

Московский физико-технический институт  
(государственный университет)

Лабораторная работа по оптике

**Дифракция света [4.3.1]**

Талашкевич Даниил Александрович  
Группа Б01-009

Долгопрудный  
2022

# Содержание

<b>1</b>	<b>Аннотация</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Теоретические сведения</b>	<b>1</b>
2.1	Дифракция Френеля . . . . .	1
2.2	Дифракция Фраунгофера на одной щели . . . . .	2
2.3	Схема установки . . . . .	3
2.4	Дифракция Фраунгофера на двух щелях . . . . .	3
2.5	Влияние дифракции на разрешающую способность опти- ческого инструмента . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Результаты измерений и обработка данных</b>	<b>5</b>
3.1	Часть А . . . . .	5
3.1.1	Измерения и обработка результатов . . . . .	5
3.2	Часть Б . . . . .	6
3.3	Часть В . . . . .	8
3.4	Часть Г . . . . .	9
<b>4</b>	<b>Выводы</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>Литература</b>	<b>10</b>

## 1 Аннотация

В работе предстоит исследовать явления дифракции Френеля и Фраунгофера на щели, изучить влияние дифракции на разрешающую способность оптических приборов.

## 2 Теоретические сведения

### 2.1 Дифракция Френеля

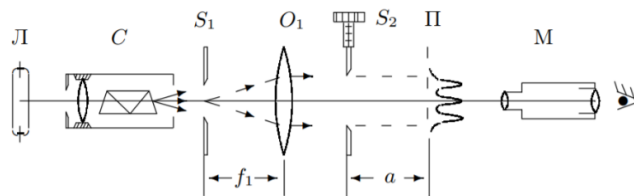


Рис. 1: Схема установки.

Распределение интенсивности света в плоскости П рассчитаем с помощью зон Френеля. 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 *числом Френеля*  $\Phi$ :

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

– число зон Френеля, которые укладываются в ширине щели  $D$ .  $p = \frac{1}{\Phi^2}$  называется *волновым параметром*.

## 2.2 Дифракция Фраунгофера на одной щели

Для выкладок ниже нам потребуется знать *принцип Гюйгенса-Френеля*. Он формулируется следующим образом

*Каждый элемент волнового фронта можно рассматривать как центр вторичного возмущения, порождающего вторичные сферические волны, а результирующее световое поле в каждой точке пространства будет определяться интерференцией этих волн.*

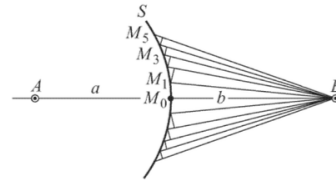


Рис. 2: Построение зон Френеля

Теперь рассмотрим первое применение этого принципа, получившее название *метод зон Френеля*

Для этого рассмотрим действие световой волны действующей из точки  $A$  в какой-то точке  $B$ .

В этом случае можно, взяв точку  $M_0$  в качестве центра (см. рис. 1), построить ряд концентрических сфер, радиусы которых начинаются с  $b$  и увеличиваются каждый раз на половину длины волны  $\lambda/2$ . При пересечении с плоским фронтом волны  $F$  эти сферы дадут концентрические окружности. Таким образом, на фронте волны появятся кольцевые зоны (зоны Френеля) с радиусами  $r_1, r_2$  и т. д.

Из геометрических соображений посчитав, можно получить, что

$$r_i = i\sqrt{a\lambda} \quad (2)$$

Введем так же обозначение: *число Френеля*

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

В этом пункте рассмотрим дифракцию, когда ширина щели становится значительно меньше ширины первой зоны Френеля, т.е. если

$$D \ll \sqrt{a\lambda} \quad (4)$$

Это условие всегда выполняется при достаточно большом  $a$ . В

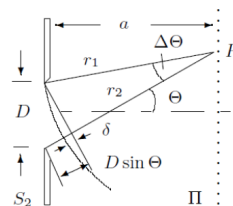


Рис. 3: К фазовым соотношениям при дифракции Фраунгофера

этом случае говорят, что *дифракция Фраунгофера*. При выполнении пункта (2) у нас заметно упрощаются фазовые соотношения, что поясняет рис. 2, в итоге с хорошим приближением можно считать, что разность хода между соседними лучами равна

$$\Delta = r_2 - r_1 \approx D \sin \theta \approx D \cdot \theta \quad (5)$$

Здесь предполагается, что  $\theta$  достаточно мал.

### 2.3 Схема установки

Дифракцию Фраунгофера можно наблюдать на подобной установке

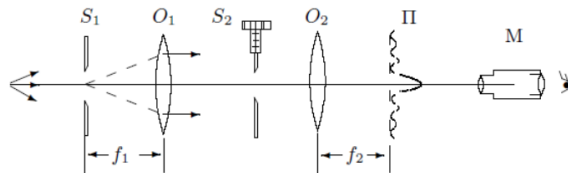


Рис. 4: Схема установки для пункта 2

Объектив здесь нужен для удобства, так как неудобно работать с очень узкими щелями. Дифракционная картина здесь наблюдается в фокальной плоскости объектива  $O_2$ .

Посчитав легко определить угловую координату любой темной полосы:

$$\theta_m = \frac{m\lambda}{D} \quad (6)$$

И расстояние от центра соответственно

$$X_m = f_2 m \frac{\lambda}{D} \quad (7)$$

### 2.4 Дифракция Фраунгофера на двух щелях

Заменяем  $S_2$  на две щели

В этом случае легко видеть, что угловая координата максимума будет

$$\theta_m = \frac{m\lambda}{d} \quad (8)$$

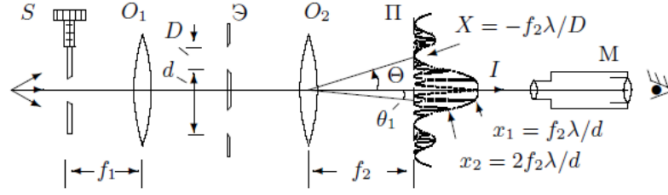


Рис. 5: Установка для третьего пункта

И между соседними полосами

$$\delta x = f_2 \frac{\lambda}{d} \quad (9)$$

Так же нетрудно оценить число интерференционных полос укладывающихся в области центрального максимума

$$n = \frac{2d}{D} \quad (10)$$

## 2.5 Влияние дифракции на разрешающую способность оптического инструмента

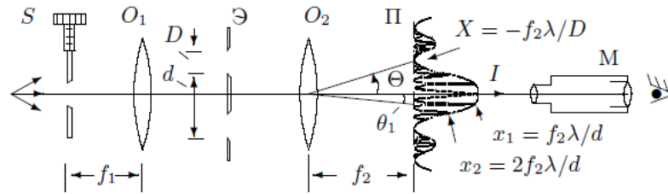


Рис. 6: Схема установки для пункта 4.

Если перед  $O_2$  расположить  $S_2$ , то изображение объекта будет искажено из-за дифракции. Качественной характеристикой этого искажения может служить  $\varphi_{min}$  — минимальное угловое между объектами (источниками).

$$\varphi = \frac{d}{f_1} \quad (11)$$

Из геометрии  $l$  между объектами равно

$$l = \phi \cdot d_2 \tag{12}$$

$$\frac{\lambda}{D_0} = \frac{l}{f_2} = \frac{d}{f_1} \tag{13}$$

### 3 Результаты измерений и обработка данных

Соберем схему и подготовим приборы к работе, следуя техническому описанию, расположенному на установке.

#### 3.1 Часть А

##### 3.1.1 Измерения и обработка результатов

Запишем ширину щели:  $b = 0,360 \pm 0,005$  мм.

Приближая микроскоп к щели, снимем зависимость координаты микроскопа от числа  $n$  темных полос по формуле  $a_n = x_n - x_0$ , где  $x_0 = 52,9$  мм — положение нуля. Результаты занесем в табл. 1 и построим график зависимости величины  $2\xi_n$  от  $n$ . Длина волны зеленого света  $\lambda = 5461 \cdot 10^{-10}$  м. (Формула 1)

Таблица 1: Зависимость координаты микроскопа от числа  $n$  темных полос

$x_n$ , мм	$n$	$a_n$ , мм	$\xi_n$ , мм
539	5	6	0.404
537	4	8	0.418
535	3	10	0.404
531	2	12	0.362

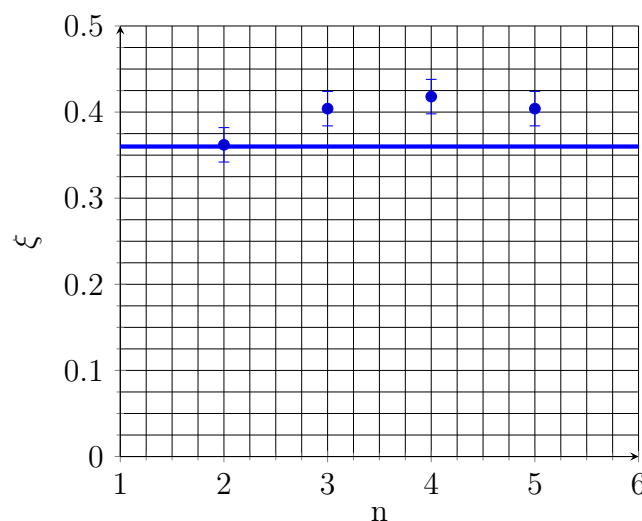


График зависимости суммарной ширины зон Френеля от их числа



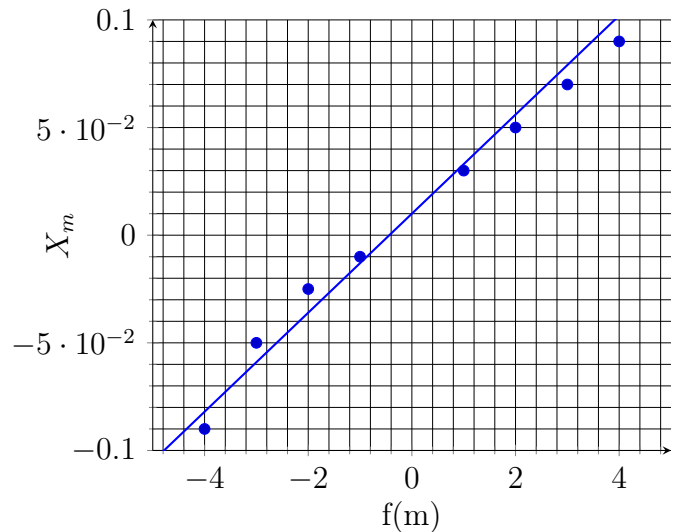
Таким образом, ширина примерно совпадает с шириной щели и является постоянной величиной. «Сдвиг» объясним неточностью в измерении нуля.

### 3.2 Часть Б

Величина щели по винту равна  $b = 0,5 \pm 0,03$  мм. Фокусное расстояние линзы  $f_2 = 10,0$  см.

Измерим с помощью винта поперечного перемещения микроскопа координаты  $X_m$  нескольких дифракционных минимумов. Здесь  $x_m$  — измерения, которые затем умножаем на  $\alpha = 0,02$  мм — цену деления винта, т.е.  $X_m = \alpha x_m$ . Результаты занесем в табл. 2 и построим график зависимости минимумов от их номеров.

$x_m$	$X_m$ , мм	$m$
-9.0	-0.090	-4
-5.0	-0.050	-3
-2.5	-0.025	-2
-1.0	-0.010	-1
3.0	0.030	1
5.0	0.050	2
7.0	0.070	3
9.0	0.090	4

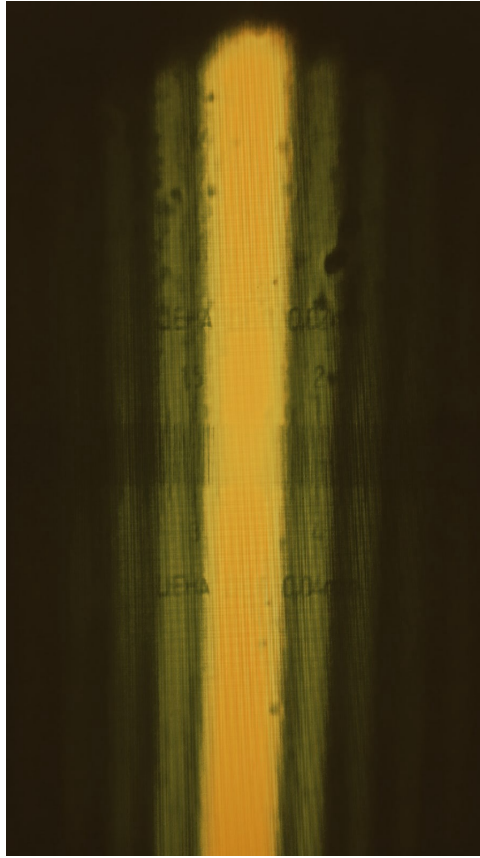


Зависимость минимумов от их номера  $m$

Из графика получаем, что угол наклона  $a = (23,0 \pm 1,2) \cdot 10^{-4}$  мм. Это и есть расстояние  $\Delta X$  между соседними максимумами. Из формулы 4 мы получаем, что

$$b_s = \frac{X_m}{m} = \frac{\lambda}{b_s} f_2 b_s = 2 \cdot \frac{\lambda}{a} f_2 = 0,502 \pm 0,007. \quad (14)$$

Таким образом, наши значения для  $b$  и  $b_s$  близки.



Дифракционная картина на одной щели

### 3.3 Часть В

Получим на экране дифракционную картину и проведем измерения. Получим для 1 и 2 максимума слева и справа соответственно координаты на винте  $x_m$ , а затем получим  $X_m = \alpha x_m$  аналогично предыдущему пункту.

$m$	-2	-1	1	2
$x_m$	-1,55	-1,6	0.7	0.8
$m$ , мм	-0.031	-0.032	0.015	0.018

Измерения максимумов на двух щелях

Ширина главных максимумов  $\delta x = 3(x_1 - x_{-1}) = 0,042$  мм, где 3 — число наблюдаемых светлых полос. Из формулы 5 получаем расстояние между щелями

$$d = f_2 \frac{\lambda}{\delta x} = 0,144 \pm 0,006 \quad (15)$$

Это примерно сходится с измеренной непосредственно  $b_0 \approx 0,07$ . Так как эта же ширина равна  $\frac{2f_2\lambda}{b}$

$$b = \frac{2f_2\lambda}{d} = 0,082 \pm 0,004 \quad (16)$$

Из формулы 10 мы получаем  $n = \frac{2 \cdot 0,134}{0,089} \approx 3,01 \pm 0,08$ , что сходится с наблюдениями.



Дифракционная картина на двух щелях

### 3.4 Часть Г

1. Собрали схему, изменив в схеме из предыдущего пункта только  $S$ .

2. Поставили между линзами щель  $S_2$  и уменьшая ее ширину наблюдать ухудшение изображения. Подобрать ширину  $S_2$  так, чтобы изображения почти сливались.

$$D_0 = (0,060 \pm 0,005)\text{мм}$$

Погрешность берем как половину цены деления. В итоге получаем, что выполнено соотношение (13).

3. Поставить двойную щель и измерить расстояние между щелями и толщину самих щелей.

$$d = (1,00 \pm 0,01)\text{мм}$$

$$D = (0,20 \pm 0,01)\text{мм}$$

Погрешность берем как половину цены деления.

## 4 Выводы

По ходу выполнения данной работы были изучены два типа дифракции: Френеля и Фраунгофера. Изучение происходило при различных размерах щелей. Экспериментально проверили теоретические формулы:

$$b_s = \frac{X_m}{m} = \frac{\lambda}{b_s} f_2 b_s = 2 \cdot \frac{\lambda}{a} f_2 = 0,502 \pm 0,007 . \quad (17)$$

$$n = \frac{2d}{D} = 3,01 \pm 0,08 , \quad (18)$$

что сходится с наблюдениями.

## 5 Литература

1. Лабораторный практикум по общей физике. В 3 т. Том 2. Оптика: учебное пособие
2. <http://mathhelpplanet.com> (МНК и регрессионный анализ)