

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники (ТУСУР)

Кафедра физики

## ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Руководство к лабораторной работе по физике  
для студентов всех специальностей

2010

Министерство образования и науки Российской Федерации

Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники (ТУСУР)

Кафедра физики

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой физики

\_\_\_\_\_ Е.М. Окс

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2010

## **ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Руководство к лабораторной работе по физике

для студентов всех специальностей

Разработчик: доцент каф. физики

\_\_\_\_\_ Л.В. Орловская

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2010 г.

## ВВЕДЕНИЕ

Интерференция волн - явление усиления или ослабления амплитуды результирующей волны в зависимости от соотношения между фазами складывающихся в пространстве двух или нескольких волн с одинаковыми периодами. Интерференция имеет место для волн любой природы - акустических, радио, световых и т.д. Условием наблюдаемости интерференционной картины является когерентность интерферирующих волн. Напомним, что две волны одной частоты называются когерентными, если разность фаз колебаний, возбуждаемых волнами в данной точке пространства, постоянна во времени.

Наилучшие условия для наблюдения устойчивой картины интерференции могут быть созданы, если в качестве источников света использовать лазеры, излучение которых обладает очень высокой степенью когерентности. Кроме того, излучение лазера монохроматично, а в монохроматическом свете интерференционная картина получается наиболее четкой.

Целью настоящей работы является изучение интерференции электромагнитных волн видимого диапазона, генерируемых газовым гелий - неоновым лазером, и исследование характеристик интерференционной картины.

Методической основой работы является классический интерференционный опыт Юнга.

## 1 КРАТКАЯ ТЕОРИЯ ОПЫТА ЮНГА

В эксперименте Юнга источниками света служат две узкие щели  $S_1$  и  $S_2$ , освещаемые различными участками одного и того же волнового фронта. Световые пучки, проходящие через щели  $S_1$  и  $S_2$ , расширяются в результате дифракции и частично перекрываются. Во всей области перекрытия наблюдается чередование мест с максимальной и минимальной интенсивностью света. Если в эту область внести экран, то на нем будет видна интерференционная картина, которая имеет вид чередующихся светлых и темных полос. Вычислим ширину этих полос в предположении, что экран параллелен плоскости, проходящей через щели  $S_1$  и  $S_2$ , и находится от нее на расстоянии, значительно превышающем расстояние между щелями (рис.1.1). На рис. 1.1  $BB', CC'$  – экраны;  $S_1, S_2$  - щели;  $d$  – расстояние между щелями;  $l$  – расстояние между экранами;  $x_1, x_2$  - геометрические пути интерферирующих лучей;  $\Delta$  - разность хода лучей.

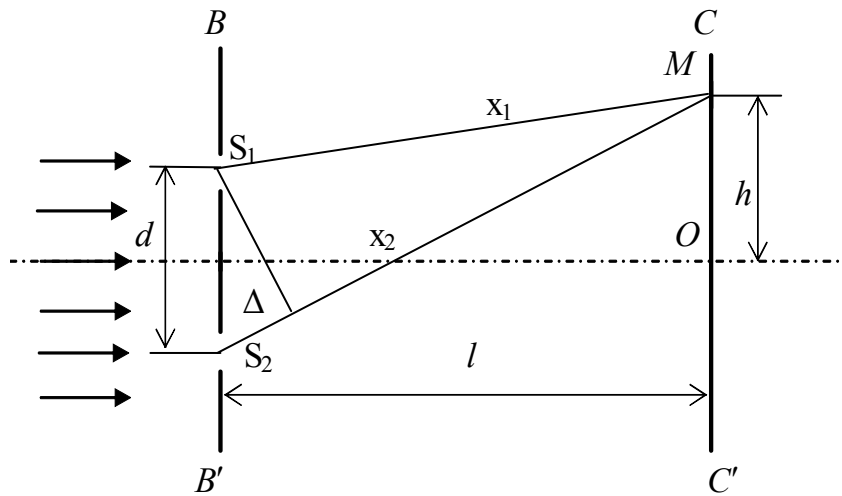


Рисунок 1.1- Схема опыта Юнга

Положение на экране точки наблюдения  $M$  будем характеризовать координатой  $h$ , отсчитываемой от точки  $O$ , относительно которой щели  $S_1$  и  $S_2$  расположены симметрично. Известно, что условиями максимумов и минимумов интенсивности интерференционной картины являются

$$\Delta = \pm m\lambda_0 \quad (\text{максимум}), \quad (1.1)$$

$$\Delta = \pm (m + 1/2)\lambda_0 \quad (\text{минимум}), \quad (1.2)$$

где  $\Delta$  - оптическая разность хода, равная разности оптических длин путей, проходимых интерферирующими волнами;

$m = 0, 1, 2, \dots$  - порядок максимума или минимума интенсивности;

$\lambda_0$  - длина волны в вакууме.

С учетом того, что оптическая длина пути, равная произведению геометрической длины пути на показатель преломления среды  $n$ , в условиях проводимого эксперимента ( $n = 1$ ) совпадает с геометрической длиной пути, а также, поскольку  $l \gg d$ , из рисунка 1.1 легко определить величину  $\Delta$ :

$$\Delta = x_2 - x_1 = \frac{x_2^2 - x_1^2}{x_1 + x_2} \approx \frac{2hd}{2l} = h \frac{d}{l}. \quad (1.3)$$

Тогда координата  $m$ -го максимума определяется по формуле

$$h_m^{max} = m \frac{l}{d} \lambda_0, \quad (1.4)$$

где  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ .

Координата  $m$  – го минимума определяется по формуле

$$h_m^{min} = (m + 1/2) \frac{l}{d} \lambda_0, \quad (1.5)$$

где  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

Воспользовавшись формулой (1.5), можно найти ширину интерференционной полосы, определяемую как расстояние между соседними минимумами:

$$\Delta h = h_{m+1}^{min} - h_m^{min} = \frac{l \lambda_0}{d}. \quad (1.6)$$

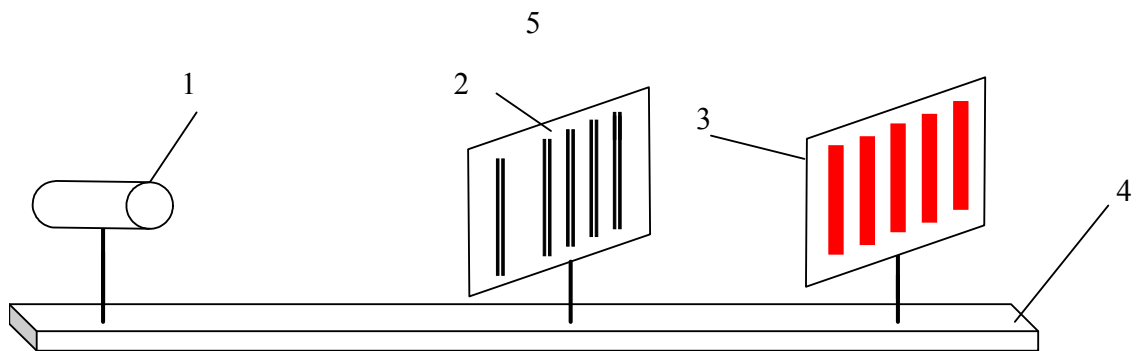
Из формулы (1.4) вытекает, что расстояние между соседними полосами, определяемое как расстояние между двумя максимумами, также вычисляется по формуле (1.6).

Обсудим влияние геометрии опыта на качество интерференционной картины. В соответствии с формулой (1.6) расстояние между полосами растет с уменьшением расстояния между щелями  $d$  и с увеличением расстояния от экрана до щелей  $l$  и длины волны  $\lambda_0$ . Существенное значение имеет условие  $l \gg d$ , т.к. в противном случае расстояние между полосами становится соизмеримым с длиной волны, т.е. измеряется долями микрона. Ясно, что в этом случае отдельные полосы становятся неразличимыми.

Характерной особенностью лазерных источников света является высокая степень когерентности световых колебаний по сечению излучаемых световых пучков. Поэтому при использовании лазера в опыте Юнга необходимо лишь следить, чтобы расстояние между щелями  $S_1$  и  $S_2$  было меньше ширины лазерного луча.

## 2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Для получения картины интерференции лазерного излучения собирается установка по схеме, изображенной на рис. 2.1. Установка состоит из гелий-неонового лазера, используемого в качестве источника монохроматического когерентного излучения, рамки с набором пар щелей, укрепленной на перемещающемся в трех плоскостях столике и экрана. Все детали установки расположены на оптической скамье, на которой имеется шкала с миллиметровыми делениями.



1 – лазер; 2 – пары щелей; 3 – экран; 4– оптическая скамья.

Рисунок 2.1- Схема экспериментальной установки

### 3 ЗАДАНИЕ

3.1 Получить интерференционную картину на экране и измерить ширину интерференционной полосы.

3.2 Определить длину волны лазерного излучения и рассчитать погрешность измерения.

3.3 Определить расстояние между щелями второй, третьей, четвертой и пятой пар щелей и рассчитать погрешность измерения.

### 4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Установить лазер на оптической скамье.

4.2 Включить лазер, для чего вставить вилку сетевого шнура в розетку и включить тумблер СЕТЬ.

4.3 Установить на оптической скамье экран на расстоянии 1–1,2 м от лазера.

4.4 Регулируя положение лазера и экрана, добиться того, чтобы плоскость экрана была перпендикулярна оси светового луча лазера, и при этом луч должен быть направлен в центр экрана.

4.5 Установить столик с набором пар щелей на оптическую скамью на расстоянии около 10 см от лазера.

4.6 Перемещая винтом подвижную часть столика перпендикулярно лучу, добиться совмещения отдельно стоящей (крайней) пары щелей с лучом лазера. При этом на экране должна появиться интерференционная картина - чередование черных и красных полос.

4.7 Определить длину волны излучения лазера, воспользовавшись формулой (1.6). Расстояние между щелями крайней пары равно  $1,4 \cdot 10^{-4}$  м. Измерению подле-

жат ширина интерференционной полосы  $\Delta h$  и расстояние  $l$ . Результаты всех измерений внести в таблицу 4.1. При измерении  $\Delta h$  целесообразно взять отсчет расстояния между несколькими максимумами (или минимумами) и использовать при расчете среднее значение  $\Delta h$ .

4.8 Произвести определение длины волны при нескольких (не менее четырех) различных значениях  $l$ .

Таблица 4.1 - Результаты прямых и косвенных измерений для определения длины волны лазерного излучения

Номер опыта	Ширина $m$ интерференционных полос	Число полос	Ширина одной интерференционной полосы	Расстояние от экрана до щелей	Длина волны излучения лазера
	$(\Delta h * m)$ , м	$m$	$\Delta h_{cp.}$ , м	$l$ , м	$\lambda_0$ , м
1					
2					
3					
4					

4.9 Добиться совмещения с лучом лазера второй пары щелей так, чтобы сечение лазерного луча перекрывало только исследуемую пару щелей. Зная длину волны излучения лазера  $\lambda_0$ , и, измерив величины  $l$  и  $\Delta h$ , определить расстояние  $d$  между этими щелями. Расстояние от щелей до экрана  $l$  установить таким, чтобы интерференционная картина была наиболее четкой.

4.10 Повторить пункт 4.9 для третьей, четвертой и пятой пар щелей, при этом значение  $l$  поддерживать постоянным при измерениях для всех пар щелей. Результаты измерений внести в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 - Результаты прямых и косвенных измерений для определения расстояния между щелями

Номер опыта	$l$ , м	$\lambda_0$ , м	$(\Delta h * m)$ , м	$m$	$\Delta h_{cp.}$ , м	$d$ , м
1						
2						
3						
4						
5						

4.11 Выключить лазер тумблером СЕТЬ.

4.12 Рассчитать общую погрешность измерения  $\lambda_0$ .

4.13 Рассчитать систематическую погрешность измерения  $d$ .

4.14 Проверить справедливость формулы (1.6). Для этого построить линеаризованный график зависимости ширины интерференционной полосы  $\Delta h$  от  $1/d$ . При линейном характере этой зависимости (в пределах погрешности измерений) определить по угловому коэффициенту длину волны и сравнить ее с ранее рассчитанным значением  $\lambda_0$ . Проанализировать полученные результаты опытов.

## 5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

5.1 В чем заключается явление интерференции волн?

5.2 Какие источники света называются когерентными?

5.3 Можно ли наблюдать интерференционную картину от двух отдельных гелий-неоновых лазеров?

5.4 Что будет наблюдаться в центре картины интерференции в опыте Юнга?

5.5 Как изменится картина интерференции, если гелий-неоновый лазер, излучающий красный свет, заменить гелий-кадмиевым лазером, излучающим в синей области спектра?

5.6 Как отразится на интерференционной картине уменьшение расстояния между щелями?

5.7 В чем заключается физический смысл понятия "оптическая длина пути"?

5.8 Написать условия максимумов и минимумов интерференционной картины в опыте Юнга.

5.9 При интерференции монохроматических плоских волн от двух когерентных источников равной интенсивности  $I_0$  в плоскости наблюдения появляются интерференционные полосы с периодом их следования  $Q$ . Написать выражение для распределения интенсивности  $I(x)$ , если полосы направлены вдоль оси  $Oy$ . При  $x = 0$  в центре картины наблюдается «нулевой» максимум. Изобразить эту зависимость на графике.

5.10 Написать выражение для периода  $Q$  интерференционной картины, наблюдаемой в опыте Юнга.

5.11 Плоская монохроматическая световая волна длиной  $\lambda_0$ , равной 0,5 мкм, падает нормально на диафрагму с двумя узкими щелями, отстоящими друг от друга на расстоянии  $d$ , равном 2,5 мм. На экране, расположенном за диафрагмой на  $l = 100$  см образуется система интерференционных полос. На сколько полос, на какое расстояние и в какую сторону сместятся эти полосы, если одну из щелей перекрыть стеклянной пластинкой ( $n = 1,5$ ) толщиной 10 мкм?



## **6 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

6.1 Савельев И.В. Курс общей физики. - 4 перераб. изд. - М.: Наука, 1998. - т.4, 256 с.

6.2 Ландсберг Г.С. Оптика. - М.: Наука, 1973, 654 с.

6.3 Мухачев В.А. , Магазинников А.Л. Оценка погрешностей измерений. Методические указания для студентов всех специальностей. - Томск: ТУСУР, 2009, 24с.