

## Лабораторная работа №4

### ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА. БИПРИЗМА ФРЕНЕЛЯ

**Цель работы:** Изучить интерференцию лазерного света на бипризме Френеля. Найти преломляющий угол бипризмы по отклонению луча лазера и по интерференционной картине. Сравнить результаты.

#### Описание лабораторной установки

Принадлежности. Полупроводниковый лазер, бипризма Френеля, направляющая, набор рейтеров (зажимов), короткофокусная линза, экран для наблюдения с магнитами для крепления бумаги, линейка. Мощностью лазера  $6\text{ мВт}$ , длина волны излучения  $650\text{ нм}$  ( $650 \cdot 10^{-9}\text{ м}$ ), что соответствует красному свету. Абсолютный показатель преломления бипризмы  $n = 1.5$ . С помощью рейтеров лазер, бипризма, линза и экран могут устанавливаться в положениях 1-7 направляющей, Рис. 1.

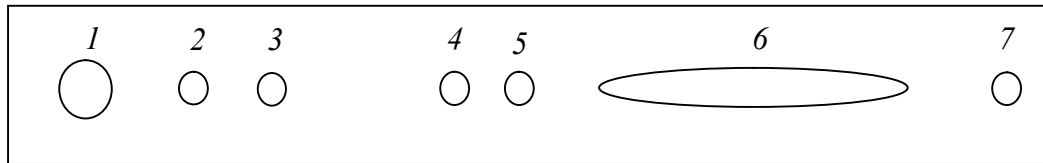


Рис. 1

#### 1. Определение преломляющего угла бипризмы по отклонению луча

Бипризма Френеля состоит из двух одинаковых призм имеющих общее основание и малый преломляющий угол призмы  $\beta$ . Изготавливается бипризма из одного куска стекла.

Световой луч при прохождении через стеклянную призму отклоняется от своего первоначального направления. Рассчитаем величину этого отклонения. На Рис. 2 показан ход луча, преломляющегося призмой. При таком положении призмы и направлении луча преломляющий угол призмы  $\beta$  и угол падения совпадают.

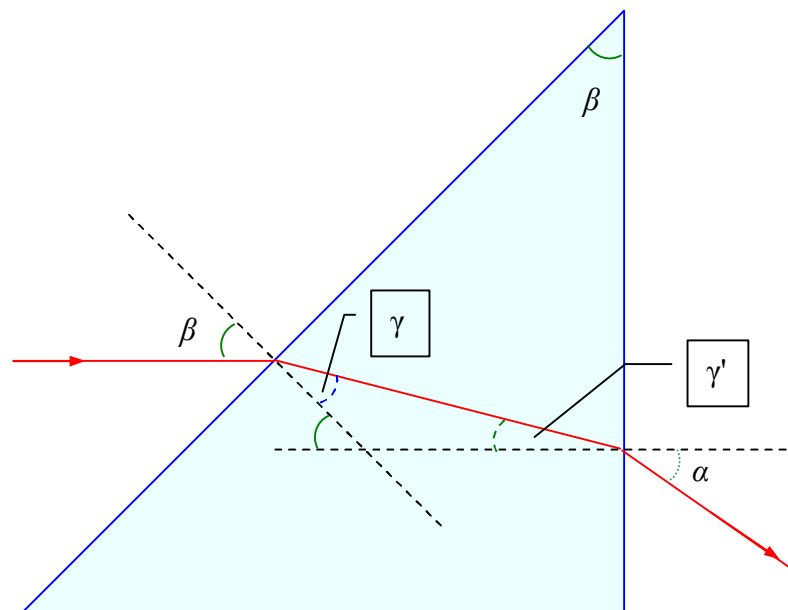


Рис. 2

Если призма находится в воздухе абсолютный показатель преломления которого можно принять за единицу, а  $n$  — абсолютный показатель преломления призмы, то угол преломления  $\gamma$  можно определить из закона Снеллиуса

$$\sin(\beta) = n \cdot \sin(\gamma).$$

Обозначим угол падения луча на правую грань как  $\gamma'$ , тогда угол преломления  $\alpha$  также можно определить из закона Снеллиуса

$$n \cdot \sin(\gamma') = \sin(\alpha).$$

Нетрудно видеть, что угол  $\alpha$  есть угол отклонения призмой светового луча от его первоначального направления.

Восстановим нормаль в точках падения светового луча на правую и левую грань призмы и рассмотрим треугольник, образованный этими нормалью и преломленным лучом в призме. Очевидна сумма его углов:

$$\gamma' + \gamma + \pi - \beta = \pi.$$

Сделав предположение о малости преломляющего угла призмы  $\beta \ll 1$ , и учитывая, что синус малого угла равен самому углу, нетрудно получить, что

$$\alpha = \beta(n-1). \quad (1)$$

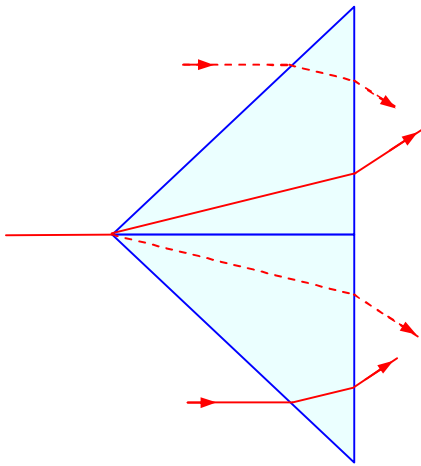


Рис. 3

Пусть на бипризму симметрично падают два параллельных и разведенных на некоторое расстояние луча. Ход лучей показан на Рис. 3 пунктирной и сплошной линиями. Уменьшая расстояние между лучами до нуля, в предельном случае получаем один луч, попадающий в вершину бипризмы. Как видно из рисунка, в этом случае на выходе из бипризмы получаем два расходящихся под углом  $2\alpha$  луча.

Лабораторная установка собирается на направляющей как показано на Рис. 4. Ребро бипризмы устанавливается вертикально. Область излучения лазера имеет вытянутую форму, представляя собой светящуюся щель, которая выставляется параллельно ребру бипризмы.

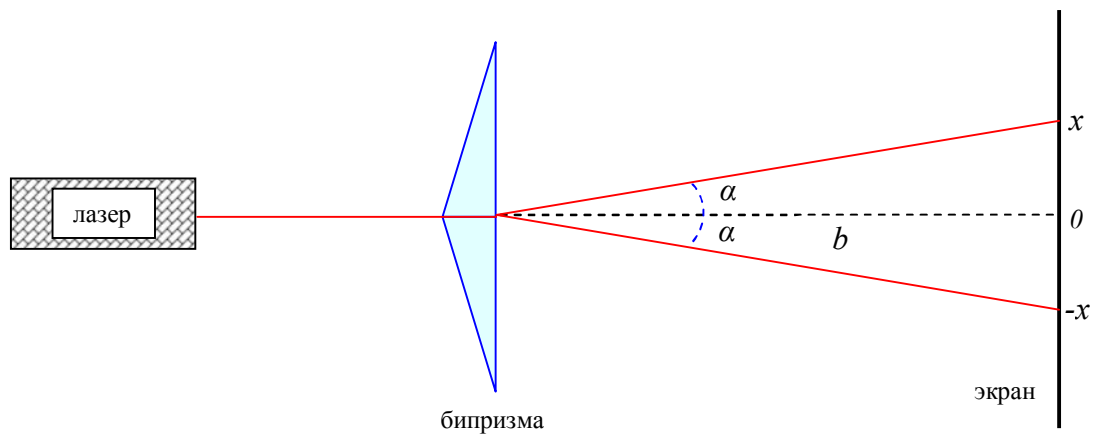


Рис. 4

Бипризма расщепляет луч лазера на две части, которые попадают на экран наблюдения (Рис. 4). Если расстояние от бипризмы до экрана равно  $b$ , а расстояние между двумя световыми пятнами на экране наблюдения —  $H = 2x$ , то

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{x}{b},$$

и учитывая, что  $\alpha \ll 1$ , получаем расчетную формулу

$$\beta = \frac{H}{2(n-1)b}, \quad (2)$$

связывающую измеряемые в опыте параметры с преломляющим углом бипризмы.

### Задание

1. Соберите установку согласно Рис. 4. Лазер ставится в положение 1 направляющей, а экран в положение 7. Лазер центрируется так, чтобы луч попадал в центр экрана.
2. Бипризму необходимо поместить в положение 2 ребром к лазеру и добиться, чтобы на экране появились два ярких светящихся пятна. С помощью магнитов закрепить лист бумаги (миллиметровки).
3. Линейкой измерьте расстояние от бипризмы до экрана и занесите в Таблица 1. Карандашом на листе бумаги отметьте положение светящихся пятен (их центров). Рядом с отметками проставьте номер опыта.
4. Переставьте экран в положение 6 направляющей (дальнее положение от лазера) и повторно выполните пункт 3.
5. Переставьте экран в положение 6 направляющей (ближнее положение от лазера) и повторно выполните пункт 3.
6. Если позволяют условия, то в опыте можно использовать удаленный экран расположенный на расстоянии нескольких метров. В качестве такого экрана может выступить, например, стена аудитории. Тогда один из пунктов 4-5 выполняется с удаленным экраном.
7. Сняв бумагу, измерьте линейкой расстояние между отметками центров световых пятен и занесите в Таблица 1.
8. По формуле (2) рассчитайте для каждого опыта преломляющий угол бипризмы Френеля. Найдите среднее значение преломляющего угла, переведете его в градусную меру.

Таблица 1

№	$b, \text{мм}$	$H, \text{мм}$	$\beta, \text{рад}$	$\beta_{\text{ср}}, \text{рад}$	$\beta_{\text{ср}}, \text{град}$
1					
2					
3					

## 2. Определение преломляющего угла по интерференционной картине

Направим на бипризму расходящийся пучок света. Это можно сделать, пропустив лазерный луч через собирающую линзу. После преломления в бипризме падающий пучок разделяется на два когерентных с вершинами в мнимых изображениях  $S_1$  и  $S_2$  источника  $S$ , Рис. 5. В области  $AB$  экрана пучки перекрываются и дают систему параллельных интерференционных полос.

Для интерференционной схемы с двумя источниками ширина интерференционной полосы, которая определяется как расстояние между соседними максимумами, или минимумами, записывается как  $\Delta x = \frac{L}{d} \lambda$ , где  $\lambda$  — длина волны,  $d$  — расстояние между источниками, а  $L$  — расстояние от источника до экрана. Обозначив  $a = SO$ ,  $b = OM$

имеем  $L = a + b$ . Рассматривая треугольник  $S_1SO$ , получаем, что  $\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{d}{2a}$ . Тогда,  $\Delta x = \frac{a+b}{2a \cdot \operatorname{tg}(\alpha)} \lambda$ . Учитывая, что преломляющий угол бипризмы  $\beta$  мал и связан с углом отклонения  $\alpha$  выражением  $\alpha = \beta(n-1)$ , получаем формулу, связывающую измеряемые в опыте параметры с преломляющим углом бипризмы Френеля

$$\Delta x = \frac{\lambda(a+b)}{2a \cdot \beta(n-1)}. \quad (3)$$

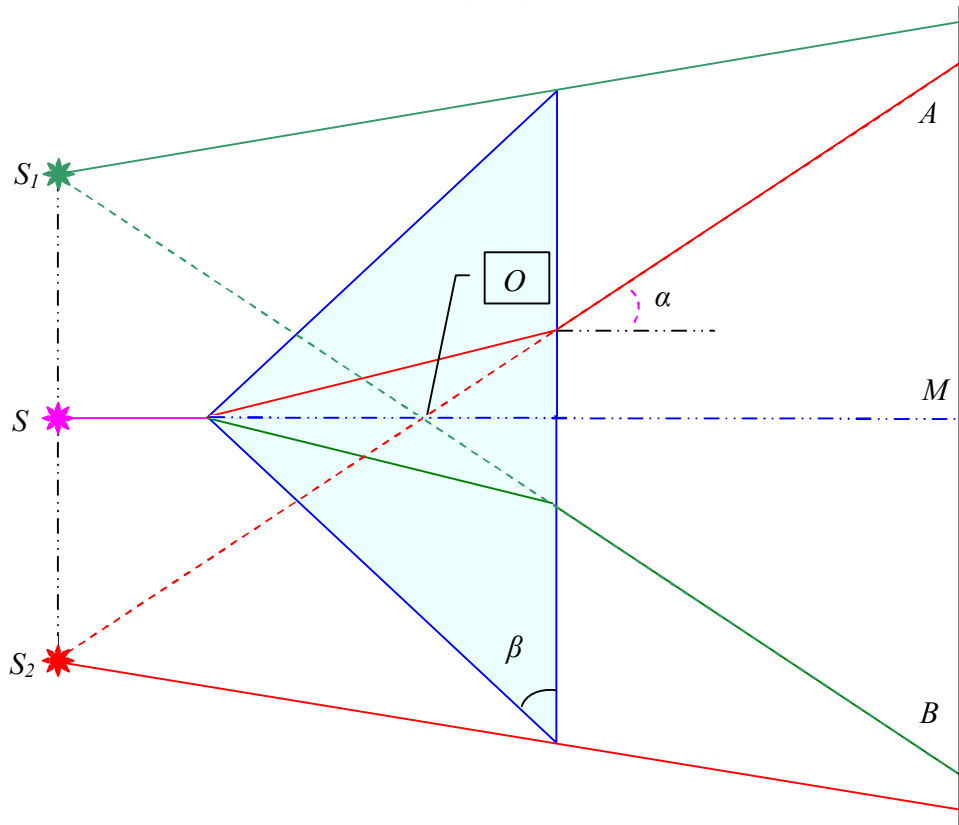


Рис. 5

Лабораторная установка собирается на направляющей как показано на Рис. 6. Собирающая линза располагается по возможности ближе к лазеру, а бипризма ближе к линзе, но на расстоянии превышающем фокусное. При такой расстановке фокус линзы окажется источником расходящихся лучей света.

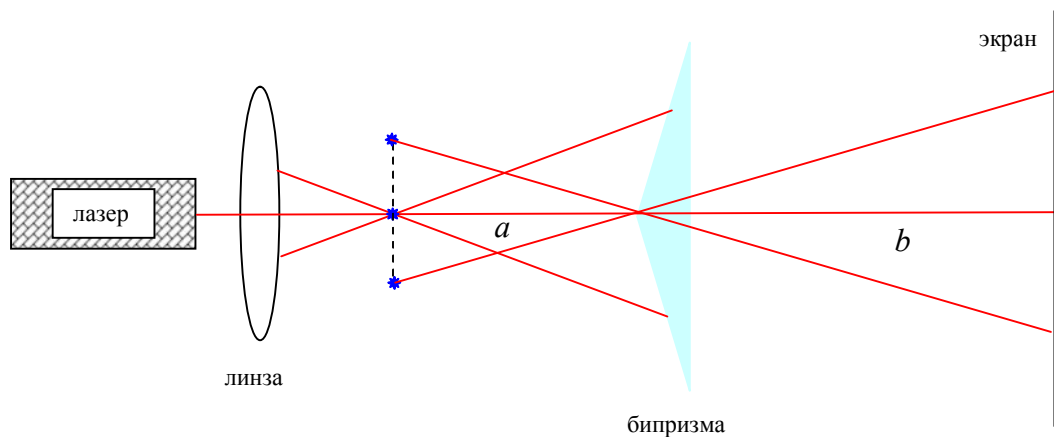


Рис. 6

На экране будет наблюдаться интерференционная картина в виде системы чередующихся светлых и темных полос, Рис. 7. Отметив карандашом на бумаге, закрепленной на экране, правые границы светлых полос (как показано на Рис. 7), можем записать, для ширины интерференционной полосы  $\Delta x$  следующие соотношение

$$D = \Delta x(N - 1),$$

где  $N$  — число нанесенных линий,  $D$  — расстояние между крайними из них.

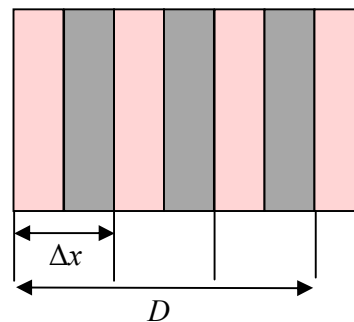


Рис. 7

Учитывая (3) получаем расчетную формулу для опытов с интерференционной картиной

$$\beta = \frac{\lambda(N - 1)}{2(n - 1)D} \left( 1 + \frac{b}{a} \right) \quad (4)$$

### Задание

1. Соберите установку согласно Рис. 6. Лазер ставится в положение 1 направляющей, линза в положении 2, бипризма в положение 3, а экран в положение 7. На экране закрепляется лист бумаги для зарисовки. Важно выставить лазер, линзу и бипризму соосно.
2. Определите фокусное расстояние линзы
3. С помощью линейки измерьте расстояние от бипризмы до экрана и от фокуса линзы до бипризмы.
4. Карандашом на листе бумаги отметьте положение интерференционных полос. Рядом с отметками проставьте номер опыта.
5. Переставьте экран в положение 6 направляющей (дальнее положение от лазера) и повторно выполните пункт 3-4.
6. Переставьте экран в положение 6 направляющей (ближнее положение от лазера) и повторно выполните пункт 3-4.
7. Если позволяют условия, то в опыте можно использовать удаленный экран расположенный на расстоянии нескольких метров. В качестве такого экрана может выступить, например, стена аудитории. Тогда один из пунктов 3-4 выполняется с удаленным экраном.
8. Сняв бумагу, для каждого опыта посчитайте количество нанесенных меток и линейкой измерьте расстояние между крайними из них. Результаты измерений занесите в Таблица 2.
9. По формуле (4) рассчитайте для каждого опыта преломляющий угол бипризмы. Рассчитайте среднее значение преломляющего угла в радианной и градусной мере.

Таблица 2

№	$a$ , мм	$b$ , мм	$D$ , мм	$N$	$\beta$ , рад	$\beta_{ср}$ , рад	$\beta_{ср}$ , град
4							
5							
6							

### Контрольные вопросы

1. Что такое интерференция?
2. Какие волны называются монохромными, а какие когерентными?
3. Что такое время и длина когерентности?
4. Сформулируйте условие интерференционного максимума и минимума.
5. Нарисуйте ход лучей в интерференционной схеме с двумя источниками. Выведите формулы определяющие положение интерференционных максимумов и ширины полосы.
6. Почему на экране в первом опыте наблюдалось не два световых пятна, а четыре и более?
7. Выведете рабочие формулы (2) и (4) данной лабораторной работы.