

Решение задач по теме «Фотоэффект»

Разбор алгоритма применения уравнения Эйнштейна для фотоэффекта к решению задач

1. Фотоэффект описывается уравнением Эйнштейна: $h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2}$,

в котором - $\epsilon_{\gamma} = h\nu$ - энергия светового кванта (фотона),

- $A_{\text{вых}}$ - работа выхода электрона из металла,

- $W_k = \frac{mv^2}{2}$ - кинетическая энергия фотоэлектрона.

2. Нахождение энергии фотона.

2.1. Если в задаче приводится значение длины волны, используйте формулу связи длины волны и скорости её распространения с частотой $c = \lambda \nu$.

2.2. Энергию одного фотона можно найти, зная энергию излучения: $\epsilon_{\gamma} = \frac{\Delta E_{\text{изл}}}{N}$

где N – число фотонов.

2.3. Энергия фотона связана с собственными характеристиками фотона как световой частицы. Формула связи импульса и энергии фотона: $p_{\gamma} = \frac{\epsilon_{\gamma}}{c}$.

3. Нахождение работы выхода электрона из металла.

Значение работы выхода электрона может быть определено:

3.1. с помощью справочной таблицы «Работа выхода электрона из металла», если известен металл и нет усложняющих нахождение работы выхода величин.

3.2. через значение красной границы фотоэффекта для данного металла в данном состоянии $A_{\text{вых}} = h\nu_{\text{кк}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{кк}}}$.

4. Поведение фотоэлектрона после вылета из металла может быть описано из следующих соображений:

4.1. В задерживающем однородном электрическом поле, согласно теореме о кинетической энергии, изменение кинетической энергии фотоэлектрона равно работе сил

поля $W_{\text{изл}} - W_{\text{эл}} = e \cdot U$, т. е. $\frac{mv^2}{2} = eU$.

4.2. Следует помнить, что движение фотоэлектронов вдоль силовых линий однородного электрического поля – движение с постоянным ускорением $a = \frac{F_{\text{эл}}}{m} = \frac{H \cdot E}{m} = \frac{H \cdot U}{m \cdot d}$.

4.3. Если фотоэлектроны попадают в однородное магнитное поле, то в зависимости от угла между вектором скорости и вектором магнитной индукции они движутся прямолинейно ($= 0^\circ, = 180^\circ$), по окружности ($= 90^\circ$) или по спирали ($90^\circ \neq 0^\circ$).

Например, при $= 90^\circ$ фотоэлектрон движется под действием силы Лоренца $F = |e| \cdot B \cdot v$ с

ускорением $a = \frac{F}{m} = \frac{|e| \cdot B \cdot v}{m}$ по окружности радиуса $r = \frac{m \cdot v}{|e| \cdot B}$, при этом период обращения

фотоэлектрона равен $T = \frac{2\pi \cdot R}{v} = \frac{2\pi \cdot m}{|e| \cdot B}$.

3. Решение задач в группах с последующей защитой решения

Задачи для решения в группах:

№ 1104. Длинноволновая (красная) граница фотоэффекта для меди 282 нм. Найти работу выхода электронов из меди (в эВ).

Решение задачи:

дано:

$$\begin{aligned}\lambda_0 &= 282 \text{ нм} = \\ &= 2,82 \cdot 10^{-7} \text{ м}, \\ h &= 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot \text{с}.\end{aligned}$$

найти $A_{\text{вых}}$.

решение.

$$\begin{aligned}A_{\text{вых}} &= h\nu_0; \nu_0 = \frac{c}{\lambda_0}; A_{\text{вых}} = h \frac{c}{\lambda_0} = \\ &= 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot \text{с} \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{282 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 4,4 \text{ эВ}.\end{aligned}$$

ответ: $A_{\text{вых}} = 4,4 \text{ эВ}$.

№ 1105. Найти красную границу фотоэффекта для калия.

Решение задачи:

дано:

$$\begin{aligned}A_{\text{вых}} &= 2,2 \text{ эВ}, \\ h &= 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot \text{с}.\end{aligned}$$

найти λ_0 .

решение.

$$\begin{aligned}A_{\text{вых}} &= h\nu_0 = h \frac{c}{\lambda_0}; \\ \lambda_0 &= \frac{hc}{A_{\text{вых}}} = \frac{4,136 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{2,2 \text{ эВ}} = 5,64 \cdot 10^{-7} \text{ м} = \\ &= 564 \text{ нм}.\end{aligned}$$

ответ: $\lambda_0 = 564 \text{ нм}$.

№ 1106. Возникнет ли фотоэффект в цинке под действием облучения, имеющего длину волны 450 нм?

Решение задачи:

дано:

$$\lambda_1 = 450 \text{ нм} =$$

$$= 4,5 \cdot 10^{-7} \text{ м},$$

$$A_{\text{ВЫХ}} = 4,2 \text{ эВ},$$

$$h = 4,13 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot \text{с}.$$

найти λ_0 .

решение.

$$A_{\text{ВЫХ}} = h\nu_0 = h \frac{c}{\lambda_0}$$

$$\lambda_0 = \frac{hc}{A_{\text{ВЫХ}}} = \frac{4,136 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot c \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{4,2 \text{ эВ}} = 2,95 \cdot 10^{-7} \text{ м} =$$

$$= 295 \text{ нм}.$$

так $\lambda_1 > \lambda_0$, то фотоэффект не возникнет.

ответ: не возникнет.

№ 1107. Какую максимальную кинетическую энергию имеют электроны, вырванные из оксида бария, при облучении светом частотой 1 ПГц?

Решение задачи:

дано:

$$\nu = 1 \text{ ПГц} =$$

$$= 10^{15} \text{ Гц}, A_{\text{ВЫХ}} = 1 \text{ эВ}.$$

найти e .

решение.

$$E = h\nu - A_{\text{ВЫХ}} = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot \text{с} \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1} -$$

$$- 1 \text{ эВ} = 3,136 \text{ эВ}.$$

ответ: $e = 3,136 \text{ эВ}$.

№ 1109. Какой длины волны свет надо направить на поверхность цезия, чтобы максимальная скорость фотоэлектронов была 2 Мм/с?

Решение задачи:

дано:

$$A_{\text{ВЫХ}} = 1,8 \text{ эВ},$$

$$\nu = 2 \text{ Мм/с} =$$

$$= 2 \cdot 10^6 \text{ м/с}.$$

найти λ .

решение.

$$E = h\nu - A_{\text{ВЫХ}} = \frac{hc}{\lambda} - A_{\text{ВЫХ}}; E = \frac{mv^2}{2}; \frac{mv^2}{2} = \frac{hc}{\lambda} - A_{\text{ВЫХ}}$$

$$\lambda = \frac{hc}{\frac{mv^2}{2} + A_{\text{вых}}}; \lambda = \frac{4,136 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot c \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{\frac{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot (2 \cdot 10^6 \text{ м/с})^2}{2} + 1,8 \text{ эВ}} =$$

$$= 9,43 \cdot 10^{-8} \text{ м} = 94,3 \text{ нм}.$$

ответ: $\lambda = 94,3 \text{ нм}$.

№ 1113. К вакуумному фотоэлементу, у которого катод выполнен из цезия, приложено запирающее напряжение 2 В. При какой длине волны падающего на катод света появится фототок?

Решение задачи:

дано:

$$U = 2 \text{ В},$$

$$A_{\text{вых}} = 2,9 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

найти λ .

решение.

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2} = A_{\text{вых}} + eU; \quad \frac{hc}{\lambda} = A_{\text{вых}} + eU;$$

$$\lambda = \frac{hc}{A_{\text{вых}} + eU} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot c \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{2,9 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} + 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 2 \text{ В}} \approx$$

$$\approx 3,3 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 330 \text{ нм}.$$

ответ: $\lambda = 330 \text{ нм}$.

№ 1111. Найти максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов, вырванных с катода К (рис. 124), если запирающее напряжение равно 1,5 В.

Решение задачи:

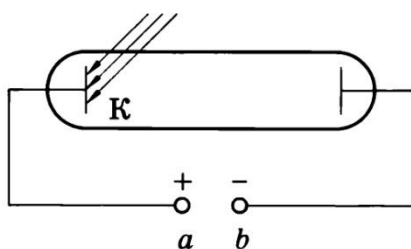


Рис. 124

дано: $u = 1,5 \text{ В}$. найти e .

решение.

$$E = eU = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 1,5 \text{ В} = 2,4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 1,5 \text{ эВ}.$$

ответ: $e = 1,5 \text{ эВ}$.

№ 1114. Какое запирающее напряжение надо подать на вакуумный фотоэлемент, чтобы электроны, вырванные ультрафиолетовым светом с длиной волны 100 нм из вольфрамового катода, не могли создать ток в цепи?

Решение задачи:

дано:

$$\begin{aligned}\lambda &= 100 \text{ нм} = \\ &= 10^{-7} \text{ м}, \\ A_{\text{ВЫХ}} &= 7,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.\end{aligned}$$

найти u .
решение.

$$\begin{aligned}h\nu &= A_{\text{ВЫХ}} + \frac{mv^2}{2} = A_{\text{ВЫХ}} + eU; \quad \frac{hc}{\lambda} = A_{\text{ВЫХ}} + eU \\ U &= \frac{\frac{hc}{\lambda} - A_{\text{ВЫХ}}}{e} = \frac{\frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{10^{-7} \text{ м}} - 7,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} = 7,9 \text{ В}.\end{aligned}$$

ответ: $u = 7,9 \text{ в}$.

№ 1117. Определить энергию фотонов, соответствующих наиболее длинным ($\lambda = 760 \text{ нм}$) и наиболее коротким ($\lambda = 380 \text{ нм}$) волнам видимой части спектра.

Решение задачи:

дано:

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= 760 \text{ нм} = \\ &= 7,6 \cdot 10^{-7} \text{ м}, \\ \lambda_2 &= 380 \text{ нм} = \\ &= 3,8 \cdot 10^{-7} \text{ м}.\end{aligned}$$

найти e .
решение.

$$\begin{aligned}E &= h\nu = \frac{hc}{\lambda}; \\ E_1 &= \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{7,6 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 2,62 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \\ E_2 &= \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{3,8 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 5,23 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.\end{aligned}$$

ответ:

$$E_1 = 2,62 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \quad E_2 = 5,23 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

№ 1121. Каков импульс фотона ультрафиолетового излучения с длиной волны 100 нм ?

Решение задачи:

дано:

$$\lambda = 100 \text{ нм} = 10^{-7} \text{ м.}$$

найти p .

решение.

$$p = mc = \frac{E}{c} = \frac{E}{\lambda \nu} = \frac{h\nu}{\lambda \nu} = \frac{h}{\lambda}; p = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}}{10^{-7} \text{ м}} = 6,626 \cdot 10^{-27} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}.$$

ответ:

$$p = 6,626 \cdot 10^{-27} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$$

№ 1125. Источник света мощностью 100 Вт испускает $5 \cdot 10^{20}$ фотонов за 1 с. Найти среднюю длину волны излучения.

Решение задачи:

дано:

$$P = 100 \text{ Вт}, n = 5 \cdot 10^{20}, t = 1 \text{ с.}$$

найти λ .

решение.

$$P_1 = \frac{P}{n};$$

$$P_1 = \frac{E}{t} = \frac{h\nu}{t} = \frac{hc}{\lambda t}; \frac{P}{n} = \frac{hc}{\lambda t}$$

$$\lambda = \frac{nhc}{Pt} = \frac{5 \cdot 10^{20} \cdot 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{100 \text{ Вт} \cdot 1 \text{ с}} =$$

$$= 9,9 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 0,99 \text{ мкм.}$$

ответ: $\lambda = 0,99 \text{ мкм.}$

№ 1118. К какому виду следует отнести излучения, энергия фотонов которых равна: а) 4140 эВ; б) 2,07 эВ?

Решение задачи:

дано:

$$e_1 = 4140 \text{ эВ}, e_2 = 2,07 \text{ эВ.}$$

найти

$$\lambda_1, \lambda_2.$$

решение.

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda};$$

$$\lambda = \frac{hc}{E}; \lambda_1 = \frac{4,136 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{4140 \text{ эВ}} \approx 3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$

— рентгеновское излучение

$$\lambda_2 = \frac{4,136 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot c \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{2,07 \text{ эВ}} \approx 6 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 600 \text{ нм}$$

— видимое излучение.

ответ: а) $\lambda_1 = 3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ — рентгеновское излучение; б) $\lambda_2 = 600 \text{ нм}$ — видимое излучение.

№ 1119. Определить длину волны излучения, фотоны которого имеют такую же энергию, что и электрон, ускоренный напряжением 4 В.

Решение задачи:

дано: $u = 4 \text{ в}$.

найти λ .

решение.

$$h\nu = eU;$$

$$h \frac{c}{\lambda} = eU;$$

$$\lambda = \frac{hc}{eU} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot c \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 4 \text{ В}} =$$

$$= 3,1 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 310 \text{ нм}.$$

ответ: $\lambda = 310 \text{ нм}$.

№ 1123. При какой скорости электроны будут иметь энергию, равную энергии фотонов ультрафиолетового света с длиной волны 200 нм?

Решение задачи:

дано:

$$E_e = E,$$

$$\lambda = 200 \text{ нм} =$$

$$= 2 \cdot 10^{-7} \text{ м}.$$

найти v .

решение.

$$E_e = \frac{m_e v^2}{2}; E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}; \frac{m_e v^2}{2} = \frac{hc}{\lambda}$$

$$v = \sqrt{\frac{2hc}{m_e \lambda}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot c \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 2 \cdot 10^{-7} \text{ м}}} \approx 1,48 \cdot 10^6 \text{ м/с}.$$

ответ: $v = 1,48 \cdot 10^6 \text{ м/с}$.