

## Работа 4.13

### Изучение дифракции света на узкой щели

**Оборудование:** газовый лазер, узкая щель с микрометрическим винтом, фотоэлемент, гальванометр.

#### Введение

Пусть на достаточно длинную щель (необходимо, чтобы длина щели во много раз была больше ее ширины) падает плоская световая волна (рис. 4.30).

Разместим за щелью собирательную линзу, а в фокальной плоскости линзы — экран. На экране будет наблюдаться дифракционная картина. Если воспользоваться принципом Гюйгенса — Френеля, то можно получить условие распределения интенсивностей в полученной дифракционной картине.

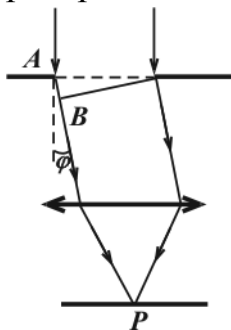


Рис. 4.30

Все точки волновой поверхности, совпадающей с плоскостью щели, колеблются в одинаковой фазе. Таким образом, интерференция при излучении вторичных колебаний в различных направлениях будет происходить только за счет разности хода отдельных колебаний, которая возникает после прохождения щели. Линза дополнительной разности хода не дает. Из рисунка 4.30 видно, что разность хода между двумя соседними лучами будет составлять отрезок  $AB$ . В таком случае зоны Френеля имеют вид прямоугольных полос, параллельных краям щели. Количество зон Френеля будет зависеть от ширины щели  $b$ , угла наблюдения  $\varphi$  и длины волны  $\lambda$ . Поскольку разность хода между лучами, которые проходят через край одной зоны Френеля, равна  $\lambda/2$ , из геометрических рассуждений можно получить, что ширина зоны будет равна  $\lambda/(2\sin\varphi)$  (разность хода — катет, ширина зоны — гипотенуза). Количество зон Френеля, которые укладываются в щели, будет равно

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

Таким образом,  $n$  при неизменных  $b$  и  $\lambda$  зависит от угла наблюдения. При этом следует заметить, что в случае наблюдения при помощи линзы при положении экрана в ее главном фокусе разным углом  $\varphi$  соответствуют отдельные точки экрана. Поэтому можно говорить о наблюдении под разными углами, понимая под этим разные точки экрана. Когда  $n$  равно целому четному числу ( $n = 2k$ ), то все зоны можно разбить на  $n/2$  пар.

В результате интерференции действие двух соседних зон Френеля равно нулю, следовательно, равно нулю и действие всей щели. Таким образом, под

углами  $\varphi$ , которые соответствуют четным  $n$ , мы будем наблюдать минимум света. Формула, определяющая углы, имеет следующий вид:

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

где  $k$  — целое число.

Если  $n$  равно целому нечетному числу ( $n = 2k + 1$ ), то действие щели равносильно действию одной зоны Френеля, так как действие остальных зон взаимно компенсируется. В этом случае наблюдается максимум света, условие максимумов имеет следующий вид:

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

Таким образом, на экране вместо изображения щели мы получим полосы разной интенсивности. При удалении от центральной нулевой полосы интенсивность отдельных полос быстро убывает.

Как видно из формулы (1), расстояние максимумов от центра картины возрастает с уменьшением  $b$ , т. е. с уменьшением ширины щели центральная световая полоса расширяется и занимает все большую область экрана. Если  $b = \lambda$ , то  $\varphi = 90^\circ$ , т. е. первый минимум соответствует углу  $90^\circ$ . Это означает, что он сдвинут на бесконечно отдаленный край экрана. При  $b < \lambda$  минимумов вообще не наблюдается, а имеет место лишь постепенное уменьшение освещенности. Наоборот, при увеличении ширины щели местоположение первых минимумов приближается к центру картины. Центральный максимум становится все более выразительным. При очень широкой щели (сравнительно с  $\lambda$ ) в центре получается четкое изображение линейного источника света.

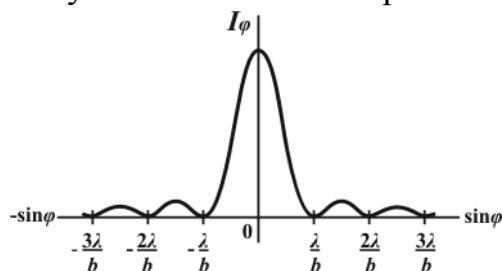


Рис. 4.31

Распределение интенсивности в дифракционном спектре после щели описывается следующим выражением:

$$I_\varphi = I_0 \frac{\sin^2 \left[ \left( \frac{b\pi}{\lambda} \right) \sin \varphi \right]}{\left[ \left( \frac{b\pi}{\lambda} \right) \sin \varphi \right]^2},$$

где  $I_0$  — интенсивность света, распространяемого от щели шириной  $b$  в направлении первого пучка. Графически распределение интенсивностей показано на рисунке 4.31.

Величина вторичных максимумов быстро убывает. Значения интенсивностей главного и следующего максимумов относятся как 1:0,045:0,016 и т. д.

## Порядок выполнения работы

**Задание 1.** Определение распределения интенсивностей в дифракционном спектре.

1. Включите газовый лазер.
2. Установите размер щели  $b = 0,16$  мм.
3. Сфокусируйте световой луч на узкую щель.
4. Для получения распределения интенсивностей дифракционной картины до третьего дифракционного минимума, снимите показания гальванометра для разных местоположений щели относительно спектра, перемещая при помощи микрометрического винта входную щель фотоэлемента с интервалом 0,25 мм (25 делений) параллельно плоскости узкой щели,
5. Установите размеры щели  $b = 0,21$  мм и повторите пп. 3 и 4.
6. Результаты измерений запишите в таблицу:

$x$ , мм				
$I$ , мкА				

7. Постройте графики зависимости фототока ( $I$ ) от местоположения входной щели фотоэлемента ( $x$ ) для разных размеров щели.
8. Вычислите площади, описанные кривыми интенсивности 0-го, 1-го, 2-го максимумов.
9. Вычислите отношение этих площадей и сравните с теоретическими данными отношений интенсивностей в вакууме.
10. Определите длину волны излучения ( $\lambda$ ) по формуле (1), считая, что для первого дифракционного минимума  $\sin\varphi \approx \operatorname{tg}\varphi$ .

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ УИР

Исследуйте распределение интенсивности в дифракционном спектре при наклонном падении плоской световой волны на щель.



## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. При каких условиях наблюдаются минимумы интенсивности при дифракции на узкой щели?
2. Запишите условие минимумов дифракции на узкой щели.
3. При каком количестве зон Френеля, расположенных на ширине щели, получается максимум интенсивности света?
4. Запишите условие максимумов дифракции на узкой щели.
5. Как изменяется интенсивность света в отдельных максимумах?

6.Что можно наблюдать на экране при дифракции на узкой щели в параллельных лучах, если ширина щели равна длине волны света?

7.Как изменяется число дифракционных минимумов при уменьшении ширины щели?

8.Что будет наблюдаться на экране, если ширина щели меньше длины волны?

9.Объясните назначение линзы в схеме для наблюдения дифракции на одной узкой щели.

10.Что будет наблюдаться на экране, если излучение источника света немонахроматическое?