

Тема 8: Розв'язування задач

РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ

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

Дано:

$$\nu_1 = 7,5 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$$

$$\nu_2 = 1,5 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$$

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

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$$

$$A_{\text{вих}} = ?$$

Розв'язання

Рівняння Ейнштейна для зовнішнього фотоефекту:

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

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

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

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

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

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

$$A_{\text{вих}} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{2} \cdot (3 \cdot 7,5 \cdot 10^{14} - 1,5 \cdot 10^{15})$$

$$\approx 2,49 \cdot 10^{-19} \text{ (Дж)}$$

Відповідь: $A_{\text{вих}} \approx 2,49 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \approx 1,55 \text{ еВ}$.

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

Дано:

$$\nu_2 = 4\nu_1$$

$$\Delta U_3 = 5 \text{ В}$$

$$e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$$

$$\nu_1 = ?$$

Розв'язання

Рівняння Ейнштейна для зовнішнього фотоефекту:

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

$$E_{\phi} = h\nu \quad E_{k \text{ max}} = \frac{m_e v_{\text{max}}^2}{2} = |e|U_3$$

$$h\nu = A_{\text{вих}} + |e|U_3$$

$$\{ h\nu_1 = A_{\text{вих}} + |e|U_{31} \quad h\nu_2 = A_{\text{вих}} + |e|U_{32}$$

$$h\nu_2 - h\nu_1 = |e|U_{32} - |e|U_{31}$$

$$h(4\nu_1 - \nu_1) = |e|\Delta U_3 \quad 3h\nu_1 = |e|\Delta U_3$$

$$\nu_1 = \frac{|e|\Delta U_3}{3h}$$

$$\nu_1 = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 5}{3 \cdot 6,63 \cdot 10^{-34}} \approx 4 \cdot 10^{14} \text{ (Гц)}$$

Відповідь: $\nu_1 \approx 4 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$.

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:

$$\lambda_1 = 600 \text{ нм}$$

$$= 6 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$U_{31} = 1,2 \text{ В}$$

$$\lambda_2 = 400 \text{ нм}$$

$$= 4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$U_{32} = ?$$

Розв'язання

Рівняння Ейнштейна для зовнішнього фотоефекту:

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

$$E_{\phi} = \frac{hc}{\lambda} \quad E_{k \text{ max}} = \frac{m_e v_{\text{max}}^2}{2} = |e|U_3$$

$$\frac{hc}{\lambda} = A_{\text{вих}} + |e|U_3$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{hc}{\lambda_1} &= A_{\text{вих}} + |e|U_{31} \\ \frac{hc}{\lambda_2} &= A_{\text{вих}} + |e|U_{32} \end{aligned} \right. \quad \frac{hc}{\lambda_2} - \frac{hc}{\lambda_1}$$

$$hc \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right) = |e|(U_{32} - U_{31})$$

$$U_{32} = \frac{hc}{|e|} \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right) + U_{31}$$

$$U_{32} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1,6 \cdot 10^{-19}} \cdot \left(\frac{1}{4 \cdot 10^{-7}} - \frac{1}{6 \cdot 10^{-7}} \right) + 1,2$$

$$\approx 2,23 \text{ (В)}$$

Відповідь: $U_{32} \approx 2,23 \text{ В}$.

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:

$$\lambda_1 = 1,5\lambda_2$$

$$U_{з1} = 1,6 \text{ В}$$

$$U_{з2} = 3 \text{ В}$$

$$e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$A_{\text{вих}} = ?$$

Розв'язання

Рівняння Ейнштейна для зовнішнього фотоэффекту:

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

$$E_{\phi} = \frac{hc}{\lambda} \quad E_{k \max} = \frac{m_e v_{\max}^2}{2} = |e|U_{з}$$

$$\frac{hc}{\lambda} = A_{\text{вих}} + |e|U_{з}$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{hc}{\lambda_1} &= A_{\text{вих}} + |e|U_{з1} \\ \frac{hc}{\lambda_2} &= A_{\text{вих}} + |e|U_{з2} \end{aligned} \right.$$

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{A_{\text{вих}} + |e|U_{з1}}{A_{\text{вих}} + |e|U_{з2}} \quad \frac{\lambda_2}{1,5\lambda_2} = \frac{A_{\text{вих}} + |e|U_{з1}}{A_{\text{вих}} + |e|U_{з2}}$$

$$\frac{1}{1,5} = \frac{A_{\text{вих}} + |e|U_{з1}}{A_{\text{вих}} + |e|U_{з2}}$$

$$A_{\text{вих}} + |e|U_{з2} = 1,5A_{\text{вих}} + 1,5|e|U_{з1}$$

$$0,5A_{\text{вих}} = |e|U_{з2} - 1,5|e|U_{з1}$$

$$A_{\text{вих}} = 2|e|(U_{з2} - 1,5U_{з1})$$

$$A_{\text{вих}} = 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot (3 - 1,5 \cdot 1,6) = 1,92 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$\text{Відповідь: } A_{\text{вих}} = 1,92 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 1,2 \text{ еВ.}$$

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

Дано:

$$\nu_1 = 2,2 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$$

$$U_{з1} = 6,6 \text{ В}$$

$$\nu_2 = 4,6 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$$

$$U_{з2} = 16,5 \text{ В}$$

$$e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$h = ?$$

Розв'язання

Рівняння Ейнштейна для зовнішнього фотоэффекту:

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

$$E_{\phi} = h\nu \quad E_{k \max} = \frac{m_e v_{\max}^2}{2} = |e|U_{з}$$

$$h\nu = A_{\text{вих}} + |e|U_{з}$$

$$\left\{ \begin{aligned} h\nu_1 &= A_{\text{вих}} + |e|U_{з1} \\ h\nu_2 &= A_{\text{вих}} + |e|U_{з2} \end{aligned} \right.$$

$$h\nu_2 - h\nu_1 = |e|U_{з2} - |e|U_{з1}$$

$$h(\nu_2 - \nu_1) = |e|(U_{з2} - U_{з1})$$

$$h = \frac{|e|(U_{з2} - U_{з1})}{\nu_2 - \nu_1}$$

$$h = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot (16,5 - 6,6)}{4,6 \cdot 10^{15} - 2,2 \cdot 10^{15}} = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ (Дж} \cdot \text{с)}$$

Відповідь: $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$

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

Дано:

$$\lambda_{\max} = 628 \text{ нм}$$

$$= 6,28 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$E_{k \max} = 1 \text{ еВ}$$

$$= 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$\frac{E_{\phi}}{A_{\text{вих}}} = ?$$

Розв'язання

Рівняння Ейнштейна для зовнішнього фотоефекту:

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

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

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

$$\frac{E_{\phi}}{A_{\text{вих}}} = 1 + \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 6,28 \cdot 10^{-7}}{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8} \approx 1,5$$

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

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