

Министерство образования и науки РФ

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Тульский государственный университет

Кафедра физики

Муравлева Л.В.  
Семин В.А.  
Скотникова О.И.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям  
по дисциплине  
ФИЗИКА

Часть 5.

Тула 2010

## 1. Опыт Юнга

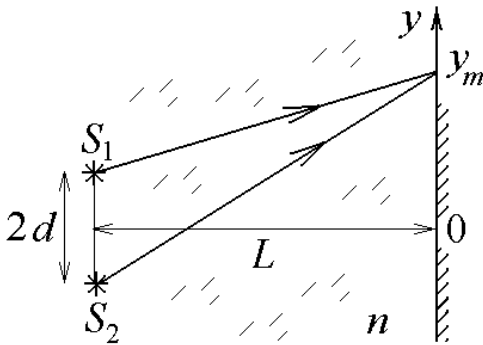


Рис.1

Два источника когерентного света  $S_1$  и  $S_2$ , находящиеся в некоторой среде с показателем преломления  $n$ , и расстояние между которыми равно  $2d$ , освещают экран, находящийся на расстоянии  $L \gg 2d$ , светом с длиной волны  $\lambda$  (см. рис.1). На экране возникает интерференционная картина в виде чередующихся светлых полос.

Координату **светлой полосы** (координату точки максимальной освещенности) с номером  $m$  можно определить по формуле

$$y_m = \frac{L}{2nd} m \lambda . \quad (1.1)$$

Координату **темной полосы** (координату точки минимальной освещенности) с номером  $m$  можно определить по формуле

$$y_m = \frac{L}{2nd} (2m + 1) \frac{\lambda}{2} . \quad (1.2)$$

Ширина полосы (или расстояние между соседними светлыми или темными полосами с номерами  $m$  и  $m + 1$ ) находится по формуле

$$\Delta y = y_{m+1} - y_m = \frac{L \lambda}{2nd} . \quad (1.3)$$

### Задача 1

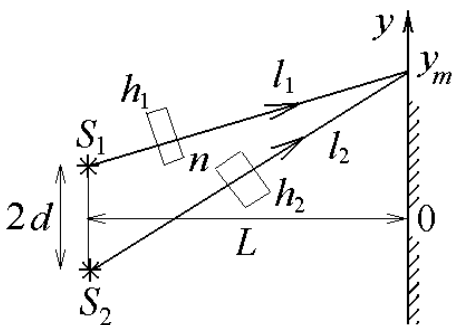


Рис.2

В опыте Юнга (см.рис.2) на пути каждого интерферирующего луча, идущего в воздухе, перпендикулярно им поместили тонкие стеклянные пластинки толщиной  $h_1 = 1$  мкм и  $h_2 = 2$  мкм и показателем преломления  $n = 1,5$ . При этом центральная светлая полоса сместилась на  $m = 2$  полосы. Найти длину волны светового луча  $\lambda$  (в мкм).

### Решение:

Рассмотрим точку на экране, в которой наблюдается максимум второго порядка. При этом разность хода двух лучей, на пути которых еще не поставили стеклянные пластинки, равна

$$l_2 - l_1 = m\lambda = \pm 2\lambda . \quad (1.4)$$

Если на пути первого луча поставить пластинку толщины  $h_1$  и показателем преломления  $n$ , то ход первого луча станет равным

$$l_1' = l_1 - h_1 + n \cdot h_1 = l_1 + h_1 (n - 1) . \quad (1.5)$$

Аналогично, ход второго луча станет равным

$$l_2' = l_2 - h_2 + n \cdot h_2 = l_2 + h_2 (n - 1) . \quad (1.6)$$

При этом в точке, где наблюдался максимум второго порядка, теперь наблюдается центральный максимум, сместившийся из своего положения на две полосы. Условием нахождения центрального максимума служит равенство нулю разности хода лучей (1.6) и (1.5):

$$l_2' - l_1' = l_2 - l_1 + (h_2 - h_1)(n - 1) = 0 \quad (1.7)$$

Подставляя в (1.7) выражение (1.4), получим:

$$l_1 - l_2 = \mp 2\lambda = (h_2 - h_1)(n - 1) = (2 - 1) \cdot 10^{-6} (1,5 - 1) = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м.}$$

**Ответ:** 0,25 мкм

1-1. В опыте Юнга расстояние между отверстиями  $d$ , а расстояние от отверстий до экрана  $l$ . Определить положение  $m$ -ой а) светлой полосы, б) темной полосы, если отверстия освещены монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda$ .

$l = 1 \text{ м}; d = 1 \text{ мм}; m = 1; \lambda = 0,6 \text{ мкм.}$

Ответы: а) 0,6 мм; б) 0,9 мм.

1-2. В опыте Юнга расстояние между отверстиями  $d = 1 \text{ мм}$ , а расстояние от отверстий до экрана  $l$ . Отверстия освещены монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda$ . Ширина интерференционной полосы  $\Delta x$ .

а) Определить расстояние от отверстия до экрана.  $\Delta x = 1 \text{ мм}; \lambda = 0,5 \text{ мкм}; d = 1 \text{ мм.}$

б) Определить ширину интерференционной полосы.  $l = 1 \text{ м}; \lambda = 0,6 \text{ мкм}; d = 1 \text{ мм.}$

в) Определить расстояние между отверстиями.  $l = 1 \text{ м}; \Delta x = 1 \text{ мм}; \lambda = 0,6 \text{ мкм.}$

г) Определить  $\lambda$  (в нм).  $l = 2 \text{ м}; d = 1 \text{ мм}; \Delta x = 1 \text{ мм.}$

Ответы: а) 2м; б) 0,6 мм; в) 0,6 мм; г) 500 нм.

1-3. Во сколько раз увеличится расстояние между соседними интерференционными полосами на экране в опыте Юнга, если зеленый светофильтр ( $\lambda_1 = 500$  нм) заменить красным ( $\lambda_2 = 650$  нм)?

Ответ: в 1,3 раза

1-4. Во сколько раз увеличится расстояние между соседними интерференционными полосами на экране в опыте Юнга, если экран переместить с расстояния  $l_1$  на расстояние  $l_2$ ?  $l_1 = 1$  м;  $l_2 = 2$  м.

Ответ: 2

1-5. Во сколько раз уменьшится расстояние между соседними интерференционными полосами на экране в опыте Юнга, если расстояние между отверстиями увеличить от  $d_1$  до  $d_2$ ?  $d_1 = 1$  мм;  $d_2 = 2$  мм.

Ответ: 2

1-6. В опыте Юнга на пути одного из интерферирующих лучей перпендикулярно к нему поместили тонкую стеклянную пластинку с показателем преломления  $n = 1,5$ . При этом центральная светлая полоса сместилась на  $m$  полос. Длина волны  $\lambda$ .

а) Найти оптическую разность хода лучей (в мкм)?  $m = 2$ ;  $\lambda = 0,5$  мкм.

б) Найти толщину пластинки (в мкм).  $m = 2$ ;  $\lambda = 0,5$  мкм.

в) На сколько полос сместится центральная светлая полоса?

$h = 2$  мкм;  $\lambda = 0,5$  мкм.

Ответы: а) 1 мкм; б) 2 мкм; в) на 2 полосы

1-7. В опыте Юнга на пути каждого интерферирующего луча перпендикулярно поместили тонкие стеклянные пластинки толщиной  $h_1$  и  $h_2$  и показателем преломления  $n$ . При этом центральная светлая полоса сместилась на  $m$  полос. Длина волны равна  $\lambda$ .

а) Найти показатель преломления  $n$ .

$h_1 = 1$  мкм;  $h_2 = 3$  мкм;  $\lambda = 0,5$  мкм;  $m = 2$ .

б) На сколько полос сместилась центральная светлая полоса.

$h_1 = 1$  мкм;  $h_2 = 3$  мкм;  $\lambda = 0,5$  мкм;  $n = 1,5$ .

в) Найти толщину пластины  $h_1$  (в мкм).

$h_2 = 3$  мкм;  $m = 2$ ;  $\lambda = 0,5$  мкм;  $n = 1,5$ .

Ответы: а) 1,5; б) на 2 полосы; в) 1 мкм.

## 2. Интерференция в тонких пленках (равного наклона).

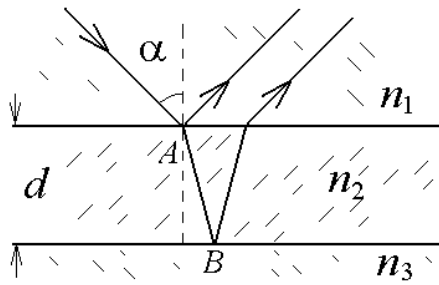


Рис.3

На плоскопараллельную тонкую пластину толщиной  $d$  с показателем преломления  $n_2$  под углом  $\alpha$  из среды с показателем преломления  $n_1$  падает свет с длиной волны  $\lambda$  (см. рис.3). Отраженные в точках  $A$  и  $B$  от разных поверхностей пластинки лучи, собранные линзой или хрусталиком глаза в одну точку, будут интерферировать. Разность хода этих лучей будет зависеть от соотношения между показателями преломления пластинки и сред, в которых эта пластинка находится.

Если  $n_1 < n_2 < n_3$ , то есть, если отражение происходило от оптически более плотной среды и в точке  $A$  и в точке  $B$ , то

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} . \quad (2.1)$$

Примером для формулы (2.1) может служить луч, падающий из воздуха на тонкую пленку бензина, разлитую на поверхности воды. Та же ситуация возникает и в случае  $n_3 < n_2 < n_1$ , т.е. отражение происходит от оптически менее плотной среды и в точке  $A$  и в точке  $B$  (луч идет из воды на разлитую на ней пленку бензина).

Если же  $n_2 > n_1$  и  $n_2 > n_3$ , то в точке  $A$  отражение луча происходит от более плотной среды, а в точке  $B$  – от менее плотной. Тогда

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \pm \lambda/2 . \quad (2.2)$$

Из (2.2) видно, что в этом случае приобретает дополнительную разность хода разность двух отраженных лучей  $\lambda/2$ . Примером для случая (2.2) служит мыльная пленка в воздухе. Выражение (2.2) будет выполняться и в другом случае, когда  $n_2 < n_1$  и  $n_2 < n_3$  (тонкий воздушный зазор между двумя тостыми стеклянными стенами).

Если угол падения на пластину равен  $\alpha = 0$ , то выражение для разности хода упрощается:

$$\Delta = 2nd \quad (2.1a)$$

или

$$\Delta = 2nd \pm \lambda/2 \quad (2.2a)$$

При решении задач на интерференцию необходимо помнить условия интерференционного максимума и минимума:

$$\Delta = 2m \frac{\lambda}{2}, \quad - \text{условие максимума}, \quad (2.3)$$

$$\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda}{2} \quad - \text{условие минимума}. \quad (2.4)$$

### Задача 2

На поверхности стекла с показателем преломления  $n_c = 1,5$  находится пленка показателем преломления  $n$ . На нее падает свет с длиной волны  $\lambda = 0,6$  мкм под углом  $\alpha = 30^\circ$  к нормали. Отраженный свет максимально усилен при минимальной толщине пленки  $d = 0,25$  мкм. Найти  $n$ .

#### Решение:

Так как свет падает из воздуха ( $n = 1$ ) на пленку ( $n > n_b$ ), которая разлита на стекле ( $n_c > n > n_b$ ), то разность хода лучей отраженных от точки  $A$  и  $B$  (см. рис. 3) надо рассчитывать по формуле (2.1). По условию задачи отраженный свет максимально усилен, значит выполняется условие интерференционного максимума (2.3). Таким образом:

$$\Delta = 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} = 2m \frac{\lambda}{2} \quad (2.5)$$

Порядок максимума  $m = 1$ , так как в условии задачи толщина пластинки должна быть минимальна. Из уравнения (2.5) найдем  $n$ :

$$n = \sqrt{\sin^2 \alpha + \left(\frac{m\lambda}{2d}\right)^2} = \sqrt{\sin^2 30^\circ + \left(\frac{0,6 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 0,25 \cdot 10^{-6}}\right)^2} = 1,3$$

**Ответ:** 1,3

2-1. На плоскопараллельную пленку с показателем преломления  $n$ , находящуюся в воздухе, падает нормально пучок лучей белого света. При некоторой минимальной толщине пластинки  $d$  отраженный свет с длиной волны  $\lambda$  имеет максимальное усиление.

а) Найти наименьшую толщину пленки (в мкм).  $\lambda = 0,4$  мкм;  $n = 1,33$ .

б) Определить показатель преломления пленки.  $\lambda = 0,6$  мкм;  $d = 0,1$  мкм.

в) Найти длину волны  $\lambda$  (в мкм).  $d = 0,1$  мкм;  $n = 1,3$ .

Ответы: а) 0,075 мкм; б) 1,5; в) 0,52 мкм

2-2. На плоскопараллельную пленку толщиной  $d$  с показателем преломления  $n$ , находящуюся в воздухе, падает под углом  $\alpha$  параллельный пучок лучей белого света. Определить:

а) при какой наименьшей толщине пленки (в мкм) зеркально отраженный свет наиболее сильно окрасится в желтый свет ( $\lambda = 0,6$  мкм).  $\alpha=30^\circ$ ;  $n = 1,3$ .

б) при каком максимальном угле  $\alpha$  отраженный свет наиболее сильно окрасится в синий свет ( $\lambda = 0,4$  мкм).  $n = 1,3$ ;  $d = 0,0834$  мкм.

Ответы: а) 0,125 мкм; б)  $30^\circ$

2-3. Пучок монохроматических световых волн с длиной волны  $\lambda$  падает под углом  $\alpha$  на находящуюся в воздухе мыльную пленку ( $n = 1,3$ ). При какой наименьшей толщине пленки (в мкм) отраженные световые волны будут

а) максимально ослаблены?  $\lambda = 0,6$  мкм;  $\alpha=30^\circ$ .

б) максимально усилены?  $\lambda = 0,6$  мкм;  $\alpha=30^\circ$ .

Ответы: а) 0,25 мкм; б) 0,125 мкм

2-4. Пучок монохроматических световых волн с длиной волны  $\lambda$  падает под углом  $\alpha$  на находящуюся в воздухе мыльную пленку с показателем преломления  $n$  и толщины  $d$ . При каком максимальном угле  $\alpha$  отраженные световые волны будут

а) максимально ослаблены?  $\lambda = 0,6$  мкм;  $d = 0,25$  мкм;  $n = 1,3$ .

б) максимально усилены?  $\lambda = 0,6$  мкм;  $d = 0,125$  мкм;  $n = 1,3$ .

Ответы: а)  $30^\circ$ ; б)  $30^\circ$ ;

2-5. На поверхности стекла ( $n_c = 1,5$ ) находится пленка показателем преломления  $n$ . На нее падает свет с длиной волны  $\lambda$  под углом  $\alpha$  к нормали. Отраженный свет максимально усилен при минимальной толщине пленки  $d$ .

а) Найти толщину пленки (в мкм).  $n = 1,3$ ;  $\lambda = 0,6$  мкм;  $\alpha=30^\circ$ .

б) Найти величину угла  $\alpha$ .  $n = 1,3$ ;  $\lambda = 0,6$  мкм;  $d = 0,25$  мкм.

в) Найти  $\lambda$  (в мкм).  $n = 1,3$ ;  $\alpha=30^\circ$ ;  $d = 0,2$  мкм.

Ответы: а) 0,25 мкм; б)  $30^\circ$ ; в) 0,48 мкм.

### 3. Интерференция в тонких пленках (равной толщины).

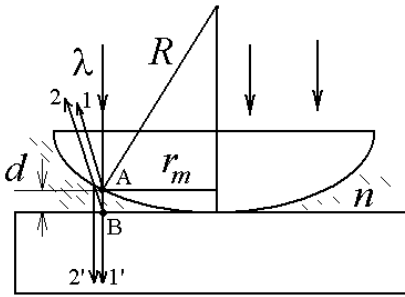


Рис.4

В тонких пленках с изменяющейся толщиной может наблюдаться интерференционные полосы равной толщины. Примером таких пленок может служить клинообразный зазор между стеклянной плосковыпуклой линзой, положенной на стеклянную пластинку. Этот зазор может быть воздушный или заполняется жидкостью с показателем преломления  $n$ . В результате около точки соприкосновения при

увеличении, например под микроскопом, можно наблюдать интерференционную картину в виде светлых чередующихся колец (кольца Ньютона). Интерферируют два когерентных пучка света, образовавшихся в результате отражения от двух поверхностей зазора. Наблюдение можно вести в отраженном (лучи 1 и 2) или проходящем свете (лучи 1' и 2').

Так как в случае интерференции в отраженном свете луч 1 отразился в точке А (см. рис.4) от оптически менее плотной среды, а луч 2 отразился в точке В от оптически более плотной среды, то разность хода между этими лучами в месте, где толщина зазора составляет  $d$ , можно рассчитать по формуле (2.2а):

$$\Delta = 2nd \pm \lambda/2.$$

Аналогично, для интерференции в проходящем свете, луч 2' отражается сначала в точке А, а затем и в точке В от оптически более плотной среды. Таким образом разность хода между лучами 1' и 2' в том же месте надо рассчитывать по формуле (2.1а):

$$\Delta = 2nd.$$

Используя условия интерференционных максимумов и минимумов (2.3) и (2.4), можно найти выражения для радиусов темных и светлых колец Ньютона с порядковым номером  $m = 1, 2, 3, \dots$  :

Таблица 1

	В отраженном свете	В проходящем свете
светлые кольца (максимум)	$r_m = \sqrt{\frac{R(2m-1)\lambda}{2n}}$ (3.1)	$r_m = \sqrt{\frac{Rm\lambda}{n}}$ (3.2)
темные кольца (минимум)	$r_m = \sqrt{\frac{Rm\lambda}{n}}$ (3.1а)	$r_m = \sqrt{\frac{R(2m-1)\lambda}{2n}}$ (3.2а)



### Задача 3

Установка для наблюдения колец Ньютона в проходящем свете освещается монохроматическим светом, падающим нормально (см. рис.4). Какое по порядку светлое кольцо, соответствующее линии  $\lambda_1 = 0,6$  мкм, совпадает со следующим по порядку светлым кольцом, соответствующим линии  $\lambda_2 = 0,5$  мкм?

#### Решение:

Из условия ясно, что радиус светлого кольца Ньютона с номером  $m$ , наблюдаемого в проходящем свете с длиной волны  $\lambda_1$ , равен радиусу светлого кольца Ньютона с номером  $(m + 1)$  в проходящем свете с длиной волны  $\lambda_2$ . Используя формулу (3.2) из таблицы 1, получим:

$$r = \sqrt{\frac{Rm\lambda_1}{n}} = \sqrt{\frac{R(m+1)\lambda_2}{n}} \quad (3.3)$$

Из формулы (3.3) можно найти номер кольца  $m$ :

$$m\lambda_1 = (m+1)\lambda_2 \Rightarrow m = \frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} = \frac{0,5}{0,6 - 0,5} = 5$$

**Ответ:** 5

### Задача 4

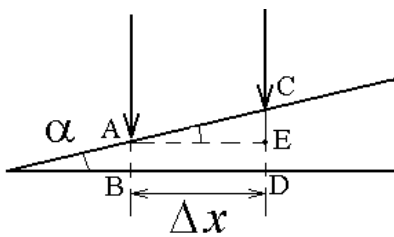


Рис.5

На стеклянный клин с углом  $\alpha = 1'$  и показателем преломления  $n = 1,5$  нормально падает монохроматический свет с длиной волны  $\lambda = 0,6$  мкм (см. рис.5). Определить расстояние между двумя соседними интерференционными минимумами в отраженном свете  $\Delta x$ .

#### Решение:

Используем формулы (2.2а) и (2.4) для интерференционных минимумов в отраженном свете в точках А и С с порядковыми номерами  $m$  и  $(m + 1)$ :

$$2|AB| \cdot n + \lambda/2 = (2m+1)\lambda/2, \quad (3.4)$$

$$2|CD| \cdot n + \lambda/2 = [2(m+1) + 1] \lambda/2. \quad (3.5)$$

Из прямоугольного треугольника  $ACE$  на рис.5 можно найти длину катета  $|AE|$ :

$$|AE| = \Delta x = |CE| \cdot \operatorname{ctg} \alpha = (|CD| - |AB|) \cdot \operatorname{ctg} \alpha \quad (3.6)$$

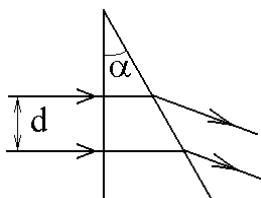
Вычитая (3.4) из (3.5), найдем длину катета  $|CE|$ :

$$2(|CD| - |AB|) \cdot n = 2|CE| \cdot n = \lambda \Rightarrow |CE| = \frac{\lambda}{2n} \quad (3.7)$$

Подставляя (3.7) в (3.6), найдем  $\Delta x$ :

$$\Delta x = \frac{\lambda}{2n} \cdot \operatorname{ctg} \alpha = \frac{0,6 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 1,5} \cdot \operatorname{ctg} \left( \frac{1}{60} \right)^\circ = 0,2 \cdot 10^{-6} \cdot 3437,75 = 0,687 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

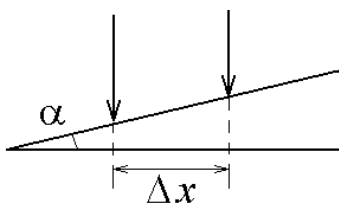
**Ответ:** 0,687 мм



3-1. Два параллельных световых пучка, отстоящие друг от друга на расстоянии  $d$ , падают нормально на призму с углом  $\alpha$ . Показатель преломления материала призмы  $n$ . Оптическая разность хода этих пучков на выходе из призмы равна  $\Delta$ .

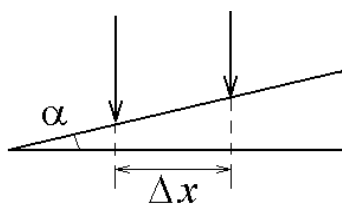
- а) Определить угол призмы.  $d = 1$  см;  $n = 1,5$ ;  $\Delta = 8,66$  мм.  
 б) Определить  $\Delta$  (в мм).  $d = 1$  см;  $n = 1,5$ ;  $\alpha = 30^\circ$ .  
 в) Определить показатель преломления материала призмы.  
 $d = 1$  см;  $\Delta = 8,66$  мм;  $\alpha = 30^\circ$ .  
 г) Определить расстояние между световыми пучками.  
 $n = 1,5$ ;  $\alpha = 30^\circ$ ;  $\Delta = 8,7$  мм.

Ответы: а)  $30^\circ$ ; б) 8,66 мм; в) 1,5; г) 0,01 м



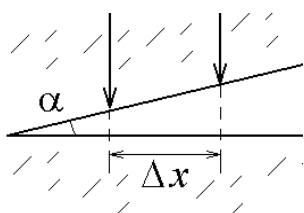
3-2. На стеклянный клин с углом  $\alpha$  и показателем преломления  $n = 1,5$  нормально падает монохроматический свет с длиной волны  $\lambda$ . Расстояние между двумя соседними интерференционными минимумами в отраженном свете равно  $\Delta x$ .

- а) Определить тангенс угла  $\alpha$ .  $\lambda = 0,6$  мкм;  $\Delta x = 1$  мм.  
 б) Определить длину волны падающего света (в мкм).  $\alpha = 1'$ ;  $\Delta x = 1$  мм.  
 Ответы: а)  $2 \cdot 10^{-4}$ ; б)  $0,873$  мкм.



3-3. На стеклянный клин с углом  $\alpha$  и показателем преломления  $n = 1,5$  нормально падает монохроматический свет с длиной волны  $\lambda$ . Расстояние между двумя соседними интерференционными максимумами в отраженном свете равно  $\Delta x$ .

- а) Определить тангенс угла  $\alpha$ .  $\lambda = 0,6$  мкм ;  $\Delta x = 1$  мм.  
 б) Определить  $\Delta x$  (в мм).  $\lambda = 0,1$  мкм;  $\alpha = 1'$   
 в) Определить длину волны падающего света (в мкм).  $\alpha = 1'$ ;  $\Delta x = 1$  мм.  
 Ответы: а)  $2 \cdot 10^{-4}$ ; б)  $0,114$  мм; в)  $0,873$  мкм



3-4. Монохроматический свет с длиной волны  $\lambda$  падает нормально на поверхность воздушного клина с углом  $\alpha$ , образованном в стекле с показателем преломления  $n_c$ . При этом расстояние между интерференционными полосами, наблюдаемыми в отраженном свете, равно  $\Delta x_1$ .

а) Определить расстояние между интерференционными полосами (в мм), если воздушное пространство клина заполнить жидкостью с показателем преломления  $n_{ж}$ .  $\Delta x_1 = 0,1$  мм;  $n_{ж} = 1,33$ ;  $n_c = 2$ .

б) Определить расстояние между интерференционными полосами (в мм), если поверхность клина будет освещена монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda_2$ .  $\Delta x_1 = 0,1$  мм;  $\lambda_1 = 0,6$  мкм;  $\lambda_2 = 0,4$  мкм.

в) Определить длину волны монохроматического света  $\lambda_2$  (в мкм), если при освещении им поверхности клина расстояние между интерференционными полосами станет  $\Delta x_2$ .

$\Delta x_1 = 0,1$  мм;  $\Delta x_2 = 0,065$  мм;  $\lambda_1 = 0,6$  мкм.

Ответы: а)  $0,075$  мм; б)  $0,0667$  мм; в)  $0,39$  мкм.

3-5. Плосковыпуклая линза радиусом кривизны  $R$  выпуклой стороной лежит на стеклянной пластинке. На линзу нормально падает монохроматический свет с длиной волны  $\lambda$ . Радиус  $m$ -ого светлого кольца в отраженном свете равен  $r$ .

а) Определить  $\lambda$  (в мкм).  $r = 3$  мм;  $m = 5$ ;  $R = 4$  м.

б) Определить радиус  $r$ .  $m = 1$ ;  $R = 4$  м;  $\lambda = 0,5$  мкм.

в) Определить радиус  $R$ .  $\lambda = 0,5$  мкм;  $m = 1$ ;  $r = 1$  мм.

г) Определить порядковый номер кольца  $m$ .  $\lambda = 0,5$  мкм;  $R = 4$  м;  $r = 1$  мм.

Ответы: а)  $0,5$  мкм; б)  $1$  мм; в)  $4$  м; г)  $1$ .

3-6. Плосковыпуклая линза радиусом кривизны  $R$  выпуклой стороной лежит на стеклянной пластинке. На линзу нормально падает монохроматический свет с длиной волны  $\lambda$ . Радиус  $m$ -ого темного кольца в отраженном свете равен  $r$ .

- а) Определить порядковый номер кольца  $m$ .  $\lambda = 0,5$  мкм;  $R = 4$  м;  $r = 2$  мм.  
 б) Определить радиус кривизны линзы  $R$ .  $m = 2$ ;  $r = 1$  мм;  $\lambda = 0,5$  мкм.  
 в) Определить радиус  $r$  (в мм).  $m = 2$ ;  $R = 4$  м;  $\lambda = 0,5$  мкм.  
 г) Определить длину волны  $\lambda$  (в мкм).  $m = 2$ ;  $R = 4$  м;  $r = 2$  мм.

Ответы: а) 2; б) 1 м; в) 2 мм; г) 0,5 мкм

3-7. Плосковыпуклая линза радиусом кривизны  $R$  выпуклой стороной лежит на стеклянной пластинке. На линзу нормально падает монохроматический свет с длиной волны  $\lambda$ . Радиус  $m$ -ого светлого кольца в проходящем свете равен  $r$ .

- а) Определить радиус  $r$  (в мм).  $m = 2$ ;  $R = 4$  м;  $\lambda = 0,5$  мкм.  
 б) Определить радиус кривизны линзы.  $r = 2$  мм;  $m = 2$ ;  $\lambda = 0,5$  мкм.  
 в) Определить порядковый номер кольца.  $r = 2$  мм;  $R = 4$  м;  $\lambda = 0,5$  мкм.

Ответы: а) 2 мм; б) 4 м; в) 2

3-8. Плосковыпуклая линза радиусом кривизны  $R$  выпуклой стороной лежит на стеклянной пластинке. На линзу нормально падает монохроматический свет с длиной волны  $\lambda$ . Радиус  $m$ -ого темного кольца в проходящем свете равен  $r$ .

- а) Определить порядковый номер кольца.  $\lambda = 0,5$  мкм;  $R = 4$  м;  $r = 1$  мм.  
 б) Определить радиус  $r$  (в мм).  $m = 1$ ;  $R = 4$  м;  $\lambda = 0,5$  мкм.  
 в) Определить радиус кривизны линзы.  $r = 1$  мм;  $m = 1$ ;  $\lambda = 0,5$  мкм.

Ответы: а) 1; б) 1 мм; в) 4 м

3-9. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda$ , падающим нормально. Определить толщину воздушного зазора (в мкм) в том месте, где в отраженном свете наблюдается  $m$ -ое

- а) темное кольцо.  $m = 4$ ;  $\lambda = 0,5$  мкм.  
 б) светлое кольцо.  $\lambda = 0,5$  мкм;  $m = 2$ .

Ответы: а) 1 мкм; б) 0,375 мкм

3-10. Расстояние между вторым и первым темными кольцами Ньютона, наблюдаемыми в отраженном свете, равно 1 мм. Определить расстояние (в мм) между темными кольцами с номерами  $m$  и  $(m - 1)$ .  $m = 4$ .

Ответ: 0,65 мм

3-11. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda$ , падающим нормально. Простран-

ство между линзой и стеклянной пластинкой заполнено жидкостью. Радиус кривизны линзы  $R$ . Определить показатель преломления жидкости, если радиус  $m$ -ого светлого кольца в проходящем свете  $r$ .  $\lambda = 0,6$  мкм;  $m = 2$ ;  $r = 2$  мм;  $R = 4$  м.

Ответ: 1,2

3-12. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается монохроматическим светом, падающим нормально. При заполнении пространства между линзой и пластинкой прозрачной жидкостью радиусы темных колец в отраженном свете уменьшились в  $Z$  раз. Определить показатель преломления жидкости.  $Z = 1,21$

Ответ: 1,46

3-13. Диаметры двух светлых колец Ньютона, наблюдаемых в отраженном свете, соответственно равны  $d_m = 1$  мм и  $d_k = 1,2$  мм. Между этими кольцами расположено еще три светлых кольца. Найти порядковый номер кольца с диаметром  $d_m$ .

Ответ: 10

3-14. На установке для наблюдения колец Ньютона был измерен в отраженном свете радиус  $m$ -ого темного кольца. Когда пространство между пластинкой и линзой заполнили жидкостью, то тот же радиус стало иметь темное кольцо с номером, большим на единицу. Определить показатель преломления жидкости.  $m = 3$ .

Ответ: 1,33

#### 4. Дифракционная решетка

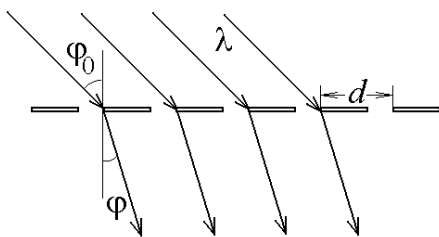


Рис.6

Дифракционная решетка – это плоская прозрачная пластинка, на которую нанесены непрозрачные параллельные полосы равной ширины через равные промежутки. Расстояние между соседними щелями  $d$  называется периодом решетки (или постоянной решетки).

Если на дифракционную решетку падает монохроматический свет с длиной волны  $\lambda$  под углом  $\varphi_0$  к нормали (см. рис.6), то за ней можно наблюдать перераспределение интенсивности света под разными углами  $\varphi$ .

Условие максимальной интенсивности света за решеткой:

$$d \sin \varphi - d \sin \varphi_0 = m\lambda, \quad (4.1)$$

где  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$  порядковый номер главного максимума.

Если свет падает на дифракционную решетку нормально, то условие максимума упрощается:

$$d \sin \varphi = m\lambda . \quad (4.2)$$

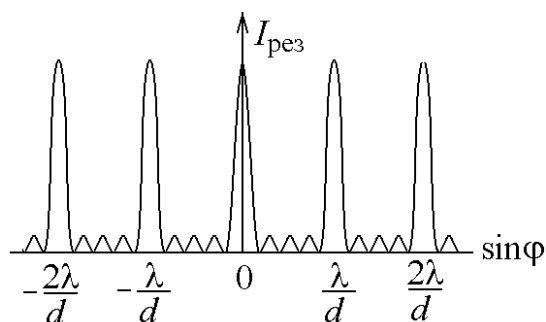


Рис. 7

В этом случае на экране видна симметричная картина освещенности. В центре экрана располагается центральный главный максимум. По бокам видны максимумы 1-го, 2-го и т.д. порядков попарно. Таким образом всего можно увидеть  $N = 2m_{\max} + 1$  главных максимумов, где  $m_{\max}$  – самый большой порядок максимума.

Он определяется из условия:

$$m_{\max} = \frac{d \sin \varphi_{\max}}{\lambda} \leq \frac{d}{\lambda} . \quad (4.3)$$

Если на дифракционную решетку падает свет с разными длинами волн, то максимум освещенности для каждой длины волны наблюдается под разными углами, и дифракционные картины налагаются друг на друга. При падении белого света на экране вместо одиночных пиков одного цвета виден набор сплошных спектров разного порядка. По **критерию Рэля** два пика интенсивности еще можно увидеть отдельно, если минимум первого пика совпадает с максимумом второго, т.е можно различить две волны, если их длины отличаются **не менее**, чем на  $\Delta\lambda = \frac{\lambda}{mN}$ . Отношение

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN \quad (4.4)$$

называется **разрешающей способностью дифракционной решетки**. Ясно что, чем больше число щелей, тем лучше разрешающая способность решетки.

### Задача 5

Определить минимальный период дифракционной решетки  $d$ , если на нее нормально падает белый свет и в направлении  $\varphi=30^\circ$  совпадают максимумы интерференции волн с длинами  $\lambda_1 = 0,56$  мкм и  $\lambda_2 = 0,4$  мкм.

### Решение:

Из формулы (4.2) ясно, что

$$d \sin \varphi = m_1 \lambda_1 = m_2 \lambda_2 \quad \Rightarrow \quad \frac{m_1}{m_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{0,4}{0,56} = \frac{5}{7} . \quad (4.5)$$

Порядки максимумов для волн с разными длинами  $m_1$  и  $m_2$  – целые числа. Их наименьшее общее кратное равно 5/7. Таким образом при условии минимальности периода решетки надо требовать минимальных значений порядков максимумов, т.е.  $m_1 = 5$  и  $m_2 = 7$ . Из формулы (4.5) найдем  $d$ :

$$d = \frac{m_1 \lambda_1}{\sin \varphi} = \frac{5 \cdot 0,56 \text{ мкм}}{\sin 30^\circ} = 5,6 \text{ мкм}$$

**Ответ:** 5,6 мкм

### Задача 6

Определите разность длин волн, разрешаемых дифракционной решеткой длиной  $l = 2,5$  см, для света с длиной волны  $\lambda = 0,5$  мкм в спектре второго порядка. Постоянная решетки равна  $d = 5$  мкм.

**Решение:**

Число штрихов на дифракционной решетке равно

$$N = \frac{l}{d} = \frac{2,5 \cdot 10^{-2}}{5 \cdot 10^{-6}} = 5000$$

Из формулы (4.4) найдем  $\Delta\lambda$ , учитывая, что спектр второго порядка, т.е.  $m = 2$ :

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda}{mN} = \frac{0,5 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 5000} = 0,5 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$

**Ответ:** 50 пм

4-1. На дифракционную решетку с периодом  $d$  нормально падает монохроматический свет с длиной волны  $\lambda$ . Наибольший порядок спектра, полученный с помощью этой решетки, равен  $m_{\max}$  и виден под углом  $\varphi$ .

- а) Определить  $m_{\max}$ .  $d = 2$  мкм;  $\lambda = 0,5$  мкм.  
 б) Определите постоянную решетки  $d$ .  $m_{\max} = 3$ ;  $\lambda = 0,5$  мкм,  $\varphi = 90^\circ$ .  
 в) Найти  $\lambda$ .  $m_{\max} = 4$ ;  $d = 2$  мкм,  $\varphi = 90^\circ$ .

Ответы: а) 4; б) 1,5 мкм; в) 0,5 мкм

4-2. На дифракционную решетку длиной  $l$ , содержащую  $N$  штрихов, падает нормально монохроматический свет с длиной волны  $\lambda$ . В спектре решетки наблюдается  $n$  максимумов.

Определить число максимумов  $n$ .  $l = 1$  см;  $N = 2000$ ;  $\lambda = 0,5$  мкм.

Ответ: 21

4-3. Определите число штрихов на 1 мм длины дифракционной решетки, если углу  $\varphi$  соответствует максимум  $m$ -ого порядка для монохроматического света с длиной волны  $\lambda$ .  $\varphi = 30^\circ$ ;  $m = 1$ ;  $\lambda = 0,5$  мкм.

Ответ: 1000

4-4. Определите число штрихов дифракционной решетки длины  $l$ , если углу  $\varphi$  соответствует максимум  $m$ -ого порядка для монохроматического света с длиной волны  $\lambda$ .  $\varphi = 30^\circ$ ;  $m = 1$ ;  $\lambda = 0,5$  мкм;  $l = 1$  см.

Ответ: 10000

4-5 Определите ширину  $l$  дифракционной решетки с  $N$  штрихами, если углу  $\varphi$  соответствует максимум  $m$ -ого порядка для монохроматического света с длиной волны  $\lambda$ .  $\varphi = 30^\circ$ ;  $m = 1$ ;  $\lambda = 0,5$  мкм;  $N = 10^4$ .

Ответ: 1 см

4-6. На дифракционную решетку нормально падает монохроматический свет с длиной волны  $\lambda$ . Определить угол дифракции, соответствующий максимуму порядка  $m_2$ , если максимум порядка  $m_1$  виден под углом  $\varphi_1$ .

$m_1 = 3$ ;  $m_2 = 4$ ;  $\varphi_1 = 30^\circ$ .

Ответ:  $41,8^\circ$

4-7. На дифракционную решетку с периодом  $d$  нормально падает белый свет. В направлении  $\varphi$  совпадают максимумы интерференции волн с длинами  $\lambda_1 = 0,56$  мкм и  $\lambda_2 = 0,4$  мкм.

а) Определить минимальный порядок максимума  $m_1$ .

б) Определить  $\varphi$ .  $d = 5,6$  мкм.

Ответы: а) 5; б)  $30^\circ$ .

4-8. Дифракционная решетка длины  $l$  способна разделить в спектре первого порядка две спектральные линии с длинами волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ . Найти период дифракционной решетки.  $\lambda_1 = 0,596$  мкм;  $\lambda_2 = 0,6$  мкм;  $l = 1$  см.

Ответ: 67,1 мкм

4-9. Определите разрешающую способность дифракционной решетки, если она в первом порядке позволяет разрешить две спектральные линии с  $\lambda_1 = 0,596$  мкм и  $\lambda_2 = 0,6$  мкм.

Ответ: 149

4-10. Определите разрешающую способность дифракционной решетки в первом дифракционном порядке. Длина решетки равна  $l$ , а период  $d$ .  $l = 1$  см;  $d = 25$  мкм.

Ответ: 400

4-11. Разность длин волн, разрешаемых дифракционной решеткой с постоянной  $d$  и длиной  $l$ , для света с длиной волны  $\lambda$  в спектре второго порядка равна  $\Delta\lambda$ .

а) Определите постоянную решетки  $d$ .  $\Delta\lambda = 100$  пм;  $\lambda = 0,5$  мкм;  $l = 2$  см.

б) Определите длину решетки  $l$ .  $\Delta\lambda = 50$  пм;  $\lambda = 0,5$  мкм;  $d = 5$  мкм.

в) Определите число штрихов решетки.  $\Delta\lambda = 50$  пм;  $\lambda = 0,5$  мкм.

Ответы: а) 8 мкм; б) 0,025 м; в) 5000



### 5. Дифракция на одной щели.

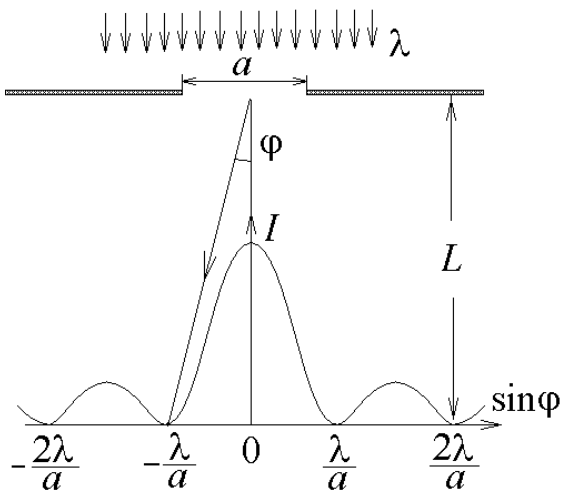


Рис.8

Если плоская волна с длиной  $\lambda$  нормально падает на узкую щель шириной  $a \ll L$  в плоском бесконечном непрозрачном препятствии, то на экране, расположенном параллельно этому препятствию на расстоянии  $L$ , будет наблюдаться дифракционная картина (см. рис.8). Условие главных минимумов интенсивности  $I$  выглядит следующим образом:

$$a \sin \varphi = m\lambda, \quad (5.1)$$

где  $m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$  – порядок глав-

ного минимума,  $\varphi$  – угол дифракции (см.рис.8).

#### Задача 7

На узкую щель шириной  $a = 0,5$  мм падает нормально плоская монохроматическая волна с длиной  $\lambda = 0,5$  мкм. На экране, расположенном на расстоянии  $L = 5$  м от щели, наблюдается дифракционная картина. Во сколько раз ширина дифракционного изображения больше ширины геометрического изображения щели.

#### Решение:

Ширина геометрического изображения  $\Delta x_{\text{геом}} = a$ , т.е равна ширине щели. Это следует из геометрической оптики. Размер дифракционного изображения – это ширина освещенной полосы на экране (центрального максимума), равная расстоянию между положениями минимумов первого порядка. (Нецентральные максимумы имеют намного меньшую освещенность, чем центральный, поэтому почти не видны). Так как  $a \ll L$ , то углы дифракции малы, т.е.  $\sin \varphi = \text{tg } \varphi$ . Из рис.8 и формулы (5.1) при условии  $m = 1$  следует, что

$$\Delta x_{\text{диф}} = 2 \cdot L \text{tg } \varphi = 2L \sin \varphi = 2L \frac{\lambda}{a} \quad (5.2)$$

$$\Delta x_{\text{диф}} / \Delta x_{\text{геом}} = 2L\lambda / a^2 = 2 \cdot 5 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6} / (0,25 \cdot 10^{-6}) = 20$$

**Ответ:** 20 раз;

5-1. На узкую щель шириной  $a$  падает нормально плоская монохроматическая волна с длиной  $\lambda$ . Под углом  $\varphi$  к нормали на экране наблюдается темная полоса  $m$ -ого порядка.

а) Определить косинус угла  $\varphi$ .  $m = 5$ ;  $\lambda = 0,5$  мкм;  $a = 5$  мкм.

б) Определить тангенс угла  $\varphi$ .  $m = 5$ ;  $\lambda = 0,5$  мкм;  $a = 5$  мкм.

в) Определить, сколько целых длин волн укладывается на отрезке, длина которого равна ширине щели.  $m = 5$ ;  $\varphi = 2^\circ$ .

Ответы: а) 0,866; б) 0,577; в) 143

5-2. На узкую щель шириной  $a$  падает нормально плоская монохроматическая волна с длиной  $\lambda$ . На экране, расположенном на расстоянии  $l$  от щели, наблюдается дифракционная картина.  $l = 5$  м;  $\lambda = 0,5$  мкм;  $a = 0,5$  мм.

а) Определите ширину центрального максимума.

б) Определите расстояние между первым и вторым дифракционными минимумами справа от центрального максимума.

в) Определите расстояние между  $m_1$  и  $m_2$  дифракционными минимумами справа от центрального максимума.  $m_1 = 3$ ;  $m_2 = 5$ .

г) Определите расстояние между дифракционными минимумами  $m$ -ого порядка.  $m = 2$ .

д) Определить ширину дифракционного изображения щели.

е) Во сколько раз уменьшится ширина центрального максимума, если после щели расположить собирающую линзу с фокусным расстоянием  $F = 10$  см так, чтобы экран оказался в фокальной плоскости линзы.

ж) Определить ширину первого максимума.

Ответы: а) 0,01 м; б) 5 мм; в) 0,01 м; г) 20 мм; д) 1 см;

е) 50 раз; ж) 0,5 см.

5-3. За узкой щелью, на которую нормально падает плоская монохроматическая волна, на экране наблюдается дифракционная картина, причем координаты трех соседних главных минимумов равны  $x_1$ ,  $x_2$  и  $x_3$ . Найти координату следующего минимума.

а)  $x_1 = 15$  мм;  $x_2 = 17$  мм;  $x_3 = 21$  мм.

б)  $x_1 = 15$  мм;  $x_2 = 19$  мм;  $x_3 = 21$  мм.

Ответы: а) 23 мм; б) 23 мм.

## 6. Дифракция на круглых отверстиях

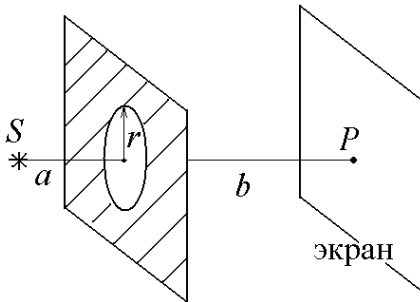


Рис.9а

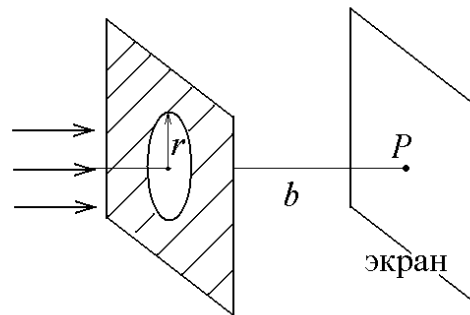


Рис.9б

Если небольшое отверстие в непрозрачном экране (или круглое непрозрачное препятствие) освещается **точечным источником** света с длиной волны  $\lambda$  (см. рис.9а), находящимся на расстоянии  $a$  от центра отверстия, то в точке наблюдения  $P$  на экране, находящемся на расстоянии  $b$  от центра отверстия, интенсивность света зависит от соотношения между расстояниями  $a$  и  $b$ . Для каждой точки наблюдения  $P$  отверстие оставляет открытыми разное количество зон Френеля на волновой сферической поверхности радиуса  $a$ . Радиус зоны Френеля с порядковым номером  $m$  рассчитывается по формуле:

$$r_m = \sqrt{\frac{ab}{a+b} m\lambda}, \text{ (дифракция Френеля)} \quad (6.1)$$

Если же на то же отверстие (или на круглое препятствие) будет падать **плоская** световая волна (см. рис.9б) (или точечный источник удален от отверстия на бесконечное расстояние), то радиус зон Френеля будет находиться по формуле:

$$r_m = \sqrt{bm\lambda}, \text{ (дифракция Фраунгофера)} \quad (6.2)$$

При этом, если открыто четное количество зон Френеля ( $m = 2, 4, 6 \dots$ ), то в точке  $P$  будет наблюдаться минимум освещенности, если нечетное ( $m = 1, 3, 5 \dots$ ) – максимум.

### Задача 8

Дифракционная картина наблюдается в точке  $P$  (см. рис.9а) на расстоянии  $l = 2$  м от точечного источника  $S$  монохроматического света с длиной волны  $\lambda$ . На расстоянии  $a = 0,5l$  от источника перпендикулярно линии  $SP$  помещена круглая непрозрачная преграда диаметром  $d = 1$  мм, которая закрывает только первую зону Френеля. Найти длину волны  $\lambda$  (в мкм).

**Решение:**

Из условия ясно, что  $a = 1$  м,  $b = (l - a) = 1$  м. Радиус отверстия  $r = d/2$  равен радиусу первой зоны Френеля  $r_1$ , отсюда, используя формулу (6.1) при условии  $m = 1$ , найдем  $\lambda$ :

$$\frac{d}{2} = r_1 = \sqrt{\frac{ab}{a+b}} \lambda \Rightarrow \lambda = \frac{d^2 (a+b)}{4ab} = \frac{10^{-6} \cdot 2}{4} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м.}$$

**Ответ:** 0,5 мкм

**Задача 9**

На экран с круглым отверстием радиусом  $r = 1$  мм нормально падает параллельный пучок монохроматического света с длиной волны  $\lambda = 0,5$  мкм (см. рис.9б). Определите максимальное расстояние от отверстия на его оси, где еще можно наблюдать минимум освещенности. ;.

**Решение:**

Минимум освещенности в точке  $P$  наблюдается, если отверстие в непрозрачном экране открывает четное количество зон Френеля. При самом маленьком четном числе  $m = 2$  расстояние  $b$  до точки  $P$ , где наблюдается минимум освещенности, будет наибольшим, и его можно найти из формулы (6.2):

$$b_{\max} = \frac{r_2^2}{(m_{\text{чет}})_{\min} \cdot \lambda} = \frac{10^{-6}}{2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6}} = 1 \text{ м}$$

**Ответ:** 1 м.

6-1. Расстояния от источника света длиной  $\lambda$  до волновой поверхности и от волновой поверхности до точки наблюдения равны  $a$ . Радиус  $m$ -й зоны Френеля  $r$ .

а) Определите радиус  $m$ -й зоны Френеля (в мм),  $a = 1$  м;  $m = 1$ ;  $\lambda = 0,5$  мкм.

б) Определите длину волны  $\lambda$  (в мкм),  $a = 1$  м;  $r = 1$  мм;  $m = 4$ .

в) Определите порядковый номер зоны Френеля.

$r = 1$  мм;  $a = 1$  м;  $\lambda = 0,5$  мкм.

г) Найти  $a$ .  $r = 1$  мм;  $m = 4$ ;  $\lambda = 0,5$  мкм.

Ответы: а) 0,5 мм; б) 0,5 мкм; в) 4; г) 1 м

6-2. Точечный источник света (с длиной волны  $\lambda$ ) расположен на расстоянии  $a$  перед диафрагмой с круглым отверстием диаметра  $d$ . Расстояние от диафрагмы до точки наблюдения равно  $b$ , если отверстие открывает  $m$  зон Френеля.

- а) Найти  $b$ .  $a = 1$  м;  $d = 1$  мм;  $m = 1$ ;  $\lambda = 0,5$  мкм.  
 б) Найти  $a$ .  $b = 1$  м;  $d = 1$  мм;  $m = 1$ ;  $\lambda = 0,5$  мкм.  
 в) Определите  $d$  (в мм).  $a = 1$  м;  $b = 1$  м;  $m = 1$ ;  $\lambda = 0,5$  мкм.  
 г) Определите  $m$ .  $d = 1$  мм;  $a = 1$  м;  $b = 1$  м;  $\lambda = 0,5$  мкм.

Ответы: а) 1 м; б) 1 м; в) 1 мм; г) 1

6-3. На диафрагму с круглым отверстием диаметра  $d$  падает нормально параллельный пучок света с длиной волны  $\lambda$ . Расстояние от точки наблюдения до отверстия равно  $b$ . Отверстие открывает  $m$  зон Френеля

- а) Найти  $b$ .  $d = 1$  мм;  $m = 1$ ;  $\lambda = 0,5$  мкм.  
 б) Определить  $d$  (в мм).  $b = 1$  м;  $m = 1$ ;  $\lambda = 0,5$  мкм.  
 в) Определите  $m$ .  $d = 1$  мм;  $b = 0,5$  м;  $\lambda = 0,5$  мкм.

Ответы: а) 0,5 м; б) 1,41 мм; в) 1

6-4. Определите радиус  $m$ -й зоны Френеля (в мм) для случая плоской волны. Расстояние от волновой поверхности до точки наблюдения равно  $b$ . Длина волны  $\lambda$ .  $b = 0,5$  м;  $m = 1$ ;  $\lambda = 0,5$  мкм.

Ответ: 0,5 мм

6-5. Определите радиус  $m$ -й зоны Френеля (в мм), если радиус  $(m - 1)$ -й зоны Френеля для плоского волнового фронта равен  $r$ .  $r = 1$  мм;  $m = 2$ .

Ответ: 1,41 мм

6-6. Определите номер  $m$ -й зоны Френеля, если радиусы  $m$ -й и  $(m - 1)$ -й зон Френеля для плоского волнового фронта равны  $r_1$  и  $r_2$  соответственно.  $r_1 = \sqrt{2}$  мм;  $r_2 = 1$  мм.

Ответ: 2

6-7. На экран с круглым отверстием радиусом  $r$  нормально падает параллельный пучок монохроматического света с длиной волны  $\lambda$ . Определите максимальное расстояние от отверстия на его оси, где еще можно наблюдать максимум освещенности.  $r = 1$  мм;  $\lambda = 0,5$  мкм.

Ответы: 2 м

6-8. На экран с круглым отверстием радиусом  $r$  нормально падает параллельный пучок монохроматического света с длиной волны  $\lambda$ . При каком минимальном  $r$  (в мм) в центре дифракционной картины на расстоянии  $b$  от отверстия можно наблюдать

а) минимум освещенности?  $b = 1$  м;  $\lambda = 0,5$  мкм.

б) максимум освещенности?  $b = 2$  м;  $\lambda = 0,5$  мкм.

Ответы: а) 1 мм; б) 1 мм

6-9. Дифракционная картина наблюдается в точке  $P$  на расстоянии  $l$  от точечного источника  $S$  монохроматического света с длиной волны  $\lambda$ . На расстоянии  $a = 0,5l$  от источника перпендикулярно линии  $SP$  помещена круглая непрозрачная преграда диаметром  $d$ , которая закрывает только первую зону Френеля.

а) Найти расстояние  $l$ .  $d = 1$  мм;  $\lambda = 0,5$  мкм.

б) Найти  $d$  (в мм).  $l = 2$  м;  $\lambda = 0,5$  мкм.

Ответы: а) 2 м; б) 1 мм;

## 7. Поляризация света.

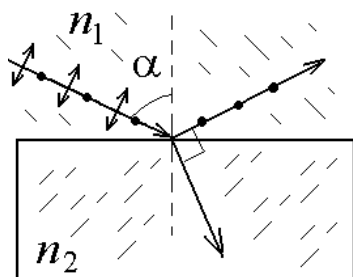


Рис. 10

Если естественный свет проходит в среде с показателем преломления  $n_1$  и падает на пластину с показателем преломления  $n_2$  под углом  $\alpha = \theta_B$  к нормали, и при этом

$$\operatorname{tg} \theta_B = \frac{n_2}{n_1}, \quad (7.1)$$

то отраженный луч будет полностью поляризован в плоскости, перпендикулярной плоскости падения, а преломленный луч будет направлен под углом  $90^\circ$  к отраженному. Это **закон Брюстера**. Угол  $\theta_B$  называется углом Брюстера.

Свет, в котором колебания одного направления преобладают над колебаниями других направлений, называется **частично поляризованным**. Если пропустить такой свет через поляризатор, то при вращении прибора вокруг направления луча интенсивность прошедшего света будет меняться в пределах от  $I_{\max}$  до  $I_{\min}$ . **Степенью поляризации** называют выражение:

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (7.2)$$

Пусть на поляризатор падает плоскополяризованный свет амплитуды  $E_0$  и интенсивности  $I_0$ . Сквозь прибор пройдет составляющая колебания с амплитудой  $E = E_0 \cos \varphi$ , где  $\varphi$  – угол между плоскостью колебаний падающего света и плоскостью поляризатора. Известно, что интенсивность света  $I \sim E^2$ , поэтому можно записать **закон Малюса**:

$$I = I_0 \cos^2 \varphi. \quad (7.3)$$

Так как естественный свет имеет случайное направление колебаний светового вектора, то после поляризатора интенсивность света можно найти, усредняя выражение из закона Малюса по углу  $\varphi$ , т.е.

$$I = I_0 \langle \cos^2 \varphi \rangle = \frac{1}{2} I_0 \quad (7.4)$$

После прохождения поляризатора интенсивность естественного света уменьшается **вдвое**.

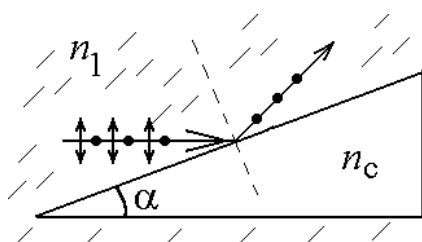
**Задача 10**

Рис. 11

Стеклянная призма с показателем преломления  $n_c = 1,8$  находится в некоторой среде с показателем преломления  $n_1$ . Пучок естественного света падает на призму с углом  $\alpha = 30^\circ$  параллельно ее основанию (см. рис.11). Определить показатель преломления  $n_1$  среды, если отраженный пучок максимально поляризован.

**Решение:**

Так как отраженный луч максимально поляризован, значит он упал под углом Брюстера  $\theta_B = (90^\circ - \alpha)$  к нормали наклонной плоскости. По закону Брюстера (7.1)

$$\operatorname{tg} \theta_B = \frac{n_c}{n_1} = \operatorname{ctg} \alpha \Rightarrow n_1 = n_c \operatorname{tg} \alpha = 1,8 \cdot \frac{\sqrt{3}}{3} = 1,04$$

**Ответ:** 1,04

**Задача 11**

Определите степень поляризации света, который представляет собой смесь естественного света с плоскополяризованным, если интенсивность поляризованного света в 4 раза больше интенсивности естественного.

**Решение:**

Если смесь естественного света с плоскополяризованным пропустить через анализатор, то интенсивность прошедшего света будет зависеть от угла  $\varphi$  между плоскостью плоскополяризованной волны и плоскостью анализатора.

Если  $\varphi = 0^\circ$ , то интенсивность прошедшего света будет максимальной. С учетом (7.4) для естественного света и (7.3) для поляризованного, а также при условии  $I_1 = 4I_2$  получим:

$$I_{\max} = \frac{1}{2}I_2 + I_1 \cdot \cos^2 0^\circ = \frac{1}{2}I_2 + 4I_2 = 4,5I_2 \quad (7.5)$$

Если  $\varphi = 90^\circ$ , то интенсивность прошедшего света будет минимальной.

$$I_{\min} = \frac{1}{2}I_2 + I_1 \cdot \cos^2 90^\circ = 0,5I_2 \quad (7.6)$$

Подставляя (7.5) и (7.6) в (7.2) получим степень поляризации:



$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = \frac{4,5I_2 - 0,5I_2}{4,5I_2 + 0,5I_2} = 0,8$$

Ответ: 0,8

7-1. Определите степень поляризации частично поляризованного света, если амплитуда светового вектора, соответствующая максимальной интенсивности света, в  $n$  раз больше амплитуды, соответствующей его минимальной интенсивности.  $n = 2$

Ответ: 0,6

7-2. Степень поляризации частично поляризованного света составляет  $P$ . Определите отношение максимальной интенсивности света, пропускаемого анализатором, к минимальной.  $P = 0,75$

Ответ: 7

7-3. Пучок света, идущий в воздухе, падает на поверхность жидкости под углом  $\alpha$ . Определить угол преломления пучка, если отраженный пучок полностью поляризован.  $\alpha = 54^\circ$

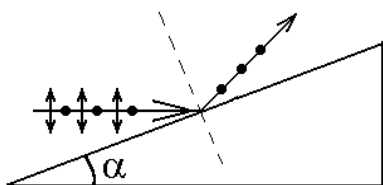
Ответ:  $36^\circ$

7-4. Пучок естественного света, идущий в воде с показателем преломления  $n_{\text{в}}$ , отражается от стекла с показателем преломления  $n_{\text{с}}$ , погруженного в воду. При каком угле падения отраженный свет полностью поляризован?  $n_{\text{в}} = 1,33$ ;  $n_{\text{с}} = 1,5$ .

Ответ:  $48^\circ$

7-5. Угол Брюстера при падении света из воздуха на кристалл каменной соли равен  $\alpha$ . Определить скорость света в этом кристалле. (Ответ дать в Мм/с)  $\alpha = 57^\circ$

Ответ: 194,8 Мм/с

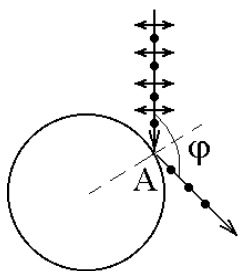


7-6. Пучок естественного света падает на стеклянную (с показателем преломления  $n_{\text{с}}$ ) призму с углом  $\alpha$  параллельно ее основанию. Отраженный луч является плоскополяризованным.

а) Определите  $n_{\text{с}}$ .  $\alpha = 30^\circ$

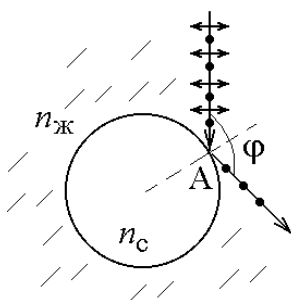
б) Определить двугранный угол  $\alpha$  призмы.  $n_{\text{с}} = 1,6$

Ответы: а) 1,73; б)  $32^\circ$



7-7. Сферическая капля с показателем преломления  $n = 1,54$  находится в воздухе. В точку  $A$  капли падает пучок естественного света и отражается полностью поляризованный. Найти угол между падающим и отраженным лучами в точке  $A$ .

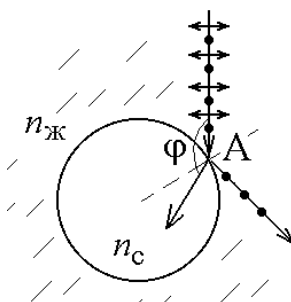
Ответ: 114 град



7-8. Стекланный шар с показателем преломления  $n_c$  находится в жидкости с показателем преломления  $n_{ж}$ . В точку  $A$  шара падает луч естественного света и отражается полностью поляризованный. Найти угол  $\phi$  между падающим и отраженным лучами.

$n_c = 1,5; n_{ж} = 1,33$

Ответ: 96,9°



7-9. Стекланный шар с показателем преломления  $n_c$  находится в жидкости с показателем преломления  $n_{ж}$ . В точку  $A$  шара падает луч естественного света и отражается полностью поляризованный. Найти угол  $\phi$  между падающим и преломленным лучами.

$n_c = 1,5; n_{ж} = 1,33$

Ответ: 173°

7-10. Естественный свет проходит последовательно через поляризатор и анализатор. Угол между плоскостями поляризатора и анализатора изменили от  $\alpha$  до  $\beta$ . Во сколько раз уменьшилась при этом интенсивность света, прошедшего через анализатор?  $\alpha = 30^\circ; \beta = 45^\circ$

Ответ: 1,5 раза

7-11. Анализатор в  $k$  раз уменьшает интенсивность света, приходящего к нему от поляризатора. Определить угол  $\alpha$  между плоскостями пропускания поляризатора и анализатора. Потерями интенсивности света в анализаторе пренебречь.  $k = 2$

Ответ: 45°

7-12. Естественный свет с интенсивностью  $I_0$  проходит последовательно поляризатор и анализатор. Угол между плоскостями поляризатора и анализатора равен  $\alpha$ . Во сколько раз уменьшилась интенсивность света?  $\alpha = 45^\circ$ .

Ответ: 4 раза

7-13. Естественный свет проходит последовательно через три поляризатора П1, П2 и П3. Угол между плоскостями поляризаторов П1 и П2 равен  $\alpha$ , между плоскостями поляризаторов П2 и П3 равен  $\beta$ .  $\alpha = 45^\circ$ ,  $\beta = 45^\circ$ .

- а) Во сколько раз уменьшилась интенсивность света?  
 б) Во сколько раз интенсивность света после поляризатора П3 меньше, чем после поляризатора П1?  
 в) Во сколько раз интенсивность света после поляризатора П3 меньше, чем после поляризатора П2?

Ответы: а) 8 раз; б) 4 раза; в) 2 раза

7-14. Естественный свет интенсивностью  $I_0$  проходит последовательно через два поляризатора П1 и П2. Угол между плоскостями поляризаторов был равен  $90^\circ$ , а затем он стал равен  $\alpha$ . На сколько изменилась интенсивность света, вышедшего из поляризатора П2?

$\alpha = 45^\circ$ ,  $I_0 = 1 \text{ Дж/м}^2 \cdot \text{с}$ .

Ответ:  $0,25 \text{ Дж/м}^2 \cdot \text{с}$

7-15. Естественный свет с интенсивностью  $I_0$  проходит последовательно через три поляризатора П1, П2 и П3. Угол между плоскостями поляризаторов П1 и П2 равен  $\alpha$ , между плоскостями поляризаторов П1 и П3 равен  $90^\circ$ .

- а) Во сколько раз интенсивность света после поляризатора П3 меньше, чем естественного?  $\alpha = 45^\circ$ .  
 б) На сколько интенсивность света после поляризатора П3 меньше, чем естественного?  $\alpha = 45^\circ$ ,  $I_0 = 1 \text{ Дж/м}^2 \cdot \text{с}$

Ответы: а) 8 раз; б)  $0,875 \text{ Дж/м}^2 \cdot \text{с}$

## 8. Фотон. Фотоэффект. Эффект Комптона.

**Фотон** – квант света с энергией  $E = h\nu$ , где  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с – постоянная Планка,  $\nu$  – частота света.

Импульс фотона  $p_\phi = \frac{E_\phi}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$ , где  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с – скорость света в вакууме,  $\lambda$  – длина волны света.

**Электрон** – отрицательно заряженная частица, модуль заряда которой равен  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл, а масса равна  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг.

Испускание электронов веществом под действием света называется **фотоэффектом**. При этом можно записать соотношение, называемое формулой Эйнштейна:

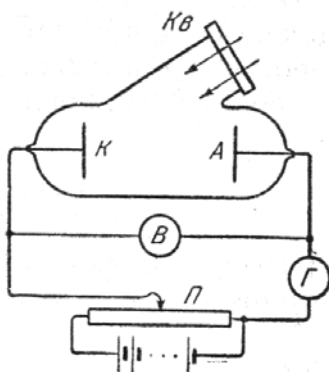
$$h\nu = A_{\text{ВЫХ}} + m\nu^2/2, \quad (8.1)$$

где  $A_{\text{ВЫХ}}$  – работа выхода электрона из вещества,  $m\nu^2/2$  – кинетическая энергия электрона после отрыва его от поверхности вещества.

Если частоту падающего света уменьшить до  $\nu_{\text{кр}}$  (или увеличить длину волны до  $\lambda_{\text{кр}}$ ), то фотоэффект перестает наблюдаться. Такая частота  $\nu_{\text{кр}}$  или длина волны  $\lambda_{\text{кр}}$  называются **красной границей фотоэффекта**. При этом формула Эйнштейна выглядит следующим образом:

$$h\nu_{\text{кр}} = hc/\lambda_{\text{кр}} = A_{\text{ВЫХ}} \quad (8.2)$$

### Схема для исследования фотоэффекта.



Свет проникает через кварцевое окошко  $Kв$  в откачанный баллон и освещает катод  $K$ , изготовленный из исследуемого материала. При фотоэффекте из катода вырываются электроны и попадают в электрическое поле созданное батареей ЭДС, движутся к аноду и создают **фототок**, который регистрируется гальванометром  $Г$ . Напряжение  $U$  между анодом и катодом можно регулировать с помощью потенциометра  $П$ .

Фототок существует даже при  $U = 0$ . Чтобы фототок прекратился, надо приложить к аноду отрицательный **задерживающий потенциал**  $U_3$ . При этом

$$m\nu^2/2 = eU_3 \quad (8.3)$$

Тогда формула Эйнштейна изменяется:

$$h\nu = A_{\text{ВЫХ}} + eU_3 \quad (8.4)$$

При столкновении фотона с длиной волны  $\lambda$  с покоящимся электроном фотон изменит направление своего движения на угол  $\theta$ , и его длина станет равной  $\lambda'$ . Это явление называется **эффектом Комптона**.

При этом

$$\lambda' - \lambda = \lambda_0 (1 - \cos \theta), \quad (8.5)$$

где  $\lambda_0 = \frac{h}{m_e c} = 2,42 \cdot 10^{-12} \text{ м} = 2,42 \text{ пм}$  – называется **комптоновской длиной волны электрона**.

### Задача 12

Найти энергию фотонов (в эВ), вырывающих фотоэлектроны из металла, работа выхода которого равна  $A = 1$  эВ, если максимальный импульс, передаваемый поверхности этого металла при вылете электрона равен  $P = 10^{-24}$  кг·м/с.

### Решение:

Величина импульса, переданного поверхности металла при вылете электрона, равен импульсу  $p_e$  этого электрона, кинетическая энергия которого равна  $\frac{mv^2}{2} = \frac{p_e^2}{2m}$ . Из (8.1) найдем энергию фотона

$$E_{\text{ф}} = h\nu = A + \frac{p_e^2}{2m_e} = \left( 1 + \frac{(10^{-24})^2}{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} \right) \text{ эВ} = 4,43 \text{ эВ}.$$

**Ответ:** 4,43 эВ

### Задача 13

Определить длину волны рентгеновского излучения, если при комптоновском рассеянии на покоящемся электроном этого излучения под углом  $\theta = 60^\circ$  частота фотона становится равной  $\nu = 10^{19}$  Гц. (ответ дать в пм).

### Решение:

Найдем длину волны рассеянного фотона:

$$\lambda' = \frac{c}{\nu} = \frac{3 \cdot 10^8}{10^{19}} = 3 \cdot 10^{-11} \text{ м} \quad (8.6)$$

Подставляя (8.6) в (8.5) найдем длину волны налетающего фотона:

$$\lambda = \lambda' - \lambda_0 (1 - \cos 60^\circ) = 3 \cdot 10^{-11} - 2,42 \cdot 10^{-12} \cdot 0,5 = 2,88 \cdot 10^{-11} \text{ м}$$

**Ответ:** 28,8 пм

8-1. Определите, с какой скоростью должен двигаться электрон, чтобы его импульс был равен импульсу фотона, с частотой  $\nu = 10^{14}$  Гц.

**Ответ:** 242,86 м/с

8-2. Определите длину волны фотона, энергия которого равна энергии электрона, прошедшего разность потенциалов  $U$ . (ответ дать в мкм).  $U = 1$  В

**Ответ:** 1,243 мкм

8-3. Определить длину волны фотона, импульс которого равен импульсу электрона, движущегося со скоростью  $v$ . (ответ дать в мкм).  $v = 100$  м/с;

**Ответ:** 7,285 мкм

8-4. Определить скорость электрона, кинетическая энергия которого равна энергии фотона с длиной волны  $\lambda = 100$  мкм.

**Ответ:** 66 км/с

8-5. Определите максимальную скорость фотоэлектронов, вырываемых с поверхности металла, если фототок прекращается при приложении задерживающего напряжения  $U$ . (ответ дать в км/с).  $U = 1$  В.

**Ответ:** 593 км/с

8-6. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла равна  $\lambda$ . Определите минимальное значение энергии фотона, вызывающего фотоэффект. (ответ дать в эВ).  $\lambda = 100$  нм.

**Ответ:** 12,43 эВ

8-7. Фотоэлектроны, вырываемые с поверхности металла, полностью задерживаются при приложении обратного напряжения  $U$ . Фотоэффект для этого металла начинается при частоте падающего монохроматического света  $\nu_0$ . Определите частоту применяемого излучения.  $U = 1$  В;  $\nu_0 = 10^{14}$  Гц.

**Ответ:**  $3,41 \cdot 10^{14}$  Гц

8-8. Определите работу выхода электронов из металла, если «красная граница» фотоэффекта для него  $\lambda$ . (ответ дать в эВ).  $\lambda = 100$  нм.

**Ответ:** 12,43 эВ

8-9. Некоторый металл освещается монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda$ . Определите наименьшее задерживающее напряжение, при котором фототок прекратится. Работа выхода электронов из металла равна  $A$ .  $\lambda = 100$  нм;  $A = 1$  эВ.

Ответ: 11,43 В

8-10. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла равна  $\lambda_0$ . Определить максимальную скорость электронов, вырываемых из этого металла светом с длиной волны  $\lambda$ . (ответ дать в км/с).  $\lambda_0 = 200$  мкм;  $\lambda = 100$  мкм.

Ответ: 46,75 км/с

8-11. Фотон с длиной волны  $\lambda$  вырывает из металла нерелятивистский электрон. Чему равна работа выхода для этого металла, если электрон вылетает с импульсом  $P$ . (ответ дать в эВ).  $\lambda = 100$  нм;  $P = 10^{-24}$  кг·м/с.

Ответ: 9 эВ

8-12. Найти задерживающий потенциал для фотоэлектронов, испускаемых при освещении некоторого металла светом с частотой  $\nu$ . Красная граница фотоэффекта для этого металла равна  $\lambda_0$ .  $\nu = 10^{16}$  Гц;  $\lambda_0 = 100$  нм.

Ответ: 29 В

8-13. Найти длину волны света (в нм), вырывающего с поверхности металла электроны, полностью задерживающиеся обратным потенциалом  $U$ . Фотоэффект у этого металла начинается при частоте падающего света  $\nu_0$ .  $U = 1$  В;  $\nu_0 = 10^{15}$  с<sup>-1</sup>.

Ответ: 241,68 нм

8-14. Фотон с энергией  $E = 1$  МэВ рассеялся на первоначально покоившемся свободном электроне. Определите угол рассеяния фотона, если длина волны рассеянного фотона оказалась равной комптоновской длине волны.

Ответ: 59,21°

8-15. Фотон энергией  $E$  рассеялся на первоначально покоившемся свободном электроне. Определите угол рассеяния фотона, если после рассеяния частота фотона становится равной  $\nu = 10^{20}$  Гц;  $E = 1$  МэВ.

Ответ: 74,1°

8-16. Фотон с энергией  $E$  рассеялся под углом  $\theta$  на свободном электроне. Определить энергию рассеянного фотона. (ответ дать в МэВ).  $E = 0,1$  МэВ;  $\theta = 90^\circ$ .

Ответ: 0,084 МэВ

8-17. Фотон с энергией  $E$  рассеялся на первоначально покоившемся свободном электроне. Определите кинетическую энергию электрона от-

дачи, если длина волны рассеянного фотона изменилась на  $x$  %. (ответ дать в кэВ).  $E = 0,1$  МэВ;  $x = 10\%$ .

Ответ: 9,09 кэВ

8-18. Фотон рассеялся под углом  $\theta$  на первоначально покоившемся электроны. Определить начальную энергию фотона, если длина волны рассеянного фотона оказалась равной комптоновской длине волны. (ответ дать в МэВ).  $\theta = 60^\circ$ .

Ответ: 1,02 МэВ

8-19. Фотон с энергией  $E$  рассеялся на покоившемся электроны, при этом его энергия уменьшилась в 2 раза. Определить угол рассеяния фотона.  $E = 1$  МэВ.

Ответ:  $60,78^\circ$

8-20. Фотон с частотой  $\nu$  рассеялся на первоначально покоившемся электроны, и при этом частота фотона изменилась на  $x$  %. Определить угол рассеяния фотона.  $\nu = 10^{19}$  Гц;  $x = 10\%$ .

Ответ:  $112^\circ$

8-21. Фотон с частотой  $\nu$  налетает на покоящийся электрон и рассеивается на угол  $\theta$ . Длина волны рассеянного фотона  $\lambda_1$  стала в  $x$  раз больше комптоновской длины волны. Найти  $\nu$ .  $\theta = 90^\circ$ ;  $x = 2$ .

Ответ:  $1,24 \cdot 10^{20}$  Гц

8-22. Фотон с длиной волны  $\lambda$  налетает на покоящийся электрон и рассеивается на угол  $\theta$ . Длина волны рассеянного фотона  $\lambda_1$  стала равной комптоновской длине волны. Найти  $\lambda$  (ответ дать в пм).  $\theta = 60^\circ$ .

Ответ: 1,21 пм



## 9. Законы теплового излучения.

**Спектральная излучательная способность**  $r_\omega$  (или  $r_\lambda$ ) (спектральная плотность энергетической светимости) – энергия, излученная нагретым телом в единицу времени с единицы площади в единичном диапазоне частот  $r_\omega$  (или в единичном диапазоне длин волн  $r_\lambda$ )

**Энергетическая светимость**  $R_3 = \int_0^\infty r_\omega d\omega = \int_0^\infty r_\lambda d\lambda$  – энергия, излученная

нагретым телом в единицу времени с единицы площади во всем диапазоне частот (или длин волн). Графически интегрирование спектральной излучательной способности – это нахождение площади под кривой  $r_\omega(\omega)$  или  $r_\lambda(\lambda)$ .

**Спектральная поглощательная способность**  $a_{\omega T}$  (степень черноты) – отношение поглощенной телом энергии к энергии, падающей на тело (в единичном интервале частот). У абсолютно черного тела  $a_{\omega T} = 1$ .

**Закон Стефана-Больцмана:** энергетическая светимость абсолютно черного тела пропорциональна абсолютной температуре в четвертой степени, т.е.

$$R_3 = \sigma T^4, \quad (9.1)$$

где  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>К<sup>4</sup>) – постоянная Стефана-Больцмана.

Для серого тела можно записать аналогичное выражение:

$$R_3 = A\sigma T^4, \quad (9.2)$$

где  $A$  – коэффициент черноты (или коэффициент серости).

**Закон Вина:** длина волны, на которую приходится максимум спектральной излучательной способности абсолютно черного тела, обратно пропорциональна абсолютной температуре этого тела, т.е.

$$\lambda = \frac{b}{T}, \quad (9.3)$$

где  $b = 2,9 \cdot 10^{-3}$  м·К – постоянная Вина.

### Задача 14

Поток энергии, излучаемой из смотрового окошка плавильной печи площадью  $S$  равен  $\Phi$ . Принимая, что отверстие печи излучает, как черное тело определить температуру печи.  $\Phi = 100$  Вт;  $S = 10$  см<sup>2</sup>.

#### Решение:

Поток излученной энергии  $\Phi$  – это энергия, излученная телом за одну секунду. Тогда энергетическая светимость – это плотность потока излу-

ченной энергии, т.е.  $R_3 = \Phi/S$ . Используя закон Стефана-Больцмана (9.1), найдем температуру в печи:

$$T = \sqrt[4]{\frac{\Phi}{S\sigma}} = \sqrt[4]{\frac{100}{10^{-3} \cdot 5,67 \cdot 10^{-8}}} = 1152,4 \text{ К}$$

**Ответ:** 1152 К

### Задача 15

Исследование спектра излучения некоторой звезды показывает, что максимум спектральной плотности энергетической светимости соответствует длине волны  $\lambda = 100$  нм. Принимая звезду за абсолютно черное тело определить ее энергетическую светимость. (ГВт/м<sup>2</sup>).

**Решение:**

Из закона смещения Вина (9.3) найдем абсолютную температуру поверхности звезды:

$$T = \frac{b}{\lambda} = \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{10^{-7}} = 2,9 \cdot 10^4 \text{ К} \quad (9.4)$$

Подставляя (9.4) в (9.1) получим энергетическую светимость:

$$R_3 = \sigma T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} (2,9 \cdot 10^4)^4 = 4,01 \cdot 10^{10} \text{ Вт/м}^2$$

**Ответ:** 40,1 ГВт/м<sup>2</sup>

9-1. Чему равна длина волны, на которую приходится максимум излучения абсолютно черного тела с температурой  $T$ . (Ответ дать в мкм).  $T = 1000$  К.

Ответ: 2,9 мкм

9-2. Длина волны, на которую приходится максимум излучения абсолютно черного тела, равна  $\lambda$ . Определить температуру тела. (Ответ дать в °С).  $\lambda = 1$  мкм.

Ответ: 2627°С

9-3. Черное тело находится при температуре  $T_1$ . При остывании тела длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости, изменилась на  $\Delta\lambda$ . Определить температуру  $T_2$  до которой тело охладилось. (Ответ дать в °С).  $T_1 = 10^4$  К;  $\Delta\lambda = 1$  мкм

Ответ: 1975°С

9-4. Черное тело нагрели от температуры  $T_1$  до  $T_2$ . Определить на сколько уменьшилась длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости. (Ответ дать в мкм).  $T_1 = 100\text{K}$ ;  $T_2 = 1000\text{K}$

Ответ: 26,1 мкм

9-5. На сколько увеличится энергетическая светимость абсолютно черного тела, если его температуру увеличить на  $x\%$ . (Ответ дать в %).  $x = 1\%$

Ответ: 4,1 %

9-6. Определить диаметр нити накала электрической лампы, если мощность электрического тока, питающего лампу равна  $P$ , длина нити –  $l$ , температура –  $T$ . Считать, что излучение нити соответствует излучению абсолютно черного тела. (Ответ дать в мм).  $P = 1000\text{Вт}$ ;  $l = 10\text{см}$ ;  $T = 3000\text{K}$

Ответ: 0,69 мм

9-7. Какой поток энергии получает комната через открытую дверцу в которой поддерживается температура  $T$ ? Размер дверцы  $a \times d$ . Считать, что отверстие печи излучает как черное тело.  $a = 10\text{см}$ ;  $d = 15\text{см}$ ;  $T = 1000\text{K}$

Ответ: 850,5 Вт

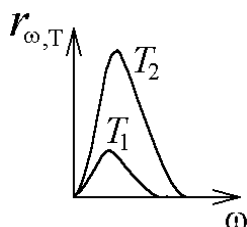
9-8. С поверхности сажи площадью  $S$  при температуре  $T$  за время  $t$  излучается энергия  $W$ . Определить коэффициент черноты сажи.

$S = 1\text{см}^2$ ;  $T = 400^\circ\text{C}$ ;  $W = 1000\text{Дж}$ ;  $t = 1\text{мин}$

Ответ: 0,14

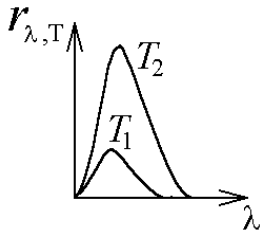
9-9. Мощность излучения шара радиусом  $R$  при некоторой постоянной температуре равен  $P$ . Найти эту температуру  $T$ , считая шар серым телом с коэффициентом черноты  $\alpha_T$ . (Ответ дать в К).  $R = 10\text{см}$ ;  $P = 1\text{кВт}$ ;  $\alpha_T = 0,1$

Ответ: 1088 К



9-10. Площадь, ограниченная графиком спектральной плотности энергетической светимости  $r_{\omega, T}$  черного тела, при переходе от термодинамической температуры  $T_1$  к температуре  $T_2$  увеличилась в  $n$  раз. Во сколько раз возросла температура?  $n = 16$

Ответ: 2



9-11. Площадь, ограниченная графиком спектральной плотности энергетической светимости  $r_{\lambda,T}$  абсолютно черного тела, при переходе от термодинамической температуры  $T_1$  к температуре  $T_2$  увеличилась в  $n$  раз. Найдите отношение длин волн  $\lambda_1/\lambda_2$ , соответствующих максимумам спектральной плотности энергетической светимости черного тела при этих температурах.  $n = 4$

Ответ: 1,41

9-12. Длина волны, на которую приходится максимум излучения шара радиусом  $R$ , равна  $\lambda$ . Найти мощность излучения шара, считая его черным телом.  $R = 10$  см;  $\lambda = 100$  мкм.

Ответ: 5 мВт

9-13. Мощность излучения квадрата со стороной  $a$  равно  $P$ . Считая квадрат черным телом определить длину волны на которую приходится максимум излучения. (Ответ дать в мкм).  $P = 1000$  Вт;  $a = 10$  см.

Ответ: 2,52 мкм

9-14. Определить длину цилиндра радиуса  $R$ , если с его поверхности за время  $t$  излучается энергия  $W$ . Длина волны на которую приходится максимум излучения равна  $\lambda$ . Считать цилиндр серым телом с коэффициентом черноты  $\alpha_T$ .  $R = 10$  см;  $t = 1$  с;  $W = 100$  Дж,  $\lambda = 10$  мкм;  $\alpha_T = 0,4$ .

Ответ: 0,892 м

9-15. Определить во сколько раз увеличится мощность излучения черного тела, если длина волны, соответствующая максимуму его спектральной плотности энергетической светимости сместится с  $\lambda_1 = 200$  мкм до  $\lambda_2 = 100$  мкм.

Ответ: 16

9-16. Энергетическая светимость черного тела равна  $R = 100$  МВт/м<sup>2</sup>. Определить длину волны, соответствующую максимуму спектральной плотности энергетической светимости этого тела. (Ответ дать в нм).

Ответ: 447,5 нм

9-17. Диаметр спирали в электрической лампочке равен  $d$ , длина спирали –  $l$ . При включении лампочки в цепь напряжением  $U$  через лампочку течет ток силой  $I$ . Найти температуру лампочки. Считать, что по установлении равновесия все выделяющееся тепло теряется в результате лучеиспускания. Отношение энергетических светимостей спирали и абсолютно черного тела считать для этой температуры равным  $n$ . (Ответ дать в К).

$d = 0,1 \text{ мм}; l = 10 \text{ см}; U = 100 \text{ В}; I = 0,1 \text{ А}; n = 0,31;$

Ответ: 2063 К

9-18. Какое количество энергии излучает абсолютно черное тело с площади  $S$  за время  $t$ , если известно, что максимум спектральной плотности энергетической светимости этого тела приходится на длину волны  $\lambda$ . (Ответ дать в МДж).  $S = 1 \text{ см}^2; t = 1 \text{ с}; \lambda = 100 \text{ нм}.$

Ответ: 4,01 МДж

9-19. Мощность излучения абсолютно черного тела равна  $P$ . Найти площадь излучающей поверхности тела, если известно, что длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости этого тела, равна  $\lambda$ . (Ответ дать в  $\text{мм}^2$ ).

$P = 1 \text{ кВт}; \lambda = 1 \text{ мкм}.$

Ответ: 249  $\text{мм}^2$

9-20. Диаметр спирали в электрической лампочке равен  $d$ , длина спирали –  $l$ . При включении лампочки в цепь напряжением  $U$  через лампочку течет ток силой  $I$ . Принимая, что излучение нити соответствует излучению абсолютно черного тела, определить ее энергетическую светимость. (Ответ дать в  $\text{МВт/м}^2$ ).  $I = 0,1 \text{ А}; U = 100 \text{ В}; d = 0,1 \text{ мм}; l = 10 \text{ см}.$

Ответ: 0,318  $\text{МВт/м}^2$

9-21. Энергия излучения абсолютно черного тела за время  $t$  равна  $W$ . Найти площадь излучающей поверхности тела, если известно, что максимальная спектральная плотность его энергетической светимости приходится на длину волны  $\lambda$ . (Ответ дать в  $\text{мм}^2$ ).

$W = 100 \text{ Дж}; t = 1 \text{ с}; \lambda = 1 \text{ мкм}.$

Ответ: 24,94  $\text{мм}^2$

9-22. Энергия излучения шара площадью  $S$  за время  $t$  равна  $W$ . Найти температуру шара, считая, что отношение энергетических светимостей шара и абсолютно черного тела для этой температуры равным  $n$ . (Ответ дать в К).  $S = 1 \text{ см}^2; W = 1 \text{ кДж}; t = 1 \text{ с}; n = 0,1$

Ответ: 6480 К

### 10. Определения и законы.

10-1. Число, показывающее во сколько раз скорость света в вакууме больше, чем скорость света в среде, называется ...

10-2. Если у двух волн световые векторы колеблются с одинаковой частотой в одной плоскости и имеют разность фаз, которая не зависит от времени, то такие волны называются ...

10-3. Если у двух волн световые векторы колеблются с одинаковой частотой в одной плоскости и имеют разность фаз, которая зависит от времени произвольным способом, то такие волны называются ...

10-4. Устойчивое усиление или ослабление интенсивности света в области экрана, где налагаются две или несколько когерентных волн, называется явлением ...

10-5. Если разность хода когерентных лучей равна четному числу длин полуволн, то при их наложении на экране будет наблюдаться ...

10-6. Если разность хода когерентных лучей равна нечетному числу длин полуволн, то при их наложении на экране будет наблюдаться ...

10-7. Если разность фаз когерентных лучей равна нечетному числу  $\pi$ , то при их наложении на экране будет наблюдаться ...

10-8. Если разность фаз когерентных лучей равна четному числу  $\pi$ , то при их наложении на экране будет наблюдаться ...

10-9. Луч света приобретает дополнительный ход, равный  $\lambda/2$ , при отражении от ...

10-10. Луч света изменяет свою фазу на  $\pi$  при отражении от ...

10-11. Каждая точка, до которой доходит волна, служит центром вторичных волн, а огибающая этих волн дает положение фронта в следующий момент времени. Это принцип ...

10-12. Дифракционная решетка с периодом  $d$  и шириной шелей  $a$  освещается монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda$ . Если при некотором угле дифракции  $\varphi$  одновременно выполняется и условие главного максимума  $d \sin \varphi = m\lambda$  и условие главного минимума  $a \sin \varphi = m_2\lambda$ , то под углом  $\varphi$  будет наблюдаться ...

10-13. Если между экраном и точечным источником света поместить круглую непрозрачную монетку любого радиуса, то в центре экрана будет наблюдаться ...

10-14. Свет со всевозможными равновероятными ориентациями светового вектора называется ...

10-15. Свет, в котором направления колебаний светового вектора каким-то образом упорядочены, называется ...

10-16. Величина, определяемая как мощность излучения с единицы площади поверхности тела в интервале частот единичной ширины, называется ...

10-17. Величина, определяемая как мощность излучения с единицы площади поверхности тела во всем интервале частот, называется ...

10-18. Величина, определяемая как доля поглощенной энергии, которую принесли на площадку волны в единичном диапазоне частот, называется ...

10-19. Тело, способное поглощать полностью при любой температуре все падающие на него излучение любой частоты, называется ...

10-20. Отношение спектральной излучательной способности к спектральной поглотительной способности не зависит от природы тела. Это закон ...

10-21. Длина волны, излученной телом, приходящаяся на максимум спектральной излучательной способности, обратно пропорциональна температуре тела.

Это закон ...

10-22. Энергетическая светимость абсолютно черного тела пропорциональна абсолютной температуре в четвертой степени. Это закон ...

10-23. Упругое рассеяние коротковолнового электромагнитного излучения на свободных электронах сопровождается увеличением длины волны. Это эффект ...

10-24. Энергия кванта электромагнитного излучения пропорциональна частоте этого излучения. Коэффициент пропорциональности называется ...

10-25. Явление вырывания электронов из вещества в вакуум или в другое вещество под действием света или рентгеновского излучения называется ...

10-26. В опыте Столетова по изучению фотоэффекта при увеличении напряжения на аноде ток, увеличившись, перестал изменяться. Это явление называется ...

10-27. В опыте Столетова по изучению фотоэффекта ток насыщения увеличивался пропорционально ...

10-28. В опыте Столетова по изучению фотоэффекта длину падающего на катод света увеличивали до  $\lambda_0$ . При дальнейшем увеличении длины волны фототок прекращался. Как называется  $\lambda_0$ ?

10-29. Гипотезу о том, что частицы вещества обладают не только корпускулярными, но волновыми свойствами, выдвинул ...