

Группа: К3221

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.

## Основные формулы

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

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

Табл. 2: Результаты измерений.

### Расчеты

Расстояния между объектом и экраном вычислялись по формуле

$$L = X_\Theta - X_O.$$

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	$\Delta x$ , 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

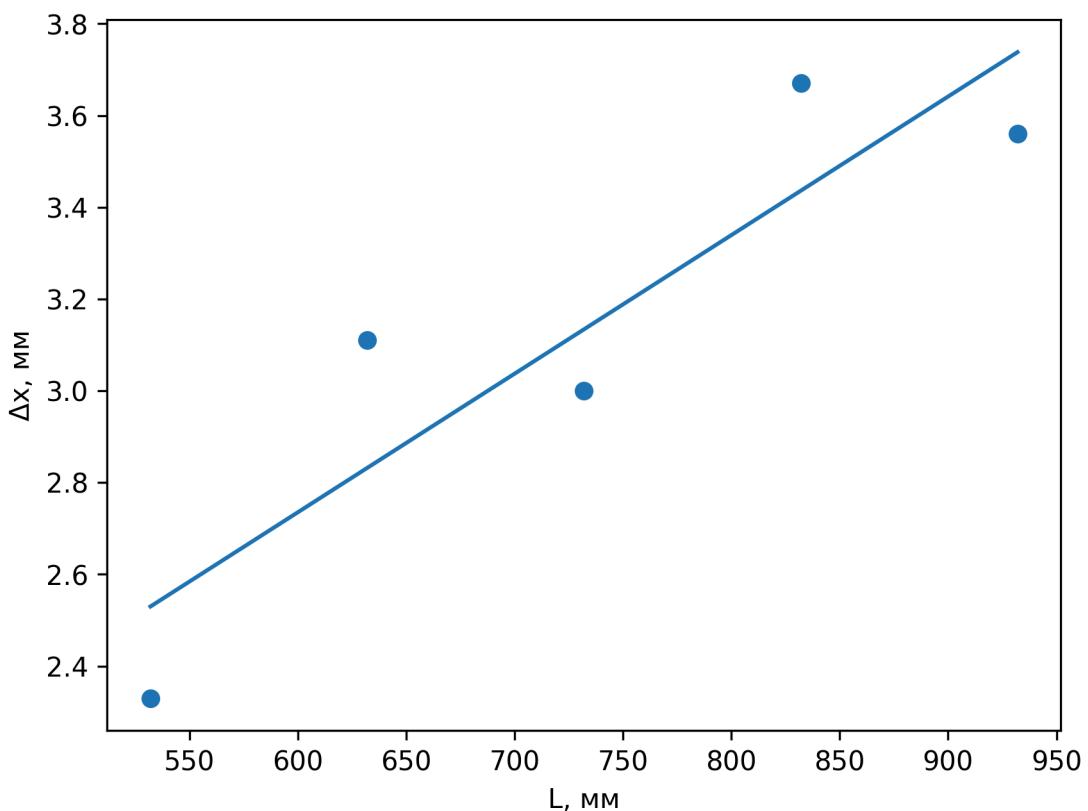


Рис. 1: График зависимости  $\Delta x(L)$ .

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:

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

Среднее  $\bar{L}$ :

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

Вычисляем отклонения:

$L_i$	$\Delta x_i$	$KL_i$	$\Delta x_i - KL_i$
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  $(\Delta x_i - KL_i)$ .

Сумма квадратов отклонений:

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

Сумма квадратов отклонений  $L_i$  от среднего:

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

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  $\Delta d$ :

$$d = \frac{\lambda}{K}, \quad \Delta d = \frac{\lambda}{K^2} \Delta K$$

$$\Delta d = \frac{6.3282 \cdot 10^{-4}}{(3.02 \cdot 10^{-3})^2} \cdot 0.00387 \approx 0.268 \text{ мм}$$

$$d = 0.21 \pm 0.27 \text{ мм}$$

Погрешность, вызванная неопределенностью наклона графика:

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

Итоговое значение с учетом погрешности:

$$d = (0.21 \pm 0.27) \text{ мм}$$

### Контрольные вопросы

- Что такое когерентность? Каким образом можно получить когерентные источники?

Когерентность – это постоянство разности фаз между волнами. Когерентные источники получают разделением излучения одного источника на два пучка (щели Юнга, делители пучка и т.д.). Два разных независимых источника когерентности не дают.

- Чем можно объяснить наличие максимума по центру интерференционной картины?

По центру разность хода = 0. Волны приходят в фазе и дают максимум интенсивности.

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

Разность хода –  $\Delta$ . Условие максимума:  $\Delta = m\lambda$ . Условие минимума:  $\Delta = (m + \frac{1}{2})\lambda$ .

- Сформулируйте условия возникновения максимумов и минимумов при интерференции через разность фаз.

Разность фаз –  $\Delta\varphi$ . Условие максимума:  $\Delta\varphi = 2\pi m$ . Условие минимума:  $\Delta\varphi = (2m + 1)\pi$ .

- Как изменится вид интерференционной картины в опыте Юнга при увеличении расстояния между щелями?

Так как  $d$  увеличивается, полосы сжимаются.  $\Delta x = (\lambda L, d)$ .

- Как изменится вид интерференционной картины в опыте Юнга при увеличении расстояния  $L$  до экрана?

Так как  $L$  увеличивается, полосы растягиваются.  $\Delta x = \frac{\lambda L}{d}$ .

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 складывающих 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  $\lambda$  увеличивается, то полосы расширяются. Если  $\lambda$  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.