

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА С ПОМОЩЬЮ БИПРИЗМЫ ФРЕНЕЛЯ

Цель работы: Получение интерференционной картины с помощью бипризмы Френеля и определение длин волн красного, зелёного и синего цвета.

Оборудование: осветитель, светофильтры, щелевая диафрагма, микроскоп МИР-2, бипризма Френеля, линза, измерительная лента, прямоугольный треугольник.

Теоретическая часть

Одним из условий наблюдения интерференции является когерентность, то есть совпадение частот и постоянство во времени разности фаз складываемых колебаний. В этом случае в области перекрытия световых пучков может возникнуть устойчивая интерференционная картина – чередование тёмных и светлых областей (минимумов и максимумов).

Обычные источники света некогерентны из-за спонтанности актов излучения. Однако с помощью оптических схем путём разделения первичного светового потока, например, на два, можно искусственно создать когерентные пучки, а затем свести их в определённой области пространства.

Опыт Юнга¹

Фундаментальным экспериментом в этой области является опыт Юнга.

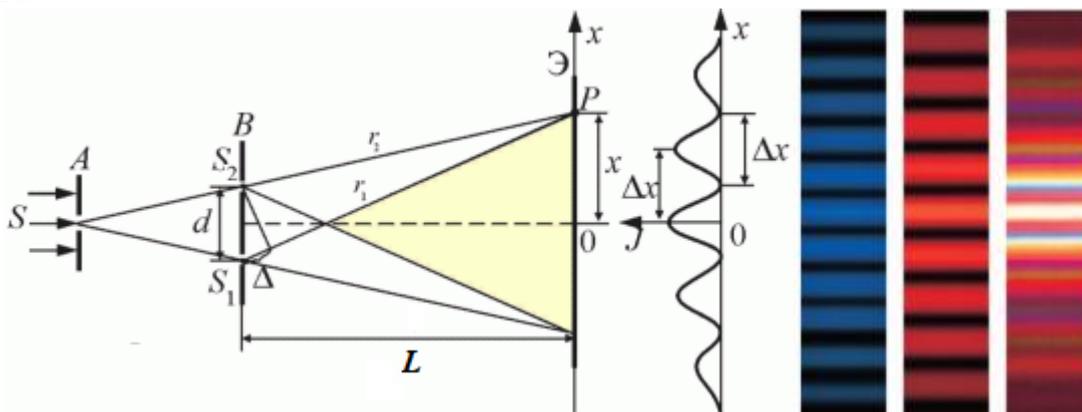


Рис. 4.1. Опыт Юнга

¹ Юнг (Янг) Томас (Thomas Young) (13.06.1773-10.05.1829). Английский учёный, один из основоположников волновой теории света. Сформулировал принцип интерференции (1801), высказал идею о поперечности световых волн (1817). Объяснил аккомодацию глаза, разработал теорию цветного зрения. Ввёл характеристику упругости (модуль Юнга). Труды по акустике, астрономии, расшифровке египетских иероглифов.

Свет проходит через щель в плоскости A , а затем через две щели в плоскости B , образуя два близко расположенных когерентных источника света S_1 и S_2 . P – точка наблюдения. Здесь и далее L – расстояние от источников до экрана, d – расстояние между источниками, n_c – показатель преломления среды, x – координата точки P на экране, λ – длина волны.

Из рисунка видно

$$r_1^2 = L^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2, \quad r_2^2 = L^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2, \quad r_1^2 - r_2^2 = 2xd, \quad r_1 - r_2 = \frac{2xd}{r_1 + r_2}.$$

Так как $x \ll L$, $d \ll L$, то $r_1 + r_2 \approx 2L$. Следовательно, разность хода

$$\Delta = n_c (r_1 - r_2) = n_c \frac{xd}{L}. \quad (4.1)$$

Условие максимумов

$$\Delta = \lambda m, \text{ следовательно } n_c \frac{xd}{L} = \lambda m.$$

Тогда положение точек максимумов определяется как

$$x_m = \frac{\lambda L}{n_c d} m. \quad (4.2)$$

Расстояния между соседними максимумами (ширина полосы) одинаково

$$\Delta x = x_m - x_{m-1} = \frac{\lambda L}{n_c d}. \quad (4.3)$$

Таким образом на экране образуются чередующиеся, одинаковой ширины, светлые и тёмные полосы если свет монохроматический, перпендикулярные $S_1 S_2$ и плоскости чертежа. Если свет белый, то наблюдаются цветные спектры, кроме нулевого. Следует заметить, что границы светлых и тёмных полос не резкие, то есть интенсивность меняется плавно, по гармоническому закону (Рис. 4.1).

Бипризма Френеля²

Получить два когерентных источника из одного с помощью оптических схем можно, например, с помощью бизеркала Френеля, зеркала Ллойда и других.

Одна из таких схем осуществляется с помощью бипризмы Френеля, которая представляет собой изготовленные из одного куска стекла две симметричные призмы с малым (менее 1°) преломляющим углом θ и имеющие общую грань (Рис. 4.2) [4, С. 361].

² Френель Огюстен Жан (Augustin-Jean Fresnel) (10.05.1788 – 14.07.1827). Французский физик, один из основоположников волновой оптики. Создал (1818 г.) теорию дифракции света, положив в основу принцип Гюйгенса и интерференцию волн (принцип Гюйгенса – Френеля). Доказал (1821 г.) поперечность световых волн, объяснил поляризацию света (первая теория кристаллооптических явлений). Создал зеркала и линзы, названные его именем.

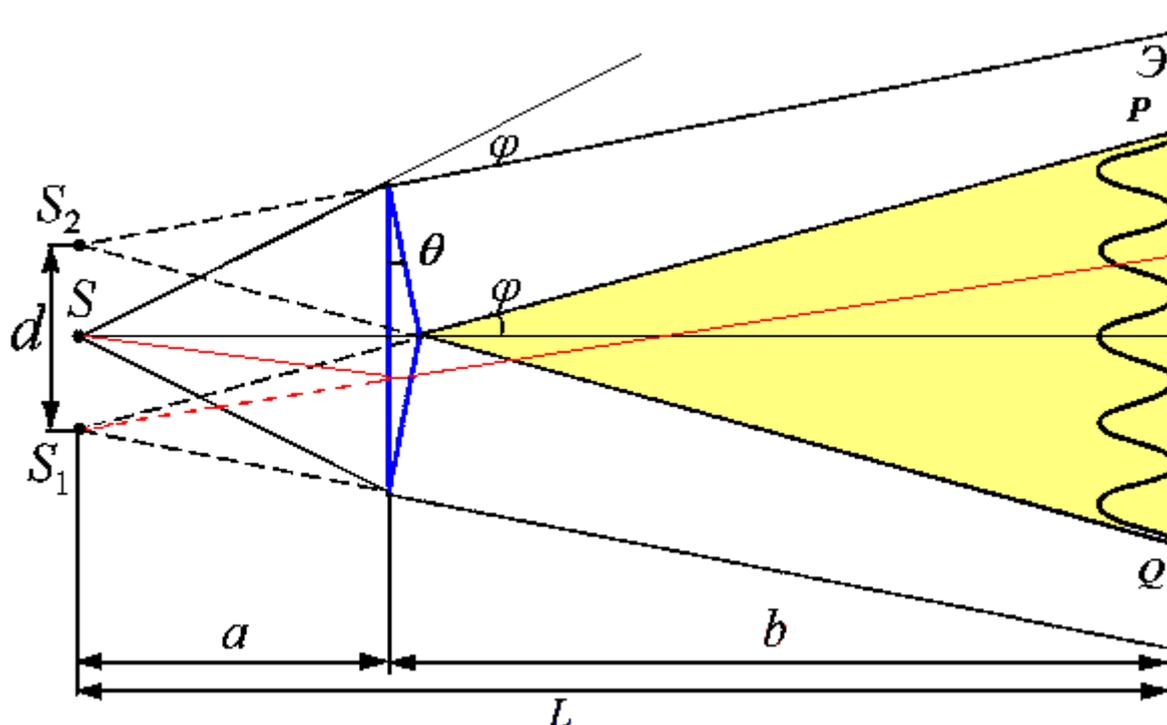


Рис. 4.2. Схема опыта по интерференции света с бипризмой Френеля.

Источником света служит узкая щель S , перпендикулярная плоскости рисунка. Ребро бипризмы параллельно щели. При прохождении света через верхнюю и нижнюю половины бипризмы первичная световая волна разделяется на две когерентные волны, исходящие из мнимых изображений S_1 и S_2 источника. При малом преломляющем угле мнимые источники находятся на том же расстоянии от бипризмы, что и источник. Разделённые пучки частично перекрываются, образуя зону интерференции PQ . Также можно показать, что при малом преломляющем угле и небольшом угле падения лучей на грань призмы все лучи отклоняются призмой на практически одинаковый угол

$$\varphi = \theta(n - 1), \quad (4.4)$$

где n – показатель преломления материала призмы.

Если на пути интерферирующих волн поставить экран \mathcal{E} , то на нём можно наблюдать систему чередующихся светлых и темных полос, параллельных щели S . Угловая ширина зоны интерференции равна 2φ .

Картина мало чем отличается от опыта Юнга, поэтому формула (4.3) сохраняет своё значение. Так как $d = 2atg\varphi \approx 2a\varphi = 2a(n - 1)\theta$, то

$$\Delta x = \frac{\lambda(a + b)}{2n_c a(n - 1)\theta}. \quad (4.5)$$

Максимальное число наблюдаемых полос

$$N = \frac{PQ}{\Delta x} = \frac{2btg\varphi}{\Delta x} = \frac{2b\varphi n_c d}{\lambda L} = \frac{4ab(n - 1)^2 \theta^2 n_c}{\lambda(a + b)}. \quad (4.6)$$

Выше предполагалось, что источник света монохроматический и имеет вид бесконечно узкой щели.

Конечность ширины щели источника приводит к ухудшению резкости интерференционной картины вследствие перекрывания элементарных интерференционных картин которые возникают от разных элементов щели. Картина будет еще достаточно резкой, если ширина источника настолько мала, что сдвиг элементарных интерференционных картин от крайних точек щели-источника не превысит половины ширины полосы.

Немонохроматичность света приводит к постепенному размытию полос по мере удаления от центрального максимума. Действительно, наблюдается картина, представляющая собой результат наложения систем интерференционных полос, соответствующих различным длинам волн. Так как ширина полосы пропорциональна λ , то при наличии спектрального интервала $\Delta\lambda$ максимумы одних длин волн будут накладываться на минимумы других длин волн, и по мере удаления от центрального максимума полосы будут постепенно размываться и исчезать. Полосы исчезнут совсем, когда максимум m -го порядка для $\lambda + \Delta\lambda$ совпадёт с максимумом $(m+1)$ -го порядка для λ . В этом случае весь провал между максимумами будет заполнен максимумами m -го порядка для промежуточных длин волн данного спектрального интервала $\Delta\lambda$. Таким образом, условие исчезновения интерференционных полос

$$(m_{\max} + 1)\lambda = m_{\max}(\lambda + \Delta\lambda),$$

откуда

$$m_{\max} = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}. \quad (4.7)$$

Таким образом, чем более монохроматичен свет (меньше величина $\Delta\lambda$), тем более высокие порядки интерференции доступны наблюдению.

В данной работе определяются длины световых волн. Из формулы (4.3) в воздушной среде ($n_c = 1$) длина волны света

$$\lambda = \frac{d\Delta x}{L}. \quad (4.8)$$

Все величины, входящие в правую часть формулы, могут быть определены экспериментально.

Описание установки

Работу выполняют на оптической скамье – массивной направляющей, на которой установлены рейтеры с необходимыми оптическими элементами (рис. 4.3).

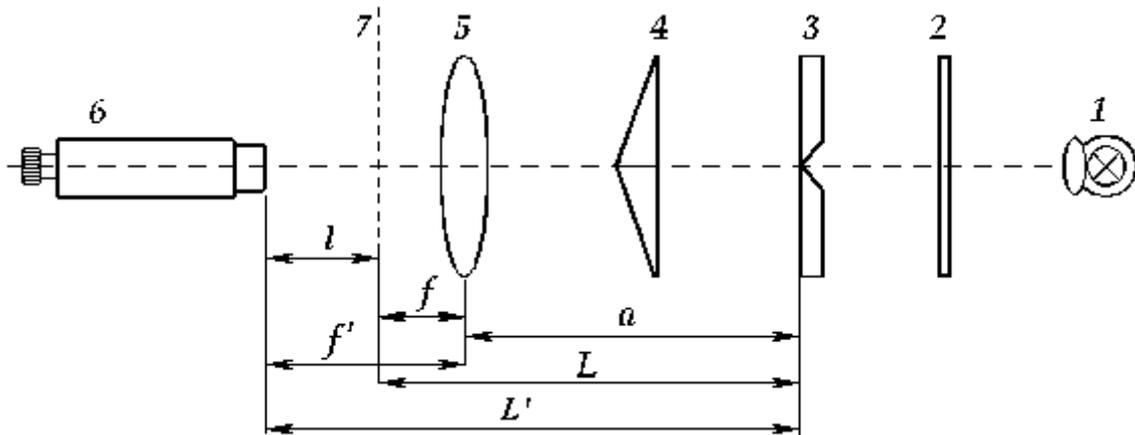


Рис 4.1. Схема экспериментальной установки:

- 1 – осветитель (лампа с конденсорной линзой), 2 – сменный светофильтр,
3 – щелевая диафрагма, 4 – бипризма Френеля, 5 – вспомогательная линза,
6 – отсчётный микроскоп, 7 – плоскость наблюдения.

Бипризма находится в специальном держателе, который позволяет поворачивать её вокруг продольной оси и устанавливать ребро бипризмы параллельно щели.

Отсчётный микроскоп служит для наблюдения интерференционной картины перед его объективом и измерения ширины полос Δx и расстояния между источниками d . Цена деления s и расстояние l от объектива до наблюдаемой интерференционной картины в зависимости от длины тубуса, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики микроскопа МИР-2

Длина тубуса, мм	130	140	150	160	170	180	190
Цена деления s , мм/дел.	0,058	0,053	0,049	0,045	0,041	0,038	0,036
Расстояние l , мм	31	30	29	28	27	26,5	



Рис 4.4. Общий вид установки

Методика выполнения работы

Внимание! Работа проводится в тёмном помещении!

Не касаться поверхности бипризмы руками!

Подготовка к работе и настройка

1. Установить на оптической скамье осветитель, диск со сменными светофильтрами (красный светофильтр) и микроскоп. Включить источник питания осветителя. Выровнять все устройства по оптической оси. Добиться точного попадания светового потока на объектив микроскопа.
2. Установить щель переменной ширины, так чтобы световой поток попадал на её середину. Сделать ширину щели минимальной.
3. Установить бипризму так, чтобы световой поток попадал на её ребро, расположенное вертикально. Выдержать соосность.

4. Раздвинуть тубус микроскопа на 180 делений. Перемещая бипризму вдоль скамьи, увидеть в окуляр микроскопа чёткую интерференционную картину в виде

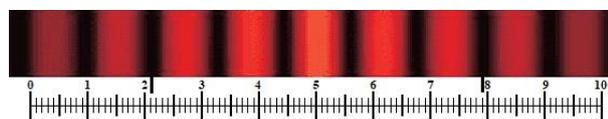


Рис. 4.5. Вид в микроскоп.

Пример измерений: $n = 79 - 21 = 58$; $N = 5$

виде вертикальных

чередующихся светлых и тёмных полос (Рис. 4.5). Поворотом окуляра (глазной линзы) добиться резкой видимости измерительной шкалы.

Примечание: настройку установки произвести с помощью преподавателя или лаборанта.

I. Определение длины волны. Красный свет

1. Подсчитать количество малых делений по шкале микроскопа между серединами крайних хорошо видимых тёмных полос n и число светлых полос между ними N (Рис.4.5).
2. Измерить расстояние L' от щели до переднего края объектива. Использовать измерительную ленту и прямоугольный треугольник. Так как положения источника и мнимых источников практически совпадают, то определить расстояние от источников до плоскости наблюдения по формуле $L = L' - l$.
3. Поставить между бипризмой и микроскопом вспомогательную линзу и, перемещая её в продольном направлении, получить в поле зрения микроскопа изображения источников S_1 и S_2 в виде двух узких ярких вертикальных линий. Измерить расстояние d' в делениях между серединами этих линий.
4. Измерить расстояние a от щели до линзы и расстояние f' от линзы до переднего края объектива. Определить расстояние от линзы до плоскости наблюдения по формуле $f = f' - l$.
5. По определению линейного увеличения тонкой линзы рассчитывается расстояние между мнимыми источниками

$$\Gamma = \frac{d'}{d} = \frac{f}{a}, \rightarrow d = \frac{a}{f} d'.$$

6. Ширина полосы, очевидно, определяется по формуле

$$\Delta x = \frac{n}{N}.$$

7. Тогда длина волны согласно (4.8) равна

$$\lambda = \frac{d\Delta x}{L} = \frac{ad'n}{(f'-l)(L'-l)N}. \quad (4.9)$$

Выбирая удобные единицы измерения, получаем

$$\lambda_{(\text{нм})} = \left(c \left(\frac{\text{мм}}{\text{дел}} \right) \right)^2 \frac{a(\text{мм}) \cdot d'(\text{дел}) \cdot n(\text{дел})}{(f'(\text{мм}) - l(\text{мм})) \cdot (L'(\text{мм}) - l(\text{мм})) \cdot N} 10^6. \quad (4.10)$$

8. Вычислить длину волны красного света по формуле (4.10).

9. Оценить погрешности полученного результата.

10. Сравнить результат с диапазоном красного цвета. Сделать выводы.

II. Определение длины волны. Зелёный свет

Поставить зелёный светофильтр и повторить пункты 1-10 из задания I.

III. Определение длины волны. Синий свет

Поставить синий светофильтр и повторить пункты 1-10 из задания I.

Контрольные вопросы

1. Что называют интерференцией волн?
2. При каких условиях возможна интерференция света?
3. Опишите принцип работы бипризмы Френеля?
4. От чего зависит число видимых полос интерференции?
5. Как изменяется длина волны света в зависимости от цвета светофильтра?
6. Для чего нужна линза в интерференционной схеме?

Литература

(см. список литературы)

Лабораторная работа № 4. Лист отчёта
Изучение интерференции света с помощью бипризмы Френеля

Выполнил студент _____
 Факультет _____ курс _____ группа _____
 Проверил _____
 Показания сняты _____
 Зачтено _____

Погрешности измерительных приборов. $\alpha =$ _____ %.

Измерительный прибор	ω – цена деления	$\Delta_{\text{окр}}$ – округления	$\Delta_{\text{пр}}$ – приборная	$\Delta_{\text{суб}}$ – субъективная	Единицы измерения
Измерит. лента	1				мм
микроскоп					

Определение длин волн разных цветов

Таблица.1

	Красный	Зелёный	Синий	ед. изм.	пояснения
$N =$				полос	Количество полос
$n =$				дел.	Ширина всех полос
$L' =$				мм	Расстояние от щели до переднего края объектива
$L =$				мм	Расстояние от щели до плоскости наблюдения
$d' =$				дел.	Расстояние между изображениями мнимых источников
$a =$				мм	Расстояние от щели до линзы
$f' =$				мм	Расстояние от линзы до объектива микроскопа
$f =$				мм	Расстояние от линзы до плоскости наблюдения
$d =$				дел.	Расстояние между мнимыми источниками
$\Delta x =$				дел.	Ширина полосы
$\lambda =$				нм	Длина волны
$\Delta \lambda =$				нм	Абсолютная погрешность
$\varepsilon_{\lambda} =$				%	Относительная погрешность

Красный свет

Сравнение: $\lambda = (\text{_____} \pm \text{_____})$ нм, $\varepsilon_{\lambda} = \text{_____}$ %.

Диапазон: $\lambda_{\text{табл}} = (\text{_____} \pm \text{_____})$ нм, $\varepsilon_{\lambda} = \text{_____}$ %.

Зелёный свет

Сравнение: $\lambda = (\text{_____} \pm \text{_____})$ нм, $\varepsilon_{\lambda} = \text{_____}$ %.

Диапазон: $\lambda_{\text{табл}} = (\text{_____} \pm \text{_____})$ нм, $\varepsilon_{\lambda} = \text{_____}$ %.

Синий свет

Сравнение: $\lambda = (\text{_____} \pm \text{_____})$ нм, $\varepsilon_{\lambda} = \text{_____}$ %.

Диапазон: $\lambda_{\text{табл}} = (\text{_____} \pm \text{_____})$ нм, $\varepsilon_{\lambda} = \text{_____}$ %.