую секунду распадается 200 атомов. Определить период полураспада изотопа.

570. Найти период полураспада радиоактивного изотопа, если его активность за 10 суток уменьшилась на 24 % по сравнению с первоначальной.

571. Считая, что в одном акте деления ядра ${}^{235}_{92}\text{U}$ освобождается энергия 200 МэВ, определить энергию, выделяющуюся при делении одного килограмма изотопа ${}^{235}_{92}\text{U}$, и массу каменного угля с удельной теплотой сгорания 30 кДж/г, эквивалентную в тепловом отношении одному килограмму ${}^{235}_{92}\text{U}$.

572. При бомбардировке изотопа ${}^6_3\text{Li}$ дейтронами образуются две α -частицы, при этом выделяется энергия 22,3 МэВ. Зная массы дейтрона и α -частицы, найти массу изотопа ${}^6_3\text{Li}$ в атомных единицах массы.

573. Найти дефект массы и энергию связи трития ${}^3_1\text{H}$. Какой процент от энергии покоя ядра составляет его энергия связи?

574. Найти удельную энергию связи ${}^2_1\text{H}$ и ${}^3_2\text{He}$. Какое из этих ядер более устойчиво?

575. Найти минимальную энергию γ -кванта, достаточную для осуществления реакции деления первоначально покоившегося дейтрона γ -лучами: ${}^2_1\text{H} + h\nu \rightarrow {}^1_1\text{H} + {}^1_0n$.

576. Найти электрическую мощность атомной электростанции, расходующей 0,1 кг урана-235 в сутки, если КПД станции равен 30 %. Считать энергию, выделяющуюся при одном акте деления ядра урана-235, равной 200 МэВ.

577. Найти тепловую мощность атомного реактора, расходующего 0,1 кг урана-235 в сутки. Считать энергию, выделяющуюся при одном акте деления ядра урана-235, равной 200 МэВ.

578. Найти электрическую мощность атомной электростанции при условии, что убыль массы ТВЭЛ-ов (стержней, содержащих ядерное горючее) составляет 100 г в сутки. КПД станции равен 31 %.

579. Найти электрическую мощность атомного реактора, расходующего 0,1 кг урана-235 в сутки. КПД реактора составляет 18%. Считать энергию, выделяющуюся при одном акте деления ядра урана-235, равной 200 МэВ.

580. Определить КПД атомной станции мощностью 20 МВт, если суточный расход ядерного горючего при работе станции составляет 75 г урана-235. Считать, что при каждом акте деления ядра урана-235 выделяется энергия 200 МэВ.