**минобрнауки России**

**Санкт-Петербугский государственный электротехнический университет**

**«ЛЭТИ» Им. В.И. Ульянова (Ленина)**

**Кафедра физики**

**Физика**

**Лабораторная работа № 1 по теме**

**«Определение длины световой волны с использованием биопризмы»**

**Вариант 13**

Выполнил: студент гр. №3586 \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Сидоров Антон Дмитриевич

Проверила: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Посредник Олеся Валерьевна

Санкт-Петербург

2024

**Содержание**

[1 Общие положения 3](#_Toc176640489)

[1.1 Цель работы 3](#_Toc176640490)

[1.2 Приборы и принадлежности (Экспериментальная установка) 3](#_Toc176640491)

[2 Основные теоретические положения 4](#_Toc176640492)

[2.1 Общие сведения 4](#_Toc176640493)

[2.2 Ответы на контрольные вопросы 8](#_Toc176640494)

[2.2.1 Вопрос 1 – Вопрос 39 8](#_Toc176640495)

[2.2.2 Вопрос 2 – Вопрос 45 12](#_Toc176640496)

[3 Результаты работы 13](#_Toc176640497)

[3.1 Наблюдения 13](#_Toc176640498)

[3.2 Расчёты 14](#_Toc176640499)

[3.3 Погрешности 15](#_Toc176640500)

[4 Вывод 17](#_Toc176640501)

# **Общие положения**

В данном разделе описаны общие положения, связанные с заданием.

## **1.1 Цель работы**

Определение длины световой волны интерференционным методом.

## **1.2 Приборы и принадлежности (Экспериментальная установка)**

Экспериментальная установка состоит из оптической скамьи с мерной линейкой; бипризмы Френеля, закреплённой в держателе; источника света со светофильтром; раздвижной щели; окуляра со шкалой. Взаимное расположение элементов установки соответствует схеме, приведенной на рис. 2.1. Источником света служит лампа накаливания. Светофильтр, расположенный перед лампой, пропускает определенную часть спектра излучения лампы, которую и надлежит изучить.

На оптической скамье, снабженной линейкой с миллиметровой шкалой, помещены укрепленные на держателях вертикальная щель S, бипризма Р и окуляр О. Ширину щели можно изменять с помощью винта, находящегося в верхней части его оправы. Щель и бипризма могут быть повернуты вокруг горизонтальной оси, а бипризма также и вокруг вертикальной оси. Для получения отчетливых интерференционных полос необходимо, чтобы плоскости щели и основания бипризмы были параллельны. Это достигается соответствующим поворотом бипризмы и/или щели. Окуляр О служит для наблюдения интерференционной картины. Для измерения расстояния между полосами он снабжен шкалой, цена малого деления которой составляет 0.1 мм.

# **Основные теоретические положения**

В данном разделе представлены теоретические сведения для выполнения работы.

## **2.1 Общие сведения**

Один из способов наблюдения интерференции световых волн основан на использовании бипризмы Френеля. Бипризма Френеля представляет собой две призмы с очень малым преломляющим углом θ, сложенные основаниями. Схема наблюдения интерференционной картины с помощью бипризмы показана на рис. 2.1. От источника света (щели) лучи падают на обе половины бипризмы Р, преломляются в ней и за призмой распространяются так, как если бы исходили из двух мнимых источников и . Действительно, если смотреть через верхнюю половину бипризмы, то светящаяся щель будет казаться расположенной в точке , а если смотреть через нижнюю половину бипризмы, то расположенной в точке . За призмой имеется область пространства, в которой световые волны, преломлённые верхней и нижней половинами бипризмы, перекрываются (на рисунке 1 эта область заштрихована).

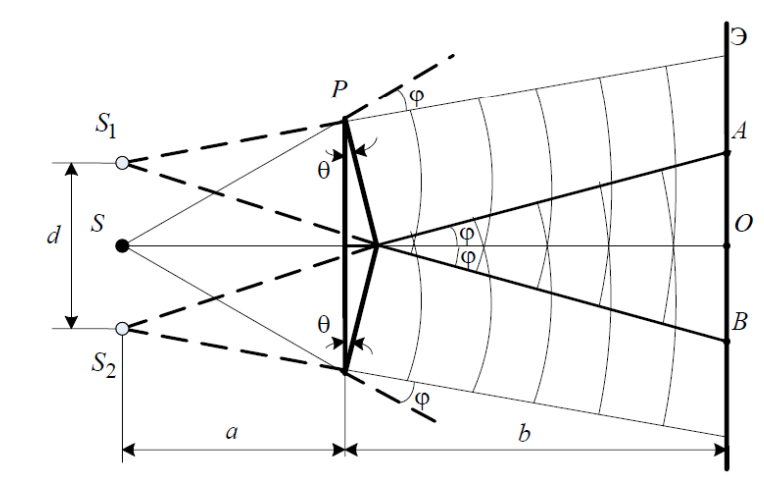


Рисунок 1 – Получение интерференционной картины с использованием бипризмы Френеля

В этой области пространства сводятся воедино две части каждого цуга волн от источника , прошедшие разные оптические пути, способные при выполнении условия интерферировать, где – оптическая разность хода лучей, – длина когерентности, – средняя длина волны излучения, – интервал длин волн, представленных в данной волне. При этом колебания в точках, удалённых на расстояние большее вдоль распространения волны, оказываются некогерентными. Для обычных источников в оптике длина когерентности составляет 3–30 см.

Интерференционная картина, получающаяся при этом, соответствует интерференции волн, исходящих из двух когерентных источников, расположенных в точках и , и на экране Э в области АВ наблюдается тогда ряд светлых и тёмных полос, параллельных ребру бипризмы. Светлые полосы лежат в тех местах экрана, куда приходят волны от источников и с разностью хода, равному чётному числу длин полуволн, тёмные – в тех местах, куда приходят волны с разностью хода, равной нечётному числу полуволн. Расстояние между светлыми (или тёмными) полосами интерференционной картины составляет

, (2.1)

где и ― соответственно расстояния от щели до бипризмы и от бипризмы до экрана; ; – длина волны излучения источника в вакууме; ― расстояние между мнимыми источниками, равное (см. рисунок 1). Докажите, что в случае, когда преломляющий угол призмы мал, и углы падения на грань призмы не очень велики, все лучи отклоняются каждой из половин бипризмы на практически одинаковый угол , равный ( – показатель преломления материала призмы (стекла)).

Тогда для расстояния получаем

. (2.2)

С учётом этого соотношения вместо выражения (2.1) имеем

, (2.3)

Или

. (2.4)

Выражения (2.3) или (2.4) устанавливают связь между длиной световой волны и геометрическими размерами системы (т. е. источник света – бипризма Френеля – экран), в которой реализуется явление интерференции.

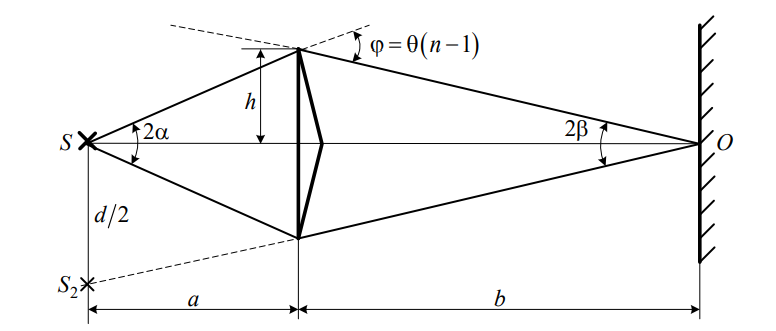


Рисунок 2 – Определение апертуры и угла схождения лучей в опыте с бипризмой Френеля

Видимость интерференционной картины зависит от размеров источника света, в чём нетрудно убедиться, изменяя ширину щели. Существенным являются, однако, не сами по себе размеры щели, а угол (рисунок 2). Угол между соответствующими лучами, идущими от через каждую из двух ветвей интерферометра к , представляет собой угол раскрытия лучей, определяющий интерференционный эффект в точке . Практически то же значение имеет этот угол и для любой другой точки интерференционного поля. Этот угол называется апертурой интерференции. Ему соответствует в поле интерференции угол схождения лучей , величина которого связана с углом правилами построения изображений. При неизменном расстоянии до экрана тем больше, чем больше .

Из рисунка 2 видно, что

. (2.5)

Подставляя выражение (2.5) в (2.1), получаем для расстояния между интерференционными полосами,

. (2.6)

Из рисунка 2 видно, что

(2.7)

И, кроме того, , . Исключая из двух последних выражений величину , получаем

*.* (2.8)

Из совместного рассмотрения выражений (2.7) и (2.8) для углов и находим

, (2.9)

, (2.10)

Эти соотношения используются в последующем для расчётов.

Величина апертуры интерференции тесно связана с допустимыми размерами источника. Теория и опыт показывают, что с увеличением апертуры интерференции уменьшаются допустимые размеры ширины источника, при которых ещё имеет место отчётливая интерференционная картина. Условие хорошего наблюдения интерференции от протяжённого источника ширины s можно записать в виде:

. (2.11)

Это условие, несмотря на его приближенный характер, можно положить в основу расчётов допустимых размеров монохроматического источника.

В данной работе монохроматизация света осуществляется с помощью светофильтра. Нетрудно найти связь между порядком интерференции m и шириной спектрального интервала Δλ, пропускаемого светофильтром. Действительно, интерференция не будет наблюдаться, если максимум -го порядка для совпадёт с максимумом -го порядка для : , т. е. . Для того, чтобы интерференционная картина при данных значениях и обладала высокой видимостью, приходится ограничиваться наблюдением интерференционных полос, порядок которых много меньше предельного , определяемого условием

. (2.12)

Экспериментально определяемая ширина полос рассчитывается по формуле

, (2.13)

где m― число полос, которые по яркости хорошо видны на экране, и – положения первой и последней полосы этого набора в делениях шкалы окуляра, – масштабный множитель.

Ширина области перекрытия волн на экране (рисунок 1) имеет протяженность . Тогда максимальное число интерференционных полос, которое можно наблюдать на экране с учетом формулы (2.13) равно

. (2.14)

Подставляя выражение для из формулы (2.13), получим

*.* (2.15)

## **2.2 Ответы на контрольные вопросы**

В данном подразделе представлены ответы на контрольные вопросы.

### **2.2.1 Вопрос 1 – Вопрос 39**

Интерференция при прохождении света через плоскопараллельную пластинку? Покажите ход лучей. Рассчитайте оптическую разность хода.

*Плоскопараллельная пластинка* – прозрачное тело, ограниченное двумя взаимно параллельными отшлифованными плоскостями.

Для одной и той же пластинки ( и – постоянны) смещение луча прямо пропорционально углу поворота пластинки . Свойство плоскопараллельной пластинки смещать лучи, оставляя их параллельными начальным направлениям, обуславливает ее применение в оптических микрометрах теодолитов, нивелиров и других приборов.

*Интерференция света* (лат. interferens, от inter – между + -ferens – несущий, переносящий) – интерференция электромагнитных волн (в узком смысле - прежде всего, видимого света) – перераспределение интенсивности света в результате наложения (суперпозиции) нескольких световых волн. Это явление обычно характеризуется чередующимися в пространстве максимумами и минимумами интенсивности света. Конкретный вид такого распределения интенсивности света в пространстве или на экране, куда падает свет, называется интерференционной картиной.

Ход лучей представлен на рисунке 3.

Изображение выглядит как линия, диаграмма

Автоматически созданное описание

Рисунок 3 – ход лучей на плоскопараллельной пластине

Оптическая разность хода: если два световых луча имеют общие начальную и конечные точки, то разность оптических длин путей таких лучей называют *оптической разностью хода*.

*Оптическая длина пути* между двумя точками среды – расстояние, на которое свет (оптическое излучение) распространился бы в вакууме за время его прохождения между этими точками.

Оптическая длина пути в однородной среде с показателем преломления равна произведению геометрической длины пути , пройденного светом, на показатель преломления :

.

В случае неоднородной среды путь, пройденный светом, необходимо предварительно разбить на столь малые элементарные промежутки , что показатель преломления на каждом из них можно считать постоянным. Тогда для оптической длины пути каждого из них можно записать

.

Соответственно, полная оптическая длина пути, пройденного светом между некоторыми точками и среды, будет результатом интегрирования по всей траектории луча света:

.

Оптическая разность хода для плоскопараллельной пластины:

Пусть на прозрачную плоскопараллельную пластинку падает плоская монохроматическая световая волна, направление распространения которой показано падающим лучом на рисунке 4. В результате отражений от обеих поверхностей пластинки исходная волна расщепится на две, что и показано лучами 1 и 2. Амплитуды этих волн мало отличаются друг от друга — это важно для получения достаточно контрастной интерференции.

Изображение выглядит как диаграмма, линия, зарисовка, рисунок

Автоматически созданное описание

Рисунок 4 – проход луча через плоскопараллельную пластину

Заметим, что, кроме этих двух отраженных волн (1 и 2), возникает еще многократное отражение. Однако их вклад практически пренебрежимо мал, и мы ограничимся только волнами, возникшими при однократном отражении.

Оптическую разность хода волн 1 и 2 определим, согласно рисунку 4, как

*,* (2.16)

Где – показатель преломления вещества пластины. Кроме того, видно, что и , – толщина пластинки. В результате подстановки этих выражений в (2.16) получим

. (2.17)

Следует также учесть, что при отражении от верхней поверхности пластинки (от среды, оптически более плотной) в соответствии с формулой (2.18) происходит скачок фазы на у отражённой волны, т.е., как говорят, «потеря» полуволны . Учитывая ещё, что , получим

(2.18)

Если отраженные волны 1 и 2 когерентны между, то максимумы отражения будут наблюдаться при условии

, (2.19)

Где – целое число (порядок интерференции).

, (2.20)

Для оценки необходимого значения толщины пластинки будем считать, что корень в этом выражении равен величине порядка единицы (что обычно и бывает), а также пренебрежем . Тогда получим

, (2.21)

т. е. необходимо, чтобы удвоенная толщина пластинки была не более половины длины когерентности используемого излучения.

Далее, поперечный сдвиг частей области когерентности не должен превосходить половины ширины когерентности . Этот сдвиг, как видно из рисунка 4 равен отрезку . Значит, необходимо, чтобы . Из рисунка 4 следует, что

Это смещение существенно зависит от угла падения .

### **2.2.2 Вопрос 2 – Вопрос 45**

Что представляют собой интерференционные полосы в случае применения белого света?

Для белого света, представляющего собой смешение электромагнитных волн из всего оптического спектра интерференционные полосы приобретают окраску. Это явление получило название цветов тонких плёнок.

# **Результаты работы**

В данном разделе указаны результаты работы и сведения о них.

Чертежи хода лучей см. в теоретической части, на рисунках 1 и 2.

## **3.1 Наблюдения**

В данном подразделе представлены значения с протокола наблюдений.

Все расчёты сделаны в Excel.

, , .

Таблица 1 – константы

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |
| мм/дел | Рад |  |  |  |  |
| 0,1 | 0,0072 | 1,52 | 0,52 | 8 |  |

.

Таблица 1 – Экспериментальные значения

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | **m** |  |  |  |
|  | **см** | **см** |  |  |  | **нм** | **нм** | **нм** |
| 1 | 26 | 30 | 42 | 50 | 6 | 160 000,00 | 556,25 | 0,216 |
| 2 | 28 | 28 | 47 | 55 | 7 | 133 333,33 | 499,20 | 0,181 |
| 3 | 30 | 26 | 51 | 59 | 8 | 114 285,71 | 458,45 | 0,155 |
| 4 | 32 | 24 | 56 | 62 | 7 | 100 000,00 | 427,89 | 0,136 |
| 5 | 34 | 22 | 60 | 66 | 7 | 100 000,00 | 454,63 | 0,136 |
| Среднее |  |  |  |  |  |  | 479,28 |  |
| Эксп. |  |  |  |  |  |  | 479,28 |  |
| Теор. |  |  |  |  |  |  | 550 |  |
| Погрешность |  |  |  |  |  |  | 550±71 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

Формулы для расчётов

**, ,**

## **3.2 Расчёты**

В данном подразделе представлены расчёты. Все расчёты сделаны в Excel.

Таблица 3 – Рассчёты

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | **см** | **см** | **рад** | **рад** | **см** | **рад** | **рад** |
| 1 | 26 | 30 | 0,0020 | 0,0040 |  | 0,0017 | 0,0035 |
| 2 | 28 | 28 | 0,0019 | 0,0037 |  | 0,0019 | 0,0037 |
| 3 | 30 | 26 | 0,0017 | 0,0035 |  | 0,0020 | 0,0040 |
| 4 | 32 | 24 | 0,0016 | 0,0032 |  | 0,0021 | 0,0043 |
| 5 | 34 | 22 | 0,0015 | 0,0029 |  | 0,0023 | 0,0045 |

Формулы для расчётов:

,

, следовательно

Таблица 4 – расчёты

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** |  |  |  |  |  |  |
|  | **см** | **см** | **нм** | **нм** |  |  |
| 1 | 26 | 30 | 160 000,00 | 556,25 | 14 | 14 |
| 2 | 28 | 28 | 133 333,33 | 499,20 | 15 | 14 |
| 3 | 30 | 26 | 114 285,71 | 458,45 | 17 | 14 |
| 4 | 32 | 24 | 100 000,00 | 427,89 | 17 | 13 |
| 5 | 34 | 22 | 100 000,00 | 454,63 | 16 | 13 |
| Среднее |  |  |  | 479,28 | 16 | 14 |
| Эксп. |  |  |  | 479,28 | 8 | 8 |
| Теор. |  |  |  | 550 | 16 | 14 |
| Погрешность |  |  |  | 550±71 | 16±8 | 14±6 |
|  |  |  |  |  |  |

Формулы для расчётов

**,** *.*

**, , ,**

,

## **3.3 Погрешности**

Погрешность рассчитывается выборочным методом. Но, значения были рассчитаны в таблице 2 по значениям в протоколе. Все расчёты сделаны в Excel.

Рассчёты погрешностей представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Рассчёт погрешностей

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  | **Промахи** |
| 1 | 556,251 | 0,216 | 76,968 | 50,011 | 22,37 | Нет |
| 2 | 499,2 | 0,181 | 19,917 | 50,011 | 22,37 | Да |
| 3 | 458,449 | 0,155 | -20,834 | 50,011 | 22,37 | Нет |
| 4 | 427,886 | 0,136 | -51,397 | 50,011 | 22,37 | Нет |
| 5 | 454,629 | 0,136 | -24,654 | 50,011 | 22,37 | Нет |
| **Среднее** | 479,283 | 0,165 |  | 50,011 |  |  |
|  | 5 |  |  |  |  |  |
|  | 4 |  |  |  |  |  |
|  | 2,8 |  |  |  |  |  |
|  | 0,64 |  |  |  |  |  |
|  | 1,67 |  |  |  |  |  |

Как видно, результат 1-ого эксперимента оказался промахом. Он был исключён и все расчёты были сделаны заново, как показано в таблице 6.

Таблица 5 – Рассчёт погрешностей

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  | **Промахи** |
| 1 | 556,25 | 0,22 | 81,95 | 56,30 | 32,50 | Нет |
| 3 | 458,45 | 0,15 | -15,85 | 56,30 | 32,50 | Нет |
| 4 | 427,89 | 0,14 | -46,42 | 56,30 | 32,50 | Нет |
| 5 | 454,63 | 0,14 | -19,68 | 56,30 | 32,50 | Нет |
| **Среднее** | 474,30 | 0,14 |  | 56,30 | 32,50 |  |
|  | 4 | | |  |  |  |  |
|  | 3 |  |  |  |  |  |
|  | 3,2 | δ |  |  |  |  |
|  | 0,76 |  |  |  |  |  |
|  | 1,46 |  |  |  |  |  |

Промахов обнаружено не было, поэтому получаем итоговые рассчёты.

,

Формулы для расчётов:

**, , ,**

Результат считается промахом, если **.**

Если промахов не обнаружено, то

**,**

# **Вывод**

В ходе проведения данной работы была определена длина световой волны интерференционным методом и результат был сравнён с теоретическим значением.

Были определены:

* длина когерентной волны ;
* время когерентности ;
* максимальный порядок интерференции ;
* апертура ;
* и угол схождения лучей ;
* допустимые размеры источника (ширину щели ).

По известному из опыта значению длины волны излучения источника, был рассчитан интервал его немонохроматичности (полосу пропускания светофильтра), длина и время когерентности его излучения.