

Дифракция света

Гончаров Марк

23 марта 2021 г.

1 Теория

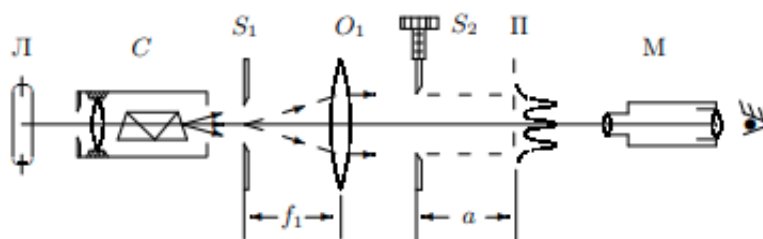


Рис. 1: Схема установки для наблюдения дифракции Френеля

Ширину наблюдаемых зон Френеля определяем, как

$$z_m = \sqrt{am\lambda},$$

где a - расстояние от щели до плоскости наблюдения.

Также важной характеристикой является **число Френеля Φ**

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

Это соотношение ширины щели D к размеру первой зоны Френеля. Обратную величину называют **волновым параметром**

$$p = \frac{1}{\Phi^2} = \frac{\sqrt{a\lambda}}{D}.$$

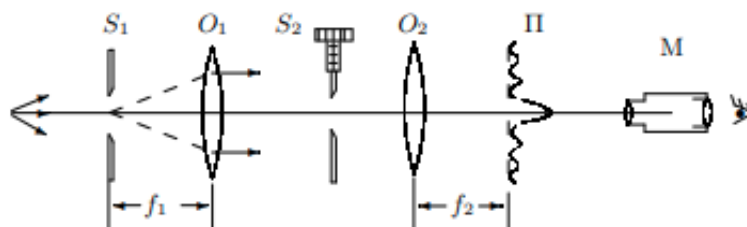


Рис. 2: Наблюдение дифракции Фраунгофера на двух щелях.

При исследовании интерференции на двух щелях светлая интерференционная полоса наблюдается во всех тех случаях, когда указанная разность хода равна целому числу длин волн. Если Θ_m - угловая координата интерференционного максимума, то

$$d \cdot \Theta_m = m\lambda,$$

где d - расстояние между щелями.

Тогда расстояние δx между соседними интерференционными полосами:

$$\delta x = f_2 \frac{\lambda}{d}.$$

Число полос, укладывающихся в области центрального дифракционного максимума

$$n = \frac{2\lambda f_2}{D \cdot \delta x} = \frac{2d}{D}.$$

Дифракция хорошо наблюдается лишь для небольших размеров щели. Это объясняется наложением интерференционных картин от разных элементов щели. Первое размытие интерференционных полос будет при условии

$$\frac{b}{f_1} = \frac{\lambda}{d}$$

2 Выполнение

Сначала рассматривали дифракцию Френеля.

Установили ширину щели $D = 0.26 \pm 0.01$ мм. Далее при настроенном приборе, перемещали микроскоп вдоль измерительной шкалы. Засекали расстояния, при которых чётко видно некоторое число тёмных полос.

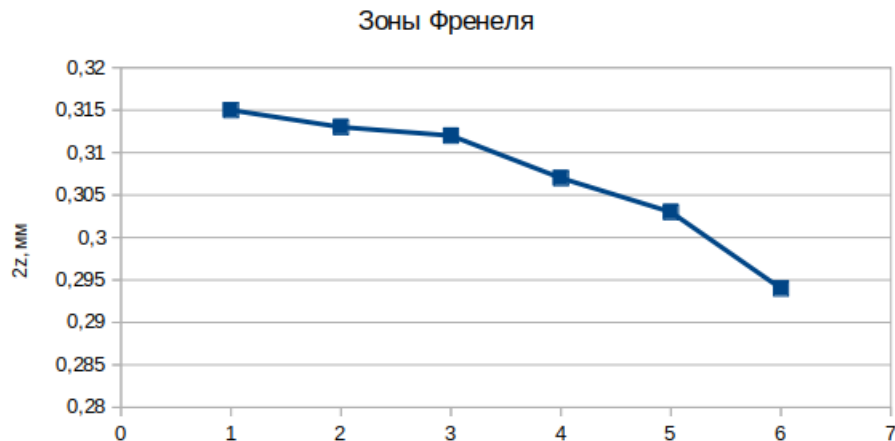
Таблица 1: Дифракция Френеля

Количество полос	1	2	3	4	5	6
Расстояние до щели а, мм	33	27	18	13	10	8

Далее рассчитаем величину

$$2z_n = 2\sqrt{an\lambda},$$

где а - расстояние до щели, $\lambda \approx 578$ нм - жёлтый светофильтр.

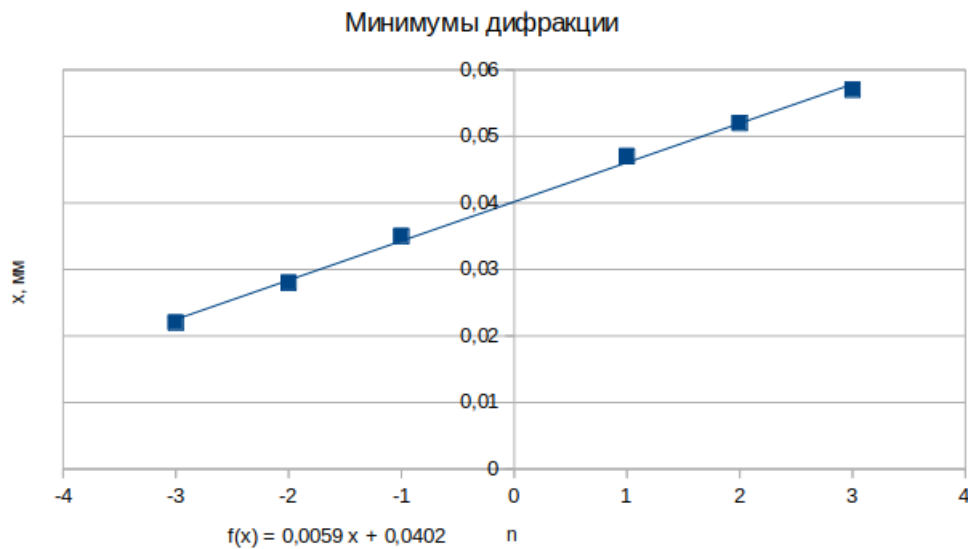


Рассмотрим теперь дифракцию Фраунгофера.

Она возникает, когда $D \ll \sqrt{a\lambda}$. Снимем расстояния от центра полосы до тёмных полос. При записи в таблицу сразу учтём, что цена деления микроскопа 20 мкм. Измерения 2.04 ± 0.01 на шкале микроскопа. Поэтому относительная погрешность измерения 0.005.

Таблица 2: Дифракция Фраунгофера

Номер полосы	-3	-2	-1	1	2	3
Расстояние до центра а, мкм	-19 ± 0.5	-13 ± 0.5	-6 ± 0.5	6 ± 0.5	11 ± 0.5	17 ± 0.5



Из теории:

$$D = f_2 m \frac{\lambda}{X_m},$$

где X_m - расстояние от тёмной полосы до оси.

Поэтому легко найти угловой коэффициент прямой с помощью МНК: $k = 0.0059 \pm 0.0006$, тогда

$$D = f_2 \frac{\lambda}{k} = 0.27 \pm 0.03.$$

Расчёт погрешностей для D : так как фокусное расстояние используемой линзы $f = 10.8 \pm 0.05$ (посчитана лаборантами), то $\delta f \approx 0.005 \ll \delta k$. Отсюда $\delta D = \delta k \approx 0.1$, т.е. учитываем два знака.

Как видим, настоящее $D = 0.26$ мм находится в пределах погрешности, что очень даже неплохо)

Также в задании требовалось найти среднее расстояние между соседними минимумами. Так как получилось качественно измерить лишь три минимума, то можно на этом основании сказать, что среднее расстояние $x \approx 5.8$.

Далее исследовали дифракцию на двух щелях.

Таблица 3: Дифракция на двух щелях

Номер полосы	Середина	1	2	3	4
Расстояние до центра а, мкм	37.4 ± 0.2	44.0 ± 0.2	50.2 ± 0.3	56.4 ± 0.3	62.8 ± 0.3

Таблица 4: Линейное расстояние между соседними интерференционными полосами

Номер полос	1-2	2-3	3-4
Расстояния между ними δx , мкм	6.2 ± 0.5	6.2 ± 0.6	6.4 ± 0.6

По формуле найдём расстояние между щелями

$$d = f_2 \frac{\lambda}{\delta x} = 990 \pm 100.$$

Причём измеренное с помощью микроскопа 1000мкм, что показывает просто обалденное попадание!

Ширину щели опять можно измерить, как

$$b = 2 \frac{\lambda}{d} f_2 = 0.22 \pm 0.02.$$

Число полос внутри главного максимума $n = \frac{2d}{D} \approx 5.7 \approx 6$, что мы и наблюдали.

Когда полуширина дифракционного изображения превышает расстояние между изображениями, то по виду дифракционной картины сложно определить, представляет собой источник двойную или одиночную щель. Для исключения этих сложностей, пользуются критерием Релея: изображения считаются различными, если максимум одного дифракционного пятна соответствует минимуму другого. То есть

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

Проверим выполнение этого критерия.

У нас изображение двух щелей почти сливаются при $D_0 = 0.98 \pm 0.05$ мм. Теоретически из закона Релея: $D_1 = \frac{\lambda f_1}{b} = 1.08 \pm 0.06$ мм. Погрешность основная из измерения толщины щели в предыдущем опыте.

В погрешность (учитывая с обеих сторон), попали, что неплохо.

3 Вывод

Мы научились:

1. Измерять радиусы зон Френеля
2. Теоретически и практически измерять толщину щели
3. Использовать МНК (почти забыли)
4. Исследовать дифракцию на двух щелях
5. Находить параметры щелей по дифракционной картине
6. Использовать закон Релея для проверки разрешающей способности прибора