

ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра общей и технической физики

Отчет по лабораторной работе №1

По дисциплине: **Физика**

По теме: **Измерение длины световой волны с помощью бипризмы Френеля**

Выполнил: студент гр. ТО-21

(Подпись)

Леус А.Ю.

(Ф.И.О.)

Проверил:

(Подпись)

(Ф.И.О.)

Санкт-Петербург

2023

Цель работы: определение длины световой волны с помощью бипризмы Френеля, создающей два мнимых когерентных источника излучения.

Краткое теоретическое содержание

Явление, изучаемое в работе: интерференция света.

Основные определения физических величин, явлений, процессов

Интерференция света - сложение световых пучков, ведущее к образованию светлых и темных полос, которые можно наблюдать визуально.

Волна – это распространение колебательного пространства со временем.

Фаза волны – аргумент периодической функции, описывающей колебательный процесс.

Длина волны – расстояние между ближайшими частицами, колеблющимися в одинаковой фазе.

Когерентные волны – волны, характеризующиеся одинаковой частотой и постоянством разности фаз в заданной точке.

Оптическая разность хода – разность длин путей, которые пройдут лучи света от источников до точки, в которой наблюдается интерференция.

Интенсивность волны – скалярная величина, равная модулю среднего значения вектора Умова.

Законы и соотношения, лежащие в основе лабораторной работы

Условия явления интерференции. Так как наша лабораторная работа строится на явлении интерференции, то нужно упомянуть о том, что наблюдать интерференционную картину можно лишь в том случае, если интерферирующие волны имеют одинаковую частоту и постоянную разность фаз.

Источники света и испускаемые ими лучи, удовлетворяющие указанным требованиям, называются когерентными. Только когерентные источники света дают стабильную во времени интерференционную картину.

Принцип Гюйгенса-Френеля. Каждая точка среды, до которой дошло возмущение, сама становится источником вторичных когерентных волн.

Принцип суперпозиции. В среде могут распространяться колебания, исходящие от разных центров. Если две различные системы волн, исходящие из разных источников, перекрываются в некоторой области, а затем снова расходятся, то дальше каждая из них распространяется так, как если бы она не встречала на своем пути другую. Этот принцип независимости распространения волн называется принципом суперпозиции.

Пусть до какой-либо точки сферы доходят две волны. Тогда при наложении двух волновых процессов каждая точка среды становится источником двух колебаний. В случае, если амплитуды слагаемых колебаний одинаковы, результат сложения двух колебаний может быть выражен так:

$$x = x_1 + x_2 = A \sin(\omega t + \phi_1) + A \sin(\omega t + \phi_2) = 2A \cos\left(\frac{\phi_1 - \phi_2}{2}\right) \sin\left(\omega t + \frac{\phi_1 + \phi_2}{2}\right)$$

Полученное выражение представляет собой гармоническое колебательное движение, которое может быть записано следующим образом:

$$x = A' \sin(\omega t + \phi')$$

где $\phi' = \frac{\phi_1 + \phi_2}{2}$ - начальная фаза результирующих колебаний,

$A' = 2A \cos\left(\frac{\phi_1 - \phi_2}{2}\right)$ - амплитуда результирующих колебаний.

Поскольку энергия колебательного движения пропорциональна квадрату амплитуды, то энергия результирующих колебаний W' будет связана с энергией слагаемых колебаний W следующим соотношением:

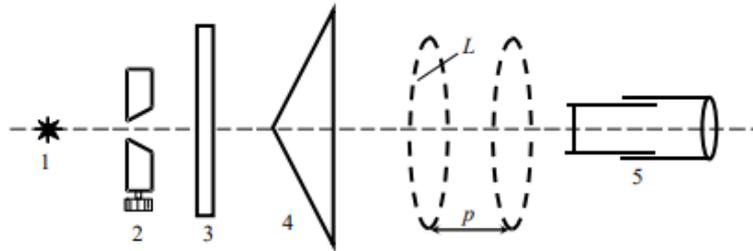
$$W' = 4W \cos^2\left(\frac{\phi_1 - \phi_2}{2}\right)$$

Это соотношение показывает, что если

$$\phi_1 - \phi_2 = \pm 2\pi n, \quad \cos\left(\frac{\phi_1 - \phi_2}{2}\right) = \pm 1,$$

где n - целое число, то и $W' = 4W$, т.е. энергия результирующих колебаний в местах, где фазы колебаний совпадают, равна не сумме энергий составляющих колебаний, а в два раза больше этой суммы. Этот результат означает, что при интерференции происходит перераспределение энергии волн в пространстве.

Экспериментальная установка:



Пояснение к схеме:

- 1 - источник света;
- 2 – щель;
- 3 – светофильтр;
- 4 - бипризма Френеля;
- 5 - измерительный микроскоп;
- L – линза.

Основные расчётные формулы

$$\lambda = \frac{\frac{\sqrt{C_1} - \sqrt{C_2}}{\sqrt{C_1} + \sqrt{C_2}} * \sqrt{C_1 C_2} * b}{p}}$$

$$p = f_1 - f_2 = z_1 - z_2$$

λ – длина волны (мм);

C_1 и C_2 - расстояния между изображениями щелей (мм);

p - величина смещения линзы из положения 1 в положение 2 (мм);

b - расстояние между серединами соседних интерференционных полос (мм);

f_1 - расстояние от места расположения мнимых источников до линзы (мм);

f_2 – расстояние между линзой и фокальной плоскостью микроскопа (мм);

z_1 и z_2 - положения линзы, при которых в окуляр микроскопа будут отчетливо видны изображения двух мнимых источников света в виде двух ярких полосок (мм).

Формулы косвенных погрешностей

$$\Delta \bar{d} = \left| \frac{\partial d}{\partial C_{1cp}} \right| \Delta \overline{C_{1cp}} + \left| \frac{\partial d}{\partial C_{2cp}} \right| \Delta \overline{C_{2cp}}, \text{ где } \Delta \overline{C_{1cp}} \text{ и } \Delta \overline{C_{2cp}} - \text{средние абсолютные}$$

величины

$$\Delta b_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |b_{cp} - b_i|$$

Погрешности прямых измерений

$$b = 0,01 \text{ мм}$$

$$z_1 \text{ и } z_2 = 0,5 \text{ мм}$$

$$C_1 \text{ и } C_2 = 0,01 \text{ мм}$$

Таблицы

№ измерения	Отсчет слева, мм	Отсчет справа, мм	Разность отсчетов, мм	Число полос	b , мм
1	23,58	27,60	4,02	5	0,80
2	23,56	27,46	3,90	5	0,78
3	23,53	27,54	4,01	5	0,80
4	23,69	27,61	3,92	5	0,78
5	23,57	27,59	4,02	5	0,80

Таблица 1

$$b_{cp} = 0,79$$

№ п/п	z_1 , мм	Отсчет поля мнимых ист-в, мм		C_1 , мм	z_2 , мм	Отсчет пол-я из-мнимых ист-в, мм		C_2 , мм	p , мм
		левого	правого			левого	правого		
1	275	16,06	16,46	0,40	435	17,40	17,54	0,14	160
2		16,11	16,59	0,48	435	17,38	17,60	0,22	160
3		16,08	16,41	0,33	435	17,46	17,58	0,12	160
4		16,13	16,62	0,49	435	17,36	17,49	0,13	160
5		16,09	16,53	0,44	435	17,43	17,57	0,14	160
Среднее		16,09	16,52	0,43	435	17,40	17,56	0,16	160

Таблица 2

Пример вычислений

$$b_{cp} = \frac{b_1 + b_2 + b_3 + b_4 + b_5}{5} = \frac{0,80 + 0,78 + 0,80 + 0,78 + 0,80}{5} = 0,79 \text{ мм}$$

$$p = z_2 - z_1 = 435 - 275 = 160 \text{ мм}$$

$$\lambda = \frac{\frac{\sqrt{C_1} - \sqrt{C_2}}{\sqrt{C_1} + \sqrt{C_2}} * \sqrt{C_1 C_2} * b}{p} = \frac{\frac{\sqrt{0,43} - \sqrt{0,16}}{\sqrt{0,43} + \sqrt{0,16}} * \sqrt{0,43 * 0,16} * 0,79}{160} = 0,00031 \text{ мм} = 310 \text{ нм}$$

$$d^i = \sqrt{0,43 * 0,16} = 0,26 \text{ мм}$$

$$a = 160 \cdot \frac{\sqrt{0,43} + \sqrt{0,16}}{\sqrt{0,43} - \sqrt{0,16}} = 660,5 \text{ мм}$$

Погрешности косвенных измерений:

1) Рассчитаем погрешность измерений ширины интерференционной полосы

b :

$$\Delta b_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |b_{cp} - b_i| = \frac{|0,79 - 0,80| + |0,79 - 0,78| + |0,79 - 0,80| + |0,79 - 0,78| + |0,79 - 0,80|}{5}$$

= 0,01 мм - средняя абсолютная ошибка. Таким образом:

$$b = b_{cp} \pm \Delta b_{cp} = 0,79 \pm 0,01 \text{ мм}$$

2) Рассчитаем погрешность измерений расстояния между мнимыми источниками d :

$$\Delta \bar{d} = \left| \frac{\partial d}{\partial C_{1cp}} \right| \Delta \overline{C_{1cp}} + \left| \frac{\partial d}{\partial C_{2cp}} \right| \Delta \overline{C_{2cp}}, \text{ где } \Delta \overline{C_{1cp}} \text{ и } \Delta \overline{C_{2cp}} - \text{средние абсолютные}$$

величины

$$\Delta \overline{C_{1cp}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |C_{1cp} - C_{1i}| = 0,05 \text{ мм}$$

$$\Delta \overline{C_{2cp}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |C_{2cp} - C_{2i}| = 0,03 \text{ мм}$$

$$\frac{\partial d}{\partial C_{1cp}} = \sqrt{C_{2cp}} \cdot \frac{1}{2\sqrt{C_{1cp}}} = \sqrt{0,16} \cdot \frac{1}{2\sqrt{0,43}} = 0,3$$

$$\frac{\partial d}{\partial C_{2cp}} = \sqrt{C_{1cp}} \cdot \frac{1}{2\sqrt{C_{2cp}}} = \sqrt{0,43} \cdot \frac{1}{2\sqrt{0,16}} = 0,8$$

$\Delta \bar{d} = 0,3 * 0,05 + 0,8 * 0,03 = 0,04$ мм. Таким образом:

$$d = d^i \pm \Delta \bar{d} = 0,26 \pm 0,04 \text{ мм}$$

3) Рассчитаем погрешность измерений расстояния от мнимых источников до фокальной плоскости микроскопа a :

$$\Delta \bar{a} = \left| \frac{\partial a}{\partial C_{1cp}} \right| \Delta C_{1cp} + \left| \frac{\partial a}{\partial C_{2cp}} \right| \Delta C_{2cp} + \left| \frac{\partial a}{\partial p} \right| \Delta p = 21,9 \text{ мм}$$

Таким образом:

$$a = a^i \pm \Delta \bar{a} = 661 \pm 22 \text{ мм}$$

4. Рассчитаем погрешность измерений длины волны λ :

$$\lambda^* = \frac{b_{cp} d}{a}, \text{ тогда средняя абсолютная ошибка}$$

$$\Delta \bar{\lambda} = \left| \frac{\partial \lambda}{\partial b_{cp}} \right| \Delta b_{cp} + \left| \frac{\partial \lambda}{\partial d} \right| \Delta \bar{d} + \left| \frac{\partial \lambda}{\partial a} \right| \Delta \bar{a} = 3,816 \cdot 10^{-5} \text{ мм}$$

Таким образом:

$$\lambda = \lambda^i \pm \Delta \bar{\lambda} = 0,00031 \pm 0,000038 \text{ мм}$$

Окончательный результат:

$$\lambda = 310 \pm 38 \text{ нм}$$

Вывод

С помощью проделанного опыта мы смогли измерить длину световой волны, используя бипризму Френеля, создающую два мнимых когерентных источника излучения. Были получены следующие значения :

$\lambda = 310 \pm 38$ нм – длина волны излучаемого света

$a = 661 \pm 22$ мм - расстояния от мнимых источников до фокальной плоскости микроскопа

$d = 0,26 \pm 0,04$ мм - расстояния между мнимыми источниками

$b = 0,79 \pm 0,01$ мм - ширина интерференционной полосы