

МОСКОВСКИЙ  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ  
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4.3.1

---

Изучение  
дифракции света

---

Студент

Северилов Павел  
671 группа



22 мая 2018 г.

**Цель работы:** исследовать явления дифракции Френеля и Фраунгофера на щели, изучить 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.

## 1. Дифракция Френеля на щели

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 М, сфокусированного на некоторую плоскость наблюдения П.

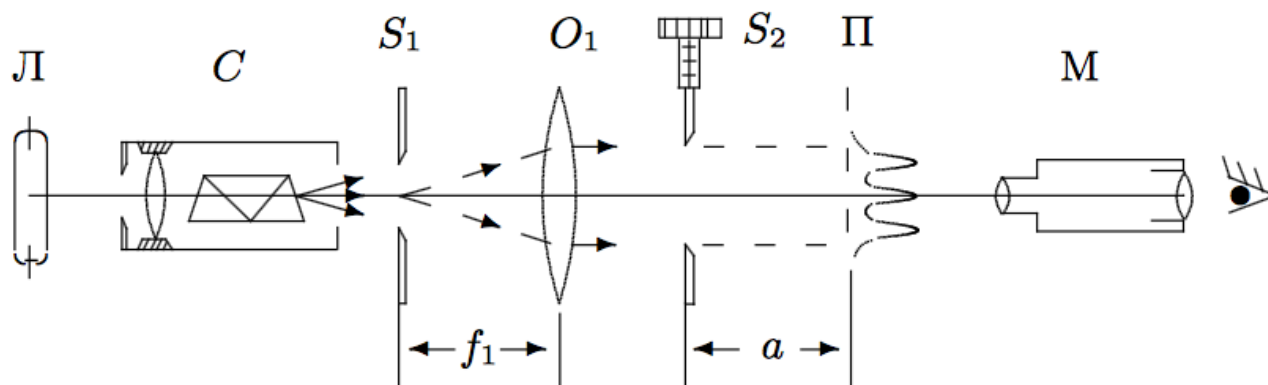


Рис. 1: Схема установки для наблюдения дифракции Френеля

Щель  $S_2$  освещается параллельным пучком монохроматического света с помощью коллиматора, образованного объективом  $O_1$  и щелью  $S_1$ , находящейся в его фокусе. На щель  $S_1$  сфокусировано изображение спектральной линии, выделенной из спектра ртутной лампы Л при помощи простого монохроматора С, в котором используется призма прямого зрения.

Распределение интенсивности света в плоскости наблюдения П проще всего рассчитывать с помощью зон Френеля (для щели их иногда называют зонами Шустера). При освещении щели  $S_2$  параллельным пучком лучей (плоская волна) зоны Френеля представляют собой полосы, параллельные краям щели. Результирующая амплитуда в точке наблюдения определяется суперпозицией колебаний от тех зон Френеля, которые не перекрыты створками щели. Графическое определение результирующей амплитуды производится с помощью векторной диаграммы — спирали Корню. Суммарная ширина  $n$  зон Френеля  $\xi_n$  определяется соотношением:

$$\xi_n = \sqrt{an\lambda},$$

где  $a$  — расстояние от щели до плоскости наблюдения (рис. 1), а  $\lambda$  — длина волны.

При уменьшении ширины  $S_2$  сскраю растягиваются светлые полосы.

**Измерим значение расстояний при изменении количества темных полос:**

Таблица 1: Зависимость расстояния от количества полос

$m$	0	1	2	3	4	5
$n$		2	3	4	5	6
$z$ , см	74.6	73.5	73.8	74.0	74.1	74.2
$2\xi_n$ , мм		0.219	0.228	0.228	0.233	0.228

Построим график зависимости  $2\xi_n(n)$ :

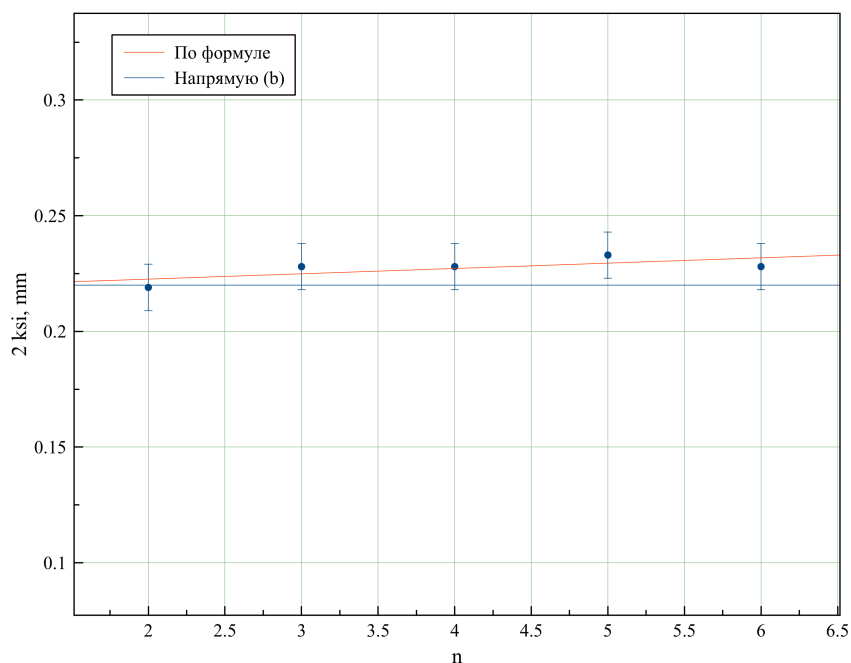


Рис. 2: График зависимости  $2\xi_n(n)$

## 2. Дифракция Фраунгофера на щели

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

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.

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. Например, при  $a \approx 20 - 40$  см и  $\lambda \approx 5 \cdot 10^{-5}$  см получаем  $D \ll 0.3$  мм. Поскольку работать с такими тонкими щелями неудобно, для наблюдения дифракции Фраунгофера к схеме, изображённой на рис. 1 добавляется объектив  $O_2$  (рис. 3).

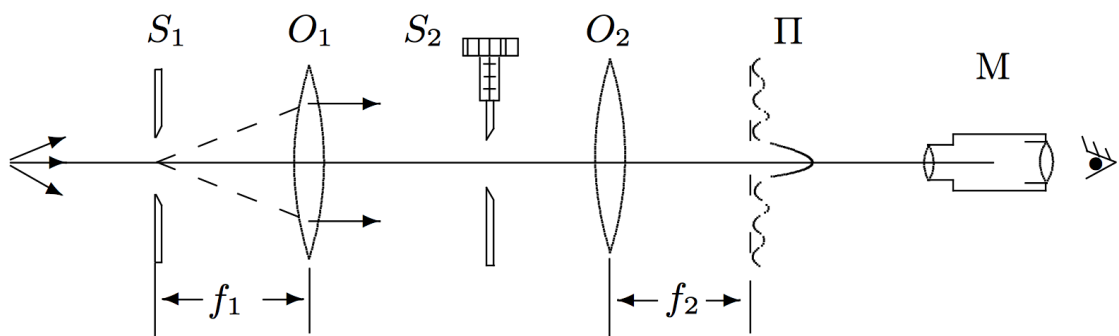
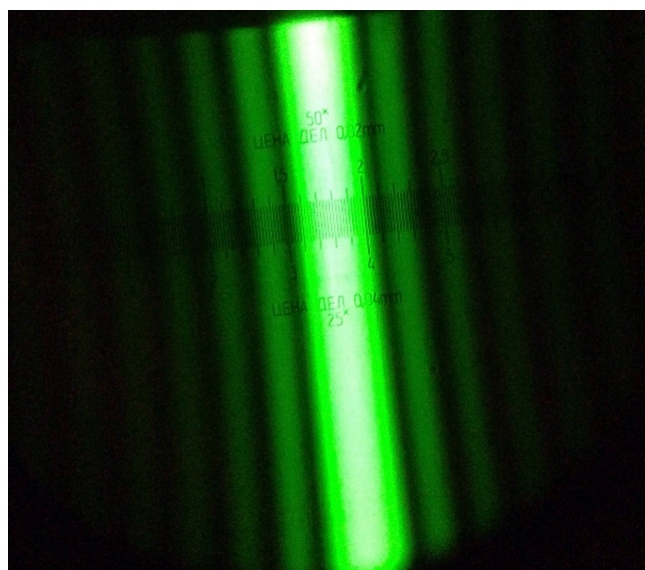


Рис. 3: Схема установки для наблюдения дифракции Фраунгофера на щели



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

**Начальные данные:**

$$f_1 = 12.5 \text{ см}$$

$$f_2 = 13.8 \text{ см}$$

$$b = 0.265 \text{ мм}$$

Таблица 2: Координаты дифракционных минимумов

$m$	-4	-3	-2	-1	1	2	3	4
$x_m, \text{мм}$	0.64	0.92	1.18	1.52	2.08	2.38	2.64	2.94

Построим график зависимости  $x_m(m)$ :

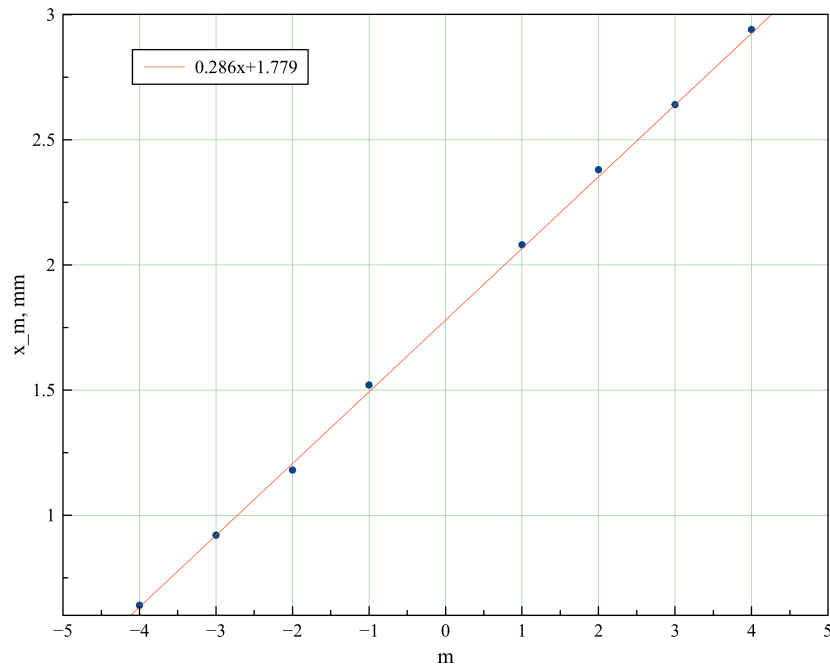


Рис. 4: Зависимость  $x_m(m)$

Рассчитаем ширину щели  $b$ :  $\lambda = 5.4 \cdot 10^{-4} \text{ мм}$

$$b = \frac{f_2 \lambda}{k} = 0.260 \text{ мм}$$

При уменьшении ширины щели  $S_2$  картинка растягивается по оси X

### 3. Дифракция Фраунгофера на двух щелях

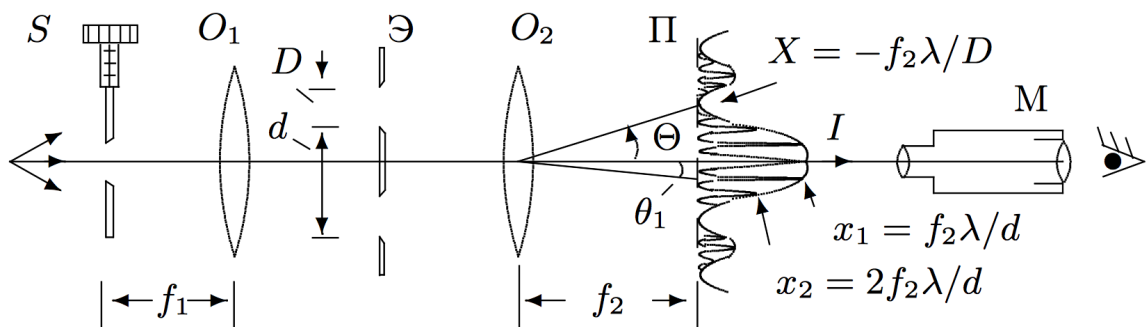


Рис. 5: Схема установки для наблюдения дифракции Фраунгофера на двух щелях

Для наблюдения дифракции Фраунгофера на двух щелях в установке (рис. 3) следует заменить щель  $S_2$  экраном Э с двумя щелями (рис. 5). При этом для оценки влияния ширины входной щели на чёткость дифракционной картины вместо входной щели  $S_1$

следует поставить щель с микрометрическим винтом. Два дифракционных изображения входной щели, одно из которых образовано лучами, прошедшими через левую, а другое — через правую щели, накладываются друг на друга.

Если входная щель достаточно узка, то дифракционная картина в плоскости  $\Pi$  (рис. 3) подобна той, что получалась при дифракции на одной щели (рис. 5), однако теперь вся картина испещрена рядом дополнительных узких полос. Наличие этих полос объясняется суперпозицией световых волн, приходящих в плоскость наблюдения через разные щели экрана  $\mathcal{E}$ .

1. Определим координаты  $x_1, x_2$  самых удаленных друг от друга темных полос внутри первого максимума, а также координату центра максимума:

$$x_1 = 0.92 \text{ мм}$$

$$x_2 = 2.12 \text{ мм}$$

Всего в первом максимуме обнаружено  $n = 5$  светлых полос, поэтому расстояние между ними равно:

$$\delta x = \frac{x_2 - x_1}{n} = \frac{1.2}{17} = 0.07 \text{ мм}$$

Теперь можно найти расстояние между щелями:

$$d = \frac{f_2 \lambda}{\delta x} = 1.1 \text{ мм}$$

2. Исследуем влияние пространственной когерентности на видность картины.

$$b_0 = \frac{f_1 \lambda}{d} = 61.4 \text{ мкм}$$

Экспериментально:

$$b_{0\text{эксп}} = 103 \text{ мкм}$$

## 4. Влияние дифракции на разрешающую способность оптического инструмента

Установка, представленная на рис. 6, позволяет исследовать влияние дифракции на разрешающую способность оптических инструментов. Как уже было выяснено, линзы  $O_1$  и  $O_2$  в отсутствие щели  $S_2$  создают в плоскости  $\Pi$  изображение щели  $S_1$ , и это изображение рассматривается в микроскоп  $M$ . Таким образом, нашу установку можно рассматривать как оптический инструмент, предназначенный для получения изображения предмета. При этом коллиматор (щель  $S_1$  и объектив  $O_1$ ) является моделью далёкого предмета, а объектив  $O_2$  и микроскоп  $M$  составляют зрительную трубу, наведённую на этот предмет.

Если перед объективом  $O_2$  зрительной трубы расположить щель  $S_2$ , то изображение объекта будет искажено дифракцией на щели  $S_2$ . Чем меньше ширина  $D_0$  этой щели, тем сильнее искажение. Качественной характеристикой этих искажений может служить минимальное

угловое расстояние  $\phi_{min}$  между объектами (источниками), которые ещё воспринимаются как раздельные.

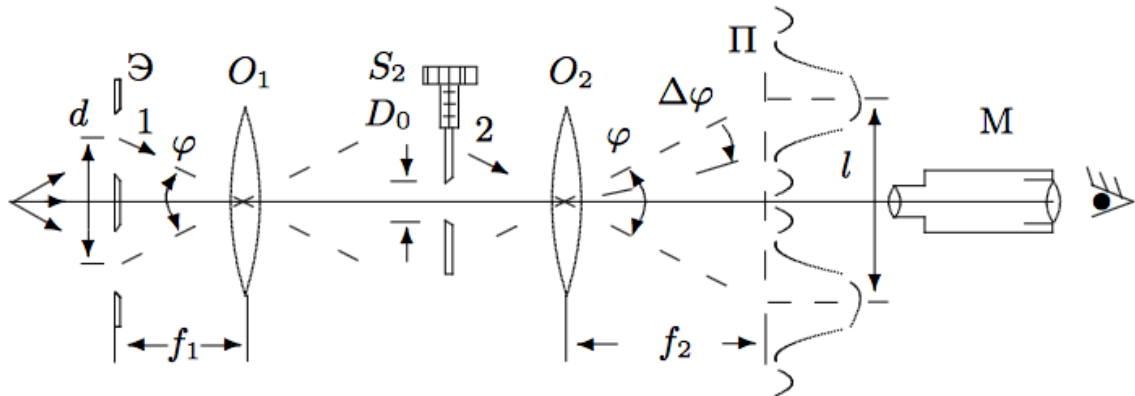


Рис. 6: Схема установки для исследования разрешающей способности оптического инструмента

1. Не меняя положения линз и микроскопа, вместо щели  $S$  поставили двойную щель и, перемещая ее вдоль оси, получили в поле зрения микроскопа симметричное изображение двойного источника.
2. При помощи микроскопа измерим расстояние между щелями:

$$d = 0.57 \text{ мм}$$

3. Поставим между линзами щель  $S_2$  и подберем ее ширину так, чтобы изображение обеих щелей почти сливалось, но все-таки воспринималось отдельно:  $b_0 = 0.141 \text{ мм}$
4. Найдем ширину  $b_0$  щели  $S_2$ , при которой пропадают различия между изображениями двух щелей, с помощью формулы:

$$b_0 = \frac{f_1 \lambda}{d} = 0.118 \text{ мм}$$

## 5. Вывод

Исследовали явления дифракции Френеля и Фраунгофера на щели, посчитали ширину щели теоретически и экспериментально. В первых двух пунктах теоретические и экспериментальные значения достаточно хорошо совпали. В остальных экспериментах расхождения получились большими – в первую очередь связано с нечеткой картиной, которую получили и не удалось улучшить.