

Бипризма Френеля

Цель работы: изучить явление двухлучевой интерференции.

Решаемые задачи:

- приобрести навыки юстировки оптической схемы «Бипризма Френеля» и пронаблюдать интерференционную картину;
- пронаблюдать изменение ширины интерференционных полос в зависимости от расстояния между источником и бипризмой;
- определить расстояние между когерентными источниками;
- определить длину световой волны монохроматического источника.

Оптические элементы и аппаратура (рис.1):

- ✓ Полупроводниковый лазер (1);
- ✓ линза с фокусным расстоянием +5 мм (2);
- ✓ Бипризма Френеля (3);
- ✓ экран (4)
- ✓ оптическая скамья (5);
- ✓ рейтеры (6);
- ✓ приемник излучения VideoCom (элемент 6 на рис.5);
- ✓ линза с фокусным расстоянием +200 мм;
- ✓ измерительная линейка или рулетка.



Рис.1. Общий вид установки для наблюдения интерференции с помощью бипризмы Френеля.

В оптической схеме с бипризмой Френеля когерентные волны создаются методом деления волнового фронта.

Плоская волна от лазера 1 фокусируется короткофокусной линзой 2 в точку А (см. рис.1 и схему на рис.2) и далее превращается в расходящийся пучок света. Часть волнового фронта попадает на экран через верхнюю

половину бипризмы, а другая часть волнового фронта – через нижнюю. Образуется два мнимых когерентных источника A_1 и A_2 (рис.2). В области пересечения расходящихся пучков от этих источников возникает интерференция. Ее можно наблюдать на экране в виде чередующихся светлых и темных полос.

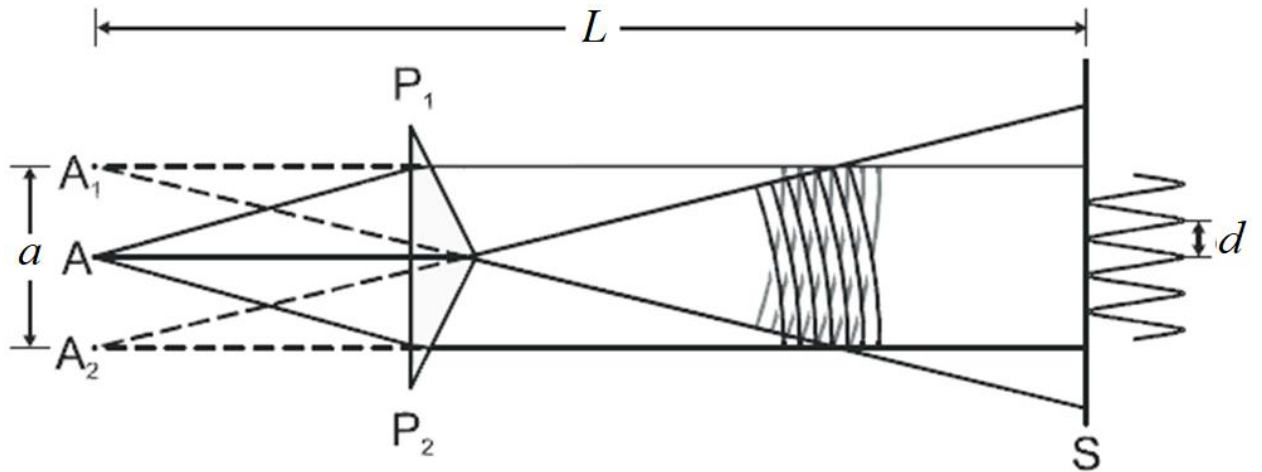


Рис.2 Оптическая схема для наблюдения интерференции с помощью бипризмы Френеля.

Ширина интерференционной картины d равна:

$$d = \frac{\lambda}{\varphi} = \frac{\lambda L}{a}, \quad (1)$$

где φ - угол между направлениями распространения волн, a – расстояние между когерентными источниками, L – расстояние от источника до экрана, λ - длина световой волны (рис.2).

Расстояние a между когерентными источниками S'_1 и S'_2 (рис.3) можно определить следующим образом.

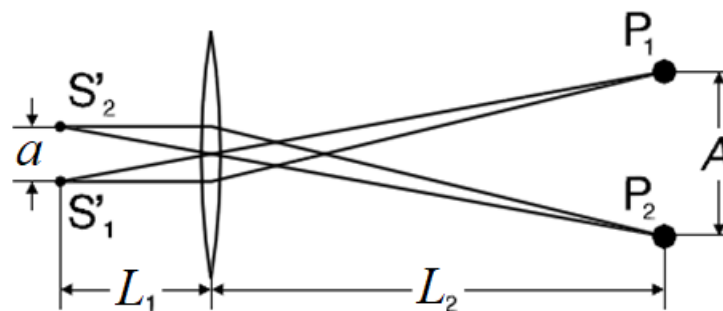


Рис.3. К способу определения расстояния между когерентными источниками.

Если получить на удаленном экране с помощью линзы изображения этих источников P_1 и P_2 , то расстояния a , A , L_1 и L_2 связаны соотношением:

$$\frac{a}{A} = \frac{L_1}{L_2},$$

откуда искомое расстояние равно:

$$a = A \frac{L_1}{L_2}. \quad (2)$$

Порядок выполнения работы:

Упражнение 1. Юстировки оптической схемы «Бипризмы Френеля» и наблюдение интерференционной картины.

Соберите установку, фотография которой приведена на рис.1.

1. Лазер 1 установите на левом краю оптической скамьи. Направьте лазерный луч вдоль оптической скамьи. Измерьте его высоту над оптической скамьей (обозначим ее через Z).
2. На расстоянии ~ 12 см от лазера, установите короткофокусную линзу 2 (указанные расстояния отсчитываются от левых краев рейтеров, на которых закреплены элементы). Световой пучок сначала фокусируется в непосредственной близости линзы, создавая источник А (рис.2), а затем становится расходящимся. Перемещая линзу вверх-вниз, добейтесь, чтобы центр расходящегося пучка располагался на высоте Z .
3. На расстоянии 7 см от линзы закрепите бипризму Френеля. Ребро бипризмы должно быть посередине светового пучка.
4. Установите экран 4 на правом краю оптической скамьи.
5. Пронаблюдайте интерференционные полосы. Слегка перемещая бипризму вдоль оптической скамьи, наблюдайте изменения ширины интерференционных полос.

Упражнение 2. Определение расстояния между когерентными источниками.



Рис.4 Оптическая схема для определения расстояния между когерентными источниками.

1. Установите бипризму на расстоянии 7 см от линзы и получите на экране интерференционную картину.
2. Уберите экран, установите на оптической скамье линзу 1 с фокусным расстоянием +200 мм (рис. 4).

3. Смещая линзу вдоль оптической скамьи, получите на удаленном (более, чем на 2 м от линзы) экране изображения двух точек (это изображения двух когерентных источников).
4. Измерьте расстояние между ними A , расстояние от линзы до экрана L_2 и до короткофокусной линзы 2 - L_2 (рис.3).
5. По формуле (2) определите a .

Упражнение 3. Определение длины волны лазерного излучения.

1. Уберите линзу 1 с фокусным расстоянием +200 мм (рис.4). Установите экран на расстоянии более 2 м от бипризмы.
2. Приложите лист белой бумаги к экрану и зарисуйте несколько интерференционных полос. Используя полученный рисунок, определите ширину интерференционной полосы d . Для этого измерьте расстояние между n максимумами и поделите на $(n - 1)$.
3. Измерьте расстояние L между короткофокусной линзой 2 и экраном.
4. Используя значение a из упражнения 2, по формуле (1) определите длину волны λ лазерного излучения.
5. Сравните полученную длину волны со значением, указанным в паспорте ($\lambda = 654$ нм).
6. Оцените ошибку определения этой величины.

Упражнение 4. Определение ширины интерференционной полосы с помощью ПЗС линейки.

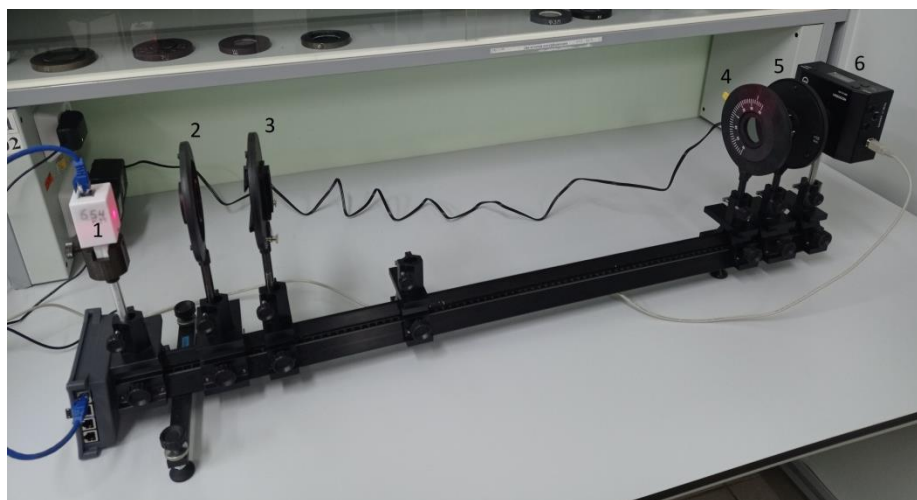


Рис.5 Оптическая схема для определения ширины интерференционной полосы с помощью ПЗС-линейки.

ПЗС-линейка - это специализированная интегральная микросхема, состоящая из большого количества светочувствительных элементов (фотодиодов), выстроенных в один ряд (рис.6). В ПЗС-линейке используется технология ПЗС - приборов с зарядовой связью. Это устройство способно в один момент времени зарегистрировать распределение интенсивности света вдоль одного направления.

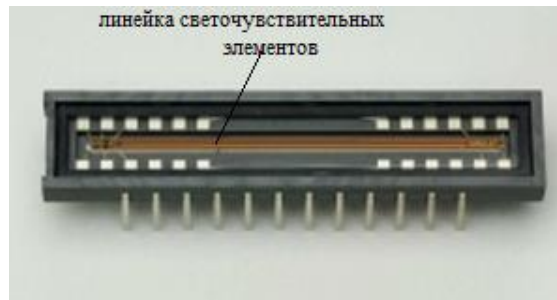


Рис.6 Внешний вид ПЗС-линейки.

1. На конце оптического рельса установите приемник излучения VideoCom (6) (рис.5), который оснащён ПЗС-линейкой.
2. Ближайшая к корпусу приемника шкала на объективе соответствует ширине диафрагмы объектива, она должна быть установлена на значение 1.5, что соответствует максимальной ширине диафрагмы. Вторая шкала должна быть установлена на ∞ .
3. Снимите защитную крышку объектива приемника излучения.
4. Установите дополнительную линзу 5 с фокусным расстоянием +50 мм перед объективом приемника излучения вплотную к объективу.
5. Перед линзой установите поляризатор 4. Он нужен для изменения интенсивности света, попадающего на приемник излучения. Установите угол поляризатора примерно 60° . В дальнейшем этот угол можно менять, для получения оптимального сигнала.
6. Подключите приемник излучения к компьютеру с помощью USB кабеля и запустите программу «VideoCom Intensities».

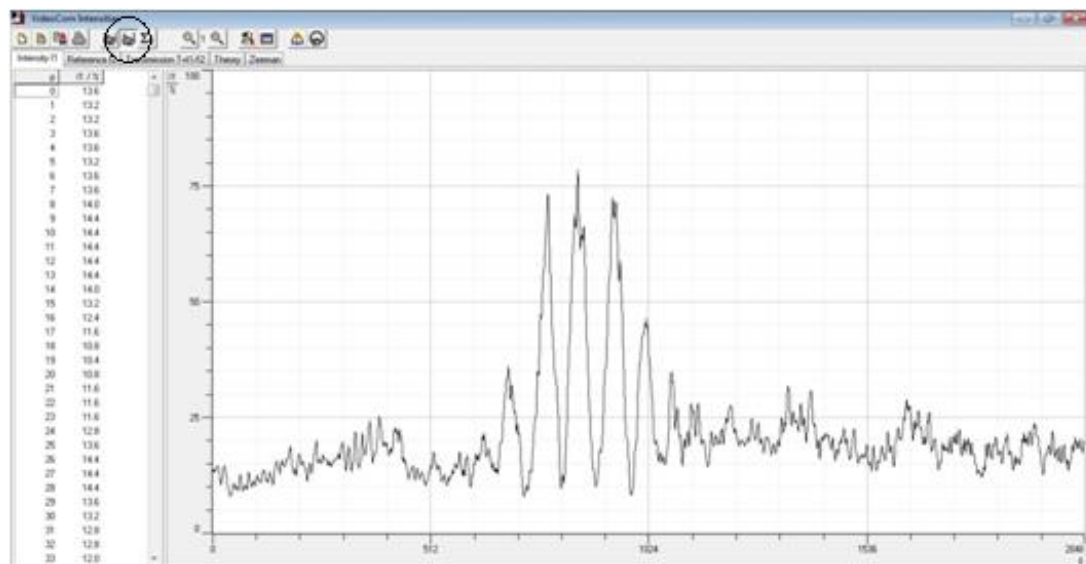



Рис. 7. Окно программы «VideoCom Intensities». Маркером (сверху слева) отмечена кнопка начала измерения. По оси абсцисс отложен номер светочувствительного элемента (пикселя), по оси ординат интенсивность падающего света в условных единицах.

7. Для запуска измерений кликните по иконке  или нажмите клавишу F9 на клавиатуре.

8. Добейтесь изображения интерференционной картины, примерный вид которой показан на рис.7. Для этого, сдвигая бипризму в направлении, перпендикулярном оптическому рельсу, направьте интерференционную картину на центр объектива приемника излучения (наблюдать интерференционную картину при юстировке схемы удобно на небольшом листе белой бумаги). Вращая поляризатор 4 (рис.5), подберите максимальную интенсивность интерференционной картины такой, чтобы её значение не выходило за пределы графика.
9. Измерьте ширину интерференционной полосы d в пикселях ПЗС-линейки. Переведите это значение в миллиметры, учитывая, что расстояние между двумя пикселями ПЗС-линейки в данной установке соответствует 0,0162 мм.
10. Измерьте расстояние L между короткофокусной линзой 2 и ПЗС-линейкой. Положение ПЗС-линейки отмечено сверху на корпусе приемника излучения.
11. Используя значение a из упражнения 2, определите по формуле (1) длину волны λ лазерного излучения.
12. Сравните полученную длину волны излучения лазера со значением, указанным в паспорте ($\lambda = 654$ нм).

Вопросы к обсуждению с преподавателем.

1. Интерференция монохроматического света. Расчет интерференционной картины при двухлучевой интерференции (оптический путь, оптическая разность хода, условия образования максимумов и минимумов, ширина интерференционной полосы).
2. Когерентные источники, способы их получения (метод деления амплитуды и метод деления волнового фронта).
3. Схема наблюдения интерференционной картины с помощью бипризмы Френеля. Объяснить назначение всех оптических элементов, используемых в установке, описать порядок юстировки оптической схемы.
4. Вывести рабочие формулы.
5. Объяснить, почему изменяется ширина интерференционной картины в зависимости от расстояния между короткофокусной линзой и бипризмой.

Рекомендуемая литература.

1. Ландсберг Г.С. Оптика, Изд.6, М., Физматлит, 2006. §§16.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. т.4. Оптика. Изд.3. М., Физматлит, 2005. §27.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.2. Изд.10, М., Физматлит, 2008. §121.
4. Бутиков Е.И. Оптика. Изд.2, С-Пб., Невский диалект, 2003. §5.1, §5.2