

# Изучение дифракции света

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_ группа

"\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## 1 Аннотация

В работе изучается дифракция Френеля и Фраунгофера на различных препятствиях. Также проводится проверка применимости критерия Релея для оценки разрешающей способности оптических приборов.

## 2 Теоретические сведения и схемы экспериментальных установок

### 2.1 Дифракция Френеля

Дифракция Френеля наблюдается на небольшом расстоянии от препятствия, когда волновой параметр сравним с 1.

$$p = \frac{\sqrt{l\lambda}}{D} \sim 1$$

Здесь  $D$  - ширина щели,  $\lambda$  - длина волны,  $l$  - расстояние от щели до плоскости наблюдения.

При  $p \ll 1$  дифракционная картина пропадает, а при  $p \gg 1$  ширина дифракционных полос становится слишком большой, и дифракция Френеля превращается в дифракцию Фраунгофера.

Характер дифракции описывается векторной диаграммой, называемой спиралью Корню (рис. 1).

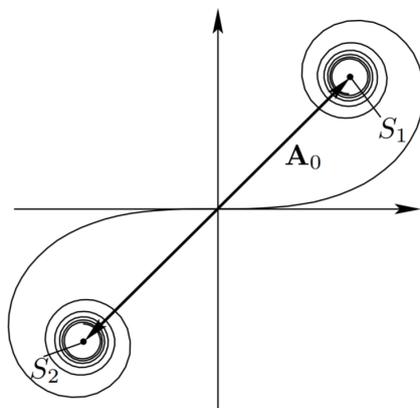


Рис. 1: Спираль Корню

Интенсивность света в точке наблюдения пропорциональна квадрату вектора амплитуды на векторной диаграмме. Из этого, например, понятно, что для достаточно широкой щели интенсивность на границе щели в четыре раза меньше, чем в центре. Части спирали между минимумами и максимумами интенсивности называются зонами Шустера. Внешний край  $m$ -й зоны Шустера отстоит от середины щели на

$$\xi_m = \sqrt{m\lambda l}$$

Установка, используемая для наблюдения дифракции Френеля, изображена на рис. 2.

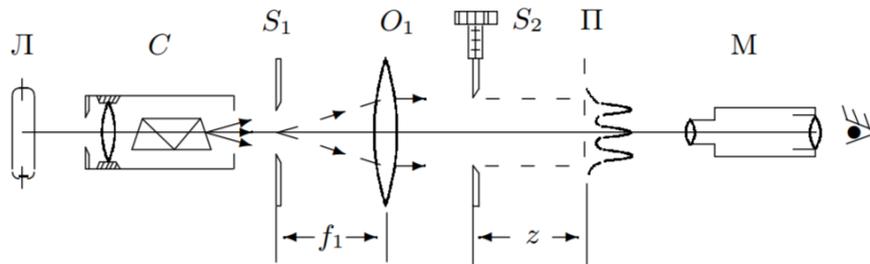


Рис. 2: Схема установки для изучения дифракции Френеля на щели

## 2.2 Дифракция Фраунгофера на щели

Дифракция Фраунгофера наблюдается, когда волновой параметр много больше 1.

$$p = \frac{\sqrt{l\lambda}}{D} \gg 1$$

Для наблюдения дифракции Фраунгофера на щели используется установка, изображенная на рисунке 3.

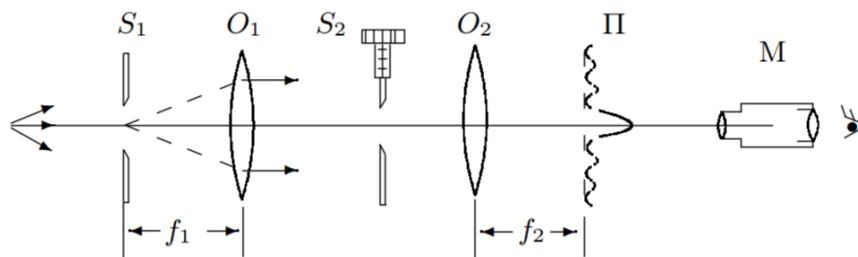


Рис. 3: Схема установки для изучения дифракции Фраунгофера на щели

Зависимость интенсивности излучения от угла наблюдения  $\theta$  описывается формулой

$$I_1(\theta) \propto \left( \frac{\sin\left(\frac{kD}{2} \sin(\theta)\right)}{\frac{kD}{2} \sin(\theta)} \right)^2$$

График этой зависимости изображен на рисунке 4.

Так как объектив  $O_2$  не вносит разности хода между лучами от разных частей отверстия, картина в его фокальной плоскости соответствует бесконечной плоскости наблюдения.

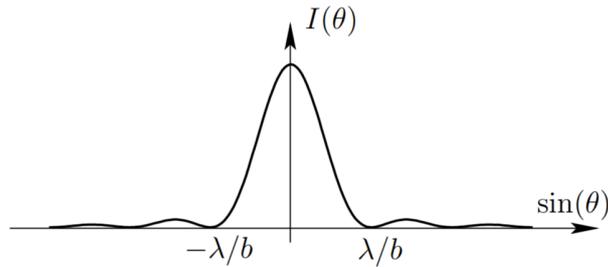


Рис. 4: Зависимость интенсивности от угла при дифракции Фраунгофера на щели

Расстояние от оптической оси до  $m$ -й темной полосы равно

$$x_m = \frac{m\lambda f_2}{D}$$

### 2.3 Дифракция Фраунгофера на двух щелях

Дифракцию Фраунгофера на двух щелях будем исследовать при помощи следующей установки:

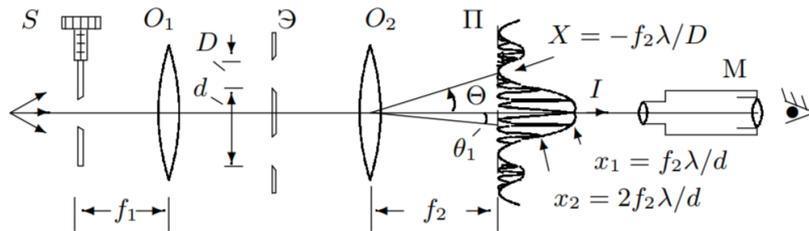


Рис. 5: Схема установки для изучения дифракции Фраунгофера на двух щелях

Пусть  $D$  - ширина щели,  $d$  - расстояние между двумя щелями.

При дифракции Фраунгофера на двух щелях картина складывается из дифракции на щели и интерференции от двух щелей. Поэтому зависимость интенсивности от угла описывается формулой

$$I_2(\theta) \propto \left( \frac{\sin(\frac{kD}{2} \sin(\theta))}{\frac{kD}{2} \sin(\theta)} \right)^2 \cdot (1 + \cos(kd \sin \theta))^2$$

График этой зависимости изображен на рисунке 6. Пунктирной линией обведена огибающая  $I_1$ , пропорциональная интенсивности при дифракции на одной щели.

Расстояние между соседними минимумами равно

$$\delta x = \frac{f_2 \lambda}{d}$$

В области центрального максимума огибающей укладывается  $\frac{2d}{D}$  интерференционных полос.

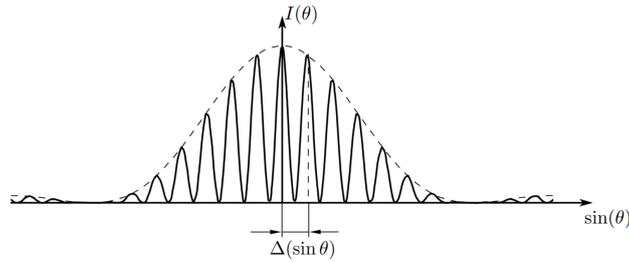


Рис. 6: Зависимость интенсивности от угла при дифракции Фраунгофера на двух щелях

## 2.4 Влияние дифракции на разрешающую способность оптического инструмента

Влияние дифракции на разрешающую способность оптического инструмента изучается при помощи установки, изображенной на рисунке 7.

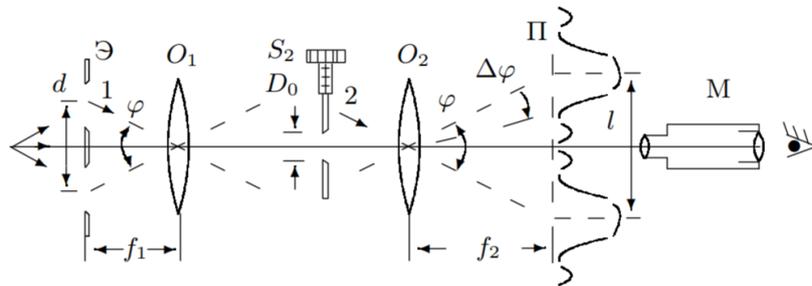


Рис. 7: Установка для исследования влияния дифракции на разрешающую способность

В отсутствие щели  $S_2$  в плоскости  $\Pi$  наблюдалось бы изображение двух щелей в экране  $\mathcal{E}$ . Они вместе с линзой  $O_1$  являются моделью далекого предмета. Щель  $S_2$  позволяет изменять размер объектива и, следовательно, разрешающую способность оптической системы.

Расстояние между изображениями щелей в плоскости  $\Pi$  равно

$$l = d \frac{f_2}{f_1}$$

Ширина каждого изображения определяется дифракцией на объективе:

$$\delta x = \frac{\lambda}{D_0} f_2$$

Изображения двух щелей можно считать различимыми по критерию Рэля, когда максимум одного пятна совпадает с минимумом другого, т. е.  $\delta x \sim l$ , или  $\frac{\lambda}{D_0} \sim \frac{d}{f_1}$ .

## 3 Результаты измерений и их обработки

### 3.1 Параметры установки

Параметры установки следующие: фокусные расстояния линз  $f_1 = 10.8 \pm 0.1$  см и  $f_2 = 11.0 \pm 0.1$  см.

Длина волны зеленой линии ртути  $\lambda = 546.1$  нм.

### 3.2 Дифракция Френеля

Получим изображение щели в микроскопе. Предметная плоскость так будет совпадать с плоскостью щели. Позиция микроскопа  $x_0 = 54.8$  см. Отодвигая микроскоп, будем наблюдать дифракцию Френеля в зависимости от расстояния  $l$  от щели до предметной плоскости. Измерим позиции микроскопа  $x_n$ , при которых видно  $n$  полос. Результаты измерений представлены в таблице.

$n$	$x_n$ , см	$l$ , см	$D$ , мм
1	57.6	2.8	0.350
2	56.9	2.1	0.371
3	56.4	1.6	0.374
4	56.1	1.3	0.377
5	55.9	1.1	0.380

Таблица 1: Результаты измерений  $x_n(n)$  и их обработки

Если на полуширине щели укладывается  $m$  зон Шустера, то на изображении щели видно  $n = m - 1$  темную полосу. Поэтому ширина щели рассчитывается по формуле

$$D = 2\sqrt{l(n+1)\lambda}$$

Результаты расчетов также приведены в таблице.

После усреднения и учета коэффициента Стьюдента получим ширину щели, равную

$$D = 0.37 \pm 0.03 \text{ мм}$$

При измерении ширины щели микроскопом получился результат

$$D_1 = 0.36 \pm 0.02 \text{ мм}$$

При измерении по микрометру

$$D_2 = 0.40 \pm 0.02 \text{ мм}$$

Значения ширины, измеренные разными способами, близки друг к другу.

При уменьшении ширины щели волновой параметр увеличивается, и дифракционная картина меняется так же, как и при увеличении расстояния до нее. Число полос, наблюдаемых на изображении щели, уменьшается.

При дифракции Френеля на проволоке на области тени наблюдаются осцилляции интенсивности. При этом, при любом  $l$  в центре тени от проволоки наблюдается яркая полоса.

При дифракции Френеля на краю экрана начало вектора амплитуды на векторной диаграмме зафиксировано в  $S_1$ , а конец перемещается вдоль спирали к другому ее фокусу  $S_2$ . При перемещении из темной зоны интенсивность постепенно нарастает, достигает  $I_0/4$  при достижении края(конец в этот момент проходит начало координат), а дальше начинает совершать затухающие колебания около точки  $I_0$ .

### 3.3 Дифракция Фраунгофера на щели

Соберем установку, изображенную на рисунке 3.

В микроскоп наблюдается серия светлых и темных полос. Толщина центрального максимума в два раза больше толщины боковых максимумов. Интенсивность быстро падает при отдалении от центрального максимума.

Измерим с помощью шкалы микроскопа координаты  $X_m$  видимых минимумов. Результаты измерения приведены в таблице.

$m$	$X_m$ , мм
-4	0.34
-3	1.00
-2	1.72
-1	2.40
1	4.00
2	4.70
3	5.40
4	6.10

Таблица 2: Результаты измерений  $X_m$  для дифракции Фраунгофера на щели

Из МНК находим(коэффициент Стьюдента 2.37)

$$\frac{f\lambda}{D} = \frac{\Delta X_m}{\Delta m} = 0.73 \pm 0.02$$

$$D = 0.082 \pm 0.002 \text{ мм}$$

При измерении по микрометрическому винту и микроскопу получились результаты  $D_1 = 0.06 \pm 0.02$  мм и  $D_2 = 0.07 \pm 0.02$  мм. Все три значения сходятся в пределах погрешности.

При смещении щели дифракционная картина не меняется. Это объясняется тем, что мы наблюдаем картину в фокальной плоскости линзы. Эффективное расстояние до щели очень велико, и ее смещение много меньше этого расстояния. Поэтому роль играет только угловое распределение интенсивности.

При уменьшении ширины щели картина растягивается, что соответствует теории.

### 3.4 Дифракция Фраунгофера на двух щелях

Соберем установку с двумя щелями (рис. 5).

В области центрального максимума видно  $N = \frac{2d}{D} = 7$  дифракционных полос.

Ширина центрального максимума равна  $2X = 0.46 \pm 0.02$  мм.

Отсюда найдем размер щели  $D$  и расстояние между щелями  $d$ .

$$D = \frac{f_2 \lambda}{X} = 0.261 \pm 0.011 \text{ мм}$$

$$d = \frac{DN}{2} = 0.91 \pm 0.06 \text{ мм}$$

Микроскопом были измерены значения  $D = 0.32 \pm 0.02$  мм,  $d = 0.90 \pm 0.02$  мм. Эти значения близки к полученным по дифракционной картине.

Измерим значение ширины входной щели, при которой дифракционная картина пропадает из-за потери пространственной когерентности. Измерим также ширину щели, при которой картина наиболее контрастна. Соответствующие значения получились равными

$$D_{\text{проп.}} = 0.35 \pm 0.02 \text{ мм}$$

$$D_{\text{контр.}} = 0.25 \pm 0.02 \text{ мм}$$

### 3.5 Влияние дифракции на разрешающую способность оптического инструмента

Соберем и настроим установку, изображенную на рисунке 7. При уменьшении ширины щели  $S_2$  качество изображения щелей ухудшается. Измерим ширину, при которой изображения двух щелей перестанут быть различимыми. Эта ширина равна

$$D_0 = 0.09 \pm 0.02 \text{ мм}$$

Рассчитанное по критерию Рэлея значение этой ширины равно

$$D_0 = \frac{\lambda f_1}{d} = 0.067 \pm 0.002 \text{ мм}$$

Наблюдаемое значение ширины, при которой изображения щелей перестали быть различимы, оказалось довольно близко к вычисленному, из чего можно сделать вывод о применимости критерия Рэлея.

## 4 Вывод

Таким образом, мы исследовали дифракцию Френеля на щели, проволоке и краю экрана, дифракцию Фраунгофера на одной и двух щелях. Найденные по дифракционным картинам геометрические размеры щелей в пределах погрешности совпали с измерениями, проведенными микроскопом и по микрометрическому винту. Также была проверена применимость критерия Рэлея для оценки разрешающей способности оптических приборов.