

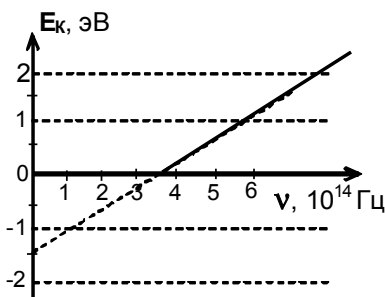
**Задания для подготовки к контрольной работе по теме  
«Световые кванты»**

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  $\lambda$ .

Длина волны падающего света, $\lambda$	$\lambda_0$	$\lambda_0/2$
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?



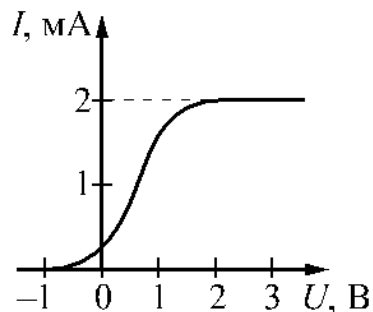
8. Фотоэффект для цезия наблюдается, если энергия фотонов падающего на фотокатод излучения равна или превышает 0,288 аДж. Какова длина волны света, падающего на цезиевый фотокатод, если вылетающие с его поверхности фотоэлектроны полностью задерживаются металлической сеткой при достижении напряжения 0,7 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  $\nu$  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  $\lambda$  фототок прекращается при напряжении между анодом и катодом  $U = 1,5$  В. Определите длину волны  $\lambda$ .

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  $0^\circ\text{C}$ , и полученная вода была нагрета на  $100^\circ\text{C}$ . 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

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

2.  $E_{\text{ккн}} = \frac{m_e v_{\text{max}}^2}{2} = \frac{p_{\text{max}}^2}{2m_e}$ , где  $m_e$  – масса электрона,  $v_{\text{max}}$  – 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  $N_{\Phi}$  – 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 $\eta$ : $\eta \cdot \frac{hc}{\lambda} \cdot N \cdot \frac{t}{\tau} = c_{\text{в.д.}} m\Delta t + Lm$ .
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: $\lambda = \frac{1,4 \cdot 5 \cdot 10^{14} \cdot 6,6 \cdot 10^{-34}}{1,5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,7 \cdot 10^{-4} \cdot 8 \cdot 10^{-4}} = 5,5 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$