

### 010501. Интерференция света от двух источников

**Цель работы:** Определение расстояния между щелями с помощью интерференционных полос в опыте Юнга.

**Требуемое оборудование:**

Модульный учебный комплекс МУК-ОВ

#### *Краткое теоретическое введение*

Интерференцией называется явление сложения (суперпозиции) колебаний, возбужденных в некоторой точке пространства волнами, приходящими от нескольких когерентных источников. Рассмотрим два точечных когерентных источника  $S_1$  и  $S_2$ , колебания которых происходят с одинаковой частотой  $\omega$ , а разность начальных фаз колебаний равна нулю (источники синфазны). Пусть от источника  $S_1$  распространяются бегущие волны в среде 1 с показателем преломления  $n_1$ , а от источника  $S_2$  – в среде 2 с показателем преломления  $n_2$  (рис. 1). На рисунке линия  $OO_1$  – граница между этими прозрачными средами.

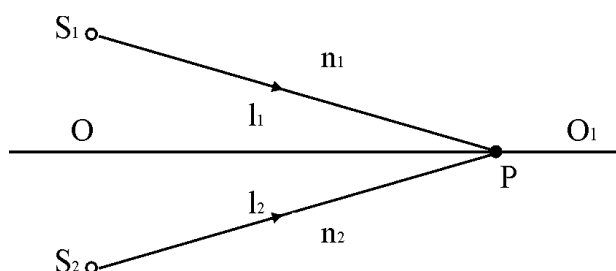


Рис. 1

На границе  $OO_1$  выберем точку  $P$  и определим условие минимума и максимума амплитуды результирующего колебания в этой точке пространства. Обозначим  $l_1 = S_1P$ ,  $l_2 = S_2P$ . Для электромагнитных волн (свет – электромагнитная волна) колебания вектора  $\vec{E}$  от двух одинаковых источников 1 и 2 определяются выражениями:  $E_1 = E_0 \cos(\omega t - k_1 l_1)$  и  $E_2 = E_0 \cos(\omega t - k_2 l_2)$ ,  $E_0$  – амплитуда гармонических колебаний,  $k$  – волновое число.

В точке наблюдения  $P$  происходит сложение колебаний одинаковой частоты. Будем считать, что эти колебания происходят вдоль одного направления. Разность фаз колебаний в этой точке равна:

$$\delta = (\omega t - k_1 l_1) - (\omega t - k_2 l_2) = k_2 l_2 - k_1 l_1,$$

где  $k = \frac{\omega}{V}$  – волновое число;  $V = \frac{C}{n}$  – скорость распространения электромагнитной волны в среде с показателем преломления  $n$ ;  $C$  – скорость этой волны в вакууме. Так как

$$k l = \frac{\omega l}{V} = \frac{\omega n l}{C} = k_0 n l,$$

где  $k = \frac{\omega}{C} = \frac{2\pi}{\lambda_0}$  – волновое число для среды с  $n = 1$  (вакуум),  $\lambda_0$  – длина волны в среде с  $n = 1$ , то разность фаз колебаний

$$\delta = k_0 n_2 \ell_2 - k_0 n_1 \ell_1 = \frac{2\pi}{\lambda_0} (n_2 \ell_2 - n_1 \ell_1)$$

определяет результирующее колебание в точке  $P$ .

Величина  $n\ell$  – оптический путь волны, разность этих величин для двух волн  $\Delta = n_2 \ell_2 - n_1 \ell_1$  – их оптическая разность хода, тогда  $\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta$ . Из условия минимума при сложении колебаний  $\delta = \pm(2m+1) \cdot \pi$ ,  $m = 0, 1, 2, \dots$ , получаем условие минимума при интерференции, выраженное через оптическую разность хода волн:  $\Delta = \pm(2m+1) \frac{\lambda_0}{2}$ . Условие максимума –  $\delta = \pm 2\pi m$  (колебания происходят в одной фазе) определяет условие максимума, выраженное через  $\Delta$ :  $\Delta = \pm m \lambda_0$ .

Можно сказать, что при сложении колебаний в любой точке пространства результирующее колебание определяется величиной оптической разности хода волн.

### Методика эксперимента

Рассмотрим монохроматическую световую волну (длина волны в вакууме  $\lambda_0$ ) с плоским фронтом, падающую на непрозрачный экран с двумя щелями (оптическая схема, близкая к схеме опыта Юнга). Пусть экран, где расположены щели может поворачиваться относительно точки  $O$  – середины расстояния  $d$  между щелями (рис.2) на некоторый угол  $\alpha$ .

Можно показать, что положение максимумов и минимумов интенсивности света на экране наблюдения, расположенном далеко от щелей ( $L \gg d$ ), совпадает с их положение для точечных источников  $S_1$  и  $S_2$ , расположенных на таком же расстоянии друг от друга. Теорию интерференции волн от таких двух точечных источников мы и рассмотрим ниже.

Экран наблюдения (обычный лист бумаги) располагается на расстоянии  $OA = L$ , отсчитываемом от точки  $O$ ,  $x$  – координата точки наблюдения  $P$  равна расстоянию  $AP$ .

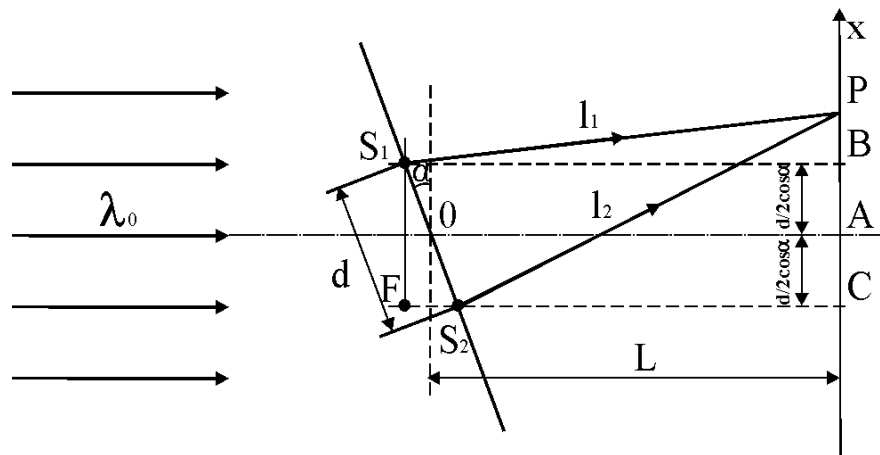


Рис. 2

Оптическая разность хода лучей 1 и 2 от плоского фронта до щелей равна  $\Delta_1 = FS_2 = d \sin \alpha$ , а оптическая разность хода лучей 1 и 2 после прохождения щелей  $S_1$  и  $S_2$  равна  $\Delta_2 (n=1)$ . На экран лучи 1 и 2 приходят с разностью хода  $\Delta = \Delta_1 + \Delta_2$ . Рассчитаем  $\Delta_2$ . Из прямоугольных треугольников  $S_1 BP$  и  $S_2 CP$ :

$$\ell_1^2 = \left( L + \frac{d}{2} \sin \alpha \right)^2 + \left( x - \frac{d}{2} \cos \alpha \right)^2,$$

$$\ell_2^2 = \left( L - \frac{d}{2} \sin \alpha \right)^2 + \left( x + \frac{d}{2} \cos \alpha \right)^2, \quad \Delta_2 = \ell_2 - \ell_1,$$

$$\ell_2^2 - \ell_1^2 = (\ell_2 + \ell_1) \cdot (\ell_2 - \ell_1) = -2Ld \sin \alpha + 2xd \cos \alpha.$$

При условии  $d, x \ll L$ ,

$$\begin{aligned} \ell_1 &\approx \ell_2 \approx L: \\ \ell_1 + \ell_2 &\approx 2L, \\ 2L \cdot \Delta_2 &= 2xd \cos \alpha - 2Ld \sin \alpha, \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} \Delta_2 &= \frac{xd \cos \alpha}{L} - d \sin \alpha, \\ \Delta &= \Delta_1 + \Delta_2 = \frac{xd \cos \alpha}{L}. \end{aligned}$$

Из условия максимума для интерферирующих лучей 1 и 2

$$\Delta = \pm m \lambda_o, \text{ где } m = 0, 1, 2, \dots,$$

получим  $x_m = \frac{m \lambda_o L}{d \cos \alpha}$  - координаты точек экрана с максимальной интенсивностью света.

Расстояние между соседними максимумами равно  $\Delta x = x_{m+1} - x_m = \frac{\lambda_o L}{d \cos \alpha}$ . Измеряя  $\Delta x$  между

серединами ярких полос, можно рассчитать  $d = \frac{\lambda_o L}{\Delta x \cos \alpha}$ .

В верхней части оптического блока находится лазерный источник света.

Ниже расположенная турель, которая содержит дифракционные объекты. Вращая турель, установите образец с двумя щелями.

На верхнюю крышку электронного блока положите лист белой бумаги, который будет играть роль экрана наблюдения.

### **Рекомендуемое задание к работе**

1. Подготовьте к работе и включите лабораторную установку. Для различных углов поворота  $\alpha$  (рис. 2) определите расстояние между серединами интерференционных максимумов  $\Delta x$ .

2. Определите размер  $d = \frac{\lambda_o L}{\Delta x \cos \alpha}$ . Длина волны лазерного излучения  $\lambda_o$  и расстояние от щелей до плоскости экрана  $L$  указаны на установке. Сделайте выводы.