

---

Московский Физико-Технический Институт  
(государственный университет)

Лабораторная работа по курсу общей физики № 4.3.1

---

## Изучение дифракции света

---

**Автор:**  
Лепарский Роман В01-003



Долгопрудный, 2022

# 1 Аннотация

**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.

## 2 Теоретические сведения

### А. Дифракция Френеля

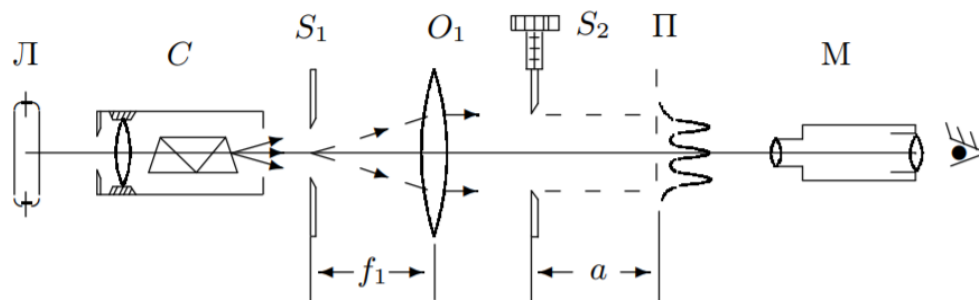


Рис. 1: Схема установки 1.

При освещении  $S_2$  параллельным пучком лучей (плоская зона) зоны Френеля представляют собой плоскости, 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  $m$  зон Френеля  $z_m$  определяется соотношением

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

где  $a$  – расстояние от щели до плоскости П. Вид наблюдаемой картины определяется количеством зон Френеля  $\Phi$ :

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

Если их  $m$ , то будет наблюдаться  $m - 1$  тёмная полоса.

### Б. Дифракция Фраунгофера на щели

Дифракцию Фраунгофера можно наблюдать на установке Рис. 1, но для удобства к подобной установке добавляется объектив  $O_2$ .

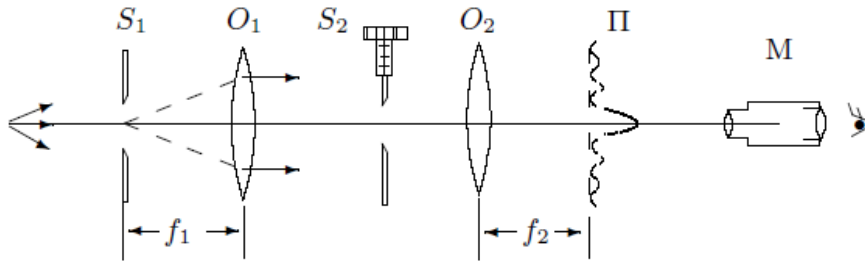


Рис. 2: Схема установки 2.

Дифракционная картина здесь наблюдается в фокальной плоскости объектива  $O_2$ . Каждому значению  $\theta$  соответствует в этой плоскости точка, отстоящая от оптической оси на расстоянии

$$X = f_2 \tan \theta \approx f_2 \theta. \quad (2)$$

При  $\theta = 0$  разность хода между лучами нулевая, поэтому в центре поля зрения дифракционный максимум. Первый минимум соответствует  $\theta_1$  такому, что в точке наблюдения разность хода пробегаем все значения от 0 до  $2\pi$ . Аналогично рассуждая, для  $m$ -й полосы

$$\theta_m = \frac{m\lambda}{D} \quad (3)$$

Расстояние  $X_m$  тёмной полосы от оптической оси из (2) и (3)

$$X_m = f_2 m \frac{\lambda}{D} \quad (4)$$

## В. Дифракция Фраунгофера для двух щелей

Для наблюдения дифракции Фраунгофера на двух щелях  $S_2$  заменим экраном Э с двумя щелями. При этом для оценки влияния ширины входной щели на чёткость вместо  $S_1$  поставим щель с микрометрическим винтом.

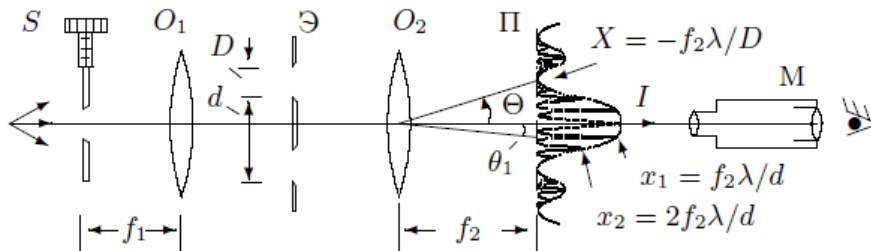


Рис. 3: Схема установки 3.

Два дифракционных изображения входной щели, одно из которых образовано лучами, прошедшими через левую, а другое – через правую щели, накладываются друг на друга. Светлая интерференционная полоса наблюдается в случаях, когда разность хода равна целому числу длин волн. Таким образом, угловая координата максимума порядка  $m$  равна

$$\theta_m = \frac{m\lambda}{d}, \quad (5)$$

где  $d$  – расстояние между щелями. Отсюда расстояние между соседними интерференционными полосами в плоскости П равно

$$\delta x = f_2 \frac{\lambda}{d} \quad (6)$$

Число интерференционных полос укладывающихся в области центрального максимума равно отношению ширины главного максимума  $\frac{2\lambda f_2}{D}$  к расстоянию между соседними полосами:

$$n = \frac{2\lambda f_2}{D} \frac{1}{\delta f} = \frac{2d}{D}. \quad (7)$$

При дифракции света на двух щелях чёткая система интерференционных полос наблюдается только при достаточно узкой ширине входной щели  $S$ . При увеличении ширины картинка пропадает и появляется вновь, но полосы при этом сильно размыты и видны плохо.

## Г. Влияние дифракции на разрешающую способность оптического инструмента

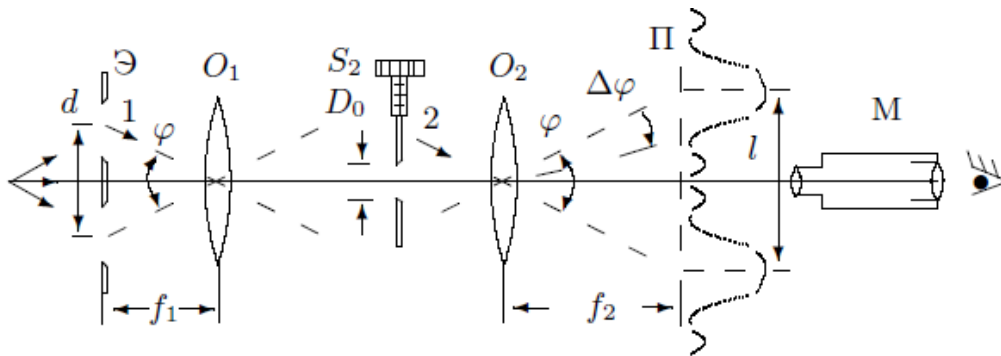


Рис. 4: Схема установки 4.

В отсутствие щели  $S_2$  линзы  $O_1$  и  $O_2$  создают на плоскости  $\Pi$  изображение щели  $S_1$  и это изображение рассматриваются микроскопом  $M$ . Таким образом, установку можно рассматривать как оптический инструмент, предназначенные для получения изображения предмета. Если перед  $O_2$  расположить  $S_2$ , то изображение объекта будет искажено из-за дифракции. Чем меньше ширина щели, тем сильнее искажение. Качественной характеристикой этого искажения может служить  $\varphi_{min}$  — минимальное угловое расстояние между объектами (источниками), которые всё ещё воспринимаются как отдельные. Поместим вместо  $S_1$  экран  $\mathcal{E}$  с двумя щелями с расстоянием  $d$ . Тогда на  $S_2$  будут падать два пучка света с углом

$$\varphi = \frac{d}{f_1} \quad (8)$$

Из геометрии расстояние  $l$  между изображениями щелей в плоскости  $\Pi$  равно

$$l = \varphi f_2 = d \frac{f_2}{f_1}. \quad (9)$$

Ширина  $\Delta\varphi$  определяется дифракцией на  $S_2$ . Условия, при которых изображения различимы разные для разных наблюдателей, поэтому используют *критерий Рэлея – максимум одного дифракционного пятна должен совпадать с минимумом другого*. В наших условиях это значит, что угловая полуширина  $\frac{\lambda}{D}$  равна угловому расстоянию  $\frac{l}{f_2}$ .

## 3 Обработка результатов

### 3.1 Дифракция Френеля на щели

Длина волны для этой работы  $\lambda = 578$  нм.

Запишем ширину щели  $S_2$ , измеренную с помощью микрометрического винта и шкалы микроскопа.

$$b_{micro} = 0,25 \pm 0,02 \text{ мм}$$

$$b_{scale} = 0,26 \pm 0,01 \text{ мм}$$

В первом случае погрешность обусловлена точному измерению положения открытия щели. Во втором случае взята половина ц.д.

Запишем начальное положение микроскопа (дифракция не наблюдается)

$$x_0 = 64,3 \pm 0,1 \text{ см}$$

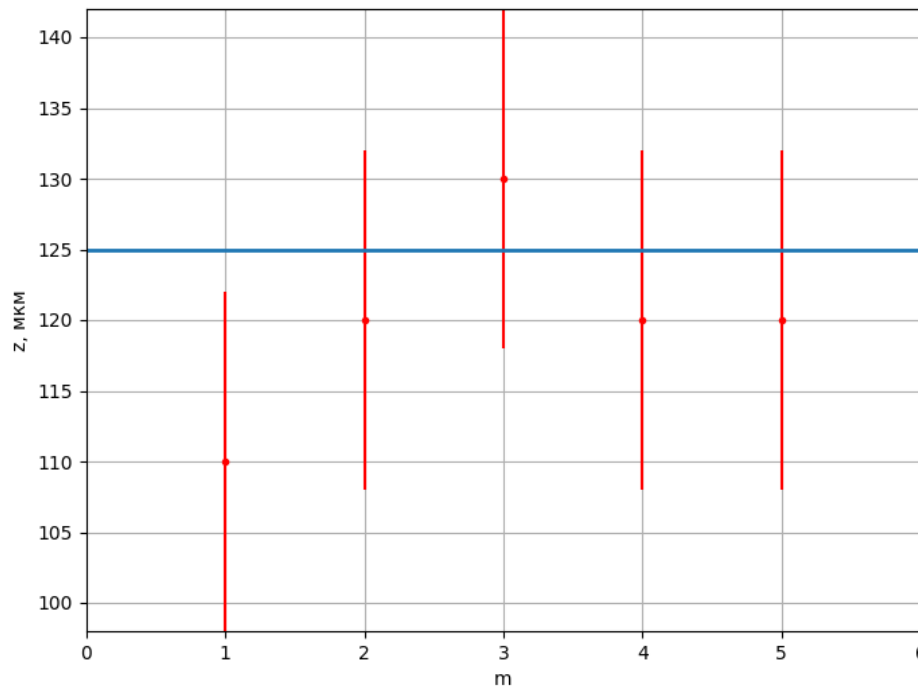
Запишем в таблицу координаты микроскопа в зависимости от количества темных полос, найдем для каждого случая величину  $z_m$

$m$	1	2	3	4	5
$x_m$ , см	62,2	62,9	63,3	63,6	63,8
$a$ , см	2,1	1,4	1	0,7	0,5
$z_m$ , МКМ	110	120	130	120	120

Погрешность найдем по формуле

$$\sigma_z = \frac{\sqrt{n\lambda}}{2\sqrt{a}} \cdot \sigma_a = 12 \text{ МКМ}$$

Отложим эти значения на графике  $z_m(m)$



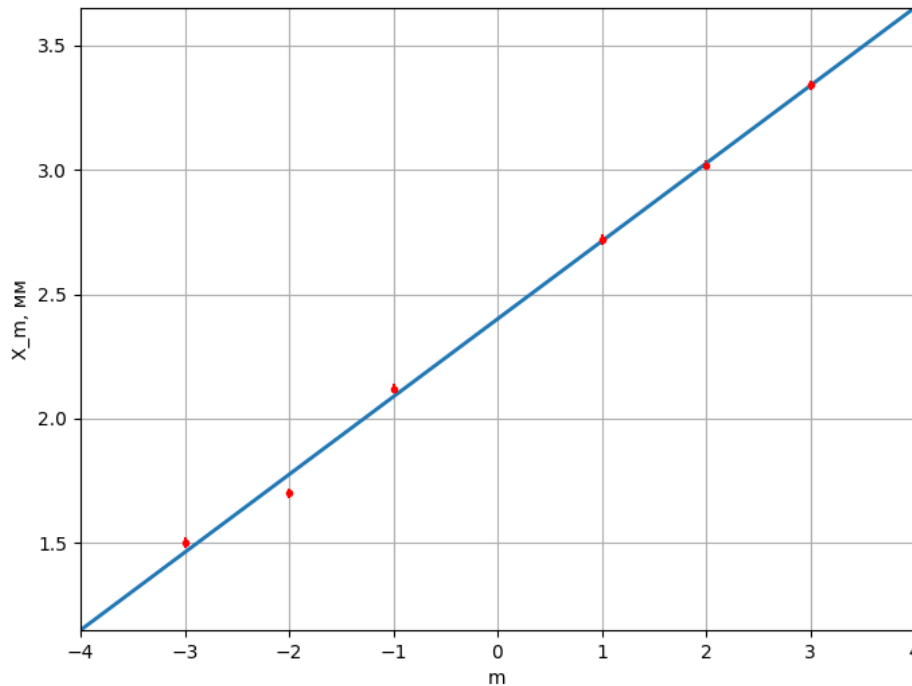
Линией на графике отмечена полуширина щели. Почти все значения лежат в пределах погрешности.

### 3.2 Дифракция Фраунгофера на щели

Ширина щели по показаниям микрометра:  $b = 0,19 \pm 0,01$  мм. Фокусное расстояние линзы  $F_2 = 10,2$  см. Запишем координаты минимумов дифракционной картины. Погрешность измерений  $\sigma_X = 0,02$  мм обусловлена шириной темной полосы

$m$	-3	-2	-1	1	2	3
$X_m$ , мм	1,50	1,70	2,12	2,72	3,02	3,34

Построим график



По МНК расстояние между минимумами  $\Delta X = 0,312 \pm 0,007$  мм. Из формулы (4)

$$b = \frac{\lambda}{\Delta X} F_2 = 0,188 \text{ мм}$$

$$\sigma_b = \frac{\lambda}{\Delta X^2} F_2 \cdot \sigma_{\Delta X} = 0,004 \text{ мм}$$

Полученное значение совпадает с измеренным в пределах погрешности.

### 3.3 Дифракция Фраунгофера на двух щелях

Измерим координаты центрального максимума:  $X_1 = 1,61 \pm 0,01$  мм,  $X_2 = 2,02 \pm 0,01$  мм. Число светлых полос  $n = 6 \pm 1$ .

$$\delta x = \frac{\Delta X}{n} = 0,07 \text{ мм}$$

$$\sigma_{\delta x} = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sigma_{\Delta X}\right)^2 + \left(\frac{\Delta X}{n^2} \sigma_n\right)^2} = 0,012 \text{ мм}$$

Рассчитаем величину  $d$ :

$$d = \frac{\lambda}{\delta x} F_2 = 0,8 \text{ мм}$$

$$\sigma_d = \frac{\lambda}{\delta x^2} F_2 \cdot \sigma_{\delta x} = 0,14 \text{ мм}$$

Дифракционная картина пропадает при раскрытии входной щели  $b_0 = 0,071 \pm 0,03$  мм. Рассчитаем это значение по формуле:

$$b_0 = \frac{\lambda}{d} F_2 = 0,07 \text{ мм}$$

$$\sigma_{b_0} = \frac{\lambda}{d^2} F_2 \cdot \sigma_d = 0,13 \text{ мм}$$

Рассчитанное значение совпадает с экспериментальным в пределах погрешности.

Из следующего пункта ширина щели  $D = 0,2 \pm 0,11$  мм Соответственно количество полос

$$n = \frac{2d}{D} = 8 \pm 4$$

### 3.4 Влияние дифракции на разрешающую способность

Запишем минимальную ширину щели  $b_0 = 0,092 \pm 0,003$  мм, при которой еще различимо изображение щели.

Для проверки справедливости критерия Релея рассчитаем эту величину по формуле

$$b_0 = \frac{\lambda}{d} F_1 = 0,08 \text{ мм}$$

$$\sigma_{b_0} = \frac{\lambda}{d^2} F_1 \cdot \sigma_d = 0,03 \text{ мм}$$

Полученное значение совпадает в пределах погрешности.

Координаты краев двух щелей:

$X$ , мм	0	0,12	0,84	1,18
----------	---	------	------	------

## 4 Вывод

В данной работе мы исследовали явление дифракции Френеля и Фраунгофера на щели и изучили влияние дифракции на разрешающую способность оптических приборов.