

Работа 4 - 13

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ С ПОМОЩЬЮ БИПРИЗМЫ ФРЕНЕЛЯ

Цель работы: Изучение возможностей образования когерентных волн, возникновения интерференции, расчета интерференционной картины, получения с помощью бипризмы Френеля интерференционной схемы, измерения длины волны монохроматического света, определение ошибок измерений.

Оборудование: Бипризма Френеля, набор светофильтров, щель, осветитель, окуляр с микрометром, линза.

Теория

Явление сложения в пространстве двух или нескольких волновых колебаний, при котором наблюдается усиление или ослабление этих колебаний в различных точках пространства, получило название интерференции. Наблюдение интерференции света возможно лишь в том случае, когда складываемые световые волны одного периода когерентны, т.е. за время наблюдения имеют постоянную разность фаз.

В силу кратковременности излучения отдельных атомов ($\approx 10^{-7}$ с), разности фаз не остаются постоянными и обычные источники света оказываются некогерентными между собой. Однако, можно осуществить различные схемы, с помощью которых когерентные волны создаются путем деления световой волны, излучаемой одним и тем же атомом, на две части с последующим наложением их в определенной области пространства. В этой области, которую можно назвать зоной интерференции, возникает устойчивая интерференционная картина в виде чередующихся светлых и темных полос. При этом разделенные волны можно рассматривать как бы исходящими из двух мнимых когерентных источников. На основании этого нетрудно произвести расчет интерференционной картины.

Пусть имеется два когерентных монохроматических источника света, расположенных на расстоянии L друг от друга и на расстоянии D от экрана. Будем производить наблюдения в некоторой точке M , находящейся на расстоянии h от центра экрана. Разность в расстояниях

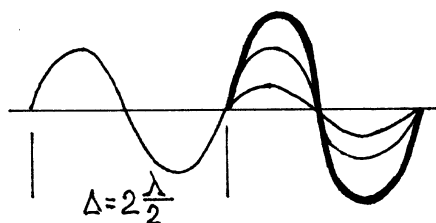


рис. 2а.

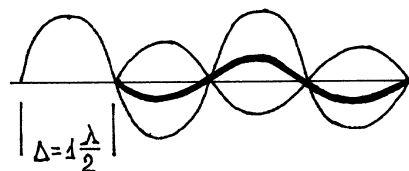


рис. 2б

Таким образом, условие максимального усиления света (максимума) можно записать равенствами:

$$\Delta = 2m \cdot \frac{\lambda}{2} \quad \text{или} \quad \frac{hL}{D} = 2m \cdot \frac{\lambda}{2}, \quad (6)$$

где m - ряд целочисленных значений, равных $0, 1, 2, 3, \dots$ и получивших название порядка интерференции. Условиями же максимального ослабления света (минимума) будут равенства:

$$\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda}{2} \quad \text{или} \quad \frac{hL}{D} = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}. \quad (7)$$

Последние формулы позволяют определить расстояние h от центра экрана, где будут наблюдаться усиления и ослабления света. В точке B в центре экрана вследствие равенства расстояний S_1B и S_2B разность хода, а значит, и разность фаз равны нулю, что из ф. (6) возможно при $m=0$. В этой точке B наблюдается центральный максимум.

Затем по обе стороны от точки B на расстояниях $h_{\max} = \frac{\lambda D}{L}$ при $m=1$ возникают первые максимумы, потом при $m=2$ на расстояниях $h_{\max} = \frac{2\lambda D}{L}$ - вторые максимумы и т.д. Пользуясь ф. (7), при подстановке значений $m=0, 1, 2 \dots$ можно получить положение минимумов света на экране

$$h_{\min} = \frac{\lambda D}{2L} (2m + 1) \quad (8)$$

Ширина одной интерференционной полосы определится расстоянием между двумя минимумами. Она будет составлять, на основании ф. (8), величину:

$$\Delta h = \frac{\lambda D}{L}. \quad (9)$$

Так как длина волны λ - величина очень малая ($\approx 10^{-7} - 10^{-6}$ м), то несмотря на большую величину D (≈ 1 м) для хорошего наблюдения

интерференционной картины значение L должно быть очень небольшим (доли миллиметра).

Описание установки

Одним из способов получения двух когерентных лучей является установка с использованием бипризмы Френеля. Бипризма состоит из двух призм с малыми преломляющими углами (примерно $30'$), сложенных основаниями. Падающий от щели S пучок света (рис. 3) после преломления в бипризме разделится на два перекрывающихся пучка, как бы выходящих из двух мнимых изображений щели S_1 и S_2 . Так как мнимые источники S_1 и S_2 являются изображениями одного и того же источника S , то они когерентны и в пространстве за бипризмой будет наблюдаться интерференционная картина, локализованная в области пересечения пучков, как это показано на рис. 3.

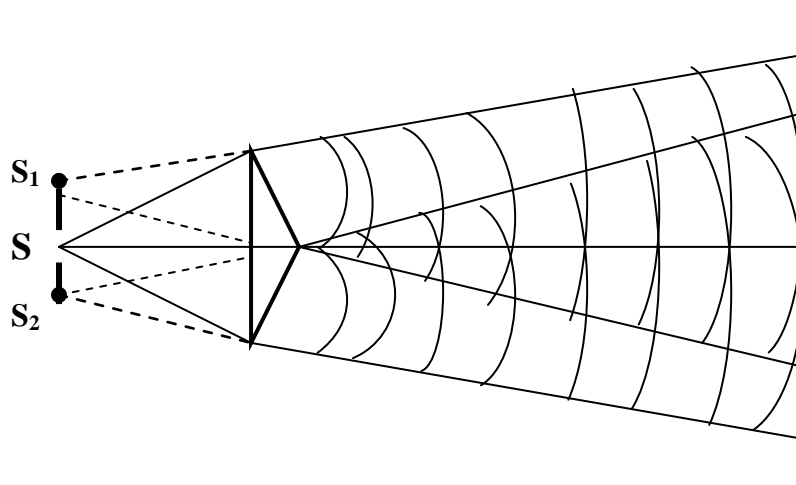


Рис. 3.

Установка с бипризмой Френеля обладает рядом особенностей:

1. Для фокусировки излучения не нужно использовать какие-либо линзы или другие оптические устройства.
2. При увеличении ширины щели увеличивается освещенность экрана, но уменьшается четкость интерференционных полос, которые полностью исчезают при достаточно широкой щели S .
3. Четкость интерференционной картины заметно улучшается при использовании монохроматического света.

Для выполнения работы на одной оптической оси (рис.4) устанавливается источник света 1, светофильтр 2, узкая вертикальная щель 3, бипризма Френеля 4 и окулярный микрометр 5 с ценой деления 0,1мм. В определенных случаях в установку вводится собирающая линза 6.

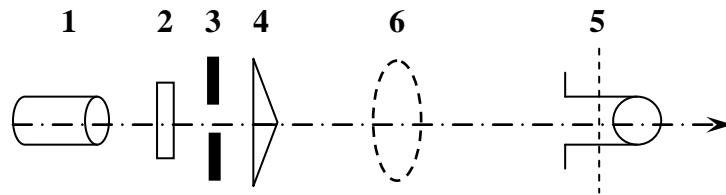


Рис. 4.

Бипризма устанавливается от щели на расстоянии 20 – 30 см, окулярный микрометр располагается от бипризмы на расстоянии 40 – 50 см. Определение длины световой волны производят, пользуясь формулой (9), откуда следует:

$$\lambda = \frac{\Delta h L}{D} \quad (10)$$

Расстояние между мнимыми источниками L и расстояние между плоскостью источников и экраном D непосредственно измерить нельзя. Поэтому производятся косвенные измерения этих отрезков при помощи собирающей линзы 6 (рис. 4), которая вводится между бипризмой и окулярным микрометром. Фокусируя с ее помощью изображения мнимых источников в плоскости окулярного микрометра, как это следует из рисунка 5, определяется связь между L , изображением этой вели-

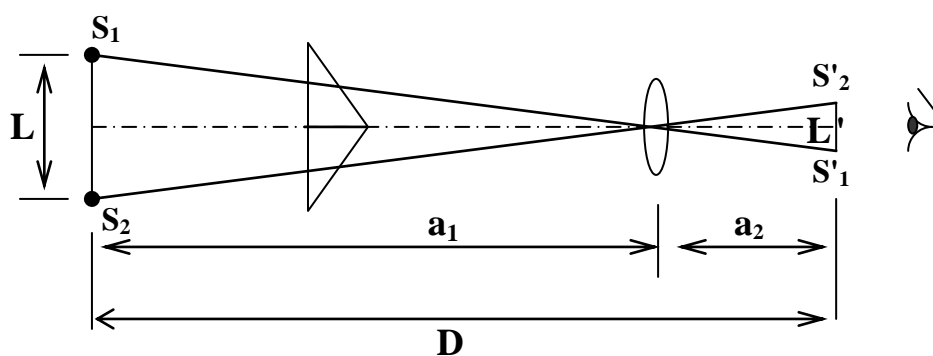


Рис. 5.

ны L' и расстояниями от линзы до мнимых источников a_1 и от линзы до изображения a_2 .

$$\frac{L}{L'} = \frac{a_1}{a_2}. \quad (11)$$

Величины L' и a_2 измеряются. Значение a_1 определяется из формулы линзы:

$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = \frac{1}{f}, \quad (12)$$

где f - фокусное расстояние линзы. Из ф. (12) значение:

$$a_1 = \frac{fa_2}{a_2 - f}. \quad (13)$$

Величина

$$D = a_1 + a_2 = \frac{fa_2}{a_2 - f} + a_2. \quad (14)$$

Пользуясь формулами (11), (13), (14) искомое отношение $\frac{L}{D}$ опреде-

лится:

$$\frac{L}{D} = \frac{fa_2L'}{(a_2 - f)a_2D} = \frac{fL'}{(a_2 - f) \left(\frac{fa_2}{a_2 - f} + a_2 \right)} = \frac{fL'}{a_2^2} \quad (15)$$

Подставляя это значение в ф. (10) находим:

$$\lambda = \frac{L'f}{a_2^2} \Delta h \quad (16)$$

Для более точного определения значения Δh производится измерение ширины нескольких интерференционных полос ΔH ($m=7 \div 10$)

Тогда

$$\Delta h = \frac{\Delta H}{m}. \quad (17)$$

Эту величину и вводят в ф. (16). В результате, расчеты проводятся по формуле:

$$\lambda = \frac{L'f}{a_2^2} \cdot \frac{\Delta H}{m}. \quad (18)$$

Порядок выполнения работы

1. Убрать линзу 6 (рис. 4), ввести светофильтр и провести наладку установки так, чтобы в поле зрения были видны отчетливые интерференционные полосы. Для этого необходимо, чтобы все детали находились на одной оптической оси, щель была параллельна тупому углу бипризмы, и ширина щели была как можно меньше.

2. Измерить ширину видимой интерференционной картины ΔH и посчитать число полос m . Измерения повторить 10 раз с различными значениями m .

3. Не меняя расположения приборов на оптической скамье, ввести собирающую линзу 6 (рис. 4) и найти такое ее положение a_2 , при котором в поле зрения окулярного микрометра получится резкое двойное изображение щели $S:S'_1$ и S'_2 . Измерить расстояние между ними L' для разных светофильтров.

4. Измерить расстояние a_2 . Сдвинуть линзу, снова подобрать новое расстояние a_2 и измерить новое значение L' . Прodelать 10 измерений.

5. Все результаты измерений занести в таблицу 1.

6. По ф. (18) вычислить неизвестные длины волн. Фокусное расстояние линзы 6 равно: $f = 11,0$ см

7. Заменить светофильтр и повторить все измерения.

8. Оценить ошибки измерений.

Таблица 1

NN n/n	фильтр	m	ΔH	a_2	L'	λ	$\lambda_{cp} = \Sigma \lambda_i / 10$	$\lambda_{cp} - \lambda_i$	$(\lambda_{cp} - \lambda_i)^2$
1	№ 1								
2									
....									
....									
....									
10									

1									
2									
....	№ 2								
....									
....									
10									

Расчет ошибок измерений

Абсолютная ошибка измерений рассчитывается из формулы:

$$\Delta\lambda' = \sqrt{\frac{\sum(\lambda_{\text{ср}} - \lambda_i)^2}{n(n-1)}}.$$

Т.к. проводится только 10 измерений, то при доверительной вероятности 0,95 полученное значение необходимо умножить на коэффициент Стьюдента 2,23.

Поэтому ошибка будет равна $\Delta\lambda = 2,23\Delta\lambda'$.

Относительная ошибка вычисляется по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_{\text{ср}}} 100\%$$

Результаты заносятся в таблицу 2.

Таблица 2.

фильтр	λ	ε

Литература:

1. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.: Наука, 1976.
2. Физпрактикум. / Под ред. Ивероновой В.И. – М.: Наука, 1968.
3. Годжаев Н.М. Оптика. – М.: Высшая школа, 1977.
4. Калитеевский Н.И. Волновая оптика. – М.: Наука, 1971.
5. Бутиков Е.И. Оптика. – М.: Высшая школа, 1986.