

Изучение дифракционной решетки

Цель работы: Определение характеристик дифракционной решетки.

Дифракционная решетка – оптический прибор, представляющий собой совокупность большого числа нанесенных на оптическую поверхность параллельных штрихов одинаковой формы, разделенных щелями. Штрихи повторяются через одинаковый промежуток d , называемый периодом решетки. Основное свойство дифракционной решетки – способность разлагать падающий на нее свет в спектр.

При падении света на дифракционную решетку происходит интерференция волн, исходящих от разных щелей. Если свет длиной волны λ падает на решетку перпендикулярно ее поверхности, то направления на максимумы определяются уравнением:

$$d \sin \varphi_k = k \lambda, \quad (1)$$

где φ_k – угол между перпендикуляром к поверхности решетки и направлением на k -тый максимум (угол дифракции), $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$. Монохроматические пучки, относящиеся к различным значениям k , называются порядками спектра, а даваемые ими изображения входной щели – спектральными линиями.

В 1 мм ширины дифракционной решетки, предназначенной для использования в инфракрасной области, может содержаться от 0,3 до 300 штрихов. Максимальное же количество штрихов в 1 мм решетки составляет 2400-3600.

Основными спектральными характеристиками дифракционной решетки являются:

- период,
- угловая дисперсия,
- разрешающая способность.

Угловая дисперсия дифракционной решетки:

$$D = \frac{\Delta \varphi}{\Delta \lambda}, \quad (2)$$

где $\Delta \varphi$ – угол между двумя близкими линиями в спектре,

$\Delta \lambda$ - разность длин волн этих линий.

Единица измерения угловой дисперсии - *радиан/нм*.

Разрешающая способность дифракционной решетки:

$$R = k N, \quad (3)$$

где N – количество штрихов решетки.

Основой экспериментальной установки является гониометр – прибор для измерения углов между гранями кристаллов, оптических призм (рис. 1).

Основные узлы и детали экспериментальной установки

- 1 – Коллиматор, предназначенный для освещения призмы потоком параллельных световых лучей. На входном торце коллиматора установлена регулируемая щель.
- 2 – Зрительная труба для рассматривания щели. Слева от окуляра имеется винт регулировки четкости изображения.
- 3 – Угломерный круг с парой нониусов и окулярами для увеличения изображений отсчетных шкал. В процессе выполнения работы все отсчеты надо снимать всегда с одного и того же нониуса. Эти отсчеты и вычисленные по ним значения углов следует фиксировать в таблице.
- 4 – Дифракционная решетка в оправе.
- 5 – Осветитель с гелиевой лампой.
- 6 – Блок питания лампы.

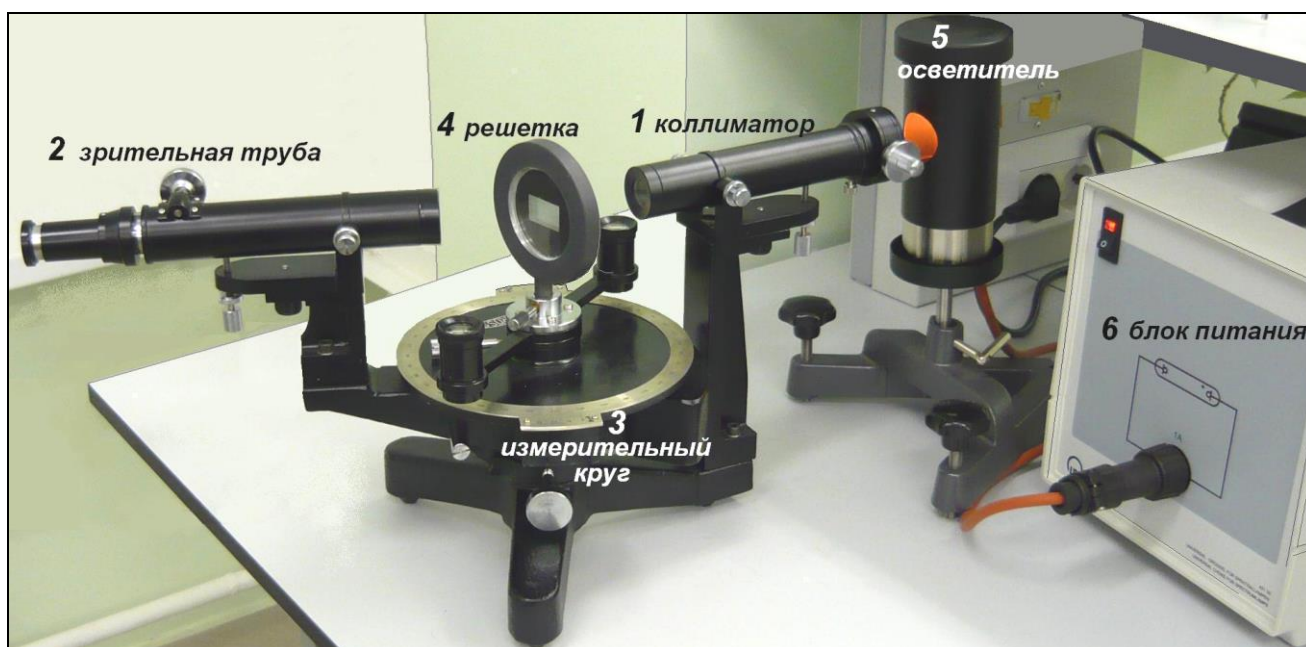


Рис. 1. Гониометр с дифракционной решеткой

Если перед объективом зрительной трубы поставить белую бумагу, то в окуляре можно увидеть горизонтальную и вертикальную линии прицела, используемого для точного наведения зрительной трубы на изображение щели.

Измерительный механизм угломерного круга подобен механизму штангенциркуля и состоит из основной шкалы и нониуса (верньера). Основная шкала проградуирована в градусах, причем цена ее деления составляет $0,5^{\circ}$, или $30'$. По вспомогательной шкале нониуса отсчитывают доли делений основной шкалы с точностью $1'$.

На рис. 2 для примера представлено два положения одного нониуса, зафиксированные при измерении угла поворота зрительной трубы. Отсчеты, снятые по этим положениям, составляют соответственно $307^{\circ}14'$ и $181^{\circ}45'$.

Тогда угол поворота зрительной трубы (против часовой стрелки) и жестко связанного с ней нониуса, равен разности этих отсчетов, а именно $125^{\circ} 29'$.

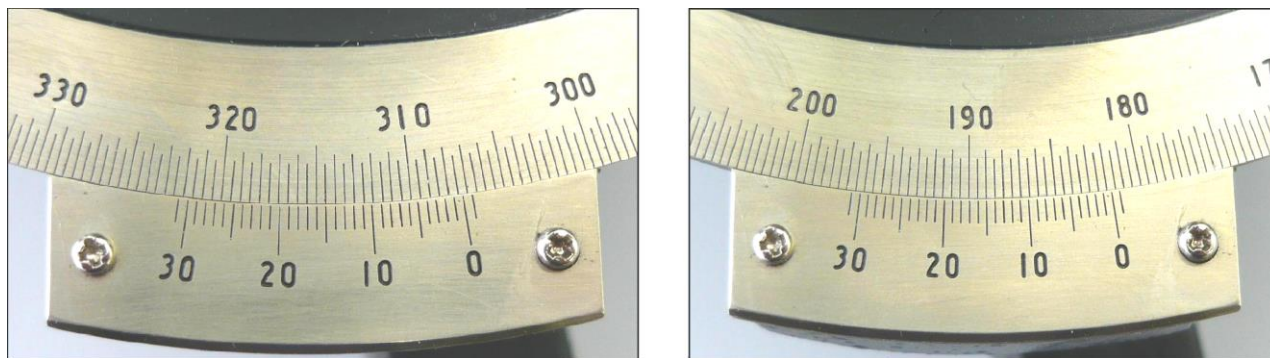


Рис. 2. Измерительная шкала гониометра

До выполнения упражнений необходимо зрительно ознакомиться со всеми узлами и деталями гониометра, понять назначение всех его регулировочных и стопорных винтов. Нужно убедиться в том, что продольные оси коллиматора и зрительной трубы находятся в одной горизонтальной плоскости и проходят через ось поворотного круга.

Упражнение 1 «Определение периода дифракционной решетки»

1. Включить гелиевую лампу и установить ее выходное окно близ щели коллиматора, раскрытой до ширины 0,5 - 1 мм. Изображение этой щели наблюдать в окуляре зрительной трубы в виде четко очерченной вертикальной оранжевой полоски, причем вертикальная линия прицела должна проходить по середине этой полоски. Для настройки четкости изображения использовать винт регулировки окуляра.

2. Установить дифракционную решетку в гониометре так, чтобы световой поток от коллиматора падал перпендикулярно ее поверхности. Поворачивая зрительную трубу, пронаблюдать в окуляре (рис. 3) спектры различных порядков. Идентифицировать наблюдаемые линии и порядки спектров по рис. 4.

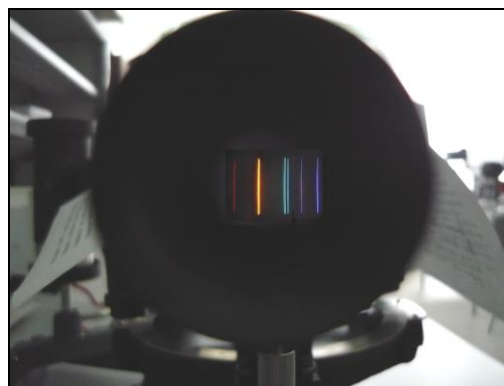


Рис. 3. Вид спектральных линий в окуляре зрительной трубы

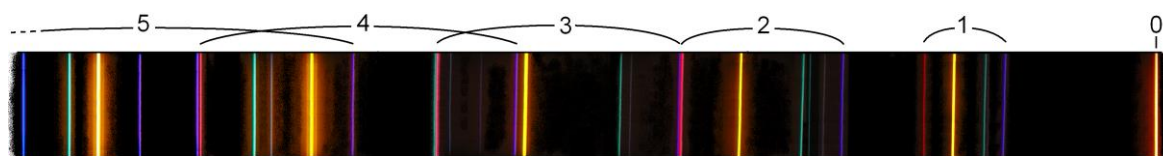


Рис. 4. Спектральные линии излучения гелиевой лампы ($k = 0, 1, 2, 3, 4, 5$)

3. Вертикальную линию прицела навести на нулевой максимум. Отсчет на левом нониусе измерительного круга при этом должен быть равен $0^{\circ} 00'$.

4. Измерить угол дифракции для желтой линии в спектре произвольно выбранного порядка. Полагая, что длина волны излучаемого гелием желтого света равна 587,6 нм, по формуле 1 вычислить период дифракционной решетки.

5. Определить количество штрихов, содержащихся в 1 мм решетки.

Упражнение 2. Определение диапазонов углов дифракции в спектрах различных порядков

1. Измерить углы дифракции φ для фиолетовой, красной, желтой и двух близко отстоящих друг от друга зеленых линий в спектрах нескольких порядков. Результаты измерений представить в форме таблицы.

2. Табличные значения из пункта 1 отобразить в виде диаграммы распределения линий излучения в спектрах различных порядков в зависимости от углов дифракции (рис. 5). Спектр 1 порядка здесь отображен в качестве образца.

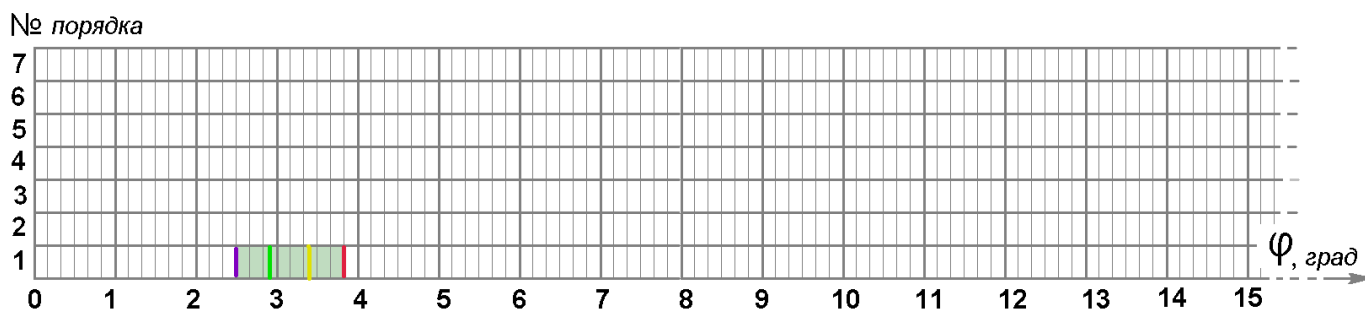


Рис. 5

Упражнение 3 Определение длин волн наблюдаемого излучения

По периоду решетки, найденному в упражнении 1, и по измеренным в упражнении 2 углам дифракции для фиолетовой, красной и двух зеленых линий в спектре одного произвольно выбранного порядка вычислить (по формуле 1) соответствующие этим цветам длины волн: $\lambda_{\text{ф}}$, $\lambda_{\text{к}}$, $\lambda_{\text{з1}}$, $\lambda_{\text{з2}}$.

Упражнение 4 Определение угловой дисперсии и разрешающей способности дифракционной решетки

1. По данным упражнения 2 определить разность углов дифракции $\Delta\varphi$, выраженную в радианах, и соответствующую разность длин волн $\Delta\lambda$ для пары зеленых линий в спектре одного произвольно выбранного порядка.

По формуле 2 вычислить величину угловой дисперсии решетки.

2. Измерить с помощью линейки ширину дифракционной решетки. Используя значение периода решетки, вычислить количество штрихов в ней. Определить разрешающую способность решетки в спектрах 1, 2, 3, 4 и 5 порядков, воспользовавшись формулой 3.

Вопросы к собеседованию с преподавателем

1. Какими параметрами характеризуются дифракционные решетки?
2. Где и как используются дифракционные решетки?
3. Почему при наблюдении светящейся вдали лампочки сквозь полупрозрачную ткань или сквозь птичье перо видно много лампочек? Как расположены эти изображения по отношению к нитям ткани, волоскам пера?
4. Почему диски CD, DVD выглядят радужно окрашенными?
5. Почему в спектре одного порядка красные лучи отклонены дифракционной решеткой больше, чем фиолетовые?
6. Почему в спектрах видимого света отсутствует коричневый цвет? Почему нельзя сопоставить определенную длину волны белому цвету, черному цвету?
7. Каковы преимущества фазовых дифракционных решеток в сравнении с амплитудными дифракционными решетками?