МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Курганский государственный университет»

Кафедра «Общая физика»

ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА

Методические указания к выполнению лабораторной работы № 32 для студентов направлений 231000.62, 151900.62, 150700.62, 220700.62, 220400.62, 280700.62, 221700.62, 140400.62, 190600.62, 190700.62, 090303.65, 190110.65, 190109.65

Кафедра: «Общая физика»

Дисциплина: «Физика»

(направления 231000.62, 151900.62, 150700.62, 220700.62, 220400.62, 280700.62, 221700.62, 140400.62, 190600.62, 190700.62, специальности 090303.65, 190110.65, 190109.65).

Составили: канд. физ.-мат. наук, доцент Т.Н. Новгородова, канд. физ.-мат. наук, доцент В.М. Овсянов.

Утверждены на заседании кафедры «27» ноября 2014 г.

Рекомендованы методическим советом университета «20» декабря 2013 г.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- 1 Ознакомиться с явлением интерференции света.
- 2 Определить длину волны света, используя бипризму Френеля.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

- 1 Источник света.
- 2 Бипризма Френеля.
- 3 Собирающая линза.
- 4 Экран.
- 5 Зрительная труба.
- 6 Оптическая скамья, набор держателей.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

По современным представлениям свет является особым квантовым объектом, который обладает двойственной природой. При одних условиях наблюдения он ведет себя как электромагнитная волна, а при других — как поток частиц-фотонов. Одновременное наличие у него характерных черт, присущих и волнам и частицам, называют корпускулярно-волновым дуализмом. Волновая природа света проявляется в явлениях интерференции, дифракции, поляризации и дисперсии света.

Интерференцией света называется явление наложения двух (или нескольких) когерентных световых волн, при котором происходит пространственное перераспределение светового потока, в результате чего в одних местах возникают максимумы, а в других — минимумы интенсивности.

Обязательным условием наблюдения интерференции является когерентность волн. Волны одинаковой частоты называются когерентными, если их разность фаз остается постоянной во времени.

Этому условию могут удовлетворять только монохроматические волны. **Монохроматические волны** — неограниченные в пространстве волны одной определенной и строго постоянной частоты.

Так как ни один реальный источник не дает строго монохроматического света, то волны, излучаемые любыми независимыми источниками света, всегда некогерентны. Поэтому на опыте невозможно наблюдать интерференцию света от независимых источников, например от двух электрических лампочек.

Для наблюдения картины интерференции необходимо создать такие условия, при которых в любой момент времени в точку наблюдения приходили бы световые волны, излучаемые одной и той же группой атомов, имеющие постоянную разность фаз. Для этого волну, идущую от источника, разбивают на две части и направляют в одну и ту же точку по разным путям. Если эти волны проходят до точки наблюдения интерференции различные расстояния в различных средах, то они приобретают разность фаз δ , равную

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta,\tag{1}$$

где Δ — оптическая разность хода интерферирующих волн,

 λ_0 – длина световой волны в вакууме.

Оптической разностью хода называется разность оптических длин проходимых волнами путей

$$\Delta = L_2 - L_1.$$

Оптической длиной пути L называется произведение геометрической длины s пути световой волны в данной среде на показатель преломления n этой среды

$$L = n \cdot s$$
.

Предположим, что две монохроматические световые волны, накладываясь друг на друга, возбуждают в некоторой точке колебания одинакового направления:

$$\begin{split} E_1 &= E_{01} \cos(\omega t + \phi_1) \\ \mathbf{H} &\qquad E_2 &= E_{02} \cos(\omega t + \phi_2) \,, \end{split}$$

где E — напряженность электрического поля световой волны. Напряженности электрического и магнитного полей подчиняются принципу суперпозиции. Следовательно, амплитуда результирующего колебания равна геометрической сумме векторов E_{01} и E_{02} . Тогда квадрат амплитуды результирующего колебания в данной точке будет определяться выражением:

$$E^{2} = E_{01}^{2} + E_{02}^{2} + 2E_{01}E_{02}\cos(\varphi_{2} - \varphi_{1}).$$
 (2)

Интенсивность волны пропорциональна квадрату амплитуды $(I \sim E^2)$, поэтому для результирующей интенсивности в точке наблюдения можно записать:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1). \tag{3}$$

Для некогерентных волн разность фаз $\delta = (\phi_2 - \phi_1)$ непрерывно изменяется, поэтому среднее во времени значение $\cos(\phi_2 - \phi_1)$ равно нулю, и интенсивность результирующей волны всюду одинакова и равна сумме интенсивностей $I = I_1 + I_2$.

Если волны когерентны, то $\cos(\phi_2-\phi_1)$ имеет постоянное во времени (но свое для каждой точки пространства) значение. В точках пространства, где $\cos(\phi_2-\phi_1)>0$, интенсивность $I>I_1+I_2$, где $\cos(\phi_2-\phi_1)<0$, интенсивность $I<I_1+I_2$. Следовательно, при наложении двух (или нескольких) когерентных световых волн происходит пространственное перераспределение световой энергии, в результате чего в одних местах возникают максимумы, а в других – минимумы интенсивности.

Согласно уравнению (3) интенсивность будет максимальна, если $\cos(\phi_2 - \phi_1) = 1$, т.е. разность фаз $\delta = \pm 2m\pi$, и колебания, возбуждаемые в точке наблюдения обеими волнами, будут происходить в одинаковой фазе. При этом согласно уравнению (1) оптическая разность хода равна целому числу длин волн в вакууме (или четному числу полуволн)

$$\Delta = \pm 2m \frac{\lambda_0}{2}$$
 (m=0, 1, 2, ...). (4)

Уравнение (4) является условием интерференционного максимума.

Если $\delta = \pm (2m+1)\pi$, колебания, возбуждаемые обеими волнами, будут происходить в противофазе, то $\cos(\phi_2 - \phi_1) = -1$, и результирующая интенсивность будет минимальна. Следовательно, минимум интенсивности при интерференции наблюдается, если оптическая разность хода волн равна нечетному числу полуволн

$$\Delta = \pm (2m+1)\frac{\lambda_0}{2}$$
 (m=0, 1, 2, ...). (5)

Уравнение (5) является условием интерференционного минимума.

В уравнениях (4) и (5) m – целое число, которое можно рассматривать как номер интерференционного максимума или минимума.

Для осуществления интерференции света необходимы когерентные световые пучки, которые получают разделением и последующим сведением световых лучей, исходящих из одного и того же источника. Практически это можно осуществить с помощью экранов и щелей, зеркал и преломляющих тел. В данной работе для наблюдения интерференции используется бипризма Френеля.

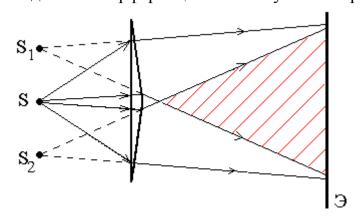


Рисунок 1 – Ход лучей в бипризме Френеля

Бипризма Френеля состоит из двух одинаковых сложенных основаниями призм с малыми преломляющими углами. Свет от источника S (рисунок 1) преломляется в обеих призмах, в результате чего за бипризмой распространяются световые лучи, как бы исходящие из мнимых источников S_1 и S_2 , являющихся когерентными. Таким образом, на поверхности экрана \mathfrak{I} (в заштрихованной об-

ласти) происходит наложение когерентных пучков и наблюдается интерференция.

Расчет интерференционной картины, полученной с помощью бипризмы Френеля, можно провести, считая, что свет распространяется от двух источников расположенных достаточно близко друг к другу (рисунок 2). Пусть когерентные источники света S_1 и S_2 находятся на расстоянии d друг от друга. Интерференция наблюдается на экране (Э), расположенном на расстоянии L от них, причем L>>d. В точке O, очевидно, наблюдается нулевой интерференционный максимум, так как оптическая разность хода лучей, приходящих в точку O, равна нулю.

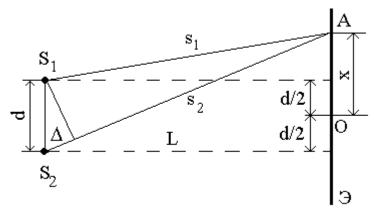


Рисунок 2 – K расчету интерференционной картины от двух когерентных источников

Интенсивность света в произвольной точке A экрана, лежащей на расстоянии x от точки O, определяется оптической разностью хода $\Delta = s_2 - s_1$. Из рисунка 2 имеем

$$s_{2}^{2} = L^{2} + \left(x + \frac{d}{2}\right)^{2};$$

$$s_{1}^{2} = L^{2} + \left(x - \frac{d}{2}\right)^{2},$$

$$s_{2}^{2} - s_{1}^{2} = 2xd.$$

откуда Тогда

$$\Delta = s_2 - s_1 = \frac{2xd}{s_1 + s_2}.$$

При условии L>>d можно считать, что $s_1 + s_2 \approx 2L$, поэтому

$$\Delta = \frac{\mathrm{xd}}{\mathrm{L}}.\tag{6}$$

Подставив найденное значение Δ в уравнения (4) и (5), получим, что максимумы интенсивности будут наблюдаться в случае, если

$$x_{\text{max}} = \pm m \frac{L}{d} \lambda_0$$
 (m=0, 1, 2, ...), (7)

а минимумы – в случае, если

$$x_{min} = \pm \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{L}{d} \lambda_0$$
 (m=0, 1, 2, ...). (8)

Расстояние между двумя соседними максимумами (или минимумами), называемое **шириной интерференционной полосы**, равно

$$\Delta \mathbf{x} = \frac{\mathbf{L}}{\mathbf{d}} \lambda_0. \tag{9}$$

Ширина интерференционной полосы не зависит от порядка интерференции (величины m) и является постоянной для данных L, d и λ_0 . Следовательно, по измеренным значениям L, d и Δx , используя (9), можно экспериментально определить длину волны света.

Для определения расстояний d и L между бипризмой и экраном устанавливают линзу, при помощи которой на экране получают изображения S_1' и S_2' (рисунок 3).

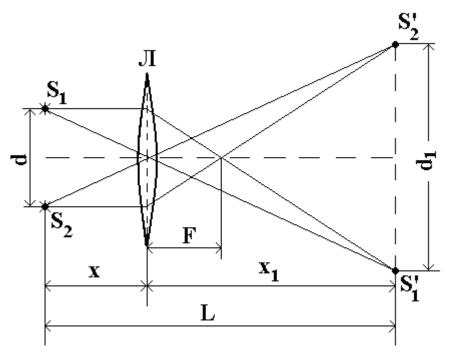


Рисунок 3 – Ход лучей в линзе Л

Из рисунка 3 имеем

$$\frac{d_1}{d} = \frac{x_1}{x} \tag{10}$$

Используя формулу тонкой линзы

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{x_1} = \frac{1}{F},$$

находим

$$F = \frac{x \cdot x_1}{x_1 + x},$$

где $x_1 + x = L$.

Отсюда

$$L = \frac{\mathbf{x} \cdot \mathbf{x}_1}{\mathbf{F}} \,. \tag{11}$$

Подставляя d из формулы (10) и L из формулы (11) в формулу (9), получим расчетную формулу для определения длины световой волны

$$\lambda = \Delta x \frac{d_1 \cdot F}{x_1^2},\tag{12}$$

где Δx – ширина интерференционной полосы;

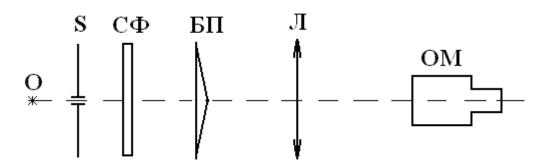
 d_1 – расстояние между изображениями S_1' и S_2' ;

F – фокусное расстояние линзы;

 x_1 – расстояние от линзы до изображений.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Схема установки № 1 для определения длины волны с использованием бипризмы Френеля приведена на рисунке 4.

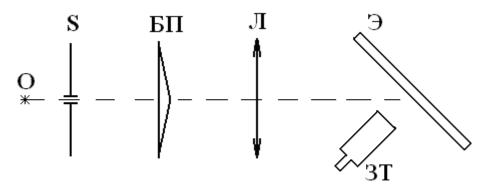


O- источник света, S- щель, $C\Phi-$ светофильтр, $Б\Pi-$ бипризма Френеля, $\Pi-$ линза, OM- окулярный микрометр Рисунок 4- Схема установки № 1

Лучи от источника света после прохождения щели S испытывают преломление в бипризме Френеля, в результате чего образуются два когерентных пучка (см. рисунок 1). Интерференционную картину наблюдают в окулярный микрометр, который служит для определения расстояния Δx между интерфе-

ренционными максимумами. В фокальной плоскости окулярного микрометра находится неподвижная шкала с делениями от 0 до 8 мм. В той же плоскости расположена стеклянная пластинка с перекрестием, связанная с микрометрическим винтом. При вращении микрометрического винта перекрестие и расположенные над ним риски перемещаются относительно неподвижной шкалы. Барабан микрометрического винта разделен на 100 делений и служит для отсчета сотых долей миллиметра.

В экспериментальной установке \mathbb{N}_2 2, схема которой приведена на рисунке 5, в качестве источника света используется гелий-неоновый лазер. Интерференционная картина наблюдается на экране. Измерение расстояний Δx и d_1 проводится с помощью зрительной трубы, снабженной окулярной шкалой.



O – источник света (гелий-неоновый лазер), S – расширитель пучка, БП – бипризма Френеля, Л – линза, Э – экран, 3T – зрительная труба Рисунок 5 – Схема экспериментальной установки № 2

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

На установке 1.

- 1 Включите источник света.
- 2 С помощью окулярного микрометра определите координату k-того максимума (или минимума) интенсивности.

Для этого, вращая микрометрический винт, установите перекрестие на одну из светлых (максимум интенсивности) или темных (минимум интенсивности) полос в левой части интерференционной картины. Определите число целых миллиметров по встроенной окулярной шкале. Это число равно номеру деления, правее которого остановилась сдвоенная риска. Сотые доли миллиметра равны номеру деления, установившегося возле горизонтальной черты на барабане микрометрического винта. Результат измерения запишите в таблицу 1.

- 3 Вращая микрометрический винт, сместите перекрестие вправо на соседнюю полосу. Аналогично п. 2 определите координату соседнего максимума (минимума). Результат измерения запишите в таблицу 1.
- 4 Проведите измерения координат не менее 10 полос. Результаты измерений запишите в таблицу 1.

- 5 Перемещая перекрестие в обратном направлении, определите координаты этих же полос еще раз. Рассчитайте среднее значение координат каждой из измеренных полос, результаты занесите в таблицу 1.
- 6 Заполните таблицу 2. Для этого занесите в нее из таблицы 1 координаты не менее трех произвольных пар линий с номерами k и m. Рассчитайте расстояние Z между k-той и m-той полосами, как разность координат соответствующих полос (например, 1-й и 6-й, 3-й и 9-й и т.п.). Рассчитайте ширину интерференционной полосы по формуле $\Delta x = \frac{Z}{m-k}$ для каждой строки таблицы 2 и среднее значение $\langle \Delta x \rangle$.
- 7 Установите на оптическую скамью между бипризмой и окулярным микрометром собирающую линзу. Фокусное расстояние F = 110 мм.
- 8 Перемещая линзу, добейтесь четкого изображения двух щелей в окулярном микрометре.
- 9 Определите координаты изображений аналогично описанному в п. 2. Измерения проведите три раза. Результаты запишите в таблицу 3.
- 10 Рассчитайте расстояние d_1 как разность координат изображений. Найдите среднее значение $\langle d_1 \rangle$.
 - 11 Измерьте расстояние х₁ от линзы до окулярного микрометра.
 - 12 По формуле (12) рассчитайте длину световой волны.
 - 13 Сравните полученное значение с табличным. Сделайте вывод по работе.

На установке 2.

- 1 Включите лазер.
- 2 Установите экран под углом $\phi = 60^{\circ}$ к направлению распространения света.
- 3 Расположите зрительную трубу перпендикулярно экрану. Добейтесь четкого изображения интерференционных полос в зрительной трубе.
- 4 С помощью окулярной шкалы измерьте координаты десяти максимумов (или минимумов) интенсивности. Результаты измерений запишите в таблицу 1.
- 5 Заполните таблицу 2. Для этого занесите в нее из таблицы 1 координаты не менее трех произвольных пар линий с номерами k и m. Рассчитайте расстояние Z между k-той и m-той полосами, как разность координат соответствующих полос (например, 1-й и 6-й, 3-й и 9-й и т.п.). Рассчитайте ширину интерференционной полосы по формуле $\Delta x = \frac{Z \cdot \text{Cos}\phi}{N}$ для каждой строки таблицы 2 и среднее значение $\langle \Delta x \rangle$.
- 6 Установите на оптическую скамью между бипризмой и экраном собирающую линзу. Фокусное расстояние линзы F = 190 мм.
 - 7 Перемещая линзу, добейтесь четкого изображения двух точек на экране.
- 8 С помощью зрительной трубы определите координаты изображений. Измерения проведите три раза. Результаты запишите в таблицу 3.

- 9 Рассчитайте расстояние Y как разность координат изображений. Найдите среднее значение $\langle d_1 \rangle = Y \cdot Cos \phi$.
- 10 Измерьте расстояние x_1 от линзы до экрана. По формуле (12) рассчитайте длину световой волны.
- 11 Сравните полученное значение с указанным в паспорте лазера. Сделайте вывод по работе.

Таблица 1 – Координаты интерференционных полос

Two might in the opposition of the control of the c										
Номер полосы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Координата по-										
лосы, мм										
Координата по-										
лосы, мм										
Среднее значе-										
ние координа-										
ты, мм										

Таблица 2 – Результаты измерений ширины интерференционной полосы

 J	1 1	1 1 1	1	
Координата m-той по- лосы, мм	Z, мм	Число по- лос N=m-k	Δx , mm	$\langle \Delta { m x} angle$, mm

Таблица 3 – Результаты измерений расстояния d_1

	1 1	1	
Координата лево-	Координата пра-	Расстояние между	, ,
го изображения,	вого изображения,	изображениями d_1 ,	$\langle d_1 \rangle$, mm
MM	MM	MM	

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 В чем заключается явление интерференции света?
- 2 Какие волны называются когерентными?
- 3 Что такое оптическая разность хода?
- 4 Условия максимума и минимума интенсивности при интерференции.
- 5 Выведите формулу разности хода лучей при интерференции от двух когерентных источников.
- 6 Зарисуйте ход лучей и поясните схему наблюдения интерференции с помощью бипризмы Френеля.
 - 7 Как будет выглядеть картина интерференции в белом свете?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Трофимова, Т. И. Курс физики [Текст] / Т. И. Трофимова. М. : Высшая школа, 2003.
- 2 Детлаф, А. А. Курс физики [Текст] / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. М. : Издательский центр «Академия», 2003.
- 3 Савельев, И. В. Курс физики [Текст] / И. В. Савельев. Т. 1-5. М. : АКТ, 2005.

Новгородова Татьяна Назаровна Овсянов Виктор Михайлович

ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА

Методические указания к выполнению лабораторной работы № 32 для студентов направлений 231000.62, 151900.62, 150700.62, 220700.62, 220400.62, 280700.62, 221700.62, 140400.62, 190600.62, 190700.62, 090303.65, 190110.65, 190109.65

Редактор Е.А. Могутова

Подписано в печать 23.03.15	Формат 60х84 1/16	Бумага 65 г/м ²
Печать цифровая	Усл. печ.л. 1,0	Учизд. л. 1,0
Заказ 71	Тираж 100	Не для продажи

РИЦ Курганского государственного университета.

640000, г. Курган, ул. Советская, 63/4.

Курганский государственный университет.