Московский физико-технический институт

4.3.1 Изучение дифракции света.

Ивакин Кирилл Б01-907, ФРКТ

Долгопрудный, 2020 г.

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

- 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

1. Схема установки для наблюдения дифракции Френеля на щели представлена на рис. 1. Дифракционная картина рассматривается с помощью микроскопа М, сфокусированного на некую плоскость наблюдения П.

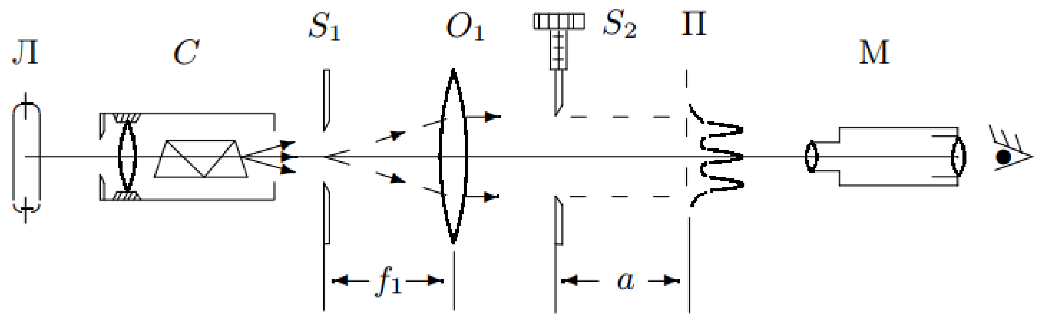

Рис. 1: Схема лабораторной установки для наблюдения дифракции Френеля

2. Снимем зависимость координаты микроскопа от числа наблюдаемых полос, результаты занесём в таблицу 1.

Таблица 1: Количество минимумов в зависимости от расстояния до плоскости наблюдения

n тёмных полос	0	1	2	3	4	5
a, мм	68	66	63	60	55	48
$2z_m$, мм	0.192	0.268	0.321	0.362	0.387	0.396
$\sigma(a)$, мм	1	1	1	1	1	1
$\sigma(2z_m)$, мм	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008

$\sigma(a)$ - погрешность прямого измерения линейкой, возьмем $\sigma(a) = 2$мм.
$\sigma(2z_m)$ - погрешность косвенного измерения. Формула (2) в справочном материале.

3. Сравним размер зон Френеля с измеренной шириной $b = 206$ мкм щели S_2. Для этого рассчитаем величину $2z_m = 2\sqrt{am\lambda}(\lambda = 546.1$ нм) и построим график зависимости $2x_n = f(n)$ (рис. 2)

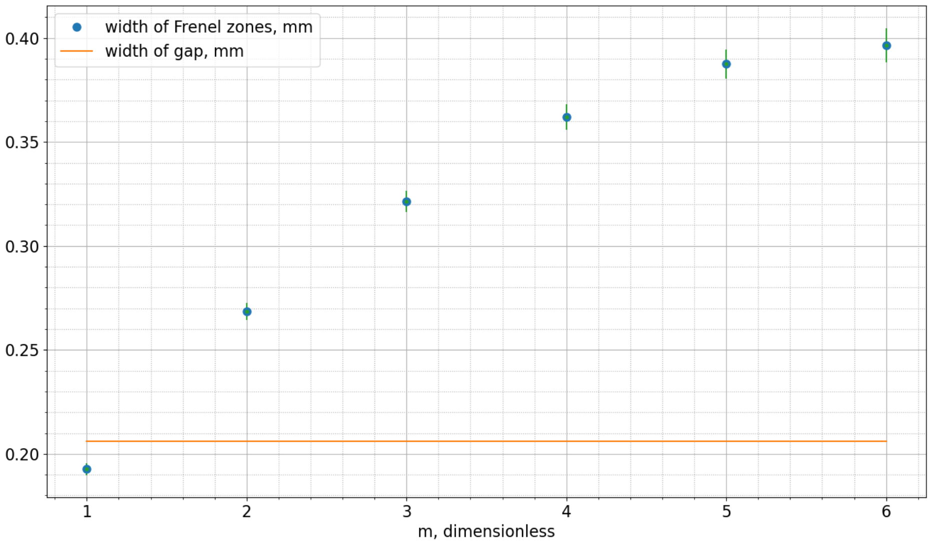

Рис. 2: график зависимости $2x_n = f(n)$

2 Дифракция Фраунгофера на щели

На значительном удалении от щели, когда ширина щели становится значительно меньше ширины первой зоны Френеля, изображение щели размывается и возникает дифракционная картина, называемая дифракцией Фраунгофера.

1. Дифракцию Френеля и Фраунгофера можно наблюдать на одной и той же установке (поставив дополнительную линзу между щелью и плоскостью наблюдения). Дифракционная картина наблюдается в фокальной плоскости объектива O_2 (фокусное расстояние линзы $f_2 = 12.8$ см). Схема установки для наблюдения дифракции Фраунгофера на щели представлена на рис. 3.

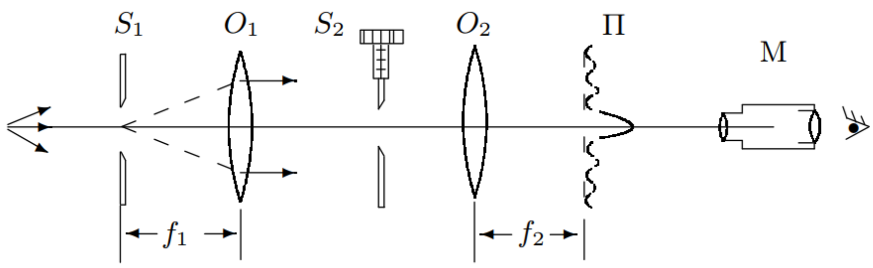

Рис. 3: Схема лабораторной установки для наблюдения дифракции Фраунгофера на щели

2. Настроим установку, с помощью винта поперечного перемещения микроскопа измерим координаты X_m нескольких дифракционных минимумов от $-m$ до m.

Таблица 2: Координаты минимумов дифракционной картины

m	-4	-3	-2	-1	1	2	3	4
x_m, мм	-0.83	-0.56	-0.35	-0.20	0.22	0.38	0.55	0.80
$\delta(x_m)$, мм	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

$\delta(x_m)$ - погрешность прямых измерений. Цена «большого» деления в $1/10$ единицы верхней шкалы - 0.1 мм. Возьмем $\delta(x_m) = 0.01$мм - цена деления.

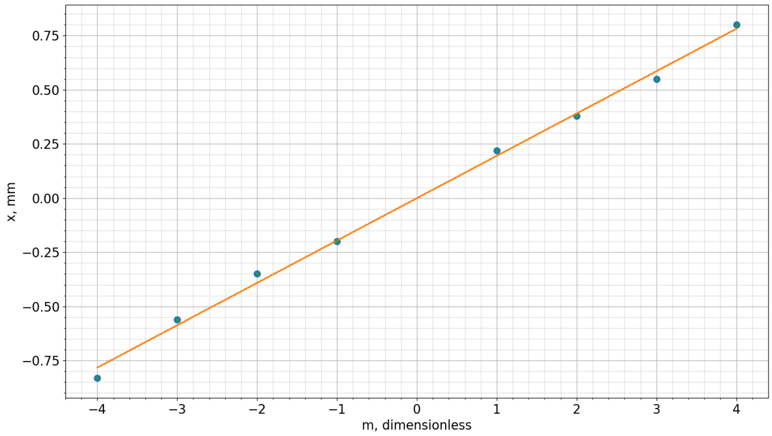

Рис. 4: координаты дифракционных минимумов

3. По углу наклона прямой определим среднее расстояние между соседними минимумами. Для вычисления наклона прямой и погрешности коэффициента наклона, воспользуемся МНК(Справочный материал формулы (3) - (6)). $k = 0.195 \pm 0.004$ мм. Далее рассчитаем ширину щели по формуле $b = \frac{\lambda f_2}{k} = 349 \pm 6$ мкм. Погрешность была рассчитана по формуле погрешности косвенных измерений. Значение ширины щели, измеренное по микрометрическому винту: $b_0 = 343$. С учётом погрешности значения совпадают.

3 Справочный материал

1. Погрешность косвенный измерений, общая формула.
   Пусть $a = f(b, c, ...)$, тогда
$$\sigma_a^2 = (\frac{\partial f}{\partial b})^2 \cdot \sigma_b^2 + (\frac{\partial f}{\partial c})^2 \cdot \sigma_c^2 \dots \tag{1}$$

2. Погрешность косвенный измерений, частный случай.
   Пусть $a = b^\beta \cdot c^\gamma \cdot \ldots$, тогда
$$\frac{\sigma_a^2}{a}^2 = \beta^2 \cdot \frac{\sigma_b^2}{b}^2 + \gamma^2 \cdot \frac{\sigma_c^2}{c}^2 \dots \tag{2}$$

3. МНК. Апроксимация для прямой $y = kx + b$.
$$k = \frac{\langle xy \rangle - \langle x \rangle \langle y \rangle}{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2} \tag{3}$$
$$b = \langle y \rangle - k \cdot \langle x \rangle \tag{4}$$
$$\sigma_k = \sqrt{\frac{1}{n-2} \cdot \left(\frac{\langle y^2 \rangle - \langle y \rangle^2}{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2} - k^2 \right)} \tag{5}$$
$$\sigma_b = \sigma_k \cdot \sqrt{\langle x^2 \rangle} \tag{6}$$