

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3.04

ИЗУЧЕНИЕ СПЕКТРА ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ С ПОМОЩЬЮ ГОНИОМЕТРА

1. Цель работы

Целью работы является изучение явления дифракции и ознакомление с методом определения длины волны света с помощью гониометра.

2. Краткая теория

Дифракцией называется совокупность явлений, наблюдаемых при распространении волн в среде с резкими неоднородностями. Дифракция, в частности, приводит к огибанию волнами препятствий и проникновению волн в область геометрической тени. Дифракция выражена наиболее сильно при длине волны, сравнимой с размерами препятствий. Явление дифракции сопровождается явлением интерференции.

Теория дифракции имеет большое значение в области геоакустики, сейсморазведки и геофизики. Это связано с необходимостью выявления в массиве горных пород различных структурных неоднородностей, имеющих самую различную форму, обладающих различными свойствами и залегающих, подчас, на несопоставимых глубинах.

В данной работе изучается дифракция световых волн на примере дифракционной решетки. Дифракционная решетка представляет собой стеклянную или металлическую пластинку, на которой с помощью делительной машины нанесены параллельные штрихи. Прочерченные места являются практически непрозрачными. Неповрежденные места являются очень узкими дифракционными щелями. Обычно применяемые в учебных лабораториях решетки являются отпечатками таких графированных решеток, они изготавливаются из специальной пластмассы. Дифракционные решетки, применяемые для работы в раз-

ных областях спектра, отличаются частотой и профилем штрихов, размерами, формой.

Рассмотрим простейшую прозрачную решетку. Ширину щели обозначим через a , ширину непрозрачного промежутка между щелями – через b (рис.1). Величину

$$d = a + b \quad (3.04.1)$$

называют периодом решетки или постоянной решетки, а величина

$$N = \frac{1}{d} \quad (3.04.2)$$

представляет собой число щелей, приходящихся на единицу длины решетки.

d и N – основные параметры дифракционной решетки.

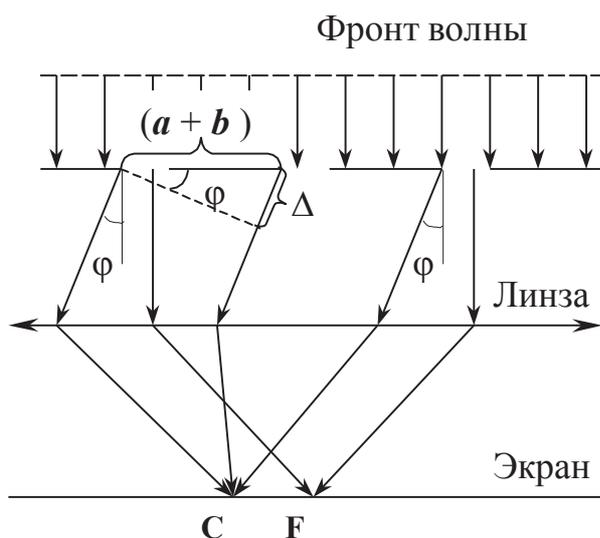


Рис. 4.1. Дифракция на дифракционной решетке

Пусть на решетку падает нормально параллельный пучок монохроматического света. Каждая точка прозрачной щели в соответствии с принципом Гюйгенса является источником вторичных световых волн. Поэтому от каждой щели свет будет распространяться во всех направлениях.

Рассмотрим лучи, отклоняющиеся после прохождения решетки от нормали на угол ϕ (угол дифракции). На пути лучей помещается линза, которая собирает этот пучок параллельных лучей в своей фокальной плоскости. Лучи, исходящие от разных щелей будут интерферировать между собой и, в зависимости от оптической разности хода, усиливать или ослаблять друг друга. Как видно из рис. 4.1, разность хода между лучами, исходящими из соответственных точек двух соседних щелей, равна

$$\Delta = d \sin \varphi. \quad (3.04.3)$$

Каждая пара таких лучей имеет одинаковую разность хода. Лучи интерферируют в фокальной плоскости линзы L . Результат интерференции зависит от величины Δ . Если

$$\Delta = k\lambda, \quad (k = 0; \pm 1; \pm 2; \dots), \quad (3.04.4)$$

то в результате интерференции получаются максимумы интенсивности.

Целое число k называют порядком главного максимума или порядком спектра, λ – длина световой волны. С учетом формулы (3.04.3) условие максимума можно записать следующим образом:

$$d \sin \varphi = m\lambda. \quad (3.04.5)$$

Возникающая таким образом дифракционная картина будет представлять собой центральный яркий максимум, соответствующий углу дифракции $\varphi = 0$, с обеих сторон которого находятся максимумы 1 – го, 2 – го и т.д. порядков. Интенсивность максимума убывает с увеличением его порядка.

Наибольшее число максимумов, которое можно получить при помощи данной решетки, определяется из соотношения

$$k_{\max} \leq \frac{d}{\lambda}. \quad (3.04.6)$$

При освещении дифракционной решетки белым светом все максимумы, кроме центрального, разлагаются в спектр. Фиолетовый конец каждого спектра обращен к центру дифракционной картины (к максимуму нулевого порядка). Можно отметить, что в то время как стеклянная призма сильнее всего отклоняет фиолетовые лучи, дифракционная решетка, напротив, сильнее отклоняет красные лучи.

Таким образом, дифракционная решетка может служить в качестве спектрального прибора, предназначенного для разложения света в спектр и измерения длин волн. Дифракционная решетка широко используется для исследования спектрального состава света, т.е. для определения длины волны и интен-

сивностей всех его монохроматических компонент. Приборы, позволяющие проводить такие исследования, называются дифракционными спектрографами, если спектр регистрируется с помощью фотопластинки, или дифракционными спектро스코пами, если наблюдение ведется визуально.

При работе с дифракционной решеткой основной задачей является точное измерение углов, на которых наблюдаются главные максимумы для различных длин волн. В настоящей работе для измерения углов используется гониометр **ГС-5**.

3. Выполнение работы.

3.1. Необходимые приборы: гониометр **ГС-5**, дифракционная решетка.

3.2. Краткое описание гониометра. Гониометр предназначен для измерения углов оптическим методом. Он состоит из следующих частей: зрительной трубы **ЗТ**, коллиматора **КЛ**, основания с осевой системой и столика **СТ** (рис.4.2).

Зрительная труба, вращаясь относительно лимба, может точно устанавливаться при помощи микрометрического винта **МЗ** (при зажатом винте **З**) на определенном делении лимба. Установка столика осуществляется зажимным винтом **1** и микрометрическим винтом **М1**.

Лучи от лампы **Л**, проходя через щель **S** и трубу коллиматора, становятся параллельными оси коллиматора. Фокусировка зрительной и коллиматорной труб производится маховичками **6** и **7**. (Маховичок **7** находится за коллиматором и на рис.4.2 не виден).

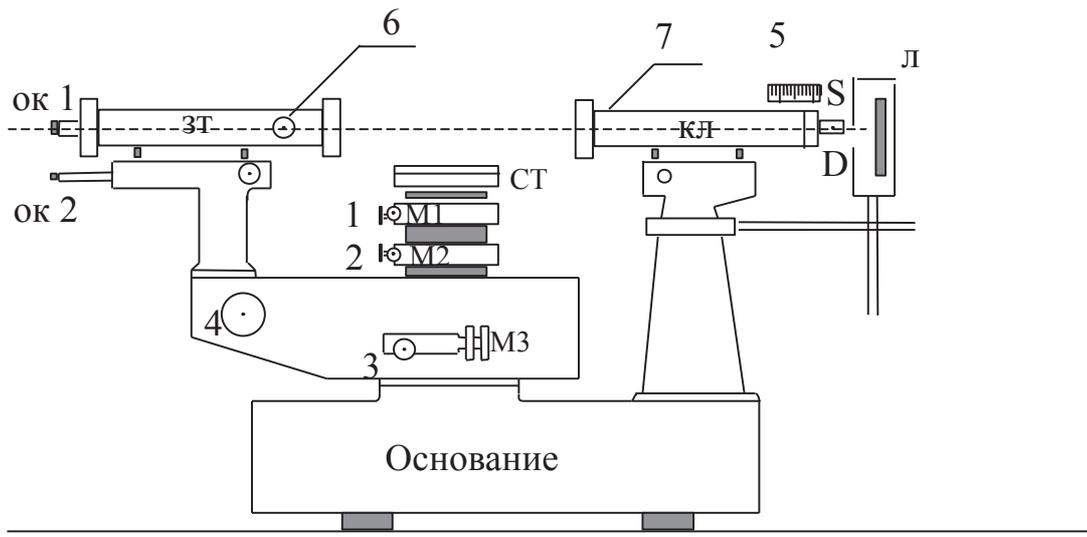


Рис. 4.2. Устройство гониометра

Основными частями отсчетного оптического устройства являются прозрачный стеклянный лимб и оптический микроскоп **ОК2**. Поле зрения оптического микроскопа показано на рис. 4.3 (масштаб увеличен).

В левом окне (рис.4.3, *а*) видны изображения делений диаметрально противоположных участков лимба и вертикальный неподвижный индекс *N*; в правом окне (рис. 4.3, *б*) видны деления оптического микрометра с горизонтальным индексом *E*.

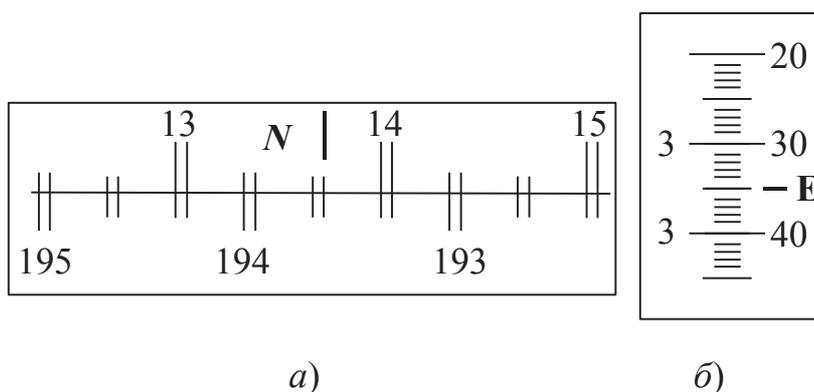


Рис. 4.3. Изображение шкал микроскопа

Для отсчета положения зрительной трубы по лимбу необходимо повернуть маховичок 4 так, чтобы изображения верхних и нижних двойных делений

лимба в левом окне совместились. При этом число градусов будет равно ближайшей верхней цифре слева от индекса N ; число десятков минут равно количеству интервалов, заключенных между этой цифрой и нижней цифрой, отличающейся от верхней на 180° ; единицы минут отсчитываются по шкале микрометра в правом окне по левому ряду чисел, а десятки и единицы секунд – по правому ряду до деления, совпадающего с горизонтальным индексом E .

Положение, показанное на рис. 4.3 *а, б*, соответствует отсчету $13^\circ 43' 35''$. Для освещения шкалы лимба внутри основания прибора находится лампочка подсветки.

3.3 Подготовка гониометра к измерениям.

Включают лампу L и подсветку лимба тумблером **ВКЛ**, находящемся с левой стороны основания прибора.

Поворачивая зрительную трубу, совмещают оптические оси трубы и коллиматора. Закрепляют кронштейн винтом 3.

Наблюдая в окуляр **ОК1**, вращением маховичка 6 добиваются резкого изображения щели.

Вращением кольца оправы окуляра **ОК1** устанавливают резкость изображения нитей визира. Винтом **М3** точно совмещают центр перекрестия нитей с серединой изображения щели.

Наблюдая в окуляр **ОК2**, вращают маховичок 4 до тех пор, пока в левом окне поля зрения (см. рис.4.3, *а*) деления обеих шкал не совместятся. Берут отсчет φ_0 по лимбу, который соответствует "нулевому" положению трубы.

3.4 Порядок проведения измерений.

Устанавливают на столик гониометра дифракционную решетку, располагая ее штрихи параллельно щели S , а плоскость – перпендикулярно оптической оси коллиматора.

Наблюдая в окуляр **ОК2**, проверяют по лимбу отсчет φ_0 , который теперь будет определять положение нулевого дифракционного максимума ($k = 0$).

Освободив кронштейн зажимным винтом 3, медленно поворачивают трубу влево до тех пор, пока перекрестие нитей визира не совместится с серединой фиолетовой части спектра 1-го порядка. Отрегулировав резкость изображения, наводят перекрестие нитей на середину фиолетовой области при зажатом винте 3.

Наблюдая в окуляр **ОК2**, маховичком 4 совмещают деления лимба и производят отсчет $\varphi_{1\text{лев}}$, соответствующий положению фиолетовой части спектра с левой стороны от нулевого максимума.

Продолжая перемещать трубу в ту же сторону, аналогично производят отсчеты, определяющие положение зеленой и красной частей спектра 1-го порядка, а затем в спектре 2-го порядка.

Таким же образом производят отсчеты $\varphi_{1\text{пр}}$ и $\varphi_{2\text{пр}}$, определяющие положение фиолетовой, зеленой и красной частей спектров 1-го и 2-го порядков с правой стороны от нулевого максимума. Данные отсчетов записывают в таблицу 4.1.

После взятия всех отсчетов выключают осветительную лампу и лампу подсветки. Для каждой части спектра вычисляют полуразность отсчетов, взятых влево и вправо от нулевого максимума. Эта полуразность дает значение угла φ_k , по которому рассчитывают длину волны определенной части спектра по формуле

$$\lambda_k = \frac{d \sin \varphi_k}{k}. \quad (3.04.7)$$

Вычислив длину волны одной и той же области в спектрах 1-го и 2-го порядков, находят ее среднее значение

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}. \quad (3.04.8)$$

Таблица 4.1

Результаты измерений

Отсчеты положения различных частей спектра	Положение нулевого спектра $\varphi_0 =$								
	Середина фиолетовой части спектра				Середина зеленой части спектра			Середина красной части спектра	
	1-го порядка	2-го порядка	1-го порядка	2-го порядка	1-го порядка	2-го порядка	1-го порядка	2-го порядка	
Влево $\varphi_{1\text{лев}}$									
Вправо $\varphi_{2\text{прав}}$									
$\varphi_k = \frac{\varphi_{\text{лев}} - \varphi_{\text{прав}}}{2}$									
$\sin \varphi_k$									
$\lambda_k = \frac{d \sin \varphi_k}{k}, \text{ м}$									
$\bar{\lambda} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}, \text{ м}$									
$\Delta\lambda = \frac{ \lambda_1 - \lambda_2 }{2}, \text{ м}$									
Окончательный результат									

За величину средней абсолютной погрешности можно принять

$$\Delta\bar{\lambda} = \frac{|\lambda_1 - \lambda_2|}{2}. \quad (3.04.9)$$

Окончательный результат для каждой длины волны запишите в виде:

$$\lambda = \bar{\lambda} \pm \Delta\bar{\lambda}. \quad (3.04.10)$$

Длину волны следует выразить в микрометрах или нанометрах.

3.5 Примечания

Значение периода дифракционной решетки $d = 0,002$ см.

Дифракционную решетку можно брать только за подставку.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ

1. В чем состоит явление дифракции света?
2. Что представляет собой дифракционная решетка?
3. Что называется периодом дифракционной решетки?
4. Объясните, как происходит процесс дифракции на решетке.
5. Запишите условие главных дифракционных максимумов.
6. Каким образом можно определить максимальное число максимумов, которое можно получить с помощью дифракционной решетки?
7. Чем отличается спектр, получаемый с помощью дифракционной решетки от получаемого с помощью призмы?
8. Расскажите порядок выполнения работы.
9. Задача. На дифракционную решетку, имеющую 800 штрихов на 1 мм, падает параллельный пучок белого света. Какова разность углов отклонения конца первого и начала второго спектров? Сделать чертеж. Принять длину волны красного света равной 760 нм, фиолетового – 400 нм.

Ответ: $2^{\circ}20'$

10. Задача. На дифракционную решетку, содержащую 100 штрихов на 1 мм, падает нормально монохроматический свет. Зрительная труба спектрометра наведена на максимум третьего порядка. Чтобы навести ее на другой максимум того же порядка, ее нужно повернуть на угол 20° . Определить длину световой волны. Сделать чертеж.

Ответ: 580 нм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 2. – М.: Наука, 1978. – 480 с.
2. Кортнев А. В., Рублев Ю. В., Куценко А. Н. Практикум по физике. – М.: Высшая школа, 1965. – 568 с.
3. Ямщиков В. С. Волновые процессы в массиве горных пород. – М.: Недра, 1984. – 271 с.