

Университет ИТМО, кафедра ВТ

Лабораторная работа №2 (22) по Физике

Работу выполнил
студент группы Р3200
Рогов Я. С.

Преподаватели:
Зинчик А.А.

Санкт-Петербург, 2016

Задание

Изучение дифракции Фраунгофера на одной и многих щелях

Цель

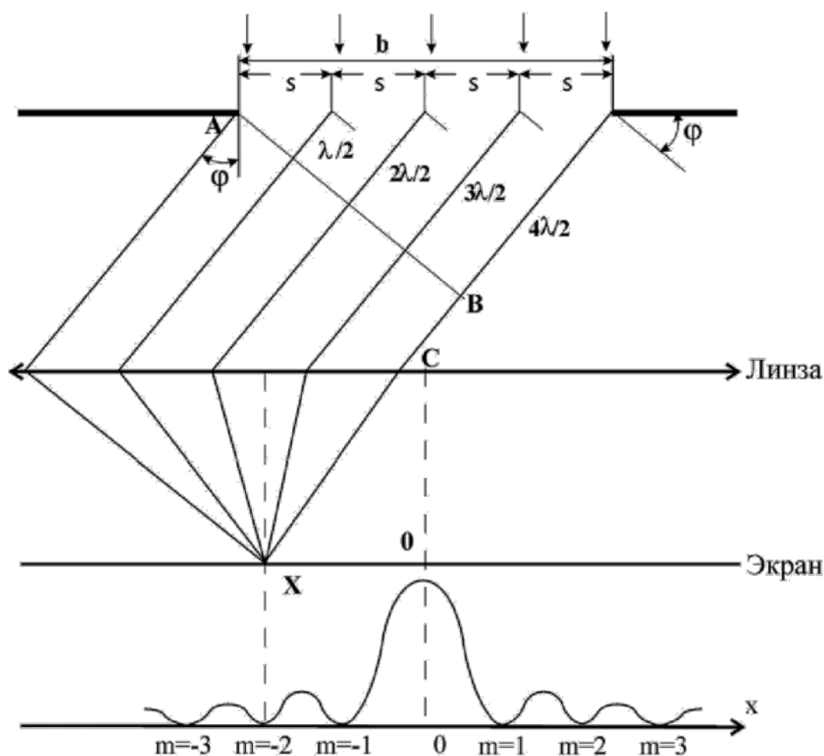
Изучить дифракцию Фраунгофера на одной щели, на четырех щелях, на одномерной и двумерной дифракционных решетках и исследовать распределение интенсивности в дифракционной картине.

Теоретическая часть

Различают два случая дифракции. Дифракция Френеля или дифракция в сходящихся пучках. Дифракционную картину Френеля достаточно просто объяснить на основе метода зон Френеля.

Дифракция Фраунгофера или дифракция в параллельных пучках. Если источник света и точка наблюдения расположены от препятствия настолько далеко, что лучи, падающие на препятствие и лучи, идущие в точку наблюдения, образуют практически параллельные пучки. Между дифракцией Френеля и Фраунгофера нет принципиальной разницы, одна непрерывно переходит в другую.

Рассмотрим дифракцию на щели.



Пусть на бесконечно узкую длинную узкую щель шириной b , образованную в некотором светонепроницаемом препятствии, падает плоская монохроматическая световая волна. Ее волновая поверхность в щели характеризуется вектором напряженности электрического поля $\vec{E}_b = \vec{E}_{mb} \cos \omega t$ и интенсивностью $I_b = \alpha E_{mb}^2$, где $\alpha = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}}$, m – порядок дифракции. При распространении света в однородной среде можно считать, что интенсивность примерно равна квадрату амплитуды световой волны

$$I_b = E_{mb}^2.$$

Разобьем открытую часть волновой поверхности в области щели на N узких параллельных полосок шириной $S = \frac{b}{N}$ (на рис. $N = 4$). В соответствии с принципом Гюйгенса-Френеля

каждая из этих полосок может рассматриваться как когерентный источник вторичных волн, распространяющихся во все стороны под углами дифракции $\phi_1, \phi_2, \phi_3 \dots$, т. е. свет дифрагирует при прохождении сквозь щель. Фазы и амплитуды этих элементарных волн будут одинаковы. Дифракционная картина представляет собой результат интерференции этих когерентных элементарных волн, который наблюдается на экране в виде периодического распределения интенсивности.

Обработка результатов измерений

1. По результатам измерений для одной щели определим расстояние между двумя соседними минимумами (период картины) Δx . С помощью формулы (5) рассчитаем видимую ширину щели a' , а по ней найдем истинную ширину a в соответствии с выражением (15).

Изменённое выражение 5:

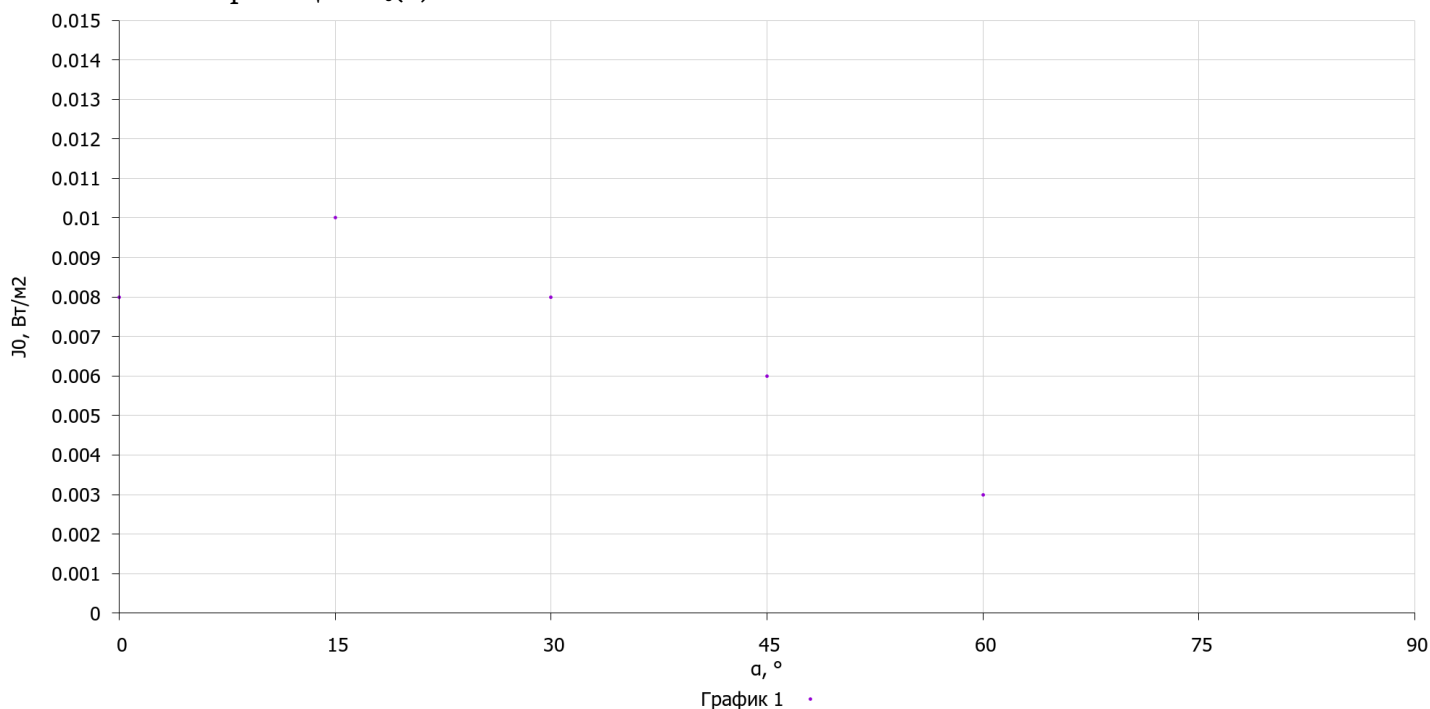
$$a' = \frac{\lambda}{\Delta x} L, \text{ и выражение (15): } a' = a \cos \alpha, \text{ тогда } a = \frac{\lambda L}{\Delta x \cos \alpha}$$

2. Значения a' и a для углов $\alpha = \{0, 30, 60\}$ при $\lambda = 660 \text{ нм}$, $L = 370 \text{ мм}$ занесём в таблицу 1.

Таблица 1

L, мм	α , град	Δx , мм	a' , мм	a , мм	I_0	I_1	I_2	I_3
370	0°	14	0.017	0.0174	0.008	0.008	0.00036	0.00012
	15°				0.010	0.010	0.00045	0.00016
	30°	16	0.015	0.0176	0.008	0.008	0.00036	0.00012
	45°				0.006	0.006	0.00027	$9.7 \cdot 10^{-5}$
	60°	22	0.011	0.022	0.003	0.003	0.00013	$4.9 \cdot 10^{-5}$

3. Построим график зависимости интенсивности света центрального максимума от угла поворота щели $I_0(\alpha)$.



4. Расчитаем значения интенсивности света максимумов I_1, I_2, I_3 по формуле

$$I_m = I_0 \left[\frac{\sin\left(\pi \frac{(2m+1)}{2}\right)}{\pi \frac{(2m+1)}{2}} \right]^2 \text{ и занесём их в таблицу.}$$

Пример для $\alpha = 0^\circ$:

$$J_1 = 0.008 \left[\frac{\sin(\pi(1 + \frac{1}{2}))}{\pi(1 + \frac{1}{2})} \right]^2 \approx 0.00036; \quad J_2 = 0.008 \left[\frac{\sin(\pi(2 + \frac{1}{2}))}{\pi(2 + \frac{1}{2})} \right]^2 \approx 0.00012; \quad J_3 = 0.008 \left[\frac{\sin(\pi(3 + \frac{1}{2}))}{\pi(3 + \frac{1}{2})} \right]^2 \approx 6.62 \cdot 10^{-5}$$

5. По исследованиям для одномерной дифракционной решетки, на основе выражения $x = \pm m \frac{\lambda}{d'} L$ и по аналогии работы с формулой $\Delta x = \frac{\lambda}{a} L$ для одиночной щели, определите постоянную решетки d , с учётом формулы $d' = d \cos \theta$ Т.о. итоговая формула:

$$d = \frac{\pm m \lambda L}{x \cos \theta}$$

Для большей точности возьмём -3/3 максимум для уменьшения субъективной погрешности.

В таком случае $x = \frac{x_3 - x_{-3}}{2} = 10.5 \text{ мм}$ и $m = 3$

Т.о.:

$$d = \frac{3 \cdot 660 \text{ нм} \cdot 370 \text{ мм}}{10.5 \text{ мм} \cdot \cos(0)} \approx 0.07 \text{ мм}$$

6. Для нормального падения лучей на решетку определите число штрихов на миллиметр и полное число штрихов этой решетки, пользуясь формулами

$$n = \frac{1}{d} \text{ и } N = \frac{Y}{d}$$

Т.о. при ширине 07 нарезанной части решетки Y равной 20 мм.

$$n = \frac{1}{d} = \frac{1}{0.07 \text{ мм}} \approx 14.29 \left(\frac{1}{\text{мм}} \right)$$

$$N = \frac{Y}{d} = \frac{20}{0.07} = 285.71 (\text{цел.})$$

7. Проанализируем изменения дифракционной картины, получаемой двумерной дифракционной решеткой при наклонном падении лучей $\alpha = 0, 60$ и объясним их.

Картина растягивается по обоим осям, что подтверждает теорию:

Рассмотрим условия возникновения главных максимумов:

$$\begin{cases} d \sin(\alpha - \alpha_0) = k_1 \lambda \\ d \sin(\beta - \beta_0) = k_2 \lambda \end{cases}$$

Из выражений можно понять, что характер дифракционной картины останется прежним, однако изменятся масштабы дифракционной картины по осям OX и OY соответственно.

8. По результатам исследования дифракции на четырех щелях определите ширину Δx центрального дифракционного максимума, затем по формуле $\Delta x = 2 \frac{\lambda}{d \cdot N} F$ рассчитайте Δx .

Сравните полученные значения.

Т.к. $F \approx L$ и $N = 4$, то $\Delta x = 2 \frac{\lambda}{d \cdot 4} L = \frac{\lambda}{2d} L$

$$\Delta x_{\text{изм}} \approx 1.5 \text{ мм} \pm 0.5 \text{ мм} \quad \Delta x_{\text{расч}} = \frac{660 \text{ нм}}{2 \cdot 0.07 \text{ мм}} \cdot 370 \text{ мм} = 1.7 \text{ мм}$$

Расчётное значение находится в пределах погрешности измеренного значения.

9. Определите количество вторичных максимумов и минимумов в дифракционной картине от четырех щелей. Объясните процесс их образования.

Их количество равно 2, что соответствует теории:

«Главные максимумы разделены между собой не только главными минимумами, но и рядом «дополнительных минимумов», которые образуются вследствие интерференции N лучей при колебаниях вектора напряженности электрического поля в противофазе. Такие лучи гасят друг друга. Между «дополнительными минимумами» располагаются очень слабые «вторичные максимумы», число которых между соседними главными максимумами равно $Z_{\text{втор}} = N - 2$.»

При $N = 4$ число $Z_{\text{втор}} = 2$.

10. По формуле $J_N = N^2 \cdot J_\phi$, используя значение интенсивности света центрального максимума J_0 при дифракции на одной щели, рассчитайте интенсивность света в области максимумов при дифракции на двух, трех, четырех щелях.

$$J_{0N} = N^2 \cdot J_0$$

α , град	J_0	J_{02}	J_{03}	J_{04}
0	0.008	0.032	0.072	0.128
15	0.010	0.04	0.09	0.16
30	0.008	0.032	0.072	0.128
45	0.006	0.024	0.054	0.096
60	0.003	0.012	0.027	0.048

11. По зарисованной картине от двухмерной дифракционной решетки определим положение максимума первого порядка (k_1 и k_2) вдоль оси X и Y, затем рассчитаем периоды d_1 и d_2 по формулам:

$$x_{k_1} = \pm k_1 \frac{\lambda}{d_1} L, k_1 = 0, 1, 2, 3, \dots \quad y_{k_2} = \pm k_2 \frac{\lambda}{d_2} L, k_2 = 0, 1, 2, 3, \dots$$

$$d_1 = \frac{1 \cdot 660 \text{ нм}}{3.3 \text{ мм}} \cdot 370 \text{ мм} = 0.074 \text{ мм} \quad d_2 = \frac{1 \cdot 660 \text{ нм}}{3.3 \text{ мм}} \cdot 370 \text{ мм} = 0.074 \text{ мм}$$

12. Сравните дифракционные картины, получаемые одномерной дифракционной решеткой при наклонном падении лучей $\alpha = 0, 60$. Объясните их.

Дифракционные картины отличаются масштабом: дифракционная картинка при наклонном падении растянута относительно той же картины при отсутствии наклона (угол 0 градусов).

Что следует из выражение для главных максимумов для дифракционной решётки:

$$d (\sin \theta - \sin \varphi_k) = \pm k \lambda$$

Вывод: в ходе данной лабораторной работы была изучено явление дифракции Фраунгофера на одной и четырёх щелях, на одномерной и двумерной дифракционных решетках, а также было исследовано распределение интенсивности в дифракционной картине.