

### 4.3.1. Изучение дифракции света.

Береснева А. П. (Б04-901)

Апрель 2021 года

#### Цель работы:

В работе исследуется дифракция Френеля и Фраунгофера, изучается влияние дифракции на разрешающую способность оптических инструментов

#### В работе используются:

оптическая скамья, ртутная лампа, монохроматор, щели с регулируемой шириной, рамка с вертикальной нитью, двойная щель, микроскоп на поперечных салазках с микрометрическим винтом, зрительная труба.

#### Дифракция Френеля:

##### Экспериментальная установка.

Схема установки для наблюдения дифракции Френеля представлена на рис. 1. Световые лучи освещают щель  $S_2$  и испытывают на ней дифракцию. Дифракционная картина рассматривается с помощью микроскопа  $M$ , сфокусированного на некоторую плоскость наблюдения  $\Pi$ .

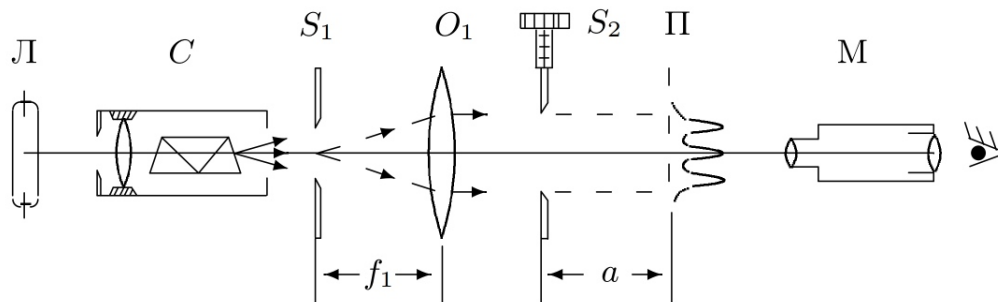


Рис. 1: Схема установки для наблюдения дифракции Френеля.

Щель  $S_2$  освещается параллельным пучком монохроматического света с помощью коллиматора, образованного объективом и щелью  $S_1$ , находящейся в его фокусе. На щель  $S_1$  сфокусировано изображение спектральной линии, выделенной из спектра ртутной лампы  $L$  при помощи простого монохроматора  $C$ , в котором используется призма прямого зрения.

## Теория.

Суммарная ширина  $m$  зон Френеля  $z_m$  определяется соотношением

$$z_m = \sqrt{am\lambda} \quad (1)$$

где  $a$  — расстояние от щели до плоскости наблюдения,  $\lambda$  — длина волны.

Вид наблюдаемой дифракционной картины определяется числом Френеля  $\Phi$ : квадрат числа Френеля

$$\Phi^2 = \frac{D}{\sqrt{a\lambda}} \quad (2)$$

— это отношение ширины щели  $D$  к размеру первой зоны Френеля, т.е. число зон Френеля, которые укладываются на ширине щели. Обратную величину называют волновым параметром

$$p = \frac{1}{\Phi^2} = \frac{\sqrt{a\lambda}}{D} \quad (3)$$

Дифракционная картина отсутствует, когда плоскость наблюдения  $\Pi$  совпадает с плоскостью щели: при  $\Phi \rightarrow \infty$  мы имеем дело с геометрической оптикой. При последующем небольшом удалении от щели эти две группы дифракционных полос перемещаются практически независимо друг от друга. Каждая из этих групп образует картину дифракции Френеля на краю экрана.

## Ход работы.

Параметры установки:

- $f_1 = 12,5 \pm 0,1$  см — фокусное расстояние используемой линзы
- $\lambda = 546,1$  нм

$a$ , см	$55,0 \pm 0,1$	$54,9 \pm 0,1$	$54,7 \pm 0,1$	$54,5 \pm 0,1$	$53,6 \pm 0,1$
$n$	5	4	3	2	1

Таблица 1: Зависимость количества полос на плоскости от расстояния  $a$  от плоскости до щели

Для определения суммарной ширины зон Френеля  $\xi_m$  воспользуемся формулой

$$\xi_m = \sqrt{a\lambda n}, \quad (4)$$

где  $a$  — расстояние от щели до плоскости наблюдения,  $n$  — количество зон Френеля.

Построим график  $2\xi_n = f(n)$ , где  $n$  — количество зон Френеля на полуширине.

## Влияние ширины щели на дифракционную картину

Нарисуем спираль Корню. По ней отлично видно, что при увеличении количества открытых зон Френеля амплитуда колебаний уменьшается (понижается интенсивность).

## Дифракция Френеля на препятствии

При дифракции на проволоке на её фоне видны тёмные и светлые полосы, причём в центре светлая.

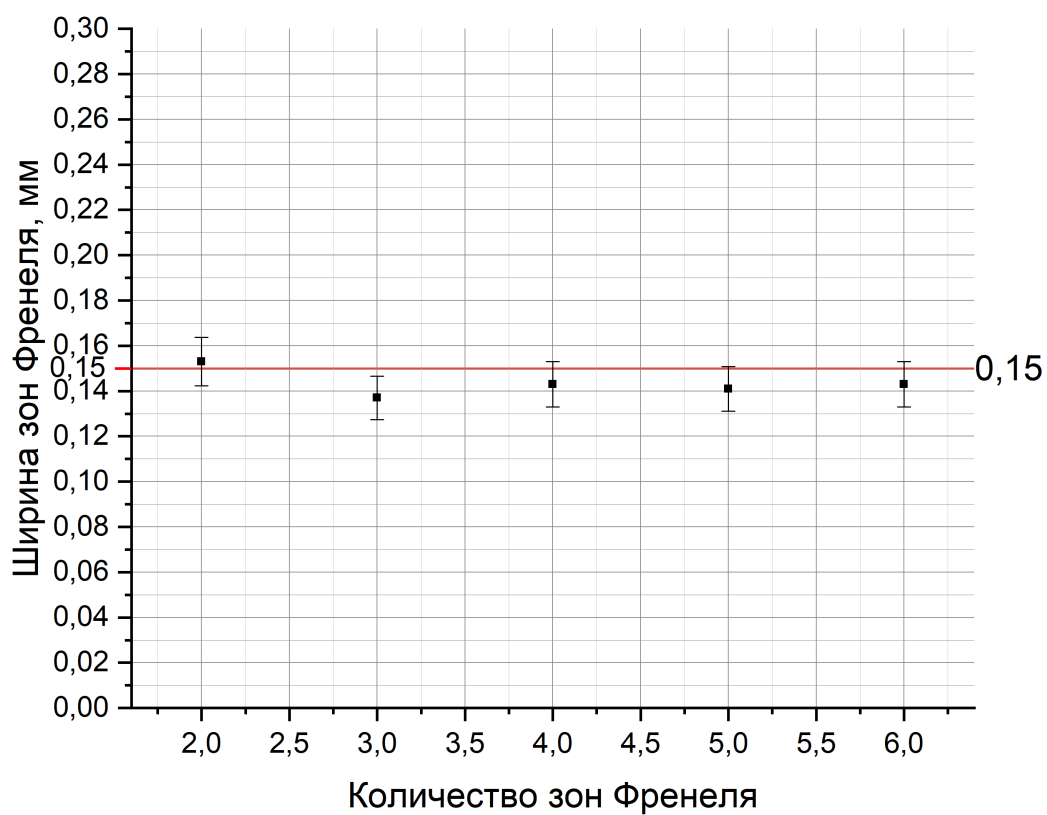


Рис. 2: График зависимости общей ширины зон Френеля от количества укладываемых их на полуширине щели

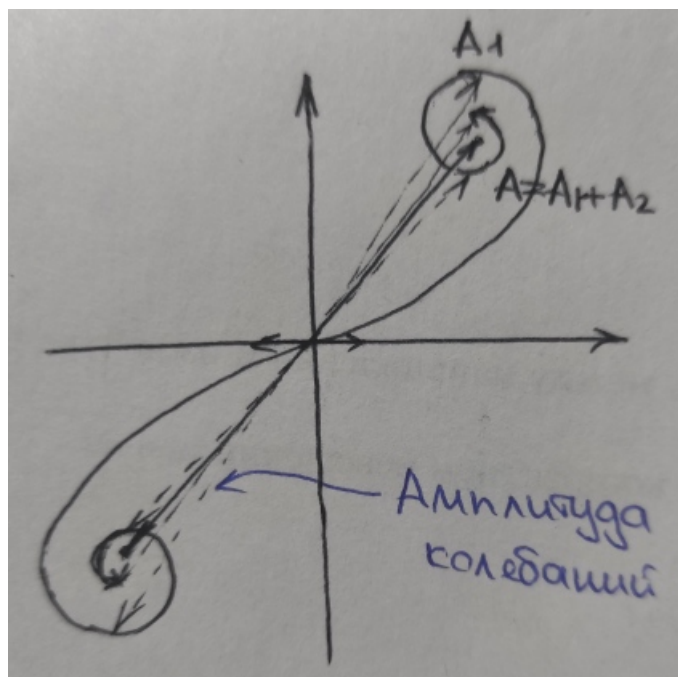


Рис. 3: Спираль Корню

## Дифракция Фраунгофера на щели:

### Экспериментальная установка.

Дифракцию Френеля и Фраунгофера можно наблюдать на одной и той же установке (рис. 1). Однако при обычных размерах установки дифракция Фраунгофера возникает только при очень узких щелях, но работать с такими тонкими щелями неудобно, поэтому для наблюдения дифракции Фраунгофера к схеме, изображённой на рис. 1 добавляется объектив  $O_2$ .

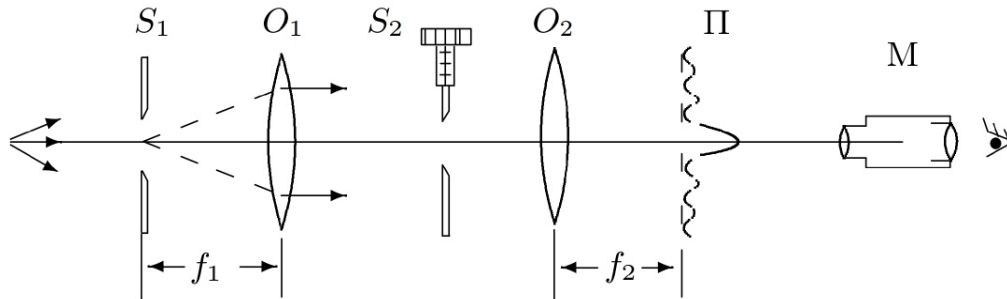


Рис. 4: Схема установки для наблюдения дифракции Фраунгофера на щели.

Дифракционная картина наблюдается здесь в фокальной плоскости объектива  $O_2$ .

### Теория.

Картина дифракции резко упрощается, когда ширина щели становится значительно меньше ширины первой зоны Френеля, т.е. если

$$D \ll \sqrt{a\lambda} \quad (5)$$

Это условие всегда выполняется при достаточно большом расстоянии  $a$  от щели до плоскости наблюдения. Дифракционную картину, наблюдаемую в этом случае, принято называть дифракцией Фраунгофера. Исследование такой дифракционной картины заметно облегчается, потому что упрощаются фазовые соотношения.

При выполнении условия (2) разность хода между крайними лучами, приходящими от щели в точку наблюдения  $P$ , с хорошим приближением можно вычислять по формуле

$$\Delta = r_2 - r_1 \approx D \sin \Theta \approx D \cdot \Theta \quad (6)$$

Здесь предполагается, что дифракционный угол  $\Theta$  достаточно мал.

Каждому значению угла  $\Theta$  соответствует в этой плоскости точка, отстоящая от оптической оси на расстоянии

$$X = f_2 \tan \Theta \approx f_2 \Theta \quad (7)$$

### Ход работы.

Параметры установки:

$$f_2 = 12,8 \text{ см}$$

Номер минимума	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
Координата, $\pm 0,02$ мм	-0,82	-0,58	-0,42	-0,20	0,00	0,20	0,42	0,58	0,82

Таблица 2: Координаты минимумов

Для большей наглядности и для оценки ширины щели построим по данным график.

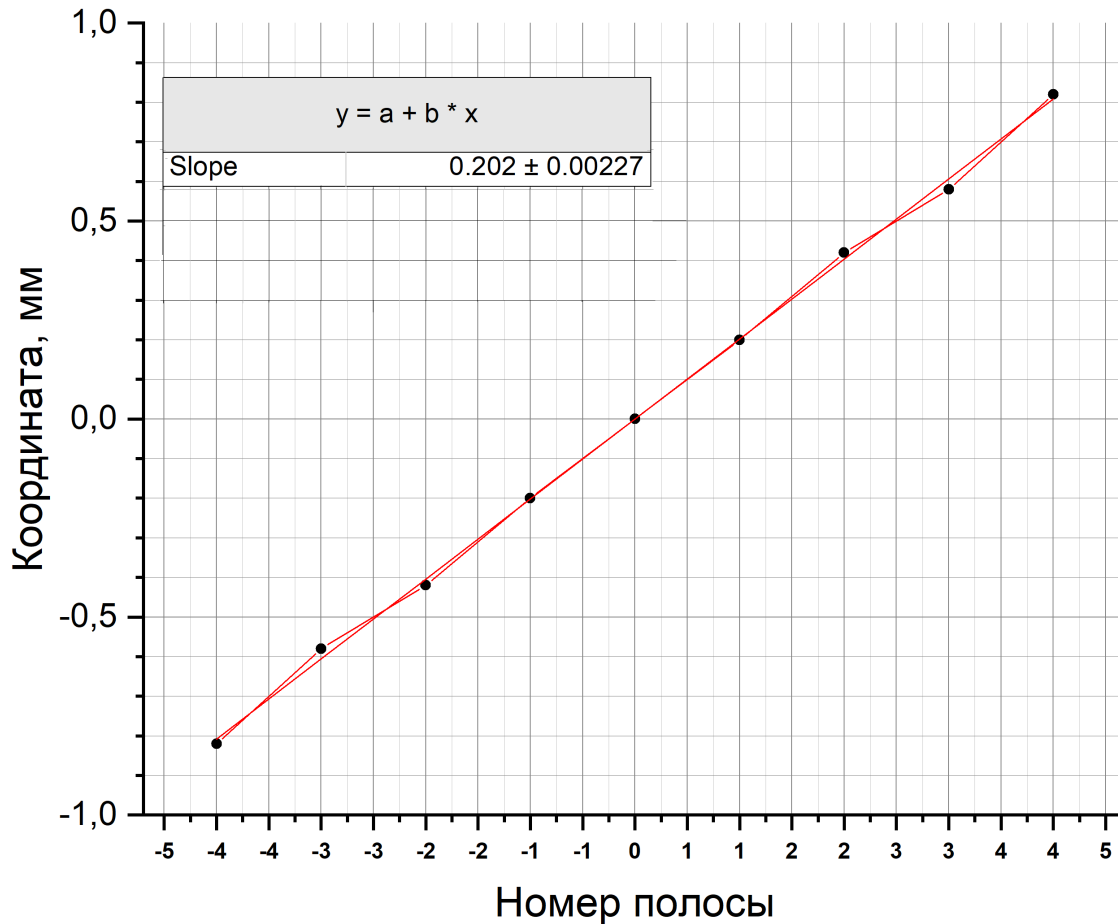


Рис. 5: График координат минимумов

Наклон графика  $\Delta X = 0,20 \pm 0,01$ , из него по формуле:

$$b = \frac{\lambda}{\Delta X} f_2, \quad (8)$$

найдем ширину щели  $b = 0,35 \pm 0,01$  мм.

Измеренное значение 0,3 мм, так что отличие расчётного составляет примерно 15%.

#### Влияние перемещения и ширины щели на дифракционную картину

При перемещении щели картина никак не меняется по причине того, что главный максимум тогда сдвигается

## Дифракция Фраунгофера на двух щелях:

### Экспериментальная установка.

Для наблюдения дифракции Фраунгофера на двух щелях в установке (рис. 2) следует заменить щель  $S_2$  экраном Э с двумя щелями (рис. 6). Два дифракционных изображения входной щели, одно из которых образовано лучами, прошедшими через левую, а другое — через правую щели, накладываются друг на друга.

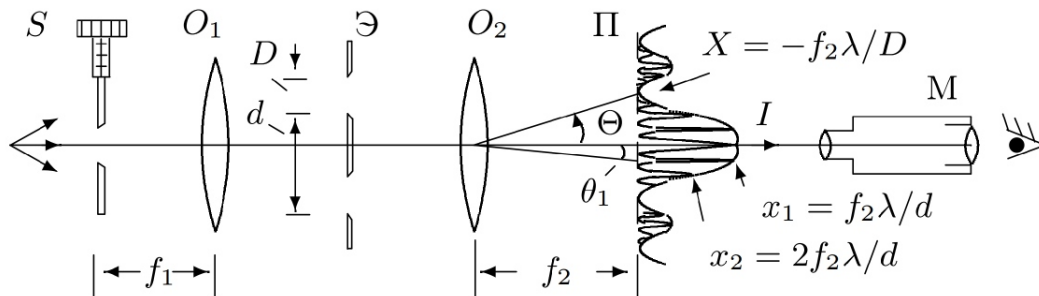


Рис. 6: Схема установки для наблюдения дифракции Фраунгофера на двух щелях.

Если входная щель достаточно узка, то дифракционная картина в плоскости П подобна той, что получалась при дифракции на одной щели, однако теперь вся картина испещрена рядом дополнительных узких полос. Наличие этих полос объясняется суперпозицией световых волн, приходящих в плоскость наблюдения через разные щели экрана Э.

### Теория.

Угловая координата  $\Theta_m$  интерференционного максимума  $m$ -го порядка определяется соотношением

$$d \cdot \Theta_m = m\lambda \quad (9)$$

где  $d$  — расстояние между щелями.

Линейное расстояние  $\delta_x$  между соседними интерференционными полосами в плоскости П равно поэтому

$$\delta_x = f_2 \frac{\lambda}{d} \quad (10)$$

Нетрудно оценить число  $n$  интерференционных полос, укладывающихся в области центрального дифракционного максимума

$$n = \frac{2\lambda f_2}{D} \frac{1}{\delta_x} = \frac{2d}{D} \quad (11)$$

При дифракции света на двух щелях чёткая система интерференционных полос наблюдается только при достаточно узкой ширине входной щели  $S$ . При увеличении её ширины интерференционная картина периодически пропадает и появляется вновь, но полосы при этом оказываются сильно размытыми и видны плохо. Первое размытие интерференционных полос возникает при условии

$$\frac{b}{f_1} = \frac{\lambda}{d} \quad (12)$$

Здесь  $b$  — ширина входной щели  $S$  и, следовательно,  $b/f_1$  — её угловая ширина. Таким образом, по размытию интерференционной картины можно оценить размер источника.

### Ход работы.

По результатам измерений расстояние между крайними минимумами  $l = 0,36$  мм, значит расстояние между соседними минимумами  $\delta x = 0,08$  мм.

$$d = f_2 \frac{\lambda}{\delta x}. \quad (13)$$

$$d = 8,7 \pm 0,1 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

Число полос внутри главного максимума:

$$n = \frac{2d}{b} \approx 5,8; \quad (14)$$

на опыте же получилось, что их 5, то есть похоже на правду.

## Влияние дифракции на разрешающую способность оптического инструмента:

### Экспериментальная установка.

Поместим вместо щели  $S_1$  экран  $\mathcal{E}$  с двумя узкими щелями, расстояние между которыми равно  $d$ . Тогда на щель  $S_2$  будут падать два параллельных пучка света.

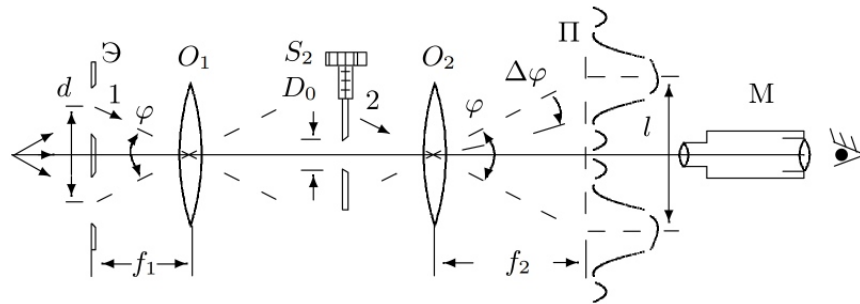


Рис. 7: Схема установки для исследования разрешающей способности оптического инструмента.

Параллельные лучи 1 и 2, проходящие через центры линз, определяют положения изображений двойной щели. Согласно законам геометрической оптики расстояние  $l$  между изображениями щелей в плоскости  $\Pi$  равно

$$l = \phi f_2 = d \cdot \frac{f_2}{f_1} \quad (15)$$

### Ход работы.

При ширине щели меньше  $b_0 = 0,24 \pm 0,02$  мм получали, что уже нельзя различить изображения от 2х разных щелей (они же — 2 разных источника).

## Вывод:

В ходе работы были исследованы дифракция Френеля на щели, на препятствии, а также дифракция Фраунгофера на одной и двух щелях, проведён ряд расчётов, неплохо совпадающих с тем, что было возможно измерить на месте, в основном — ширина щели, через которую проходил свет.