

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3.03

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ С ПОМОЩЬЮ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ

1. Цель работы

Целью данной работы является изучение явления дифракции света на примере дифракционной решетки и способа измерения длины световой волны с помощью дифракционной решетки.

3. 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 в область геометрической тени. Дифракция становится выраженной наиболее сильно, если длина волны сравнима с размерами препятствий. Также дифракция наблюдается в случае, когда источник волн и точка наблюдения находятся на большом расстоянии от препятствия. Явление дифракции сопровождается явлением интерференции.

Теория дифракции имеет большое значение в области геоакустики, сейсморазведки и геофизики. Это связано с необходимостью выявления в массиве пород различных неоднородностей, имеющих самую различную форму, обладающих различными свойствами и залегающими подчас на несопоставимых глубинах. Такими неоднородностями могут быть горные выработки, поверхности излома или разрыва пластов. Дифракцию волн необходимо учитывать при экранировании массива или инженерных сооружений от действия сейсмозрывных волн. С помощью явления дифракции исследуют процессы распространения волн в трещиноватых средах.

В данной работе изучается дифракция световых волн. Для наблюдения дифракции света используется дифракционная решетка. Она представляет со-

бой систему параллельных равноотстоящих узких щелей, разделенных непрозрачными промежутками. Пусть a – ширина щели, b – ширина непрозрачного промежутка между щелями. Постоянной (периодом) дифракционной решетки называется величина

$$d = a + b. \quad (3.03.1)$$

Величина

$$N = \frac{1}{d} \quad (3.03.2)$$

представляет собой число щелей, приходящихся на единицу длины решетки.

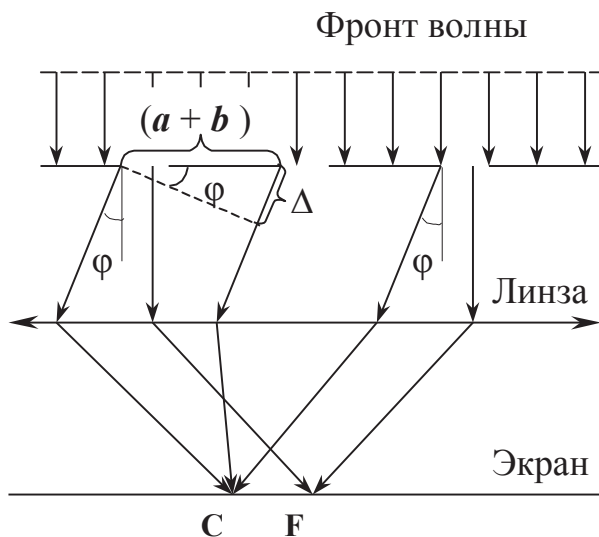


Рис. 3.1. Дифракция на дифракционной решетке

Пусть плоская монохроматическая волна падает нормально на решетку (рис.3.1). Каждая щель, в соответствии с принципом Гюйгенса, является источником вторичных волн. Поэтому за решеткой лучи от каждой щели распространяются во всех направлениях. На экране, расположенном в фокальной плоскости собирающей линзы, будет наблюдаться картина,

возникающая вследствие интерференции когерентных вторичных волн как от разных участков одной щели, так и от разных щелей. Выделим лучи, отклоняющиеся от нормали к решетке на угол φ (угол дифракции). Одинаково направленные параллельные лучи от всех щелей, преломившись в линзе, собираются на экране в одной точке C и будут интерферировать между собой. Рассмотрим два луча, исходящих из соответственных точек двух соседних щелей. Каждая пара таких лучей имеет одинаковую разность хода

$$\Delta = d \sin \varphi. \quad (3.03.3)$$

Поэтому для каждой пары таких лучей одновременно будет выполняться условие максимума интерференции. Условие главных дифракционных максимумов для решетки

$$\Delta = k\lambda, \quad (k = 0; \pm 1; \pm 2 \dots), \quad (3.03.4)$$

где k – порядок максимума;

λ – длина волны света.

Дифракционные максимумы будут наблюдаться, следовательно, для углов дифракции, удовлетворяющих условию

$$d \sin \varphi = k\lambda. \quad (3.03.5)$$

Лучи, идущие параллельно оптической оси линзы (угол $\varphi = 0$), собираются на экране в точке **F** (фокус линзы) и образуют центральный нулевой ($k = 0$) максимум. По обе стороны от него наблюдаются максимумы первого, второго и т.д. порядков. Чем выше порядок максимума, тем меньше его яркость.

Из уравнения (3.03.5) выразим длину волны:

$$\lambda = \frac{d \sin \varphi}{k}. \quad (3.03.6)$$

Чем больше количество щелей, приходящихся на единицу длины N , тем большее количество световой энергии пройдет через решетку и тем более интенсивными будут максимумы. Положение главных дифракционных максимумов зависит от длины волны λ . При пропускании через решетку белого света все максимумы, кроме центрального ($k = 0$), раскладываются в спектр, фиолетовая область которого обращена к центру дифракционной картины, красная – наружу. Это происходит вследствие того, что длина волны фиолетового света меньше, чем красного, и главные максимумы для фиолетовых лучей наблюдаются при меньших углах дифракции.

Для получения спектров также применяются призмы, но призма, в отличие от решетки, сильнее отклоняет фиолетовые лучи.

Таким образом, измерив положение главных дифракционных максимумов для дифракционной решетки, можно определить длину световой волны. Дифракционная решетка, следовательно, может использоваться как прибор, позволяющий исследовать спектральный состав света (определение длин волн и интенсивностей его монохроматических составляющих).

3. Выполнение работы

3.1. Необходимые приборы: гониометр, дифракционная решетка, источник света.

3.2. Описание прибора. Гониометр представляет собой прибор, служащий для точного измерения углов отклонения световых лучей. Свет от источника падает на входную щель коллиматорной трубы, которая расположена в главной фокальной плоскости объектива. Освещенная щель играет роль источника света, лучи которого после выхода из коллиматорной трубы падают на дифракционную решетку параллельным пучком. Решетка устанавливается на столике гониометра так, чтобы ее штрихи были параллельны щели коллиматора, а плоскость была перпендикулярна направлению падающих на нее лучей. Наблюдения ведутся с помощью зрительной трубы, которую можно вращать по кругу с делениями, снабженному для точности нониусом.

Перед щелью коллиматора помещают источник монохроматического света (в данном случае на электрическую лампочку надевают колпачок со светофильтром, пропускающим лучи с одинаковой длиной волны).

Далее устанавливают зрительную трубу так, чтобы ее оптическая ось совпадала с оптической осью коллиматора, добиваясь при этом с помощью специального настроечного винта совпадения изображения коллиматорной щели с вертикальной визирной нитью окуляра зрительной трубы, и делают отсчет по нониусу. Затем вращают трубу, например, влево до тех пор, пока в поле зрения трубы не покажется первое светлое изображение щели (максимум первого порядка). Совмещая максимум 1 – го порядка с визиром, делают отсчет по шка-

ле и нониусу. Далее вращают трубу в ту же сторону и совмещают визир трубы с максимумом второго порядка. Снова производят отсчет. Те же операции и отсчеты выполняются для максимумов, расположенных по другую сторону от нулевого.

Как указывалось выше, при настройке на дифракционный максимум каждый раз делают отсчет по шкале и нониусу. Затем находят разность отсчетов углов, соответствующих данному максимуму и центральному максимуму. Данная разность дает величину угла дифракции, входящую в формулу (3.03.6).

Результаты измерений записывают в таблицу 3.1.

Так как изображения щели одного порядка расположены симметрично относительно центрального максимума, то при правильной настройке прибора углы $\varphi_{\text{прав}}$ и $\varphi_{\text{лев}}$ должны быть одинаковы. Вследствие неточности настройки эти углы могут незначительно отличаться друг от друга. Поэтому в качестве исходной величины угла для вычисления длины волны берут среднее значение:

$$\varphi_1 = \frac{\varphi_{1\text{лев}} + \varphi_{1\text{пр}}}{2}. \quad (3.03.7)$$

Таким же образом находят угол отклонения для изображения второго порядка:

$$\varphi_2 = \frac{\varphi_{2\text{лев}} + \varphi_{2\text{пр}}}{2}. \quad (3.03.8)$$

Полученные значения подставляют в формулу (3.03.6) и вычисляют:

$$\lambda_1 = d \sin \varphi_1 \quad (3.03.9)$$

$$\lambda_2 = \frac{d \sin \varphi_2}{2}, \quad (3.03.10)$$

где d – постоянная решетки.

Таблица 3.1

Результаты измерений

Порядок изображения	Отсчет по нониусу	Разность отсчетов углов
Центральная светлая полоса	φ_0	
Изображение 1-го порядка вправо	φ_1'	$\varphi_1' - \varphi_0 = \varphi_{1\text{пр}} =$
Изображение 2-го порядка вправо	φ_2'	$\varphi_2' - \varphi_0 = \varphi_{2\text{пр}} =$
Изображение 1-го порядка влево	φ_1''	$\varphi_1'' - \varphi_0 = \varphi_{1\text{лев}} =$
Изображение 2-го порядка влево	φ_2''	$\varphi_2'' - \varphi_0 = \varphi_{2\text{лев}} =$

Поскольку λ_1 и λ_2 представляют собой длину волны излучения одного и того же источника, то за окончательное значение принимают среднее значение данной величины:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} \quad (3.03.11)$$

Значение постоянной решетки берется из паспорта, прилагаемому к данной дифракционной решетке. Оно указывается на установке. За величину абсолютной погрешности принимают

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{2} \quad (3.03.12)$$

Окончательный результат записывают в виде:

$$\lambda = \bar{\lambda} \pm \Delta\lambda. \quad (3.03.13)$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ

1. В чем состоит явление дифракции света?
2. Что называется дифракционной решеткой?
3. Объяснить дифракцию от решетки.
4. Записать и пояснить условие главных дифракционных максимумов.
5. Чем спектр, получаемый с помощью дифракционной решетки, от получаемого с помощью призмы?
6. Поясните цель работы и порядок ее выполнения.
7. Задача. На решетке, имеющая 2000 штрихов на сантиметр, происходит дифракция света с длиной волны 500 нм. Определить общее число максимумов, которое дает данная дифракционная решетка.

Ответ: $m = 21$.

8. Задача. На дифракционную решетку нормально падает пучок света от разрядной трубки, наполненной гелием. На какую линию в спектре третьего порядка накладывается красная линия гелия $\lambda = 670$ нм спектра второго порядка? Ответ: 447 нм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т. И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 1985. – 432.