

## **Занятие 8. Дифракция и поляризация света.**



**Для подготовки к семинару надо проработать**

**Лекция 14-15. Дифракция света.**

**ОЛ-2 (§5.1- 5.6), ОЛ-5 (§5.1- 5.7), ОЛ-6 (§5.1- 5.8), ДЛ-11, 12.**

**ОЛ-2. Литвинов О.С., Горелик В.С. Электромагнитные волны и оптика. Учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 448 с.**

**ОЛ-5. Савельев И. В. Курс общей физики: Учебное пособие для втузов. В 5 кн (кн.4). – М.: Наука, 1998.**

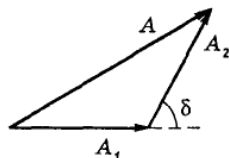
**ОЛ-6. Иродов И.Е. Волновые процессы. Основные законы. – М.: Лаборатория базовых знаний, 1999. – 256 с.**

**ДЛ-11. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 720 с.**

**ДЛ-12. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Учебное пособие для вузов. В 5 томах. – М.: Физматлит, 2002. – 4506 с.**

# Краткие теоретические сведения

Интерференция волн от двух источников:



$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos \delta.$$

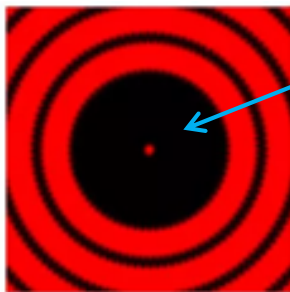
Дифракция есть интерференция волн от многих когерентных источников

Дифракционная картина от круглого отверстия



Открыто четное  
число зон

Открыто нечетное  
число зон



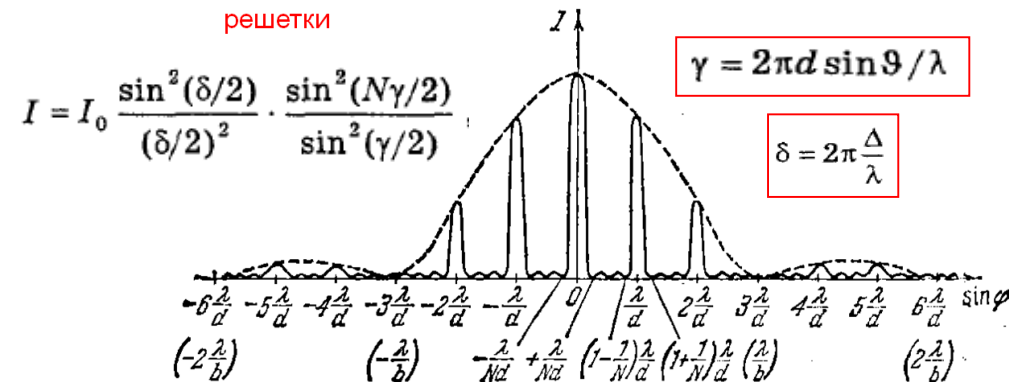
Дифракционная  
картина от  
непрозрачного диска

Пятно Пуассона

От одной щели:

$$\Delta = b \sin \vartheta$$

Распределение интенсивности света от дифракционной решетки



Главные максимумы

$$d \sin \vartheta_m = \pm m\lambda, \quad m=0, 1, 2, \dots$$

$$A = A_1 N, \quad I = I_1 N^2.$$

Интерференционные минимумы:

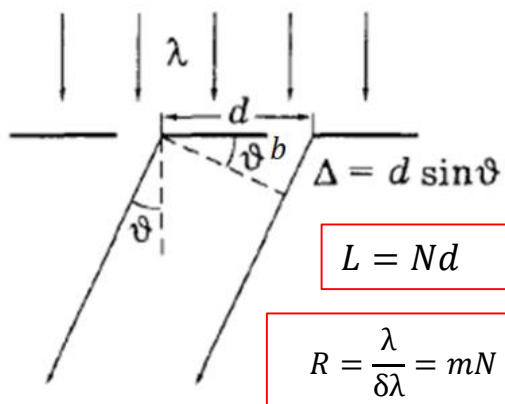
$$d \sin \vartheta = \pm \frac{m'}{N} \lambda.$$

$$m' = 0, N, 2N, \dots$$

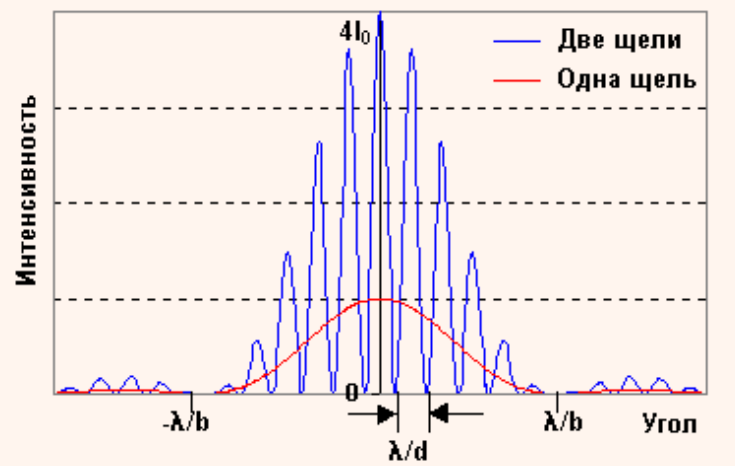
Дифракцион. минимумы:

$$b \sin \vartheta_m = \pm m\lambda, \quad m=1, 2, \dots$$

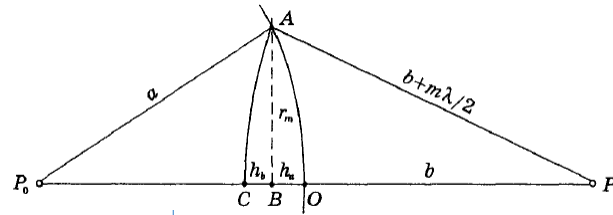
Дифракция от многих щелей:



Дифракция Фраунгофера



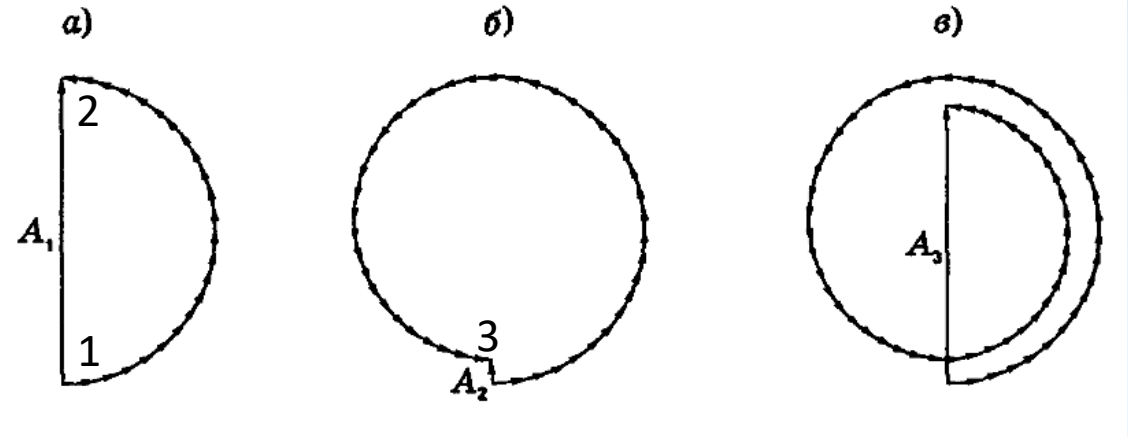
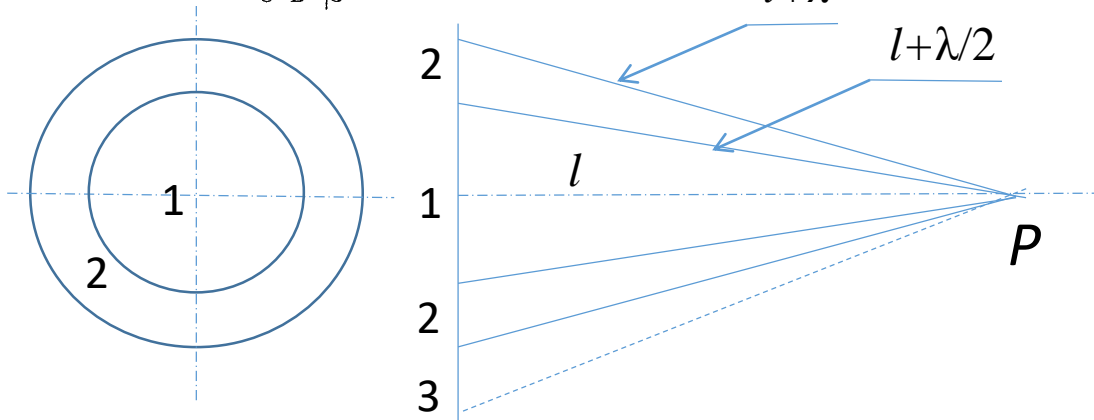
## Метод зон Френеля



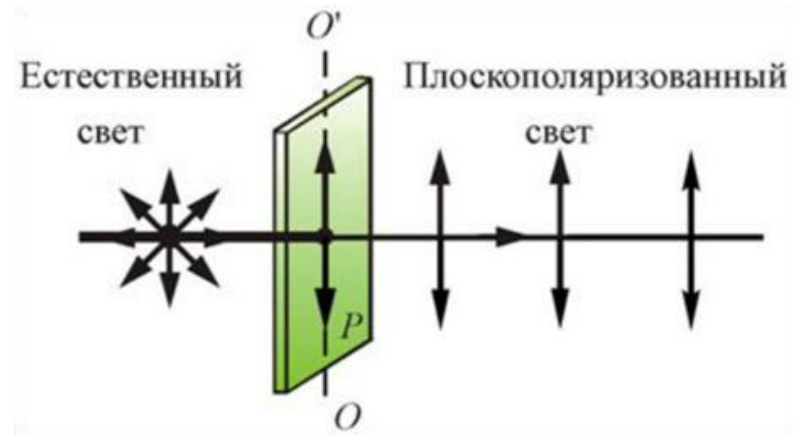
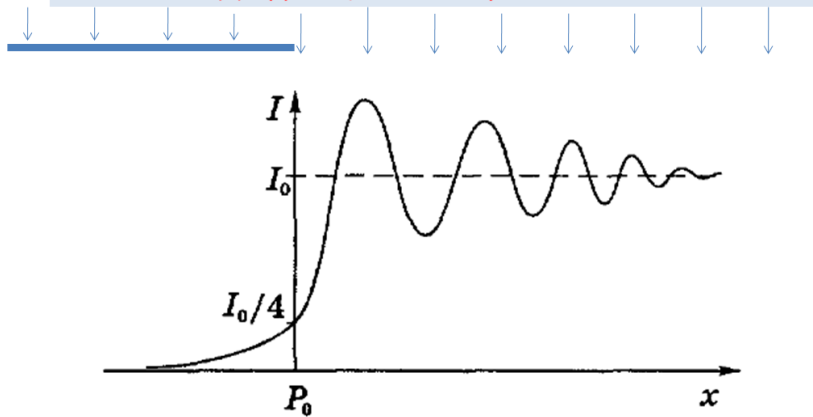
$$r_m = \sqrt{m\lambda \frac{ab}{a+b}}$$

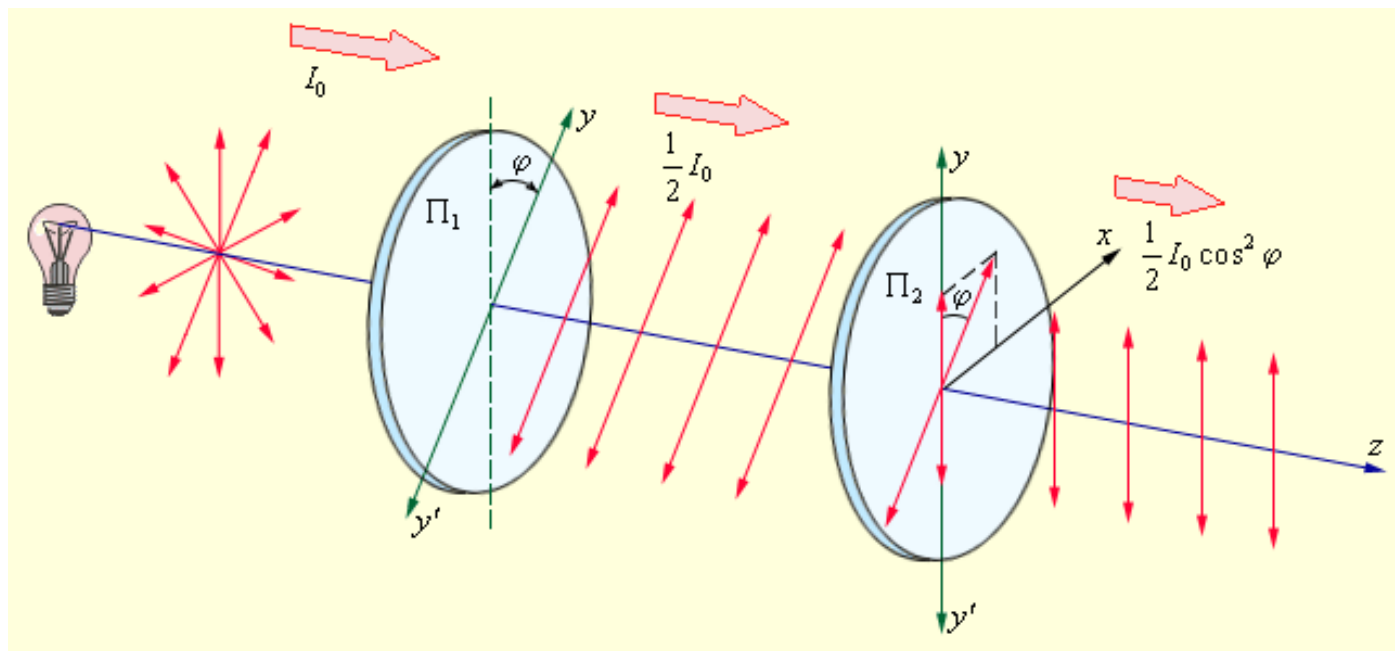
Для плоской волны

$$r_m = \sqrt{m\lambda b}$$



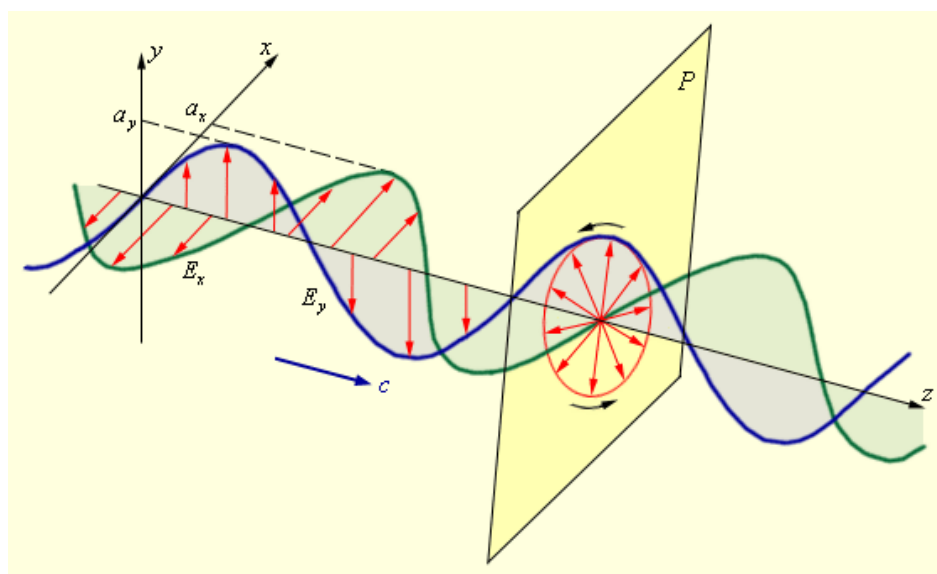
### Дифракция от полуплоскости





Закон Малюса

$$I = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \varphi$$



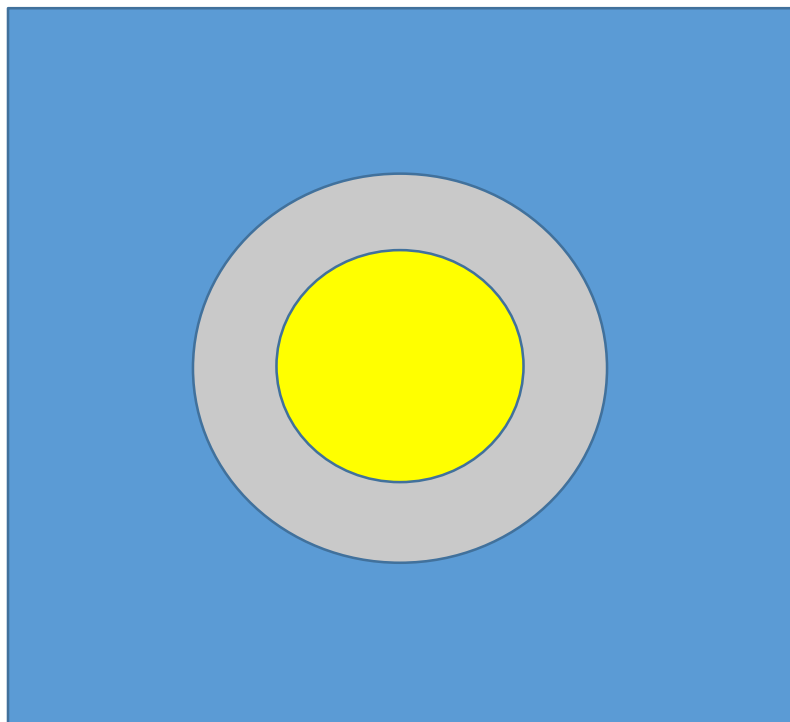
Круговая  
поляризация

Рисунки взяты из  
открытых интернет-  
источников

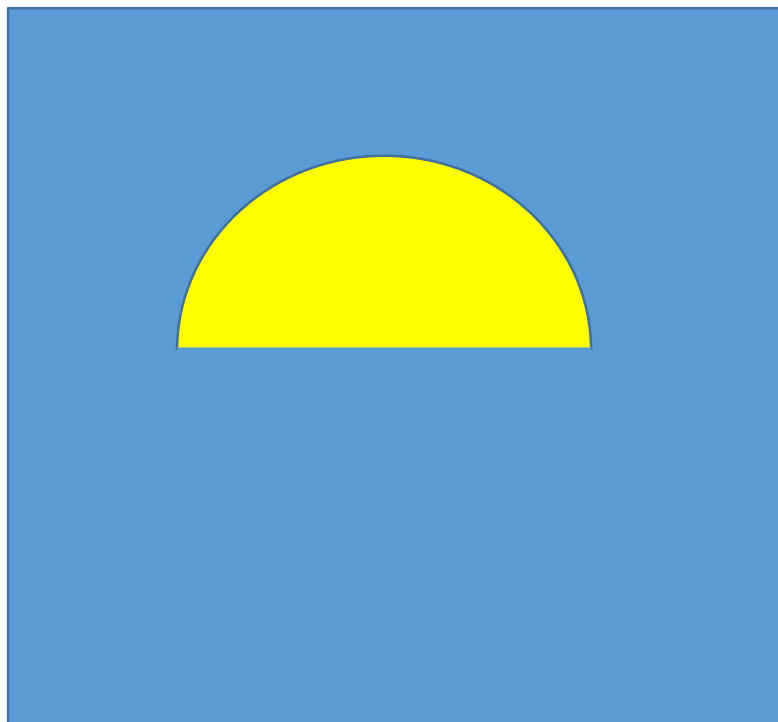
**Задача 4.114.** Плоская монохроматическая волна с интенсивностью  $I_0$  падает нормально на непрозрачный экран с круглым отверстием.

Какова интенсивность света  $I$  за экраном в точке, для которой отверстие:

- а)** равно первой зоне Френеля; внутренней половине первой зоны;
- б)** сделали равным первой зоне Френеля и затем закрыли его половину (по диаметру)?



а)



б)

**Решение:** а) Рассмотрим спираль Френеля для точки наблюдения (рис. 1 а). Вектор  $\mathbf{A}_0$  соответствует амплитуде свободной волны в точке наблюдения, вектор  $\mathbf{A}_{11}$  - амплитуде волны в точке наблюдения от внутренней половины первой зоны Френеля, вектор  $\mathbf{A}_{12}$  - амплитуде волны в точке наблюдения от первой зоны Френеля, поэтому

$$A_{12} = 2A_0, A_{11} = \sqrt{2}A_0.$$

Т.к. интенсивность волны пропорциональна квадрату амплитуды  $I_0 \sim A_0^2$ , то:  
- интенсивность света  $I_{12}$  за экраном в точке наблюдения от первой зоны Френеля равна

$$I_{12} = 4I_0.$$

- интенсивность света  $I_{11}$  за экраном в точке наблюдения от внутренней половины первой зоны Френеля

$$I_{11} = 2I_0.$$

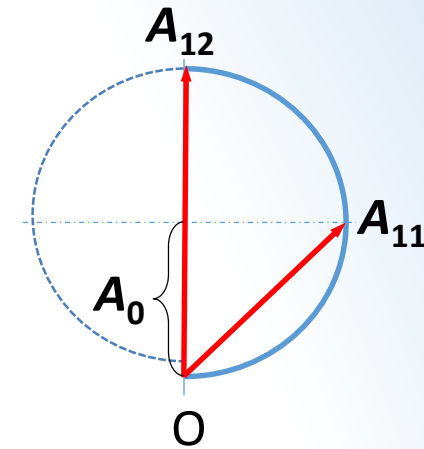


Рис. 1 а

**Вариант б)** Амплитуда волны в точке наблюдения пропорциональна площади волновой поверхности. Поэтому, если закрыть половину первой зоны Френеля по диаметру, то площадь каждой элементарной зоны кольцевого типа уменьшится в 2 раза и амплитуда каждого маленького векторочка на диаграмме Френеля уменьшится в 2 раза при неизменном фазовом сдвиге. Следовательно, суммарная амплитуда на векторной диаграмме уменьшится в 2 раза, что изображено на рис. 1 б. В формульном выражении:

$$A \approx \frac{A_{12}}{2} = A_0 .$$

Интенсивность света в этом случае  $I \approx I_0$ .

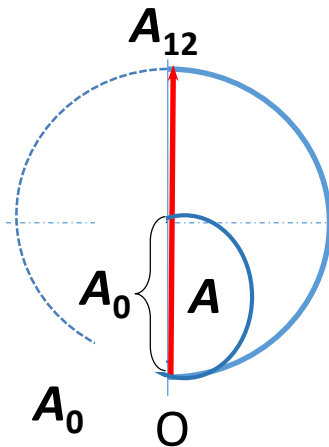


Рис. 1 б

**Задача 4.118.** Плоская световая волна длины  $\lambda$  и интенсивности  $I_0$  падает нормально на большую стеклянную пластинку, противоположная сторона которой представляет собой непрозрачный экран с круглым отверстием, равным первой зоне Френеля для точки наблюдения  $P$ .

В середине отверстия сделана круглая **выемка**, равная **половине зоны Френеля**.

При какой глубине  $h$  этой выемки интенсивность света в точке  $P$  будет максимальной? Чему она равна?

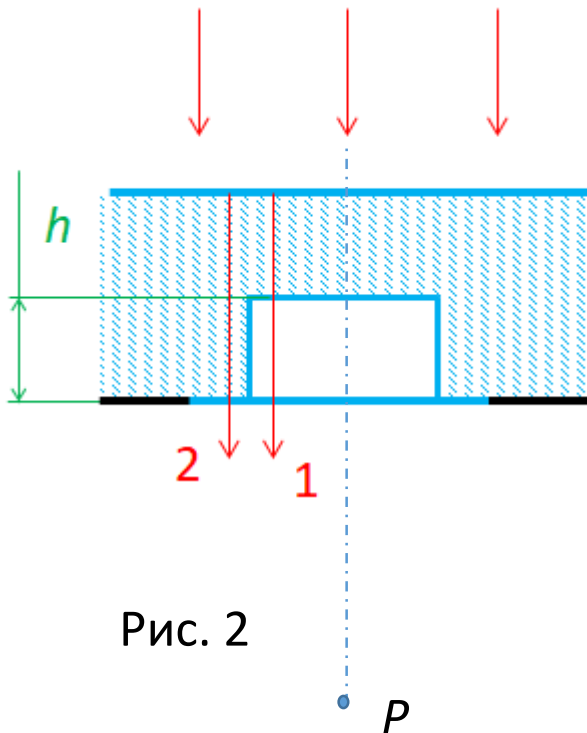


Рис. 2

**Решение:** Рассмотрим два луча (рис. 2): (1) – проходящий через выемку и (2) – проходящий через вторую половину первой зоны Френеля. Оптическая разность хода этих лучей равна

$$\Delta L = h(n - 1) \quad (1)$$

где  $n$  – показатель преломления стекла.

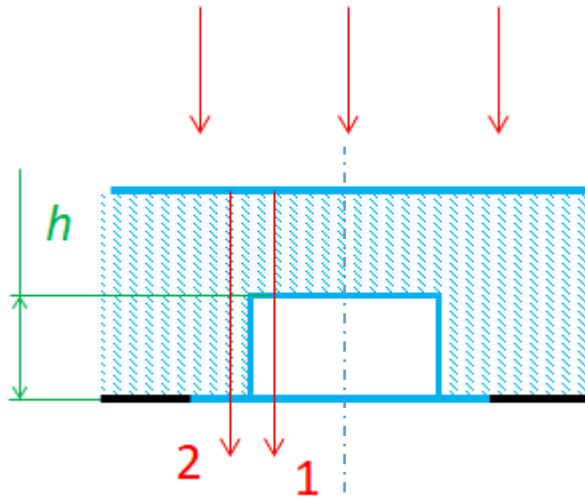


Рис. 2

Введение круговой выемки во внутренней части первой зоны Френеля увеличит скорость прохождения лучей через эту зону. Это можно представить как поворот вектора  $A_1$  по часовой стрелке. Как следует из рис. 3 а, чтобы вектор  $A_1$  совпал по направлению с вектором  $A_2$  и суммарная амплитуда двух векторов получилась максимальной, угол поворота вектора  $A_1$  должен быть

$$\alpha = \frac{3\pi}{2} + 2\pi m, \quad (2)$$

где  $m$  - целое число.

При этом оптическая разность хода лучей **1** и **2** ( $\Delta L$ ) на длине пути  $h$  должна быть связана с углом поворота  $\alpha$  выражением

$$\alpha = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta L. \quad (3)$$

С учётом (1), (2) и (3) составим уравнение

$$\frac{3\pi}{2} + 2\pi m = \frac{2\pi}{\lambda} h(n - 1). \quad (4)$$

Откуда определим глубину выемки

$$h = \frac{3+4m}{4(n-1)} \lambda. \quad (5)$$

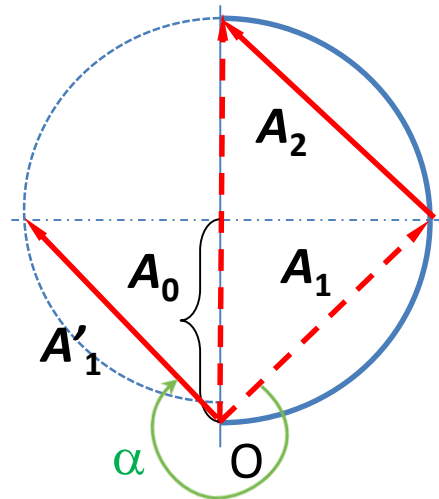


Рис. 3 а

Тогда результирующая амплитуда в точке наблюдения будет равна сумме двух равновеликих амплитуд

$$A = 2A_1 = 2\sqrt{2}A_0 \quad (6)$$

и интенсивность света в точке  $P$

$$I = 8I_0.$$

В рассмотренном примере по рис. 3 а), при учете сделанной выемки во внутренней половине первой зоны Френеля, принято неизменным фазовое состояние луча 2.

При расчетах за нулевую фазу в диаграмме Френеля можно принять начало вхождения луча 1 в сделанную выемку (рис. 3 б). Тогда на основании (3) мы должны ввести поворот вектора  $A_2$  на тот же угол  $\alpha$  в обратную сторону, так как скорость луча 2 меньше скорости луча 1.

Результат расчета в этом случае будет точно таким же. При этом, картина увеличения (вдвое) результирующего вектора становится более наглядной.

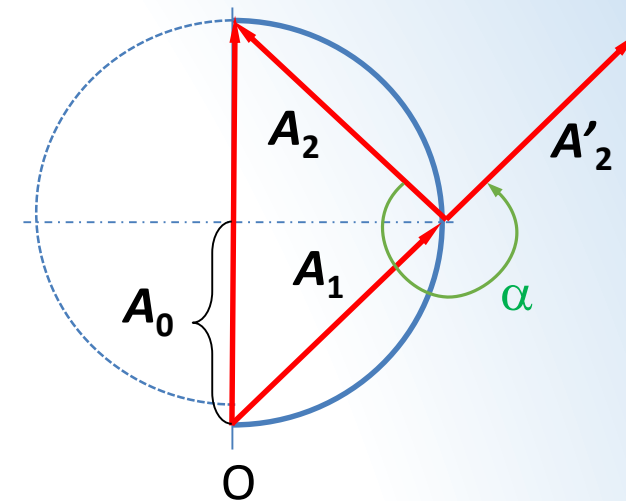


Рис. 3 б

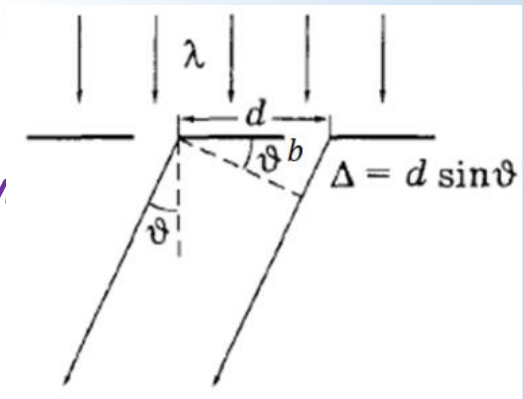


**Задача 4.156.** При нормальном падении света на дифракционную решетку ширины **10 мм** обнаружено, что компоненты жёлтой линии натрия (**589,0 и 589,6 нм**) оказываются разрешёнными, начиная с **пятого порядка** спектра.

Оценить:

**а)** период этой решетки;

**б)** при какой ширине решетки с таким периодом можно разрешить в третьем порядке **дублет** спектральной линии с  $\lambda = 460$  нм, компоненты которого различаются на **0,13 нм**.



**Решение:** Разрешающая сила оптического прибора

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda}. \quad (1)$$

Разрешающая сила дифракционной решётки

$$R = Nm, \quad (2)$$

где  $N$  – число штрихов дифракционной решётки,  $m$  – порядок максимума, в котором линии оказываются разрешёнными.

Ширина  $L$  и  $d$  – период решётки связаны соотношением

$$L = Nd. \quad (3)$$

**Вариант а).** С учетом заданных параметров:  $L$ ,  $m$ ,  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  производим поиск неизвестных параметров и делаем вычисления:  
Вначале определяем  $\delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = 0,6$  нм и находим разрешающую силу дифракционной решетки.

Из (1), (2) и (3) находим

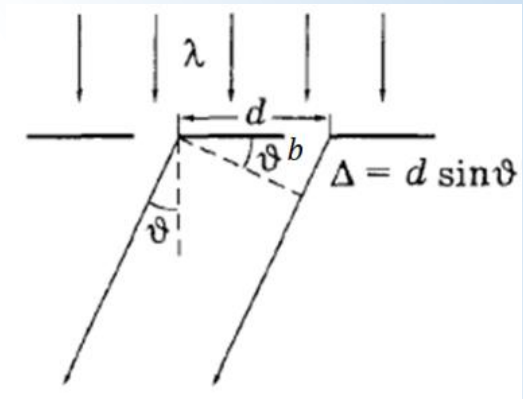
$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = m \frac{L}{d}. \quad (4)$$

Отсюда определяем период дифракционной решетки

$$d = mL/R = mL \frac{\delta\lambda}{\lambda} \approx 5,1 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

**Вариант б).** С учетом новых заданных параметров:  $m = 3$ ,  $\lambda = 460$  нм,  $\delta\lambda = 0,13$  нм и ранее вычисленного значения  $d = 5,1 \cdot 10^{-5}$  м, из формулы (4) определяем ширину дифракционной решетки  $L'$

$$L' = \frac{d}{m} \frac{\lambda}{\delta\lambda} \approx 0,06 \text{ м.}$$



**Задача 4.180.** При падении естественного света на некоторый поляризатор проходит  $\eta_1 = 30\%$  светового потока, а через два таких поляризатора -  $\eta_2 = 13,5\%$ . Найти угол  $\varphi$  между плоскостями пропускания этих поляризаторов.

**Решение:** Пусть  $\beta$  - коэффициент пропускания поляризатора. Тогда при падении естественного света интенсивности  $I_0$  интенсивность прошедшего света после первого поляризатора

$$I_1 = \beta \frac{I_0}{2}. \quad (1)$$

Интенсивность прошедшего света после второго поляризатора

$$I_2 = \beta I_1 \cos^2 \varphi, \quad (2)$$

где  $\varphi$  - угол между плоскостями пропускания этих поляризаторов.

Т.к. по условию

$$I_1 = \eta_1 I_0 \quad (3)$$

$$I_2 = \eta_2 I_0 \quad (4)$$

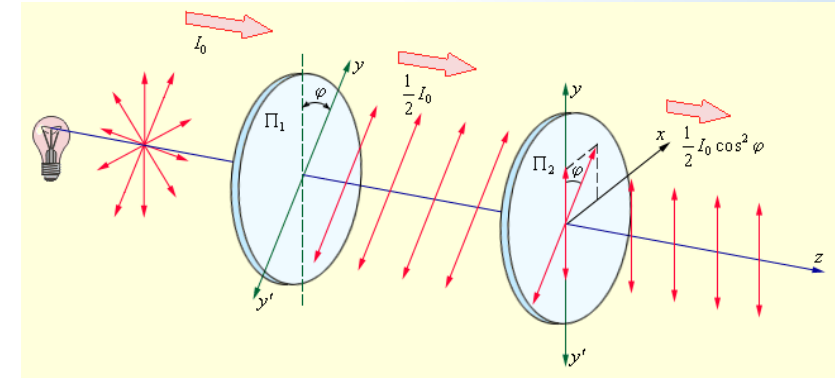
то из (1) - (4) получается

$$\eta_1 = \frac{\beta}{2} \quad (5)$$

$$\eta_2 = \frac{\beta^2}{2} \cos^2 \varphi \quad (6)$$

Из (5) и (6) следует

$$\cos \varphi = \sqrt{\frac{\eta_2}{2\eta_1^2}} \approx 0,866, \text{ откуда } \varphi = 30^\circ.$$





***Для закрепления знаний по теме данного семинара дома следует самостоятельно решить следующие задачи, которые рекомендуются учебным планом***

***Домашнее задание к семинару 8***

***Иродов И.Е. Задачи по общей физике.- М.: Бином, 1998 - 2001,***

Дома: **ОЛ-7** задачи 4.154, 4.183 или **ОЛ-8** задачи 5.145, 5.174..

**ОЛ-7.** Иродов И.Е. Задачи по общей физике.- М.: Бином, 1998÷2001.

**ОЛ-8.** Иродов И.Е. Задачи по общей физике.- М.: Наука, 1988.



Домашнее задание к семинару 8. **ОЛ-7** задачи 4.154, 4.183

**4.154.** Свет, содержащий две спектральные линии с длинами волн 600,000 и 600,050 нм, падает нормально на дифракционную решетку ширины 10,0 мм. Под некоторым углом дифракции  $\theta$  эти линии оказались на пределе разрешения (по критерию Рэлея). Найти  $\theta$ .

Ответ:  $46^\circ$

**4.183.** Степень поляризации частично поляризованного света  $P = 0,25$ . Найти отношение интенсивности поляризованной составляющей этого света к интенсивности естественной составляющей.

Ответ:  $I_{\text{пол}}/I_{\text{ест}} = P/(P - 1) = 0,3$



***Спасибо за внимание***