Занятие 8. Дифракция и поляризация света.

Для подготовки к семинару надо проработать

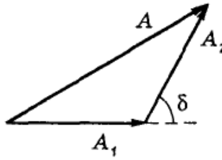
Лекция 14-15. Дифракция света.
ОЛ-2 (§5.1- 5.6), ОЛ-5 (§5.1- 5.7), ОЛ-6 (§5.1- 5.8), ДЛ-11, 12.

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.

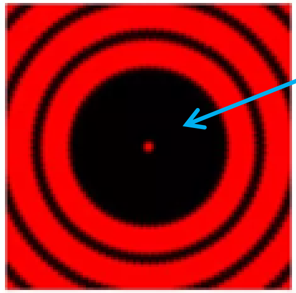
Краткие теоретические сведения

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 непрозрачного диска

Пятно Пуассона

От одной щели:

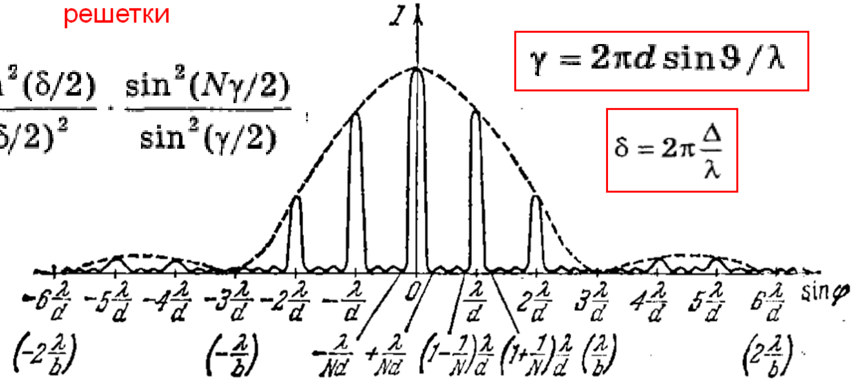
$$\boxed{\Delta = b\sin\vartheta}$$

Распределение интенсивности света от дифракционной решетки

$$I = I_0 \frac{\sin^2(\delta/2)}{(\delta/2)^2}\cdot\frac{\sin^2(N\gamma/2)}{\sin^2(\gamma/2)}$$

$$\boxed{\gamma = 2\pi d\sin\vartheta/\lambda}$$

$$\boxed{\delta = 2\pi\frac{\Delta}{\lambda}}$$



Главные максимумы

$$\boxed{d\sin\vartheta_m = \pm m\lambda,}\quad m=0,\ 1,\ 2,\ldots,$$

$$A = A_1N,\quad I = I_1N^2.$$

Интерференционные минимумы:

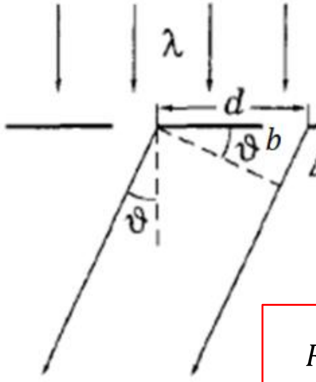
$$\boxed{d\sin\vartheta = \pm\frac{m'}{N}\lambda.}$$

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

Дифракцион. минимумы:

$$\boxed{b\sin\vartheta_m = \pm m\lambda,}\quad m=1,\ 2,\ \ldots$$

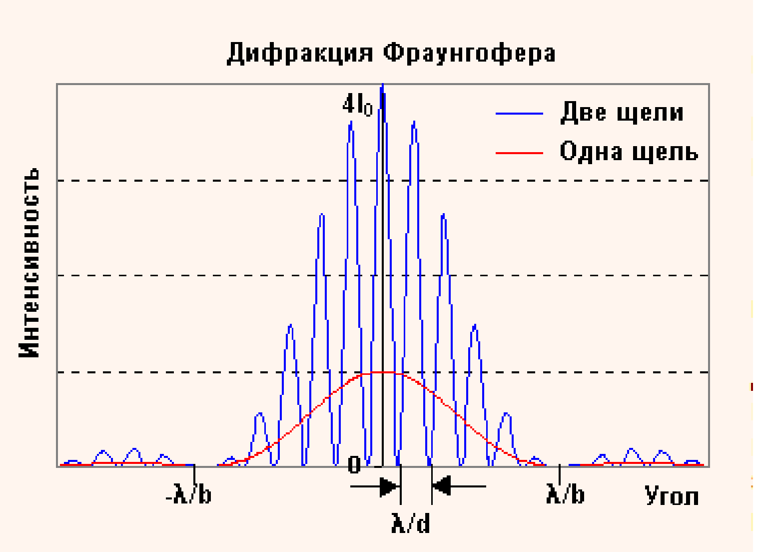
Дифракция от многих щелей:



$$\Delta = d\sin\vartheta$$

$$\boxed{L = Nd}$$

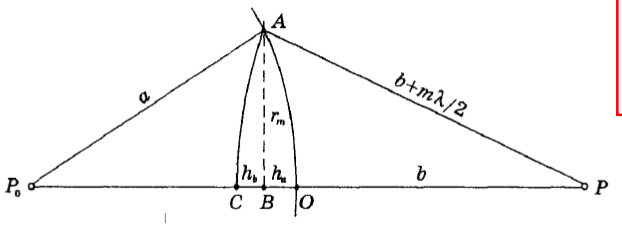
$$\boxed{R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = mN}$$

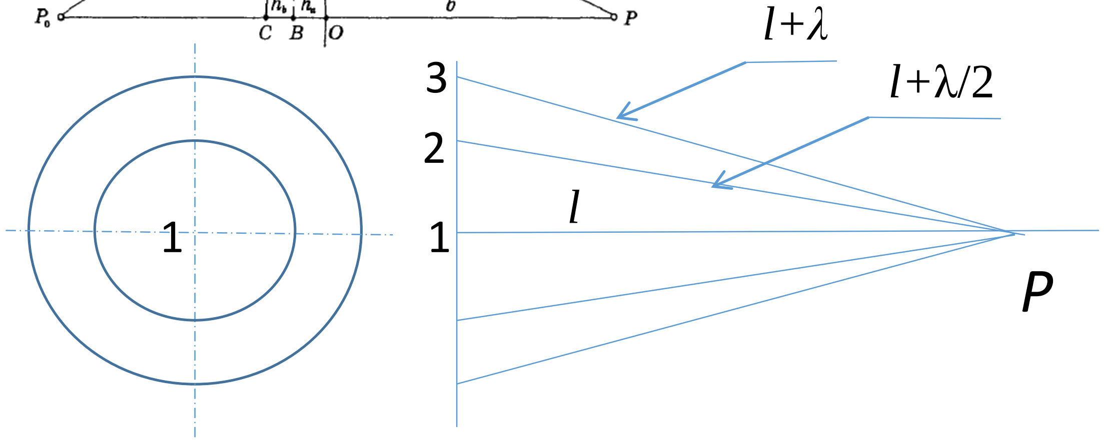


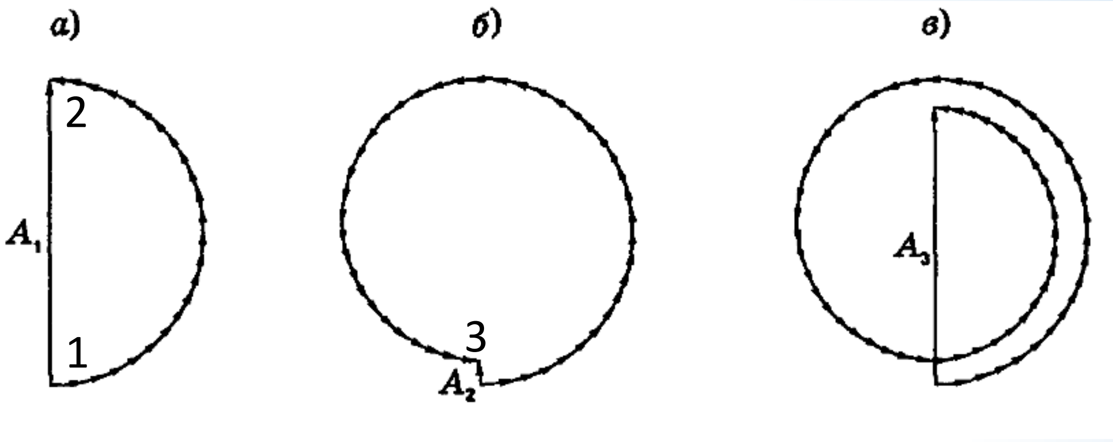
Метод зон Френеля

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

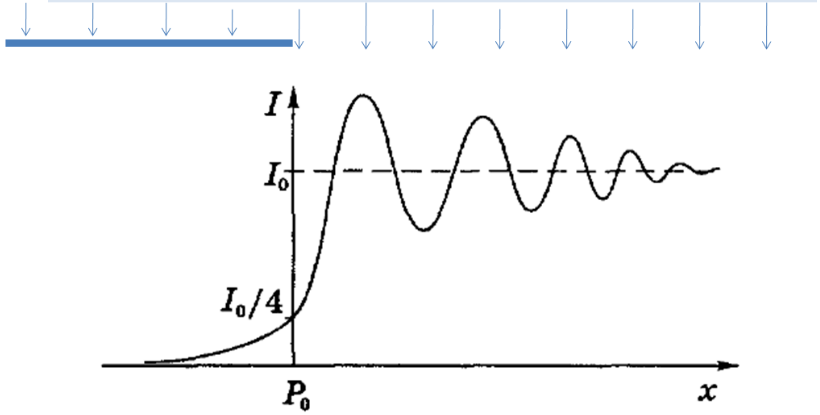
Для плоской волны $$r_m = \sqrt{m\lambda b}.$$

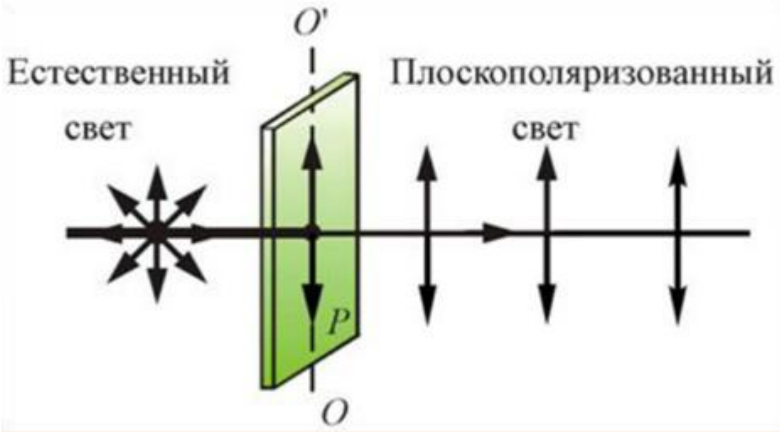


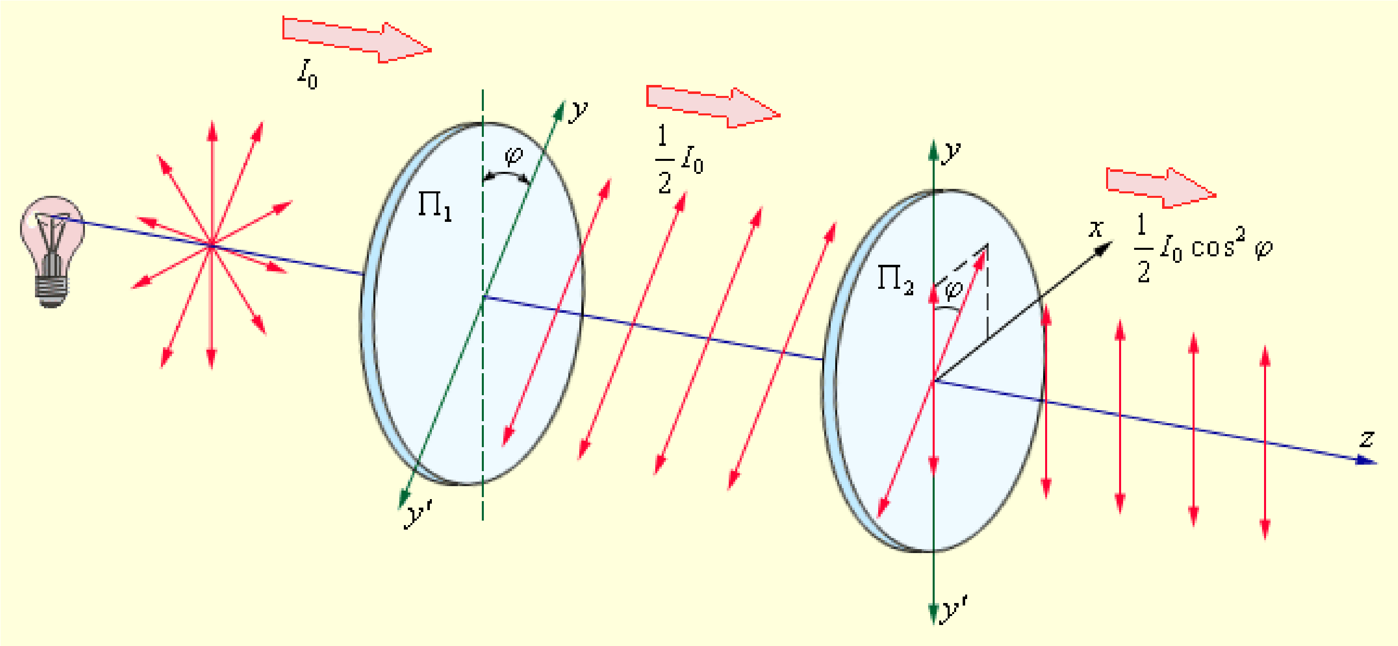




Дифракция от полуплоскости

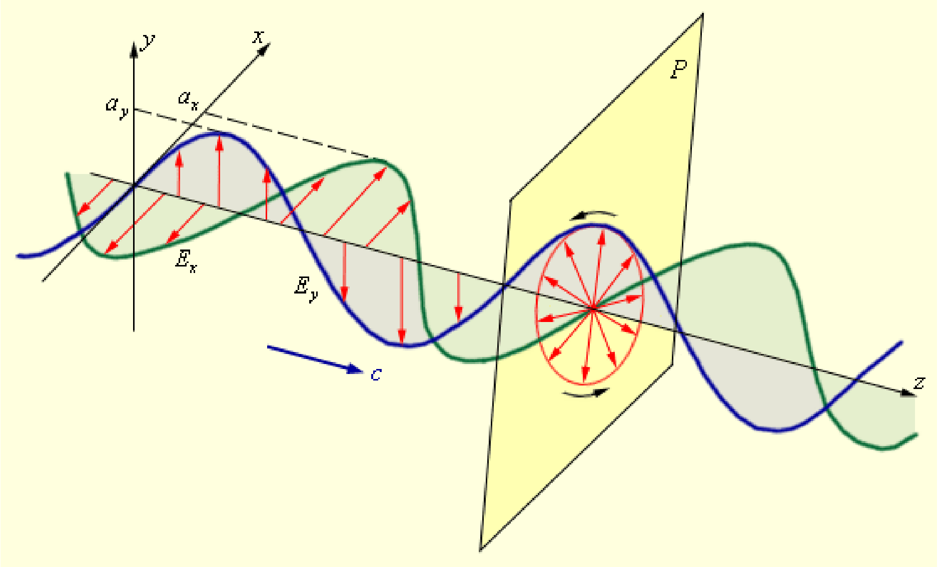






Закон Малюса

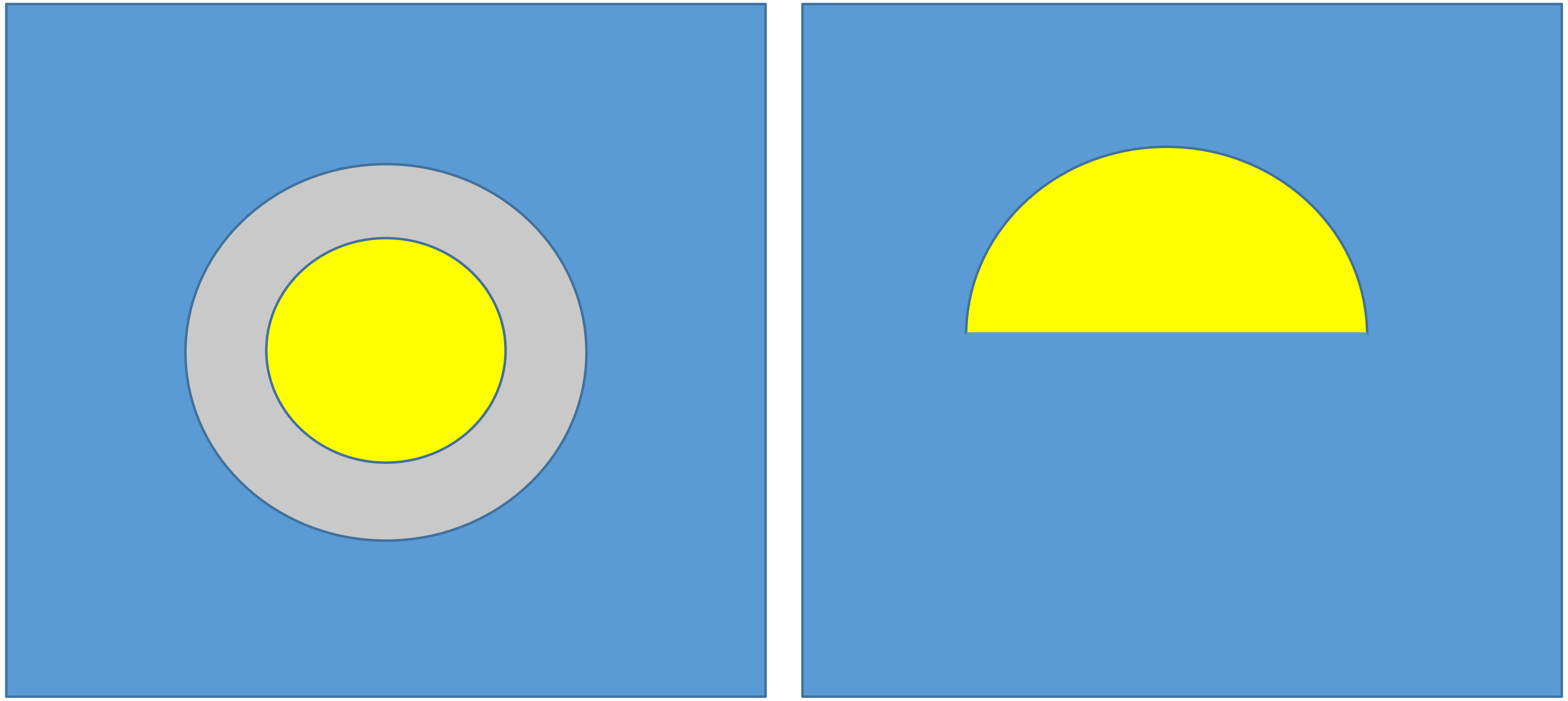
$$I = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \varphi$$



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. 7 а). Вектор $\boldsymbol{A_0}$ соответствует амплитуде свободной волны в точке наблюдения, вектор $\boldsymbol{A_{11}}$ - амплитуде волны в точке наблюдения от внутренней половины первой зоны Френеля, вектор $\boldsymbol{A_{12}}$ - амплитуде волны в точке наблюдения от первой зоны Френеля, поэтому

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

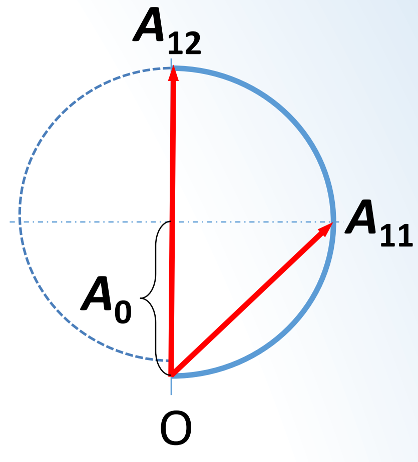


Рис. 7 а

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

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

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. 7 б. В формульном выражении:

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

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

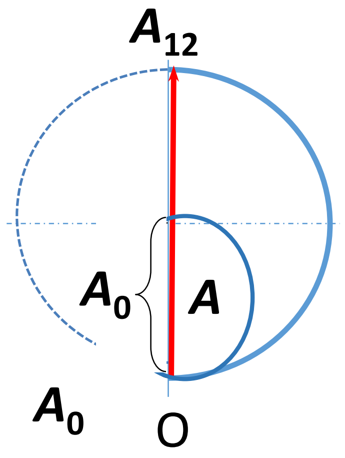


Рис. 7 б

Задача 4.118. ***Плоская световая волна длины λ 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?

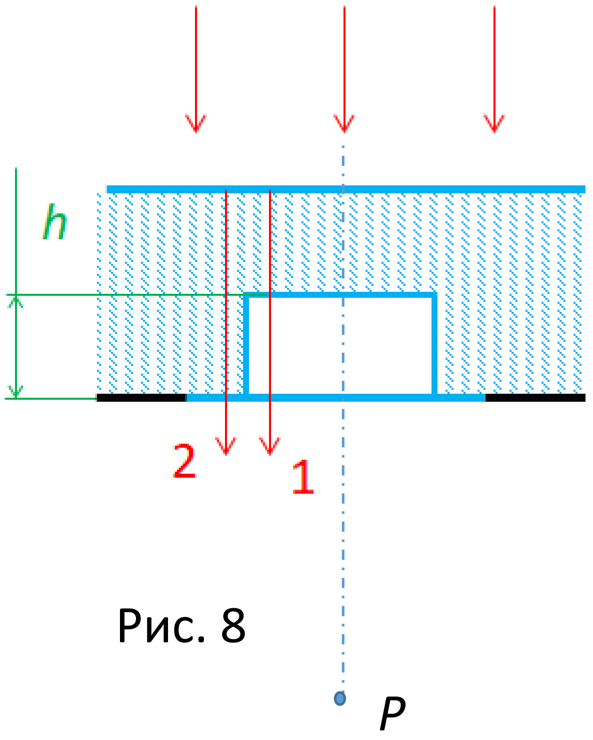


Рис. 8

Решение: Рассмотрим два луча (рис.8): (1) – проходящий через выемку и (2) – проходящий через вторую половину первой зоны Френеля. Оптическая разность хода этих лучей равна

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

где n – показатель преломления стекла.

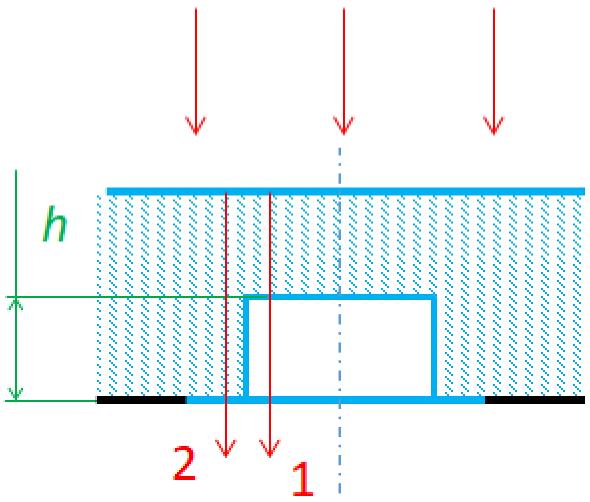


Рис. 8

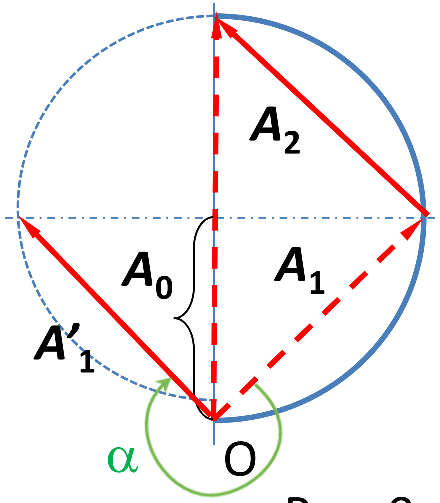


Рис. 9 а

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.9 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

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

где m - целое число.

При этом оптическая разность хода лучей 1 и 2 (ΔL) на длине пути h должна быть связана с углом поворота α выражением

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

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

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

Откуда определим глубину выемки

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

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

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

и интенсивность света в точке *P*

$$I = 8I_0.$$

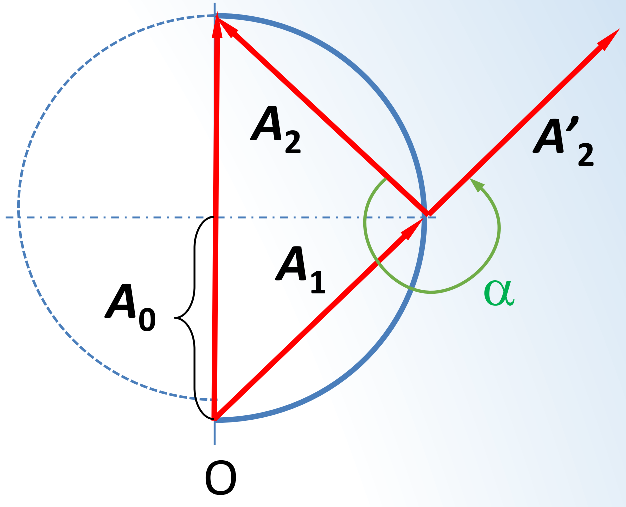


Рис. 9 б

В рассмотренном примере по рис. 9 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.9 б). Тогда на основании (3) мы должны ввести поворот вектора A_2 на тот же угол α в обратную сторону, так как скорость луча 2 меньше скорости луча 1.

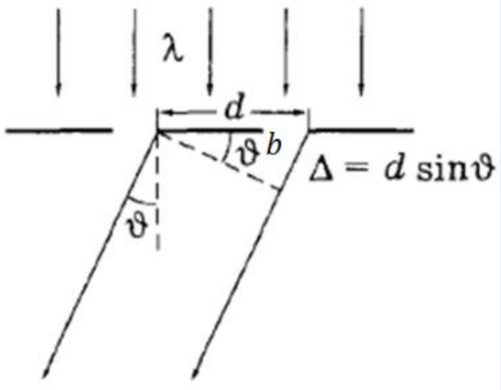
Результат расчета в этом случае будет точно таким же. При этом, картина увеличения (вдвое) результирующего вектора становится более наглядной.

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 λ = 460 нм, компоненты которого различаются на 0,13 нм.



Решение: Разрешающая сила оптического прибора

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

Разрешающая сила дифракционной решётки

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

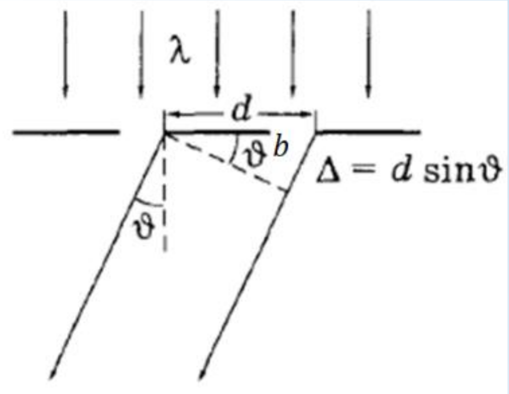
где N – число штрихов дифракционной решётки, m – порядок максимума, в котором линии оказываются разрешёнными.

Ширина L и d – период решётки связаны соотношением

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

Вариант а). С учетом заданных параметров: *L*, *m* , λ_1 и λ_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

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

Отсюда определяем период дифракционной решетки

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

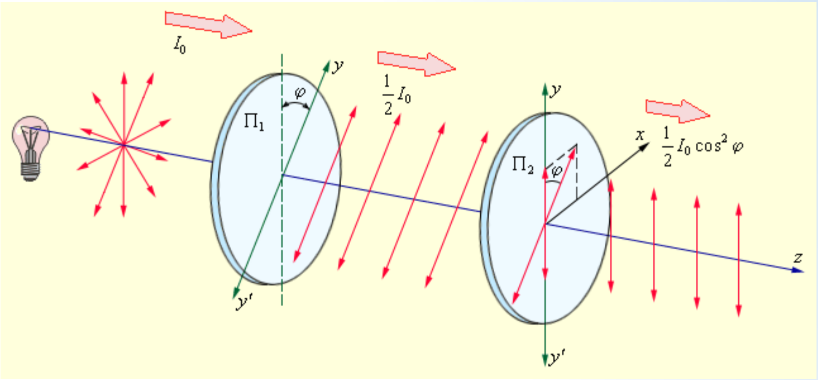
Вариант б). С учетом новых заданных параметров: $m = 3$, $\lambda = 460$ нм, $\delta\lambda = 0{,}13$ нм и ранее вычисленного значения $d = 5{,}1 \cdot 10^{-5}$ м, из формулы (4) определяем ширину дифракционной решетки L'

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

Задача 4.180. При падении естественного света на некоторый поляризатор проходит η_1 = 30% светового потока, а через два таких поляризатора - η_2 = 13,5%. Найти угол φ между плоскостями пропускания этих поляризаторов.

Решение: Пусть β - коэффициент пропускания поляризатора. Тогда при падении естественного света интенсивности I_0 интенсивность прошедшего света после первого поляризатора

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



Интенсивность прошедшего света после второго поляризатора

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

где φ - угол между плоскостями пропускания этих поляризаторов.
Т.к. по условию

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

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

то из (1) - (4) получается

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

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

Из (5) и (6) следует

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

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 ϑ эти линии оказались на пределе разрешения (по критерию Рэлея). Найти ϑ.

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

Спасибо за внимание