

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.

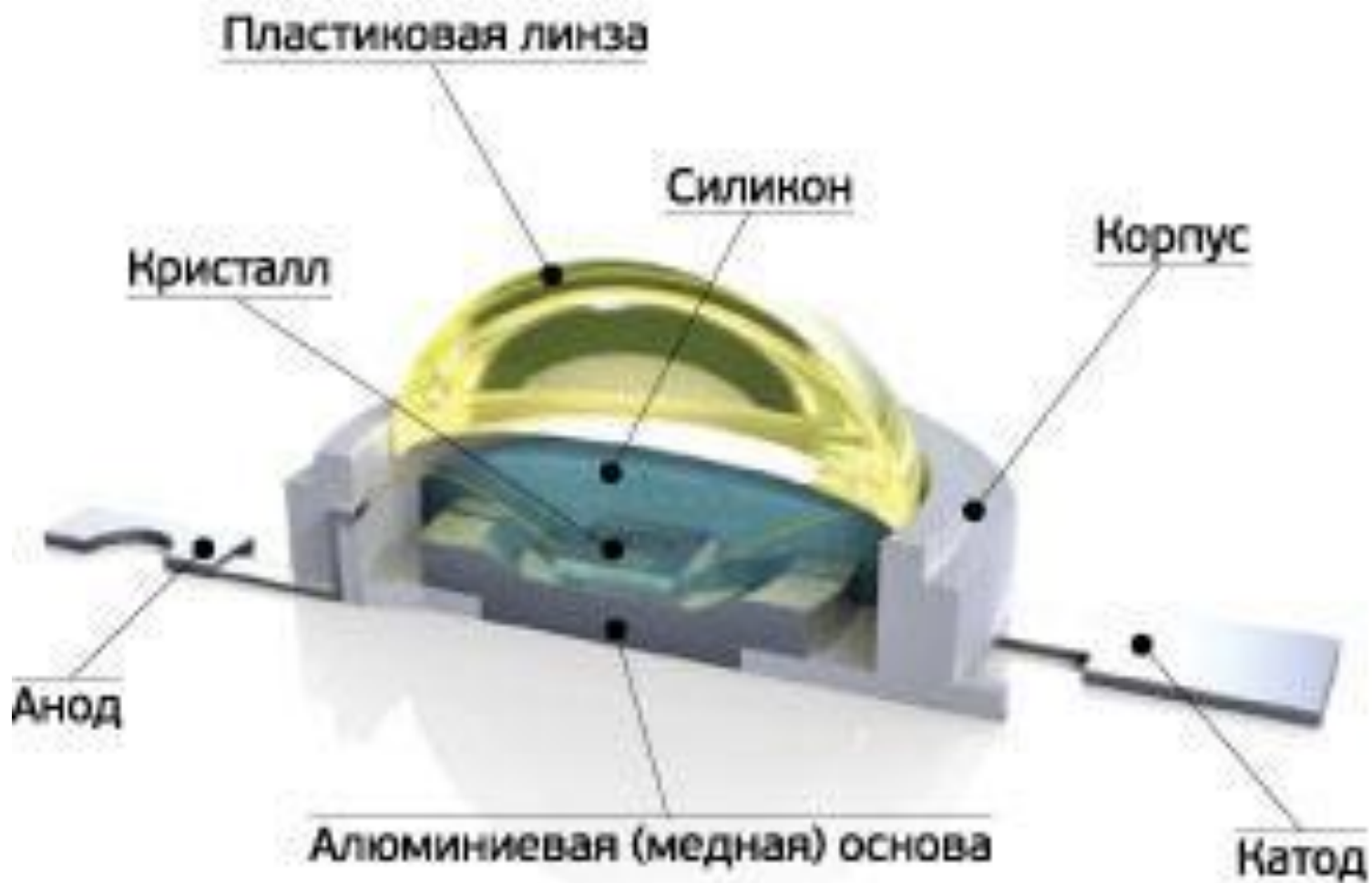


Рис. 2.2.3.

Устройство люминесцентной лампы.

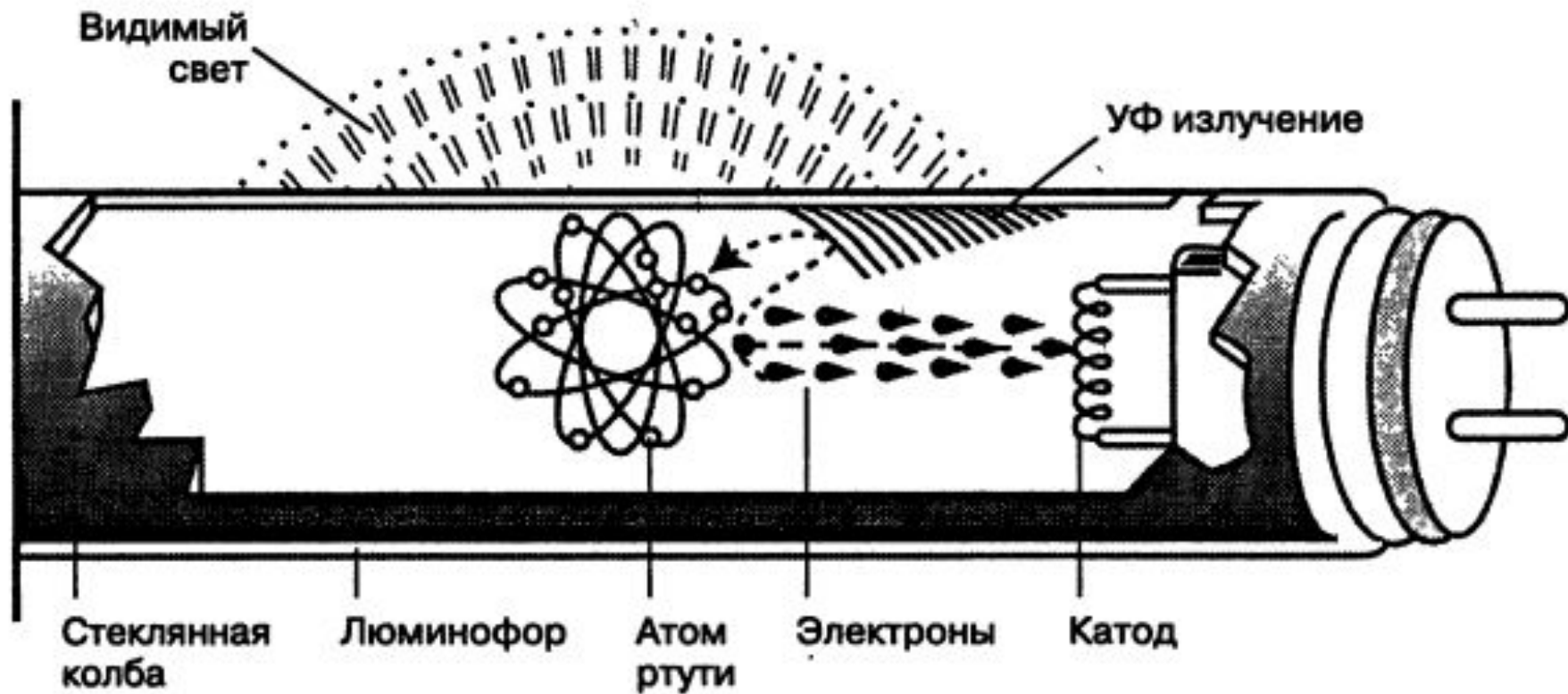


Рис. 2.2.4.

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 _{41-x} OGa _{4x} 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.

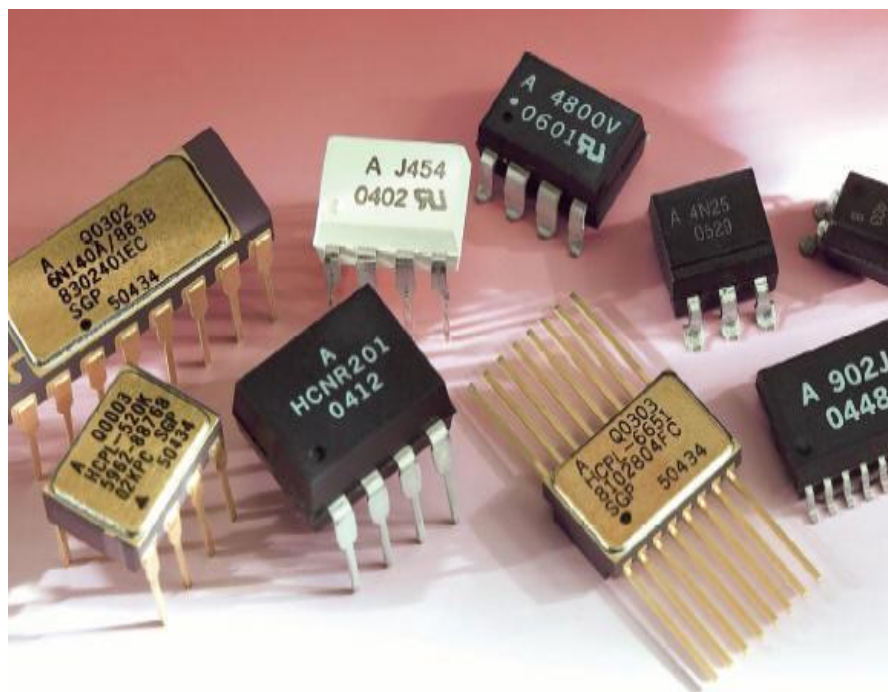
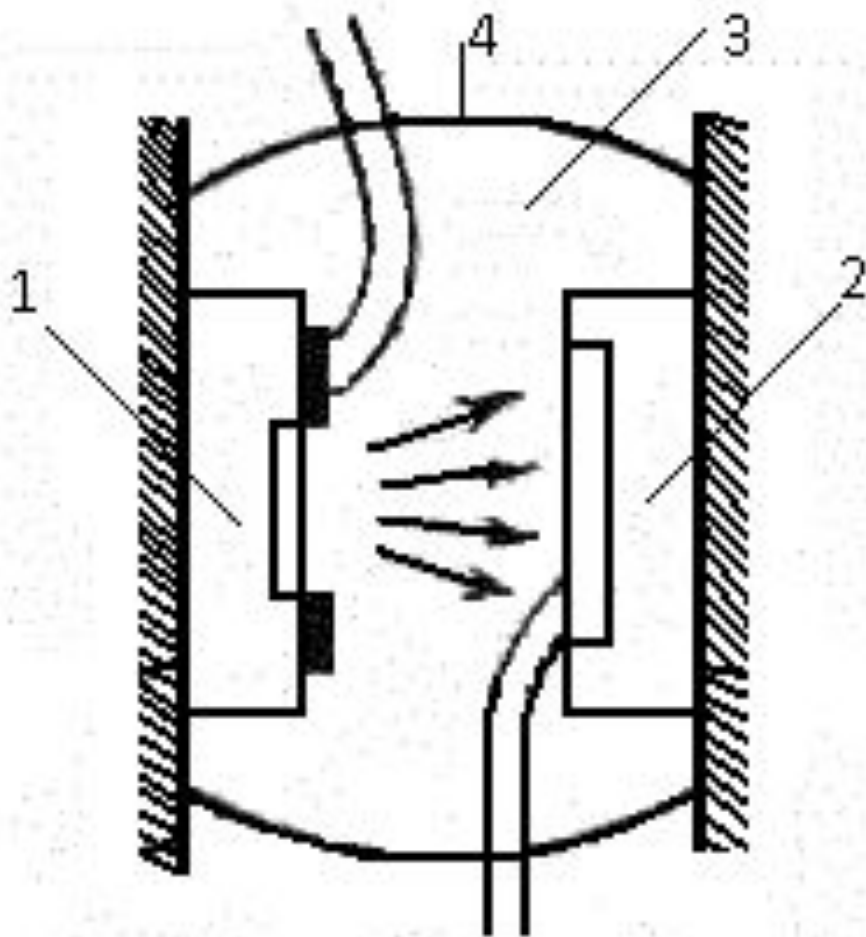


Рис. 2.2.5.

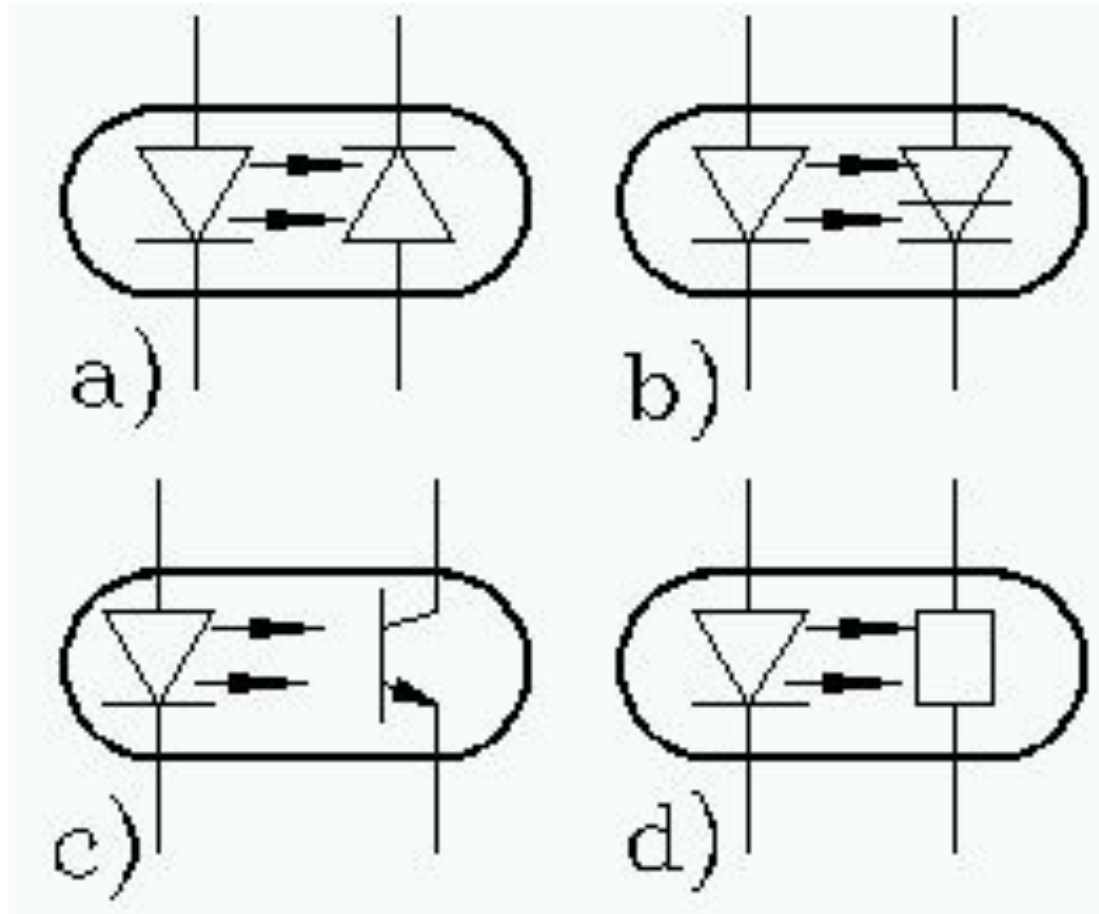
Устройство оптрона.



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, в).

Резисторные
оптопары (рис. 6, д).

Рис. 2.2.7.

Формулы, необходимые для решения задач.

1. Связь энергии E и импульса p фотона с частотой ω 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) $h\nu = eU_3 + \frac{m\nu^2}{2}$

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

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

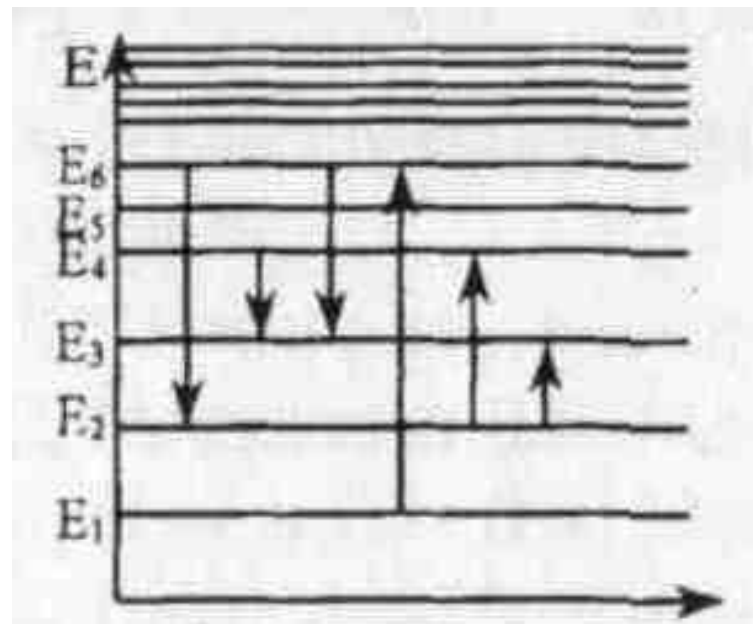
e) $h\nu = E_2 - E_1$

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 $8,08 * 10^{22} \text{ Вт/м}^2$.

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:

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

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:

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

- 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.

№3.

$d = ?$

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 :

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

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:

$$W = 10 \text{ Вт}$$

$$n = 2 \cdot 10^{20}$$

$$t = 1 \text{ с.}$$

$$\lambda = ?$$

Решение:

Мощность излучения лазера:

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

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:

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

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

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

2) При фотоэффекте с платиновой поверхности электроны полностью задерживаются разностью потенциалов $U = 0,8$ В. Найти длину волны λ применяемого облучения и предельную длину волны λ_0 , при которой ещё возможен фотоэффект.

№2.

Дано:

$$U = 0,8 \text{ В}$$

$$A_{\text{ВЫХ}} = 5,32 \text{ эВ}$$

$$\lambda = ?$$

$$\lambda_0 = ?$$

ВОЛНЫ:

Решение:

Запишем закон сохранения энергии:

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

Выразим из уравнения (1) длину

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

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

Предельную длину волны λ_0 , при которой ещё возможен фотоэффект найдём из выражения:

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

Выразим λ_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 λ_0 максимальная длина волны при которой возможен фотоэффект.

Выразим из формулы (1) λ_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.