

Ярославский государственный педагогический
университет им. К. Д. Ушинского

Лабораторная работа № 3

**Определение длины
световой волны
при помощи
бипризмы Френеля**

Ярославль
2009

Оглавление

1. Вопросы для подготовки к работе	3
2. Краткая теория	3
3. Описание установки	7
4. Порядок выполнения работы	8
Задание 1.	8
Задание 2.	9
Задание 3.	10
Задание 4.	10
5. Контрольные вопросы	10

Лабораторная работа № 3

Определение длины световой волны при помощи бипризмы Френеля

Цель работы: получение интерференционной картины с помощью бипризмы Френеля. Экспериментальное определение длины световой волны.

Приборы и принадлежности: оптическая скамья, бипризма Френеля, источник света, окулярный микрометр, линза, светофильтры: красный и фиолетовый.

Литература:

1. Александров Н.В. и др. Практикум по курсу общей физики. Выпуск 4. — М. Просвещение, 1972 г, работа № 7.
2. Савельев И.В. Курс физики, т. 3. — М. Наука, 1971 г.
3. Ландсберг Г.С. Оптика. — М. Наука, 1976 г.

1. Вопросы для подготовки к работе

1. Когерентные источники. Когерентность волн.
2. Явление интерференции.
3. Условия \max и \min интерференции.
4. Способы получения когерентных источников.
5. Бипризма Френеля. Ход лучей в установке с бипризмой.
6. Как влияет ширина щели (размеры источника) на интерференционную картину. Вывод максимальной ширины щели.
7. Рабочая формула и измерение входящих в нее величин.

2. Краткая теория

Источники, излучающие волны одинаковой частоты с постоянной разностью фаз, называются когерентными. Волны, излучаемые такими источниками, также являются когерентными. В результате наложения когерентных волн наблюдается явление интерференции. Оно заключается

в том, что в одних местах происходит усиление интенсивности, в других — ослабление.

Для экспериментального обнаружения явления интерференции при сложении двух световых волн необходимо, чтобы они были частями фронта волны, первоначально испущенной одним источником в таком случае разность фаз между ними будет постоянна во времени.

Одним из способов получения такого рода когерентных источников является метод бипризмы Френеля. Бипризма представляет собой две призмы с малыми преломляющими углами, сложенными своими основаниями. Падающий от щели S монохроматический пучок (рис. 2.1) света разлагается вследствие преломления в бипризме на два пересекающихся пучка, которые исходят как бы от двух изображений щели S_1 и S_2 , являющихся когерентными источниками. Там, где пучки накладываются, образуется зона интерференции, в которой наблюдается интерференционная картина (ряд темных и светлых полос).

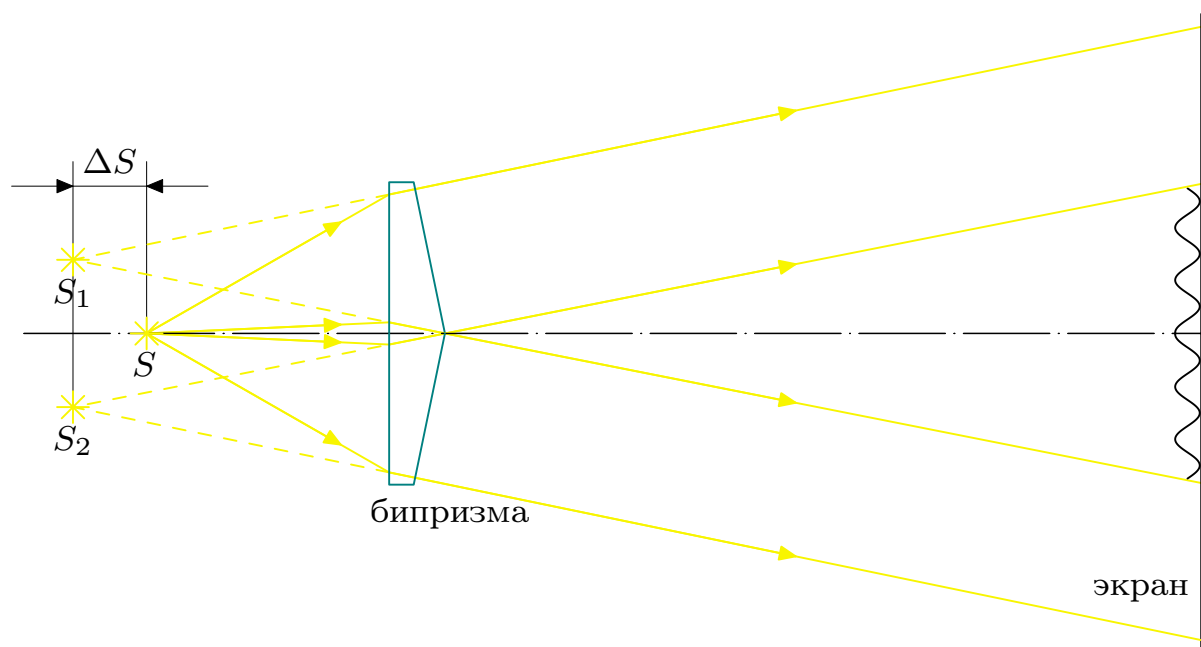


Рис. 2.1

Возникновение темных и светлых полос зависит от разности хода интерферирующих лучей. Пусть две монохроматические волны, исходящие от когерентных источников S_1 и S_2 (рис. 2.2), придут в какую-нибудь точку A_x с разностью хода

$$\Delta d = d_2 - d_1, \quad (2.1)$$

где d_1 — расстояние $S_1 A_x$;
 d_2 — расстояние $S_2 A_x$.

2. Краткая теория

Если разность хода равна четному числу полуволен, т.е.:

$$\Delta d = 2k \frac{\lambda}{2}, \quad (2.2)$$

то получим усиление света в точке A_x — max.

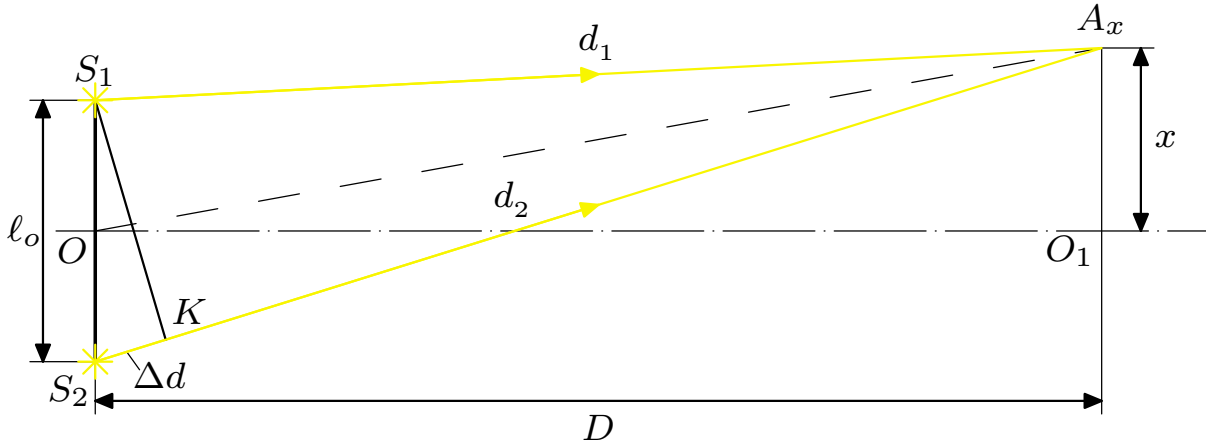


Рис. 2.2

Если разность хода равна нечетному числу полуволен, т.е.:

$$\Delta d = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad (2.3)$$

то получим ослабление света — min.

Используя соотношение (2.2) или (2.3), и зная расстояние между источниками, получим соотношение между длиной световой волны λ и расстоянием между интерференционными полосами на экране Δx .

Обозначим через ℓ_o расстояние между когерентными источниками S_1 и S_2 , а через D — расстояние от прямой, соединяющей источники S_1 и S_2 , до экрана, на котором наблюдаются интерференционные полосы (заметим, что $\ell_o \ll D$). В точке O_1 экрана, лежащей на перпендикуляре к середине прямой, соединяющей источники, наблюдается максимум, который называется центральным. Отложим на прямой $A_x S_2$ отрезок $A_x K$, равный d_1 , тогда $S_2 K = \Delta d$. Из подобия треугольников $O A_x O_1$ и $S_1 K S_2$ (рис.2.2) следует

$$\frac{\Delta d}{\ell_o} \approx \frac{x}{D}. \quad (2.4)$$

Для максимумов интерференции из формул (2.2) и (2.4) имеем:

$$k\lambda \approx \frac{\ell_o x}{D}. \quad (2.5)$$

Для двух соседних максимумов k и $(k + 1)$ выражения (2.5) будет соответственно иметь вид:

$$k\lambda \approx \frac{\ell_o x_k}{D}; \quad (2.6)$$

$$(k + 1)\lambda \approx \frac{\ell_o x_{k+1}}{D}. \quad (2.7)$$

Обозначим $\Delta x = (x_k - x_{k+1})$ — ширину полосы интерференции и, вычитая из (2.7) - (2.6), получим искомое выражение:

$$\lambda \approx \frac{\ell_o \Delta k}{D}. \quad (2.8)$$

Следовательно, для нахождения длины световой волны надо определить ширину интерференционной полосы и расстояние между источниками.

Ширину интерференционной полосы можно измерить непосредственно на экране с помощью достаточно точной масштабной линейки.

Расстояние между источниками S_1 и S_2 измеряют следующим образом. Сначала получают их изображение на экране с помощью специальной линзы L (рис. 2.3). Расстояние z между изображениями источников на экране измеряют с помощью той же линейки, а затем вычисляют — действительное расстояние между источниками, используя соотношение

$$\ell_o \approx \frac{d}{f} z, \quad (2.9)$$

где d — расстояние от щели S до линзы L ,
 f — расстояние от щели линзы L до экрана.

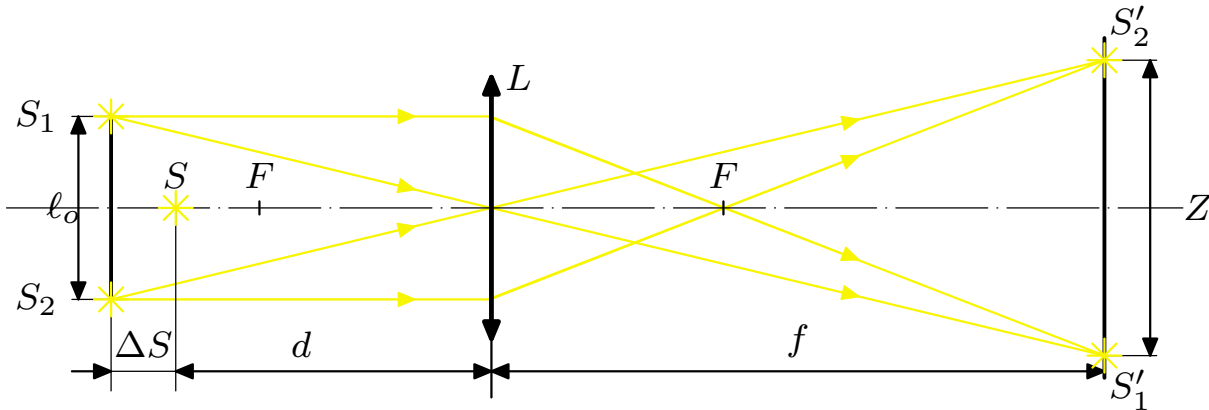


Рис. 2.3

Следует отметить, что мнимые изображения щели S_1 и S_2 и сама щель S не лежат строго в одной плоскости (рис. 2.1 и 2.3), поэтому соотношение (2.9) не является строгим. Однако оно выполняется с достаточной для практики точностью, т.к. $\Delta S \ll D$.

Преобразуя (2.8) с учетом (2.9), получим окончательную расчетную формулу для определения длины световой волны

$$\lambda \approx \frac{d \cdot z \cdot \Delta x}{f \cdot D}. \quad (2.10)$$

3. Описание установки

Экспериментальная установка состоит из оптической скамьи, на которой расположены: осветитель Φ , регулируемая щель S с обоймой для светофильтров, бипризма Френеля B , линза L и окулярный микрометр O (рис. 3.1).

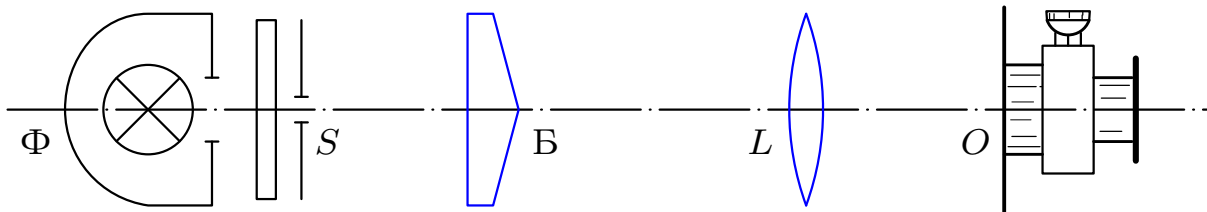


Рис. 3.1

Для увеличения яркости интерференционной картины и повышения точности измерений исследование полос производится с помощью окулярного микрометра (а не на экране, как описано в "Теоретическом введении"), в фокальной плоскости которого (пл. $A_x O_1$ на рис. 2.2) и наблюдается картина интерференции.

Окулярный микрометр $MOB - 1 - 15^x$ представляет собой окуляр, в который встроен микрометр специальной конструкции. В поле зрения окуляра (рис. 3.2) видны неподвижная шкала и подвижный визир в виде перекрестья и двух близко расположенных параллельных линий.

Перемещение визира осуществляется путём поворота микрометрического винта, расположенного справа. Отсчёт расстояния, пройденного визиром от начала неподвижной шкалы, производится следующим образом:

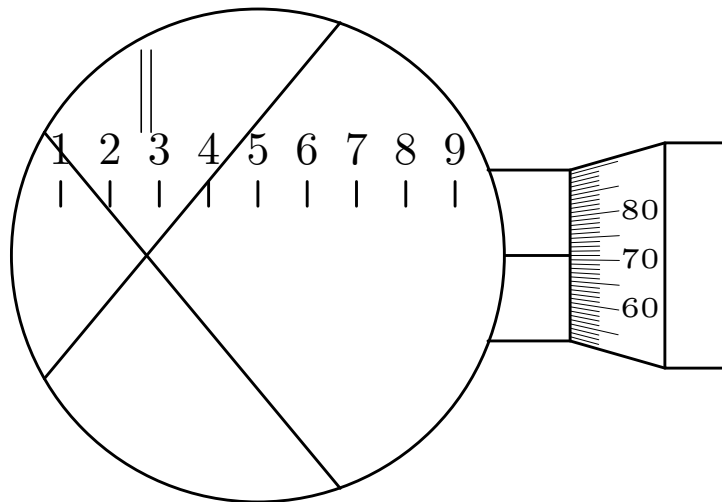


Рис. 3.2

- 1) отсчитывается число целых оцифрованных делений шкалы в поле зрения окуляра;
- 2) отсчитывается нецелая часть последнего оцифрованного деления неподвижной шкалы с помощью микрометрического винта;
- 3) показания складываются.

Цена оцифрованного деления неподвижной шкалы — 1 мм.

Цена деления микрометрического винта — 0,01 мм.

(На рис. 3.2 визир окулярного микрометра находится на расстоянии 2,71 мм от начала шкалы.)

Расстояние между двумя объектами, находящимися в фокальной плоскости окуляра, измеряется микрометром так:

- 1) визир наводится на левый объект, и снимается отсчет с микрометра,
- 2) визир перемещается на правый объект, и также снимается отсчёт,
- 3) из отсчёта справа вычитается отсчёт слева.

Перед началом измерений следует установить на резкость шкалу окулярного микрометра вращением рифлёного кольца на окуляре.

4. Порядок выполнения работы

Задание 1. Знакомство с описанием и конструкцией экспериментальной установки.

Задание 2. Определение длины волны красного света.

Практическая часть этого задания сводится к определению ширины интерференционной полосы Δx , расстояния z между изображениями мнимых источников S_1 и S_2 в фокальной плоскости окулярного микрометра, а также расстояний D , f , d .

Перед началом измерений вставьте в обойму красный светофильтр.

а) Определение ширины интерференционной полосы

Соберите оптическую схему установки без линзы L (рис. 3.1). Обратите внимание на то, чтобы окно осветителя, середина щели, бипризма и окулярный микрометр находились на одной оси. Если соосность достигнута, то в поле зрения окулярного микрометра должна появиться интерференционная картина, имеющая вид чередующихся темных и светлых полос. Регулируя ширину щели, добейтесь оптимального соотношения между яркостью и четкостью картины. С помощью окулярного микрометра измерьте расстояние между двумя достаточно удаленными друг от друга темными полосами и разделите его на число светлых полос (7-10 полос), лежащих между ними. Это будет Δx . Не меняя условий измерения проделайте не менее трех раз. Расстояние D от щели до фокальной плоскости окулярного микрометра измерьте по шкале, расположенной на оптической скамье.

б) Определение расстояния z между изображениями мнимых источников

Между бипризмой и окуляром поставьте собирающую линзу так, чтобы она находилась на одной оси с другими элементами установки (рис. 3.1). Перемещая линзу по оптической скамье, добейтесь резкого изображения мнимых источников, которые должны иметь вид двух ярких вертикальных линий. С помощью окулярного микрометра измерьте не менее трех раз расстояние Z между изображениями источников. По шкале оптической скамьи измерьте расстояние d от щели S до линзы L и расстояние f от линзы до окуляра. Результаты всех измерений занесите в таблицу № 1 и вычислите $\lambda_{кр}$.

Таблица 1

№ п/п	n	1-ая полоса	n -ая полоса	x	$\Delta x = \frac{x}{n-1}$	D	z	d	f	λ_i	$\Delta\lambda_i$
1											
2											
и т.д.											
Среднее	X	X	X	X	X	X	X	X	X	$\bar{\lambda}$	X

Рассчитайте среднюю квадратичную ошибку

$$\Delta\lambda = t_{\alpha n} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta\lambda_i)^2}{n(n-1)}}.$$

α – выберите самостоятельно.

Окончательный результат запишется в виде

$$\lambda_{кр} = (\bar{\lambda} \pm \Delta\lambda) \text{ ед.} \quad \text{при } \alpha = \dots$$

Задание 3. Определение длины волны фиолетового света.

Смените красный светофильтр на фиолетовый и проделайте те же измерения. Результаты занесите в таблицу № 2, аналогичную таблице № 1, и вычислите $\lambda_{ср}$ и $\Delta\lambda$.

Задание 4. Пронаблюдайте интерференционную картину в белом свете.

5. Контрольные вопросы

1. Показать, что при нарушении когерентности колебаний мы будем иметь простое суммирование интенсивностей.
2. Объяснить, почему угол между гранями бипризмы должен быть близким к 180° .
3. Выяснить влияние длины волны на ширину интерференционной полосы.

5. Контрольные вопросы

4. Объяснить, почему светлые полосы интерференции шире темных.
5. Какую картину мы наблюдаем при освещении бипризмы белым светом? Почему?
6. Основные причины погрешностей в данной работе.
7. Показать, что в данной работе случайная ошибка является определяющей, а систематической можно пренебречь.
8. Объяснить влияние размеров источника на четкость интерференционной картины.