

# Лабораторная работа 3 (2.3)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ С ПОМОЩЬЮ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ

Цель работы: ознакомление с явлением дифракции света; определение длин волн спектра источника света с помощью дифракционной решетки.

### Общие сведения

Дифракция света – совокупность явлений, наблюдаемых при распространении световых волн в среде с резкими неоднородностями и связанных с отклонением от законов геометрической оптики. Благодаря дифракции световые волны могут огибать препятствия и попадать в область геометрической тени. В этом случае в области геометрической тени на экране возникает дифракционная картина – непрерывное и немонотонное изменение освещенности.

Распределение интенсивности света в дифракционной картине может быть объяснено на основе принципа Гюйгенса – Френеля. Согласно этому принципу каждый элемент волновой поверхности служит источником вторичных сферических волн, которые могут интерферировать при наложении.

Различают два вида дифракции: дифракция Френеля и дифракция Фраунгофера. Дифракция Фраунгофера, или дифракция в параллельных лучах, имеющая большое практическое значение, наблюдается в том случае, если лучи, падающие на препятствие, и лучи, идущие в точку наблюдения, образуют параллельные пучки.

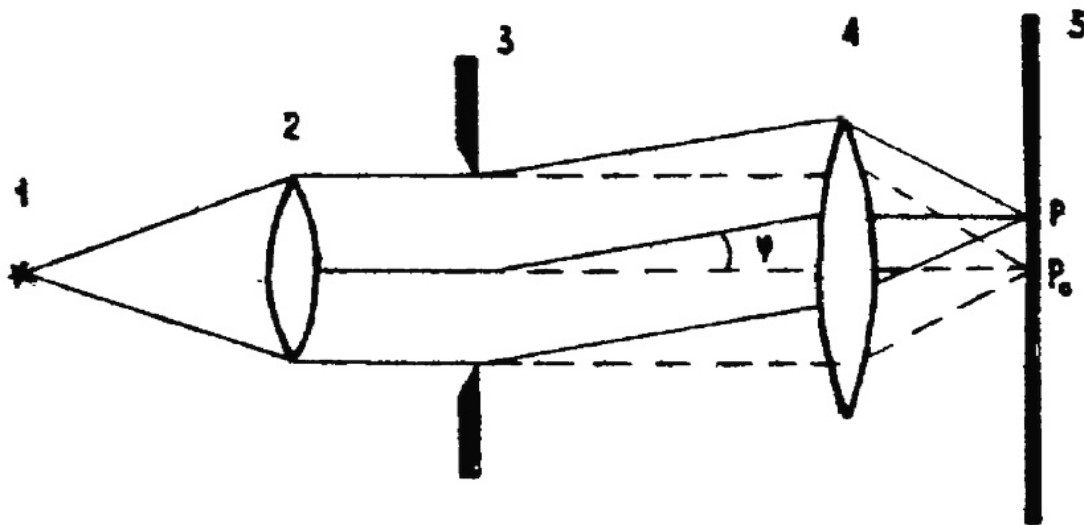


Рис. I

Рассмотрим дифракцию Фраунгофера от щели. Она осуществляется по следующей схеме (рис. I). Монохроматический свет от источника 1, находящегося в фокусе собирающей линзы 2, после прохож-

дения через линзу образует пучок параллельных лучей, падающих нормально на узкую щель в непрозрачном экране 3. Согласно принципу Гюйгенса – Френеля, каждая точка плоскости щели, до которой дошла световая волна, становится источником вторичных волн, распространяющихся под различными углами  $\varphi$  дифракции во все стороны, т.е. свет дифрагирует при прохождении через щель. Дифрагированные пучки собираются линзой 4 и дают в ее фокальной плоскости 5 дифракционную картину.

Распределение интенсивности в получаемой картине определяется суммированием элементарных волн, пришедших в данную точку экрана от всех элементов щели, с учетом их амплитуды и фазы по принципу Гюйгенса – Френеля. Основные черты дифракционной картины наиболее просто рассчитать, применив прием, получивший название метода зон Френеля. Для этого разобьем открытую часть волновой поверхности в плоскости щели на узкие полоски – зоны равной ширины, параллельные краям щели. Ширина зон выбирается так, чтобы разность хода от краев каждой зоны для угла дифракции  $\varphi$ , определяющего направление распространения волн, приходящих в точку наблюдения, была равна  $\lambda/2$ . Так как на щель свет падает нормально, то плоскость щели совпадает с волновой поверхностью, т.е. фаза во всех ее точках одинакова. Каждая зона будет играть роль элементарного вторичного источника волн. Колебания, возбуждаемые волнами, приходящими от каждой зоны в произвольную точку экрана, имеют одинаковые амплитуды (так как ширина зон одинакова), но разные фазы. Разность фаз колебаний, возбуждаемых соседними зонами, составляет величину  $\delta = \pi$  (так как разность хода от двух соседних зон до данной точки экрана равна  $\lambda/2$ ). Оптическая разность хода лучей  $MC$  и  $ND$  (рис.2), идущих

под углом дифракции  $\varphi$ , определяющим направление на данную точку экрана, от крайних зон

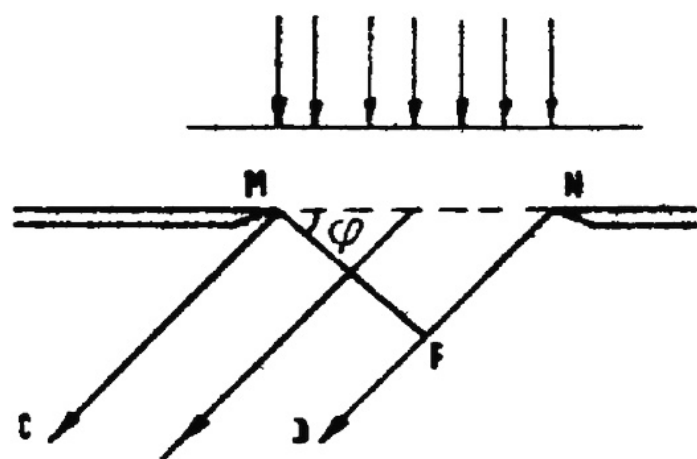


Рис.2

$$\Delta = NF = b \sin \varphi, \quad (I)$$

где  $F$  – основание перпендикуляра, опущенного из точки  $M$  на луч  $ND$ ;  $b$  – ширина щели.

Если на ширине щели умещается  $K$  зон, а разность хода от соседних зон равна  $\lambda/2$ , то разность хода от крайних зон  $\Delta = b \sin \varphi$  будет содержать  $K$  отрезков величиной  $\lambda/2$ :

$$b \sin \varphi = \pm k \lambda / 2$$

(2)

Результат наложения вторичных волн, идущих от всех зон в направлении угла  $\varphi$ , будет зависеть от числа зон, укладывающихся на ширине щели. При интерференции света от каждой пары соседних зон амплитуда результирующего колебания равна нулю, так как колебания от каждой пары соседних зон происходят в противофазе ( $\delta = \pi$ ) и взаимно гасят друг друга. Следовательно, если на ширине щели укладывается четное ( $k = 2m$ ) число зон Френеля

$$b \sin \varphi = \pm 2m \lambda / 2 \quad (m = 1, 2, 3, \dots), \quad (3)$$

то в данной точке экрана будет дифракционный минимум (полная темнота), если же число зон Френеля для данного направления окажется нечетным (т.е.  $k = 2m - 1$ , где  $m = 1, 2, 3, \dots$ )

$$b \sin \varphi = \pm (2m - 1) \lambda / 2, \quad (4)$$

то наблюдается дифракционный максимум, соответствующий действию одной нескомпенсированной зоны Френеля.

Отметим, что в прямом направлении ( $\varphi = 0$ ) щель действует как одна зона Френеля, и в этом направлении свет распространяется с наибольшей интенсивностью. Из условия (3) можно найти направления на точки экрана, в которых амплитуда (а следовательно, и интенсивность) равна нулю:

$$\sin \varphi_m = \pm m \frac{\lambda}{b} \quad (5)$$

Большое практическое значение имеет дифракция, наблюдаемая при прохождении света через прозрачную одномерную дифракционную решетку — прозрачную пластинку с большим количеством (до 1000 на длине 1 мм) тонких параллельных щелей одинаковой ширины  $b$  и равными расстояниями  $d$  между их серединами. Это расстояние  $d$  называется периодом, или постоянной решетки.

Так как колебания, приходящие от различных щелей решетки, являются когерентными, то дифракционная картина на экране от решетки является результатом интерференции световых волн от всех щелей решетки. Очевидно, что в тех направлениях, в которых наблюдаются минимумы интенсивности для отдельной щели, будут наблюдаться минимумы и для дифракционной решетки, т.е. минимумы интенсивности для решетки будут наблюдаться в направлениях, определяемых условием (2). Следовательно, условие минимума, называемого главным, будет

$$b \sin \varphi = \pm m \lambda, \quad (6)$$

где  $m = 1, 2, 3, \dots$  — порядок дифракционного минимума. Кроме того, вследствие интерференции световых волн, посылаемых щелями решетки, в некоторых направлениях они будут усиливать друг друга. Из рис. 3 видно, что разность хода  $\Delta$  волн от соседних щелей равна  $\Delta = d \sin \varphi$ . Для тех направлений, у которых  $\Delta = \pm m \lambda$ , действие одной щели будет усиливать действие другой и возникает максимум интенсивности. Следовательно, условием максимума, называемого главным, будет

$$d \sin \varphi = \pm m \lambda, \quad (7)$$

где  $m = 1, 2, 3, \dots$  — порядок дифракционного максимума. Из условия максимума (7) для длины волны  $\lambda$  получаем:

$$\lambda = \frac{d}{m} \sin \varphi. \quad (8)$$

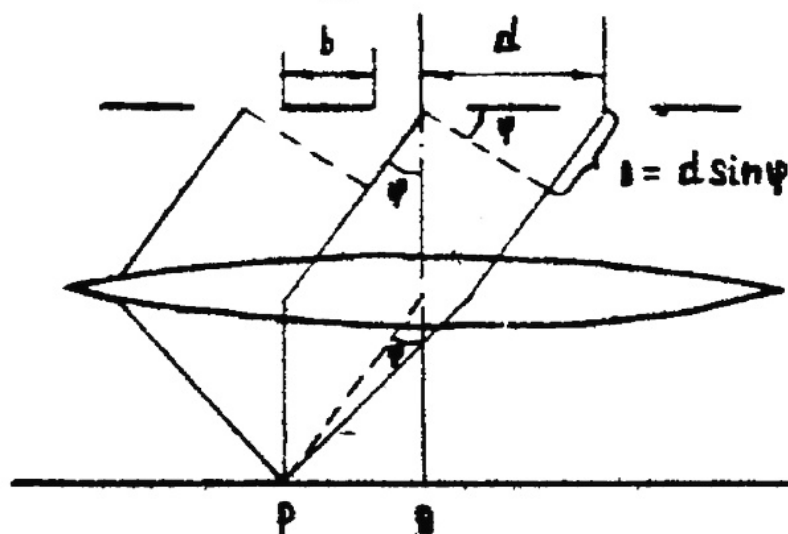


Рис. 3

Дифракционная картина в монохроматическом свете, прошедшем через дифракционную решетку, будет представлять собой ряд светлых полос убывающей интенсивности, разделенных темными промежутками. Каждая из полос соответствует какому-либо целому значению  $m$  (например, для центральной полосы  $m = 0$ , для последующих, расположенных симметрично по обе стороны от центральной,  $m = \pm 1, \pm 2, \dots$  — максимум первого, второго и т.д. порядков).

Положение главных максимумов зависит от длины волны  $\lambda$  [см. формулу (7)]. Поэтому при пропускании через решетку белого света, все максимумы, кроме центрального ( $m = 0$ ), разложатся в спектр. В спектре каждого порядка максимумы для более коротких длин волн расположатся ближе к центральному максимуму, для более длинных волн — дальше от него. Это свойство дифракционной решетки используется для исследования спектрального состава света (например, определения длин волн по формуле (8) всех его монохроматических компонент), т.е. дифракционная решетка может быть использована как спектральный прибор.



## Описание установки

Принципиальная схема хода лучей в установке соответствует рис.4. Свет от источника I (лампа накаливания) после коллимирующей линзы 2 проходит через щель со шкалой 3 и падает параллельным пучком на дифракционную решетку 4. Дифракционный спектр наблюдается визуально, т.е. роль линзы 5 выполняет хрусталик глаза, а роль экрана 6 – сетчатка глаза. Щель со шкалой и дифракционная решетка укрепляются в рейтерах, имеющих указатели для отсчетов. Установка собирается на оптической скамье согласно схеме на рис.4. На оптической скамье имеется отсчетная линейка длиной 1 м с ценой деления 1 мм.

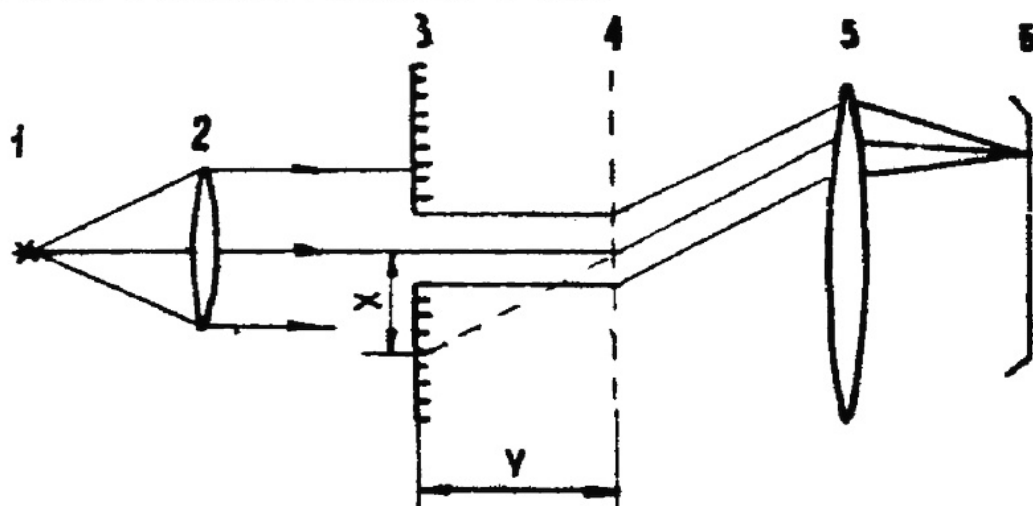


Рис.4

### Порядок выполнения работы

1. Включить осветитель и добиться, чтобы спектр, наблюдаемый визуально через дифракционную решетку, находился на шкале с делениями.

2. При данном  $y$  ( $y$  – расстояние от дифракционной решетки 4 до щели со шкалой 3 (см.рис.4) измерить по шкале  $x_1$  и  $x_2$  – расстояния от центра главного нулевого максимума до середины красной полосы в спектре первого порядка ( $m = 1$ ) справа и слева и найти их среднее значение  $x = \frac{x_1 + x_2}{2}$ .

3. Таким же образом определить среднее значение  $x$  для зеленого и фиолетового цветов при данном  $y$ .

4. Провести аналогичные измерения  $x$  для трех цветов в спектре второго порядка ( $m = 2$ ) при том же  $y$ .

5. Изменить расстояние  $y$  и для нового значения снова выполнить пункты 2, 3, 4.

6. Определить значение  $\lambda$  для трех наблюдаемых цветов (красный, зеленый, фиолетовый), подставив данные  $x$  и  $y$  из каждого опыта в формулу

$$\lambda = \frac{d}{m} \cdot \frac{x}{y},$$

которая получена из (8) с учетом того, что для малых углов

$$\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi = \frac{x}{y}.$$

7. Найти среднее значение  $\lambda$  для каждого цвета и оценить погрешность измерения.

### Контрольные вопросы

1. В чем состоит явление дифракции света? Что отличает дифракцию Френеля от дифракции Фраунгофера?
2. В чем состоит принцип Гюйгенса Френеля?
3. Что такое зоны Френеля и как они строятся?
4. В чем различие в условиях возникновения максимумов и минимумов интенсивности света при опытах на одной щели и на дифракционной решетке?
5. Почему при освещении решетки «белым» светом возникают дифракционные спектры во всех порядках, кроме нулевого?
6. В чем состоит метод измерения длины волны с помощью дифракционной решетки?