

§ 27. Дифракция от узкой щели

Во многих оптических приборах используется дифракция света на узких щелях, применяемых в сочетании с линзами.

Рассчитаем действие щели в разных точках экрана, находящегося в фокусе линзы, когда на щель падает плоская волна (рис. 92). Ясно, что при таком расположении щели, линзы и экрана ни о каком резком изображении щели говорить нельзя. Согласно законам геометрической оптики линза должна дать на экране, помещенном в главной фокальной плоскости, не изображение щели, а четкое изображение бесконечно удаленного источника света, освещающего щель (например, точку или линию).

Однако дифракция на щели осложнит картину. Все точки волновой поверхности, совпадающей с плоскостью щели, колеблются с одинаковой фазой. Следовательно, интерференция при излучении вторичных колебаний в разных направлениях будет происходить только за счет разности хода отдельных колебаний, возникающей после прохождения щели.

Кроме того, так как линза не создает дополнительной разности хода (§ 14), то разность хода между отдельными колебаниями будет возникать только до линзы.

Для того чтобы определить разность хода между двумя колебаниями, достаточно из точки на поверхности щели, через которую проходит один луч, опустить перпендикуляр на другой луч (рис. 92). Тогда расстояние по этому второму лучу от плоскости щели до основания перпендикуляра и будет искомой разностью хода. В данном случае зоны Френеля, очевидно, будут иметь вид прямоугольных полосок, параллельных краям щели. Число зон Френеля будет зависеть от ширины щели a , угла наблюдения φ и длины волны λ . Поскольку разность хода между лучами, проходящими через края одной зоны Френеля, равна $\frac{\lambda}{2}$, из геометрических соображений легко получить, что ширина зоны будет равна $\frac{\lambda}{2 \sin \varphi}$ (разность хода — катет, ширина зоны — гипотенуза). Число зон Френеля n , укладывающихся в щели, будет равно:

$$n = a : \frac{\lambda}{2 \sin \varphi} = \frac{2a \sin \varphi}{\lambda}.$$

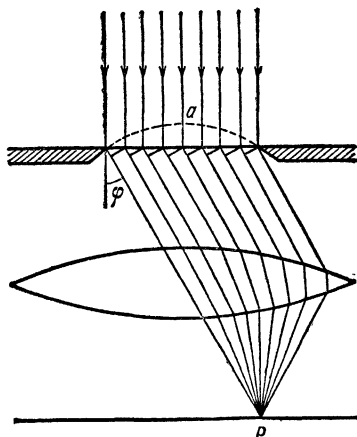


Рис. 92. Дифракция от щели.

Мы видим, что n при постоянных a и λ зависит от угла наблюдения φ . Чем больше угол наблюдения, тем больше число зон Френеля укладывается в щели.

Следует указать, что когда наблюдение ведется с помощью линзы (рис. 92), то при положении экрана в главном фокусе различным углам φ соответствуют отдельные точки экрана. Поэтому мы можем говорить о наблюдении под различными углами, понимая под этим различные точки экрана. Когда n равно *целому четному числу* ($n=2k$, где k — целое число), то все зоны можно разбить на $\frac{n}{2}$ пар; в результате интерференции действие двух соседних зон Френеля равно нулю, а следовательно, равно нулю и действие всей щели. Таким образом, под углами φ , соответствующими четным n , мы будем наблюдать *темноту*. Формула, определяющая эти углы, имеет следующий вид:

$$a \sin \varphi = 2k \frac{\lambda}{2}, \quad (1)$$

где k — целое число.

Когда n равно *целому нечетному числу* ($n=2k+1$), то действие щели эквивалентно действию *одной* зоны Френеля, ибо действие остальных зон взаимно компенсируется. В этом случае мы наблюдаем *максимум света*.

Формула, определяющая направление максимумов света, имеет следующий вид:

$$a \sin \varphi = (2k+1) \frac{\lambda}{2}. \quad (2)$$

Из рис. 92 видно, что смысл формул (1) и (2) заключается в следующем: *если разность хода между крайними лучами, проходящими сквозь щель, равна четному числу полуволн, то мы наблюдаем темноту; если разность хода между этими лучами равна нечетному числу полуволн, то мы наблюдаем максимум света*.

Мы видим, что в пространстве за щелью вместо геометрического силуэта щели получаются полосы, которые легко наблюдать на опыте. По мере удаления от центральной (нулевой) полосы, которой соответствует разность хода нуль, интенсивность отдельных полос быстро убывает (рис. 93). Чем уже щель, тем дальше отстоят друг от друга дифракционные полосы. Благодаря тому что они приходятся на разные углы в зависимости от длины волн λ , картина в белом свете имеет радужную окраску. Полученный результат справедлив и при наблюдении без линзы, когда точка наблюдения P так далека от щели, что все лучи, идущие к ней, можно считать параллельными между собой.

Если взять очень узкий, непрозрачный экран (нить), то получаемая дифракционная картина эквивалентна интерференционной от двух источников, помещенных на расстоянии диаметра нити. Роль этих источников света играют те зоны Френеля, которые непосредст-

венно прилегают к краям нити. Вместо геометрической тени при этом получается система полос, быстро убывающих по интенсивности, со светлой полосой в центре. Так как вся картина значительно

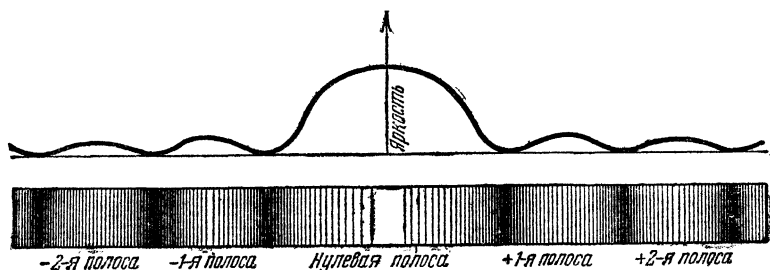


Рис. 93. Дифракционная картина от щели.

превышает размеры геометрического силуэта нити, то дифракционной картиной пользуются для измерения диаметра очень тонких нитей, например для определения толщины волокон шерсти.

§ 28. Дифракционная решетка

Рассмотрим ряд щелей одинаковой ширины a , расположенных на равных расстояниях b друг от друга. Такая последовательность щелей (забор) называется *дифракционной решеткой*. Благодаря дифракции можно рассматривать каждую щель как самостоятельный источник когерентных колебаний и рассчитать получаемую при этом интерференционную картину аналогично тому, как мы это делали в § 22.

Между колебаниями, идущими от двух соседних щелей, при наблюдении под некоторым углом будет постоянная разность хода δ , равная отрезку $BC = (a+b) \sin \varphi$. Таким образом, речь идет о сложении большого числа когерентных колебаний с равными амплитудами и постоянной разностью хода. Собственно говоря, как раз к этому случаю непосредственно относятся и рис. 71 и формула (9), выведенная в § 22.

Действие дифракционной решетки, так же как и интерференционных спектроскопов, сводится к получению интерференции многих колебаний. Поэтому, так же как и там, увеличение числа складываемых колебаний (в данном случае — числа щелей) приводит к увеличению резкости интерференционной картины. Главные максимумы становятся все уже и выше. Разница состоит лишь в том, что теперь излучение каждого источника не равномерно по всем направлениям, а обладает дифракционным распределением, которое было пояснено в предыдущем параграфе. Отсюда следует, что результат расчета интерференции колебаний, идущих от разных