СОДЕРЖАНИЕ

0 - ВАРИАНТ

Задача 1:

Дифракционная решетка, имеющая 500 штрихов на 1 мм, имеет ширину 2см. На нее нормально падает свет с длинами волн λ_1 = 550 нм и неизвестной λ_2. Определить минимальное различие $\Delta\lambda$ между λ_1 иλ_2, если их необходимо разрешить во всех порядках? В каком порядке m_n достигается наилучшее разрешение для вашей решётки? Изобразите схему эксперимента с указанием рисунка дифракционной решетки, где проставлен ее период. Кроме этого, изобразите на рисунке дифракционную картину интенсивности света на экране, пронумеруйте все главные дифракционные максимумы, которые могут быть видны на экране. ($\Delta\lambda min$ = 0.055 нм; m_n = 3)

Дано:

$n = N = 500\,мм^{-1}$

$l = 2\,см = 2*10^{-2}\,м$

$\varphi = 90\,°$

$\lambda_1 = 550\,нм$

$\Delta\lambda = ?$

$m_n = ?$

Ширина дифракционной решетки вычисляется по формуле:

$$l = d*N \ (1)$$

Из формулы (1) выразим период дифракционной решетки:

$$d = \frac{l}{N} \ (2)$$

Зная, что из дифракционная решетка имеет 500 штрихов на 1 мм, то можно вычислить период дифракционной решетки. Вычислим период дифракционной решетки по формуле (2):

$$d = \frac{l}{N} = \frac{10^{-3}\,м}{500} = 2*10^{-6}\,м$$

Рассчитаем количество штрихов на всей дифракционной решетке, для этого выразим N из формулы (1):

$$N = \frac{l}{d}\,(3)$$

Вычислим количество штрихов на дифракционной решетке по формуле (3):

$$N = \frac{2*10^{-2}\,м}{2*10^{-6}\,м} = \frac{1}{10^{-4}} = 10000$$

Запишем формулу разрешения дифракционной решетки для определенного порядка:

$$mN = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \quad (4)$$

Выразим из формулы (4) $\Delta\lambda$:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda}{mN} \, (5)$$

Так как нам известно из условий задачи, что дифракционная решетка разрешена во всех порядках, то рассмотрим $m=1$. Для разрешения дифракционной решетки $\lambda_1 \approx \lambda_2$, то тогда $\lambda = 550\,нм$. Вычислим по формуле (5) $\Delta\lambda$:

$$\Delta\lambda = \frac{550\,нм}{1*10000} = 0.055\,нм$$

Найдем порядок, в котором достигается наилучшее разрешение для нашей дифракционной решетки. Так как по формуле (4) видно, что чем выше порядок, тем больше разрешение, то необходимо найти предельный порядок дифракционной решетки, он и будет порядком с наилучшим разрешением.

Для нахождения максимального порядка воспользуемся формулой определяющие условие главных дифракционных порядков:

$$d sin\varphi = m\lambda (6)$$

Так как $sin\varphi$ не может быть больше 1, то тогда формула будет иметь следующий вид:

$$d = m\lambda (7)$$

Выразим m из формулы (7):

$$m = \frac{d}{\lambda} (8)$$

По формуле (8) вычислим предельный порядок дифракционной решетки:

$$m = \frac{2*10^{-6} м}{0.55*10^{-6} м} \approx 3.6363 ...$$

Так как порядок может быть только целым числом, то округлим его до целого в меньшую сторону

$$m = 3.6363 ... = 3$$

Рисунок дифракционной решетки:

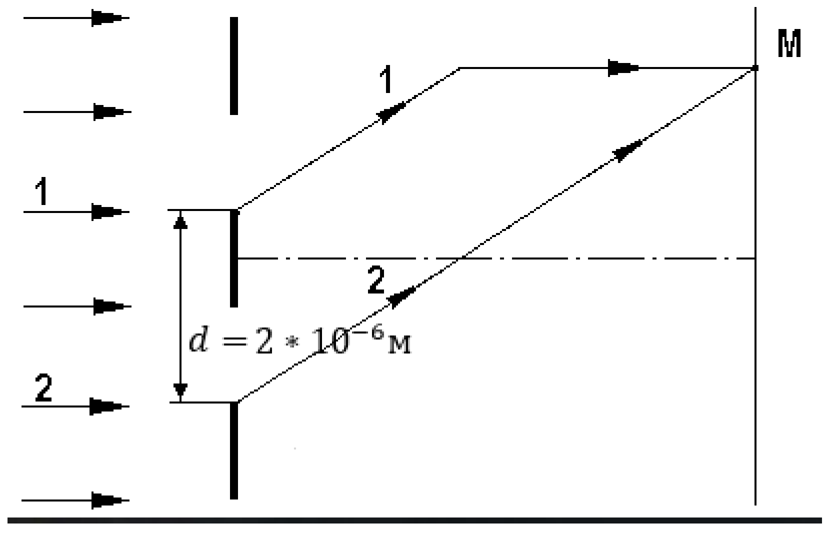
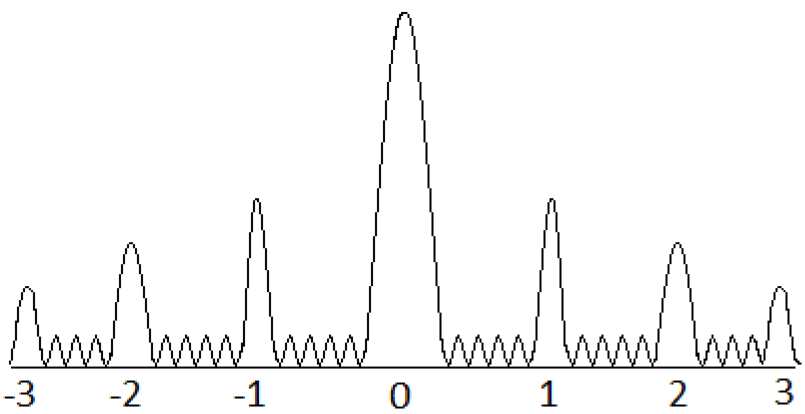


Рисунок интенсивности света:

Задача 2:



Ответ: $\Delta\lambda = 0.055\,нм,\ m = 3$

Задача 2:

Уединенный цинковый шарик облучается светом с длиной волны λ=200нм. Определить: 1) с какой наибольшей скоростью υ_m будут вылетать электроны из шарика? 2) до какого максимального потенциала φ_m зарядится шарик, теряя фотоэлектроны? Работа выхода для цинка 4 эВ. Изобразите на рисунке вольтамперную характеристику фотоэффекта (ВАХ); покажите на ВАХ ток насыщения *I*н и задерживающий потенциал *U*. (υm = 8,826 · 105 м/с; φm = 2.215 В;)

Дано:

$\lambda=200\,нм=2*10^{-7}\,м$

$A=4\,эВ=6.40870$

$\upsilon_m=?$

$\varphi_m=?$

Для решения задачи запишем уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта:

$$h\nu=A+\frac{mV_{max}^2}{2}(1)$$

Выразим из этой формулы V_{max}:

$$\frac{mV_{max}^2}{2}=h\nu-A$$

$$V_{max}^2=\frac{2(h\nu-A)}{m}$$

$$V_{max}=\sqrt{\frac{2(h\nu-A)}{m}}(2)$$

Частота падающего света ν вычисляется по формуле:

$$\nu=\frac{c}{\lambda}(3)$$

Подставим формулу (3) в формулу (2):

$$V_{max}=\sqrt{\frac{2\left(h\frac{c}{\lambda}-A\right)}{m}}(4)$$

Вычислим $V_{max}\,по\,формуле\,(4)$, если:

$h=6.63*10^{-34}\,Дж\cdot c,$

$c=3*10^8$м/с

$m=9{,}109534\cdot10^{-31}\,кг$

$$V_{max}=\sqrt{\frac{2\left(6.63*10^{-34}\,Дж\cdot c\frac{3*10^8\,м/c}{2*10^{-7}\,м}-6.40870932*10^{-19}\,Дж\right)}{9.109534\cdot10^{-31}\,кг}}\approx881131.84$$

Под воздействием света вследствие фотоэффекта из материала шарика будут эмитироваться фотоэлектроны. В результате чего шарик будет приобретать положительный заряд и соответственно положительный потенциал.

Зарядка будет происходить до того момента, пока потенциальная энергия шарика не станет равной максимальной кинетической энергии фотоэлектронов:

$$e*\varphi_{max}=E_{kmax}(5)$$

Тогда уравнение для Эйнштейна для фотоэффекта (1) примет вид:

$$hv=A+E_{kmax}$$

$$hv=A+e*\varphi_{max}(6)$$

Выразим φ_{max}:

$$e*\varphi_{max}=hv-A$$

$$\varphi_{max}=\frac{(hv-A)*1}{e}(7)$$

Подставим формулу (3) в формулу (7):

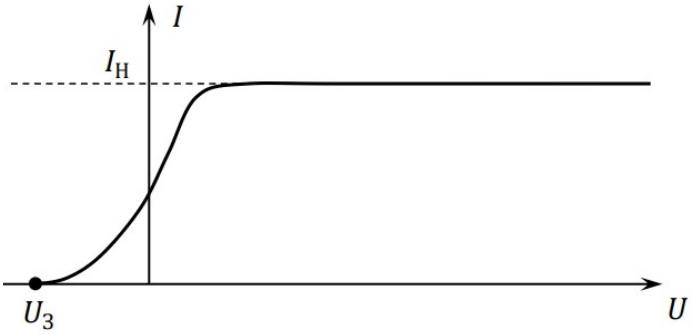
$$\varphi_{max}=\frac{\left(h\frac{c}{\lambda}-A\right)*1}{e}(8)$$

Вычислимφ_{max} по формуле (8), где

$e=1.6*10^{-19}\,Кл$

$$\varphi_{max}=\frac{\left(6.63*10^{-34}\,Дж\cdot c\,\frac{3*10^{8}\,м/с}{2*10^{-7}\,м}-6.40870932*10^{-19}\,Дж\right)*1}{1.6*10^{-19}\,Кл}\approx 2.2101816$$

ВАХ:



Задерживающееся напряжение $U_з$ вычисляется по следующей формуле:

$$\frac{mV_{max}^2}{2}=eU_з(9)$$

Подставим формулу (1) в формулу (9) и выразим $U_з$:

$$hv=A+eU_з$$

$$U_з=\frac{hv-A}{e}(10)$$

Подставим формулу (3) в формулу (10):

$$U_з=\frac{h\frac{c}{\lambda}-A}{e}(11)$$

Вычислим $U_з$ по формуле (11):

$$U_з=\frac{h\frac{c}{\lambda}-A}{e}=\frac{\left(6.63*10^{-34}Дж\cdot c\frac{3*10^8 м/с}{2*10^{-7}м}-6.40870932*10^{-19}Дж\right)*1}{1.6*10^{-19}Кл}\approx 2.2$$

Ток насыщения вычисляет $I_н$ по следующей формуле:

$$I_н=e*n(12)$$

Где n – это количество электронов, которые вылетают за 1 секунду. Так как нам оно нам не известно, мы не можем найти ток насыщения.

Ответ: $V_{max}=8.81131*10^5 м/с$, $\varphi_{max}=2.21 В$

Задача 3:

Невозбужденный атом водорода поглощает квант излучения с длиной волны 97,25 нм. Определите: 1) номер энергетического уровня возбужденного атома водорода; 2) радиус электронной орбиты возбужденного атома водорода; 3) скорость электрона на орбите возбужденного атома водорода. Изобразите на рисунке энергетическую диаграмму атома водорода, покажите на ней все переходы из возбужденного состояния в основное для вашего случая, включая промежуточные переходы. (n = 4; r = 8.48 · 10^−10м; v = 5.44 · 10^5 м/с)

Дано: | Определим уровень возбужденного атома водорода,

$\lambda = 97,25\,нм = 9,725 * 10^{-8} м$ Z = 1	Воспользовавшись выражением для энергии перехода с основного уровня на возбужденный:
$n = ?$ $r = ?$ $\upsilon = ?$	

$$h\nu = E_i(1 - \frac{1}{n^2})(1)$$

Выразим из формулы (1) уровень возбуждения n:

$$h\nu = E_i(1 - \frac{1}{n^2})$$

$$\frac{h\nu}{E_i} = 1 - \frac{1}{n^2}$$

$$\frac{1}{n^2} = 1 - \frac{h\nu}{E_i}$$

$$n^2 = \frac{1}{1 - \frac{h\nu}{E_i}}$$

$$n = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{h\nu}{E_i}}}(2)$$

Частота падающего света ν вычисляется по формуле:

$$\nu = \frac{c}{\lambda}(3)$$

Подставим формулу (3) в формулу (2):

$$n = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{h\frac{c}{\lambda}}{E_i}}}(4)$$

Вычислим уровень возбуждения по формуле (4), если:

$h = 6.63 * 10^{-34}$ *Дж·с*,

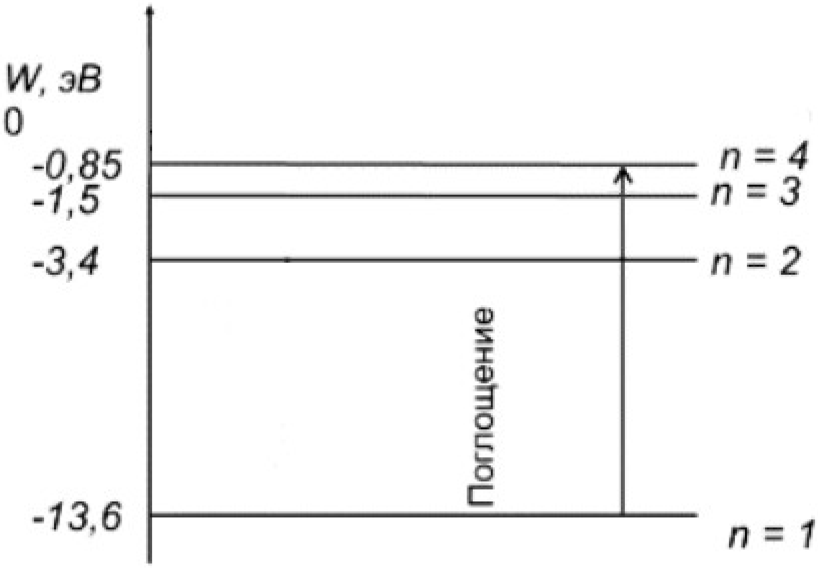
$c = 3 * 10^8$ м/с

$E_i = 21.76 * 10^{-19}$ *Дж*

$$n=\frac{1}{\sqrt{1-\frac{6.63*10^{-34}\frac{Дж\cdot c*\frac{3*10^{8}м}{c}}{9{,}725*10^{-8}м}}{21.76*10^{-19}Дж}}}\approx 4.0794$$

Так как уровень возбуждения — это целое число, то округлим полученный результат в меньшую сторону $n=4.0794=4$

Рисунок энергетической диаграммы атома водорода при переходе из основного в возбужденное состояние электроном:



Радиус орбиты электрона вычисляется по формуле:

$$r_n=a_0*n^2(5)$$

Вычислим радиус орбиты электрона, если:

$a_0=5.29*10^{-11}м$

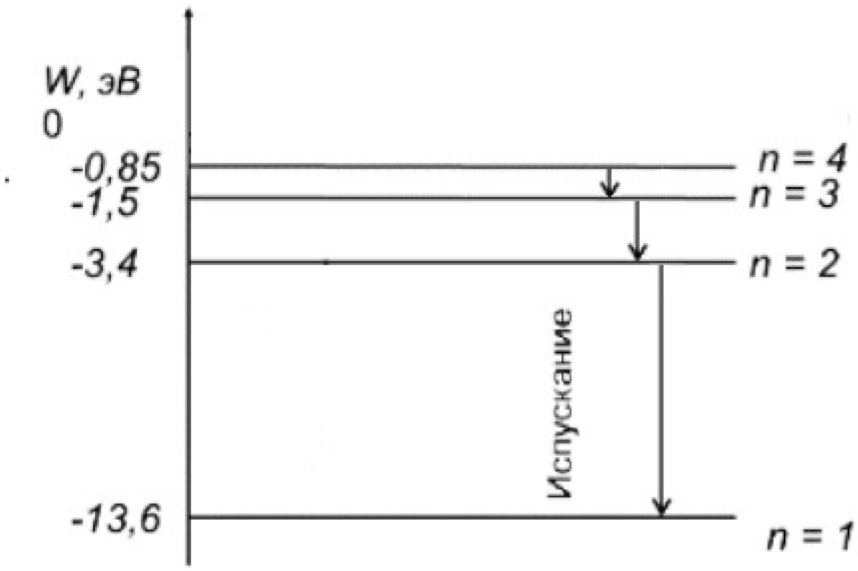
$r_n=5.29*10^{-11}м*4^2\approx 8.8034*10^{-10}м$

Для нахождения скорости электрона воспользуемся формулой:

$$v=\frac{n\hbar}{r_n m}(6)$$

Вычислим скорость электрона по формуле (6), если:

$\hbar=1.0545887*10^{-34}Дж*c$

	$m = 9.1093837 * 10^{-31}\,кг$ $\upsilon = \frac{4 * 1.0545887 * 10^{-34}\,Дж * с}{8.8034 * 10^{-10}\,м * 9.1093837 * 10^{-31}\,кг} = 547105.7624 \approx 5.47 * 10^5\,\frac{м}{с}$ Рисунок энергетической диаграммы атома водорода при переходе из возбужденного в основное состояние:  Ответ: n = 4, $r = 8.8034 * 10^{-10}\,м$, $\upsilon = 5.47 * 10^5\,\frac{м}{с}$

1 - ВАРИАНТ

1. В опыте Юнга вначале рассматривается излучение с длиной волны λ1 = 0,7 мкм, а затем с λ2. Определите значение длины волны λ2, если шестая светлая полоса в первом случае совпадает с девятой темной полосой во втором случае. Рисунком поясните схему опыта Юнга, укажите на рисунке распределение интенсивности света на экране. Опыт проводится в вакууме.

($\lambda 2$ = 494,1нм)

Дано:

$\lambda_1 = 0,7 \cdot 10^{-6}\,м$

$m_1 = 6$

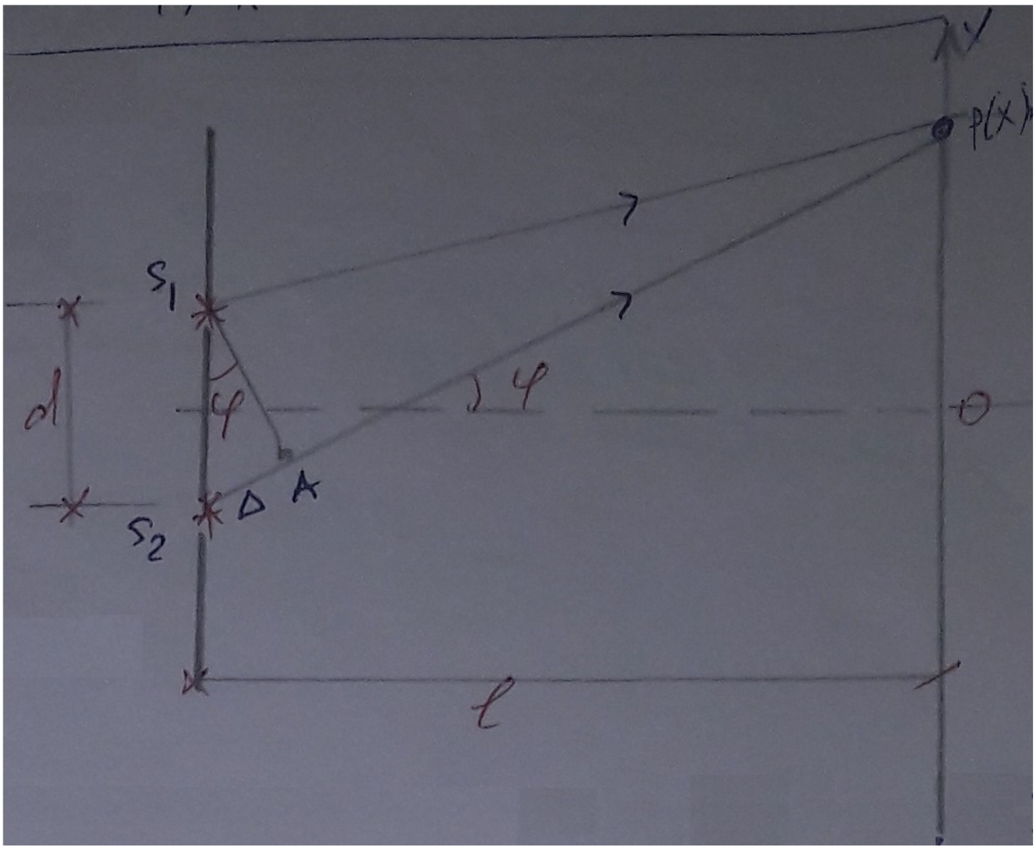
$m_2 = 8$

$X_{max} = X_{min}$

Найти:

$\lambda_2 - ?$

Решение:



Где

$S_1 u S_2$ – когерентны, источники света

d – расстояние между ними

Расстояние от источника до экрана h>>d $S_1 A$ является волновым фронтом. Поэтому разность хода образуется на расстояние $|S_1 A|$: $\Delta = |S_2 A| = dsin\varphi$, т.к. ϕ<<1, $sin\varphi \approx tg\varphi = \frac{x}{l}$, $\Delta = \frac{dx}{l}$.

Светлая полоса возникает если «Δ» содержит целое число длины волн: $\Delta = m\lambda_1 ; m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \ldots$ - целое число.

Тёмная полоса возникает если «Δ» содержит нечетное число полудлин волн; $\Delta = \left(2m' + 1\right)\frac{\lambda_2}{2} ; \frac{d X_{min}}{l} = \left(2m' + 1\right)\frac{\lambda_2}{2} ; X_{max} = \frac{m\lambda_1 l}{d} ; X_{min} = \frac{\left(2m' + 1\right)\lambda_2 l}{2d}$.

По условию $X_{max} = X_{min}$.

$$\frac{m\lambda_1 l}{d} = \frac{\left(2m' + 1\right)\lambda_1 l}{2d} \qquad (1)$$

$$\lambda_2 = \frac{2m}{2m'^{+1}}\lambda_1$$

Центральную светлую полосу не будем считать. Тогда m=6. Первый минимум соответствует $m' = 0$.

9-й минимум соответствует $m' = 8$ →

$$\lambda_2 = \frac{2 \cdot 6}{2 \cdot 8 + 1} \cdot 0,7 \cdot 10^{-6} = 494,1\, нм.$$

Если интенсивность источников равны I_0 то интенсивность света в точке наблюдения

$$I = 2 I_0 \left(1 + \cos\left(k\Delta\right)\right) \qquad (2)$$

Где,

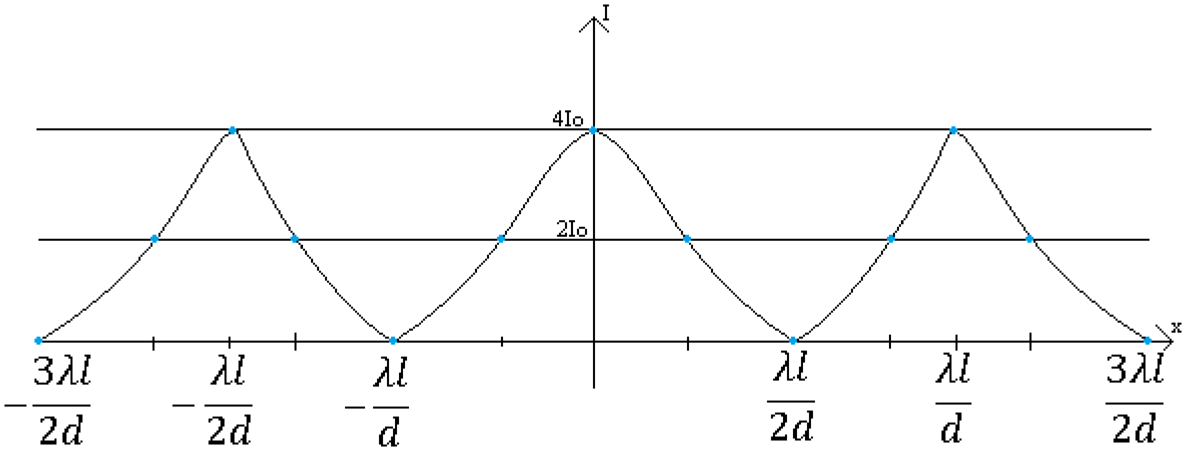
$k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновой центр,

Δ - оптическая разность хода.

$$I = 2 I_0 \left(1 + \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{dx}{l}\right)\right)$$

I(x) будет изменятся по закону косинуса вокруг $2 I_0$

X	$\frac{-\lambda l}{d}$	$\frac{-\lambda l}{2d}$	**0**	$\frac{\lambda l}{2d}$	$\frac{\lambda l}{d}$
I	$2I_0$	0	$4I_0$	0	$2I_0$



Ответ: $\lambda_2 = 442,11\,нм$

2. Красная граница фотоэффекта рубидия λ0=0,81 мкм. Определить скорость фотоэлектронов при облучении рубидия монохроматическим светом с длиной волны λ=0,4 мкм. Какую задерживающую разность потенциалов Uз надо приложить к фотоэлементу, чтобы прекратить фототок? На сколько изменится задерживающая разность потенциалов ΔUз при увеличении длины волны падающего света на Δλ=200 нм? Изобразите на рисунке вольтамперную характеристику фотоэффекта (ВАХ); покажите на ВАХ ток насыщения и задерживающий потенциал.

(υ = 7.44 · 105м/с; Uз = 1.57 В; ΔU = 1.036 В)

Дано:

$\lambda_k = 0,81 \cdot 10^{-6} м$

$\lambda = 0,4 \cdot 10^{-6} м$

$\Delta \lambda = 200 \cdot 10^{-9} м$

Найти:

$v_м = ?\ \upsilon_з = ?\ \Delta \upsilon_з = ?$

Решение:

По закону Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h \frac{c}{\lambda} = A + \frac{m v_м{}^2}{2} \qquad \textbf{(1)}$$

где

$h -$ *постоянная планка ,*

$c -$ *скорость света в вакууме ,*

$\lambda -$ *длина волны ,*

$m -$ *масса электрона ,*

$A = h \frac{c}{\lambda_k} -$ *работа выхода ;*

Производим замену переменных и запишем формулу:

$$h\frac{c}{\lambda}-h\frac{c}{\lambda_k}=\frac{m v_м^{2}}{2}$$

$$h c\frac{\lambda_k-\lambda}{\lambda\cdot\lambda_k}=\frac{m v_м^{2}}{2} v_м=\sqrt{\frac{2hc(\lambda_k-\lambda)}{m\cdot\lambda\cdot\lambda_k}}$$

$$v_м=\sqrt{\frac{2\cdot 6,63\cdot 10^{-34}\cdot 3\cdot 10^{8}\cdot(0,81-0,4)\cdot 10^{-6}}{9,1\cdot 10^{-31}\cdot 0,4\cdot 0,81\cdot 0,81\cdot 10^{-6}\cdot 10^{-6}}}=¿743757,086\frac{м}{c}¿$$

$$v_м=743757,086\frac{м}{c}=7,44\cdot 10^{5}\frac{м}{c}$$

По теореме о кинетической энергии, изменение кинетической энергии равно работе электрических сил:

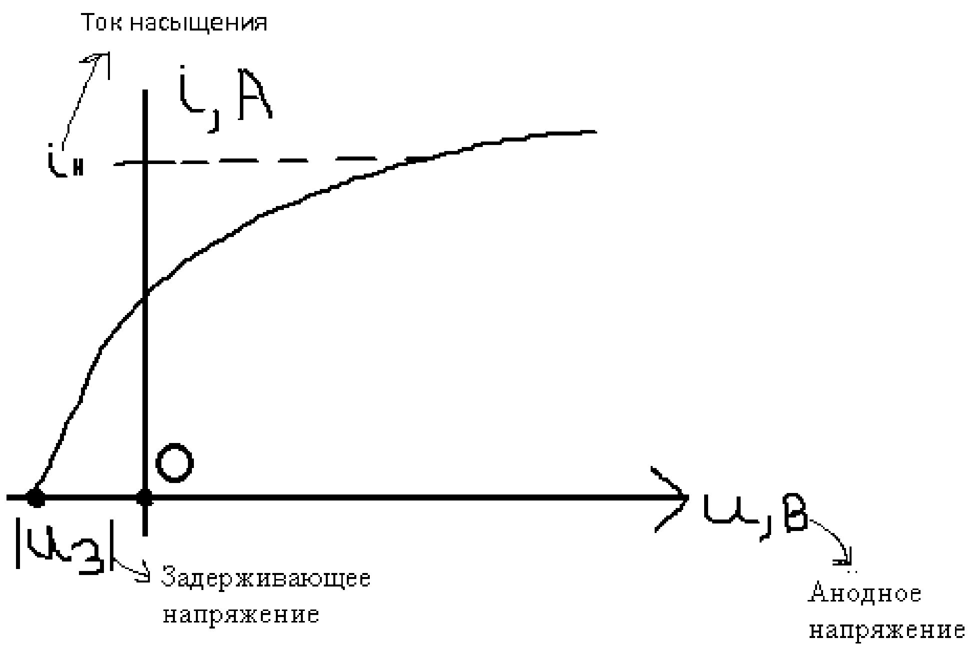
$$\frac{m v_м^{2}}{2}=e\upsilon_з \qquad (2)$$

$$U_з=\frac{m v_м^{2}}{2e}$$

$$U_з=\frac{9,1\cdot 10^{-31}\cdot 7,44^{2}\cdot 10^{10}}{2\cdot 1,6\cdot 10^{-19}}=1,57\,B$$

При увеличении длины волны на $\Delta\lambda$ формула Эйнштейна будет таким:

$$\frac{hc}{\lambda+\Delta\lambda}=\frac{hc}{\lambda_k}+\frac{m v_м^{2}}{2}\frac{m v_м^{2}}{2}=hc\left(\frac{1}{\lambda+\Delta\lambda}-\frac{1}{\lambda_к}\right)=hc\cdot\frac{\lambda_к-\lambda-\lambda\Delta}{\lambda_к(\lambda+\Delta\lambda)} \qquad (3)$$



Зависимость силы фототока от анодного напряжения, (U_3¿ – задерживающее напряжение.

$$U_3^{'}=\frac{m v_м^{2}}{2e} U_3^{'}=\frac{hc}{e}\cdot\frac{\lambda_к-\lambda-\Delta\lambda}{\lambda_к(\lambda+\Delta\lambda)} U_3^{'}=\frac{6,63\cdot10^{-34}\cdot3\cdot10^{8}\cdot(0,81-0,4-0,2)\cdot10^{-6}}{1,6\cdot10^{-19}\cdot0,81\cdot10^{-16}(0,4+0,2)\cdot10^{-6}}=0{,}534\,B$$

$$\Delta U_3=\upsilon_з-\upsilon_з^{'}=1,57-0{,}534=1{,}036\,B$$

Ответ: $v_м=7,44\cdot10^{5}\frac{м}{c}$**;** $U_з=1,57\,B$**;** $\Delta U_3=1{,}036\,B$.

3. Свободный электрон, имея кинетическую энергию 15 эВ, неупруго столкнулся с атомом водорода, находящимся в основном состоянии, и отскочил от него, потеряв часть энергии. Энергия электрона после столкновения оказалась 2.91 эВ. Определить длины волн, которые может излучить атом водорода после столкновения с электроном. Изобразите на рисунке энергетическую диаграмму атома водорода, покажите на ней все переходы между уровнями, которые могут произойти после столкновения. (λ1 = 102.58 нм; λ2 = 121.58 нм; λ3 = 656.51 нм)

Дано:

T=15 эВ

$T^{'}=2,91\ эВ$

Найти:

$\lambda_1 - ?\ \lambda_2 - ?\ \lambda_3 - ?$

Решение:

Энергия электрона в атоме водорода определяется формулой

$$W_n = \frac{-13,6\ эВ}{n^2} \quad \textbf{(1)}$$

Где

-13,6 эВ – энергия основного состояния,

n – главное квантовое число.

После получения дополнительной энергии 12,09 эВ электрон с основного состояния (h=1) перейдёт в состоянии с «n»:

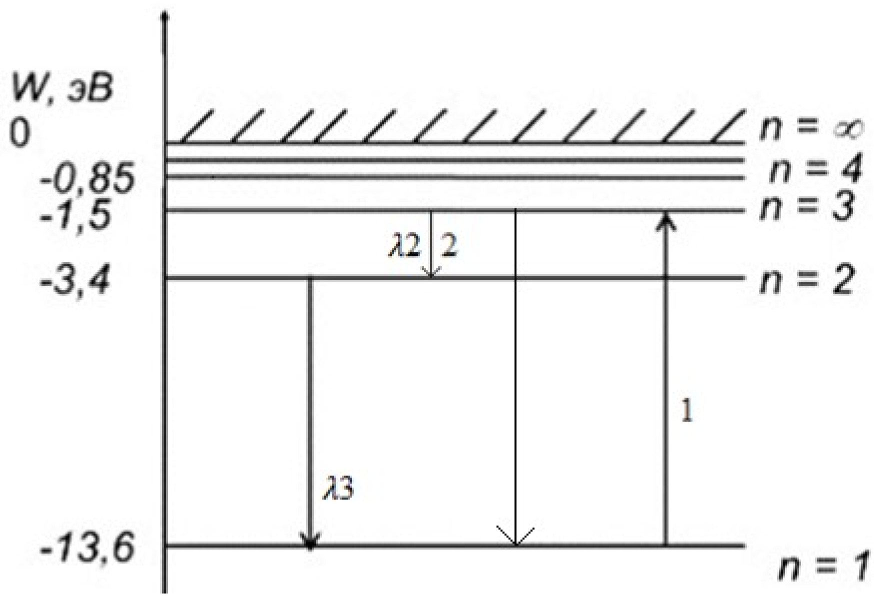
$$\frac{-13,6}{1^2} + 12.09 = \frac{-13,6}{n^2}$$

$$\frac{-13,6}{n^2}=-1,51$$

$$n^2=\frac{-13,6}{1,51}$$

$$n=\sqrt{\frac{13,6}{1,51}}=\sqrt{9}=3$$

n=3, то электрон перейдёт в состояние с *n=3.*



По формуле Бора соответствующее излучение имеет длину волны:

$$\frac{1}{\lambda}=R_\lambda\left(1-\frac{1}{3^2}\right)=\frac{8}{9}R_\lambda \qquad \textbf{(2)}$$

$$R_\lambda=1{,}0974\cdot 10^7\frac{1}{м}$$

Постоянная Ридберга:

$$\lambda_1=\frac{9}{8R_\lambda} \qquad \textbf{(3)}$$

$$\lambda_1=\frac{9}{8\cdot 1{,}0974\cdot 10^7}=1{,}02515\cdot 10^{-7}[м]=102,52\,[нм]$$

$$\lambda_1=102,52\,нм$$

После столкновения может произойти переход:

1) 3→2 с

$$\frac{1}{\lambda}=R_\lambda\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{3^2}\right)=R_\lambda\frac{5}{36} \quad \textbf{(4)}$$

$$\lambda_2=\frac{36}{5R_\lambda}$$

$$\lambda_2=\frac{36}{5\cdot 1{,}0974\cdot 10^7}=6{,}5609\cdot 10^{-7}[м]=656{,}1[нм]$$

$$\lambda_2=656{,}1\,нм$$

И переход 2 → 1 с:

$$\frac{1}{\lambda_3}=R_\lambda\left(1-\frac{1}{4}\right)=R_\lambda\frac{3}{4} \quad \textbf{(5)}$$

$$\lambda_3=\frac{4}{3R_\lambda}$$

$$\lambda_3=\frac{4}{3\cdot 1{,}0974\cdot 10^7}=1{,}2149\cdot 10^{-7}[м]=121{,}5[нм]$$

$$\lambda_3=121{,}5\,нм$$

Ответ: $\lambda_1=102{,}52\,нм;$

$\lambda_2=656{,}1\,нм;$

$\lambda_3=121{,}5\,нм;$

2 - ВАРИАНТ

№1

Вертикально-расположенная мыльная пленка образует клин, угол которого составляет 25,2 секунды (25,2"). В отражённом свете наблюдаются полосы равной толщины. Длина волны монохроматического света равна 650 нм, что соответствует красному цвету. Показатель преломления пленки n = 1,33. Сколько красных полос наблюдается на участке длиной 1 см? Свет на поверхность клина падает нормально. Изобразите ход лучей в клине, рисунком поясните, какие лучи интерферируют в этом случае. Ответ N = 5

Решение

Дано:

$\alpha = 25, 2$ =0.007 ° =0.00012217 рад

$\lambda = 650\,нм = 6.5 * 10^{-7}\,м$

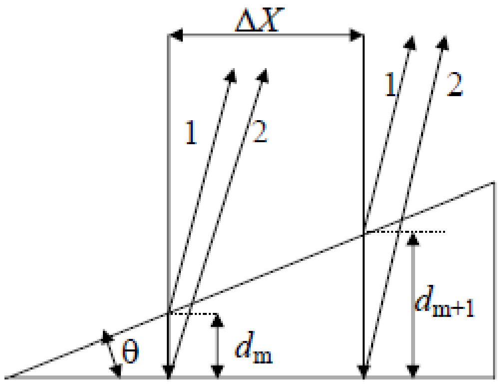
n = 1.33

l = 1 см = 0.01 м

Найти:

N - ?

Клин можно считать пленкой переменной толщины. Когерентные лучи 1 и 2 получаются в этом случае при отражении от верхней и нижней грани клина (см. рисунок).



Так как интерференция на клине наблюдается при малых преломляющих углах клина, лучи, отраженные от верхней и нижней граней, можно считать параллельными.

Оптическая разность хода двух лучей складывается из разности оптических длин путей этих лучей $2dn\cos\beta$ и половины длины волны, представляющей собой добавочную разность хода, возникающую при отражении от оптически более плотной среды.

Таким образом условие интерференции для минимума излучения (черная полоса) может быть записано в виде:

$$\Delta = 2 d_k n \cos\beta + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2} \qquad (1)$$

Где n – показатель преломления стекла, d_k - толщина клина в том месте, где наблюдается темная полоса, соответствующая номеру k, β - угол преломления, λ - длина волны излучения.

Учитывая, что угол падения равен 90 °, косинус этого угла составит тогда 1, то:

$$2 d_k n = k\lambda$$

Пусть темной полосе номер k + N соответствует толщина d_{k+N}, тогда учитывая малость преломляющего угла призмы можно записать:

$$\sin\theta = \frac{d_{k+N} - d_k}{l} \qquad (2)$$

$$\sin\theta = \frac{d_{k+N} - d_k}{l} = \frac{\frac{k+N}{2n}\lambda - \frac{k}{2n}\lambda}{l} = \frac{N\lambda}{2nl}$$

Тогда можно записать, что ширина интерференционной полосы составит:

$$sin\theta \approx \theta = \frac{N\lambda}{2nl} = \frac{\lambda}{2nl}$$

При интерференции от клина мы можем записать формулу, которая описывает данный процесс:

$$\theta = \frac{N\lambda}{2nl}$$

Откуда получим, что число линий на 1 см длины составит:

$$N = \frac{2*n*l*\theta}{\lambda}$$

Подставим числовые данные в полученную формулу:

$$N = \frac{2*1.33*0.01*0.000122173}{6.5*10^{-7}}$$

$$N = 5$$

Ответ: число полос равно 5.

№2. При освещении катода светом с длиной волны сначала λ_1= 440 нм, а затем λ_2= 680 нм обнаружили, что запирающий потенциал изменился в 3 раза. Определить работу выхода электрона $A_в$= из катода. Сравните скорости электронов υ_{m1} и υ_{m2}, с которыми они вылетают из катода. Изобразите на рисунке вольтамперную характеристику фотоэффекта (ВАХ); покажите на ток насыщения I_h и задерживающий потенциал $U_з$.

Ответ $A_в$ = 1.33 эВ; $\frac{\upsilon_{m1}}{\upsilon_{m2}}$ = 1.73

Решение

Дано:

$$\lambda_1 = 440\,нм = 4.4*10^{-7}\,м$$

$$\lambda = 680\,нм = 6.8*10^{-7}\,м$$

$$e = 1.6*10^{-19}\,Кл$$

$$h = 6.623*10^{-34}\,Дж*с$$

Найти:

$$A_в - ?$$

$$\frac{V_{m1}}{V_{m2}} - ?$$

Для решения задания можно использовать формулу закона Эйнштейна для фотоэффекта.

$$h\frac{c}{\lambda} = A + \frac{mV^2}{2} \qquad (1)$$

Для решения данного задания необходимо записать формулу закона А. Эйнштейна для фотоэлектрического эффекта:

$$h\nu = A + \frac{mV^2}{2}$$

$$h\frac{c}{\lambda} = A + \frac{mV^2}{2}$$

Задерживающий потенциал, приложенный к фотоэлементу, будет тормозить поток фотоэлектронов и при некотором значении тормозящего напряжения приведет к тому, что все электроны будут тормозится и фототок исчезнет.

Тогда можно записать:

$$h\frac{c}{\lambda} = A + eU$$

$$A = h\frac{c}{\lambda} - eU$$

В таком случае для первого и второго облучения катода можно записать:

$$A = h\frac{c}{\lambda_1} - eU_1$$

$$A = h\frac{c}{\lambda_1} - eU_2$$

Поскольку запирающий потенциал изменился в 3 раза, то приравняв формулы мы получим равенство:

$$h\frac{c}{\lambda_1} - eU_1 = h\frac{c}{\lambda_2} - eU_2$$

$$h\frac{c}{\lambda_1} - h\frac{c}{\lambda_2} = hc*\left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right) = eU_1 - eU_2 = 3eU_2 - eU_2 = 2eU_2$$

$$hc*\left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right) = 2eU_2$$

$$U_2 = \frac{hc}{2e}*\left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right)$$

Вычислим величину задерживающего потенциала:

$$U_2 = \frac{6.626*10^{-34}\,Дж*с*3*10^8\,м/с}{2*1.6*10^{-19}\,Кл} * \left(\frac{1}{4.4*10^{-7}\,м} - \frac{1}{6.8*10^{-7}\,м}\right)$$

$$U_2 = 0.50\,В$$

Откуда работа выхода электрона составит:

$$A = 6.626*10^{-34}\,\frac{Дж*с*3*10^8\,м/с}{6.8*10^{-7}\,м} - 1.6*10^{-19}\,Кл*0.5\,В$$

$$A = 2.12*10^{-19}\,Дж$$

$$A = 1.33\,эВ$$

Отношение скоростей фотоэлектронов составит:

$$\frac{mV_1^2}{2} = eU_1$$

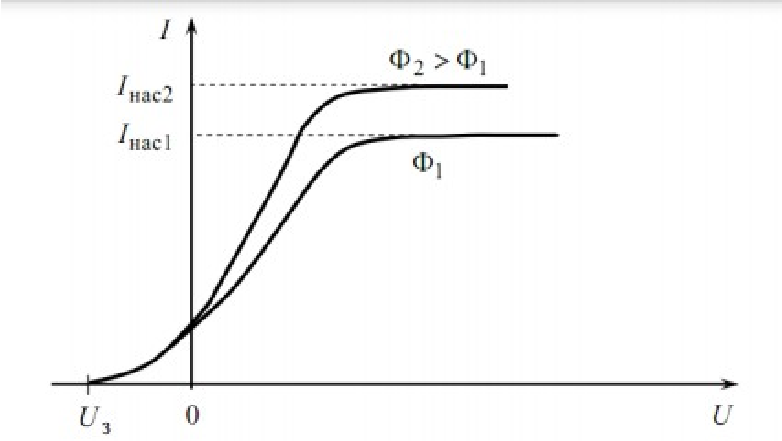
$$\frac{mV_2^2}{2} = eU_2$$

$$\frac{\frac{mV_1^2}{2}}{\frac{mV_2^2}{2}} = \frac{V_1^2}{V_2^2} = \frac{eU_1}{eU_2} = \frac{U_1}{U_2}$$

$$\frac{V_1^2}{V_2^2} = \frac{U_1}{U_2}$$

$$\frac{V_{m1}}{V_{m2}} = \sqrt{\frac{U_1}{U_2} = \sqrt{3}} = 1.73$$

Допустим, что фотоэлемент включен в цепь. Передвигая движок потенциометра и снимая показания приборов, можно найти вольтамперную зависимость фотоэлемента. При $0 = U$ через элемент проходит небольшой ток. Под действием света из анода вырываются электроны, и он заряжается положительно. Вырванные электроны вблизи 3 анода создают отрицательно заряженное облако, из которого большая часть электронов попадает обратно на анод (анод при $0 = U$ притягивает электроны), а часть электронов из облака попадает на катод. Они и создают небольшой ток. Для прекращения фототока необходимо приложить обратное по знаку напряжение $U_з$, которое называют задерживающим напряжением. Если увеличивать напряжение, то по мере роста все большее число электронов за секунду попадает на катод. Облако из электронов вблизи анода редеет, а ток через фотоэлемент растет. При достаточно сильном поле облако из электронов вблизи анода полностью исчезнет. Все электроны, вымываемые из металла анода, будут попадать на катод - наступит насыщение: дальнейшее усиление поля в баллоне фотоэлемента не приведет к увеличению тока. Ток насыщения нас I определяется тем количеством электронов, которые вырываются в секунду из металла.



Ответ: $\frac{V_{m1}}{V_{m2}}=1.73,\ A=1.33\,эВ$

№3. Атомарный водород, находящийся в основном состоянии, облучается монохроматическим светом с энергией 15 эВ. Электроны, вылетающие из атомов в результате ионизации, попадают в магнитное поле с индукцией 1 мТл перпендикулярно линиям индукции. Определить радиус окружности, по которой движутся электроны. Изобразите на рисунке энергетическую диаграмму атома водорода; на отдельном рисунке изобразите движение электронов в магнитном поле. Ответ r = 4 мм

Решение

Дано:

$E=15\,эВ$

$c=3*10^{8}\,м/с$

$h=6.626*10^{-34}\,Дж*с$

$m=9.11*10^{-31}\,кг$

$B=0.001\,Тл$

Найти:

$R-?$

Согласно условия задания поток фотонов ионизирует невозбужденный атомарный водород. В результате этого процесса мы получим ионы водорода.

Выбитые электроны имеют некоторую кинетическую энергию и скорость. Рассчитаем максимальную скорость электронов. Для этого вычислим значение энергии ионизации атома водорода, используем формулу:

$$E=\frac{me^4}{8\pi\varepsilon_0^2h^2} \qquad (1)$$

$$E=\frac{me^4}{8\pi\varepsilon_0^2h^2}=9.11*10^{-31}*¿¿$$

Согласно закона сохранения энергии энергия фотона распределяется на ионизацию атома водорода и на кинетическую энергию электрона, тогда кинетическая энергия составит: 15 – 13,6 = 1,4 эВ.

А скорость будет равна:

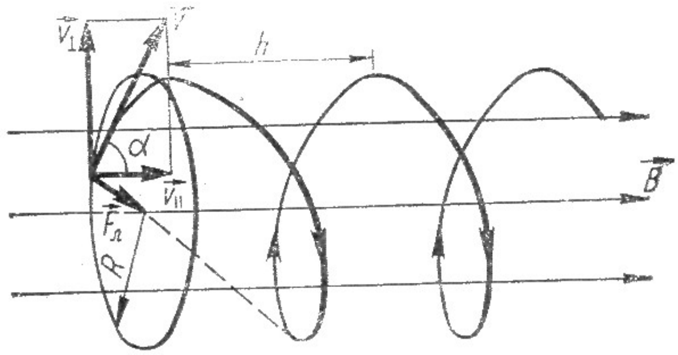
$$V=\sqrt{\frac{2E}{m}} \qquad (2)$$

$$V=\sqrt{\frac{2E}{m}}=\sqrt{\frac{2*1.4*1.6*10^{-19}}{9.11*10^{-31}}}=0.7*10^6\,м/с$$

Поскольку скорость электрона на два порядка меньше скорости света, то релятивистскими эффектами возрастания массы можно пренебречь.

Для решения данной задачи нужно рассмотреть движение микрочастицы в магнитном поле и зависимости, которые описывают его движение в магнитном поле с индукцией В или напряженность поля Н.

Для этого выполним рисунок:



В магнитном поле микрочастица, как и любая заряженная частица, будет двигаться по винтовой линии. Сила Лоренца действует на нее в плоскости перпендикулярной вектору индукции магнитного поля и предоставляет ему центростремительное ускорение.

Тогда можно записать:

$$F_л=qV_{\perp}\beta=qVB\sin\alpha=\frac{mV_{\perp}^2}{R}=\frac{mV^2\sin^2\alpha}{R}$$

(3)

$$qVB\sin\alpha=\frac{mV^2\sin^2\alpha}{R}$$

Упростим формулу с учетом того, что $\alpha = 90°$:

$$qB = \frac{mV}{R}$$

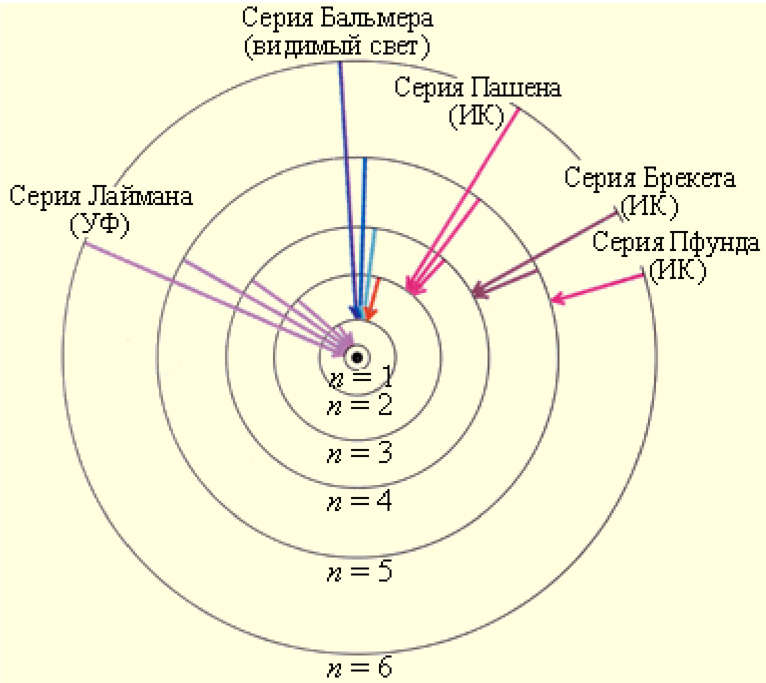
$$R = \frac{m*V}{q*B} = \frac{m*V}{e*B}$$

Проведем вычисление:

$$R = \frac{9.11*10^{-31}\,кг*0.7*10^{6}\,м/с}{1.6*10^{-19}\,Кл*0.001\,Тл}$$

$$R = 3.985*10^{-3}\,м$$

Энергетическая диаграмма атома водорода примет вид:



Ответ: $R = 3.985*10^{-3}\,м$.

3 - ВАРИАНТ

Задание 1.

Естественный свет силой 20 кд падает по нормали на поляризатор и анализатор (Рис. 5.1), угол между главными плоскостями которых составляет $\alpha = 37^0$, а поглощение светового пучка в каждом из них составляет k. После прохождения системы поляризатор – анализатор, световой пучок падает по нормали на зеркало и, отразившись, вновь проходит через систему анализатор – поляризатор в обратном направлении и выходит из поляризатора. Считая, что интенсивность светового пучка, выходящего из поляризатора составляет 9 % от входящего в поляризатор, определите: 1) силу света падающего на зеркало I_2; 2) коэффициент поглощения k.

(k=0.1844; I_2=4.24 кд)

Дано:
$I_0 = 20$ кд
$\alpha = 37^0$
$$\frac{I}{I_e}=0,09=9\%$$

Найти:
k - ?
I_2 - ?

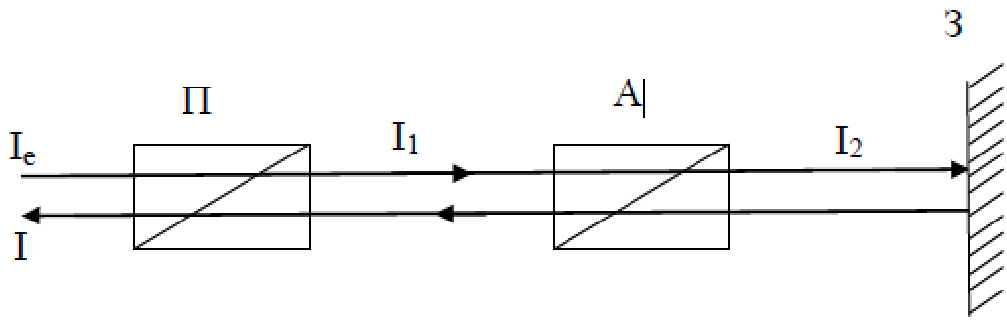


рис. 1

Решение

Интенсивность света после поляризатора:
$$I_1=\frac{1}{2}I_e(1-k) \qquad (1)$$

Согласно закона Малюса, после анализатора:
$$I_2=I_1\cos^2 a(1-k)=\frac{1}{2}I_0(1-k)^2\cos^2 a \qquad (2)$$

После анализатора на обратном пути:
$$I_3=I_2(1-k) \qquad (3)$$

После поляризатора на обратном пути:
$$I=I_3(1-k)\cos^2 a=I_2(1-k)^2\cos^2 a=\frac{1}{2}I_0(1-k)^4\cos^4 a \qquad (4)$$

Откуда коэффициент поглощения k:
$$k=1-\frac{\sqrt[4]{2\frac{I}{I_0}}}{cosa}=1-\frac{\sqrt[4]{2*0,09}}{\cos 37^0}=0,1844$$

Тогда сила света падающего на зеркало I_2 равна:

$$I_2 = \frac{1}{2} I_0 (1-k)^2 \cos^2 a = \frac{1}{2} * 20 * (1-0{,}1844)^2 \cos^2 37^0 = 4{,}24\,кд$$

Ответ: k=0.1844; $I2$=4.24 кд.

Задание 2.

При нагревании абсолютно черного тела его температура изменилась от T_1 =1000 К до T_2=2000 К. Во сколько раз изменилась при этом: 1) его энергетическая светимость $R_э$; 2) максимальная излучательная способность $r_{\lambda m}$; 3) на сколько изменилась длина волны λ_m, на которую приходится максимум излучательной способности этого тела, увеличится или уменьшится? Рисунком поясните график распределения энергии излучательной способности в спектре излучения абсолютно чёрного тела, укажите для данных температур положение λ_{m1} и λ_{m2}. ($\frac{R_{э2}}{R_{э2}} = 16$; $\frac{r_{\lambda m2}}{r_{\lambda m1}} = 32$; $\Delta\lambda$=1,45 мкм)

Дано:
черное тело
T_1 =1000 К
T_2=2000 К
Найти:
$\frac{R_{э2}}{R_{э2}} - ?$
$\frac{r_{\lambda m2}}{r_{\lambda m1}} - ?$
$\Delta\lambda$ - ?

Решение:

Согласно закона Стефана-Больцмана, светимость тела равна:

$$R_э = \sigma T^4 \qquad (1)$$

где
$\sigma - посстоянная\ Стефана - Больмана$,
T - температура

Тогда

$$\frac{R_{э2}}{R_{э2}} = \frac{\sigma {T_2}^4}{\sigma {T_1}^4} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^4 = \left(\frac{2000}{1000}\right)^4 = 2^4 = 16$$

Согласно первого и второго законов Вина:

$$\lambda_m = \frac{b}{T} \text{ - первый закон} \tag{2}$$

$$r_{\lambda m} = C T^5 \text{- второй закон} \tag{3}$$

где b и C постоянные.

Тогда $\frac{r_{\lambda m2}}{r_{\lambda m1}} = \frac{C T_2^5}{C T_1^5} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^5 = \left(\frac{2000}{1000}\right)^5 = 2^5 = 32$

$$\Delta\lambda = \frac{b}{T_1} - \frac{b}{T_2} = b\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) = 2,9*10^{-3}\left(\frac{1}{1000} - \frac{1}{2000}\right) = 1,45*10^{-6}\,м$$
¿ $1,45\,мкм$

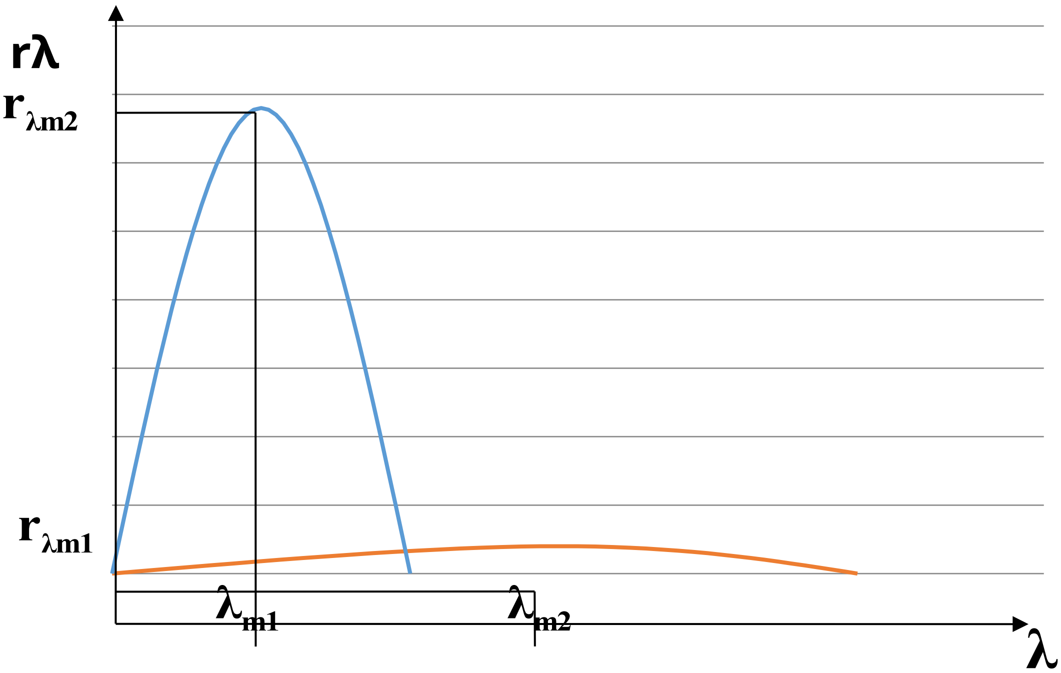


рис. 2

Ответ: $\frac{R_{э2}}{R_{э2}} = 16$; $\frac{r_{\lambda m2}}{r_{\lambda m1}} = 32$; $\Delta\lambda$=1,45 мкм

Задание 3.

Атомарный водород, находящийся в первом возбужденном состоянии, переходит в основное состояние, испуская фотон. Этот фотон попадает на поверхность калиевого фотокатода и вызывает фотоэффект. Чему равна максимально возможная скорость фотоэлектрона? Работа выхода калия 2.15 эВ. Изобразите на рисунке энергетическую диаграмму атома водорода, покажите на ней переход, соответствующей данной задаче. (υ = 1.685 · 10^6 м/с)

Дано:

Атом H

$A_{вых}$ = 2.15 эВ

2 > 1 переход

Найти:

$\upsilon_{max} - ?$

Решение:

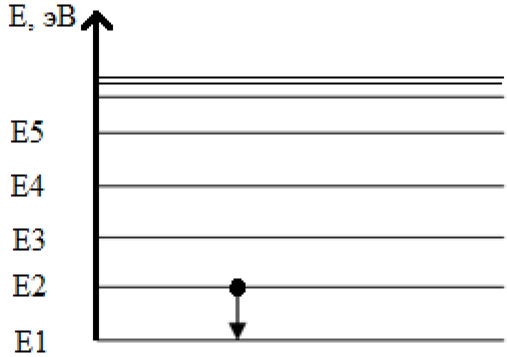


рис.3

Согласно формуле Бальмера, частота изучения равна:

$$v = R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (1)$$

R - постоянная Ридберга

Энергия излучения равна:

$$E_ф = hv = hR\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right) = E_i\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (2)$$

$$E_ф = 13,6\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right) = \frac{\frac{68}{5} * 3}{4} = \frac{17}{5} * 3 = \frac{51}{5} = 10,2\,эВ$$

$E_i = 13,6\,эВ$ - энергия ионизации водорода

m = 1, n = 2

Согласно уравнению Эйнштейна для внешнего фотоэффекта:

$$E_ф = A_{вых} + T_{max} \qquad (3)$$

$$T_{max} = \frac{1}{2} m_e \upsilon^2 = E_ф - A_{вых} \qquad (4)$$

$T_{max} -$ ¿ макс. кинетическая энергия электрона

$m_e - масса\,электрона$

Тогда максимально возможная скорость фотоэлектрона будет равна:

$$\upsilon_{max}=\sqrt{\frac{2}{m_e}\left(E_ф-A_{вых}\right)}=\sqrt{\frac{2}{9,1*10^{-31}}(10,2-2,15)*1,6*10^{-19}}=¿$$

$$\sqrt{\frac{2}{9,1*10^{-12}}(10,2-2,15)*1,6}=\sqrt{\frac{2*8,05*1,6}{9,1*10^{-12}}}=10^6\sqrt{2,831}=¿$$

$$¿1,685*10^6\,м/с$$

Ответ: $\upsilon = 1.685 \cdot 10^6$ м/с

4 - ВАРИАНТ

Задание 1.

На щель шириной 0,05 мм падает нормально монохроматический свет. Под углом 2^o наблюдается минимум четвертого порядка. Найти угловую ширину центрального максимума $\Delta\varphi$. Приведите рисунок для схемы установки. Изобразите дифракционную картину интенсивности света на экране. Пронумеруйте все дифракционные максимумы, которые могут быть видны на экране, выделите угловую ширину центрального максимума $\Delta\varphi$. ($\Delta\varphi$=1°)

Дано:

a = 0.05мм = $5*10^{-5}$м

φ_4=2° - минимум

Найти: $\Delta\varphi_1$-?

Решение:

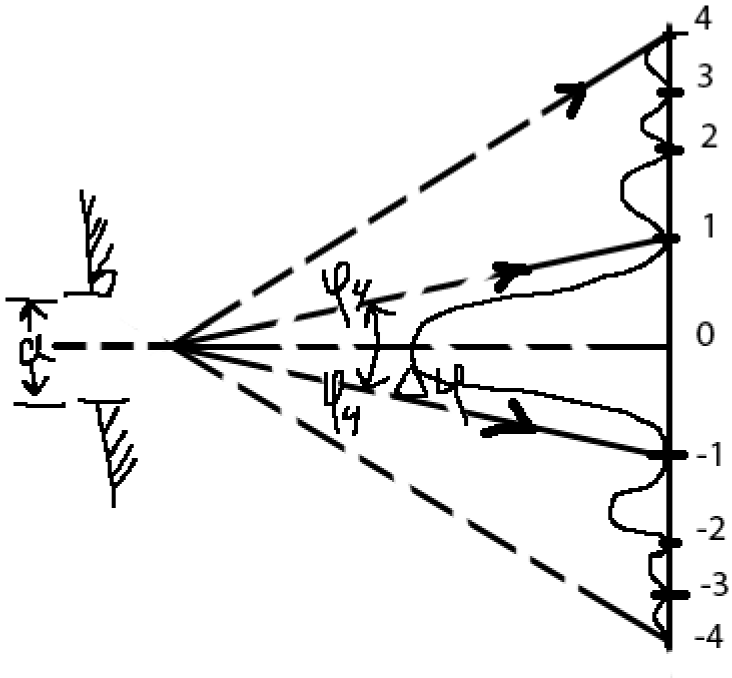


Рис. 1 – схема установки

1) Условие минимума для узкой щели:

$$a*\sin\varphi=k\lambda \tag{1.1}$$

Где φ – угол на k^й минимум

По условию задачи

$$\frac{a}{\lambda}=\frac{k}{\sin\varphi_k}=\frac{4}{\sin 2°}=114.6 \tag{1.2}$$

Угловая ширина центрального максимума:

$$\Delta\varphi_1=2\varphi_1 \tag{1.3}$$

Где φ_1 – угол на первый минимум.

Тогда

$$a*\sin\varphi_1=1*\lambda$$

$$\sin\varphi_1=\frac{\lambda}{a}=\frac{1}{114.6}=0.0087 2$$

$$\varphi_1=0.5°$$

$$\Delta\varphi_1=2\varphi_1=1°$$

2) $\sin\varphi=\frac{k\lambda}{a}\ :|\sin\varphi|=\left|\frac{k\lambda}{a}\right|$ (1.4)

Но $|\sin\varphi| \le 1$ => $\left|\frac{k\lambda}{a}\right| \le 1$=>$|k| \le \frac{a}{\lambda}$ = (из 2) = 114.6

Так как k – целое, то

$k = 0\,;\,\pm 1\,;\pm 2\,;\,...\pm 114$

$k_{max} = 114$

$N_{max} = 2 * k_{max} + 1 = 2 * 114 + 1 = 229$

Ответ: $\Delta\varphi_1 = 1\,°$

Задача 2.

Красная граница фотоэффекта для материала, из которого сделан катод, λ_0 = 0,62 мкм. Определить длину волны λ_1 света, падающего на катод, если задерживающее напряжение $U_{з1}$=1В. Во втором опыте с этим же катодом длина волны света, падающего на катод λ_2 = 0,7 λ_1. Сравните во сколько раз будут отличаться задерживающие напряжения ($U_{з1}$ и $U_{з2}$) и максимальные скорости, с которыми вылетают электроны из катода (υ_{m1} и υ_{m2}) в этих опытах. Изобразите на рисунке вольтамперную характеристику фотоэффекта (ВАХ); покажите на ВАХ ток насыщения $I_н$ и задерживающий потенциал $U_з$.

(λ_1=414.3 нм; $\frac{U_{з2}}{U_{з1}} = 2.29$; $\frac{U_{m2}}{U_{m1}} = 1.51$)

Дано:

$\lambda_0 = 0.62\,мкм = 6.2 * 10^{-7}\,м$

$U_{з1}$=1 В

λ_2 = 0,7 λ_1

Найти:

λ_1=?

$\frac{U_{з2}}{U_{з1}} = ?$

$\frac{U_{m2}}{U_{m1}} = ?$

Решение:

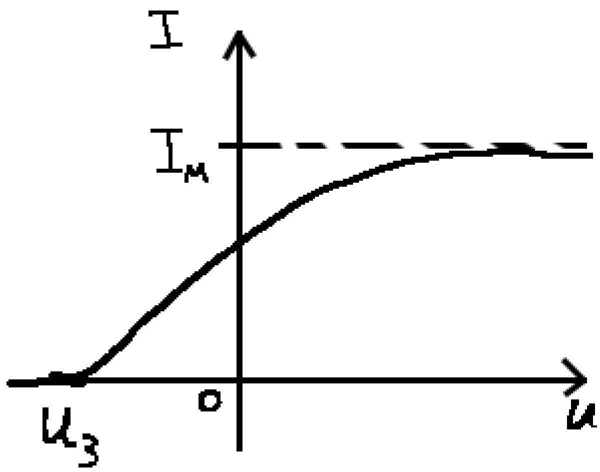


Рис. 2 - вольтамперную характеристику фотоэффекта.

1) Согласно уравнению Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.

$$E_ф = A_{вых} + T_{max} \qquad (2.1)$$

Где, $E_ф$ – энергия фотона, $A_{вых}$ – работа выхода электрона, T_{max} – макс кинет. энергия электрона

T_{max} – равна работе задерживающего электрического поля:

$$T_{max} = \frac{1}{2} Me\, v_{max}^2 = Ae = e\,U_з \qquad (2.2)$$

Энергия фотона

$$E_ф = \frac{hc}{\lambda} \qquad (2.3)$$

Где, h – постоянная Планка, c – скорость света

Работа выхода электрона

$$A_{вых} = \frac{hc}{\lambda_0} \qquad (2.4)$$

λ_0 – “красная граница”

Тогда для первого опыта:

$$\frac{hc}{\lambda_1} = \frac{hc}{\lambda_0} + e\,U_{з1} \qquad (2.5)$$

Откуда $\frac{1}{\lambda_1} = \frac{1}{\lambda_0} + \frac{eU_{з1}}{hc}$ => $\lambda_1 = \frac{1}{\frac{1}{\lambda_0} + \frac{eU_{з1}}{hc}} = \frac{1}{\frac{1}{6.2*10^{-7}} + \frac{1.6*10^{-19}*1}{6,63*10^{-34}*3*10^{8}}} =$¿

¿$4.143*10^{-7}\,м = 414,3\,нм$

2) Запишем уравнение Эйнштейна для двух этапов:

$$\frac{hc}{\lambda_1}=\frac{hc}{\lambda_0}+eU_{з1} \qquad (2.6)$$

$$\frac{hc}{\lambda_2}=\frac{hc}{\lambda_0}+eU_{з2} \qquad (2.7)$$

Тогда

$$\frac{U_{з1}}{U_{з2}}=\frac{\frac{hc}{\lambda_2}-\frac{hc}{\lambda_0}}{\frac{hc}{\lambda_1}-\frac{hc}{\lambda_0}}=\frac{(\lambda_0-\lambda_2)\lambda_1\lambda_0}{(\lambda_0-\lambda_1)\lambda_2\lambda_0}=\frac{(\lambda_0-0,7\lambda_1)}{|\lambda_0-\lambda_1|0,7}=\frac{(0,62-0,7*0,4143)}{0,7(0,62-0,4143)}=2,29$$

3) Так как из (2)

$$\frac{\frac{1}{2}Me\,v_{m2}^2}{\frac{1}{2}Me\,v_{m1}^2}=\frac{eU_{з2}}{eU_{з1}} \Rightarrow \frac{v_{m2}}{v_{m1}}=\sqrt{\frac{U_{з2}}{U_{з1}}}=\sqrt{2,29}=1,51$$

Ответ: $\lambda_1=414,3\,нм$; $\frac{U_{з2}}{U_{з1}}=2,29$; $\frac{v_{m2}}{v_{m1}}=1,51$

Задача 3.

Атомарный водород, находящийся в основном состоянии, облучается монохроматическим светом с длиной волны 88,6 нм и ионизируется. Электроны, вылетающие из атомов в результате ионизации, попадают в магнитное поле перпендикулярно линиям индукции и начинают двигаться по окружности радиусом 1 мм. Определить величину индукции магнитного поля B. Изобразите на рисунке энергетическую диаграмму атома водорода; на отдельном рисунке изобразите движение электронов в магнитном поле. При решении задачи определите: 1) энергии ионизации атомарного водорода (Дж); 2) кинетическую энергия выбитого электрона (Дж); 3) скорость выбитого электрона (м/с); 4) подставьте скорость в расчетную формулу для индукции магнитного поля B и получите ответ в Тл. При расчетах всегда используйте правило сохранения двух значащих цифр после запятой с учетом округления по третьей цифре. (B=2.21•10^{-3}Тл)

Дано:

H – водород

$\lambda_1=88,6\,нм=88,6*10^{-9}\,м$

R=1мм=10^{-3}м

n=1

Найти:

1)$E_ι$-?

2)$E_{кин}$-?

3)$U-?$

3)B-?

Решение:

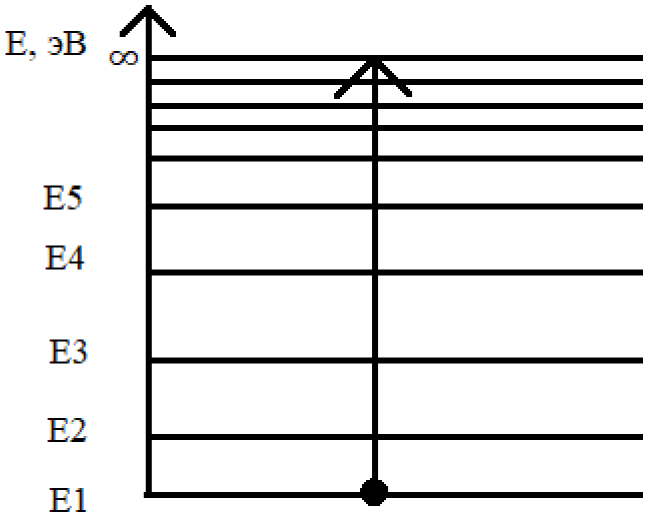


Рис. 3 - энергетическую диаграмму атома водорода.

1)$\nu = R(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2})$ (3.1)

Гле R- постоянная Ридбера, m и n номера уровней.

В нашем случае n = 1, m = ∞, тогда энергия ионизации

$$E_ι = h\nu = hR\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right) = h\,R \quad (3.2)$$

h - Постоянная планка

Так $E_ι = 6,63*10^{-34}*3,29*10^{15} = 21,8*10^{-19} = ¿$

$\frac{21,8*10^{-19}}{1,6*10^{-15}} = 13.6\,эВ$

2)Из закона сохранения энергии

$$E_j = E_i + E_{кин} \quad (3.3)$$

$E_j = \frac{hc}{\lambda_1}$-энергия фотона, c – скорость света

Так $E_{кин}=E_j-E_i=\frac{hc}{\lambda_1}-E_i=¿$

$$\frac{6,63*10^{-34}*3*10^{8}}{88,6*10^{-9}}-21,8*10^{-19}=0.639*10^{-19}\ Дж$$

3)Кинетическая энергия электрона

$$E_{кин}=\frac{1}{2}m_e v^2=>v=\sqrt{\frac{2E_{кин}}{m_e}}=\sqrt{\frac{2*0,639*10^{-19}}{9.1*10^{-31}}}=3,75*10^{5}\frac{н}{c}$$

4)В магнитном поле заряженная частица движется под действием силы Лоренца:

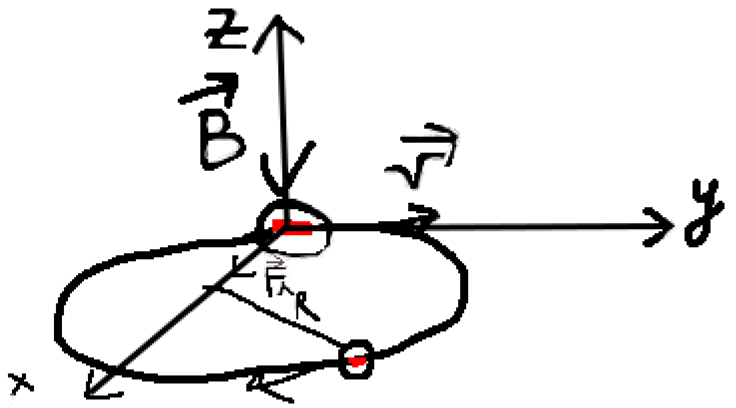


Рис. 4 - движение электронов в магнитном поле

$$\vec{E}_л=q[\vec{v}*\vec{B}] \qquad (3.4)$$

q-заряд част.

Так как $\vec{v}\perp\vec{B}$ – движение по окружности:

$$\frac{m_e v}{R}=F_л=e*v*B \qquad (3.5)$$

q=e

Откуда:

$$B=\frac{m_e v}{eR}=\frac{9.1*10^{-31}*3.75*10^{5}}{1.6*10^{-19}*10^{-3}}=2.14*10^{-3}\ Тл$$

Ответ: $E_ι=13.6\ эВ$; $E_{кин}=0.639*10^{-19}\ Дж$; $v=3,75*10^{5}\frac{н}{c}$;

$B=2.14*10^{-3}\ Тл.$

5 - ВАРИАНТ

Задача 1

Параллельный пучок света с длиной волны λ = 643,8 нм падает по нормали на пластинку из кристалла кварца в половину длины волны перпендикулярно её оптической оси. Показатели преломления для необыкновенного и обыкновенного лучей составляют соответственно $n_e=1{,}5514$ и $n_o=1{,}5423$. Определить: 1) длины волн этих лучей в кристалле; 2) минимальную толщину пластинки; 3) разность фаз между обыкновенным и необыкновенным лучами на выходе из пластинки; 4) уравнение траектории конца результирующего светового вектора для луча на выходе пластинки. Обосновать, какой тип поляризации будет наблюдаться у луча на выходе из пластинки. Изобразите на рисунке ход для необыкновенного и обыкновенного лучей, покажите тип поляризации этих лучей.

Дано:

$$\lambda=643{,}8\,нм$$
$$n_e=1{,}5514$$
$$n_o=1{,}5423$$

Найти:

$$\lambda_e,$$
$$\lambda_o,$$
$$d_m,$$
$$\Delta\Phi,$$
$$\vec{E}_e\left(\vec{E}_o\right)$$

Решение:

Определение показателя преломления:

$$n=\frac{c}{v}$$

где n — абсолютный показатель преломления, c — скорость света в вакууме, v — скорость света в среде. Он отражает то, во сколько раз медленнее свет распространяется в среде, чем в вакууме. С другой стороны, зная связь скорости света в среде и ее длины волны:

$$\lambda=vT=\frac{v}{f}$$

где λ — длина волны, v — скорость света в среде, T — период колебаний, f — частота, получаем связь коэффициента преломления и длины волны:

$$n=\frac{cT}{\lambda}$$

Видно, что в числителе стоит длина волны света в вакууме ($\lambda_{вакуум}=cT$), а в знаменателе длина волны в среде. Выражая искомые длины волн:

$$n=\frac{\lambda_{вакуум}}{\lambda_{среда}}\Rightarrow\lambda_{среда}=\frac{\lambda_{вакуум}}{n}$$

получаем для обыкновенного и необыкновенного лучей:

$$\lambda_e = \frac{\lambda}{n_e} = \frac{643,8}{1,5514} = 414,98 [нм]$$

$$\lambda_o = \frac{\lambda}{n_o} = \frac{643,8}{1,5423} = 417,43 [нм]$$

Оптическая длина пути L в среде с показателем преломления n равна произведению геометрической длины пути l, пройденного светом, на показатель преломления n:

$$L = nl$$

В нашей задаче геометрическая длина пути — это и есть искомая толщина пластинки. Также из условия (пластинка в половину длины волны) ясно, что разность хода (разность оптических длин преломленного (необыкновенного) и непреломленного (обыкновенного)) лучей составляет половину исходной длины волны:

$$\Delta = L_e - L_o = d_m (n_e - n_o) = \frac{\lambda}{2}$$

Выражаем искомую величину:

$$d_m = \frac{\Delta}{(n_e - n_o)} = \frac{\lambda}{2(n_e - n_o)}$$

Подставляем значения:

$$d_m = \frac{643,8}{2(1,5514 - 1,5423)} = 35373 [нм] = 35,37 [мкм]$$

Длина волны — расстояние между точками с одинаковой фазой. Это значит, что разность фаз между точками, расстояние между которыми равно длине волны, составляет 2π. Это позволяет составить простую пропорцию и выразить искомую величину:

$$\frac{\Delta \Phi}{\Delta} = \frac{2\pi}{\lambda} \Rightarrow \Delta \Phi = \Delta \frac{2\pi}{\lambda} = \left| \text{по условию } \Delta = \frac{\lambda}{2} \right| = \frac{\lambda}{2} \frac{2\pi}{\lambda} = \pi$$

Если свет распространяется перпендикулярно оптической оси, то поляризацию можно разложить на две проекции — параллельную оптической оси и перпендикулярную. Эффективный показатель преломления будет разным для света двух ортогональных поляризаций, и при прохождении через слой (пластинку) материала может наблюдаться сдвиг по фазе между двумя компонентами. Если исходная поляризация линейная и ориентирована либо полностью вдоль, либо полностью перпендикулярно оптической оси, то на выходе из пластинки она не изменится. Однако, если исходно свет поляризован под углом к оптической оси, либо поляризация эллиптическая или циркулярная, то при прохождении через пластинку из одноосного кристалла поляризация может измениться из-за сдвига по фазе между компонентами.

По условию свет изначально имел круговою поляризацию, значит обыкновенный и необыкновенный лучи будут линейно поляризованы и перпендикулярны друг другу.

Введем координатные оси и, учитывая поляризацию света, запишем уравнение траектории конца светового вектора для необыкновенного луча на выходе пластинки:

$$E_{ey}(t) = E_{ey}^{max} \cos(\omega t + \varphi_0)$$

Где t — время, E_{ey} — y-вая компонента вектора напряженности (других компонент нет, так как свет так линейно поляризован), E_{ey}^{max}— амплитуда, ω — циклическая частота, φ_0 — начальная (в момент времени t=0) фаза.

Для обыкновенного луча необходимо учесть, что он поляризован перпендикулярно и имеет сдвиг фазы:

$$E_{ox}(t) = E_{ox}^{max} \cos(\omega t + \varphi_0 - \pi)$$

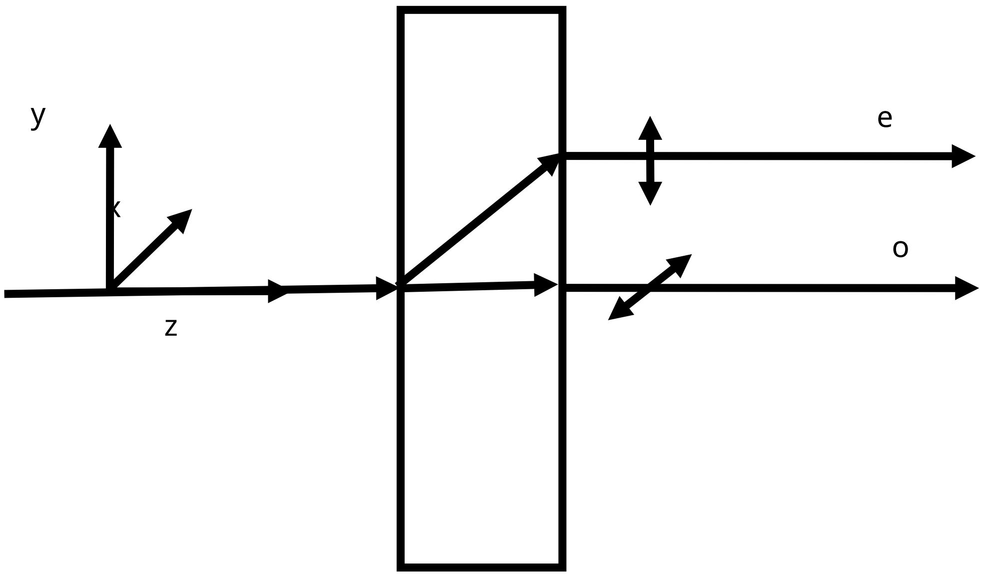
Сдвиг фазы на $-\pi$ даёт смену знака гармонической функции:

$$E_{ox}(t) = -E_{ox}^{max} \cos(\omega t + \varphi_0)$$

Выразим $\cos(\omega t + \varphi_0)$из обоих формул, получим искомое уравнение траектории:

$$\frac{E_{ey}}{E_{ey}^{max}} = \cos(\omega t + \varphi_0) = \frac{-E_{ox}}{E_{ox}^{max}}$$

$$E_{ey} = -E_{ox} \frac{E_{ey}^{max}}{E_{ox}^{max}}$$



Ответ: λ_e=414,98нм; λ_o=417,43нм; d_m=35,37мкм; $\Delta\Phi=\pi$; $E_{ey}=-E_{emax}/E_{omax}*E_{ox}$

Задача 2

Работа выхода электрона из металла $A_s=2\,эВ$. Поверхность металла облучается фотонами с длиной волны $\lambda=0.4\,мкм$. Определить задерживающее напряжение $U_з$ для этого опыта. Найти максимальный импульс, передаваемый поверхности металла при вылете каждого электрона ($p_{пов}$). Во сколько раз отличается импульс выбитого электрона (p_e) от импульса фотона ($p_ф$), который падает на поверхность? Изобразите на рисунке вольтамперную характеристику фотоэффекта (ВАХ); покажите на ВАХ ток насыщения $I_н$ и задерживающий потенциал ($U_з$).

Дано:

$\lambda=0,4\,мкм$

$A_s=2\,эВ$

Найти:

$U_з$,

$p_{пов}$,

$\frac{p_e}{p_ф}$

Решение:

Уравнение фотоэффекта — закон сохранения энергии, который говорит, что энергия кванта излучения (фотона) идет на преодоление электроном работы выхода и приобретение им кинетической энергии.

$$hv=A_s+\frac{mv^2}{2}$$

где h — постоянная Планка, v — частота излучения, их произведение это энергия фотона $E_{ф}=hv$, A_s — работа выхода, энергия, которую надо потратить, чтобы электрон покинул материал, $E_k^{max}=\frac{m v^2}{2}$ — максимальная кинетическая энергия электрона.

Запирающее напряжение — это обратное напряжение, которое нужно подать на анод и катод, чтобы ток, который появляется в ходе фотоэффекта прекратился. Работа этого поля должна компенсировать кинетическую энергию электронов.

Связь работы и напряжения:
$\Delta E = qU$где q – заряд, U – напряжение, ΔE – приращение энергии, работа. В нашем случае речь идет об электроне поэтому q заменим на e – заряд электрона. Тогда получим:

$$e U_з = E_k^{max} = hv - A_s$$

Связь длины волны, частоты и скорости: $T=\frac{\lambda}{c}=\frac{1}{v} \Rightarrow v=\frac{c}{\lambda}$

Выражаем искомую величину, подставляем значения (важно заметить, что работа выхода нам дана в электрон-вольтах, соответственно, ее пересчитываем):

$$U_з = \frac{\frac{hc}{\lambda} - A_s}{e}$$

$$U_з = \frac{\frac{6.626\cdot 10^{-34}\cdot 3\cdot 10^{8}}{0,4\cdot 10^{-6}} - 2\cdot 1.6\cdot 10^{-19}}{1.6 * 10^{-19}} = \frac{\overbrace{1,7695\cdot 10^{-19}}^{E_k^{max}}}{1.6\cdot 10^{-19}} = 1,108[B]$$

По закону сохранения импульса, поверхность испытывает “отдачу” равную импульсу выбитого электрона.

$$p_{пов} = p_e$$

Кинетическую энергию электрона мы нашли при ответе на прошлый вопрос. Через неё найдем импульс электрона и соответственно искомую величину:

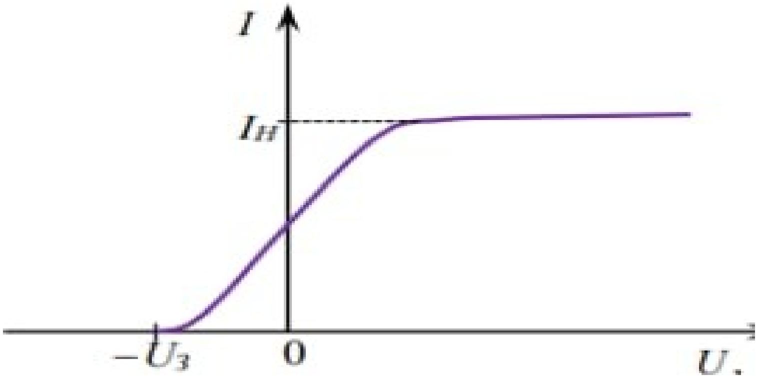
$$E=\frac{m v^2}{2},\ p=mv \Rightarrow E=\frac{p^2}{2m} \Rightarrow p=\sqrt{2mE}$$

В нашем случае $m=m_e$ — масса электрона. Таким образом:

$$p_{пов}=p_e=\sqrt{2\cdot 9\cdot 10^{-31}\cdot 1.7695\cdot 10^{-19}}=5.69\cdot 10^{-25}\left[\frac{кг\cdot м}{c}\right]$$

Импульс фотона:

$p_ф=mc=\frac{mc^2}{c}=\frac{E}{c}=\frac{hv}{c}=\frac{h}{\lambda}=\frac{6.626\cdot 10^{-34}}{0,4\cdot 10^{-6}}=1.6565\cdot 10^{-27}\left[\frac{кг\cdot м}{c}\right]$крипч



Напряжении, при котором сила тока в фотоэлементе обращается в ноль, $U_{3.}$ $I_n - ток\ насыщения$.

держивающим напряжением ***U***з.

$$\frac{p_e}{p_ф}=\frac{5.69\cdot 10^{-25}}{1.6565\cdot 10^{-27}}=342.6$$

Ответ: $U_3=1.108\,B$, $p_{пов}=5,69*10^{-25\frac{кг*ь}{c}}$, $\frac{p_e}{p_ф}=342,6$.

Задача 3

Атомарный водород, находящийся в основном состоянии, облучается монохроматическим светом с длиной волны 121,58 нм и переходит в возбужденное состояние. Определить радиус r боровской орбиты этого возбужденного состояния. Изобразите на рисунке энергетическую диаграмму атома водорода, покажите на ней переход из основного в возбужденное состояние.

Дано: Решение:

$\lambda=121,58\,нм$

Найти:

rбок.ор.

Энергия фотона расходуются на возбуждение атома. Разность между энергией возбужденного состояния и основного равно энергии фотона. Энергия основного состояния, это энергия, которую требуется потратить для полной ионизации газа. $E_0=-R_y=-13,6\,эВ$, где R_y — постоянная Ридберга:

$$\Delta E = E_{фотона} = h\nu = E_n - E_0 = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.626 \cdot 10^{-34}}{121,58 \cdot 10^{-9}} = 1,634 \cdot 10^{-18} [Дж]$$

Для удобства пересчитаем в электрон-вольтах:

$$1,634 \cdot 10^{-18} [Дж] = \frac{1,634 \cdot 10^{-18}}{1,6 \cdot 10^{-19}} [эВ] = 10,2 [эВ]$$

Энергия n–того состояния:

$$E_n = \frac{-1}{n^2} R_y = E_0 + \Delta E = -13,6 + 10,2 = -3,4 [эВ]$$

Отсюда:

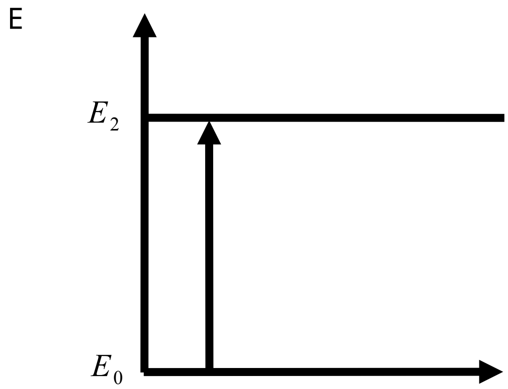
$$\frac{1}{n^2} = \frac{-R_y}{E_n} = \frac{-13,6}{-3,4} = \frac{1}{4} \Rightarrow n = 2$$

Радиус атома в -том состоянии:

$$r_n = a_0 n^2$$

где $a_0 = 5,3 \cdot 10^{-10} [м]$ — боровский радиус (радиус ближайшей к ядру орбиты электрона).

$$r = 4 \cdot 5,3 \cdot 10^{-11} = 2,116 \cdot 10^{-10} [м]$$



Ответ: $r = 2,116 \cdot 10^{-10}$ м

6 - ВАРИАНТ

1. Монохроматический свет падает нормально на щель шириной 10 мкм. За щелью находится тонкая линза с оптической силой 4Дптр. В фокальной плоскости линзы расположен экран. Найти длину волны света λ, если расстояние между симметрично расположенными минимумами второго порядка равно 6 см. Приведите рисунок для схемы установки. Изобразите дифракционную картину интенсивности света на экране. Пронумеруйте все дифракционные максимумы, которые могут быть видны на экране. (λ = 595,7нм)

Дано:

$$b=10\,мкм=1*10^{-5}\,м$$

$$k=2$$

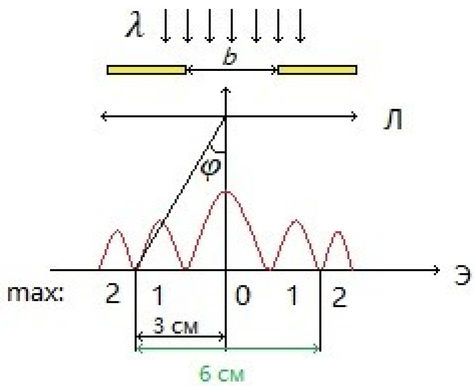
$$D=4\ Дптр$$

$$x=3\,см$$

Найти:

$$\lambda=?$$

Решение:



Нам нужно найти длину волны λ. Ее мы можем выразить из условия наблюдения дифракционного минимума:

$$b sin\varphi=k\lambda \qquad 1.1$$

$$sin\varphi=\frac{k\lambda}{b}$$

Где k, порядок дифракционного минимума, у нас по условию $k=2$.

Фокусное расстояние линзы определим из ее оптической силы:

$$F=\frac{1}{D} \qquad 1.2$$

Из формул 1.1 и 1.2 мы можем вывести формулу для расстояния от центра дифракционной картины до минимума второго порядка:

$$x=\frac{\frac{1}{D}*k_2\lambda}{b} \qquad 1.3$$

Нам дано расстояние между симметрично расположенными минимумами второго порядка = 6 см, но для $sin\varphi$ нам нужно расстояние от центра дифракционной картины до минимума второго порядка, которое исходя из рисунка является нашим катетом.

Отсюда: $x=\frac{6}{2}=3\,см$.

Выразим из 1.3 длину волны λ:

$$\lambda=\frac{xbD}{k_2} \qquad 1.4$$

Подставим числовые значения:

$$\frac{3*1*10^{-5}*4}{2}=600\,нм$$

Ответ: длина волны λ = 600 нм.

2. Температура абсолютно черного тела увеличилась в 1,5 раза, в результате чего длина волны λ_m, на которую приходится максимум энергии излучения, изменилась на $\Delta\lambda_m=800\,нм$. Определить начальную T_1 и конечную T_2 температуру тела. Во сколько раз в результате нагревания изменилась тепловая мощность, излучаемая телом? Рисунком поясните график распределения энергии в спектре излучения абсолютно чёрного тела, укажите для данных температур положение $\lambda_{m1}\,и\,\lambda_{m2}$. ($T_1=1207.5\,К\,;T_2=1811.25\,К\,;\frac{R_2}{R_1}=5.063$)

Дано:

$\Delta\lambda_m=800\,нм=¿$

$8*10^{-7}\,м$

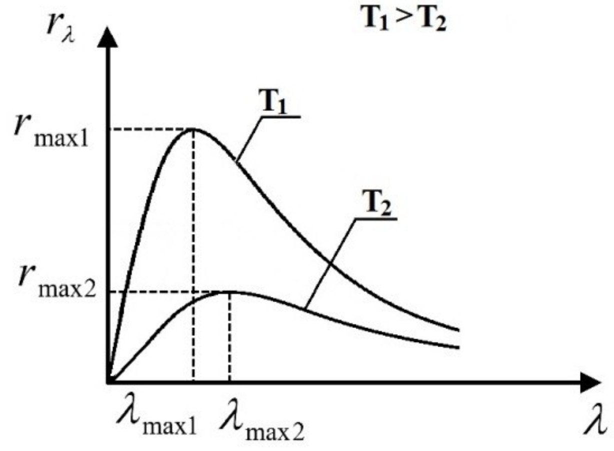
$C_1=2.898*10^{-3}\,м*К$

$\frac{T_2}{T_1}=1,5$

Найти:

$T_1=?\;T_2=?\;\frac{R_2}{R_1}=?$

Решение:



Воспользуемся законом смещения Вина: длина волны, на которую приходится максимум излучательной способности а.ч.т. $\left(r_{\lambda max}\right)$ обратно пропорционален абсолютной температуре этого тела. Для любого а.ч.т. постоянная $C_1 = 2.898 * 10^{-3}\, м * K$.

$$\lambda_{max} = \frac{C_1}{T} \qquad 2.1$$

По условию задачи температура абсолютно черного тела увеличилась в 1.5 раза:

$$\frac{T_2}{T_1} = 1,5 \qquad 2.2$$

Следовательно:

$$T_2 = 1,5 T_1 \qquad 2.3$$

$\Delta\lambda_m$ определяется как разница между $\lambda_1 и\, \lambda_2$:

$$\Delta\lambda_m = \lambda_1 - \lambda_2 \qquad 2.4$$

Выразим λ_1 и λ_2:

$$\lambda_1 = \frac{C_1}{T_1} \qquad 2.5$$

$$\lambda_2 = \frac{C_1}{1,5 * T_1} \qquad 2.6$$

Подставим 2.5 и 2.6 в 2.4:

$$\Delta\lambda_m = \frac{C_1}{T_1} - \frac{C_1}{1,5 * T_1} \qquad 2.7$$

Выразим температуру первого тела T_1, для этого для начала приведем

$$T_1 = \frac{C_1}{\Delta\lambda_m} - \frac{C_1}{1.5 * \Delta\lambda_m} \qquad 2.8$$

Подставим наши данные:

$$T_1 = \frac{2.898 * 10^{-3}}{8 * 10^{-7}} - \frac{2.898 * 10^{-3}}{1.5 * 8 * 10^{-7}} = 1207,5\,K$$

Зная T_1, мы можем найти T_2, подставив значение T_1 в 2.3:

$$T_2 = 1,5 * 1207,5\,K = 1811.25\,K$$

Согласно закону Стефана – Больцмана, энергетическая светимость R абсолютно черного тела пропорциональна четвертой степени его абсолютной температуры.

$$R = \sigma T^4 \qquad 2.9$$

где $\sigma = 5,67 * 10^{-8}\,Bm/(м^2 * K^4)$ – постоянная Стефана-Больцмана.

Определим, во сколько раз в результате нагревания изменилась тепловая мощность, излучаемая телом. Для этого определим отношение R_2 к R_1.

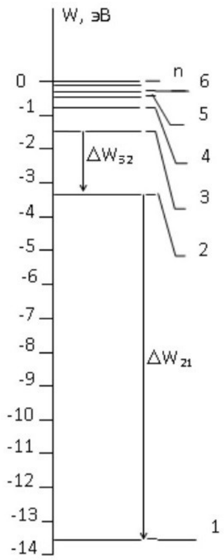
$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{5,67 * 10^{-8} * 1811.25^4}{5,67 * 10^{-8} * 1207.5^4} = 5.0625$$

Ответ: $T_1 = 1207.5\,K;\ T_2 = 1811.25\,K;\ \frac{R_2}{R_1} = 5.0625$

3. Атомарный водород, находящийся в некотором возбужденном состоянии, переходит в основное состояние. При этом радиус боровской орбиты уменьшается в 9 раз. Определить все длины волн λ_i, излучаемые при переходе из первоначального состояния в основное, имея виду, что переход в основное состояние может происходить через промежуточные состояния. Изобразите на рисунке энергетическую диаграмму атома водорода, покажите на ней все переходы из возбужденного в основное состояние, включая промежуточные переходы. ($\lambda_1 - 656,47\,нм$; $\lambda_2 - 121,57\,нм$ $\lambda_3 - 102,57\,нм$

Дано:	Решение:

$a_0 = 5,29*10^{-11}\, м$
Найти: $\lambda_1 - ?;\ \lambda_2 - ?\ \lambda_3 - ?$



Определим радиус боровской орбиты в возбужденном состоянии. Сила Кулона, действующая на электрон в водородоподобном атоме со стороны ядра, является центростремительной силой.

$$F_{цс} = F_{кул} \qquad 3.1$$

$$m = \frac{v_n^2}{r_n} = k\frac{Zq_e^2}{r_n^2}$$

где $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ – коэффициент в законе Кулона, q_e – величина заряда электрона, Zq_e – величина заряда ядра водородоподобного атома. Выразим скорость из постулата стационарных состояний:

$$u_n = \frac{n\hbar}{mr_n} \qquad 3.2$$

Подставим выражение для скорости в 3.1:

$$m\frac{n^2\hbar^2}{m^2 r_n^2} = k\frac{Zq_e^2}{r_n}$$

Получим зависимость радиуса орбиты электрона r_n от номера орбиты n:

$$r_n = \frac{\hbar^2}{km*Zq_e^2}n^2 \qquad 3.3$$

Заметим, что дробь, стоящая перед квадратом номера орбиты, является набором констант и соответствует радиусу орбиты электрона при n = 1. Тогда для атома водорода при Z=1 можно записать:

$$r_n = a_0 n^2 \qquad 3.4$$

где $a_0 = 5.29 * 10^{-11}$ $м$ – боровский радиус.

Определим боровский радиус в возбужденном состоянии.

По условию, боровский радиус уменьшился в 9 раз, то есть изначально (в возбужденном состоянии), он был в 9 раз больше, отсюда, $n^2 (из формулы\, 3.4) = 9,$ следовательно, n = 3.

Делаем вывод, что изначально возбужденный атом находился на 3 уровне.

В простейшем случае, в атоме водорода имеется один единственный электрон, который является валентным электроном. Значения энергии для электрона в атоме водорода определяются формулой:

$$W_n = \frac{\frac{-m e^4}{32 \pi^2 \varepsilon_0^2 \hbar^2} * 1}{n^2} \qquad 3.5$$

Здесь первая дробь представляет собой набор констант, а n - главное квантовое число. Обозначим:

$$W_1 = \frac{-m e^4}{32 \pi^2 \varepsilon_0^2 \hbar^2} \qquad 3.6$$

Тогда

$$W_n = \frac{W_1 * 1}{n^2} \qquad 3.7$$

Здесь W_1 – энергия основного состояния электрона в атоме водорода. Полезно запомнить, что $W_1 = -13{,}6\, эВ$. Поэтому формулу (3.7) часто пишут в виде:

$$W_n = \frac{-13.6 * 1}{n^2}\, эВ \qquad 3.8$$

В случае внешних воздействий атом, т.е. фактически его электрон, может получить дополнительную энергию и перейти в одно из возбужденных состояний, энергия которых больше, чем энергия основного состояния. Такие переходы называют переходами на более высокие энергетические уровни. Из возбужденных состояний атом спонтанно, т.е. самопроизвольно, переходит в основное состояние или на один из более низких энергетических уровней. При этом атом излучает в окружающее пространство энергию:

$$\Delta W_{kn} = W_k - W_n \qquad 3.9$$

Здесь W_k – энергия атома в исходном состоянии, а W_n – энергия атома в конечном состоянии. Энергия W_{kn} излучается в виде кванта электромагнитного излучения $\hbar\omega_{kn}$, так что

$$\hbar\omega_{kn} = W_k - W_n \qquad 3.10$$

Соотношение 3.10 часто называют правилом частот.

Из соотношений 3.5 и 3.10 следует, что частота излучения равна:

$$\omega_{kn} = \frac{m k^2 q_e^4}{2\hbar^3}\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2}\right) \qquad (3.10)$$

Выразив циклическую частоту ω через длину волны λ, можно записать, что:

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2}\right) \qquad 3.11$$

Здесь величина $R = 1{,}0967758 * 10^7\, м^{-1}$ называется постоянной Ридберга.

Из формулы 3.11 мы можем легко выразить длину волны:

$$\lambda = \frac{1}{R\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2}\right)}$$

3.12

Мы выяснили, что изначально наш атом был на 3 уровне (n=3). Подставим значения наших уровней в 3.12:

$$\lambda_3 = \frac{1}{1{,}0967758 * 10^7\left(\frac{1}{1} - \frac{1}{9}\right)} = 1{,}0257 * 10^{-7}\, м = 102{,}57\, нм$$

Далее он перешел на второй уровень:

$$\lambda_2 = \frac{1}{1{,}0967758 * 10^7\left(\frac{1}{9} - \frac{1}{4}\right)} = 6{,}5647 * 10^{-7}\, м = 656{,}47\, нм$$

А затем спустился на первый:

$$\lambda_1 = \frac{1}{1{,}0967758 * 10^7 \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{1}\right)} = 1{,}2157 * 10^{-7}\,м = 121{,}57\,нм$$

Ответ: $\lambda_1 = 121{,}57\,нм$; $\lambda_2 = 656{,}47\,нм$ $\lambda_3 - 102{,}57\,нм$

7 - ВАРИАНТ

Задача 1

Расстояние между экраном и дифракционной решеткой равно 42,0 см. Если дифракционная решетка освещается желтой линией натрия (λ_1 = 589 нм), то максимум первого порядка на экране отстоит от центрального пика на расстоянии 2,48 см. Другой источник создает максимум первого порядка, отстоящий на 2,0 см от центрального максимума. Какова его длина волны λ_2? Изобразите на рисунке: 1) схему эксперимента с указанием рисунка дифракционной решетки, где проставлен ее период; 2) дифракционную картину интенсивности света на экране для длин волн λ_1 и λ_2, выделив разными цветами эти длины волн, пронумеруйте все главные дифракционные максимумы, которые могут быть видны на экране. (λ_2 = 475 нм)

Дано:	**СИ:**
$L = 42{,}0$ см	$42{,}0 \cdot 10^{-2}$ м
$\lambda_1 = 589$ нм	$589 \cdot 10^{-9}$ м
$d_{01_1} = 2{,}48$ см	$2{,}48 \cdot 10^{-2}$ м
$d_{01_2} = 2{,}0$ см	$2{,}0 \cdot 10^{-2}$ м

Найти: λ_2

Изобразить:

1) схему эксперимента с указанием рисунка дифракционной решетки, где проставлен ее период;

2) дифракционную картину интенсивности света на экране для длин волн λ_1 и λ_2, выделив

Решение:

1) Схема эксперимента:

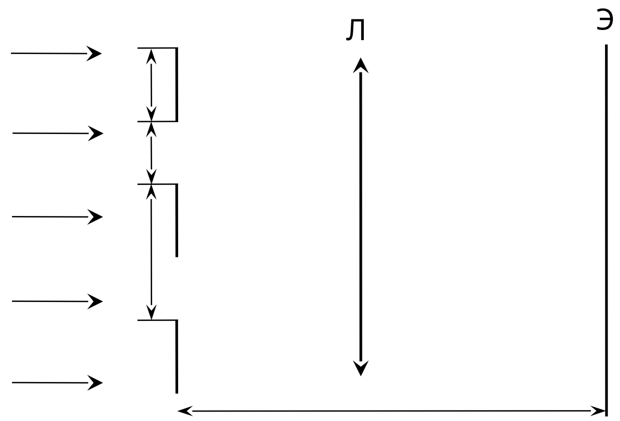


Рис. 1

d – период решетки,

a – ширина промежутка между соседними щелями,

разными цветами эти длины волн, пронумеровать все главные дифракционные максимумы, которые могут быть видны на экране.	b – ширина щели, Л – собирающая линза, Э – экран, λ – длина волны падающего света, L – расстояние между экраном и дифракционной решеткой.

2) Дифракционная картина интенсивности света на экране для длин волн λ_1 и λ_2:

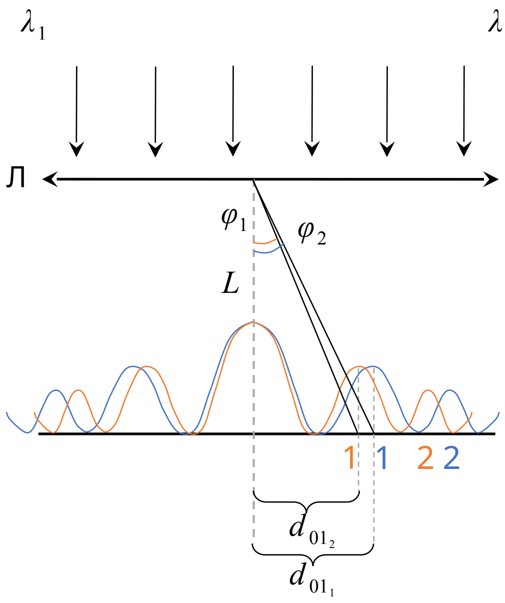


Рис. 1

Найдем λ_2. Запишем условия максимумов для λ_1 и λ_2.

Условие максимума для λ_1:

$$d\sin\varphi_1 = m\lambda_1, \tag{1}$$

где φ_1 – угол дифракции для λ_1.

Условие максимума для λ_2:

$$d\sin\varphi_2 = m\lambda_2, \tag{2}$$

где φ_2 – угол дифракции для λ_2.

По условию, наблюдается максимум первого порядка, следовательно, $m=1$. С учетом этого выражения (1) и (2) примут вид:

$$d\sin\varphi_1 = \lambda_1 \tag{3}$$

$$d\sin\varphi_2 = \lambda_2 \tag{4}$$

Разделим (3) на (4) почленно:

$\frac{d \sin\varphi_1}{d \sin\varphi_2}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \Leftrightarrow \frac{\sin\varphi_1}{\sin\varphi_2}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$, откуда

$$\lambda_2=\lambda_1 \cdot \frac{\sin\varphi_2}{\sin\varphi_1} \tag{5}$$

Оценим величины $\sin\varphi_1$ и $\sin\varphi_2$: $L \gg d \Rightarrow \sin\varphi \approx tg\,\varphi$. Тогда согласно рис. 2, $\sin\varphi_1=\frac{d_{01_1}}{L}$, $\sin\varphi_2=\frac{d_{01_2}}{L}$. Подставим полученные выражения в (5):

$$\lambda_2=\lambda_1 \cdot \frac{\frac{d_{01_1}}{L}}{\frac{d_{01_2}}{L}}=\frac{d_{01_2}}{d_{01_1}} \tag{6}$$

Подставив данные из условия в (6), находим:

$\lambda_2=589 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{2 \cdot 10^{-2}}{2,48 \cdot 10^{-2}}=475 \cdot 10^{-9} (м)=475 (нм)$.

Ответ: длина волны $\lambda_2=475$ (нм)

Задача 2

Определить работу выхода электронов из натрия (A_B, эВ), если красная граница фотоэффекта λ_0 = 500 нм. Чему равна кинетическая энергия вылетевшего электрона (W_K, эВ), если натрий облучать светом с λ = 0,35 мкм. Найти значение задерживающего напряжения ($U_З$) при таком облучении. Изобразите на рисунке вольтамперную характеристику фотоэффекта (ВАХ); покажите на ВАХ ток насыщения I_H и задерживающий потенциал $U_З$.

Дано:	**СИ:**
$\lambda_0 = 500\,нм$	$500 \cdot 10^{-9}\,м$
$\lambda = 0,35\,мкм$	$0,35 \cdot 10^{-6}\,м$

Найти: 1) A_B; 2) W_K; 3)$U_З$.

Изобразить: вольтамперную характеристику фотоэффекта (ВАХ);

показать на ВАХ ток насыщения I_H и задерживающий потенциал $U_З$.

Решение:

1) Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта,

$$h\nu = A_B + W_k \qquad (1)$$

Согласно II закону фотоэффекта для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, для которой уравнение (1) запишется в виде:

$$h\nu_0 = A_B \qquad (2)$$

Поскольку $\nu_0 = \frac{c}{\lambda_0}$, (2) можно переписать в виде:

$$\frac{hc}{\lambda_0} = A_B \qquad (3)$$

Найдем значение A_B из уравнения (3):

$$A_B = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}}{500 \cdot 10^{-9}} \approx 3,98 \cdot 10^{-19}(Дж) \approx 2,49(эВ).$$

2) Из уравнения (1) выразим W_k:

$$W_k = h\nu - A_B = \frac{hc}{\lambda} - A_B.$$

Поскольку материал катода не изменился, для вычисления W_k используем значение A_B, найденное в п. 1):

$$W_k = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}}{0,35 \cdot 10^{-6}} - 3,98 \cdot 10^{-19} \approx (5,68 - 3,98) \cdot 10^{-19} = ¿$$

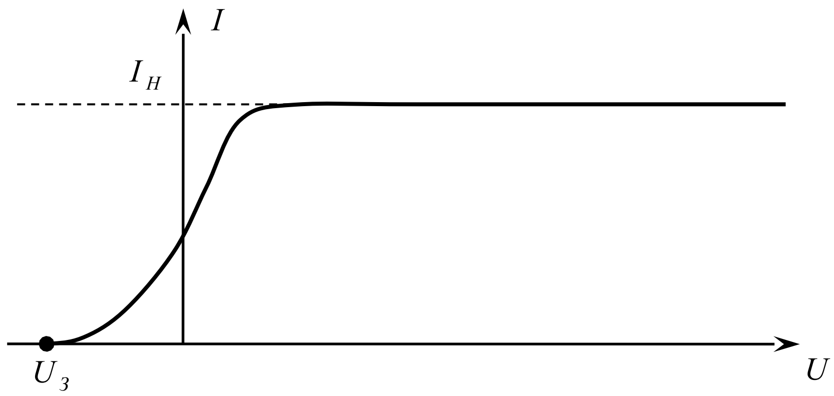
$$¿1,7 \cdot 10^{-19}(Дж).$$

3) Для $U_з$ выполняется соотношение:

$$eU_з = W_K, \tag{4}$$

откуда $U_з = \frac{W_K}{e} = \frac{1,7 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 1,063\,(В)$.

4) ВАХ фотоэффекта:



Ответ:

1) а

Задача 3

В покоящемся атоме водорода электрон перешёл с пятого энергетического уровня в основное состояние. Какую скорость υ_a приобрёл атом за счет испускания фотона? Изобразите на рисунке энергетическую диаграмму атома водорода, покажите на ней переход, соответствующий данной задаче. (υ_a = 4.18 м/с)

Дано:

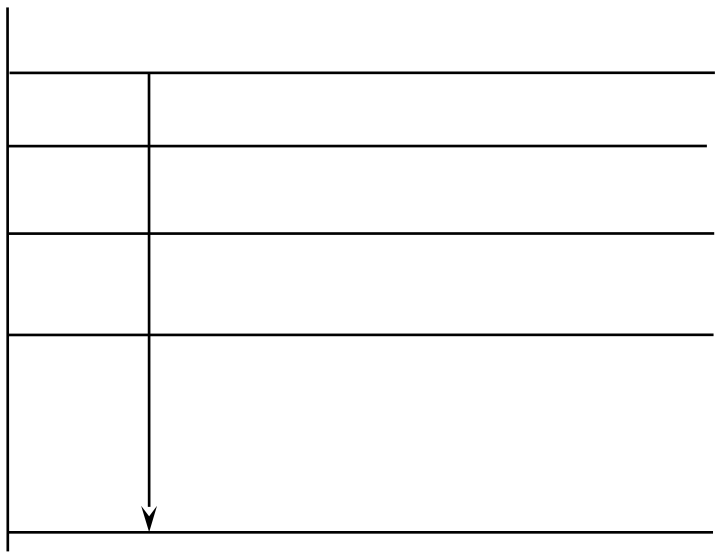
$n_1 = 5$

$n_2 = 1$

Найти: υ_a

Изобразить: энергетическую диаграмму атома водорода, показать на ней переход, соответствующий данной задаче

Решение:



Энергетическую диаграмму атома водорода

Полная механическая энергия электрона в стационарном состоянии с номером n в атоме водорода равна

$$W_n = -13,60 \cdot \frac{1}{n^2} \text{ эВ} \qquad (1)$$

Определим полную энергию электрона в стационарном состоянии с номерами $n_1 = 5$ и $n_2 = 1$ в атоме водорода по формуле (1):

$W_{n_1} = -13,60 \cdot \frac{1}{5^2} \approx -0,54$ (эВ);

$W_{n_2} = -13,60 \cdot \frac{1}{1^2} \approx -13,6$ (эВ).

Вследствие перехода электрона с более высокого энергетического уровня на более низкий атом испустил фотон, энергия которого равна:

$W_Ф = W_{n_1} - W_{n_2} = -0,54 + 13,6 = 13,06$ (эВ).

Импульс фотона равен

$$p_Ф = \frac{W_Ф}{c} \frac{кг \cdot м}{c} \quad (2)$$

Вычислим импульс фотона по формуле (2):

$$p_Ф = \frac{13,06 \cdot 16 \cdot 10^{-19}}{3 \cdot 10^{8}} \approx 6,97 \cdot 10^{-27} \left(\frac{кг \cdot м}{c} \right).$$

Импульс, приобретаемый атомом, равен по модулю импульсу фотона:

$$p_a = p_Ф = m v_a \Rightarrow v_a = \frac{p_Ф}{m} = \frac{6,97 \cdot 10^{-27}}{1,67 \cdot 10^{-27}} \approx 4,18 \text{ (м/с).}$$

Ответ: за счет испускания фотона атом приобрел скорость $v_a = 4,18$ (м/с).