

## Лабораторная работа №3а

# Изучение дифракции Фраунгофера на одной щели

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определение ширины щели при наблюдении дифракции Фраунгофера.

### ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Лазер, рамки с щелями, экран, оптическая скамья, источник питания.

### КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Любая волна, распространяющаяся в изотропной (однородной) среде, свойства которой не меняются от точки к точке, сохраняет направление своего распространения.

В анизотропной (неоднородной) среде, где при прохождении волны испытывают неодинаковые изменения амплитуды и фазы на поверхности волнового фронта, первоначальное направление распространения изменяется. Это явление называют **дифракцией**. Дифракция присуща волнам любой природы, и практически проявляется в отклонении направления распространения света от прямолинейного.

Она возникает при любом локальном изменении волнового фронта, амплитудном или фазовом. Подобные изменения могут вызываться присутствием непрозрачных или частично прозрачных преград на пути волны (экранов), или участков среды с иным показателем преломления (фазовых пластинок).

Резюмируя сказанное, можно сформулировать следующее:

Явление отклонения световых волн от прямолинейного распространения при прохождении отверстий и вблизи краёв экранов называется **дифракцией**.

Это свойство присуще всем волнам независимо от природы. В сущности, дифракция ничем не отличается от интерференции. Когда источников мало, то результат их совместного действия называют интерференцией, а если источников много, то говорят о дифракции.

В зависимости от расстояния, с которого наблюдается волна за предметом, на котором происходит дифракция, различают дифракцию Фраунгофера или Френеля:

- Если дифракционная картина наблюдается на конечном расстоянии от предмета, вызывающего дифракцию и надо учитывать кривизну волнового фронта, то говорят о **дифракции Френеля**. При дифракции Френеля на экране наблюдается дифракционное изображение препятствия;
- Если же волновые фронты плоские (лучи параллельные) и дифракционная картина наблюдается на бесконечно большом расстоянии (для этого используют линзы), то речь идет о **дифракции Фраунгофера**.

## ДИФРАКЦИЯ ОТ ОДНОЙ ЩЕЛИ

Наибольшее значение имеет дифракция в параллельных лучах для случая прямоугольного отверстия при ширине его значительно меньшей длины, то есть для щели.



Рис. 1. Дифракция от одной щели

Пусть плоская волна падает перпендикулярно на экран с длинной узкой щелью шириной  $a$ . Когда фронт волны дойдет до щели и займет положение  $AB$  (рис. 3), то по **принципу Гюйгенса** – все точки этого волнового

фронта будут являться когерентными источниками сферических вторичных волн, распространяющихся в сторону движения волнового фронта.

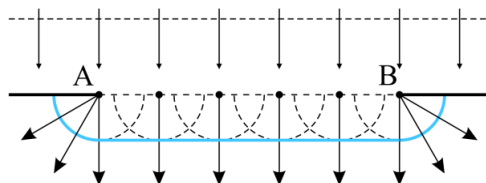


Рис. 2

Рассмотрим волны, распространяющиеся от точек плоскости  $AB$  в направлении, составляющим некоторый угол с первоначальным (рис. 2). Если на пути этих лучей поставить линзу, параллельную плоскости  $AB$ , то лучи после преломления сойдутся в некоторой точке  $M$  экрана, расположенного в фокальной плоскости линзы, и будут интерферировать друг с другом (точка  $O$  – главный фокус линзы). Опустим из точки  $A$  перпендикуляр  $AC$  на направление выделенного пучка лучей. Тогда от плоскости  $AC$  и далее до фокальной плоскости линзы параллельные лучи не меняют своей разности хода.

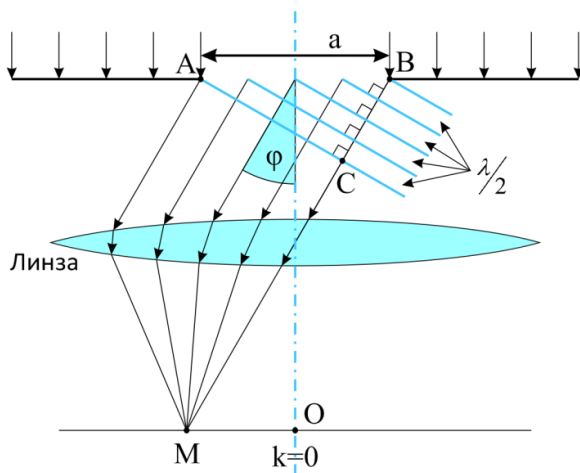


Рис. 3

## МЕТОД ЗОН ФРЕНЕЛЯ

Разность хода, определяющая условия интерференции, возникает лишь на пути от исходного фронта  $AB$  до плоскости  $AC$  и различна для разных лучей. Для расчета интерференции этих лучей применим **метод зон Френеля**.

Для этого мысленно разделим линию  $BC$  на ряд отрезков длиной полволны  $\lambda/2$ . На расстоянии  $BC = a \cdot \sin \varphi$  уложится  $z$  таких отрезков.

$$z = \frac{2a \sin \varphi}{\lambda}$$

Проводя из концов этих отрезков линии, параллельные  $AC$ , до встречи их с  $AB$ , разобьем фронт волны щели на ряд полосок одинаковой ширины, эти полоски и будут являться в данном случае **зонами Френеля**.

Из приведенного построения следует, что волны, идущие от каждых двух соседних зон Френеля, приходят в точку  $M$  в противоположных фазах и гасят друг друга.

Если при таком построении число зон окажется чётным, то каждая пара соседних зон взаимно погасит друг друга и при данном угле  $\varphi$  на экране будет **минимум** освещенности

$$a \cdot \sin \varphi = 2k \frac{\lambda}{2}, \quad (1)$$

где  $k = 1, 2, 3, \dots$

Таким образом, при разности хода лучей, идущих от краев щели, равной **чётному числу полуволн**, будем наблюдать на экране **темные полосы**.

В промежутках между ними будут наблюдаться **максимумы** освещенности. Они будут соответствовать углам, для которых фронт волны разбива-

ется на **нечётное число** зон Френеля  $z = 2k + 1$  и одна из зон остается непогашенной. Тогда углы, при которых наблюдаются **максимумы** освещенности, определяются из условия

$$a \cdot \sin \varphi = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}, \quad (2)$$

где  $k = 1, 2, 3, \dots$

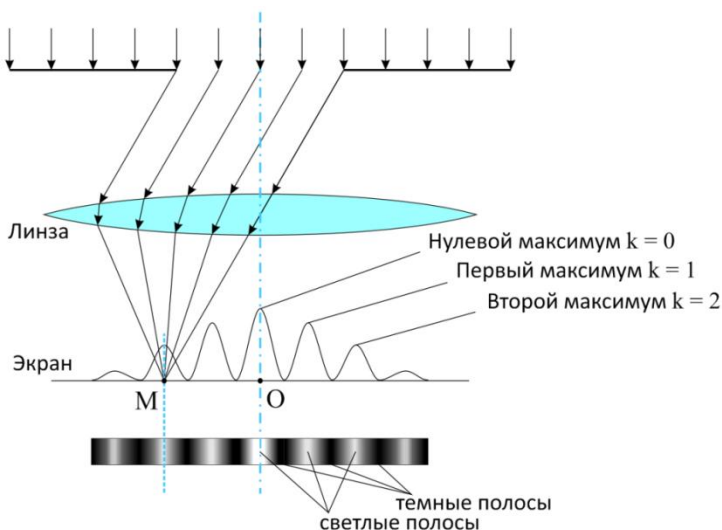


Рис. 4

Центральный (нулевой) максимум будет расположен в главном фокусе линзы ( $k = 0$ ). По обе стороны от него интенсивность падает до первого минимума, а затем поднимается до следующего максимума ( $k = \pm 1$ ) и т.д. На экране будут наблюдаться чередующиеся светлые и темные полосы с постепенным переходом между ними (рис. 4).

Ширина и число дифракционных полос будут зависеть от отношения длины волны  $\lambda$  к ширине щели  $a$  (рис. 5):

- Если щель очень узкая ( $a \ll \lambda$ ), то вся поверхность щели является лишь небольшой частью зоны Френеля, и колебания от всех точек ее будут по любому направлению распространяться почти в одинаковой фазе. В результате во всех точках экран будет очень слабо равномерно освещен. Можно сказать, что свет через щель практически не проходит.

$$\varphi_{\min} = \arcsin \frac{\lambda}{a} \approx \frac{\lambda}{a} \ll 1$$

- Если щель очень широкая ( $a \gg \lambda$ ), то уже первый минимум будет соответствовать очень малому отклонению от прямолинейного распространения под углом. Поэтому на экране получим геометрическое изображение щели, окаймленное по краям тонкими чередующимися темными и светлыми полосками.
- Четкие дифракционные максимумы и минимумы будут наблюдаться только в промежуточном случае, когда на ширине щели  $a$  уложится несколько зон Френеля.

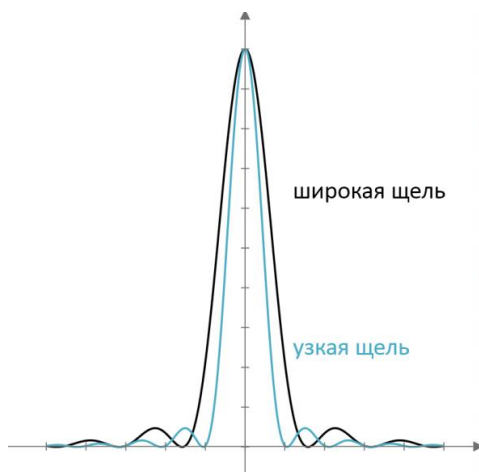


Рис. 5. Зависимость интенсивности света при дифракции на щели

При освещении щели некогерентным (белым) светом дифракционные максимумы для различных цветов разойдутся.

Чем меньше  $a$ , тем под меньшими углами наблюдаются дифракционные максимумы. В центр экрана лучи всех цветов приходят с разностью хода, равной нулю, поэтому *изображение в центре будет белым. Справа и слева от центрального максимума будут наблюдаться дифракционные спектры первого, второго и т.д. порядка.*

### МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ШИРИНЫ ЩЕЛИ

Ширину  $a$  будем определять из условия (2), а для этого найдем угол дифракции, соответствующий наблюдаемому порядку спектра.

Синус угла, под которым наблюдается максимум (**рис. 6**)

$$\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi = \frac{x}{y}, \quad (3)$$

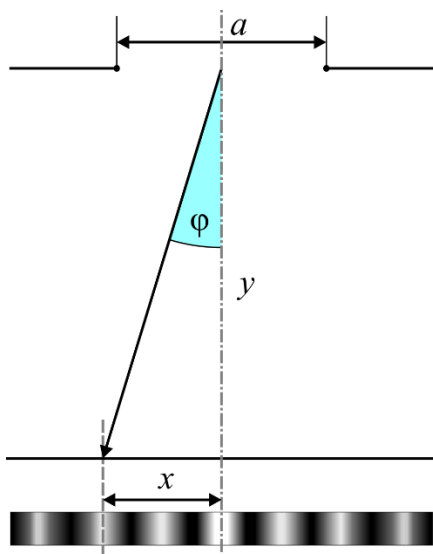


Рис. 6

Тогда, подставляя (3) в (2), и выражая  $a$ , получим

$$a = \frac{(2k + 1)\lambda}{2 \sin \varphi} = \frac{(2k + 1)y\lambda}{2x} \quad (4)$$

где  $a$  – ширина щели;

$x$  – расстояние до главного максимума;

$y$  – расстояние от щели до экрана;

$k$  – порядок максимума;

$\lambda$  – длина волны света.

## ХОД РАБОТЫ

### 1. Изучение дифракции на одной щели

- 1.1. Установите рамку с щелью переменной ширины.
- 1.2. Зафиксируйте дифракционную щель на расстоянии  $y$  (40–60 см) от экрана со шкалой.
- 1.3. Получите дифракционную картину в виде чередующихся темных и светлых полос на экране.
- 1.4. Варьируя ширину щели, проследите за изменением дифракционной картины на экране.
- 1.5. Сделайте вывод.

### 2. Определение длины волны света

- 2.1. Установите на экран листок бумаги.
- 2.2. Зафиксируйте дифракционную щель на расстоянии  $y$  (40–60 см) от экрана со шкалой. Запишите значение  $y$ .
- 2.3. Получите дифракционную картину в виде чередующихся темных и светлых полос на экране.



- 2.4. Зарисуйте на листок полученную картину, т.е. отметьте центры максимумов от **главного** ( $k = 0$ ) до максимумов **третьего** порядка ( $k = 3$ ).
- 2.5. Измерьте расстояния  $x_{лев}$  и  $x_{прав}$  от главного максимума до максимумов первого порядка ( $k = 1$ ) по обе стороны от центрального максимума.
- 2.6. Найдите среднее значение  $x_{сред}$ .
- 2.7. Подставьте полученные значения в (4) и найдите значение ширины щели  $a$ . Длина волны лазера  $\lambda = 632,8\text{нм}$ .
- 2.8. Прделайте то же самое для  $k = 2$  и  $k = 3$ .
- 2.9. Полученные данные занесите в таблицу.
- 2.10. Определите  $a_{сред}$ .
- 2.11. Вычислите погрешности  $\Delta a$  и  $\varepsilon_a$ .
- 2.12. Сделайте вывод.

**Таблица**

$k$	$y$ , м	$x_{лев}$ , м	$x_{прав}$ , м	$x_{сред}$ , м	$tg \varphi$	$\lambda$ , м	$a$ , м	$\Delta a$ , м	$\varepsilon_a$ , %
1	0,4								
2	0,4								
3	0,4								
Среднее значение									

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. В чем заключается явление дифракции?
2. Чем отличается дифракция Френеля от дифракции Фраунгофера?
3. Что такое волновой фронт, волновая поверхность?
4. В чем заключается принцип Гюйгенса-Френеля?
5. Как с помощью принципа Гюйгенса можно объяснить дифракцию?
6. Что такое зоны Френеля?
7. В чем заключается метод зон Френеля?
8. Какие должны быть выполнены условия, чтобы можно было наблюдать дифракцию?
9. Опишите дифракцию от одной щели.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Савельев Д.В. Общий курс физики. В 5 т. Т.IV. Оптика. – М.: «ФИЗМАТ-ЛИТ»; Изд-во МФТИ, 2002, – 792 с.
2. Лозовский В.Н. Курс физики. Т.1. – С-Пб. – 2001.
3. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. – М.: «Высшая школа». – 1999.