

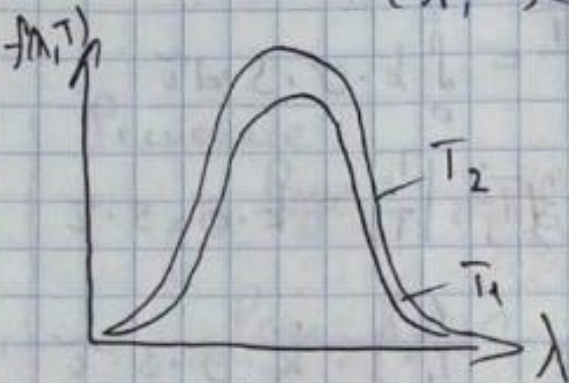
Тепловое излучение

33.1. Как изменится температура абсолютно черного тела, если площадь под кривой функции Кирхгофа увеличится в 81 раз?

Дано: $S_2 = 81S_1$
 $k=1$
 $T_1, T_2 - ?$

Решение:

Кривая Кирхгофа

$$\left(\begin{array}{l} r(\lambda, T) \\ \alpha(\lambda, T) \end{array} \right) \quad \frac{r(\lambda, T)}{\alpha(\lambda, T)} = f(\lambda, T)$$
$$\alpha(\lambda, T) = 1$$
$$r(\lambda, T) = f(\lambda, T)$$

$$R = \int_0^{\infty} r(\lambda, T) d\lambda$$
$$R = \sigma T^4$$
$$R_2 = \sigma T_2^4$$
$$R_1 = \sigma T_1^4$$
$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{S_2}{S_1} = \frac{\sigma T_2^4}{\sigma T_1^4}$$
$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T_2^4}{T_1^4} \quad ; \quad \frac{T_2}{T_1} = \sqrt[4]{81} = 3$$

Ответ: 3

33.2. Мощность излучения с поверхности Земли в космос равна 91 Вт/м^2 . Определите температуру абсолютно черного тела, имеющего такую же мощность излучения.

Дано:

$$C=91 \text{ Вт/м}^2$$

Найти:

T -?

Решение:

$$C=\sigma T^4 * S$$

Пусть $S=1 \text{ м}^2$

$$T=\sqrt[4]{\frac{C}{\sigma}} = \sqrt[4]{\frac{91}{5,67*10^{-8}}} = 200,15\text{K} = 0,2\text{кК}$$

Ответ: $0,2\text{кК}$

33.3. Мощность излучения тела при температуре 15 °С (средняя температура поверхности Земли) равна 91 Вт/м². Определите коэффициент теплового излучения этого тела?

Дано:

$$T = 15 \text{ }^{\circ}\text{C} = 288,15 \text{ K}$$

$$C = 91 \text{ Вт/м}^2$$

Найти:

k -?

Решение:

$$C = \sigma T^4 \cdot k$$

$$k = \frac{C}{\sigma T^4} = \frac{91}{5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 288,15^4} = 0,23$$

33.4. Какой длине волны соответствует максимум излучательной способности абсолютно черного тела, температура которого равна нормальной температуре тела человека ($t = 36,6\text{ }^{\circ}\text{C}$)?

Дано:

$t = 36,6\text{ }^{\circ}\text{C}$

или же $T = 309,75\text{ K}$

Найти:

длину волны

Решение:

$$\lambda_{\text{max}} = b/T = \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{309,75} = 9,4 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 9,4 \text{ мкм}$$

33.5. Солнечная постоянная – плотность мощности излучения на площадке, расположенной перпендикулярно солнечным лучам на границе земной атмосферы, – равна $C = 1,40 \text{ кВт/м}^2$. В какой области спектра лежит максимум излучательной способности Солнца? Расстояние от Солнца до Земли $r = 1,50 \cdot 10^8 \text{ м}$, радиус Солнца $R = 6,95 \cdot 10^8 \text{ м}$.

N33.5.

Дано:

$$C = 1,40 \text{ кВт/м}^2$$

$$r = 1,50 \cdot 10^8 \text{ м}$$

$$R = 6,95 \cdot 10^8 \text{ м}$$

$\lambda - ?$

Решение:

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

$$b = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$$

$$E = C S_{\text{ср}} t$$

$$E = G T^4 S_{\text{с}} t$$

$$C S_{\text{ср}} t = G T^4 S_{\text{с}} t$$

$$T = \sqrt[4]{\frac{C r^2}{G R^2}}$$

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T} = 500 \text{ нм}$$

Ответ: 500 нм

33.6. Максимальная излучательная способность серого тела ($k = 0,60$) равна $3,2 \cdot 10^{11}$ Вт/м³ . Сколько энергии излучает это тело за 1 мин с площади 10 см² ?

Дано:

$$k = 0,60$$

$$P = 3,2 \cdot 10^{11} \text{ Вт/м}^3$$

$$t = 60 \text{ с}$$

$$s = 10 \text{ см}^2$$

Найти:

$$E - ?$$

Решение:

$$E = PAt$$

$$P = \sigma T^4 * k$$

$$T = \sqrt[4]{\frac{P}{\sigma k}} = \sqrt[4]{\frac{3,2 * 10^{11}}{5,67 * 10^{-8} * 0,60}} = 55380$$

33.8. Солнечная постоянная равна $1,4 \text{ кВт/м}^2$ (см. задачу № 33.9). Определите температуру серого тела ($k = 0,50$), которое долгое время находилось на границе земной атмосферы.

Дано:	Решение:
$C = 1,4 \text{ кВт/м}^2 = 1,4 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2$ $k = 0,50$ $C' = 1,5 \cdot 10^{-22} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{м}^2$ $\lambda = 550 \text{ нм}$ $T = ?$	$f(\lambda, T) = \left(\frac{2\pi^5 c}{15 \lambda^4} \right) kT$ $\epsilon = kT$; $T = \frac{\epsilon}{k}$ $C = \sigma T^4 k$ $T = \sqrt[4]{\frac{C}{\sigma k}}$ $C = 1,4 \text{ кВт/м}^2 = 1,4 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2$ $T = \sqrt[4]{\frac{1,4 \cdot 10^3}{5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,50}} = 471 \text{ К} = 0,47 \text{ кК}$ $\text{Ответ: } 0,47 \text{ кК}$

33.10. Температура стальной ($c = 460 \text{ Дж/(кг·К)}$) пластинки площадью $7,0 \text{ см}^2$ за 20 мин уменьшается на 100 %. Определите массу пластинки, если ее начальная температура 2000 К, а коэффициент теплового излучения 0,46.

$$\begin{aligned}
 & c = 460 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \\
 & S = 7,0 \text{ см}^2 = 7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \\
 & \tau = 20 \text{ мин} = 1200 \text{ с} \\
 & T_2 = 1000 \text{ К} \\
 & T_1 = 2000 \text{ К} \\
 & k = 0,46
 \end{aligned}
 \quad \left. \begin{aligned}
 dW &= m \cdot c \cdot dT \\
 dE &= k \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot S \cdot d\tau \\
 &= -dE \\
 m \cdot c \cdot dT &= k \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot S \cdot d\tau \\
 -\frac{m \cdot c \cdot dT}{T^4} &= \frac{k \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot S \cdot d\tau}{T^4}
 \end{aligned} \right\} dW =$$

$$\begin{aligned}
 m - ? \\
 -\frac{m \cdot c \cdot dT}{T^4} &= k \cdot \sigma \cdot S \cdot d\tau \\
 -\int_{T_1}^{T_2} \frac{m \cdot c \cdot dT}{T^4} &= \int_0^\tau k \cdot \sigma \cdot S \cdot d\tau \\
 -mc \left(-\frac{1}{3} \right) \frac{1}{T^3} \Big|_{T_1}^{T_2} &= k \cdot \sigma \cdot S \cdot \tau \\
 \frac{1}{3} mc \left(\frac{1}{T_2^3} - \frac{1}{T_1^3} \right) &= k \cdot \sigma \cdot S \cdot \tau \\
 m &= \frac{3k \cdot \sigma \cdot S \cdot \tau}{c \left(\frac{1}{T_2^3} - \frac{1}{T_1^3} \right)} = \frac{3k \cdot \sigma \cdot S \cdot \tau}{c} \times \\
 &\times \frac{(T_1 T_2)^3}{T_1^3 - T_2^3} = 0,16 \text{ (кг)}
 \end{aligned}$$

33.11. Температура шара массой 4,8 кг, диаметром 10 см и с коэффициентом теплового излучения 0,60 изменяется от 2000 К до 1000 К за 10 мин. Из какого материала изготовлен этот шар?

Дано:

- $m = 4,8 \text{ кг}$
- $d = 0,1 \text{ м}$
- $k = 0,60$
- $T_1 = 2000 \text{ К}$
- $T_2 = 1000 \text{ К}$
- $t = 600 \text{ с}$
- $c = ?$

Решение:

$$mc\Delta T = k\sigma T^4 S t$$

$$S = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$c = \frac{k\sigma T^4 \frac{\pi d^2}{4} t}{m \Delta T}$$

$$c = \frac{0,60 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 2000^4 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} \cdot 600}{4,8 \cdot (2000^3 - 1000^3)}$$

$$= \frac{4,75 \cdot 10^{14}}{2000^3 - 1000^3} = 0,47 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$$

Ответ: 0,47 кДж/(кг·К), Fe

33.12. С помощью формулы Планка определите энергетическую светимость абсолютно черного тела в интервале длин волн 1 нм вблизи максимума излучения при температуре 3000 К.

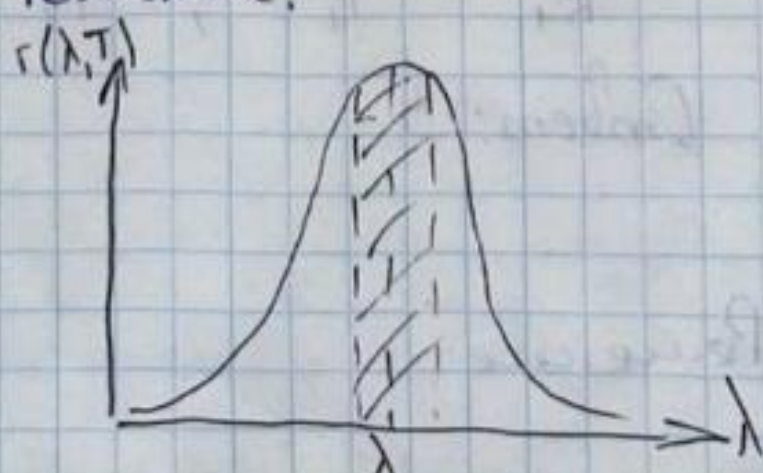
Дано:

$$K = 1$$

$$\lambda = 10^{-9} \text{ м}$$

$$T = 3000 \text{ К}$$

Решение:



$$R = \Delta \lambda \cdot \lambda$$

$$r(\lambda, T) = \frac{2\pi c^2 \cdot h}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda T}} - 1}$$

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T} = \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{3000} = 0,97 \cdot 10^{-6} \text{ (м)}$$

$$R = \frac{2\pi c^2 \cdot h}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda T}} - 1} \cdot \Delta \lambda = 3,2 \cdot 10^3 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right)$$

Ответ: $3,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$

Квантовое излучение

33.15. Сколько фотонов, которым соответствует длина волны излучения 520 нм, обладают суммарной энергией 1,0 мДж?

$$\lambda = 520 \text{ нм} = 520 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

$$E = 10^{-3} \text{ Дж}$$

$$N = ?$$

$$E = \frac{hcN}{\lambda}; \Rightarrow$$

$$N = \frac{E\lambda}{hc} = 2,62 \cdot 10^{15}$$

33.16. Определите массу фотона, энергия которого равна энергии покоя протона.

33.17. Импульс фотона равен $8,0 \cdot 10^{-22}$ кг·м/с. Определите энергию этого фотона.

Дано:

$$p_{\text{ф}} = 8,0 \cdot 10^{-22} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$$

Найти:

E - ?

Решение:

$$E = p_{\text{ф}} \cdot c = 8,0 \cdot 10^{-22} \cdot 3 \cdot 10^8 = 2,4 \cdot 10^{-13}$$

$$Дж = 1,5 \text{ МэВ}$$

33.19. Источник излучения мощностью 200 Вт и КПД 4,0 % излучает каждую секунду $2,5 \cdot 10^{19}$ фотонов. Какой области спектра соответствует это излучение?

Дано:

$$P = 200 \text{ Вт}$$
$$\eta = 4,0\%$$
$$t = 1 \text{ с}$$
$$n = 2,5 \cdot 10^{19} \text{ с}^{-1}$$

$\lambda - ?$

Решение:


$$\eta = \frac{P_{\text{поп}}}{P}$$
$$P_{\text{поп}} = h\nu \cdot n$$
$$P_{\text{поп}} = \eta P$$
$$\eta P = h\nu n = hn \frac{c}{\lambda}$$
$$\lambda = \frac{hnc}{\eta P} = 621 \cdot 10^{-9} \text{ (м)}$$

Ответ: $621 \cdot 10^{-9} \text{ м}$

33.20. Сколько фотонов падает каждую секунду на площадку 2 см^2 , расположенную на расстоянии 10 м от изотропного источника излучения с длиной волны 500 нм и мощностью 100 Вт ?

Дано: $S = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$
 $\lambda = 500 \text{ нм}$
 $l = 10 \text{ м}$
 $P = 100 \text{ Вт}$
 $n = ?$

Решение:



$$P = n_0 \cdot h \nu = n_0 \cdot h \cdot \frac{c}{\lambda} \rightarrow$$

$$S_0 = 4\pi r^2$$

$$\frac{S_0}{S_1} = \frac{n_0}{n_1}$$

$$n_1 = \frac{S_1 \cdot n_0}{S_0}; \quad n_0 = \frac{P \cdot \lambda}{h \cdot c}$$

$$n_1 = \frac{P \cdot \lambda}{h \cdot c} \cdot \frac{S_1}{S_0} = \frac{100 \cdot 500 \cdot 10^{-9}}{6,625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8} \cdot \frac{2 \cdot 10^{-4}}{4 \cdot \pi \cdot 10^2} =$$

$$= 4 \cdot 10^{13} \text{ (с}^{-1}\text{)}$$

Ответ: $4 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$

33.21. Определите коэффициент полезного действия рентгеновской трубки, работающей при напряжении 100 кВ и потребляющей ток силой 0,5 мА. При этом трубка за 10 с излучает $5 \cdot 10^{15}$ фотонов с длиной волны 0,1 нм.

1) Мощность потребляемого тока: $W = UI$;

2) Энергия фотонов равна: $E = \frac{hc}{\lambda}$;

3) Мощность рентгеновского излучения:

$$P = nE = \frac{nhc}{\lambda};$$

4) Найдем КПД рентгеновской трубки: $\eta = \frac{P}{W} = \frac{nhc}{UI\lambda}$;

$h=6,626 \cdot 10^{-34}$, $U=100 \cdot 10^3$, $I=0,5 \cdot 10^{-3}$, $0,1 \text{ нм} = 10^{-10}$

Ответ: 2% что-то с нулями

33.26. Сколько фотонов ($\lambda = 500 \text{ нм}$) попадает на площадку площадью $1,0 \text{ м}^2$, расположенную на границе земной атмосферы, за $1,0 \text{ с}$? Солнечная постоянная равна $1,4 \text{ кВт/м}^2$ (см. задачу № 33.9).

Дано:

- $\lambda = 500 \text{ нм}$
- $S = 1,0 \text{ м}^2$
- $t = 1,0 \text{ с}$
- $C = 1,4 \text{ кВт/м}^2$

Решение:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$N = \frac{E}{E_1}$$

$$N = \frac{1,4 \cdot 10^3}{\left(\frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{500 \cdot 10^{-9}} \right)}$$

$$= 3,5 \cdot 10^{21}$$

Ответ: $3,5 \cdot 10^{21}$

33.27. Определите число фотонов излучения в фиолетовой области спектра ($\lambda = 400$ нм), необходимых для испарения капли воды ($c = 4200$ Дж/(кг·К), $L = 2,26$ МДж/кг) массой 1,0 г, начальная температура которой 20°C .

<p>Дано:</p> <p>$\lambda = 400 \text{ нм}$ $m = 1 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ $T_0 = 293 \text{ К}$</p> <hr/> <p>$n = ?$</p>	<p>Решение:</p> <p>$c = 4200 \text{ Дж/кг К}$ $L = 2,026 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$ $E = cm(T_1 - T_0) + mL$ $E = h\nu \cdot n$ $cm(T_1 - T_0) + mL = h\nu n$ $n = \frac{cm(T_1 - T_0) + mL}{h \cdot \nu} =$</p> <p>Ответ:</p>
--	--

33.34. Определите максимальную скорость фотоэлектронов, вырывающихся из металла под воздействием γ -излучения с частотой $1,0 \cdot 10^{18}$ Гц.

<p>Дано:</p> <p>$\nu = 1 \cdot 10^{18} \text{ Гц}$ $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$</p> <hr/> <p>$v_{\text{max}} = ?$</p>	<p>Решение:</p> <p>$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$ $A - \text{цезий} = 1,89 \text{ эВ} = 1,89 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ $= 3,024 \cdot 10^{-19} \text{ (Дж)}$ $h\nu = \frac{2A + mv^2}{2}$</p>
---	--

$$\frac{m v^2}{2} = T$$

$$T = h\nu - A = 6,626 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$T = mc^2 - m_0 c^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 c^2 =$$

$$= \frac{E_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - E_0$$

$$T + E_0 = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{E_0}{T + E_0}$$

$$1 - \frac{v^2}{c^2} = \frac{E_0^2}{(T + E_0)^2}$$

$$\frac{v^2}{c^2} = 1 - \frac{E_0^2}{(T + E_0)^2}$$

$$\frac{v^2}{c^2} = \frac{T^2 + 2TE_0 + E_0^2 - E_0^2}{(T + E_0)^2}$$

$$v = c \sqrt{\frac{T^2 + 2TE_0}{(T + E_0)^2}}$$

33.38. Для пластинки из никеля задерживающий потенциал равен 2,5 В, а из неизвестного материала – 3,5 В. Определите работу выхода электронов из этого вещества, если частота излучения, падающего на пластинку, остается постоянной.

Дано:

$$U_{31} = 2,5 \text{ В}$$

$$U_{32} = 3,5 \text{ В}$$

$$\nu_1 = \nu_2 = \nu$$

$$A_1 = 4,84 \text{ эВ}$$

Решение:

$$h\nu = A_1 + \frac{mv_1^2}{2}$$

$$h\nu = A_2 + \frac{mv_2^2}{2}$$

$$h\nu = A_1 + eU_{31}$$

$$h\nu = A_2 + eU_{32}$$

$$A_1 + eU_{31} = A_2 + eU_{32}$$

$$A_2 = A_1 + eU_{31} - eU_{32} = 4,84 \text{ эВ} + e(2,5 \text{ В} - 3,5 \text{ В}) = 4,84 \text{ эВ} - 1 \text{ эВ} = 3,84 \text{ эВ}$$

Ответ: 3,84 эВ

33.40. Под воздействием излучения с длиной волны 200 нм с поверхности цинка ($A = 4,0$ эВ) вылетает электрон, который сразу попадает в задерживающее электрическое поле напряженностью 10 В/см. На каком расстоянии от поверхности цинка электрон будет через 1 нс?

<p>Дано:</p> $\lambda = 200 \cdot 10^{-9} \text{ м}$ $A = 4,0 \text{ В}$ $= 1000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ $\tilde{\epsilon} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ с}$	<p>Решение:</p> $h\nu = A + \frac{mv_0^2}{2}$ $\frac{mv_0^2}{2} = \nu - A$ $v_0 = \sqrt{\frac{2(h\nu - A)}{m}} = \sqrt{\frac{2(h\frac{1}{\lambda} - A)}{m}} =$ $= 0,88 \cdot 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ $S = v_0 \tilde{\epsilon} - \frac{a \tilde{\epsilon}^2}{2} = v_0 \tilde{\epsilon} - \frac{E e \tilde{\epsilon}^2}{2m}$
---	---

$$F_3 = Ee; \quad F = ma;$$

$$Ee = ma$$

$$S = 0,88 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 10^{-9} - \frac{10^3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \times}{2 \cdot 9,11 \times}$$

$$\frac{\times 10^{-8}}{\times 10^{-31}} = 0,79 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Ответ: $0,79 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

33.41. Фотоэлектрон, вылетающий с поверхности молибдена ($A = 4,2 \text{ эВ}$) под воздействием излучения с частотой $1,5 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$, попадает в однородное магнитное поле в направлении, перпендикулярном магнитным силовым линиям. Определите магнитную индукцию поля, если радиус траектории электрона равен $0,50 \text{ мкм}$.

Дано:

$$A = 4,2 \text{ эВ}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$\nu = 1,5 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$$

$$r = 0,5 \text{ мкм}$$

$B = ?$

Решение:

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

$$2h\nu = 2A + mv^2$$

$$v^2 = \frac{2h\nu - 2A}{m}$$

$$v = \sqrt{\frac{2h\nu - 2A}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 1,5 \cdot 10^{15} - 2 \cdot 4,2}{9,11 \cdot 10^{-31}}}$$

$$\frac{-2 \cdot 4,2}{9,11 \cdot 10^{-31}} = 0,84 \cdot 10^6 \text{ м/с}$$

$$F_n = qvB \sin \alpha = qvB$$

$$F_y = \frac{mv^2}{r} = qvB$$

$$B = \frac{mv}{rqv} = 9,57 \text{ Тл}$$

Ответ: $9,57 \text{ Тл}$

33.47. На зеркало диаметром 3 см нормально падает излучение мощностью 56 мВт. Определите коэффициент отражения зеркальной поверхности, если давление на нее составляет 0,5 мкПа.

<p>Дано:</p> <p>$d = 3 \text{ см}$ $P = 56 \text{ мВт}$ $p = 0,5 \text{ мкПа}$</p> <p>$k = ?$</p>	<p>Решение:</p> <p>$P = I \cdot S$, $P_1 = I_1 \cdot S$</p> <p>$S = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 3,14 \cdot \left(\frac{3}{2}\right)^2 = 7,07 \text{ мм}^2$</p> <p>$p = \frac{2P_1}{cS} = \frac{2 \cdot 0,056}{3 \cdot 10^8 \cdot 0,0000707} = 0,574 \text{ мПа}$</p> <p>$R = \frac{P}{P_1} = \frac{(P - P_1)}{P_1} = \frac{0,056 - 0}{0,056} = 1$</p> <p>Ответ: 1</p>
--	--

Эффект Комптона

33.55. Определите длину волны рентгеновского излучения, если при максимальном комптоновском рассеянии его длина волны стала равной 30,0 пм.

Дано:

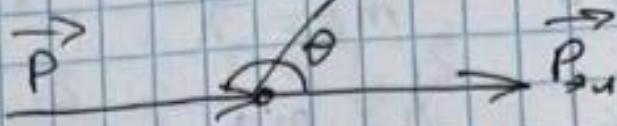
$$\lambda' = 30 \cdot 10^{-12} \text{ м}$$

$$\theta = 180^\circ$$

$$\lambda = ?$$

Решение:

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \theta)$$



$$\lambda = \lambda' - \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \theta)$$

$$\lambda = 30 \cdot 10^{-12} - \frac{6,626 \cdot 10^{-34}}{9,11 \cdot 10^{-31} \cdot 3 \cdot 10^8} \cdot 2$$

$$\lambda = 25,16 \cdot 10^{-12} \text{ м}$$

$$\text{Ответ: } 25,16 \cdot 10^{-12} \text{ м}$$

33.58. При столкновении фотона со свободным электроном он передал электрону 10,0 % своей энергии. Определите длину волны рассеянного излучения, если ее значение до рассеяния 24,0 нм.

Дано:

$$E = 0,1 \mathcal{E}$$

$$\lambda = 24 \cdot 10^{-12} \text{ м}$$

$$\lambda' = ?$$

Решение:

$$\begin{aligned} E &= \mathcal{E} - \mathcal{E}' & p &= p_2 + p' \\ 0,1 \mathcal{E} &= \mathcal{E} - \mathcal{E}' & E_1 &= E_2 + E' \\ \mathcal{E}' &= 0,9 \mathcal{E} & \frac{hc}{\lambda_1} &= \frac{hc}{\lambda_2} + E' \end{aligned}$$

$$E' = 0,1 E_1$$

$$\frac{hc}{\lambda_1} = \frac{hc}{\lambda_2} + 0,1 \frac{hc}{\lambda_1} \Rightarrow \lambda_2 = \frac{\lambda_1}{0,9}$$

$$\lambda_2 = \frac{24 \cdot 10^{-12}}{0,9} = 26,6 \cdot 10^{-12} \text{ м}$$

$$= 26,6 \text{ нм}$$

Ответ: 26,6 нм

33.61. В результате комптоновского рассеивания под углом 90° начальная энергия фотона распределяется поровну между рассеянным фотоном и электроном отдачи. Определите импульс рассеянного фотона.

<p>Дано:</p> <p>$\alpha = 90^\circ$</p> <p>$E = E' + E_e =$ $= 2E' = 2E$</p> <hr/> <p>$p' = ?$</p>	<p>Решение:</p> <p>$p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$</p> <p>$mc = \frac{h}{\lambda}$</p> <p>$\lambda = \frac{h}{mc}$</p> <p>$E = h\frac{c}{\lambda} \quad E' = h\frac{c}{\lambda'}$</p> <p>$h\frac{c}{\lambda} = 2h\frac{c}{\lambda'}$</p> <p>$\lambda' = 2\lambda$</p> <p>$p' = \frac{h}{2\lambda} = \frac{hmc}{2h} = \frac{mc}{2} =$</p>
--	---

$$\left(\begin{aligned} \lambda' - \lambda &= \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta) = \\ &= 3,6 \\ p' &= \frac{h}{3,6} = \frac{6,63 \cdot 10^{-38}}{3,6} = \end{aligned} \right)$$

$$= \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 3 \cdot 10^8}{2} = 1,4 \cdot 10^{-22} \text{ (Н.с)}$$

Ответ: $1,4 \cdot 10^{-22} \text{ Н.с}$

Волновые свойства частиц

34.1. Синхрофазотрон дает ускоренный пучок протонов с энергией 8,0 ГэВ. Какая длина волны де Бройля соответствует протону данного пучка?

Дано: $E = 8,0 \text{ ГэВ}$
 $= 8 \cdot 10^{-9} \text{ Дж}$
 $\lambda_p = ?$

Решение:

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$
$$E = 8 \cdot 10^{-9} \cdot 1,6 \cdot 10^{19} = 1,28 \cdot 10^{-9} \text{ Дж}$$
$$E_0 = m_0 c^2 = 1,67 \cdot 10^{-27} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 0,15 \cdot 10^{-9} \text{ Дж}$$
$$E_k = E - E_0 = 1,28 \cdot 10^{-9} - 0,15 \cdot 10^{-9} = 1,13 \cdot 10^{-9} \text{ Дж}$$
$$p = \frac{1}{c} \cdot \sqrt{E_k \cdot (E_k + 2E_0)} = \frac{1}{3 \cdot 10^8} \cdot \sqrt{1,13 \cdot 10^{-9} \cdot (1,13 \cdot 10^{-9} + 2 \cdot 0,15 \cdot 10^{-9})} = 4,24 \cdot 10^{-18} \text{ кг м/с}$$
$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34}}{4,24 \cdot 10^{-18}} = 1,56 \cdot 10^{-16} \text{ м}$$

Ответ: $1,56 \cdot 10^{-16} \text{ м}$

34.3. Определите разность потенциалов, ускоряющую электрон, в результате чего его волна де Бройля становится равной 200 нм.

Дано:	Решение:
$\lambda = 200 \text{ нм} = 200 \cdot 10^{-9} \text{ м}$	$\lambda = \frac{h}{p}$
$\Delta\varphi - ?$	$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34}}{200 \cdot 10^{-9}} = 3,31 \cdot 10^{-19} \text{ (кг м/с)}$
	$E = mc^2 \quad E = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m} \Rightarrow$
	$p = \sqrt{2mE}$
	$E = e\Delta\varphi$
	$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE}} = \frac{h}{\sqrt{2me\Delta\varphi}}$
	$E = \frac{(3,31 \cdot 10^{-19})^2}{2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31}} = 6,01 \cdot 10^{-8}$
	$\Delta\varphi = \frac{E}{e} = \frac{6,01 \cdot 10^{-8}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 3,76 \cdot 10^8 = 37,6 \text{ (В)}$
	Ответ: 37,6 В

34.4. Определите длину волны де Бройля, соответствующую движению молекулы водорода ($M = 2$ г/моль) при температуре $27,0^\circ\text{C}$.

Дано:	Решение:
$T = 300\text{K}$	$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$
$M = 2 \text{ г/моль} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$	$m = \frac{M}{N_A}$
$\lambda_s - ?$	$E = \frac{3}{2} kT$
	$E = \frac{mv^2}{2}$
	$\frac{3}{2} kT = \frac{mv^2}{2}$
	$mv^2 = \frac{3}{2} kT$
	$v^2 = \frac{3kT}{m}$
	$v = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$
	$\lambda = \frac{h}{m} \cdot \sqrt{\frac{m}{3kT}} = h \cdot \sqrt{\frac{1}{3kTm}}$
	$= h \sqrt{\frac{1N_A}{3kTM}} = 6,625 \cdot 10^{-34} \times$
	$\sqrt{\frac{1 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}} = 1,03 \cdot 10^{-10} \text{ м}$
	Ответ: $1,03 \cdot 10^{-10} \text{ м}$

34.7. Протону, движущемуся по окружности радиусом 1,0 см в однородном магнитном поле, соответствует длина волны де Бройля 10 пм. Определите магнитную индукцию этого поля.

<p>Дано:</p> <p>$r = 1,0 \text{ см} = 0,01 \text{ м}$</p> <p>$\lambda = 10 \text{ пм} = 10 \cdot 10^{-12} \text{ м}$</p> <p>$B = ?$</p>	<p>Решение:</p> $\lambda = \frac{h}{p} \Rightarrow p = \frac{h}{\lambda}$ $R_{\text{орб.}} = \frac{p}{qB} \Rightarrow R = \frac{h}{\lambda \cdot qB}$
--	---

$$B = \frac{h}{\lambda q R} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34}}{10 \cdot 10^{-12} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,01}$$

$$= 0,41 = 41 (\text{мТл})$$

Ответ: 41 мТл

34.13. Электронный пучок при прохождении щели шириной 0,50 мкм создает дифракционную картину на экране, расположенном на расстоянии 50 см от щели. Определите скорость электронов, если ширина центрального дифракционного максимума 0,15 мм.

№34.13 9,7 МэВ

Дано:

$$L = 50 \text{ см} = 0,5 \text{ м}$$

$$d_1 = 0,15 \text{ мм} = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$d = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

Решение:

Форм. дифракции

$$d \sin(\theta) = m\lambda$$

Центр. max — $m=0$

$$d \sin(\theta) = 0\lambda = 0 \rightarrow$$

$$d_1 = \frac{\lambda}{\theta}$$

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad \sin \theta = \frac{h}{pd}$$

$$\theta = \frac{h}{pd} \Rightarrow p = \frac{h}{\theta d}$$

$$d_1 = 2L \tan \theta = 2L\theta \Rightarrow \theta = \frac{d_1}{2L}$$

$$p = \frac{h}{\frac{d_1}{2L} \cdot d} = \frac{h}{d} \cdot \frac{2L}{d_1} = \frac{h \cdot 2L}{d \cdot d_1}$$

34.14. Ускоренный пучок электронов падает нормально на диафрагму с двумя щелями, расстояние между которыми 50 мкм. На экране, который находится на расстоянии 70 см от диафрагмы, возникает дифракционная картина. Расстояние между соседними дифракционными максимумами равно 4,0 мкм. Определите разность потенциалов, ускоряющую эти электроны.

<p>Дано:</p> $l = 50 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ $S = 70 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ $l_2 - l_1 = \Delta l = 4 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ <hr/> <p>$U = ?$</p>	<p>Решение:</p> $E_k = \frac{m v^2}{2}$ $A = eU$ $\frac{m v^2}{2} = eU$ $2eU = m v^2$ $v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$
---	--

$$\left. \begin{aligned} d \sin \alpha_1 &= k_1 \lambda \\ d \sin \alpha_2 &= k_2 \lambda \end{aligned} \right\} d (\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1) = \lambda (k_2 - k_1)$$

$$d (\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1) = \lambda$$

$$\sin \alpha = \text{tg} \alpha = \frac{y}{S}$$

$$\text{tg} \alpha_1 = \frac{y_1}{S}$$

$$\text{tg} \alpha_2 = \frac{y_2}{S}$$

$$d \left(\frac{y_2}{S} - \frac{y_1}{S} \right) = \lambda$$

$$d \left(\frac{y_2 - y_1}{S} \right) = \lambda$$

$$d \frac{\Delta l}{S} = \lambda$$

$$\lambda S = \frac{h}{p} = \frac{h}{m v}$$

$$v = \frac{h}{m \lambda}$$

$$\frac{h}{m v} = \frac{d \Delta l}{S}$$

$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
 $E_k = ?$

$\Delta x \cdot m v \geq \frac{h}{2}$
 $\Delta x \cdot m \sqrt{\frac{2 E_k}{m}} \geq \frac{h}{2}$
 $\Delta x^2 m^2 \frac{2 E_k}{m} \geq \frac{h^2}{4}$
 $E_k = \frac{h^2}{8 m \Delta x^2}$
 $v_0 = \frac{1}{n} = \Delta x^3$
 $\frac{1}{\sqrt[3]{n^2}} = \sqrt[3]{n^2}$

$E_0 = 0,13 \cdot 10^{18} \text{ (2 яе)}$
 $E_0 = (0,13 \cdot 10^{18}) / (1,6 \cdot 10^{19}) = 0,82 \text{ (вВ)}$
 Ответ: 0,82 вВ.

34.30. Электрон находится в глубокой одномерной потенциальной яме шириной 0,50 нм. Определите наименьшую разность энергий двух соседних энергетических уровней.

Дано: $l = 0,5 \cdot 10^{-9} \text{ м}$

$$E = \frac{\hbar^2 \sigma^2}{2me^2} n^2$$
$$E_1 = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2me^2}$$
$$E_2 = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2me^2} 4$$

$\Delta E = \Delta E_{\min}$
 $\Delta E_{\min} = ?$

$$\Delta E = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2me^2} (4 - 1) = 7,23 \cdot 10^{-20} \text{ (Дж)}$$
$$\Delta E = \frac{7,23 \cdot 10^{-20}}{0,625 \cdot 10^{-19}} = 1,1568 \text{ В}$$

Ответ: 1,1568 В

35.21. Определите энергию фотона, которому соответствует наименьшая длина волны тормозного рентгеновского излучения, исходящего с рентгеновской трубки, работающей при напряжении 40 кВ.

Дано: λ_{\min}
 $U = 40 \cdot 10^3 \text{ В}$
 $E_f = ?$

Решение:
 $E_f = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$
 $E = eU$
 $h\nu = h \frac{c}{\lambda_{\min}} \Rightarrow \nu = \frac{hc}{\lambda_{\min} \cdot h} = \frac{hc}{\lambda_{\min} h}$
 $\frac{hc}{\lambda_{\min}} = eU$
 $\lambda_{\min} = \frac{hc}{eU}$
 $E_f = eU = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 40 \cdot 10^3 = 6,4 \cdot 10^{-15} \text{ Дж}$
 $= 6,4 \cdot 10^{-15} \cdot 0,625 \cdot 10^{19} = 4 \cdot 10^4 \text{ эВ}$
 Ответ: $4 \cdot 10^4 \text{ эВ}$

35.22. Импульс рентгеновского фотона, которому соответствует наименьшая длина волны тормозного рентгеновского излучения, равен $6,1 \cdot 10^{-25} \text{ Н} \cdot \text{с}$. Определите скорость электронов, бомбардирующих антикатод рентгеновской трубки

<p>Дано:</p> $p = 6,1 \cdot 10^{-25} \text{ Н} \cdot \text{с}$ $v = ?$	<p>Решение:</p> $p = m_e v$ $E = m_e c^2 = m_e \cdot c = pc = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ $p = \frac{h}{\lambda}$ $E_k = \frac{mv^2}{2}$ $pc = \frac{m_e v^2}{2}$ $v^2 = \frac{2pc}{m_e} ; \quad v = \sqrt{\frac{2pc}{m_e}} =$
--	---

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot 6,1 \cdot 10^{-25} \cdot 3 \cdot 10^8}{9,11 \cdot 10^{-31}}} = 2 \cdot 10^7 \text{ м/с}$$

Ответ: $2 \cdot 10^7 \text{ м/с} = 20 \frac{\text{Мм}}{\text{с}}$

35.24. Определите разность энергий связи К- и L-электронов алюминия.

<p>Дано:</p> <p>K, L</p> <p>$Z=13$</p> <p>$\sigma_K=1, \sigma_L=7,5$</p> <hr/> <p>$\Delta E=?$</p>	<p>Решение:</p> $\Delta E = E_K - E_L$ $\nu = (Z - \sigma)^2 c R \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ $\nu_K = (Z - 1)^2 c R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) =$ $= (Z - 1)^2 c R \frac{3}{4}$ $\nu_L = (Z - 7,5)^2 c R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right) =$ $= (Z - 7,5)^2 c R 0,179$ $E_K = h \nu_K$ $\Delta E = h (\nu_K - \nu_L) = h \left((Z - 1)^2 c R \frac{3}{4} - \right.$ $\left. - (Z - 7,5)^2 c R 0,179 \right) = 6,62 \cdot 10^{-34} \left((13 - 1)^2 \cdot \right.$ $\cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 1,097 \cdot 10^7 \cdot \frac{3}{4} - (13 - 7,5)^2 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 1,097 \cdot 10^7 \cdot$ $\cdot 0,179 \Big) = 2235 \cdot 10^{-19} \text{ (Джо)} = 2235 \cdot 10^{-19} \cdot$ $\cdot 0,625 \cdot 10^{18} = 1396,8 \text{ (эВ)}$ <p>Ответ: 1396,8 эВ</p>
---	--

36.3. При какой температуре произошел переход электрона проводимости на уровень, который лежит выше уровня Ферми на 0,15 эВ? Вероятность такого перехода равна 0,15 %.

Дано: | Решение:

$E - E_F(0) = 0,15 \text{ эВ}$
 $f_E = 0,15\%$

$f(E) = \frac{1}{e^{(E-E_F)/(kT)} + 1}$

$e^{(E-E_F)/(kT)} = \frac{1}{f(E)} - 1$

$\frac{E-E_F}{kT} \cdot \ln e = \ln \left(\frac{1}{f(E)} - 1 \right)$

$\frac{E-E_F}{kT} = \frac{1}{f(E)} - 1$

~~$T = \frac{E-E_F}{k \left(\frac{1}{f(E)} - 1 \right)}$~~

$\frac{0,15 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{1,38 \cdot 10^{-23} T} = 665$

$T = \frac{0,15 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{665 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23}} = 0,26 \cdot 10^3 \text{ (K)}$

Ответ: $0,26 \cdot 10^3 \text{ K}$

36.4. Определите энергию уровня, на который произошел переход электрона проводимости в натрии ($M = 23$ г/моль, $\rho = 970$ кг/м³) при температуре $T = 400$ К, если вероятность такого перехода равна $f(E) = 1,0\%$.

Дано: $T = 400$ К
 $M = 23 \cdot 10^{-3}$ кг/моль
 $\rho = 970$ кг/м³
 $f(E) = 1\%$
 $E = ?$

Решение:
 $f(E) = \frac{1}{e^{(E-E_F)/(kT)} + 1}$
 $\frac{1}{e^{(E-E_F)/(kT)} + 1} = f(E)$

$$\frac{1}{e^{(E-E_F)/(kT)} + 1} = \frac{1}{f(E) + 1}$$

$$\frac{E-E_F}{kT} = \ln\left(\frac{1}{f(E)} - 1\right)$$

$$E-E_F = kT \ln\left(\frac{1}{f(E)} - 1\right)$$

$$E = kT \ln\left(\frac{1}{f(E)} - 1\right) + E_F$$

$$E_F = \frac{\hbar^2}{2m_e} \cdot (3\pi^2 n)^{\frac{2}{3}}$$

$$n = N_A \cdot \rho = N_A \cdot \frac{\rho}{M}$$

$$E_F = \frac{\hbar^2}{2m_e} \cdot \left(3\pi^2 \cdot N_A \cdot \frac{\rho}{M}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$E_F = \frac{1,1 \cdot 10^{-68}}{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}} \cdot \left(3\pi^2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot \frac{970}{23 \cdot 10^{-3}}\right)^{\frac{2}{3}} =$$

$$= 4,9 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 3,06 \text{ эВ}$$

$$kT \ln\left(\frac{1}{f(E)} - 1\right) = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 400 \cdot \ln\left(\frac{1}{0,01} - 1\right) = 0,25 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 0,4 \text{ эВ}$$

$$E = 0,4 + 3,06 = 3,46 \text{ эВ}$$

Ответ: $3,46 \text{ эВ}$

36.39. Собственный полупроводник (германий) при определенной температуре имеет удельное сопротивление, равное $0,48 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Определите концентрацию носителей заряда в этом полупроводнике, если подвижность электронов – $0,38 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, дырок – $0,18 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$.

<p>Дано:</p> <p>$\rho = 0,48 \text{ Ом}\cdot\text{м}$</p> <p>$b_e = 0,38 \frac{\text{м}^2}{\text{В}\cdot\text{с}}$</p> <p>$b_h = 0,18 \frac{\text{м}^2}{\text{В}\cdot\text{с}}$</p> <p>$n_{\text{Ав}}, n_{\text{Ад}} = ?$</p>	<p>Решение:</p> <p>$\sigma = e n b$ $\sigma = \frac{1}{\rho}$</p> <p>$\frac{1}{\rho} = e n b$</p> <p>$\rho e n b = 1$</p> <p>$n = \frac{1}{\rho e b} = \frac{1}{0,48 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,38} =$</p> <p>$= \frac{1}{0,43 \cdot 10^{-19}} = 23 \cdot 10^{19}$</p> <p>Ответ: $23 \cdot 10^{19}$</p>
---	---

36.40. Красная граница фотопроводимости чистого германия равна $\lambda = 1,7$ мкм. Определите температурный коэффициент сопротивления германия при комнатной температуре ($t = 20^\circ\text{C}$).

Дано: $\lambda_0 = 1,7 \text{ мкм}$
 $T = 293 \text{ K}$
 $\alpha = ?$

Решение:

$$d\rho = \alpha \rho dT$$

$$\rho = \rho_0 e^{\Delta E / 2kT}$$

$$\left(\frac{d\rho}{\rho} dT = \alpha \right)$$

$$\left(\alpha = \int \frac{d\rho}{\rho} dT = \int \frac{d(\rho_0 e^{\Delta E / 2kT})}{\rho_0 e^{\Delta E / 2kT}} dT \right)$$

$$=$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT} = \alpha$$

$$\alpha = \frac{1}{\rho_0 e^{\Delta E / 2kT}} \cdot \frac{d(\rho_0 e^{\Delta E / 2kT})}{dT} =$$

$$= \frac{1}{\rho_0 e^{\Delta E / 2kT}} \cdot \rho_0 e^{\Delta E / 2kT} \cdot \frac{\Delta E}{2kT} =$$

$$= \frac{1}{e^{\Delta E / 2kT}} \cdot e^{\Delta E / 2kT} \cdot \frac{\Delta E}{2kT} \cdot \frac{1}{T^2} =$$

$$= \frac{\Delta E}{2kT} \cdot \frac{1}{T^2}$$

$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda_0}$$

$$\alpha = \frac{hc}{\lambda_0} \cdot \frac{1}{2kT^2} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1,7 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293^2} =$$

$$= 0,049$$

Ответ: $\alpha = 0,049$

36.42. Эффект Холла ($\Delta\varphi = 2,8 \text{ В}$) возникает в пластине из чистого кремния шириной $a = 2 \text{ см}$, находящейся в однородном магнитном поле, индукция которого равна $B = 0,5 \text{ Тл}$. Определите концентрацию носителей зарядов, если плотность тока в пластине $j = 2 \text{ мкА/мм}^2$.

<p>Дано:</p> $\Delta\varphi = 2,8 \text{ В}$ $a = 2 \text{ см} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ $B = 0,5 \text{ Тл}$ $j = 2 \text{ мкА/мм}^2 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ А/мм}^2$ <hr/> $n = ?$	<p>Решение:</p> $eE = e\varphi B$ $e \cdot \frac{\Delta\varphi}{a} = e\varphi B$ $\frac{\Delta\varphi}{a} = \varphi B$ $\varphi = \frac{\Delta\varphi}{aB}$ $j = en\varphi$ $\varphi = \frac{jB}{en}$ $n = \frac{jB}{e\Delta\varphi} = \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2,8} = 4,4 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$ <p>Ответ: $4,4 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$</p>
--	---

37.2. Определите дефект массы изотопа гелия $4 \text{ } ^2\text{He}$.

<p>Дано:</p> ^4_2He <hr/> $\Delta m = ?$	<p>Решение:</p> $\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\alpha}$ $\Delta m = 2 \cdot 1,00783 + (4 - 2) \cdot 1,00783 - 4,00260$ <p> $m_p = 1,00783 \text{ а.е.м.}$ $m_n = 1,00867 \text{ а.е.м.}$ $m_{\alpha} = 4,00260 \text{ а.е.м.}$ </p>
--	--

37.3. Определите энергию связи ядра изотопа бора 11 5В.

Дано: ${}_{5}^{11}\text{B}$ | Решение:

$E_{\text{сб}} = ?$ | $\Delta m = 2m_p + (A-Z)m_n - m_{\text{я}}$

$E_{\text{сб}} = \Delta m c^2$

$E_{\text{сб}} = (2m_p + (A-Z)m_n - m_{\text{я}}) c^2 =$

$= (5 \cdot 1,00783 + 6 \cdot 1,00867 - 10,81) \cdot 931,10^6 =$

$= 2,58 \cdot 10^8$

Ответ: $2,58 \cdot 10^8$

37.14. Сколько α - и β -распадов совершается при превращении изотопа нептуния ${}_{93}^{237}\text{Np}$ в стабильный изотоп висмута ${}_{83}^{209}\text{Bi}$?

Дано: ${}_{93}^{237}\text{Np}$ | Решение:

${}_{93}^{237}\text{Np} \rightarrow {}_{83}^{209}\text{Bi}$

$n = \frac{237 - 209}{4} = 7$

$n, m = ?$

$93 - 7 = 86$

$m = 4$

Ответ: $n = 7, m = 4$

37.21. Определите возраст деревянного изделия, если известно, что активность образца из этого изделия по изотопу углерода ^{14}C ($T = 5730$ лет) составляет $1/3$ активности свежей древесины.

Дано:

$$A = \frac{1}{3} A_0$$

$$T = 5730 \text{ лет}$$

$$^{14}\text{C}$$

$$t = ?$$

Решение:

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$\frac{1}{3} A_0 = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$\left(\frac{1}{3}\right)^{-1} = (e^{-\lambda t})^{-1}$$

$$3 = e^{\lambda t}$$

$$\ln 3 = \lambda t \ln e$$

$$\ln 3 = \lambda t$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T}$$

$$t = \frac{\ln 3}{\lambda}$$

$$\ln 3 = \frac{\ln 2}{T} t$$

$$t = \frac{\ln 3 T}{\ln 2} = 9084 \text{ года}$$

Ответ: 9084 года

37.22. Известно, что ториевый ряд заканчивается изотопом свинца $^{208}_{82}\text{Pb}$. Сколько свинца на 1,0 кг исходного тория $^{232}_{90}\text{Th}$ будет в ториевой руде, если ее возраст $5,0 \cdot 10^9$ лет?

$t = 5,000 \cdot 10^9 \text{ лет}$
 $m_0 = 1 \text{ кг}$
 $^{232}_{90}\text{Th}$
 $^{208}_{82}\text{Pb}$
 $T = 5730 \text{ лет}$
 ~~$\lambda = \frac{\ln 2}{T}$~~
 ~~$m_0 = ?$~~

$m_0 \sim N_0$
 $N = N_0 e^{-\lambda t}$
 $N_0 = \frac{m_0}{M_1} N_A$
 $N = \frac{m_0}{M_1} N_A e^{-\lambda t}$

$\Delta N = \frac{m_0}{M_1} N_A - \frac{m_0}{M_1} N_A e^{-\lambda t} =$
 $= \frac{m_0}{M_1} N_A (1 - e^{-\lambda t})$

$\Delta N = \frac{m_2}{M_2} N_A$

$\frac{m_0}{M_1} N_A (1 - e^{-\lambda t}) = \frac{m_2}{M_2} N_A$

$\frac{m_0 N_A (1 - e^{-\lambda t})}{M_1} = \frac{m_2 N_A}{M_2}$

~~$\frac{M_2}{M_1} \cdot m_0$~~
 $\lambda = \frac{\ln 2}{T}$
 $\frac{M_2}{M_1} \cdot m_0 (1 - e^{-\lambda t}) = m_2$

$\frac{M_2}{M_1} m_0 (1 - \frac{1}{e^{\frac{\ln 2}{T} t}}) = m_2$

$m_2 = 211(2) = 0,211(\text{кг})$
 Ответ: 0,211(кг)

37.30. Определите энергию первой искусственной ядерной реакции ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + \text{p}$, осуществленной Э. Резерфордом.

Дано: ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + \text{p}$
 $E = ?$

Решение:

$$E_{\text{об}} = \Delta m c^2$$

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

$$E_{\text{об}} = k \Delta m \quad k = 931,5 \text{ МэВ/а.е.м.}$$

$$E_{\text{об}} = k \cdot (Z m_p + (A - Z) m_n - m_x)$$

$$\neq E_{\text{об}} = k (\sum m_1 - \sum m_2)$$

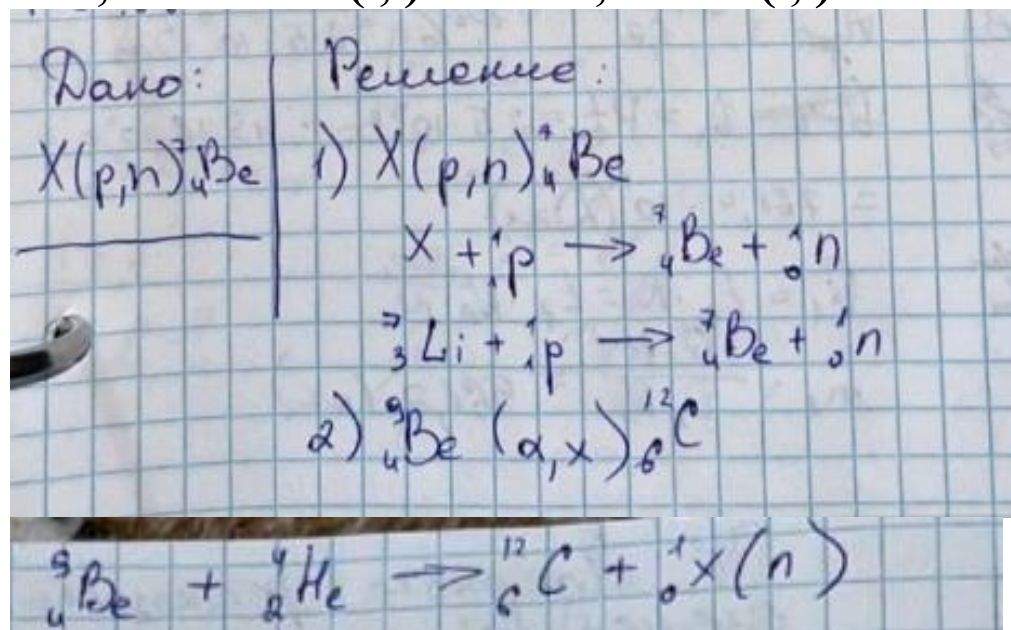
$$E_{\text{об}} = k (14,00307 + 4,00260 - 16,99913 - 1,00728)$$

$m_1 = 14,00307 \text{ а.е.м. N}$
 $m_2 = 4,00260 \text{ He}$
 $m_{21} = 16,99913 \text{ O}$
 $m_{31} = 1,00728 \text{ p}$

$$E_{\text{об}} = 931,5 \cdot (-0,00074) = -0,68931 (\text{МэВ})$$

Ответ: $-0,689 \text{ МэВ}$

37.28. Допишите обозначения, которых не хватает в следующих ядерных реакциях: ${}^7_4\text{X} + {}^1_0\text{n} \rightarrow (,) {}^9_4\text{Be}$; ${}^9_3\text{Li} + {}^4_2\text{He} \rightarrow (,) {}^{12}_6\text{C} + \alpha$; ${}^{10}_5\text{B} + {}^4_2\text{He} \rightarrow (,) {}^{13}_6\text{C} + \alpha$; ${}^{17}_8\text{O} + {}^1_0\text{n} \rightarrow (,) {}^{17}_8\text{O} + \text{X}$



37.35. Определите массу льда, взятого при температуре 273 К, который можно превратить в водяной пар за счет энергии, выделяющейся при делении 1,0 г урана-235.

Дано: | Решение:

$T = 273\text{K}$ | $E_0 = 3,2 \cdot 10^{11} \text{ Дж/кг}$

$T = 373\text{K}$ | $E = E_0 N = E_0 \cdot N_A \cdot \frac{m}{M} \approx 3,2 \cdot 10^{11} \cdot \frac{m}{235}$

$m = 1 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ | $Q = m_1 q + cm_2 \Delta T + Lm_1$

$A = 235$ | $E = Q$

$E_0 = 200 \text{ МэВ/атом}$ | $E_0 N_A \frac{m}{M} = m_1 q + cm_2 \Delta T + Lm_1$

$m_1 = ?$ | $m_1 = \frac{E_0 N_A m_2}{(q + c\Delta T + L)M} = 24,8 \text{ (г)}$

Ответ: 24,8 г

37.36. Электрическая мощность атомной электростанции 500 МВт при КПД 20 %. Сколько урана-235 потребляет станция за год? Сравните (m m 2 1) этот расход урана с годовым расходом мазута на тепловой электростанции такой же мощности при КПД 75 %. Удельная теплота сгорания мазута 40 МДж/кг.

<p>Дано:</p> <p>$P_1 = 500 \text{ МВт}$</p> <p>$P_1 = P_2 = P = 500 \text{ МВт}$</p> <p>$= 500 \cdot 10^6 \text{ Вт}$</p> <p>$\eta = 0,2$</p> <p>$\sqrt{t} = 315,36 \cdot 10^5$ <small>(1 год)</small></p> <p>$\eta_2 = 0,75$</p> <p>$E_0 = 3,2 \cdot 10^{-11} \text{ Дж/атом}$</p> <p>$q = 40 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$</p> <hr/> <p>$\frac{m_2}{m_1} = ?$</p>	<p>Решение:</p> <p>$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{сгор}}} \cdot 100\%$</p> <p>$A_{\text{ат}} = \frac{A_{\text{пол}}}{\eta} \cdot 100\%$</p> <p>$A_{\text{ат}} = \frac{500 \cdot 10^6}{0,2} \cdot 100\% = 2,5 \cdot 10^9 \text{ Вт}$</p> <p>$Q_1 t$ $Q_1 = P t = 2,5 \cdot 10^9 \text{ Вт} \cdot 315,36 \cdot 10^5 \text{ с} =$</p> <p>$= 788,4 \cdot 10^{14} \text{ (Дж)}$</p> <p>$Q_1 = E_0 \cdot N = E_p \cdot N_A \frac{m_1}{M}$</p> <p>$m_1 = \frac{Q_1 M}{E_p N_A} = 961,7 \text{ (кг)}$</p>
---	--

37.50. При β -распаде нейтрон превращается в протон с выбросом электрона и антинейтрино. Определите суммарную кинетическую энергию частиц, возникающих в процессе распада. При этом считать, что масса покоя антинейтрино равна нулю, а нейтрон был в состоянии покоя.

Дано:

$$n \rightarrow p + e + \bar{\nu}$$

$v_0 = 0 \text{ м/с}$
 $\Sigma E_k = ?$

Решение

$$m_0^2 c^4 = m_p^2 c^4 + E_{kp}^2 + m_e^2 c^4 + E_{ke}^2 + m_{\bar{\nu}}^2 c^4$$

$$E_{kp} + E_{ke} + m_{\bar{\nu}} c^2 = m_0 c^2 - m_p c^2 - m_e c^2;$$

$$E_{kp} + E_{ke} + m_{\bar{\nu}} c^2 = k(m_0 - m_p - m_e) =$$

$$= 931,5 \cdot 10^6 \cdot (1,0087 - 1,0073 - 0,0005487) =$$

$$= 0,79 \cdot 10^6 \text{ эВ}$$

Ответ: $0,79 \cdot 10^6 \text{ эВ}$

37.51. Нейтральный 0π -мезон, находящийся в состоянии покоя, превращается в два одинаковых фотона. Определите энергию фотона, если масса покоя 0π -мезона равна $0.264 m_e$, где m_e — масса покоя электрона

<p>Дано:</p> $m_\pi = 0.264 m_e$ $n = 2$ <hr/> $E = ?$	<p>Решение</p> $E_{\pi_0} = 2E_f$ $m_{\pi_0} c^2 = 2E_f$ $E_f = \frac{m_{\pi_0} c^2}{2}$
--	--

$$E_f = \frac{0.264 m_e c^2}{2} = \frac{0.264 \cdot 9.11 \cdot 10^{-31} \cdot 9 \cdot 10^9}{2} =$$

$$= 1.082 \cdot 10^{-11} \text{ (Джо)}$$

$$E = h\nu$$

$$\nu = \frac{E}{h} = \frac{1.082 \cdot 10^{-11}}{6.625 \cdot 10^{-34}} = 0.163 \cdot 10^{23} \text{ Гц}$$

Ответ: $0.163 \cdot 10^{23} \text{ Гц}$