

## Лабораторная работа № 4.02

# Определение расстояния между двумя щелями интерференционным методом

### Содержание

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| Введение . . . . .                    | 2  |
| Экспериментальная установка . . . . . | 7  |
| Проведение измерений . . . . .        | 8  |
| Обработка результатов . . . . .       | 10 |
| Контрольные вопросы . . . . .         | 11 |
| Приложение . . . . .                  | 12 |

## Цели работы

1. Определение расстояния между двумя щелями по полученной от них интерференционной картине.

## Задачи

1. Измерение координат минимумов интерференционной картины от двух щелей при изменении расстояния между объектом и экраном

## Введение

При наложении двух или нескольких когерентных волн происходит перераспределение светового потока в пространстве, в результате чего в одних местах возникают максимумы, а в других — минимумы интенсивности. Это физическое явление называется интерференцией волн

Для возникновения интерференции необходима когерентность складывающихся волн, то есть постоянство разности фаз, с которой они приходят в точку наблюдения. Такую согласованность невозможно получить от двух отдельных источников. Поэтому интерференционные схемы реализуются при наличии одного источника, свет от которого различными способами разделяется на два пучка, которые должны пройти различное расстояние до точки сложения.

Существуют два основных типа интерференционных схем: схема, построенная на основе деления волнового фронта, и схема, построенная на методе деления амплитуды. В первом случае складываются два участка одного волнового фронта, выделенных с помощью отверстий, зеркал, призм и т.д. Во втором случае разделение излучения производится путем частичного отражения и частичного пропускания света на границе раздела двух сред с

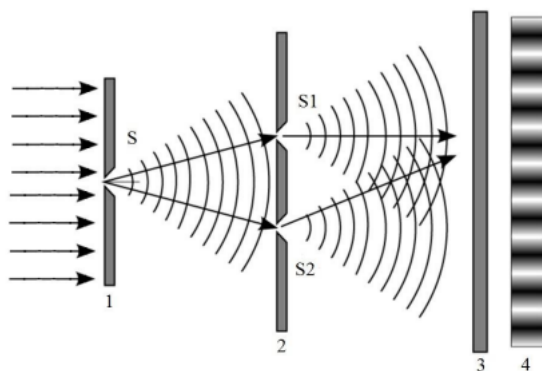


Рис. 1. Схема опыта Юнга: 1 — экран с точечным отверстием, 2 — экран с двумя отверстиями, 3 — плоскость наблюдения интерференционной картины, 4 — вид интерференционной картины

дальнейшим сложением этих частей, прошедших различные оптические пути. Особенно хорошая видность интерференционной картины проявляется в том случае, когда интенсивность обеих интерферирующих волн одинакова.

В начале XIX века Томас Юнг сумел осуществить один из первых успешных опытов по наблюдению интерференционной картины, полученной методом деления волнового фронта.

Схематичное изображение опыта Юнга показано на рис. 1. В качестве источника Юнг использовал солнечный свет, который проходил через точечное отверстие  $S$  в экране 1. Следом Юнг расположил экран 2 с двумя очень близко расположенными отверстиями  $S_1$  и  $S_2$ , которые играли роль вторичных синфазных источников, поскольку были равноудалены от отверстия  $S$ . Их излучение складывалось на удаленном экране 3, демонстрируя там интерференционную картину 4.

Проведя измерение ширины интерференционных полос, Томас

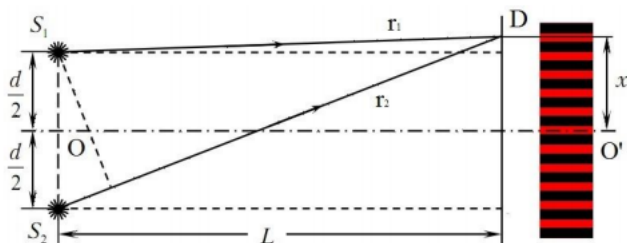


Рис. 2. Схема распространения волн

Юнг сумел провести достаточно грубую оценку длины световых волн, соответствующих разным цветам.

Если в качестве источника излучения используется лазер, то это позволяет наблюдать большое количество интерференционных полос, при условии, что расстояние между щелями  $d$  значительно больше собственной ширины щелей. Кроме того, поскольку лазерное излучение сохраняет пространственную когерентность по всему сечению пучка, то, если ширины пучка хватает, чтобы одновременно осветить оба отверстия  $S_1$  и  $S_2$ , отпадает необходимость в наличии первого экрана с отверстием  $S$ .

Для определения расстояния между щелями  $d$  по интерференционной картине необходимо связать это расстояние с параметрами схемы.

Интерференционная картина от двух щелей характеризуется наличием одинаковых по ширине темных и светлых полос. Выразим зависимость ширины полос интерференции (темных и светлых полос) от длины волны источника излучения.

На рисунке 2 показана схема распространения волн от источников  $S_1$  и  $S_2$  до точки наблюдения  $D$ . Волны проходят различные расстояния и имеют разность хода  $\Delta = r_2 - r_1$ . Интерферирующие пучки распространяются под очень малыми углами  $\theta$

к оси системы  $OO'$ , что позволяет считать, что  $\theta \approx x/L$  разность хода  $\Delta$  может быть рассчитана как

$$\Delta \approx d \cdot \theta \approx d \frac{x}{L}. \quad (1)$$

Если выполняется условие

$$\Delta = m\lambda, \quad (2)$$

где  $\lambda$  — длина волны света,  $m$  — целое число (0, 1, 2, ...), то в точке  $D$  наблюдается интерференционный максимум, поскольку излучение от двух щелей складывается в фазе. В противном случае, если величина

$$\Delta = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda, \quad (3)$$

то в точке  $D$  наблюдается минимум [4] вследствие разности фаз, кратной нечетному числу  $\pi$ , то есть сложению волн от щелей в противофазе.

"Под шириной интерференционной полосы (периодом интерференционной картины) понимают расстояние между соседними максимумами или минимумами"[1]. Из выражений (1) и (3) можно выразить координаты минимумов в плоскости  $O'D$ :

$$x_m = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda \frac{L}{d}$$

Из предыдущей формулы получаем зависимость для ширины интерференционной полосы:

$$\Delta x = x_{m+1} - x_m = \frac{\lambda}{d} \cdot L \quad (4)$$

Ширина полосы не зависит от порядка интерференции  $m$  и является постоянной для данных  $L$  и  $d$ . Уравнение (4) является линейным, то есть ширина полосы  $\Delta x$  прямо пропорциональна  $L$ . Если построить по экспериментальным данным график зависимости  $\Delta x$  от  $L$ , то коэффициент наклона графика этой зависимости  $K = \frac{\lambda}{d}$ . Найдя коэффициент  $K$ , можно определить расстояние между щелями  $d$ , если известна длину волны  $\lambda$ .

## Экспериментальная установка

Вид лабораторной установки представлен на рис. 3. Источником света служит гелий-неоновый лазер 1 (длина волны  $\lambda = 632.82 \pm 0.01$  нм). В роли вторичных источников выступают две щели на учебно-демонстрационном объекте 2.

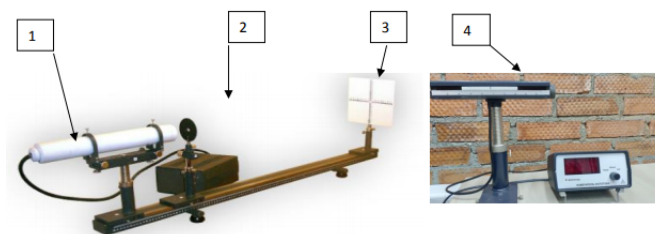


Рис. 3. Фото экспериментальной установки. 1 — лазер, 2 — объект, 3 — экран, 4 — фоторезистор с линейкой и измерителем фототока

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. В качестве второго варианта проведения измерений предлагается использовать фоторезистор с линейкой с присоединенным к нему прибором для измерения фототока (рис.3). Способ измерения выбирается преподавателем.

## Проведение измерений

1. Пользуясь линейкой на оптической скамье, измерьте координату экрана  $X_Э$ .
2. Включите питание лазера
3. Поставьте оправу с объектом на расстоянии  $\sim 5$  см от источника излучения. Перемещая ручку горизонтальной подвижки (большой серебристый винт), сдвиньте объект с двумя щелями в световой пучок. Обратите внимание, что в оправе два объекта: одна или две щели. Определить какой объект находится на пути лазера можно по полученной картине на экране.
4. Получите интерференционную картину в виде полосы из максимумов и минимумов интенсивности. При необходимости сместите объект вверх-вниз и вправо-влево, для размещения интерференционной картины на линейке экрана. Если работа выполняется с фоторезистором необходимо поместить интерференционную картину на уровне датчика. Следите, чтобы интерференционная картина была параллельна линейке. **Поверхность, на которой нанесен объект – зеркальная. Обратите внимание куда падает отраженный от объекта луч. Он должен падать обратно на источник, т.е. объект должен быть перпендикулярен рельсу. Если это не так, необходимо повернуть объект и зафиксировать его маленьким винтом на держателе. Избегайте попадания лазерного излучения в глаза.**
5. Установите экран на максимальном расстоянии от объекта.



6. Запишите по горизонтальной линейке координаты 5 – 10 последовательных минимумов, начиная от середины интерференционной картины влево и вправо.
7. Запишите номер объекта (указан на объекте) и координату  $X_0$  положения щелей. При использовании фоторезистора, зафиксируйте положения минимумов по показаниям измерителя фототока. Для перемещения датчика используется винт с правой стороны.
8. Сдвигая экран к объекту на 5 – 10 см, повторить измерения п.6 при 5 – 6 различных расстояниях от экрана (или фоторезистора) до щелей. Количество минимумов для новых положений рекомендуется не изменять. Заполните таблицу [1](#).
9. По указанию преподавателя проведите измерения п.п. 3 – 6 для других объектов.
10. Выключите питание лазера.

## Обработка результатов

1. Для каждого измерения вычислите расстояние между объектом и экраном:  $L = X_{\text{Э}} - X_{\text{О}}$ . Вычислите расстояние между крайними координатами в каждом измерении и разделите его на число минимумов  $m$ , получив тем значение периода картины  $\Delta x$ .
2. Для каждого объекта постройте график зависимости ширины интерференционной полосы  $\Delta x$  от расстояния  $L$ . Аппроксимируйте график прямой. По коэффициенту наклона  $K$  прямой и известной длине волны источника определите расстояние  $d$  между щелями:  $d = \frac{\lambda}{K}$ . Найдите среднее значение расстояния между щелями  $\langle d \rangle$  по всем проведенным измерениям.
3. Для одного из графиков в п.10 рассчитайте погрешность наклона  $\Delta K$  и, используя ее, найдите погрешность  $\Delta d$ . Поскольку длина волны лазера известна с большой точностью, величина  $\Delta K$  вносит наибольший вклад в погрешность  $\Delta d$ .
4. Результат представьте как среднее значение  $\langle d \rangle$  с найденной в п. 11 с погрешностью  $\Delta d$ . (см. [методическое пособие "Обработка экспериментальных данных"](#))
5. Оцените полученный результат. Теоретическое расстояние между щелями  $d_{\text{теор}} = (0,12 \pm 0,01)$  мм

## Контрольные вопросы

1. Что такое когерентность? Каким образом можно получить когерентные источники?
2. Чем можно объяснить наличие максимума по центру интерференционной картины?
3. Сформулируйте условия возникновения максимумов и минимумов при интерференции через разность хода.
4. Сформулируйте условия возникновения максимумов и минимумов при интерференции через разность фаз.
5. Как изменится вид интерференционной картины в опыте Юнга при увеличении расстояния между щелями?
6. Как изменится вид интерференционной картины в опыте Юнга при увеличении расстояния  $L$  до экрана?
7. Что называется контрастом интерференционной картины?
8. Почему для наблюдения наиболее контрастной интерференционной картины необходимо равенство амплитуд складывающихся волн?
9. Как изменится вид интерференционной картины в опыте Юнга при изменении длины волны источника, с которым проводится опыт?
10. Как будет меняться интерференционная картина? Если первое отверстие в опыте Юнга постепенно делать больше?

## Приложение

**Таблица 1:** Результаты измерений

| $X_0 =$ , мм  | $X_{\vartheta} =$ , мм | $X_{\vartheta} =$ , мм | $X_{\vartheta} =$ , мм | $X_{\vartheta} =$ , мм | $X_{\vartheta} =$ , мм |
|---------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| $x_1$ , мм    |                        |                        |                        |                        |                        |
| $x_2$ , мм    |                        |                        |                        |                        |                        |
| $x_3$ , мм    |                        |                        |                        |                        |                        |
| $x_4$ , мм    |                        |                        |                        |                        |                        |
| $x_5$ , мм    |                        |                        |                        |                        |                        |
| $x_6$ , мм    |                        |                        |                        |                        |                        |
| $x_7$ , мм    |                        |                        |                        |                        |                        |
| $x_8$ , мм    |                        |                        |                        |                        |                        |
| $x_9$ , мм    |                        |                        |                        |                        |                        |
| $x_{10}$ , мм |                        |                        |                        |                        |                        |
| $L$ , мм      |                        |                        |                        |                        |                        |