

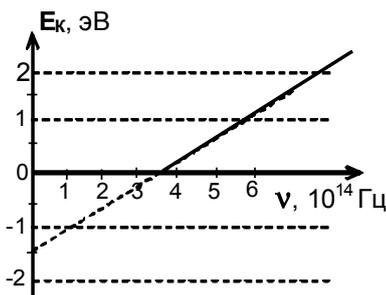
**Задания для подготовки к контрольной работе по теме
«Световые кванты»**

1. Длина волны красного света в 2 раза больше длины волны фиолетового света. Во сколько раз энергия фотона красного света меньше энергии фотона фиолетового света?
2. Один лазер излучает монохроматический свет с длиной волны $\lambda_1 = 400$ нм, другой – с длиной волны $\lambda_2 = 600$ нм. Чему равно отношение p_1/p_2 импульсов фотонов?
3. Работа выхода для материала катода вакуумного фотоэлемента равна 1,5 эВ. Катод освещается монохроматическим светом, у которого энергия фотонов равна 3,5 эВ. Каково запирающее напряжение, при котором фототок прекратится?
4. Энергия фотона в потоке фотонов, падающих на поверхность металла, в 2 раза превышает работу выхода электронов из металла. Во сколько раз надо увеличить частоту падающего излучения, чтобы максимальная скорость фотоэлектронов, вылетающих из этого металла, увеличилась в 2 раза?
5. Красная граница фотоэффекта исследуемого металла соответствует длине волны $\lambda_{кр} = 600$ нм. Какова длина волны света, выбивающего из него фотоэлектроны, максимальная кинетическая энергия которых в 3 раза меньше энергии падающих фотонов?
6. В таблице приведены значения максимальной кинетической энергии E_{max} фотоэлектронов при облучении фотокатода монохроматическим светом с длиной волны λ .

Длина волны падающего света, λ	λ_0	$\lambda_0/2$
Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов, E_{max}	E_0	$3E_0$

Чему равна работа выхода $A_{вых}$ фотоэлектронов с поверхности фотокатода?

7. На рисунке представлен график зависимости максимальной кинетической энергии E_k фотоэлектронов от частоты фотонов, падающих на поверхность катода. Какова работа выхода электрона с поверхности катода?



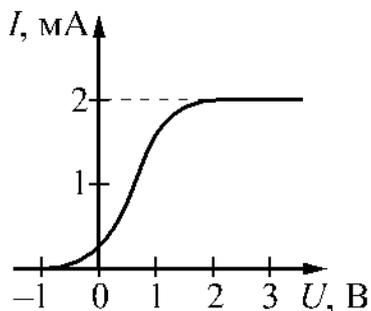
8. Фотоэффект для цезия наблюдается, если энергия фотонов падающего на фотокатод излучения равна или превышает 0,288 аДж. Какова длина волны света, падающего на цезиевый фотокатод, если вылетающие с его поверхности фотоэлектроны полностью задерживаются металлической сеткой при достижении напряжения 0,7 В между нею и катодом?
9. Предельная длина волны электромагнитного излучения, при которой наблюдается фотоэффект для лития, соответствует $5,2 \cdot 10^{-7}$ м. Какова максимальная скорость фотоэлектронов, покидающих литиевый катод, если частота падающего излучения равна $7,0 \cdot 10^{14}$ Гц?

10. Вольфрамовую пластину облучают светом с длиной волны 200 нм. Каков максимальный импульс вылетающих из пластины электронов, если работа выхода электронов из вольфрама равна 4,54 эВ?

11. Фотокатод с работой выхода $4,42 \cdot 10^{-19}$ Дж освещается монохроматическим светом. Вылетевшие из катода электроны попадают в однородное магнитное поле с индукцией $4 \cdot 10^{-4}$ Тл перпендикулярно линиям индукции этого поля и движутся по окружностям. Максимальный радиус такой окружности 10 мм. Какова частота ν падающего света?

12. Металлическую пластину освещают монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 531$ нм. Каков максимальный импульс фотоэлектронов, если работа выхода электронов из данного металла $A_{\text{вых}} = 1,73 \cdot 10^{-19}$ Дж?

13. В опыте по изучению фотоэффекта свет частотой $\nu = 6,1 \cdot 10^{14}$ Гц падает на поверхность катода, в результате чего в цепи возникает ток. График зависимости силы тока I от напряжения U между анодом и катодом приведён на рисунке. Какова мощность падающего света P , если в среднем один из 20 фотонов, падающих на катод, выбивает электрон?



14. Фотон с длиной волны, соответствующей красной границе фотоэффекта, выбивает электрон из металлической пластинки (катода) сосуда, из которого откачан воздух. Электрон разгоняется однородным электрическим полем напряженностью $E = 5 \cdot 10^4$ В/м. Какой путь пролетел в этом электрическом поле электрон, если он приобрел скорость $v = 3 \cdot 10^6$ м/с. Релятивистские эффекты не учитывать.

15. При облучении металлической пластинки квантами света с энергией 3 эВ из нее выбиваются электроны, которые проходят ускоряющую разность потенциалов $\Delta U = 5$ В. Какова работа выхода $A_{\text{вых}}$, если максимальная энергия ускоренных электронов E_e равна удвоенной энергии фотонов, выбивающих их из металла?

16. Красная граница фотоэффекта для вещества фотокатода $\lambda_0 = 290$ нм. При облучении катода светом с длиной волны λ фототок прекращается при напряжении между анодом и катодом $U = 1,5$ В. Определите длину волны λ .

17. Для увеличения яркости изображения слабых источников света используется вакуумный прибор – электронно-оптический преобразователь. В этом приборе фотоны, падающие на катод, выбивают из него фотоэлектроны, которые ускоряются разностью потенциалов $\Delta \phi = 15000$ В и бомбардируют флуоресцирующий экран, рождающий вспышку света при попадании каждого электрона. Длина волны для света от источника $\lambda_1 = 820$ нм, а для света, излучаемого экраном, $\lambda_2 = 410$ нм. Во сколько раз N прибор увеличивает энергию светового излучения, падающего на катод? Считать, что один фотоэлектрон рождается при падении на катод в среднем $k = 10$ фотонов. Работу выхода электронов $A_{\text{вых}}$ принять равной 1 эВ. Считать, что энергия падающих на экран электронов переходит в энергию света без потерь.

18. Излучением лазера с длиной волны $3,3 \cdot 10^{-7}$ м за время $1,25 \cdot 10^4$ с был расплавлен лёд массой 1 кг, взятый при температуре 0°C , и полученная вода была нагрета на 100°C . Сколько фотонов излучает лазер за 1 с? Считать, что 50% излучения поглощается веществом.

19. Источник в монохроматическом пучке параллельных лучей за время $\Delta t = 8 \cdot 10^{-4}$ с излучает $N = 5 \cdot 10^{14}$ фотонов. Лучи падают по нормали на площадку $S = 0,7 \text{ см}^2$ и создают давление $P = 1,5 \cdot 10^{-5}$ Па. При этом 40% фотонов отражается, а 60% поглощается. Определите длину волны излучения.

Ответы:

1. 2; 2. 1,5; 3. 2 В; 4. 2,5; 5. 400 нм; 6. E_0 ; 7. 1,5 эВ; 8. $5 \cdot 10^{-7}$ м; 9. $4,2 \cdot 10^5$ м/с; 10. $\approx 6,9 \cdot 10^{-25}$ кг·м/с;
 11. $\approx 10^{15}$ Гц; 12. $\approx 6 \cdot 10^{-25}$ кг·м/с; 13. $\approx 0,1$ Вт; 14. $\approx 5 \cdot 10^{-4}$ м; 15. 2 эВ; 16. 215 нм; 17. 1000;
 18. $2 \cdot 10^{20}$; 19. $5,5 \cdot 10^{-7}$ м.

Решения:

10.

Возможное решение	
Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:	
$\frac{hc}{\lambda} = A + E_{\text{э}} \quad (1)$	
Выражение, связывающее импульс и кинетическую энергию электрона:	
$p = \sqrt{2mE_{\text{э}}} \quad (2)$	
Из уравнений (1) и (2) получаем выражение для максимального импульса фотоэлектронов:	
$p = \sqrt{2m\left(\frac{hc}{\lambda} - A\right)} = \sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \left(\frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{200 \cdot 10^{-9}} - 4,54 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \right)} \approx$	
$\approx 6,9 \cdot 10^{-25} \text{ эв} \cdot \text{л} / \text{л}$	
Ответ: $p \approx 6,9 \cdot 10^{-25}$ кг·м/с	

11.

Возможное решение	
1. Электрон в магнитном поле движется по окружности радиусом R со скоростью v и центростремительным ускорением $a = \frac{v^2}{R}$.	
2. Ускорение вызывается силой Лоренца ($F = evB$) в соответствии со вторым законом Ньютона: $ma = F$, или $m \frac{v^2}{R} = evB \Rightarrow v = \frac{eBR}{m}$.	
3. Для определения максимальной скорости движения электрона воспользуемся уравнением Эйнштейна для фотоэффекта:	
$hv = A + \frac{mv^2}{2}$	
4. Подставляя в это уравнение скорость электрона, получим выражение для частоты света: $v = \frac{A}{h} + \frac{(eBR)^2}{2mh} = \frac{4,42 \cdot 10^{-19}}{6,6 \cdot 10^{-34}} + \frac{(1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 4 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-2})^2}{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 6,6 \cdot 10^{-34}} \approx 10^{15}$	
Гц.	
Ответ: $v \approx 1 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$	

12.

Возможное решение

1. Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта

$h\nu = h\frac{c}{\lambda} = A_{\text{ауо}} + E_{\text{кки}}$, где h – постоянная Планка, c – скорость света в вакууме, $E_{\text{кки}}$ – максимальная кинетическая энергия электронов.

2. $E_{\text{кки}} = \frac{m_e v_{\text{max}}^2}{2} = \frac{p_{\text{max}}^2}{2m_e}$, где m_e – масса электрона, v_{max} – его максимальная скорость.

3. Объединяя 1 и 2, получим:

$$p_{\text{max}} = \sqrt{2m_e \left(\frac{hc}{\lambda} - A_{\text{ауо}} \right)} = \sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \left(\frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{531 \cdot 10^{-9}} - 1,73 \cdot 10^{-19} \right)} \approx 6 \cdot 10^{-25} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$$

Ответ: $p_{\text{max}} \approx 6 \cdot 10^{-25} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$

13.

Возможное решение

1. По определению сила тока $I = \frac{q}{t}$, где q – заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за время t .

2. Когда ток в цепи достигает насыщения, все фотоэлектроны, выбитые из катода, достигают анода. Тогда за время t через поперечное сечение проводника проходит заряд $q = N_e e t$, где e – модуль заряда электрона, N_e – количество фотоэлектронов, выбитых из катода за 1 с.

Так как $N_e = \frac{1}{20} N_{\Phi}$ (где N_{Φ} – количество фотонов, падающих на катод за 1 с), то $I_{\text{max}} = \frac{1}{20} N_{\Phi} e$.

3. Так как энергия фотона $E_{\Phi} = h\nu$, то мощность света $P = \frac{W}{t} = N_{\Phi} h\nu$.

4. Окончательно получим: $P = N_{\Phi} h\nu = \frac{20 I_{\text{max}} h\nu}{e}$. Согласно приведённому

графику сила тока насыщения $I_{\text{max}} = 2 \text{ мА}$, тогда

$$P = \frac{20 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 6,1 \cdot 10^{14}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 0,1 \text{ Вт.}$$

Ответ: $P \approx 0,1 \text{ Вт}$

14.

Образец возможного решения

Начальная скорость вылетевшего электрона $v_0 = 0$. Формула, связывающая изменение кинетической энергии частицы с работой силы со стороны электрического поля: $A = \frac{mv^2}{2}$.

Работа силы связана с напряженностью поля и пройденным путем:

$$A = FS = eES.$$

$$\text{Отсюда } v^2 = \frac{2eES}{m}, \quad S = mv^2/2eE$$

$$\text{Ответ: } S \approx 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

15.

Образец возможного решения

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта: $h\nu = E_k + A$ или $h\nu = \frac{mv^2}{2} + A_{\text{вых}}$.

$$\text{Энергия ускоренных электронов: } E_e = \frac{mv^2}{2} + e\Delta U = h\nu - A_{\text{вых}} + e\Delta U. \quad (1)$$

$$\text{По условию } E_e = 2h\nu. \quad (2)$$

$$\text{Отсюда } A_{\text{вых}} = e\Delta U - h\nu.$$

$$\text{Ответ: } A_{\text{вых}} = 2 \text{ эВ.}$$

16.

Образец возможного решения

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

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:

$$\frac{mv^2}{2} = eU. \quad (3)$$

$$\text{Решая систему уравнений (1), (2) и (3), получаем: } \lambda = \frac{hc\lambda_0}{hc + eU\lambda_0}.$$

$$\text{Ответ: } \lambda \approx 215 \text{ нм.}$$

17.

Возможное решение
В электрическом поле электрон приобретает энергию $E = e\Delta\phi = 15\,000$ эВ.
Начальная энергия фотоэлектронов $E_{\text{э}} = \frac{hc}{\lambda_1} - A_{\text{а.в.д.}} \approx 0,5$ эВ. Она много меньше E , и ею можно пренебречь.
Энергия одного падающего фотона $E_{\text{ф}} = \frac{hc}{\lambda_1} \approx 1,5$ эВ.
На выбивание 1 электрона тратится: $10 E_{\text{ф}} \approx 15$ эВ.
Следовательно, $N \approx \frac{15\,000 \text{ эВ}}{15 \text{ эВ}} = 1000$.
Ответ: $N = 1000$

18.

Возможное решение
1. Запишем выражение для энергии фотона: $E_1 = \frac{hc}{\lambda}$.
Найдём энергию всех фотонов, излучаемых за время t : $E = \frac{hc}{\lambda} \cdot N \cdot \frac{t}{\tau}$, где N – число фотонов, излучаемых за $\tau = 1$ с.
2. Найдём количество теплоты, которое требуется для плавления льда и нагревания воды: $Q = mL + c_{\text{в.д.}} m\Delta t$.
3. Используем закон сохранения энергии с учетом коэффициента поглощения η : $\eta \cdot \frac{hc}{\lambda} \cdot N \cdot \frac{t}{\tau} = c_{\text{в.д.}} m\Delta t + Lm$.
4. Отсюда получим ответ: $N = \frac{m(L + c_{\text{в.д.}} \Delta t)\lambda\tau}{\eta hct} = \frac{1 \cdot (3,3 \cdot 10^5 + 4200 \cdot 100) \cdot 3,3 \cdot 10^{-7} \cdot 1}{0,5 \cdot 6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 1,25 \cdot 10^4} = 2 \cdot 10^{20}$.
Ответ: $N = 2 \cdot 10^{20}$

19.

Образец возможного решения
Выражение для давления света $P = P_{\text{отр}} + P_{\text{погл}} = \frac{N_{\text{отр}} \Delta p_{\text{отр}} + N_{\text{погл}} \Delta p_{\text{погл}}}{S \Delta t} \quad (1)$
(Формула (1) следует из: $\vec{F} = \Delta \vec{p} / \Delta t$ и $P = F / S$)
Формулы для изменения импульса фотона при отражении и поглощении лучей $\Delta p_{\text{отр}} = 2p$, $\Delta p_{\text{погл}} = p$; число отраженных $N_{\text{отр}} = 0,4N$ и поглощенных $N_{\text{погл}} = 0,6N$ фотонов.
Тогда выражение (1) принимает вид $P = \frac{1,4Np}{S \Delta t}$.
Для импульса фотона $p = \frac{h}{\lambda}$.
Выражение для длины волны излучения $\lambda = \frac{1,4Nh}{PS \Delta t}$.
Ответ: $\lambda = \frac{1,4 \cdot 5 \cdot 10^{14} \cdot 6,6 \cdot 10^{-34}}{1,5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,7 \cdot 10^{-4} \cdot 8 \cdot 10^{-4}} = 5,5 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$