

Изучение дифракции Фраунгофера

Цель работы: исследование дифракционной картины от щели, нити и дифракционной решетки.

Методика эксперимента

Дифракцией называется совокупность явлений, наблюдаемых при распространении света в среде с резкими неоднородностями и связанных с отклонениями от законов геометрической оптики. Дифракция приводит к огибанию световыми волнами препятствий и проникновению света в область геометрической тени. Различают два случая дифракции света - дифракцию Френеля, или дифракцию в сходящихся лучах, и дифракцию Фраунгофера, или дифракцию в параллельных лучах. Характер дифракции зависит от значения безразмерного параметра:

$$\frac{b^2}{L\lambda} \begin{cases} \ll 1 & \text{- дифракция Фраунгофера,} \\ \approx 1 & \text{- дифракция Френеля,} \\ \gg 1 & \text{- свет распространяется по законам геометрической оптики,} \end{cases} \quad (1)$$

где b - размер препятствия, λ - длина световой волны, L - расстояние от препятствия до экрана наблюдения.

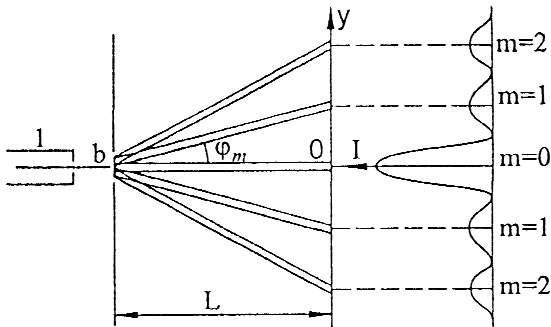


Рис. 1

Схема наблюдения дифракции Фраунгофера на одной щели представлена на рис. 1.

Параллельный пучок света от *He-Ne* лазера 1 падает нормально на непрозрачную преграду с щелью шириной b . На экране наблюдаются чередующиеся светлые и темные полосы.

В направлениях, удовлетворяющих условиям

$$\text{min} \quad b \sin \varphi_k = \pm k\lambda \quad (2)$$

$$\text{и max} \quad b \sin \varphi_k = \pm(2m+1) \cdot \lambda/2 \quad (3)$$

интенсивность колебаний результирующего поля соответственно равна нулю (дифракционные минимумы) или максимальна (дифракционные максимумы). Здесь $k = 1, 2, 3, \dots$. В направлении $\varphi = 0$ наблюдается самый интенсивный центральный максимум нулевого порядка. Ему соответствует 90% всего светового потока, выходящего из щели. Центральный максимум в 2 раза шире побочных максимумов.

Дифракционная решетка. Если плоская монохроматическая волна встречает непрозрачную преграду, содержащую N параллельных щелей шириной b на одинаковом расстоянии d друг от друга (плоскую дифракционную решетку), то на экране наблюдается более четкая по сравнению с одиночной щелью дифракционная картина - чередующиеся светлые и темные полосы. В направлениях, удовлетворяющих условию

$$d \sin \varphi_m = \pm m\lambda \quad (4)$$

где $d = a + b$ - постоянная решетки, $\pm m = 0, 1, 2, 3, \dots$ - порядок спектра, наблюдаются дифракционные максимумы (спектры). Между двумя соседними главными максимумами наблюдается $N-2$ побочных максимума очень слабой интенсивности. Побочные максимумы обуславливают при низком разрешении слабый фон освещенности, на котором проявляются узкие и резкие главные максимумы.

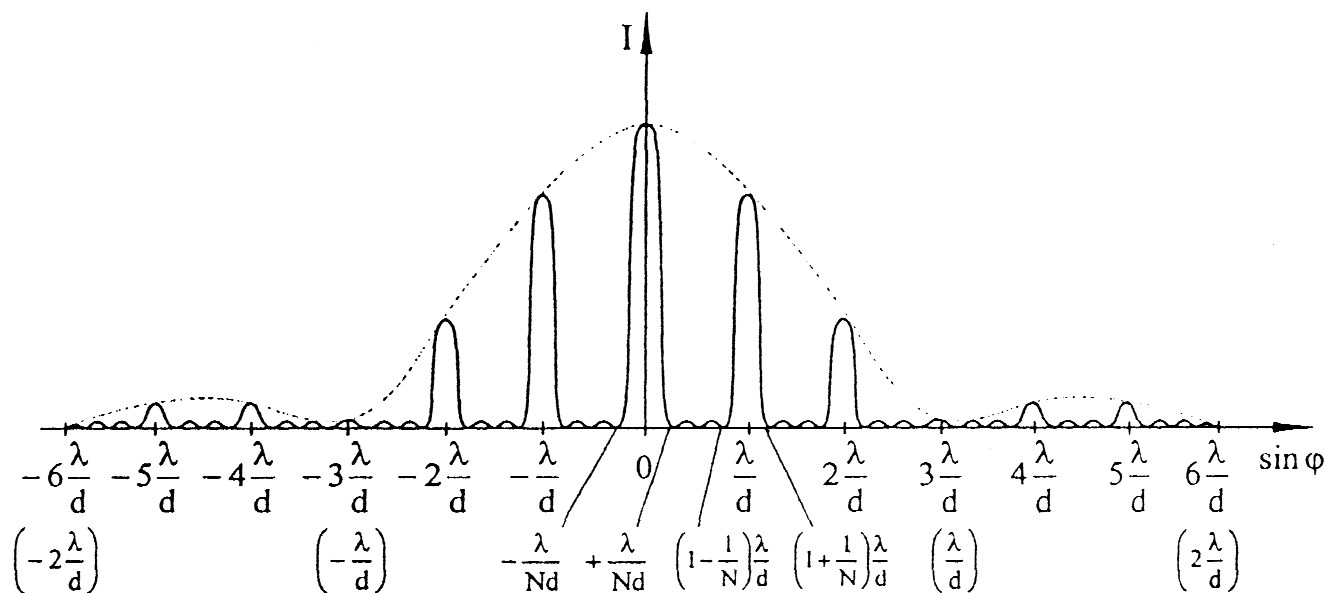


Рис. 2

На рис. 2. представлена зависимость интенсивности света от синуса угла дифракции при дифракции на решетке с $N = 6$. Штриховой линией показана картина дифракции на одной щели.

Описание установки

Установка собирается по схеме рис. 1. На оптической скамье устанавливаются *He-Ne* лазер и два рейтера: один с державкой щели (нити, решетки) на расстоянии не менее 20 см от лазера, а другой с экраном наблюдения на краю оптической скамьи.

Задание 1. Изучение дифракции Фраунгофера на одной щели

1. Включите лазер. Регулировкой ширины щели получите на экране дифракционную картину. Исследуйте (качественно) как изменяется дифракционная картина при изменении ширины щели.
2. Подберите ширину щели, при которой наблюдается наиболее четкая дифракционная картина. Расстояние между минимумами должно быть не менее 10 мм.
3. Измерьте на экране расстояние между минимумами m -го порядка слева и справа y'_m и y''_m , начиная с $m = 1$. Данные занесите в табл. 1. ($y_m = (y'_m + y''_m)/2$).

Таблица 1

m	1	2	3	4	5	6	7
y'_m , мм							
y''_m , мм							
y_m , мм							

5. Измерьте расстояние L между щелью и экраном.

Обработка экспериментальных данных

Представим $L\lambda$ (2) с учетом $\sin \varphi_m \approx y_m/L$ в виде уравнения прямой линии $y = A + Bx$:

$$y_m = (L\lambda/b) \cdot m; \quad \text{где} \quad y = y_m; \quad x = m; \quad B = L\lambda/b. \quad (5)$$

Постройте график зависимости y_m от m . Дальнейшую обработку экспериментальных данных проведите по указанию преподавателя.

а) Графический метод

1. Из графика определите угловой коэффициент B .
2. Вычислите среднее значение ширины щели $\langle b \rangle = L\lambda/B$, $\lambda = 6,328 \cdot 10^{-4}$ мм.
3. Оцените параметр дифракции $b^2/(L\lambda)$ и сравните с 1.

б) Аналитический метод

1. Методом наименьших квадратов вычислите B и S_B .
2. Вычислите среднее значение ширины щели $\langle b \rangle = L\lambda/B$, $\lambda = 6,328 \cdot 10^{-4}$ мм.
3. Результат представьте в виде $b = \langle b \rangle \pm \langle b \rangle \cdot S_B/B$.
4. Оцените параметр дифракции $b^2/(L\lambda)$ и сравните с 1.

Задание 2. Изучение дифракции Фраунгофера на тонкой нити

Согласно теореме Бабине, если на пути светового пучка ставить поочередно препятствия и отверстия с одним и тем же сечением, то дифракционные картины на экране совпадают, кроме интенсивности нулевого дифракционного максимума. Поэтому условия дифракционных минимумов и максимумов для нити и щели одинаковые.

Порядок выполнения работы

1. На оптической скамье установите державку с тонкой нитью.
 2. Включите лазер и получите на экране дифракционную картину.
 3. Определите толщину нити и параметр дифракции.
- Измерения и вычисления проведите аналогично заданию 1.

Задание 3. Изучение дифракции Фраунгофера на прозрачной дифракционной решетке

Прозрачная дифракционная решетка для световых волн - это пластина из прозрачного материала, на поверхности которой нанесено большое число параллельных равностоящих непрозрачных штрихов.

1. На оптической скамье установите державку с решеткой.
2. Включите лазер и получите на экране дифракционную картину.
3. Для пяти различных расстояний L от решетки до экрана измерьте расстояние между дифракционными спектрами (максимумами) первого порядка. Данные занесите в табл. 2. ($y_1 = (y_1' + y_1'')/2$).

Таблица 2

L , см					
y_1' , мм					
y_1'' , мм					
y_1 , мм					

Обработка экспериментальных данных

Представим (4) с учетом $\sin \varphi_1 = y_1/L$ и $m = 1$ в виде уравнения прямой линии $y = A + Bx$:

$$y_1 = (\lambda/d) \cdot L; \quad \text{где} \quad y = y_1; \quad x = L; \quad B = \lambda/d. \quad (6)$$

Постройте график зависимости y от L . Дальнейшую обработку экспериментальных данных проведите по указанию преподавателя.

а) Графический метод

1. Из графика определите угловой коэффициент B .
2. Вычислите среднее значение постоянной дифракционной решетки $\langle d \rangle = \lambda/B$, $\lambda = 6,328 \cdot 10^{-4}$ мм.

б) Аналитический метод

1. Методом наименьших квадратов вычислите B и S_B .
2. Вычислите среднее значение постоянной решетки $\langle d \rangle = \lambda/B$, $\lambda = 6,328 \cdot 10^{-4}$ мм.
3. Результат представьте в виде $d = \langle d \rangle \pm \langle d \rangle \cdot S_B/B$.

Контрольные вопросы

1. Что называется дифракцией света и при каких условиях она наблюдается?
2. Чем отличается дифракция Френеля от дифракции Фраунгофера?
3. Объясните основные закономерности, наблюдаемые при дифракции Фраунгофера на щели и решетке.