Тема 8: Розв’язування задач

РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ

1. При збільшенні частоти падаючого випромінювання від 7,5□10^{14} Гц до 1,5□10^{15}Гц максимальна кінетична енергія фотоелектронів змінилася в три рази. Знайдіть роботу виходу електронів для даного матеріалу.

Дано:

$\nu_1 = 7,5\cdot10^{14}$ Гц

$\nu_2 = 1,5\cdot10^{15}$ Гц

$E_{k2} = 3E_{k1}$

$h = 6,63\cdot10^{-34}$ Дж·с

$A_{вих}$ – ?

Розв’язання

Рівняння Ейнштейна для зовнішнього фотоефекту:

$$\{h\nu_1 = A_{вих} + E_{k1}\ h\nu_2 = A_{вих} + E_{k2}$$

$$h\nu_2 - h\nu_1 = E_{k2} - E_{k1}$$

$$h(\nu_2 - \nu_1) = 3E_{k1} - E_{k1}$$

$$E_{k1} = \frac{h}{2}(\nu_2 - \nu_1)$$

$$h\nu_1 = A_{вих} + \frac{h}{2}(\nu_2 - \nu_1)$$

$$A_{вих} = h\left(\nu_1 - \frac{1}{2}\nu_2 + \frac{1}{2}\nu_1\right) = \frac{h}{2}(3\nu_1 - \nu_2)$$

$$A_{вих} = \frac{6,63\cdot10^{-34}}{2} \bullet \left(3 \bullet 7,5\cdot10^{14} - 1,5\cdot10^{15}\right)$$

$$\approx 2,49\cdot10^{-19} \text{ (Дж)}$$

Відповідь: $A_{вих} \approx 2,49\cdot10^{-19}$ Дж$\approx 1,55$ еВ.

2. При збільшенні частоти падаючого випромінювання в чотири рази затримуюча напруга збільшилася на 5 В. Знайдіть початкову частоту падаючого випромінювання.

Дано:

$\nu_2 = 4\nu_1$

$\Delta U_з = 5$ В

$e = -1,6\cdot10^{-19}$ Кл

$h = 6,63\cdot10^{-34}$ Дж·с

ν_1 – ?

Розв’язання

Рівняння Ейнштейна для зовнішнього фотоефекту:

$$E_ф = A_{вих} + E_{k\,max}$$

$$E_ф = h\nu \qquad E_{k\,max} = \frac{m_e v_{max}^2}{2} = |e|U_з$$

$$h\nu = A_{вих} + |e|U_з$$

$$\{h\nu_1 = A_{вих} + |e|U_{з\,1}\ h\nu_2 = A_{вих} + |e|U_{з\,2}$$

$$h\nu_2 - h\nu_1 = |e|U_{з\,2} - |e|U_{з\,1}$$

$$h(4\nu_1 - \nu_1) = |e|\Delta U_з \qquad 3h\nu_1 = |e|\Delta U_з$$

$$\nu_1 = \frac{|e|\Delta U_з}{3h}$$

$$\nu_1 = \frac{1,6\cdot10^{-19}\cdot5}{3\cdot6,63\cdot10^{-34}} \approx 4\cdot10^{14} \text{ (Гц)}$$

Відповідь: $\nu_1 \approx 4\cdot10^{14}$ Гц.

3. При освітленні фотоелемента світлом з довжиною хвилі 600 нм він заряджається до напруги 1,2 В. До якої напруги зарядиться цей фотоелемент при освітленні його світлом з довжиною хвилі 400 нм?

Дано:

$\lambda_1 = 600$ нм

$= 6 \cdot 10^{-7}$ м

$U_{з\,1} = 1,2$ В

$\lambda_2 = 400$ нм

$= 4 \cdot 10^{-7}$ м

$e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл

$c = 3 \cdot 10^{8}\ \frac{м}{с}$

$h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с

$U_{з\,2}$ – ?

Розв'язання

Рівняння Ейнштейна для зовнішнього фотоефекту:

$$E_ф = A_{вих} + E_{k\,max}$$

$$E_ф = \frac{hc}{\lambda} \qquad E_{k\,max} = \frac{m_e v_{max}^2}{2} = |e|U_з$$

$$\frac{hc}{\lambda} = A_{вих} + |e|U_з$$

$$\left\{\frac{hc}{\lambda_1} = A_{вих} + |e|U_{з\,1} \quad \frac{hc}{\lambda_2} = A_{вих} + |e|U_{з\,2}\right. \qquad \frac{hc}{\lambda_2} - \frac{hc}{\lambda_1}$$

$$hc\left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right) = |e|\left(U_{з\,2} - U_{з\,1}\right)$$

$$U_{з\,2} = \frac{hc}{|e|}\left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right) + U_{з\,1}$$

$$U_{з\,2} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \bullet \left(\frac{1}{4 \cdot 10^{-7}} - \frac{1}{6 \cdot 10^{-7}}\right) + 1,2$$

$$\approx 2,23\ (В)$$

Відповідь: $U_{з\,2} \approx 2,23$ В.

Додаткові задачі

1. При зміні довжини хвилі падаючого випромінювання в 1,5 разу затримуюча напруга збільшилася з 1,6 В до 3 В. Знайдіть роботу виходу електронів для цього матеріалу.

Дано:

$\lambda_1 = 1,5\lambda_2$

$U_{з\,1} = 1,6$ В

$U_{з\,2} = 3$ В

$e = -1,6\cdot10^{-19}$ Кл

$A_{вих} - ?$

Розв'язання

Рівняння Ейнштейна для зовнішнього фотоефекту:

$$E_ф = A_{вих} + E_{k\,max}$$

$$E_ф = \frac{hc}{\lambda} \qquad E_{k\,max} = \frac{m_e v_{max}^2}{2} = |e|U_з$$

$$\frac{hc}{\lambda} = A_{вих} + |e|U_з$$

$$\{\frac{hc}{\lambda_1} = A_{вих} + |e|U_{з\,1} \quad \frac{hc}{\lambda_2} = A_{вих} + |e|U_{з\,2}$$

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{A_{вих}+|e|U_{з\,1}}{A_{вих}+|e|U_{з\,2}} \qquad \frac{\lambda_2}{1,5\lambda_2} = \frac{A_{вих}+|e|U_{з\,1}}{A_{вих}+|e|U_{з\,2}}$$

$$\frac{1}{1,5} = \frac{A_{вих}+|e|U_{з\,1}}{A_{вих}+|e|U_{з\,2}}$$

$$A_{вих} + |e|U_{з\,2} = 1,5A_{вих} + 1,5|e|U_{з\,1}$$

$$0,5A_{вих} = |e|U_{з\,2} - 1,5|e|U_{з\,1}$$

$$A_{вих} = 2|e|\left(U_{з\,2} - 1,5U_{з\,1}\right)$$

$$A_{вих} = 2\cdot1,6\cdot10^{-19} \bullet (3 - 1,5\cdot1,6) = 1,92\cdot10^{-19} \text{ (Дж}$$

Відповідь: $A_{вих} = 1,92\cdot10^{-19}$ Дж $= 1,2$ еВ.

2. Фотоелектрони, що вириваються з поверхні деякого металу світлом із частотою 2,2□10^{15} Гц, затримуються напругою 6,6 В, а ті, що вириваються світлом із частотою 4,6□10^{15} Гц – напругою 16,5 В. Визначте за цими даними сталу Планка.

Дано:

$\nu_1 = 2,2\cdot10^{15}$ Гц

$U_{з\,1} = 6,6$ В

$\nu_2 = 4,6\cdot10^{15}$ Гц

$U_{з\,2} = 16,5$ В

$e = -1,6\cdot10^{-19}$ Кл

$h - ?$

Розв'язання

Рівняння Ейнштейна для зовнішнього фотоефекту:

$$E_ф = A_{вих} + E_{k\,max}$$

$$E_ф = h\nu \qquad E_{k\,max} = \frac{m_e v_{max}^2}{2} = |e|U_з$$

$$h\nu = A_{вих} + |e|U_з$$

$$\{h\nu_1 = A_{вих} + |e|U_{з\,1} \quad h\nu_2 = A_{вих} + |e|U_{з\,2}$$

$$h\nu_2 - h\nu_1 = |e|U_{з\,2} - |e|U_{з\,1}$$

$$h\left(\nu_2 - \nu_1\right) = |e|\left(U_{з\,2} - U_{з\,1}\right)$$

$$h = \frac{|e|\left(U_{з\,2} - U_{з\,1}\right)}{\nu_2 - \nu_1}$$

$$h = \frac{1{,}6\cdot10^{-19}\bullet(16{,}5-6{,}6)}{4{,}6\cdot10^{15}-2{,}2\cdot10^{15}} = 6,6\cdot10^{-34}\ (\text{Дж·с})$$

Відповідь: $h = 6,6\cdot10^{-34}$ Дж·с.

3. Яка частина енергії фотона витрачається на роботу виходу електрона, якщо червона межа фотоефекту 628 нм, а максимальна кінетична енергія фотоелектрона 1 еВ?

Дано:

$\lambda_{max} = 628$ нм $= 6,28\cdot10^{-7}$ м

$E_{k\,max} = 1$ еВ $= 1,6\cdot10^{-19}$ Дж

$c = 3\cdot10^{8}\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$h = 6,63\cdot10^{-34}$ Дж·с

$\frac{E_{\text{ф}}}{A_{\text{вих}}}$ – ?

Розв'язання

Рівняння Ейнштейна для зовнішнього фотоефекту:

$$E_{\text{ф}} = A_{\text{вих}} + E_{k\,max}$$

$$A_{\text{вих}} = \frac{hc}{\lambda_{max}}$$

$$\frac{E_{\text{ф}}}{A_{\text{вих}}} = \frac{\frac{hc}{\lambda_{max}}+E_{k\,max}}{\frac{hc}{\lambda_{max}}} = 1 + \frac{E_{k\,max}\lambda_{max}}{hc}$$

$$\frac{E_{\text{ф}}}{A_{\text{вих}}} = 1 + \frac{1{,}6\cdot10^{-19}\bullet6{,}28\cdot10^{-7}}{6{,}63\cdot10^{-34}\cdot3\cdot10^{8}} \approx 1,5$$

$$A_{\text{вих}} = \frac{2}{3}E_{\text{ф}}$$

Відповідь: $A_{\text{вих}} = \frac{2}{3}E_{\text{ф}}$.