

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

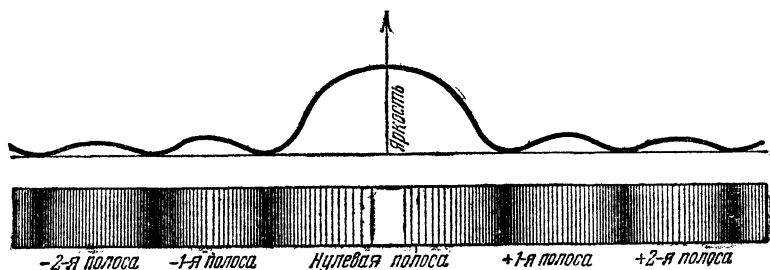


Рис. 93. Дифракционная картина от щели.

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

щелей, нужно будет умножить на функцию, характеризующую распределение интенсивности по углам, создаваемое одной щелью.

Пусть на две щели ширины a с промежутком b между ними падает плоская волна (рис. 94). В направлении φ мы получим амплитуду суммарного колебания, определяемую разностью хода $\delta = BC = (a+b) \sin \varphi$. В зависимости от того, будет ли разность хода δ составлять четное или нечетное число полуволн, в соответствующем направлении φ будет виден свет или темнота.

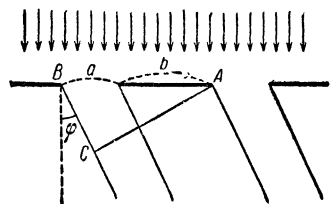


Рис. 94. Дифракция от двух щелей.

Для светлой полосы

$$(a+b) \sin \varphi = 2m_1 \frac{\lambda}{2}. \quad (3)$$

Для темной полосы

$$(a+b) \sin \varphi = (2m_1 + 1) \frac{\lambda}{2}. \quad (4)$$

Для одной щели мы имели условие темной полосы: $a \sin \varphi = k\lambda$. По таким направлениям щели не излучают колебаний.

Выполнение этого второго условия может приводить к исчезновению некоторых полос интерференционной картины, получающейся при сложении колебаний от разных щелей. Например, если $a=b$, то условие для светлых интерференционных полос будет:

$$2a \sin \varphi = m_1 \lambda,$$

или

$$a \sin \varphi = \frac{m_1}{2} \lambda. \quad (5)$$

Если m_1 делится на два, то формула (5) совпадает с условием для темной полосы от отдельной щели, следовательно, полосы, соответствующие $m_1=2, 4, 6, 8$ и т. д., исчезнут. При этом, согласно закону сохранения энергии, в 2 раза возрастет интенсивность нечетных полос, соответствующих $m_1=1, 3, 5, 7$ и т. д.

На рис. 95 изображено изменение дифракционной картины при увеличении числа щелей (показана только половина симметричной картины).

Нужно заметить, что общий световой поток пропорционален числу щелей и, следовательно, для правильного изображения происходящих явлений кривую II рис. 95 следовало бы представить в таком масштабе, чтобы заштрихованная площадь была в два раза больше, чем площадь первой кривой, кривую III — с площадью, в 4 раза большей, и т. д.

Приведем в несколько более конкретной форме, чем в § 22, изображения, показывающие, что резкость картины должна возрастать с увеличением числа щелей.

Для двух щелей условие (4) дает дополнительные темные полосы по сравнению с одной щелью. Мы видим, что при добавлении второй щели полосы становятся более частыми.

Если мы представим себе четыре щели прежней ширины a , находящиеся на равном расстоянии b друг от друга, то легко выяснить, что получится в результате их совместного действия. Условие $(a+b) \sin \varphi = k \frac{\lambda}{2}$ по-прежнему будет иметь место, по крайней

мере, для темных полос, соответствующих нечетным значениям k . В то же время, рассматривая действие четырех щелей попарно, мы получим для них условие, аналогичное действию двух щелей с расстоянием $2b$ между ними и распределением излучения, соответствующим распределению светлых и темных полос двух щелей. Это условие напишется так:

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

Очевидно, темные полосы, удовлетворяющие этому условию, расположены в 2 раза чаще, чем полосы при двух щелях. В то же время интенсивность большинства лежащих между ними светлых полос весьма мала, так как следует еще учесть, что эти полосы являются лишь новыми деталями в распределении излучения двух щелей. На рис. 95 кривая III изображает дифракционную картину, получаемую от решетки с четырьмя щелями.

Продолжая рассуждение, легко видеть, что будет получаться при дальнейшем увеличении количества щелей. Число темных полос будет возрастать. Светлые полосы в тех местах, в которых они получаются при двух щелях, будут делаться уже и одновременно ярче. В то же время промежутки между ними будут становиться все темнее. На рис. 95 кривые IV и V представляют собой дифракционную картину, получающуюся при 8 и 16 щелях. Не следует забывать, что площади этих кривых на самом деле должны быть в 8 и 16 раз больше, чем площадь первой кривой, и, следовательно, яркость главных полос возрастает чрезвычайно сильно.

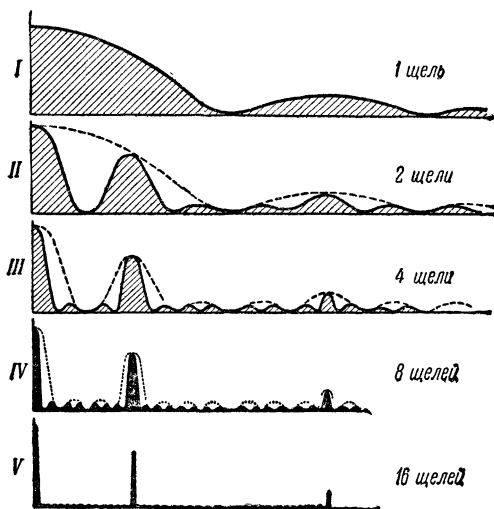


Рис. 95. Дифракция от многих щелей.

Напомним энергетические соображения, уже высказывавшиеся нами в общей форме в § 22.

В каждом из главных максимумов амплитуды отдельных колебаний просто складываются, ибо разность фаз равна целому числу 2π . Поскольку амплитуды колебаний, идущих от отдельных щелей решетки, равны между собой, результирующая амплитуда будет пропорциональна числу щелей. *Интенсивность же главного максимума, пропорциональная квадрату амплитуды, будет пропорциональна квадрату числа щелей.*

С другой стороны, *общее количество энергии, прошедшей сквозь решетку, пропорционально просто числу щелей.* Мы видим, что с возрастанием числа щелей энергия, попадающая в главные максимумы, растет быстрее, чем общий поток энергии, т. е. *с возрастанием числа щелей все большая часть прошедшей энергии приходится на главные максимумы.* Эти общие энергетические соображения, таким образом, приводят нас опять к выводу, что картина должна становиться более резкой с увеличением числа щелей. Самый простой метод для увеличения числа щелей было бы увеличение размеров решетки. Но практически такой путь мало пригоден, и поэтому увеличивают число щелей на 1 мм, уменьшая их ширину. Узкие щели, кроме того, выгоднее, так как чем меньше a [см. (1) § 27], тем больший угол φ соответствует первой темной полосе, т. е. тем более полого идет спад интенсивности в дифракционной картине, даваемой одной щелью (рис. 93).

§ 29. Дифракционный спектр. Решетки Роуланда и эшелон Майкельсона

Дифракционные решетки нашли широкое применение для исследования спектрального состава излучения. До сих пор мы предполагали, что падающий на решетку свет монохроматический, т. е. содержит только одну длину волны. В случае, если решетка освещается светом, имеющим сложный спектр, например белым светом, главные полосы для каждой длины волны получаются в различных местах; в результате получается спектр. Спектры, соответствующие первой, второй и т. д. главным полосам, называют спектрами первого, второго и т. д. порядка. Значит, в спектре первого порядка разность хода между складываемыми колебаниями равна λ , в спектре второго порядка 2λ и т. д. Спектр «нулевого порядка», собственно говоря, не является спектром, так как положение нулевой полосы, определяемое разностью хода нуль, очевидно, не зависит от длины волны.

Мы видели выше, что положение главных светлых полос определяется формулой

$$(a+b) \sin \varphi = m\lambda,$$