

Астраханский Государственный Университет

***ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ  
ИЗМЕРЕНИЙ.***

**ТЕМА 2.2.**

**Излучающие и приёмные элементы.**

Выполнили студенты группы фб-31

Кравченко И., Кузнецов М.

Астрахань 2015

# Содержание темы.

- 1) Краткая теория
- 2) Формулы для решения задач
- 3) Контрольные вопросы
- 4) Примеры решения задач
- 5) Задачи для самостоятельного решения
- 6) Тест
- 7) Список литературы.

# Краткая теория.

Оптоэлектроника представляет собой раздел науки и техники, занимающийся вопросами генерации, переноса(передачи и приёма), переработки (преобразования), запоминания и хранения информации на основе использования двойных(электрических и оптических) методов и средств.

# Полупроводниковые излучатели

инжекционные  
(светодиоды)

электролюминесцентные  
(электролюминофоры)



Рис. 2.2.1.



Рис. 2.2.2.

# Устройство светодиода.



Рис. 2.2.3.

# Устройство люминесцентной лампы.

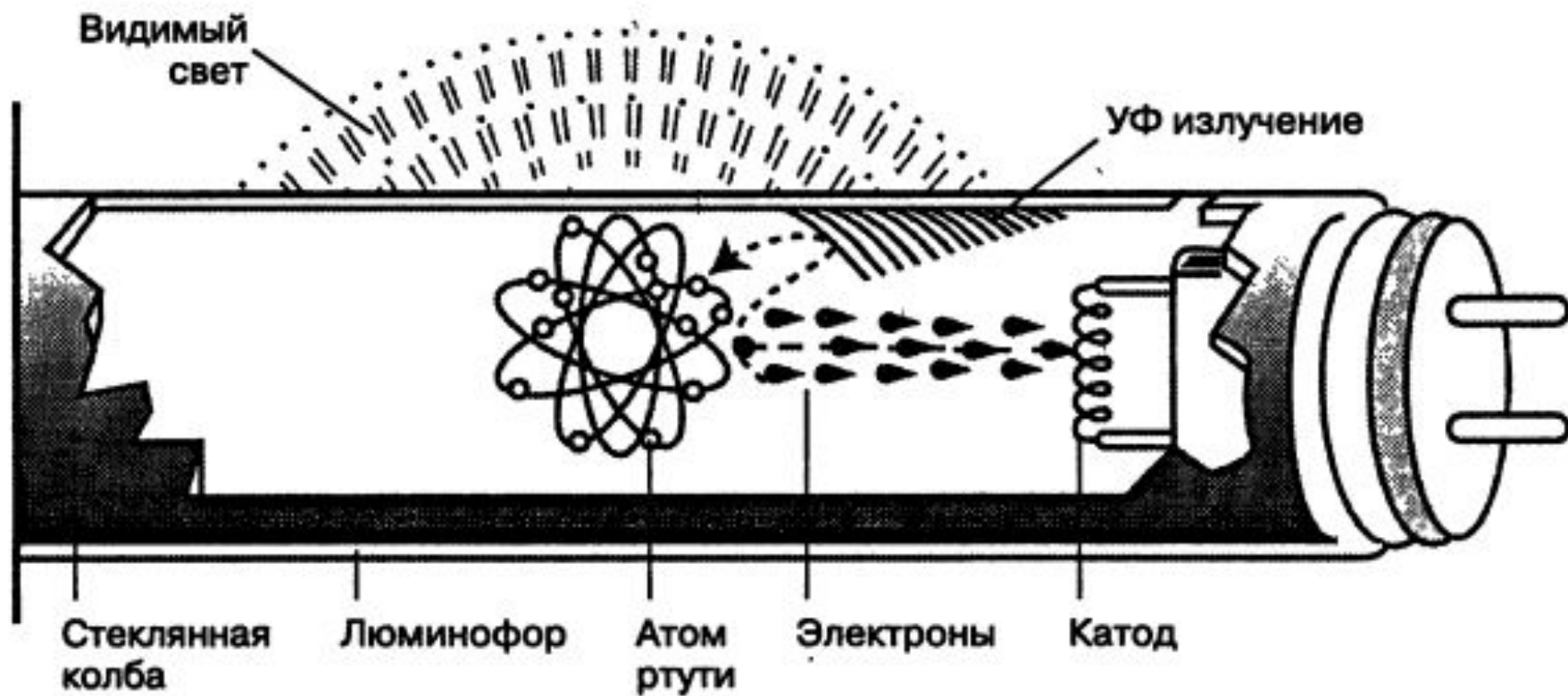


Рис. 2.2.4.

# Основные материалы для светодиодов.

Полупроводник		Цветность
GaAs	9000,9500	ИК
GaP	5500,6900	красный, зелёный
GaN	4400,5200	зелёный, голубой
GaAs	6100,6600	красный, янтарный
Ga	6750,8000	ИК, красный
In <sub>41-x</sub> OGa <sub>4x</sub> OP	5700,6170,6590	красный, янтарный, жёлто-зелёный

Таблица 2.2.1.

# Оптроны.

Оптронами называют такие оптоэлектронные приборы, в которых имеются источник и приёмник излучения (светоизлучатель и фотоприёмник) с тем или иным видом оптической или электрической связи между ними, конструктивно связанные друг с другом.

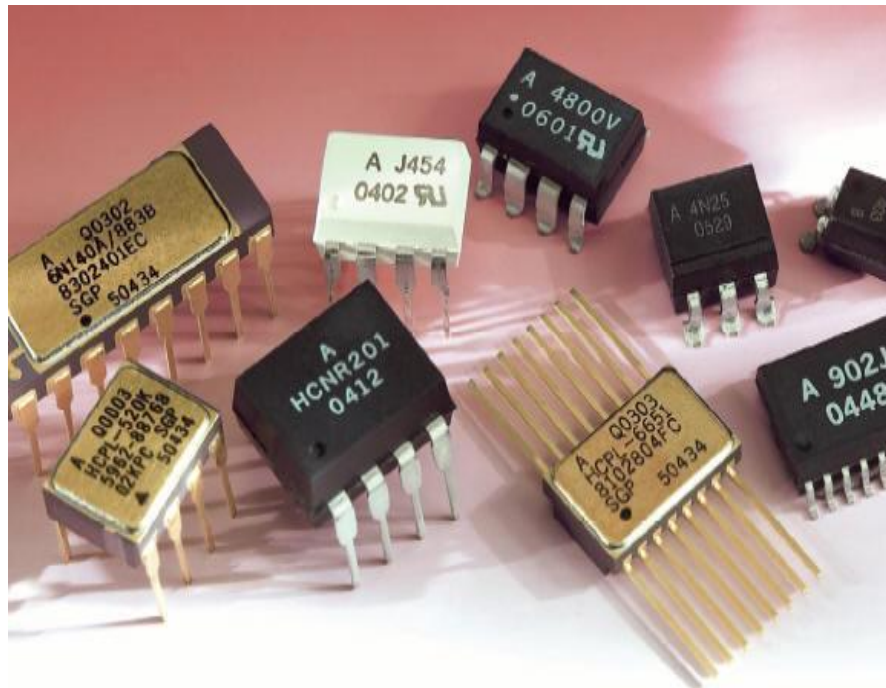
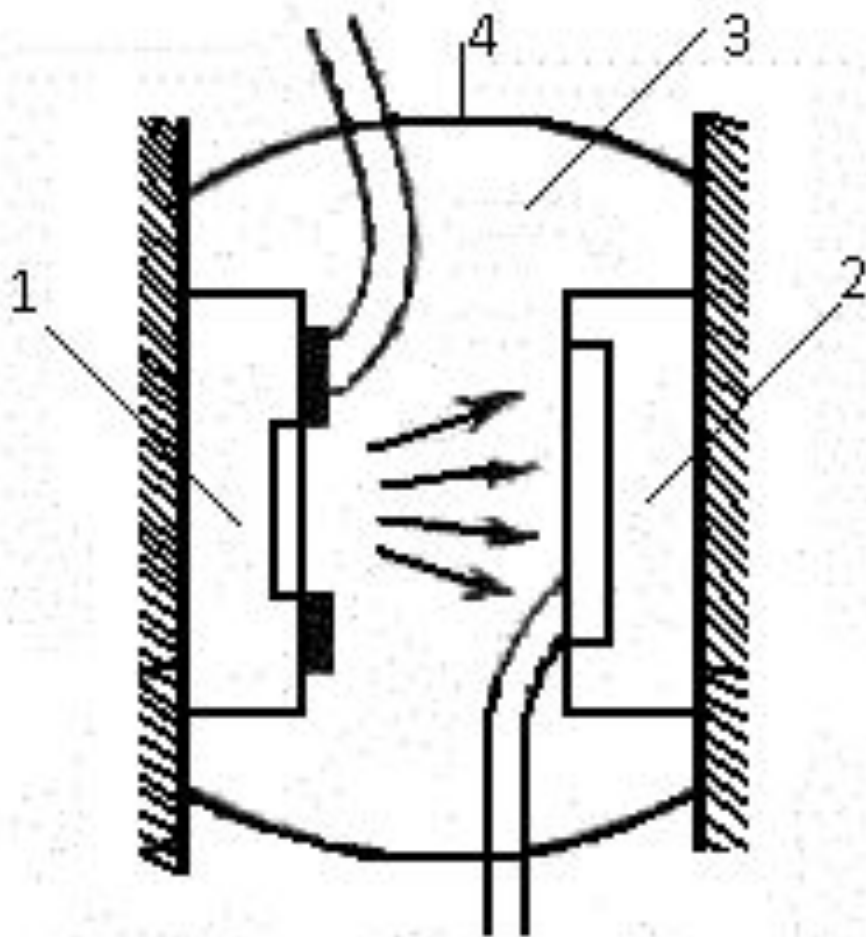


Рис. 2.2.5.



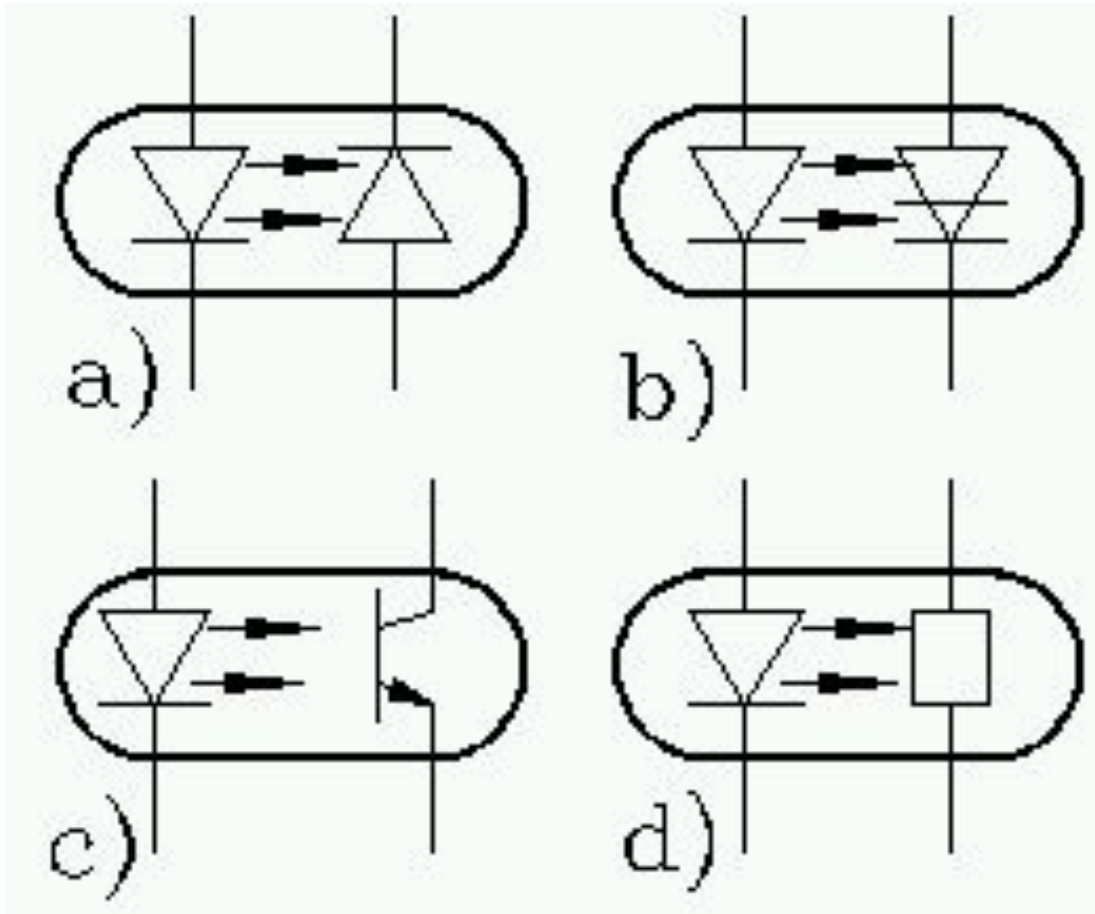
# Устройство оптрона.



Излучатель - бескорпусный светодиод, - как правило, помещают в верхней части металлического корпуса, а в нижней - на кристаллодержателе - укрепляют кристалл кремниевого фотоприемника, например фототиристора. Все пространство между светодиодом и фототиристором заливают твердеющей прозрачной массой. Эту заливку покрывают отражающим внутри световые лучи слоем, который препятствует рассеянию света за пределы рабочей зоны.

Рис. 2.2.6.

# Типы оптронов.



Диодные оптопары  
(рис. 2.2.7, а).

Тиристорные  
оптопары (рис.  
2.2.7, б).

Транзисторные  
оптопары (рис.  
2.2.7, с).

Резисторные  
оптопары (рис. 6, d).

Рис. 2.2.7.

# Формулы, необходимые для решения задач.

1. Связь энергии  $E$  и импульса  $p$  фотона с частотой  $\omega$  и волновым вектором  $k$ , электромагнитной волны:

$$\vec{E} = \hbar\vec{\omega} \quad (2.2.1) \quad \vec{p} = \hbar\vec{k} \quad (2.2.2)$$

2. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A_{\text{ВЫХ}} + \frac{mv^2}{2} \quad (2.2.3)$$

3. Изменение длины волны фотона в результате КОМПТОНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ:

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta) \quad (2.2.4)$$

4. При прохождении электромагнитной волны через кристаллическую пластинку (одноосный кристалл), вырезанную параллельно оптической оси, разность фазовых набегов обыкновенной волны (вектор  $E$  параллелен главной плоскости, содержащей луч и оптическую ось) и необыкновенной волны (вектор  $E$  перпендикулярен главной плоскости) равна:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} (n_o - n_e)d \quad (2.2.5)$$

# Контрольные вопросы.

- 1) Что такое оптоэлектроника?
- 2) Назовите основные виды оптоэлектроники.
- 3) Что такое оптрон?
- 4) Назовите основные виды полупроводниковых источников излучения.
- 5) Опишите принцип действия светодиода.

# Тест.

1. Что называется внутренним фотоэффектом?
  - a) Явление возникновения электродвижущей силы под действием света, падающего на границу металл-проводник.
  - b) Явление перехода электронов из связанного состояния в свободное внутри полупроводника под действием света.
  - c) Эмиссия электронов с поверхности полупроводника под действием света.
  - d) Вырывание электронов из вещества под действием света.

2. Как изменится интенсивность испускания электронов цинковой пластиной при облучении ее сначала видимым, а потом ультрафиолетовым светом?

- a) Уменьшится.
- b) Увеличится.
- c) Не изменится.
- d) Нет однозначного ответа.

3. Какое из уравнений выражает уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта?

a)  $h\nu = E - mc^2$

b)  $h\nu = eU_3 + \frac{m\vartheta^2}{2}$

c)  $h\nu = A_{\text{ВЫИХ}} + \frac{m\vartheta^2}{2}$

d)  $U_3 = \frac{h\nu}{e} - \Phi$

e)  $h\nu = E_2 - E_1$

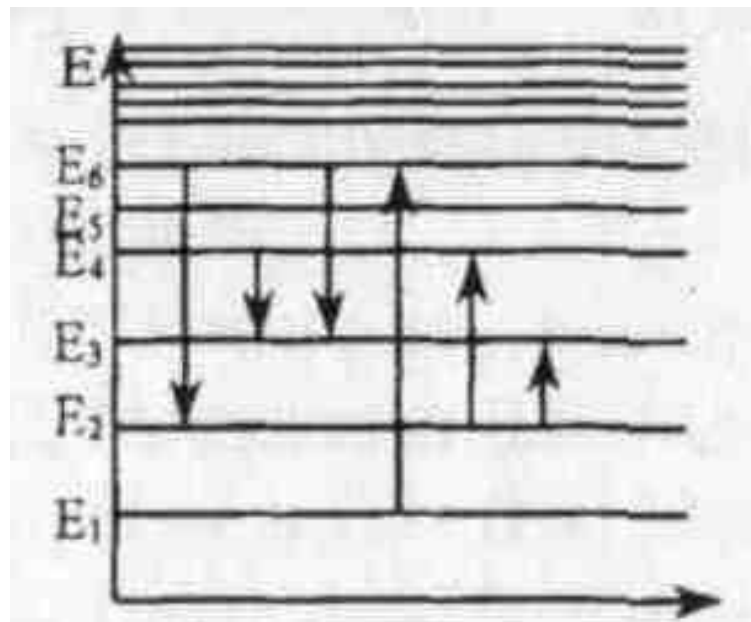


4. От чего зависит скорость вылетевших из металла электронов:

- 1) От интенсивности падающего светового потока.
  - 2) От частоты падающего светового потока.
  - 3) От значения задерживающего потенциала.
  - 4) От работы выхода электрона из металла.
  - 5) От всех параметров, перечисленных выше.
- a) 1.   b) 3, 4.   c) 4.   d) 2.   e) 5.

5. На рис. приведена схема энергетических уровней атома. Определите, при каком переходе энергия излучения максимальна.

- a)  $E_6 \rightarrow E_2$ .
- b)  $E_1 \rightarrow E_6$ .
- c)  $E_3 \rightarrow E_4$ .
- d)  $E_4 \rightarrow E_3$ .
- e)  $E_6 \rightarrow E_3$ .



6. Какой основной закон природы выражает уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта: а) закон сохранения импульса; б) закон сохранения энергии; в) закон сохранения массы?

а) а.

б) б.

с) в.

д) а, б.

е) б, в.

# ОТВЕТЫ.

1	2	3	4	5	6
d	b	c	d	a	b

# Примеры решения задач:

1. Излучение гелий-неонового лазера мощностью  $W=1$  МВт сосредоточено в пучке диаметром  $d=0,5$  см. Длина волны излучения  $\lambda=0,63$  мкм. Определить плотность потока фотонов в пучке.

№1.

$n = ?$

Решение:

Мощность потока излучение равна:

$$W = h \frac{c}{\lambda} n \frac{\pi d^2}{4} \quad (1)$$

где  $n$  – плотность потока фотонов,

$c$  – скорость света,  $h$  – постоянная Планка.

Из уравнения (1) выразим плотность:

$$n = \frac{4W\lambda}{\pi d^2 h c} \quad (2)$$

$$n = \frac{4 * 1 * 10^6 * 0,63 * 10^{-6}}{3,14 * 25 * 10^{-6} * 6,62 * 10^{-34} * 3 * 10^8} = 8,08 * 10^{22} [\text{Вт/м}^2].$$

Ответ: плотность потока фотонов равна  $8,08 * 10^{22}$  Вт/м<sup>2</sup>.

2. Показать, что законы сохранения энергии и импульса приводят к тому, что свободный электрон не может поглощать фотоны или излучать их.

№2.

Решение:

Рассмотрим сначала нерелятивистский случай. Пусть в выбранной нами системе координат электрон до столкновения покоился. Законы сохранения в этой системе выглядят следующим образом:

$$h\nu = \frac{mv^2}{2} \quad (1) \quad \frac{h\nu}{c} = mv \quad (2)$$

Деля первое соотношение на второе, имеем  $v = 2c$ , то есть получаем нефизический результат, так как скорость электрона после поглощения не зависит от частоты (энергии) кванта, да и к тому же принимает значение  $2c$ ! Теперь покажем, что и релятивистское рассмотрение не спасает дела:

$$h\nu + mc^2 = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad (3) \quad \frac{h\nu}{c} = \frac{mc\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad (4)$$



- Отсюда немедленно следует, что

$$\frac{1-\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} = 1 \quad (5) \quad \text{или} \quad \frac{(1-\beta)^2}{1-\beta^2} = 1 \quad (6)$$

Что может иметь место только при  $\beta=0$  или  $\beta=1$ . Опять результат абсурдный. Следовательно, использованные здесь уравнения несовместны. Это означает, что процесс поглощения фотона свободным электроном невозможен, поскольку для такого процесса не могут одновременно выполняться законы сохранения энергии и импульса. Аналогично можно убедиться, что и излучение фотона свободным электроном также невозможно.

3. Показатель преломления кристаллического кварца для длины волны  $\lambda = 589$  нм равен  $n_o = 1,544$  для обыкновенного луча и  $n_e = 1,553$  для необыкновенного луча. На пластинку из кварца, вырезанную параллельно оптической оси, нормально падает линейно поляризованный свет указанной длины волны, занимающий спектральный интервал  $\Delta\lambda = 40$  нм. Найти толщину пластинки  $d$  и направление поляризации падающего света, если свет после пластинки оказался неполяризованным.

d = ?

Решение:

Свет на выходе пластинки оказывается неполяризованным если, во-первых, разность хода двух взаимно перпендикулярных компонент светового пучка, ориентированных вдоль главных направлений пластинки, окажется больше длины когерентности.

$$(n_e - n_o)d \geq \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda} \quad (1)$$

Во-вторых, амплитуда колебаний этих компонент равны, то есть  $\alpha=45^\circ$ .

Выразим из уравнения (1) толщину пластинки d:

$$d \geq \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda(n_e - n_o)} = \frac{589^3 * 10^{-18}}{40 * 10^{-9} * 0,009} = 1 * 10^{-3} [\text{м}] = 1 [\text{мм}]$$

Ответ: толщина пластины равна 1 мм.

# Задачи для самостоятельного решения.

- 1) Луч терапевтического твердотельного лазера может развивать мощность до 10 Вт. Найти длину волны излучения лазера, полагая, что он излучает около  $2 \cdot 10^{20}$  фотонов в секунду.

№1.

Дано:

$$W = 10 \text{ Вт}$$

$$n = 2 * 10^{20}$$

$$t = 1 \text{ с.}$$

$$\lambda = ?$$

Решение:

Мощность излучения лазера:

$$W = \frac{E * n}{t} \quad (1)$$

Энергия фотона лазерного излучения:

$$E = \frac{h\nu}{c} \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1) получим:

$$W = \frac{hcn}{\lambda t} \quad (3)$$

Выразим из (3) длину волны:

$$\lambda = \frac{hcn}{Wt} \quad (4)$$

$$\lambda = \frac{6,62 * 10^{-34} * 8 * 10^8 * 2 * 10^{22}}{10} = 39,6 * 10^{-7} \text{ [м]}$$

Ответ: длина волны равна  $39,6 * 10^{-7}$  м.

2) При фотоэффекте с платиновой поверхности электроны полностью задерживаются разностью потенциалов  $U = 0,8$  В. Найти длину волны  $\lambda$  применяемого облучения и предельную длину волны  $\lambda_0$ , при которой ещё возможен фотоэффект.

№2.

Дано:
$U = 0,8 \text{ В}$
$A_{\text{ВЫХ}} = 5,32 \text{ эВ}$
$\lambda = ?$
$\lambda_0 = ?$

Решение:

Запишем закон сохранения энергии:

$$h \frac{c}{\lambda} = A_{\text{ВЫХ}} + eU \quad (1)$$

Выразим из уравнения (1) длину

ВОЛНЫ:

$$\lambda = \frac{hc}{A_{\text{ВЫХ}} + eU} \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{5,32 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} + 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,8} = 203 \cdot 10^{-9} \text{ [м]} = 203 \text{ [нм]}$$

Предельную длину волны  $\lambda_0$ , при которой ещё возможен фотоэффект найдём из выражения:

$$A_{\text{ВЫХ}} = h \frac{c}{\lambda_0} \quad (3)$$

Выразим  $\lambda_0$  из (3):

$$\lambda_0 = \frac{hc}{A_{\text{ВЫХ}}} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{5,32 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 234 \cdot 10^{-9} \text{ [м]} = 234 \text{ [нм]}$$

Ответ: длина волны приемного облучения равна 204 нм, предельная длина волны равна 234 нм.

3) Определить красную границу фотоэффекта для серебра, у которого работа выхода равна 4,74 эВ.



№3.

Дано:

$$A_{\text{ВЫХ}} = 4,74 \text{ эВ}$$

$$\lambda_0 = ?$$

Решение:

Работа выхода вычисляется по формуле:

$$A_{\text{ВЫХ}} = \frac{hc}{\lambda_0} \quad (1)$$

где  $\lambda_0$  максимальная длина волны при которой возможен фотоэффект.

Выразим из формулы (1)  $\lambda_0$ :

$$\lambda_0 = \frac{hc}{A_{\text{ВЫХ}}} \quad (2)$$

$$\lambda_0 = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{4,74 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 2,62 \cdot 10^{-7} [\text{м}] = 262 [\text{нм}]$$

Ответ: красная граница фотоэффекта для серебра равна 670 нм.

# Список литературы.

- 1) Лихтер А. М., Смирнов В.В. Физические основы оптико-электронных измерений. Астрахань, 2005. – 288 с.
- 2) Ландсберг Г.С. Оптика. М., 2003. – 848 с.
- 3) Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М., 1973. – 713 с.
- 4) Задачи по общей физике / В.Е. Белонучкин, Д.А. Заикин, А.С. Кингесеп и др. М., 2001. – 336 с.
- 5) Сборник задач по теоретической физике / Л.Г. Гречко, В.И. Сугаков, О.Ф. Томасевич и др. М., 1984. – 321 с.