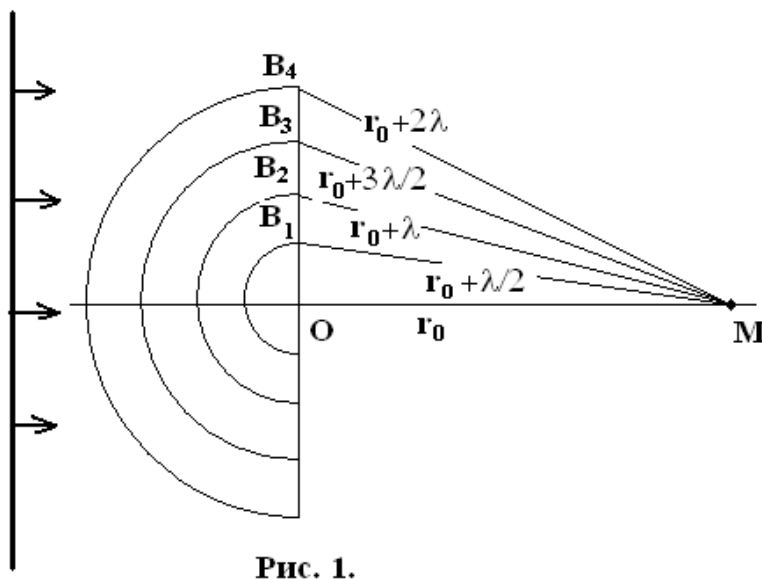


Лекция 48

Тема: Метод зон Френеля. Дифракция Фраунгофера. Дифракционная решетка. Измерение длины световой волны.

Дифракцией света называется совокупность явления, которые обусловлены волновой природой света и наблюдаются при его распространении в среде с резко выраженной оптической неоднородностью (прохождение света через отверстия в экранах, вблизи границ непрозрачных тел). При этом нарушается целостный характер волновой поверхности. В более узком смысле, под дифракцией понимают огибание светом встречающихся препятствий, то есть отклонение от законов геометрической оптики. Для описания этого явления удобно воспользоваться принципом Гюйгенса дополненным Френелем (принцип Гюйгенса-Френеля). Френель предложил разбивать фронт волны на



кольцевые зоны, расстояние от которых до рассматриваемой точки М отличаются на $\lambda/2$ (метод зон Френеля (рис. 1)). Рассмотрим плоский фронт волны. Определим интенсивность света в точке М. Обозначим кратчайшее расстояние от точки М до фронта волны через r_0 . Разобьем фронт волны на зоны $V_1, V_2, V_3 \dots$ таким образом, чтобы расстояние до последующей от точки М увеличивалось на половину длины волны.

Определим площади этих зон. $OB=r_1, OB_2=r_2$ и т.д.

$$r_1^2 = \left(r_0 + \frac{\lambda}{2}\right)^2 - r_0^2 = r_0\lambda + \frac{\lambda^2}{4}$$

так как $\lambda \ll r_0$, то вторым слагаемым можно пренебречь, то есть $r_1^2 = r_0\lambda$, аналогично

$$r_2^2 = 2r_0\lambda, \quad r_3^2 = 3r_0\lambda$$

и т.д. Площади зон:

$$S_1 = \pi r_1^2 = \pi r_0\lambda, \quad S_2 = \pi r_2^2 - \pi r_1^2 = \pi r_0\lambda$$

, аналогично можно доказать, что площади всех зон равны. Обозначим амплитуды колебаний в точке М от различных зон соответственно A_0, A_1, A_2 и пр. По принципу суперпозиции результирующее колебание от различных зон можно выразить $A=A_0-A_1+A_2-A_3+A_4$ и т.д. Знак "-" от четных зон появляется вследствие того, колебания от источников с разностью хода в $\lambda/2$ ослабляют друг друга. Перепишем выражение в виде: $A=A_0/2+(A_0/2-A_1+A_2/2)-(A_2/2-A_3+A_4/2)+\dots$ Можно считать, что результирующая амплитуда колебаний в любой зоне равна среднему арифметическому амплитуд в соседних зонах:

$$A_k = \frac{A_{k-1} + A_{k+1}}{2}$$

В этом случае слагаемые в скобках обращаются в 0 и результирующая амплитуда колебаний $A=A_0/2$. На этом принципе основано действие *зонной пластинки* – прозрачной пластинки, на которой нанесены непрозрачные кольца, закрывающие четные зоны. Действие зонной пластинки подобно собирающей линзы.

Различают два типа дифракции света: *дифракцию Френеля, или дифракцию в сходящихся лучах* и *дифракцию Фраунгофера, или дифракцию в параллельных лучах*. Дифракцию Френеля удобно рассчитывать с помощью метода зон Френеля.

1. Дифракция Френеля на круглом отверстии. Результат дифракционной картины в произвольной точке на экране, зависит от того четное или нечетное число колец укладывается в отверстии.
2. Дифракция Френеля на непрозрачном диске. В этом случае в центральной точке наблюдается светлое пятно (пятно Пуассона), амплитуда равна половине амплитуде колебаний первой открытой зоны Френеля.

Дифракция Фраунгофера на узкой длинной щели в непрозрачном экране.

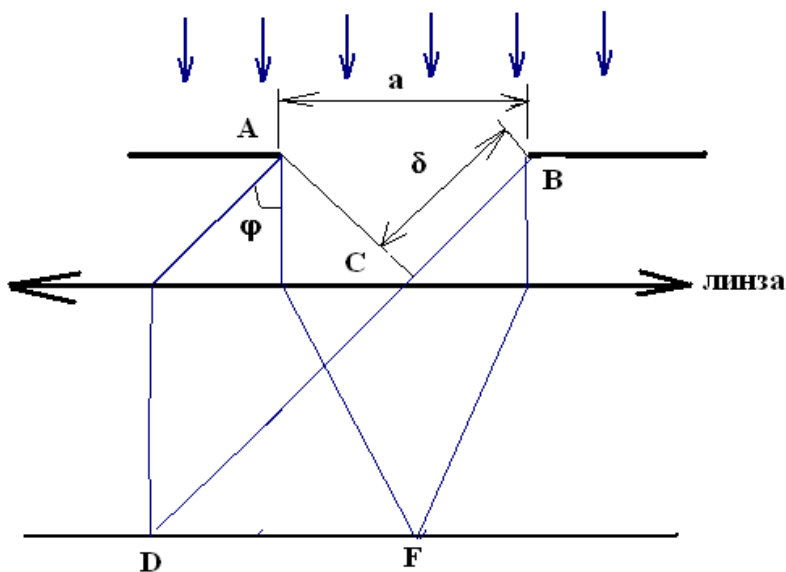


Рис. 2.

Пусть на щель шириной a падает плоская волна. Рассмотрим параллельные лучи, выходящие из щели под углом φ (рис. 2). Они, естественно когерентны. Собирающая линза фокусирует их в одну точку D , лежащую на фокальной плоскости. В качестве собирающей линзы может выступать хрусталик глаза наблюдателя. Линза позволяет интерферировать параллельным лучам (в отличие от дифракции Френеля на отверстии). Воспользуемся методом зон Френеля. Для этого на отрезке BC

отложим отрезки, равные половине длины волны, а через отрезки проведем плоскости параллельные AC . Эти отрезки разделяют щель на зоны Френеля, которые представляют собой полосы, параллельные щели. На щели укладывается k зон Френеля:

$$k = \frac{a \sin \varphi}{\lambda/2}$$

Если k четное ($k=2m$), то зоны гасят друг друга, следовательно условие минимума в точке D : $a \sin \varphi = m\lambda$. Условие максимума света: $a \sin \varphi = (2m+1)\lambda/2$.

При неизменной ширине максимум света для различных длин волн приходится на различные углы. Для белого цвета мы получаем цветной спектр, в центре обязательно белая полоска, так как при $\varphi=0$ усиливаются все длины волн.

Дифракционная решетка.

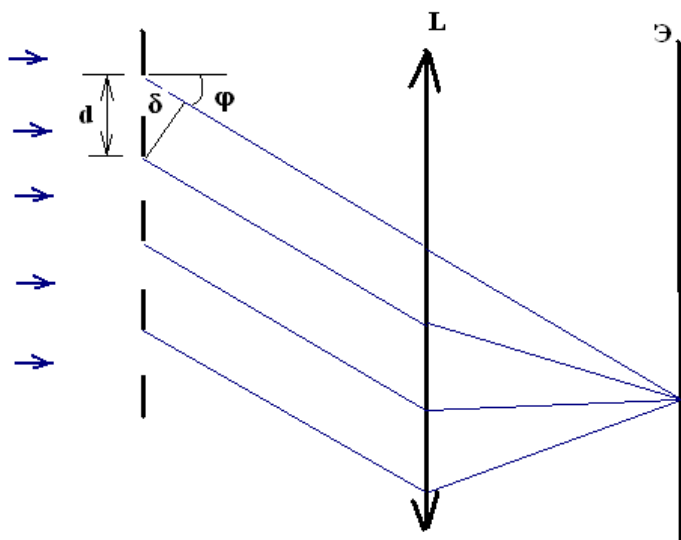


Рис. 3.

Одна щель дает слишком мало света и, чтобы получить более четкую картину применяют *дифракционную решетку*, представляющую собой стеклянную пластинку, на которую нанесен ряд параллельных полос на равном расстоянии друг от друга. Чем больше щелей, тем более четкой будет дифракционная картина. Характеристикой решетки является количество штрихов на 1 мм (N). N может достигать 2000 мм^{-1} . Сумма ширины щели и ширины

непрозрачной части, называется постоянной решетки d , $d=10^{-3}/N$ (м). Разность хода от соседних щелей (рис. 3) $\delta=d\sin\varphi$. Условие максимума $d\sin\varphi=n\lambda$. Для различных длин волн, условия максимума различны, поэтому решетка является спектральным прибором, разлагающая белый свет в спектр. О спектральном анализе мы поговорим в одной из следующих лекций. Разрешение дифракционной решетки, согласно Рэлею,

$$R = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2}$$

λ_1 , λ_2 – длины монохроматических волн, которые можно увидеть в спектре.

Разрешение показывает минимальную разность двух волн, которые можно увидеть в спектре. Две спектральные линии считаются разрешенными, если главный максимум одной волны попадает на ближайший минимум второй. Это выполняется при условии $R=kN$ (произведение количества щелей на порядок спектра).

Кристаллы, вследствие упорядоченного расположения частиц, из которых они состоят, можно считать пространственными дифракционными решетками. Поэтому, изучая дифракцию (например, рентгеновских волн) на них, можно установить точное строение кристаллов.

Дифракция накладывает ограничение на разрешающую способность оптических приборов. Для телескопов две близкие звезды видны отдельно в монохроматическом свете при условии $\Delta\varphi > 1,22\lambda/D$, где D – диаметр объектива телескопа. Разрешающая способность микроскопа $\Delta l = 0,61\lambda/A$, Δl – минимальное расстояние между двумя точками объекта, видимых отдельно, A – числовая апертура объектива $A = n\sin u$. n – показатель преломления среды, находящейся между объективом и предметом, u – половина раствора пучка света, исходящего из объекта и попадающего в объектив. Отсюда главный способ увеличить разрешающую способность микроскопа – уменьшение длины волны (использование пучков электронов).