

Задания с развернутым ответом по квантовой физике
1.

Образец возможного решения (рисунок не обязателен)

Частота фотона, испускаемого атомом при переходе с одного уровня энергии на другой, пропорциональна разности энергий этих уровней. Поэтому имеем:

$$\nu_{41} = \nu_{31} + \nu_{43}, \nu_{43} = \nu_{42} - \nu_{32}. \text{ Отсюда: } \nu_{41} = \nu_{31} + \nu_{42} - \nu_{32}.$$

$$\text{Имеем: } \nu_{31} = \frac{c}{\lambda_{31}} = \frac{3 \cdot 10^8}{4 \cdot 10^{-7}} = 0,75 \cdot 10^{15} \text{ (Гц)},$$

Образец возможного решения (рисунок не обязателен)

$$\nu_{42} = \frac{c}{\lambda_{42}} = \frac{3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^{-7}} = 0,6 \cdot 10^{15} \text{ (Гц)}, \quad \nu_{32} = \frac{c}{\lambda_{32}} = \frac{3 \cdot 10^8}{6 \cdot 10^{-7}} = 0,5 \cdot 10^{15} \text{ (Гц)}.$$

Поэтому $\nu_{41} = 0,85 \cdot 10^{15}$ Гц,

$$\lambda_{41} = \frac{c}{\nu_{41}} = \frac{3 \cdot 10^8}{0,85 \cdot 10^{15}} \approx 350 \text{ (нм)}.$$

Ответ: $\lambda_{41} = 350$ нм.

2.

Образец возможного решения

Минимальная длина волны соответствует максимальной частоте. Частота фотона, испускаемого атомом при переходе с одного уровня энергии на другой, пропорциональна разности энергий этих уровней. Поэтому искомая частота равна ν_{41} ,

$$\nu_{41} = \nu_{13} + \nu_{24} - \nu_{32} = 10^{14}(7 + 5 - 3) = 9 \cdot 10^{14} \text{ (Гц)},$$

$$\lambda_{14} = \frac{c}{\nu_{14}} = \frac{3 \cdot 10^8}{9 \cdot 10^{14}} = 3,3 \cdot 10^{-7} \text{ (м)}.$$

Ответ: $\lambda_{41} = 3,3 \cdot 10^{-7}$ м.

3.

Образец возможного решения (рисунок не обязателен)

Законы сохранения энергии и импульса для α -распада ядра по-

коящегося нейтрального атома:
$$\begin{cases} \frac{m_\alpha v^2}{2} + \frac{M u^2}{2} = \Delta E \\ m_\alpha \vec{v} + M \vec{u} = 0 \end{cases}$$

Уравнение движения α -частицы в магнитном поле:

$$\frac{m_\alpha v^2}{r} = 2|e v B|.$$

Решая систему трех уравнений, получаем:

$$\Delta E = \frac{(2eBr)^2}{2m_\alpha} \cdot \left(1 + \frac{m_\alpha}{M}\right), \text{ откуда } B = \frac{1}{2er} \cdot \sqrt{\frac{2m_\alpha \Delta E}{1 + \frac{m_\alpha}{M}}}.$$

Ответ: $B = \frac{1}{2er} \cdot \sqrt{\frac{2m_\alpha \Delta E}{1 + \frac{m_\alpha}{M}}}$

4.

Образец возможного решения (рисунок не обязателен)

 Законы сохранения энергии и импульса для α -распада ядра по-

коящегося нейтрального атома:
$$\begin{cases} \frac{m_\alpha v^2}{2} + \frac{Mu^2}{2} = \Delta E \\ m_\alpha \vec{v} + M\vec{u} = 0 \end{cases}$$

 Уравнение движения тяжелого иона с зарядом $q = -2e$ в магнитном поле:

$$\frac{Mu^2}{R} = 2|euB|.$$

Решая систему трех уравнений, получаем:

$$\Delta E = \frac{(2eBr)^2}{2m_\alpha} \cdot \left(1 + \frac{m_\alpha}{M}\right),$$

откуда
$$\left|\frac{q}{M}\right| = \left|\frac{2e}{M}\right| = \frac{2e}{m_\alpha} \cdot \left[\frac{2m_\alpha \Delta E}{(2eBR)^2} - 1\right].$$

Ответ:
$$\left|\frac{q}{M}\right| = \left|\frac{2e}{M}\right| = \frac{2e}{m_\alpha} \cdot \left[\frac{2m_\alpha \Delta E}{(2eBR)^2} - 1\right].$$

5.

Образец возможного решения (рисунок не обязателен)

 Законы сохранения энергии и импульса для α -распада ядра по-

коящегося нейтрального атома:
$$\begin{cases} \frac{m_\alpha v^2}{2} + \frac{Mu^2}{2} = \Delta E \\ m_\alpha \vec{v} + M\vec{u} = 0 \end{cases}$$

 Уравнение движения тяжелого иона с зарядом $q = -2e$ в магнитном поле:

$$\frac{Mu^2}{R} = 2|euB|.$$

 Решая систему трех уравнений, получаем:
$$\Delta E = \frac{(2eBr)^2}{2m_\alpha} \cdot \left(1 + \frac{m_\alpha}{M}\right),$$

откуда
$$B = \frac{1}{2eR} \cdot \sqrt{\frac{2m_\alpha \Delta E}{1 + \frac{m_\alpha}{M}}}.$$

Ответ:
$$B = \frac{1}{2eR} \cdot \sqrt{\frac{2m_\alpha \Delta E}{1 + \frac{m_\alpha}{M}}}.$$

6.

Образец возможного решения (рисунок не обязателен)

За время Δt в препарате выделяется количество теплоты $Q = A E \Delta t$, где A — активность препарата, E — энергия α -частицы, Δt — время.

Изменение температуры контейнера определяется равенством $Q = c m \Delta T$, где c — удельная теплоемкость меди, m — масса контейнера, ΔT — изменение температуры контейнера.

Выделившееся количество теплоты идет на нагревание контей-

нера. Отсюда $\Delta t = \frac{cm\Delta T}{AE}$. $\Delta t \approx 23$ мин.

Ответ: $\Delta t \approx 23$ мин.

7.

Образец возможного решения (рисунок не обязателен)

За время Δt в препарате выделяется количество теплоты $Q = A E \Delta t$, где A — активность препарата, E — энергия α -частицы, Δt — время.

Изменение температуры контейнера определяется равенством $Q = c m \Delta T$, где c — удельная теплоемкость меди, m — масса контейнера, ΔT — изменение температуры контейнера.

Выделившееся количество теплоты идет на нагревание контей-

нера. Отсюда $A = \frac{cm\Delta T}{E\Delta t}$. $A \approx 1,7 \cdot 10^{11} \text{ с}^{-1}$.

Ответ: $A \approx 1,7 \cdot 10^{11} \text{ с}^{-1}$.

8.

Образец возможного решения (рисунок не обязателен)

Формула для давления света при его зеркальном отражении:

$p = \frac{2W}{c}$, где c — скорость света.

Свет отражается зеркально, сила давления: $F = \frac{2WS}{c}$,

II закон Ньютона: $F = ma$.

Выполнив математические преобразования, получим ответ в

общем виде: $S = \frac{cma}{2W}$ и числовое значение:

$S = 5,5 \cdot 10^4 \text{ м}^2$.

Ответ: $S = 5,5 \cdot 10^4 \text{ м}^2$.

9.

Образец возможного решения (рисунок не обязателен)

Формула для расчета давления света при его зеркальном отражении: $p = \frac{2W}{c}$.

Сила давления: $F = \frac{2WS}{c}$, где S — площадь паруса,

По закон Ньютона: $F = ma$, где a — ускорение космического аппарата. Выполнив математические преобразования, получим ответ в

общем виде: $m = \frac{2WS}{ac}$ и числовой ответ: $m = 91$ кг.

Ответ: $m = 91$ кг.

10.

Образец возможного решения (рисунок не обязателен)

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта: $\frac{hc}{\lambda} = A + \frac{mv^2}{2}$ (1).

Условие связи красной границы фотоэффекта и работы выхода:

$$\frac{hc}{\lambda_0} = A \quad (2).$$

Выражение для запирающего напряжения — условие равенства максимальной кинетической энергии электрона и изменения его потенциальной энергии при перемещении в электростатическом

поле: $\frac{mv^2}{2} = eU$ (3).

Решая систему уравнений (1), (2) и (3), получаем ответ:

$$U = \frac{hc(\lambda_0 - \lambda)}{\lambda\lambda_0 e} \approx 1,4 \text{ В.}$$

Ответ: $U \approx 1,4$ В.

11.

Образец возможного решения (рисунок не обязателен)

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта: $\frac{hc}{\lambda} = A + \frac{mv^2}{2}$ (1). Условие связи красной границы фотоэффекта и работы выхода:

$$\frac{hc}{\lambda_0} = A \quad (2).$$

Выражение для запирающего напряжения — условие равенства максимальной кинетической энергии электрона и изменения его потенциальной энергии при перемещении в электростатическом

поле: $\frac{mv^2}{2} = eU$ (3).

Образец возможного решения (рисунок не обязателен)

Решая систему уравнений (1), (2) и (3), получаем ответ:

$$\lambda = \frac{hc\lambda_0}{hc + eU\lambda_0} \approx 300 \text{ нм.}$$

Ответ: $\lambda \approx 300 \text{ нм.}$

12.

Образец возможного решения (рисунок не обязателен)

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта: $\frac{hc}{\lambda} = A + \frac{mv^2}{2}$ (1). Условие связи красной границы фотоэффекта и работы выхода:

$$\frac{hc}{\lambda_0} = A \quad (2).$$

Выражение для запирающего напряжения – условие равенства максимальной кинетической энергии электрона и изменения потенциальной энергии электрона при его перемещении в электростатическом поле: $\frac{mv^2}{2} = eU$ (3).

Решая систему уравнений (1), (2) и (3), получаем ответ:

$$\lambda_0 = \frac{hc\lambda}{hc - eU\lambda} \approx 450 \text{ нм.}$$

Ответ: $\lambda_0 = 450 \text{ нм.}$

13.

Содержание верного решения задачи

Элементы ответа:

1) Записано уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

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

2) Записано уравнение, связывающее на основе второго закона Ньютона силу Лоренца, действующую на электрон, с величиной центростремительного ускорения: $evB = \frac{mv^2}{R}$.

3) Решена система уравнений и получен ответ в общем виде:

$$R = \frac{\sqrt{2m \left(h \frac{c}{\lambda} - A \right)}}{eB}.$$

4) Получен числовой ответ: $R = 4,7 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$

Ответ: $R = 4,7 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$

14.

Содержание верного решения задачи (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысл)

Элементы ответа:

1) Записано уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$h\nu = A_{\text{вых}} + E_K$ или $\frac{hc}{\lambda} = A_{\text{вых}} + E_K$, где $E_K = \frac{mv^2}{2}$ — кинетическая энергия выбиваемых электронов.

2) Записан второй закон Ньютона для движения заряженной частицы в магнитном поле: $eBv = \frac{mv^2}{R}$.

3) Выполнены математические преобразования, получен ответ в

общем виде: $B = \frac{m \cdot \sqrt{\frac{2}{m} \left(\frac{hc}{\lambda} - A \right)}}{eR}$.

4) Получен правильный числовой ответ: $B = 1,1 \cdot 10^{-3}$ Тл.

15.

Содержание верного решения задачи (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысл)

Элементы ответа:

1) Записано уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

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

2) Записано уравнение, связывающее на основе второго закона Ньютона силу Лоренца, действующую на электрон, с величиной центростремительного ускорения: $eBv = \frac{mv^2}{R}$.

3) Решена система уравнений и получен ответ в алгебраической

форме: $B = \frac{\sqrt{2m(h\nu - A)}}{eR}$.

4) Подставлены значения констант и параметров и получен ответ в числовой форме: $B = 1,6 \cdot 10^{-3}$ Тл.

16.

Содержание верного решения задачи

Элементы ответа:

1) Записано выражение для импульса электрона: $p = mv$.

2) Записано уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

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

выражение для частоты света с ее длиной волны: $\nu = \frac{c}{\lambda}$.

Содержание верного решения задачи

3) Выполнены математические преобразования и получено вы-

ражение для скорости электрона: $v = \sqrt{\frac{2\left(\frac{hc}{\lambda} - A\right)}{m}}$ и правильный числовой ответ: $v = 2,4 \cdot 10^6$ м/с.

4) Вычислено значение импульса электрона: $p = 21,8 \cdot 10^{-25}$ кг · м/с.

17.

Содержание верного решения задачи

Элементы ответа:

1) Записано уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2}.$$

2) Записано выражение для импульса электрона: $p = mv$.

3) Выполнены математические преобразования и получен ответ в общем виде: $p = \sqrt{2m(h\nu - A_{\text{вых}})}$.

4) Получен правильный числовой ответ: $p = 3 \cdot 10^{-25}$ кг · м/с.

18.

Содержание верного решения задачи

Элементы ответа:

1) Записано уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2}.$$

2) Записано выражение для минимальной энергии, которая необходима электрону для преодоления задерживающего электрического поля: $W = eU$.

3) С учетом условия задачи получено соотношение: $W = \frac{mv^2}{2}$.

4) Выполнены математические преобразования, получен ответ в общем виде: $v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$ и правильный числовой ответ: $v = 10^6$ м/с.

19.

Содержание верного решения задачи

Элементы ответа:

1) Записано уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

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

2) Записана формула, связывающая частоту и длину волны фотона: $\lambda = \frac{c}{\nu}$.

Содержание верного решения задачи

3) Записано уравнение Эйнштейна для красной границы фотоэффекта: $\frac{ch}{\lambda_{KP}} = A$.

4) Выполнены математические преобразования, получен ответ

в общем виде: $v = \sqrt{\frac{2ch\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_{KP}}\right)}{m}}$ и правильный числовой ответ:
 $v = 800 \text{ км/с.}$

20.

Содержание верного решения задачи

Элементы ответа:

1) Записана формула для средней кинетической энергии теплового движения атомов: $\overline{E_k} = \frac{3}{2}kT$.

2) Записано уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$\frac{hc}{\lambda} = A_{\text{вых}} + E_k.$$

3) Записано условие равенства кинетических энергий:

$$\frac{3}{2}kT = \frac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых}}.$$

4) Выполнены математические преобразования, получен ответ в

общем виде: $T = \frac{\frac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых}}}{\frac{3}{2}k}$ и правильный числовой ответ:
 $T \approx 16 \cdot 10^3 \text{ К.}$

21.

Содержание верного решения задачи

Элементы ответа:

1) Записано уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$\frac{hc}{\lambda} = A + \frac{mv^2}{2}.$$

2) Записано выражение для запирающего напряжения – условие равенства максимальной кинетической энергии электрона потенциальной энергии электрона в электростатическом поле:

$$\frac{mv^2}{2} = eU.$$

Содержание верного решения задачи

3) Записано уравнение, связывающее разность потенциалов с зарядом на конденсаторе: $q = CU$.

4) Решена система уравнений и получен ответ в алгебраической

форме: $\lambda = \frac{hc}{A + eq/C}$.

5) Подставлены значения констант и параметров и получен числовой ответ: $\lambda = 300$ нм.

22.

Содержание верного решения задачи

Элементы ответа:

1) Записано уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$\frac{hc}{\lambda} = A + \frac{mv^2}{2}.$$

2) Записано условие связи частотной красной границы фотоэффекта и работы выхода: $h\nu_0 = A$.

3) Записано выражение для запирающего напряжения — условие равенства максимальной кинетической энергии электрона потенциальной энергии электрона в электростатическом поле:

$$\frac{mv^2}{2} = eU.$$

4) Решена система уравнений и получен ответ в алгебраической форме:

$$v_0 = v - \frac{eU}{h}.$$

5) Подставлены значения констант и параметров и получен числовой ответ: $\nu_0 = 6,6 \cdot 10^{14}$ Гц.

23.

Содержание верного решения задачи

Элементы ответа:

1) Записано уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

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

2) Записано выражение для запирающего напряжения — условие равенства максимальной кинетической энергии электрона потенциальной энергии электрона в электростатическом поле:

$$\frac{mv^2}{2} = eU.$$

3) Записано уравнение, связывающее разность потенциалов с зарядом на конденсаторе: $q = CU$.

Содержание верного решения задачи

- 4) Решена система уравнений и получен ответ в алгебраической форме.
 5) Подставлены значения констант и параметров и получен числовой ответ: $C = 8 \cdot 10^{-9}$ Ф.

24.

Образец возможного решения

Выражение для энергии фотона: $E_1 = \frac{hc}{\lambda}$.

Энергия всех фотонов, излучаемых за время t : $E = \frac{hc}{\lambda} \cdot \frac{N}{\tau} \cdot t$.

Количество теплоты, необходимое для нагревания воды:

$$Q = c_{уд} m \Delta t.$$

Закон сохранения энергии: $E = Q \Rightarrow \frac{hc}{\lambda} \cdot \frac{N}{\tau} \cdot t = c_{уд} m \Delta t$.

Выражение для времени нагревания: $t = \frac{c_{уд} m \Delta t \lambda \tau}{hcN}$.

Ответ: $t = 700$ с.

25.

Образец возможного решения

Выражение для энергии фотона: $E_1 = \frac{hc}{\lambda}$.

Энергия всех фотонов, излучаемых за время t : $E = \frac{hc}{\lambda} \cdot \frac{N}{\tau} \cdot t$.

Количество теплоты, необходимое для нагревания воды:

$$Q = c_{уд} m \Delta t.$$

Закон сохранения энергии: $E = Q \Rightarrow \frac{hc}{\lambda} \cdot \frac{N}{\tau} \cdot t = c_{уд} m \Delta t$.

Выражение для длины волны: $\lambda = \frac{hcNt}{c_{уд} m \Delta t \tau}$.

Ответ: $\lambda = 3,3 \cdot 10^{-7}$ м.

26.

Образец возможного решения

Выражение для энергии фотона: $E_1 = \frac{hc}{\lambda}$.

Энергия всех фотонов, излучаемых за время t : $E = \frac{hc}{\lambda} \cdot \frac{N}{\tau} \cdot t$.

Количество теплоты, необходимое для нагревания воды:

$$Q = c_{уд} m \Delta t.$$

Образец возможного решения

Закон сохранения энергии: $E = Q \Rightarrow \frac{hc}{\lambda} \cdot \frac{N}{\tau} \cdot t = c_{\text{уд}} m \Delta t$.

Выражение для массы воды: $m = \frac{hcNt}{c_{\text{уд}} \Delta t \lambda \tau}$.

Ответ: $m = 1$ кг.

27.

Образец возможного решения

Если при столкновении с атомом электрон приобрел энергию, то атом перешел в состояние $E^{(0)}$. Следовательно, после столкновения кинетическая энергия электрона стала $E = 1,5 \text{ эВ} + 3,5 \text{ эВ} = 5 \text{ эВ} \approx 8 \cdot 10^{-19}$ Дж.

Импульс p электрона связан с его кинетической энергией соотношением $p^2 = m^2 v^2 = 2mE$, или $p = \sqrt{2mE}$, где m — масса электрона.

Поэтому $p = \sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 8 \cdot 10^{-19}} \approx 1,2 \cdot 10^{-24}$ (кг·м/с).

Ответ: $1,2 \cdot 10^{-24}$ кг·м/с.

28.

Образец возможного решения

Если при столкновении с атомом электрон приобрел энергию, то атом перешел в состояние $E^{(0)}$. Следовательно, после столкновения кинетическая энергия электрона стала равной $E = E_0 + 3,5 \text{ эВ}$, где E_0 — энергия электрона до столкновения; отсюда:

$$E_0 = E - 3,5 \text{ эВ}.$$

Импульс p электрона связан с его кинетической энергией соотношением $p^2 = m^2 v^2 = 2mE$, или $E = \frac{p^2}{2m}$, где m — масса электрона.

$$\begin{aligned} \text{Следовательно, } E_0 &= \frac{p^2}{2m} - 3,5 \text{ эВ} = \\ &= \frac{1,44 \cdot 10^{-48}}{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}} - 3,5 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \approx 2,3 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.} \end{aligned}$$

Ответ: $2,3 \cdot 10^{-19}$ Дж.