

Лабораторная работа 3.04

ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА С ПОМОЩЬЮ БИПРИЗМЫ ФРЕНЕЛЯ

А.А. Сафронов, Ю.И. Туснов, Д.Х. Нурлигареев

Цель работы: изучение интерференции когерентных световых волн с помощью бипризмы Френеля.

Задание: по интерференционной картине, полученной с помощью бипризмы Френеля, определить длину волны источника.

Подготовка к выполнению лабораторной работы: изучить явление интерференции света от двух когерентных источников и способы ее наблюдения; ознакомиться со схемой опыта с бипризмой Френеля; изучить описание установки; ответить на контрольные вопросы.

Библиографический список

1. Савельев И.В. Курс общей физики. В 3-х томах. Том 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. - СПб.: Издательство «Лань», 2018, гл. 17, §§ 119 - 122.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Издательский центр «Академия», 2019, гл. 22, §§ 170 – 174.

Контрольные вопросы

1. В чем сущность явления интерференции света?
2. Какие волны называются когерентными? Назовите несколько способов их получения.
3. Опишите опыт с бипризмой Френеля. Что служит в нем когерентными источниками?
4. По какой причине два независимых источника света являются некогерентными?
5. В чем состоит условие максимума и минимума интерференции?
6. Выведите формулу для ширины интерференционной полосы.
7. Выведите формулу для определения длины волны в данной работе.
8. Как связана оптическая разность хода Δ с разностью фаз δ для волн, длина волны которых равна λ ?
9. Как изменится интерференционная картина, если интенсивности двух складываемых волн будут различны?
10. Почему интенсивность центрального максимума наибольшая?

11. Будет ли наблюдаться интерференционная картина, если бипризму изготовить из двух призм с различным показателем преломления?
12. Почему расстояние d между щелями в схеме Юнга должно быть много меньше l – расстояния до экрана?
13. Почему преломляющие углы бипризмы делаются малыми (меньше 1°)?
14. Для чего в данной работе применяется линза?

Теоретическое введение

При наложении когерентных световых волн возможно наблюдение явления интерференции, заключающееся в перераспределении светового потока в пространстве, в результате чего в одних местах на экране возникают максимумы, а в других – минимумы интенсивности. Максимумы интенсивности наблюдаются при разности фаз складывающихся колебаний, пришедших в точку наблюдения, кратной 2π . Соответствующая оптическая разность хода волн Δ равна при этом целому числу длин волн

$$\Delta = \pm m\lambda, (m = 0, 1, 2, \dots). \quad (1)$$

Если разность фаз колебаний равна нечетному числу π (фазы складываемых колебаний противоположны), то наблюдается минимум интенсивности. Оптическая разность хода волн тогда равна полуцелому числу длин волн

$$\Delta = \pm \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda, (m = 0, 1, 2, \dots). \quad (2)$$

На практике когерентные световые волны можно получить, разделив волну, излучаемую одним источником, на две части. Если эти две волны будут накладываться друг на друга в какой-либо области пространства, возникнет интерференция. В данной работе для разделения светового пучка используется бипризма Френеля. Принципиальная схема установки для получения интерференционной картины с помощью бипризмы Френеля показана на рис. 1.

От источника света S лучи падают на обе половинки бипризмы и преломляются в ней. Преломляющий угол бипризмы θ , угол отклонения лучей φ . В результате преломления лучей образуются два когерентных световых пучка, ограниченных, например, лучами 1 и 1' и лучами 2 и 2', как бы исходящих из мнимых источников S_1 и S_2 . За бипризмой имеется область пространства, в которой световые пучки, преломленные ее верхней и нижней половинами, накладываются, образуя поле интерференции (на рис. 1 эта область заштрихована).

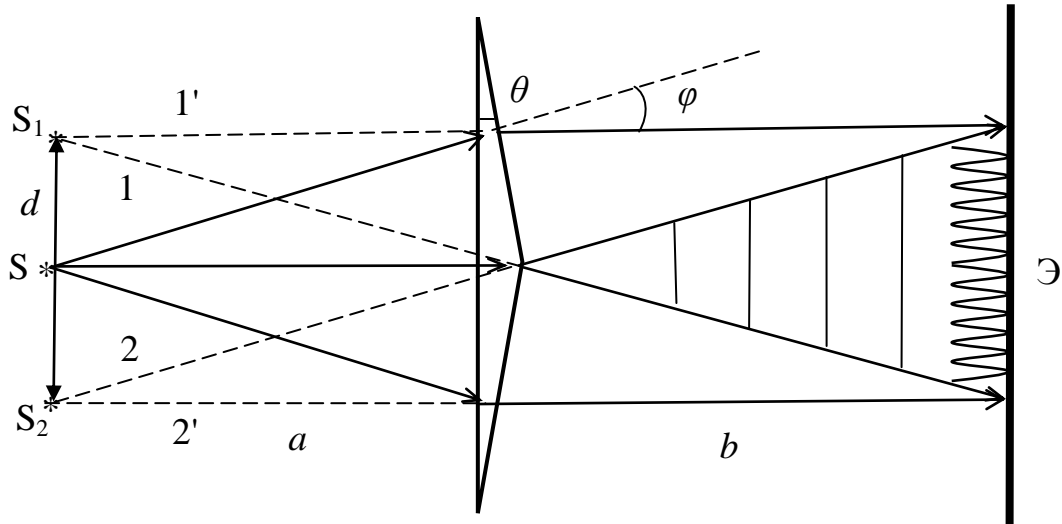


Рис. 1

Если в поле интерференции внести экран Э, то на нем будет видна интерференционная картина, имеющая вид чередующихся светлых и темных прямолинейных полос, параллельных ребру бипризмы. Расчет картины интерференции, получаемой с помощью бипризмы Френеля, может быть произведен по классической схеме расчета интерференционной картины от двух когерентных источников (схема Юнга). Из этого расчета следует, что расстояние между соседними максимумами или соседними минимумами (ширина интерференционной полосы) будет определяться выражением

$$\Delta x = \frac{l}{d} \lambda, \quad (3)$$

где $l = a + b$, то есть равно сумме a - расстояния от источника света до бипризмы и b - расстояния от бипризмы до экрана Э, d - расстояние между мнимыми источниками. Следовательно, длина волны излучения лазера равна

$$\lambda = \frac{d}{l} \Delta x. \quad (4)$$

Описание аппаратуры и метода измерений

Схема экспериментальной установки показана на рис. 2. Она состоит из гелий-неонового лазера 1 с встроенным объективом 2, формирующим световой пучок; бипризмы 3; вспомогательной линзы 4 и экрана для наблюдения 5.

Из лазера выходит практически параллельный пучок света диаметром 0,6 мм. Применение лазера в качестве источника света позволяет наблюдать

интерференционную картину на экране невооруженным глазом.



Рис. 2

Пучок света, проходя через встроенный объектив, падает на бипризму. Роль бипризмы состоит в разделении световой волны, идущей от лазера, на две волны и наложении их друг на друга. Бипризма Френеля представляет собой две оптически прозрачные призмы с очень малым преломляющим углом θ , сложенные основаниями. На практике обе половинки бипризмы делаются из одного куска оптически прозрачного вещества, например, стекла.

За счет неравномерности распределения интенсивности лазерного излучения по сечению пучка реально наблюдаемая интерференционная картина несколько отличается от теоретической, в частности, центральные максимумы имеют наибольшую интенсивность.

Методика экспериментального определения длины волны излучения состоит в следующем. Если ширина интерференционной полосы Δx определяется в опыте путем непосредственных измерений наблюдаемой на экране интерференционной картины, то нахождение расстояния d между источниками и расстояния l от источников до экрана прямыми измерениями в данной интерференционной схеме невозможно, так как мы имеем дело с мнимыми источниками S_1 и S_2 (рис. 1). Для того чтобы определить их положение, между бипризмой и экраном располагают вспомогательную линзу, формирующую на экране действительные изображения S'_1 и S'_2 этих источников (рис. 3).

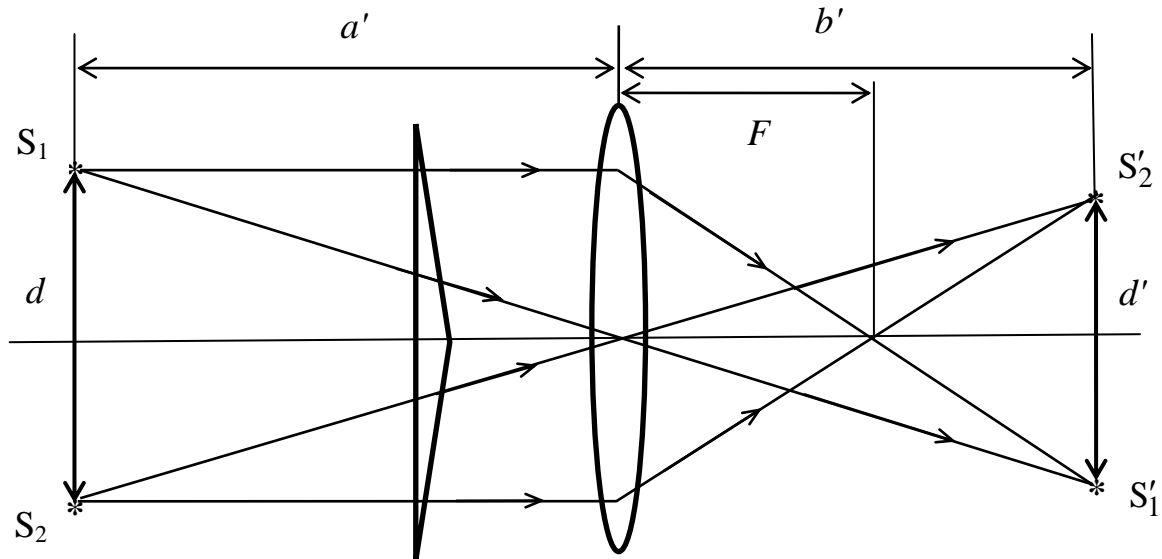


Рис. 3

Измерив расстояние d' между точками S'_1 и S'_2 на экране, можно определить расстояние d между мнимыми источниками S_1 и S_2 по формуле

$$d = d' \frac{a'}{b'}, \quad (5)$$

где a' и b' – соответственно расстояния от источников света и их изображений до линзы. Поскольку положение источника света точно не известно, то и расстояние a' от источника до линзы также не известно. Из формулы тонкой линзы следует

$$a' = \frac{Fb'}{b' - F}, \quad (6)$$

где F – фокусное расстояние линзы. Тогда с помощью (5) получаем

$$d = d' \frac{F}{b' - F}. \quad (7)$$

Как видно из рис. 1 и 3, расстояние l от источника до экрана, учетом (6), равно

$$l = a + b = a' + b' = \frac{(b')^2}{b' - F}. \quad (8)$$

Подставляя (7) и (8) в (4) получаем итоговую расчетную формулу

$$\lambda = \frac{d'F\Delta x}{(b')^2}. \quad (9)$$

Порядок выполнения работы

1. Ознакомившись с назначением и работой всех узлов установки, с помощью преподавателя включить лазер. При этом на экране должна появиться ин-

терференционная картина.

ВНИМАНИЕ! При работе с лазером **НЕЛЬЗЯ** допускать попадания излучения лазера в глаза.

2. Определить максимальное число наблюдаемых интерференционных полос на экране N и измерить расстояние между крайними полосами L .
3. Аналогично, измерить L еще для шести-восьми разных значений N . Результаты измерений занести в таблицу.
4. Установить на оптическую скамью между бипризмой и экраном вспомогательную линзу и перемещая ее добиться четкого изображения двух источников света на экране. Измерить расстояние d' между изображениями мнимых источников.
5. Измерить расстояние b' от линзы до экрана.
6. Результаты измерений занести в таблицу.

Таблица.

№	N	L , мм	$\Delta x_{\text{ср}}$, мм	d' , мм	b' , мм	λ , нм
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						

Обработка результатов измерений

1. Построить график зависимости расстояния между полосами L от числа полос N .
2. По угловому коэффициенту наклона прямой определить среднюю величину ширины интерференционной полосы $\Delta x_{\text{ср}}$.
3. По формуле (9) определить длину волны излучения лазера λ . Фокусное расстояние линзы $F = 200$ мм.
4. Вычислить относительную погрешность измерений длины волны по формуле

$$E = \frac{\Delta \lambda}{\lambda} = 2 \frac{\Delta b'}{b'} + \frac{\Delta d'}{d'} + \frac{\Delta(\Delta x)}{\Delta x} + \frac{\Delta F}{F},$$

где

$$\frac{\Delta(\Delta x)}{\Delta x} = \frac{2\Delta L}{L_m - L_k},$$

и ΔL - погрешность измерения расстояния между полосами L .

5. Записать окончательный результат в виде

$$(\lambda \pm \Delta\lambda) \text{ нм.}$$