

## Работа 4.14

### Изучение дифракционной решетки

**Оборудование:** источник света, гониометр, прозрачная дифракционная решетка, отражательная дифракционная решетка.

#### Введение

Рассмотрим ряд щелей одинаковой ширины  $b$ , расположенных на равных расстояниях друг от друга. Такая последовательность щелей называется *дифракционной решеткой*. Благодаря дифракции можно рассматривать каждую щель как самостоятельный источник когерентных колебаний и рассчитывать получаемую при этом интерференционную картину. Иначе говоря, явление теперь усложняется тем, что кроме дифракции от каждой щели в отдельности происходит еще сложение колебаний в световых пучках, которые попадают в фокальную плоскость линзы от каждой щели.

Рассмотрение действия дифракционной решетки показывает, что при большом числе щелей свет, прошедший через решетку, собирается в отдельных резко очерченных участках экрана. Положение максимумов этих участков определяется формулой:

$$d \sin \varphi = k \lambda, \quad d = a + b, \quad (k = 0, 1, 2, \dots), \quad (1)$$

где  $b$  — ширина щели,  $a$  — ширина промежутка между щелями.

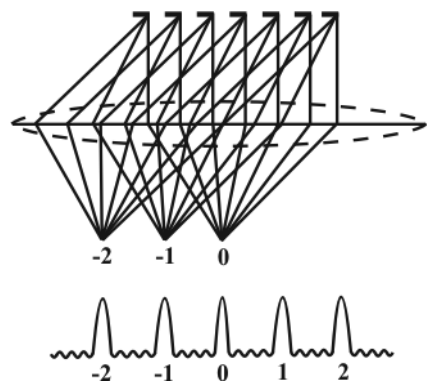


Рис. 4.32

Обычно  $d$  называют *постоянной дифракционной решетки*, а соотношение (1) — *уравнением дифракционной решетки*. Формула (1) определяет положение максимумов интенсивности, называемых *главными*. Число  $k$  определяет так называемый *порядок главного максимума*. Максимум нулевого порядка один, максимумов первого, второго и т. д. порядков бывает по два. Количество наблюдаемых главных максимумов определяется равенством  $k = d/\lambda$ , так как модуль  $\sin \varphi$  не может превышать единицу. Произведение  $Nd$  определяет

длину дифракционной решетки. Формула (1) также показывает, что положение главных максимумов зависит от длины волны  $\lambda$ . Другими словами, решетка представляет собой спектральный прибор (рис. 4.32).

Чем меньше  $\lambda$ , тем меньшему значению угла соответствует положение максимума. Таким образом, белый свет разлагается в спектр так, что внутренним краем его являются фиолетовые, а наружным — красные лучи. Значение  $k = 0$

определяет максимум по направлению  $\varphi = 0$  для всех значений  $\lambda$ . Поэтому в этом направлении собираются лучи всех длин волн, т. е. нулевой спектр представляет белое изображение источника света. Спектры 1-го, 2-го и т. д. порядков располагаются по обе стороны от нулевого. Расстояния между соответствующими линиями спектров возрастают по мере увеличения порядка спектров. В отличие от стеклянной призмы, отклоняющей при преломлении сильнее фиолетовые лучи, дифракционная решетка, наоборот, сильнее отклоняет красные лучи.

В случае, если параллельный пучок падает на решетку под углом  $\alpha$ , то для вычисления положений главных максимумов поступают так же. Полная оптическая разность хода для двух соответствующих лучей будет

$$\Delta = d \sin \varphi - d \sin \alpha,$$

где  $\alpha$  — угол падения лучей на дифракционную решетку,  $\varphi$  — угол дифракции.

Условие образования главных максимумов:

$$d(\sin \varphi - \sin \alpha) = k\lambda. \quad (2)$$

Основными характеристиками любого спектрального прибора являются его дисперсия и разрешающая способность. *Дисперсия* определяет угловое или линейное расстояние между двумя спектральными линиями, отличающимися по длине волны на единицу. *Угловой дисперсией* называется величина

$$D = \frac{d\varphi}{d\lambda},$$

где  $d\varphi$  — угловое расстояние между спектральными линиями, отличающимися по длине волны на  $d\lambda$ .

*Разрешающая способность* определяет минимальную разность длин волн  $\Delta\lambda$ , при которой две линии воспринимаются на спектре раздельно. Разрешающую способность можно рассчитать по следующей формуле:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = kN,$$

где  $k$  — порядок спектра,  $N$  — общее число штрихов дифракционной решетки,  $\Delta\lambda$  — разность длин волн, которые видны раздельно.

Дифракционные решетки подразделяются на *прозрачные* и *отражательные*. Отражательные решетки имеют преимущество перед прозрачными, так как они позволяют исследовать значительно более широкий диапазон спектра электромагнитных волн. Возможности прозрачных решеток в этом смысле ограничены из-за селективного поглощения в стекле. Отражательная решетка представляет собой совокупность большого числа расположенных на равных расстояниях друг от друга штрихов, нанесенных на зеркальную поверхность. Такая структура обладает периодически изменяющимся коэффициентом отражения.

## Порядок выполнения работы

**Задание 1.** Определение длины волны.

1. Включите источник света.
2. Установите на столике гониометра прозрачную дифракционную решетку таким образом, чтобы ее штрихи были параллельны оси столика.
3. Определите угол дифракции  $\varphi$ , под которым наблюдается красная линия в спектре 1-го порядка. Для этого совместите визирную линию окуляра зрительной трубы гониометра с серединой правой красной линии 1-го порядка спектра и сделайте отсчет угла. Такое же измерение сделайте для левой линии 1-го порядка. Сумма этих отсчетов дает удвоенное значение угла  $\varphi$ .
4. Произведите аналогичные измерения для 2-го порядка.
5. Пользуясь равенством (1), определите длину волны красного участка спектра для  $k = 1$  и  $k = 2$ .
6. Аналогичные измерения повторите для зеленых и фиолетовых линий.
7. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу:

№ п/п	$\varphi$	k	d, м	$\lambda$ , м

**Задание 2.** Определение постоянной отражательной решетки.

1. Установите на столик гониометра вместо прозрачной решетки отражательную так, чтобы ее плоскость была параллельна падающему световому потоку.
2. Поверните столик с решеткой на небольшой угол так, чтобы лучи, выходящие из коллиматора, падали на решетку под некоторым углом  $\alpha$ .

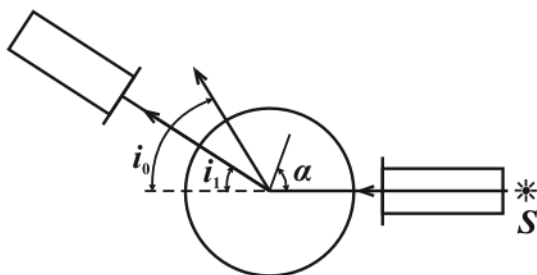


Рис. 4.33

3. Совместите визирную линию окуляра с серединой одного из нулевых максимумов и сделайте отсчет по лимбу ( $i_0$ ).
4. Совместите визирную линию окуляра с серединой красной линии спектра 1-го порядка, соответствующего выбранному нулевому максимуму и сделайте отсчет по лимбу ( $i_1$ ).
5. Аналогичные измерения повторите для зеленой и фиолетовой линий спектра 1-го порядка.
6. Рассчитайте по полученным результатам угол падения  $\alpha$  и угол дифракции  $\varphi_k$  в 1-ом порядке для разных линий спектра. Для этого следует воспользоваться формулами:

$$\alpha = 90^\circ - \frac{i_0}{2}, \quad \varphi_k = \alpha + (i_0 - i_1),$$

которые можно получить с помощью рисунка 4.33.

7. Зная длины волн различных линий спектра, пользуясь формулой (2), определите постоянную отражательной решетки.

8. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу:

№ п/п	$\alpha$	$i_0$	$i_1$	$k$	$\varphi_k$	$\lambda$ , м	$d$ , м
-------	----------	-------	-------	-----	-------------	---------------	---------

9. Вычислите абсолютную и относительную погрешности измерения длины волны  $\lambda$ .

### ЗАДАНИЕ ДЛЯ УИР

Проделайте опыт с дифракцией лучей света, падающих под углом, близким к  $90^\circ$ , на миллиметровую линейку, и опишите условия, при которых удастся наблюдать явление.



### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется дифракционной решеткой?
2. Какие бывают дифракционные решетки?
3. Получите соотношение, при котором возникают главные дифракционные максимумы.
4. По каким характеристикам дифракционную решетку называют спектральным прибором?
5. Чем отличается дифракционная решетка как спектральный прибор от стеклянной призмы?
6. Как изменяются дифракционные спектры при изменении постоянной решетки?
7. От чего зависит максимальный порядок спектра, который можно наблюдать с данной решеткой?
8. Что называется угловой дисперсией решетки?
9. Что такое разрешающая способность дифракционной решетки?
10. Какими преимуществами обладают дифракционные решетки с профилированным штрихом?