

**5146**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ИЗУЧЕНИЕ  
ЯВЛЕНИЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА  
С ПОМОЩЬЮ БИПРИЗМЫ ФРЕНЕЛЯ**

Методические указания  
к лабораторной работе

Рязань 2017

УДК 620.088.32

Изучение явления интерференции света с помощью бипризмы Френеля: методические указания к лабораторной работе /Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: Б.С.Бобров, М.А.Буробин, А.П.Соколов. – Рязань: РГРТУ, 2017. – 8 с.

Изложены элементы теории и методы получения интерференционной картины с помощью бипризмы Френеля, определения ширины зоны интерференции, преломляющего угла призмы, а также длины световой волны источника света. Даны порядок выполнения работы и указания по обработке полученных экспериментальных результатов.

Предназначены для студентов всех специальностей дневной и вечерней форм обучения.

Ил. 5. Библиогр.: 3 назв.

*Когерентность, интерференция, время когерентности, бипризма*

Печатается по решению редакционно-издательского совета Рязанского государственного радиотехнического университета.

Рецензент: кафедра общей и экспериментальной физики РГРТУ  
(зав. кафедрой доц. М. В. Дубков)

Изучение явления интерференции света с помощью бипризмы  
Френеля

Составители: Б о б р о в Борис Сергеевич  
Б у р о б и н Михаил Анатольевич  
С о к о л о в Александр Павлович

Редактор Н. А. Орлова  
Корректор С. В. Макушина

Подписано в печать 15.06.17. Формат бумаги 60×84 1/16.

Бумага писчая. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 0,5.

Тираж 200 экз. Заказ .

Рязанский государственный радиотехнический университет.

390005, Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

Редакционно-издательский центр РГРТУ.

**Цель работы:** изучить явление интерференции, определить ширину зоны интерференции, преломляющий угол бипризмы, длину световой волны.

**Приборы и принадлежности:** оптическая скамья, источник света, светофильтр, раздвижная щель, бипризма Френеля, собирающая линза, окулярный микрометр.

## ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ И МЕТОД ЭКСПЕРИМЕНТА

При наложении когерентных световых волн происходит перераспределение энергии светового излучения, в результате чего в одних местах возникают максимумы, а в других – минимумы интенсивности. Это явление называется *интерференцией света*. Наблюдение интерференции возможно лишь в том случае, когда складываемые световые волны когерентны, т.е. имеют одинаковые направления колебаний, частоту и постоянную разность фаз  $\delta$  в течение времени наблюдения (в общем случае волны называются когерентными, если за время наблюдения разность их начальных фаз меняется не более чем на  $\pi$ ). Разность  $\delta$  фаз колебаний, создаваемых в точке двумя плоскими монохроматическими волнами, распространяющимися в средах с разными оптическими плотностями, определяется соотношением:

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} (n_2 x_2 - n_1 x_1) = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta,$$

где  $\lambda_0$  – длина волны в вакууме;  $n_1$  и  $n_2$  – показатели преломления среды;  $x_1$  и  $x_2$  – расстояния (геометрические пути), пройденные соответственно волнами от 1-го и 2-го источников до точки наблюдения.

Разность  $\Delta = n_2 x_2 - n_1 x_1$  называется *оптической разностью хода*.

При наложении двух когерентных световых волн в вакууме

$$\begin{aligned} E_1 &= A_1 \cos(\omega t - kx_1), \\ E_2 &= A_2 \cos(\omega t - kx_2) \end{aligned}$$

амплитуда результирующего колебания в данной точке пространства определяется выражением:

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos\delta,$$

где  $\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0}(x_2 - x_1)$  – разность фаз,  $k = \frac{2\pi}{\lambda_0}$  – волновой вектор.

Так как интенсивность колебания  $I \approx A^2$ , то для результирующего колебания можно записать:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1I_2}\cos\delta.$$

Наибольшая интенсивность достигается при разности фаз  $\delta=2\pi m$ , а наименьшая – при  $\delta=\pi(2m+1)$ , где  $m = 0, 1, 2, \dots$ . Наиболее чёткая интерференционная картина наблюдается при  $I_1 = I_2$ . Тогда в максимумах  $I = 4I_1$ , а в минимумах  $I = 0$ .

Электромагнитные волны от тепловых источников (ламп накаливания и пр.) некогерентны между собой. Это связано с механизмом излучения – атом излучает цуг волн (волновой пакет), переходя из более высокого энергетического состояния в более низкое. Фаза излучаемой при каждом таком переходе электромагнитной волны принимает случайные значения. Пусть за промежуток времени  $\tau_{\text{ког}}$  изменение фазы незначительно (не более  $\pi$ ), тогда в течение этого времени волну можно рассматривать как квазимонохроматическую. Для волновых цугов оптического диапазона это время (его называют *временем когерентности*) определяется временем жизни атома в возбуждённом состоянии ( $10^{-8}$ - $10^{-10}$  с). Расстояние, которое проходит поверхность фиксированной фазы цуга за время  $\tau_{\text{ког}}$ , называют *длиной когерентности*, которая равна

$$l_{\text{ког}} = c\tau_{\text{ког}},$$

где  $c$  – скорость света в вакууме.

Для обычных источников длина когерентности принимает значения от нескольких сантиметров до нескольких метров.

Основываясь на вышеизложенном, можно сформулировать общий принцип получения интерференционной картины от тепловых источников: отражая или преломляя естественную световую волну (т.е. каждый цуг волн), её следует разделить на две части, а затем свести их в некоторой области пространства, как это качественно показано на рис. 1, 2. В точках пространства,

для которых оптическая разность хода  $\Delta$  меньше длины когерентности, т.е.  $\Delta < l_{\text{ког}}$ , возникает интерференционная картина.

В данной работе для этого используется бипризма Френеля 5, которая состоит из двух стеклянных призм с малыми преломляющими углами  $\theta$ , имеющими общую грань (рис. 1). Источником света служит узкая щель 2, расположенная параллельно ребру тупого угла бипризмы и освещаемая монохроматическим светом от источника 1. В результате преломления лучей в бипризме образуются две когерентные волны, как бы исходящие от мнимых когерентных источников 3 и 4. В результате преломления лучей в бипризме образуются две когерентные волны, как бы исходящие от мнимых когерентных источников 3 и 4.

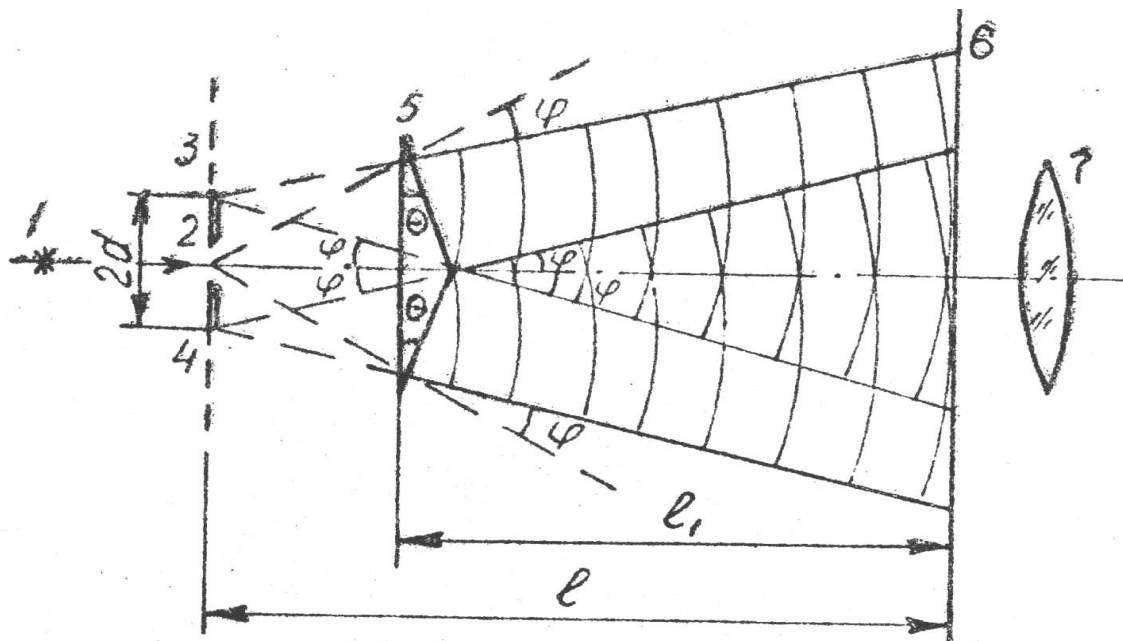


Рис. 1

Эти волны перекрываются, образуя зону интерференции. Интерференционная картина наблюдается на экране 6, за которым расположена линза 7. Результат сложения колебаний, приходящих в точку Р экрана 6 (рис. 2) от когерентных источников 3 и 4, зависит от оптической разности хода  $\Delta$ , равной в случае вакуума:

$$\Delta = x_2 - x_1.$$

Если в точках пространства когерентные волны оказываются синфазными ( $\delta = 2\pi m$ ), т.е. на оптической разности хода укладывается целое число длин волн:

$$\Delta = m\lambda_0 = 2m(\lambda_0/2),$$

то результирующее колебание имеет наибольшую амплитуду (максимум интенсивности). Напротив, в точках пространства, для которых

$$\Delta = (2m+1)(\lambda_0/2)$$

(на оптической разности хода укладывается нечётное число длин полуволн и налагающиеся волны противофазны), наблюдают минимум интенсивности. Здесь  $m = 0, 1, 2 \dots$  – порядок интерференционного максимума или минимума.

В основе определения длины световой волны лежит

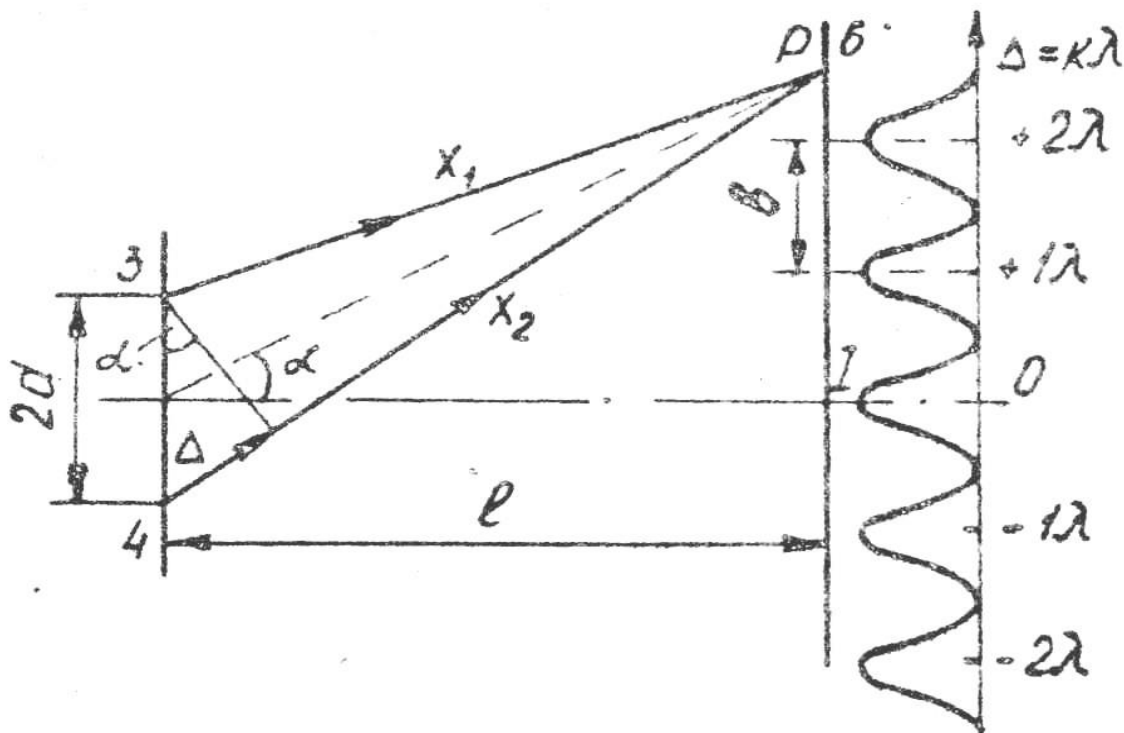


Рис. 2

измерение ширины интерференционной полосы  $b$  и расстояния между мнимыми когерентными источниками  $2d$  (рис. 2). Шириной полосы  $b$  называется расстояние между серединами

соседних максимумов или минимумов. При малых углах отклонения  $\varphi$  справедливо соотношение:

$$\frac{\Delta}{2d} = \frac{OP}{l}.$$

Но так как  $\Delta = m\lambda_0$  и  $OP = mb$ , то

$$\frac{m\lambda_0}{2d} = \frac{mb}{l},$$

откуда для определения длины волны следует формула

$$\lambda_0 = \frac{2db}{l}, \quad (1)$$

где  $l$  – расстояние от щели до экрана;  $2d$  – расстояние между мнимыми когерентными источниками 3 и 4.

В основу определения угловой ширины зоны интерференции положено измерение числа всех видимых полос интерференции и ширины каждой полосы.

При малых углах падения лучей на бипризму все лучи при преломлении отклоняются на одинаковый угол  $\varphi$  (рис. 1):

$$\varphi = (n - 1)\theta, \quad (2)$$

где  $n$  – показатель преломления стекла бипризмы. При этом мнимые источники 3 и 4 лежат в одной плоскости со щелью 2. Для угловой ширины зоны интерференции  $2\varphi$  справедлива формула

$$2\varphi = \frac{Nb}{l_1}, \quad (3)$$

где  $N$  – число всех видимых интерференционных полос;  $l_1$  – расстояние между бипризмой и экраном.

## ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Экспериментальная установка собрана на оптической скамье (рис. 3). На одном конце скамьи установлен источник света 1

со светофильтром 2 и щелью 3, на другом – окулярный микрометр 6. Между ними помещаются: бипризма 4 (так, чтобы ребро её тупого угла было параллельно щели) и собирающая линза 5.

Для точного измерения ширины интерференционной полосы  $b$  и расстояния между мнимыми когерентными источниками  $2d$  служит окулярный микрометр (рис. 4). Конструктивно он выполнен следующим образом. Сетка 2 закреплена в салазках 3. Сетка 2 представляет собой перекрестие с вертикальным биссектором и штрихом. Поле зрения окулярного микрометра показано на рис. 5.

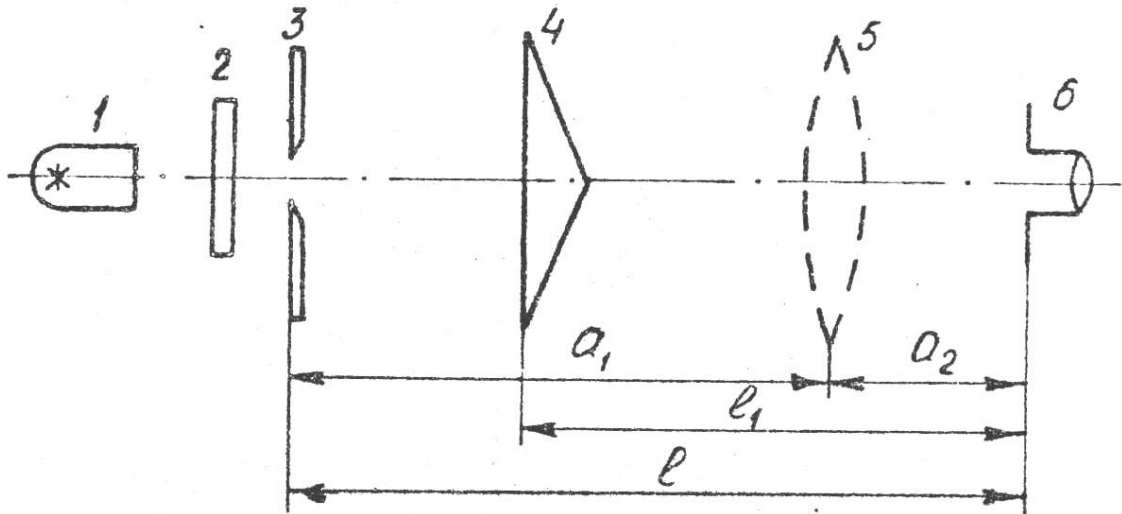


Рис. 3

Микрометрический винт 1 (рис. 4), на котором закреплён барабанчик с делениями, нажимает на торец салазок 3 и перемещает сетку 2 по направляющим. Микрометрический винт имеет шаг резьбы 0,4 мм. Окружность маховичка разделена на 100 частей. При повороте маховичка на одно деление винт перемещается на 0,004 мм.

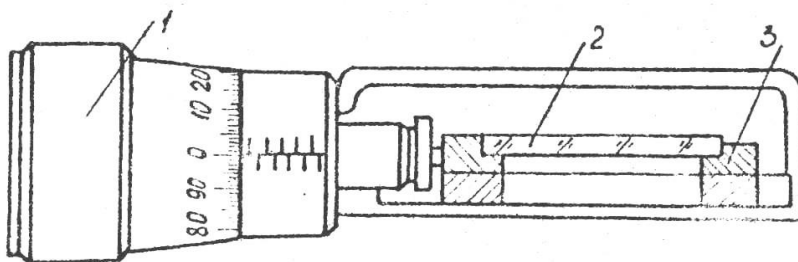


Рис. 4

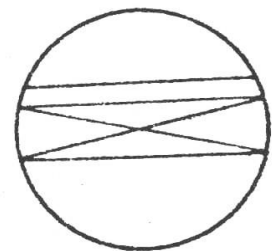


Рис. 5



## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Включить штепсельную вилку шнура блока питания источника света в розетку 220 В.

2. Снять собирающую линзу. Получить в поле зрения окулярного микрометра отчётливые интерференционные полосы.

3. Измерить окулярным микрометром ширину 5 полос. Для этого с помощью микрометрического винта 1 (рис. 4) совместить штрих сетки 2 с серединой светлой интерференционной полосы. Записать в делениях показания микрометрического винта  $N_1$ . Поворачивая микрометрический винт, переместить штрих сетки на 5 интерференционных полос. Записать в делениях барабана показания микрометрического винта  $N_2$ . Определить ширину  $b$  одной интерференционной полосы:

$$b = \frac{N_2 - N_1}{5} 0,004 ,$$

где 0,004 – цена деления микрометрического винта, мм.

4. Измерить ширину всей видимой через окулярный микрометр интерференционной картины  $Nb$ , где  $N$  – видимое число полос.

5. Не изменяя расположения приборов на оптической скамье, поместить собирающую линзу 5 между бипризмой и окулярным микрометром (рис. 3). Передвинув линзу, получить в окулярном микрометре отчётливое изображение мнимых когерентных источников, измерить расстояние  $2d'$  между изображениями мнимых когерентных источников с помощью окулярного микрометра аналогично п. 3. Расстояние между мнимыми источниками  $2d$  определить по формуле увеличения линзы:

$$2d = 2d' \frac{a_1}{a_2} ,$$

где  $a_1$  – расстояние от щели до линзы,  $a_2$  – расстояние от линзы до окулярного микрометра.

6. Измерить расстояния:  $l$  – от щели до окулярного микрометра,  $l_1$  – от бипризмы до окулярного микрометра.

7. Определить по формулам (1) — (3) длину световой волны  $\lambda_0$ , угловую ширину зоны интерференции  $2\varphi$  и преломляющий угол бипризмы  $\theta$ .

Рассчитать систематическую погрешность и записать окончательный результат в виде:

$$\lambda_0 = (\lambda_0 + \Delta\lambda_0), \text{ нм}; P = 0,95.$$

### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. В чём заключается явление интерференции света?
2. Перечислите условия, необходимые для получения чёткой интерференционной картины.
3. Объясните способы получения когерентных волн.
4. Дайте определение когерентных волн.
5. Рассчитайте интерференционную картину от двух когерентных источников.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 2. М.: Наука, 1983. С. 347-370.
2. Лансберг Г.С. Оптика. М.: Наука, 1976. С. 2-80.
3. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высшая школа, 1985. С. 252-264.