

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 Π .

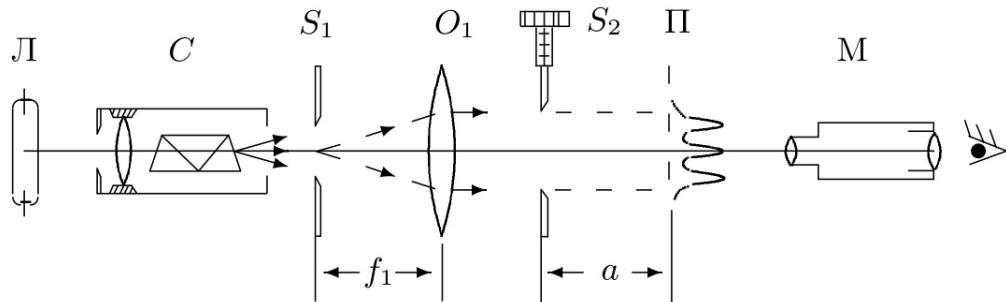


Рис. 1: Схема установки для наблюдения дифракции Френеля.

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, λ — длина волны.

Вид наблюдаемой дифракционной картины определяется числом Френеля Φ : 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 Π 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 ξ_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 проволке на её фоне видны тёмные и светлые полосы, причём в центре светлая.

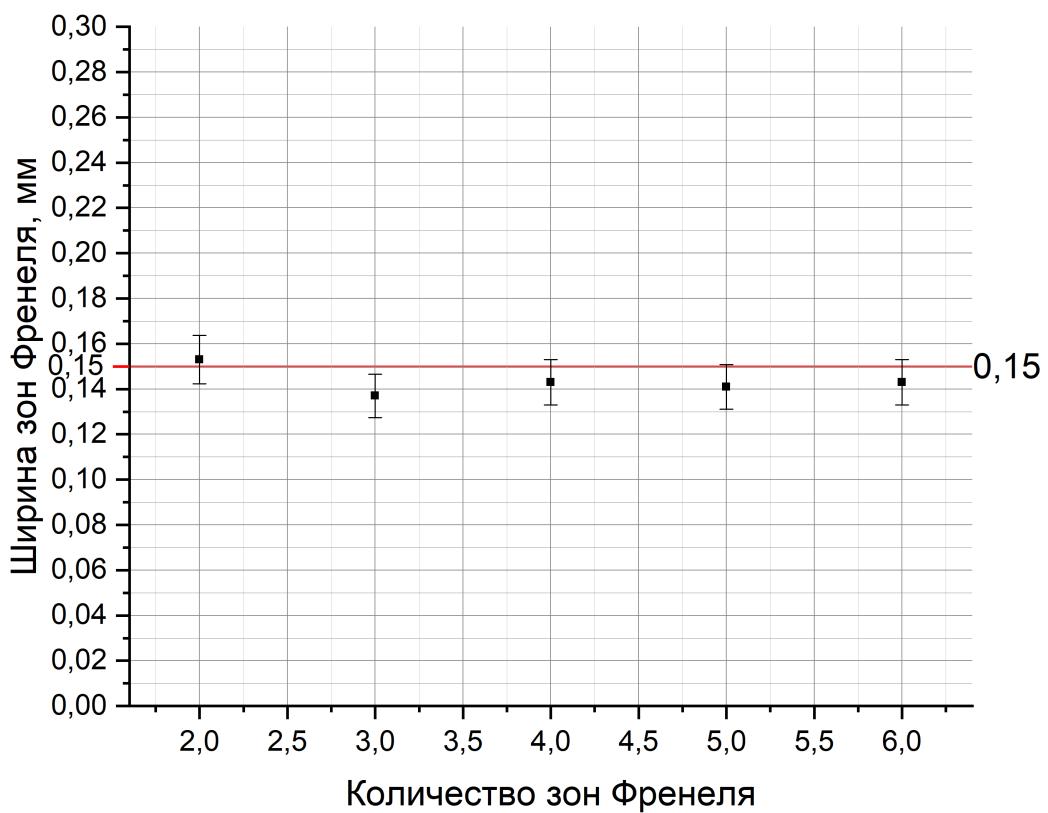


Рис. 2: График зависимости общей ширины зон Френеля от количества укладывающихся их на полуширине щели

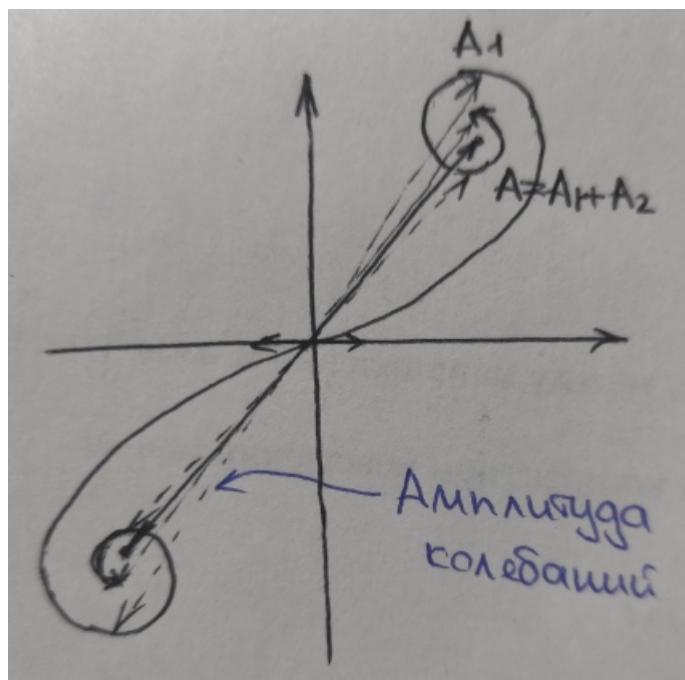


Рис. 3: Спираль Корню

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 .

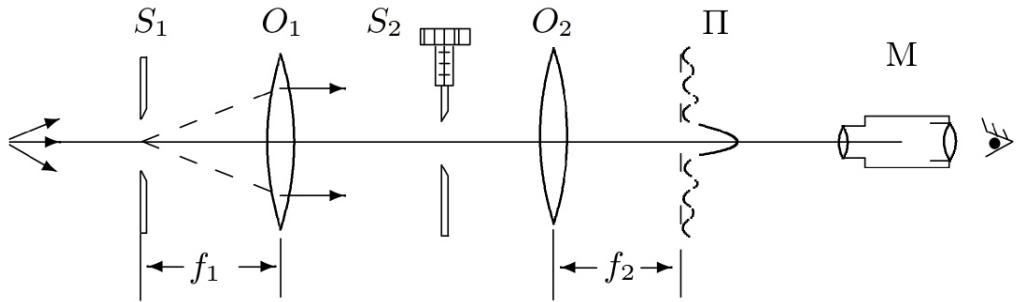


Рис. 4: Схема установки для наблюдения дифракции Фраунгофера на щели.

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, наблюданную 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 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 Θ достаточно мал.

Каждому значению угла Θ соответствует в этой плоскости точка, отстоящая от оптической оси на расстоянии

$$X = f_2 \operatorname{tg} \Theta \approx f_2 \Theta \quad (7)$$

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.

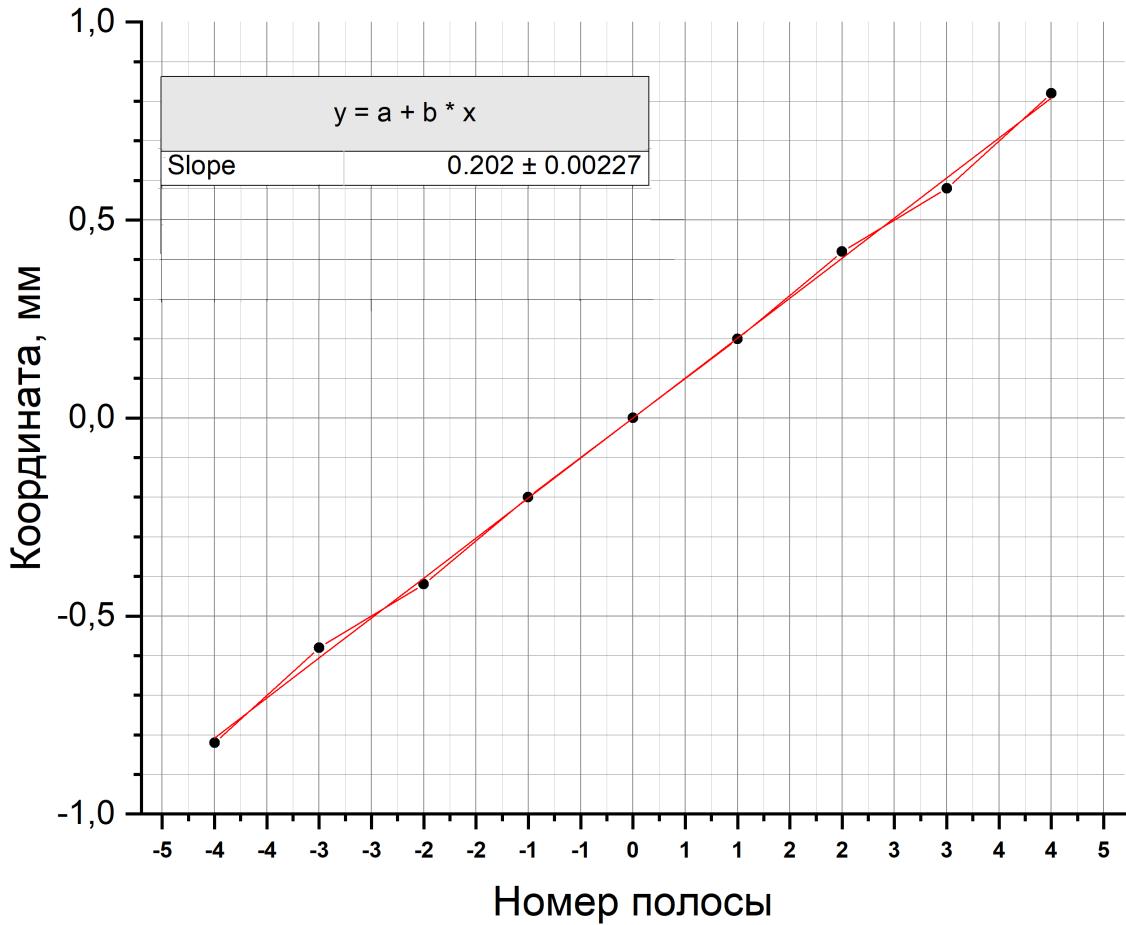


Рис. 5: График координат минимумов

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

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

найдём 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 \mathcal{E} с двумя щелями (рис. 6). Два дифракционных изображения входной щели, одно из которых образовано лучами, прошедшими через левую щель, а другое — через правую щель, накладываются друг на друга.

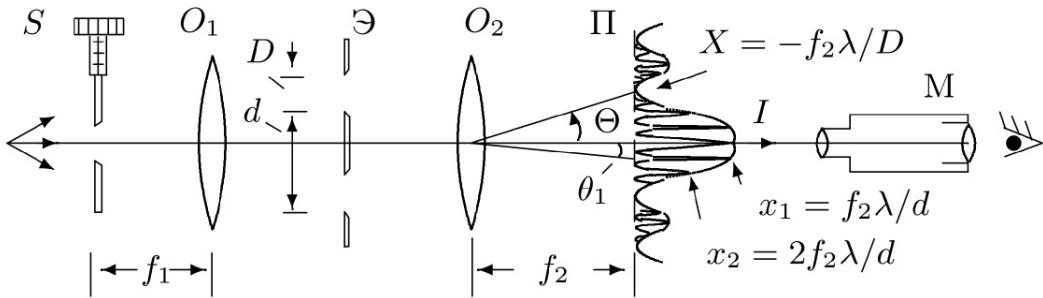


Рис. 6: Схема установки для наблюдения дифракции Фраунгофера на двух щелях.

Если входная щель достаточно узка, то дифракционная картина в плоскости Π 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 \mathcal{E} .

Теория.

Угловая координата Θ_m интерференционного максимума m -го порядка определяется соотношением

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

где d — расстояние между щелями.

Линейное расстояние δ_x между соседними интерференционными полосами в плоскости Π 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.

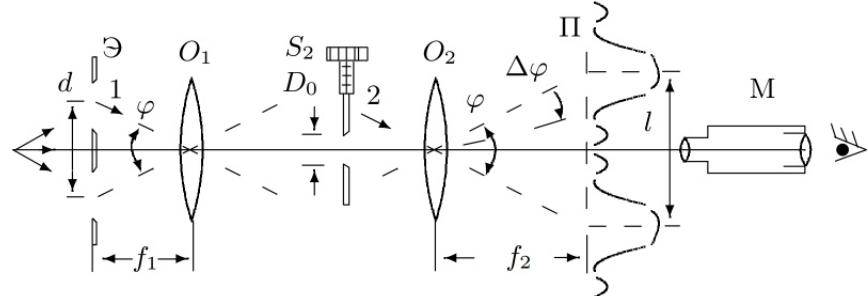


Рис. 7: Схема установки для исследования разрешающей способности оптического инструмента.

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 Π 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 2x 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.