

Группа: *K3221*

Студенты: *Доценников Никита, Карпов Иван*

Преподаватель: *Попов Антон Сергеевич*

К работе допущен:

Работа выполнена:

Отчет принят:

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №4.02

Определение расстояния между двумя щелями интерференционным методом

Цель работы

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

Задача работы

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

Контрольные вопросы

1. Что такое когерентность? Каким образом можно получить когерентные источники?

Когерентность – необходимое условие возникновения интерференции и определяется как постоянство разности фаз во времени. При этом такую согласованность невозможно получить от двух отдельных источников.

Для получения когерентных источников используют один источник света, излучение которого искусственно разделяют. Интерференционные схемы реализуются при наличии одного источника, свет от которого различными способами разделяется на два пучка, которые должны пройти различное расстояние до точки сложения. Существует два основных способа получения когерентных волн: схема, построенная на основе деления волнового фронта, и схема, построенная на методе деления амплитуды.

В случае деления волнового фронта складываются два участка одного волнового фронта, выделенных с помощью отверстий, зеркал, призм и т.д.

При делении амплитуды разделение излучения производится путем частичного отражения и частичного пропускания света на границе раздела двух сред с дальнейшим сложением этих частей, прошедших различные оптические пути.

2. Чем можно объяснить наличие максимума по центру интерференционной картины?

В центральной точке экрана разность хода волн от двух щелей равна нулю, и волны складываются в фазе.

Волны проходят различные расстояния и имеют разность хода

$$\Delta = r_2 - r_1$$

Для центральной точки интерференционной картины расстояния от обеих щелей одинаковы, поэтому $\Delta = 0$. В этом случае выполняется условие максимума:

$$\Delta = m\lambda,$$

где m – целое число, то в точке D наблюдается интерференционный максимум, поскольку излучение от двух щелей складывается в фазе.

При $m = 0$ разность хода равна нулю, что и соответствует центральному максимуму интерференционной картины.

3. Сформулируйте условия возникновения максимумов и минимумов при интерференции через разность хода.

Интерференция обусловлена тем, что волны проходят различные расстояния и имеют разность хода

$$\Delta = r_2 - r_1.$$

Интерференционный максимум возникает, если разность хода равна целому числу длин волн:

$$\Delta = m\lambda$$

Интерференционный минимум возникает, если разность хода равна полуцелому числу длин волн:

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

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?

Зависимость для ширины интерференционной полосы определяется по формуле:

$$\Delta x = x_{m+1} - x_m = \frac{\lambda}{d} \cdot L,$$

где d – расстояние между щелями, λ – длина волны света, L – расстояние от объекта с двумя щелями до экрана. Соответственно, если мы увеличиваем d , то ширина интерференционной полосы Δx уменьшается. То есть полосы сжимаются.

6. Как изменится вид интерференционной картины в опыте Юнга при увеличении расстояния L до экрана?

Зависимость для ширины интерференционной полосы определяется по формуле:

$$\Delta x = x_{m+1} - x_m = \frac{\lambda}{d} \cdot L,$$

где d – расстояние между щелями, λ – длина волны света, L – расстояние от объекта с двумя щелями до экрана. Соответственно, если мы увеличиваем L , то ширина интерференционной полосы Δx увеличивается. То есть полосы расширяются.

7. Что называется контрастом интерференционной картины?

Контраст – степень различимости максимумов и минимумов. $C = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$. Чем выше контраст, тем точнее и чище видна картинка.

8. Почему для наблюдения наиболее контрастной интерференционной картины необходимо равенство амплитуд складывающихся волн?

Если амплитуды одинаковые, то максимумы максимально яркие, а минимумы максимально темные. Это дает наибольший контраст. Если амплитуды разные, минимумы будут заполняться остаточной интенсивностью и картинка будет не такой точной.

9. Как изменится вид интерференционной картины в опыте Юнга при изменении длины волны источника, с которым проводится опыт?

Если λ увеличивается, то полосы расширяются. Если λ уменьшается, то полосы сужаются.

10. Как будет меняться интерференционная картина? Если первое отверстие в опыте Юнга постепенно делать больше?

Первое отверстие определяет размер области, играющей роль точечного источника. Если его увеличить, то оно перестанет быть квазиточечным и падает когерентность. Контраст интерференционной картины уменьшается. При слишком большом отверстии картина исчезает полностью.

Основные формулы

Формула	Пояснение
$\Delta \approx d \cdot \theta \approx d \frac{x}{L}$	Δ - разность хода волн d - расстояние между щелями θ - угол отклонения луча от оси x - координата точки на экране L - расстояние между щелями и экраном
$\Delta = m\lambda$	Условие максимума m - порядок максимума λ - длина волны лазера
$\Delta = (m + \frac{1}{2})\lambda$	Условие минимума m - номер минимума λ - длина волны
$x_m = (m + \frac{1}{2}) \frac{\lambda L}{d}$	x_m - координата m -го минимума на экране m - номера минимума λ - длина волны L - расстояние до экрана d - расстояние между щелями
$\Delta x = x_{m+1} - x_m = \frac{\lambda L}{d}$	Δx - ширина интерференционной полосы x_{m+1} - координата следующего (по номеру) минимума или максимума на экране. x_m - координата предыдущего минимума или максимума λ - длина волны света лазера L - расстояние между щелями и экраном d - расстояние между двумя щелями в объекте

Табл. 1. Основные формулы и пояснения к ним.

Результаты измерений

$X_O =$ 970 мм	$X_9 =$ 38 мм	$X_9 =$ 138 мм	$X_9 =$ 238 мм	$X_9 =$ 338 мм	$X_9 =$ 438 мм
x_1 , мм	−17	−20	−15	−18	−13
x_2 , мм	−14	−16	−11	−16	−11
x_3 , мм	−11	−12	−9	−13	−7
x_4 , мм	−7.5	−10	−6	−11	−5
x_5 , мм	−3	−3	−2	−3	−2
x_6 , мм	0	0	0	0	0
x_7 , мм	4	4	2	2	1
x_8 , мм	7	7	6	5	4
x_9 , мм	11	10	8	7	6
x_{10} , мм	15	13	12	10	8
L , мм	932	832	732	632	532

Табл. 2. Результаты измерений.

Расчеты

Расстояния между объектом и экраном вычислялись по формуле

$$L = X_9 - X_O.$$

Результаты представлены в Табл. 2.

Период интерференционной картины определяется как

$$\Delta x = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{m}$$

где $x_{\max}$ и $x_{\min}$ – крайние координаты минимумов, $m = 9$ – число интервалов между десятью минимумами.

L , мм	$x_{\min}$, мм	$x_{\max}$, мм	Δx , мм
932	−17	15	3.56
832	−20	13	3.67
732	−15	12	3.00
632	−18	10	3.11
532	−13	8	2.33

Табл. 3. Период интерференционной картины

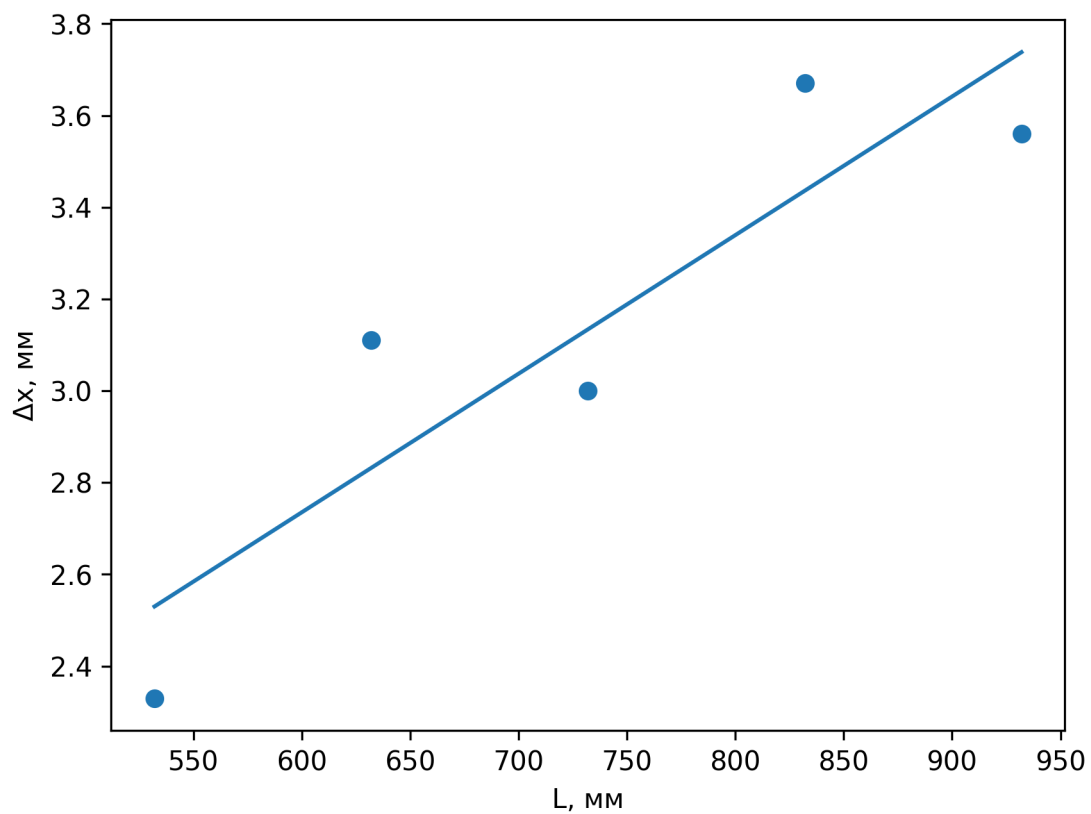


Рис. 1. График зависимости $\Delta x(L)$.

Коэффициент наклона:

$$K = 3.02 \cdot 10^{-3}$$

Длина волны лазера:

$$\lambda = 632.82 \text{ нм} = 6.3282 \cdot 10^{-4} \text{ мм}$$

$$d = \frac{\lambda}{K}$$

$$d \approx 0.210 \text{ мм}$$

Так как используется один объект и один аппроксимирующий график, среднее значение расстояния между щелями:

$$\langle d \rangle = 0.21 \text{ мм}$$

Используем формулу для линейной аппроксимации методом наименьших квадратов. Тогда погрешность наклона:

$$\Delta K = \sqrt{\frac{1}{n-2} \frac{\sum (\Delta x_i - K L_i)^2}{\sum (L_i - L)^2}}$$

Среднее L :

$$\bar{L} = \frac{932 + 832 + 732 + 632 + 532}{5} = 732$$

Вычисляем отклонения:

L_i	Δx_i	$K L_i$	$\Delta x_i - K L_i$
932	3.56	2.815	0.745
832	3.67	2.514	1.156
732	3.00	2.209	0.791
632	3.11	1.911	1.199
532	2.33	1.607	0.723

Табл. 4. Отклонения $(\Delta x_i - K L_i)$.

Сумма квадратов отклонений:

$$\sum (\Delta x_i - K L_i)^2 = 0.745^2 + 1.156^2 + 0.791^2 + 1.199^2 \approx 4.479$$

Сумма квадратов отклонений L_i от среднего:

$$\begin{aligned} & \sum (L_i - \bar{L}) = \\ & = (932 - 732)^2 + (832 - 732)^2 + (732 - 732)^2 + (632 - 732)^2 + (532 - 732)^2 = \\ & = 100000 \end{aligned}$$

Подставим:

$$\Delta K = \sqrt{\frac{1}{5-2} \cdot \frac{4.479}{100000}} = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot 4.479 \cdot 10^{-5}} = \sqrt{1.493 \cdot 10^{-5}} \approx 0.00387$$

Погрешность расстояния между щелями Δd :

$$\begin{aligned} d &= \frac{\lambda}{K}, \quad \Delta d = \frac{\lambda}{K^2} \Delta K \\ \Delta d &= \frac{6.3282 \cdot 10^{-4}}{(3.02 \cdot 10^{-3})^2} \cdot 0.00387 \approx 0.268 \text{ мм} \end{aligned}$$

$$d = 0.21 \pm 0.27 \text{ мм}$$

Погрешность, вызванная неопределённостью наклона графика:

$$d = \frac{\lambda}{K^2} \Delta K \approx 0.27 \text{ мм}$$

Итоговое значение с учетом погрешности:

$$d = (0.21 \pm 0.27) \text{ мм}$$