

Лабораторная работа № 4.06

Определение размера щели по картине дифракции Фраунгофера

Содержание

Введение	2
Экспериментальная установка	5
Проведение измерений	6
Обработка результатов	8
Контрольные вопросы	9
Приложение	10

Цели работы

1. Определение ширины щели по картине дифракции в дальней зоне.

Задачи

1. Измерение координат дифракционных минимумов при фиксированных значениях расстояния между объектом и экраном.
2. Определение расстояния между щелями и погрешности косвенных измерений.
3. Сравнение полученных результатов с теоретическими данными.

Введение

"Явления дифракции принято классифицировать в зависимости от расстояний источника и точки наблюдения (экрана) от препятствия, поставленного на пути распространения света. Если эти расстояния очень велики (бесконечно велики), то дифракция называется дифракцией в параллельных лучах или дифракцией Фраунгофера. В противоположном случае говорят о дифракции в непараллельных лучах или дифракции Френеля"[5].

Дифракционные эффекты были описаны еще в 17 веке, но не существовало их объяснения, поскольку природа света считалась корпускулярной. Если расстояние от препятствия до точки наблюдения стремится к бесконечности, то говорят о дифракции Фраунгофера. Такого же результата можно добиться, если за препятствием поместить собирающую линзу и наблюдать результат дифракции на препятствии в фокальной плоскости линзы. При очень маленьких размерах отверстия, в десятки тысяч раз меньших, чем расстояние до точки наблюдения, можно обойтись без собирающей линзы.

Наиболее простым случаем дифракции Фраунгофера является дифракция на узкой щели заданной ширины b . Высота щели считается стремящейся к бесконечности. Несмотря на простоту описания,

данный случай имеет в то же время большую практическую значимость, поскольку полученные результаты и зависимости используются для описания дифракции на множестве одинаковых щелей, т.е. решетках, прямоугольных отверстиях и т.д.

Получим зависимость интенсивности дифрагировавшего на одиночной щели излучения от угла дифракции ϕ . Пусть на щель нормально падает плоская монохроматическая волна (рис. 1) с амплитудой E_0 . Комплексная амплитуда на расстоянии Z за щелью будет описываться интегралом Фраунгофера, упрощенным для одномерного случая.

$$E(x') = C \int_{-b/2}^{b/2} E_0 \exp -ikx \sin \phi dx. \quad (1)$$

Все множители, не влияющие на относительное распределение волнового поля по направлениям, записаны единой величиной.

Излучение, исходящее из фрагмента щели размером dx под углом ϕ , отличается по фазе от излучения исходящего из другой части щели и распространяющегося в том же направлении, на величину $kx \sin \phi$. Максимальная разность фаз для противоположных краев щели составит $kb \sin \phi$. Введем обозначение:

$$\alpha = \frac{kb \sin \phi}{2} = \frac{\pi b \sin \phi}{\lambda}, \quad (2)$$

После вычисления интеграла, получим зависимость

$$E(\alpha) = E_0 \frac{\sin \alpha}{\alpha}. \quad (3)$$

Отсюда для распределения интенсивности света по направлениям найдем

$$I(\alpha) = I_0 \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2, \quad (4)$$

где I_0 – интенсивность в направлении падающей волны.

Полученная зависимость дает нулевую интенсивность $I(\alpha)$ во всех случаях, когда синус обращается в ноль, за исключением случая $\alpha = 0$. Это позволяет записать условие возникновения минимумов как

$$b \sin \phi = m\lambda, \quad (5)$$

где $m = 1, 2, \dots$. Учитывая, что угол ϕ очень мал, можно считать, что $\sin \phi \approx x/Z$.

$$x_m = m\lambda \frac{Z}{b}, \quad (6)$$

где x_m – координата минимума порядка m . Из предыдущей формулы получаем зависимость для расстояния между соседними минимумами:

$$\Delta x = x_{m+1} - x_m = \frac{\lambda}{b} Z. \quad (7)$$

Уравнение (7) является линейным, то есть расстояние Δx прямо пропорционально Z . Если построить по экспериментальным данным график зависимости Δx от Z , то коэффициент наклона графика этой зависимости $K = \frac{\lambda}{b}$. Найдя коэффициент K , можно определить ширину щели b , если известна длина волны λ .

Экспериментальная установка

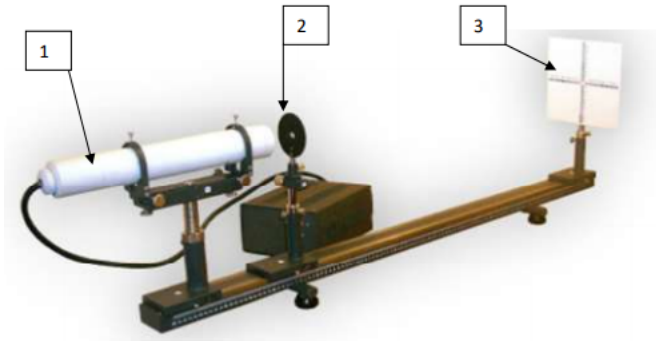


Рис. 1. Вид лабораторной установки: 1 – лазер, 2 – объект, 3 – экран

Схема лабораторной установки представлена на рис. 1. Источником света служит гелий-неоновый лазер 1 (длина волны $\lambda = 632.82 \pm 0.01$ нм). Исследуемая щель расположена на учебно - демонстрационном объекте 2. Координаты объекта и экрана измеряются по шкале, нанесенной на оптическом рельсе. Для наблюдения интерференционной картины используется экран 3, закреплённый позади объекта на оптическом рельсе. На экране нанесена вертикальная и горизонтальная миллиметровые шкалы.

Проведение измерений

1. Пользуясь линейкой на оптической скамье, измерьте координату экрана X_{Θ} .
2. Включите питание лазера
3. Поставьте оправу с объектом на расстоянии ~ 5 см от источника излучения. Перемещая ручку горизонтальной подвижки (большой серебрянный винт), сдвиньте одиночную щель в световой пучок (обратите внимание, что в оправе два объекта: одна или две щели. Определить какой объект находится на пути лазера можно по его картине на экране).
4. Получите дифракционную картину в виде полосы из максимумов и минимумов интенсивности. При необходимости сместите объект вверх-вниз и вправо-влево, для размещения дифракционной картины в центре экрана. Если работа выполняется с фоторезистором необходимо поместить дифракционную картину на уровне датчика. Следите, чтобы дифракционная картина была параллельна линейке. **Поверхность, на которой нанесен объект - зеркальная. Обратите внимание куда падает отраженный от объекта луч. Он должен падать обратно на источник. В иных случаях, необходимо повернуть объект и зафиксировать его маленьким винтом на держателе. Избегайте попадания лазерного излучения в глаза себе и соседям.**
5. Запишите по горизонтальной линейке координаты 5 – 10 последовательных минимумов расположенных слева или справа от центрального максимума так, чтобы расстояние между крайними отметками составляло не меньше 50–60 мм. Запишите номер объекта (указан на объекте) и координату X_O плоскости щелей.

6. Сдвигая объект со щелями от источника на 5 – 10 см, повторить измерения п.5 при 5 – 6 различных расстояниях от экрана (или фоторезистора) до щели. Количество минимумов для новых положений рекомендуется не изменять.
7. По указанию преподавателя проведите измерения п.п. 3 – 6 для других объектов.
8. Выключите питание лазера.

Обработка результатов

1. Для каждого измерения вычислите расстояние между объектом и экраном: $L = X_{\text{Э}} - X_O$. Вычислите расстояние между крайними координатами в каждом измерении и разделите его на число минимумов m , получив тем значение периода картины Δx .
2. Для каждой щели постройте график зависимости ширины дифракционной полосы Δx от расстояния L . Аппроксимируйте график прямой. По коэффициенту наклона K прямой и известной длине волны источника определите ширину щели b : $b = \frac{\lambda}{K}$. Найдите среднее значение размера щели $\langle b \rangle$ по всем проведенным измерениям.
3. Для одного из графиков в п.10 рассчитайте погрешность наклона ΔK и, используя ее, найдите погрешность Δb . Поскольку длина волны лазера известна с большой точностью, величина ΔK вносит наибольший вклад в погрешность Δb .
4. Результат представьте как среднее значение $\langle b \rangle$ с найденной в п. 11 с погрешностью Δb (см. [методическое пособие "Обработка экспериментальных данных"](#)).
5. Сравните полученный результат с теоретическими размерами объекта из таблицы 1.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение дифракции.
2. Как изменится вид дифракционной картины при увеличении ширины щели ?
3. Чем отличается дифракция Френеля от дифракции Фраунгофера?
4. Какой тип дифракции наблюдается в работе?
5. Сформулируйте принцип Гюйгенса.
6. Объясните, как возникают минимумы при дифракции на щели.
7. Под какими углами наблюдаются дифракционные минимумы и максимумы?
8. Все ли максимумы одинаковой ширины?

Приложение

Таблица 1: Размеры объектов

№ объекта	Ширина щели, мм	Расстояние между щелями, мм
32	0,02	0,12
33	0,04	0,12
34	0,12	0,12
35	0,20	0,12