
Отчёт по работе 4.3.1

Изучение дифракции света

Карташов Константин Б04-005

I Анотация

Цель работы: Исследовать явления дифракции Френеля и Фраунгофера на щели, изучить влияние дифракции на разрешающую способность оптических инструментов.

Оборудование:

- ▷ оптическая скамья,
 - ▷ ртутная лампа,
 - ▷ монохроматор,
 - ▷ щели с регулируемой шириной с микрометрическим винтом,
 - ▷ рамка с вертикальной нитью,
 - ▷ двойная щель,
 - ▷ микроскоп на поперечных салазках,
 - ▷ зрительная труба.
-

II Теоретическая часть

Дифракцией, в широком смысле, называют отклонение в распространении волн от законов геометрической оптики. Для определения вида дифракционной картины можно ввести волновой параметр:

$$p = \frac{\sqrt{\lambda z}}{b},$$

где λ – длинная падающей волны, z – расстояние до отверстия, b – характеристический размер отверстия. В случае когда $p \ll 1$ для описания света справедливы законы геометрической оптики, при $p \sim 1$ – происходит дифракция Френеля, при $p \gg 1$ – дифракция Фраунгофера.

III Экспериментальная часть

i Дифракция Френеля на щели

Соберём экспериментальную установку на оптической скамье в соответствии с рис. 1 (вместо монохроматора используем светофильтр).

Найдём начальное положение микрометрического винта на щели S_2 , медленно открывая её вращением винта, после нескольких измерений получаем начальное значение $b_0 = 38 \div 42 = 40 \pm 2$ мкм.

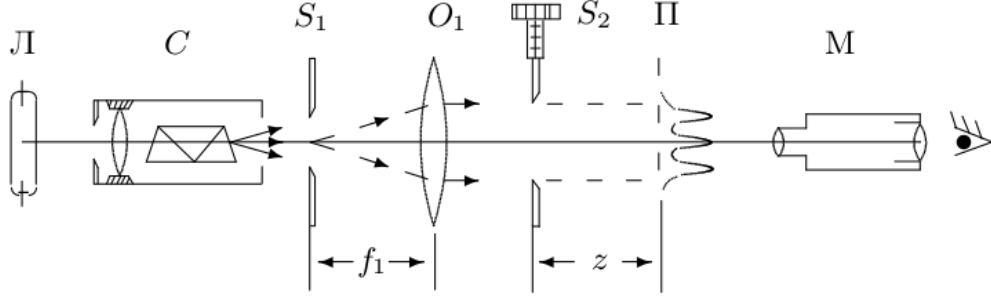


Рис. 1: Схема установки для изучения дифракции Френеля на щели

В объективе микроскопа получим резкое изображение щели. Отметим начала отчёта $z_0 = 45.1$ см. Далее, передвигая микроскоп, запишем положения при которых чётко видны чёрные полосы, и количество чёрных полос.

По микрометрическому винту измерим размер щели: $b_{\text{винт}} = 340 \pm 5$ мкм, с учётом начального положения винта и его погрешности: $b_{\text{винт}} = 300 \pm 5$ мкм. Теперь измерим ширину при помощи микроскопа: $b_{\text{микро}} = 320 \pm 10$ мкм.

Количество видимых чёрных линий связано на один меньше, чем количество видимых зон Френеля.

Данные измерений приведены в таблице 1.

$n_{\text{полос}}$	z , см	$z_{\text{отн}}$, см	$m_{\text{зон Френеля}}$
1	42.5	2.6	2
2	43.4	1.7	3
3	43.8	1.3	4
4	44.1	1.0	5
5	44.3	0.8	6

Таблица 1: Данные измерений

Построим график зависимости $z(m)$ по данным из табл. 1 (рис. 4). Теоретическая зависимость $z(m)$ имеет вид:

$$z = \frac{b^2}{4\lambda} \frac{1}{m},$$

где b – ширина щели, λ – длина волны падающего света. Пользуясь методом наименьших квадратов для функции вида $y = a/x$ найдём наилучшую кривую и случайную погрешность. Получаем:

$$a = \frac{b^2}{4\lambda} = 5.14 \text{ см} \Rightarrow b = 2\sqrt{5.14 \text{ см} \cdot \lambda} = 2\sqrt{5.14 \text{ см} \cdot 578.2 \text{ нм}} = 345 \text{ мкм},$$

$$\sigma_b = b \cdot \frac{\sigma_a}{2a} = 2 \text{ мкм}.$$

Получаем $b = 345 \pm 2$ мкм.

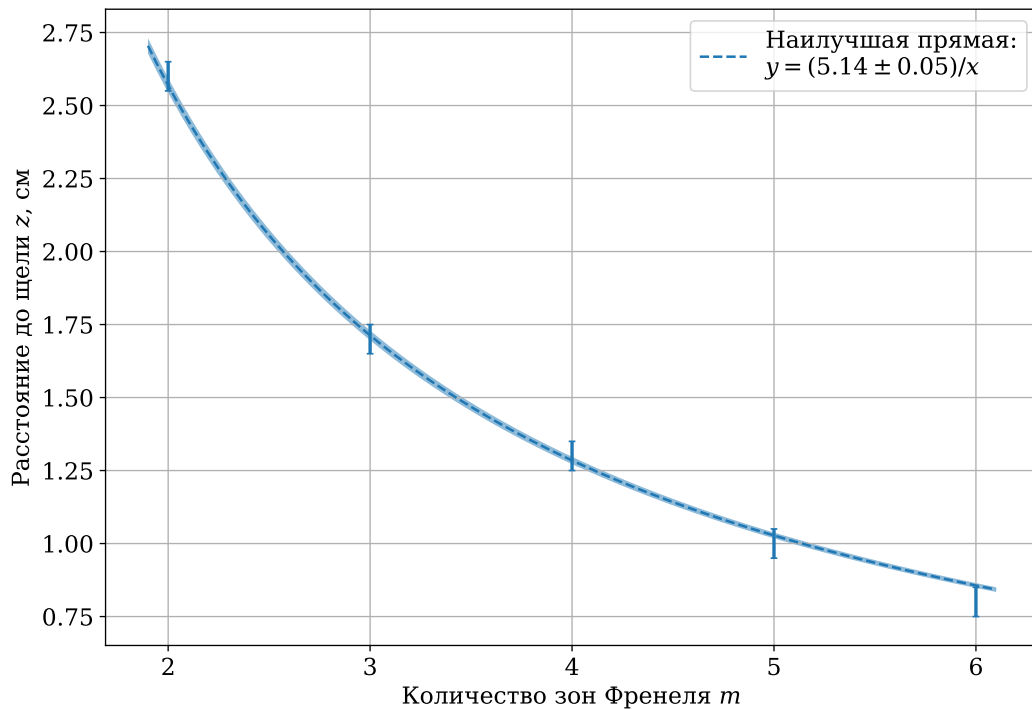


Рис. 2: График зависимости $z(m)$ с наилучшей кривой

Пронаблюдаем дифракцию на краю Экрана, слегка отодвинув микроскоп от положения в котором чётко видно щель. Видим, что у краёв щели появились частые узкие полосы. Возле краёв щели расположена самая яркая светлая полоса, она соответствует первому полу-витку спирали Корню.

Начнём уменьшать размер щели, наблюдая за изменением дифракционной картины. Видим, что число тёмных полос уменьшается, при этом их толщина почти не изменяется.

Пронаблюдаем дифракцию Френеля на тонкой проволоке. Видим, что центр проволоки остаётся светлым, а количество тёмных полос всегда чётно.

ii Дифракция Фраунгофера на щели

Соберём экспериментальную установку на оптической скамье согласно рис. 3. Размер щели $b = 360 \pm 5$ мкм. Фокусное расстояние второй линзы $f_2 = 15.5$ см.

Измерим положения нескольких поперечных минимумов табл. 2. По измеренным данным построим график и проведём наилучшую прямую пользуясь методом наименьших квадратов. Найдём среднее расстояние между минимумами с учётом случайной погрешности. Получаем $\Delta x = 0.234 \pm 0.002$ мм.

Рассчитаем размер щели пользуясь формулой:

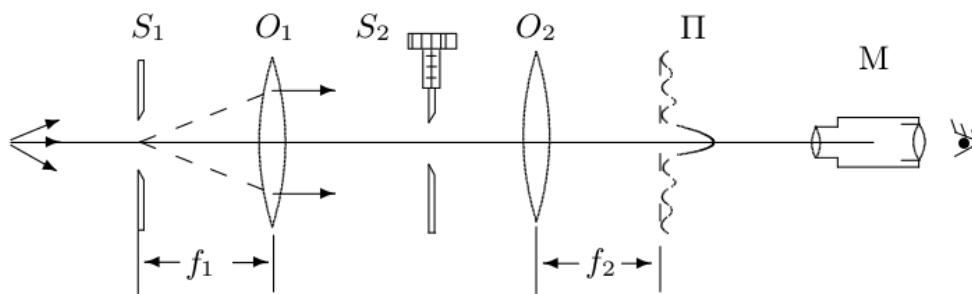


Рис. 3: Схема установки для изучения дифракции Фраунгофера на щели

m	+1	-1	+2	-2	+3	-3	+4	-4
x , мм	2.24	1.74	2.48	1.54	2.72	1.28	2.92	1.08

Таблица 2: Положения максимумов и минимумов

$$x_m = m \frac{\lambda}{b} f_2 \Rightarrow \Delta x = \frac{\lambda}{b} f_2 \Rightarrow b = \frac{\lambda f_2}{\Delta x}.$$

Получаем:

$$b = \frac{578.2 \text{ нм} \cdot 15.5 \text{ см}}{0.234 \text{ мм}} = 383 \text{ мкм},$$

$$\sigma_b = b \frac{\sigma_{\Delta x}}{\Delta x} = 3 \text{ мкм}.$$

Получаем $b = 383 \pm 3 \text{ мкм}$.

Переместим щель S_2 в боковом направлении. Видим, что при этом дифракционная картина не перемещается, но при дальнейшем смещении щели, дифракционная картина становится менее чётком, и различимо меньшее количество максимумов.

Уменьшим размер щели S_2 . Видим, что масштаб дифракционной картины увеличился.

iii Дифракция Фраунгофера на двух щелях

Соберём экспериментальную установку на оптической скамье согласно рис. 5. Фокусное расстояние первой и второй линзы соответственно $f_1 = 11.0 \text{ см}$ и $f_2 = 15.5 \text{ см}$.

При помощи микроскопа измерим размеры щелей расстояние между ними. Измеренные координаты четырёх вертикалей: $x_1 = 1.00 \text{ мм}$, $x_2 = 1.18 \text{ мм}$, $x_3 = 1.82 \text{ мм}$, $x_4 = 1.98 \text{ мм}$. Получаем размер щелей $b = 0.17 \pm 0.02 \text{ мм}$, расстояние между щелями $d = 0.81 \pm 0.02 \text{ мм}$.

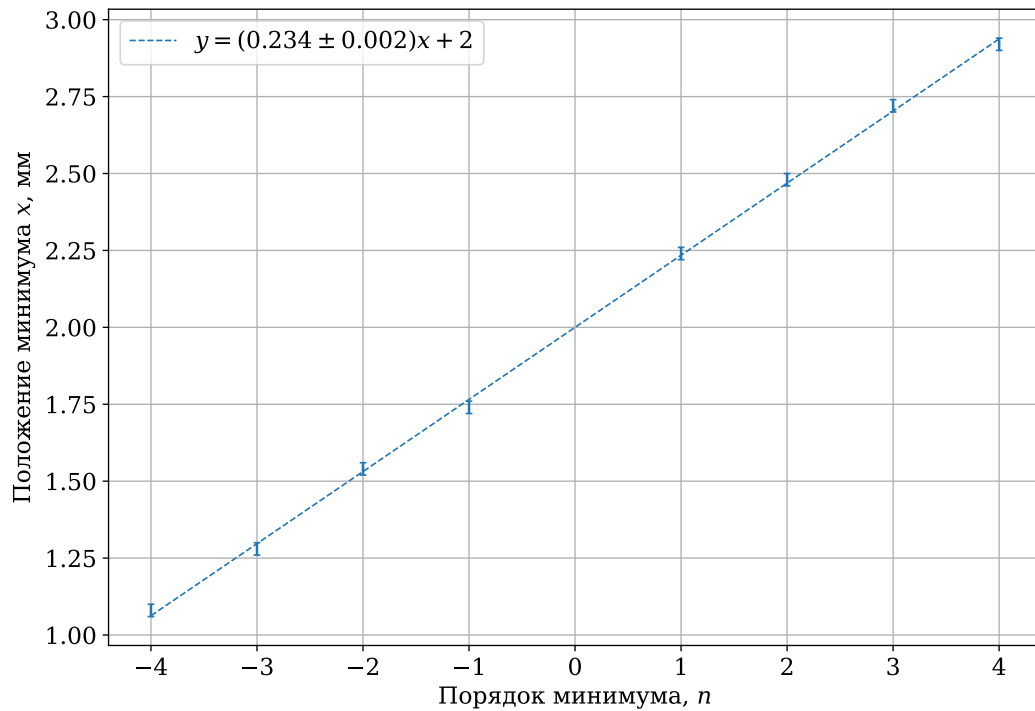


Рис. 4: График положений минимумов с проведённой наилучшей прямой.

Получим в окуляре микроскопа чёткое изображение дифракционной картины. Посчитаем координаты самых удалённых друг от друга тёмных полос в центральном максимуме: $x_1 = 1.48 \pm 0.01$ мм, $x_2 = 2.50 \pm 0.01$ мм и число светлых промежутков между ними: $N = 17$. Размер центрального максимума $\Delta x = x_2 - x_1 = 1.02 \pm 0.02$ мм.

Посчитаем расстояние между минимумами $\delta x = \Delta x / N = 0.060 \pm 0.001$ мм = 60 ± 1 мкм. Рассчитаем расстояние между щелями d по формуле:

$$\delta x = f_2 \frac{\lambda}{d} \Rightarrow d = \frac{f_2 \lambda}{\delta x} = \frac{15.5 \text{ см} \cdot 578.2 \text{ нм}}{60 \text{ мкм}} = 1.49 \pm 0.02 \text{ мм}.$$

Рассчитаем число полос в центральном максимуме по формуле:

$$n = \frac{2\lambda f_2}{b} \frac{1}{\delta x} = \frac{2d}{b} = \frac{2 \cdot 0.81}{0.17} \approx 10.$$

Будем менять размер щели пока дифракционная картина не станет размытой. Получаем размеры щели $b = 44 \div 47$ мкм. Это должно произойти при равенстве размера щели с радиусом когерентности щели:

$$d = \frac{\lambda f_1}{b_0} \Rightarrow b_0 = \frac{\lambda f_1}{d} = \frac{578.2 \text{ нм} \cdot 11 \text{ см}}{0.8 \text{ мм}} = 80 \text{ мкм}.$$

Рассчитанное значение близко к реальному.

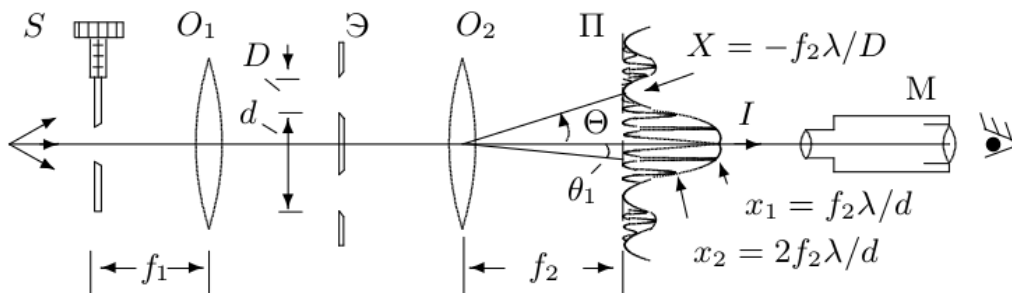


Рис. 5: Схема установки для изучения дифракции Фраунгофера на двух щелях

iv Влияние дифракции на разрешающую способность оптического прибора

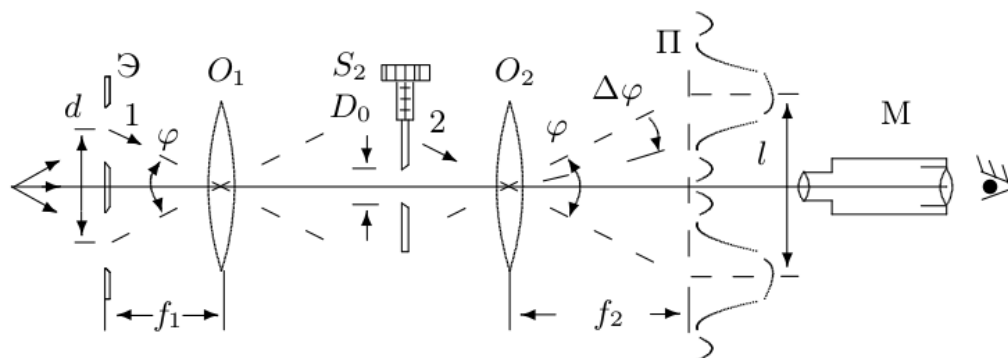


Рис. 6: Схема установки для изучения влияния дифракции на разрешающую способность оптического прибора

Соберём экспериментальную установку на оптической скамье согласно рис. 6. Линзы и пластинка с двойной щелью такие же как на прошлой установке.

В окуляре микроскопа получим чёткое изображение двух щелей. Меняя размер щели S_2 наблюдаем за тем как изменяется чёткость изображения. При уменьшении размеров щели изображение становится более размытым. Минимальный размер щели при котором различимы две отдельные щели $b_0 \approx 45$ мкм. Видим, что это значение совпадает со значением при котором размывается дифракционная картина в прошлом пункте. Сравним это с минимальным расстоянием рассчитанным по критерию Рэлея:

$$\delta x \sim l \Rightarrow \frac{\lambda}{b} \sim \frac{d}{f_1} \Rightarrow b_0 \sim \frac{\lambda f_1}{d} = \frac{578.2 \text{ нм} \cdot 11 \text{ см}}{0.8 \text{ мм}} = 80 \text{ мкм}.$$

IV Выводы

1. Пронаблюдали дифракцию Френеля для щели и проволоки. Найдя положения в которых чётко видны тёмные полосы, нашли положения в которых видно целое число зон Френеля. Исходя из этого вычислили размер щели. Получили размеры щели посчитанные несколькими способами: микрометрическим винтом $b_{\text{винт}} = 300 \pm 5$ мкм, микроскопом $b_{\text{микро}} = 320 \pm 10$, по зонами Френеля $b = 345 \pm 2$ мкм.
 2. Пронаблюдали дифракцию Фраунгофера на щели. Посчитав расстояние между минимумами, вычислим размер щели $b = 383 \pm 3$ мкм, размер измеренные микрометрическим винтом $b_{\text{винт}} = 360 \pm 5$ мкм. Убедились в том, что сдвиг щели не влияет на размеры интерференционной картины.
 3. Пронаблюдали дифракцию Фраунгофера на двух щелях. По наблюдениям рассчитали расстояние между щелями $d = 1.49 \pm 0.02$ мм, расстояние измеренное микроскопом $d_{\text{микро}} = 0.81 \pm 0.02$. Нашли положение, в котором интерференционная картина размыта $b_0 \approx 45$ мкм. Сравним с предельными размером щели из соображений когерентности $b_{\text{ког}} \approx 80$ мкм.
 4. Пронаблюдаем изображение двух щелей в микроскоп. Меняя размер щели-объектива микроскопа найдём размер щели при котором изображение двух щелей перестанет быть различимым $b_0 \approx 45$ мкм. Рассчитаем это значение из критерия Рэлея $b_{\text{Релея}} \approx 80$ мкм. Видим, что значения получились такие же, как при наблюдении дифракции Фраунгофера на двух щелях.
-