

Работа 1

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА В ОПТИЧЕСКОЙ СХЕМЕ С БИПРИЗМОЙ ФРЕНЕЛЯ

Цель работы: наблюдение явления интерференции света и определение длины волны света в оптической схеме с бипризмой Френеля.

Введение

Интерференцией называется сложение в пространстве двух или нескольких когерентных волн, при котором образуется постоянное во времени распределение амплитуды и, соответственно, энергии результирующих колебаний в различных точках пространства, так что в одних местах пространства возникают максимумы, а в других – минимумы интенсивности. Две волны называются когерентными, если в каждой точке их наложения разность фаз складываемых колебаний постоянна во времени.

Пусть две волны одинаковой частоты при наложении друг на друга, возбуждают в некоторой точке пространства колебания одинакового направления:

$$A_1 \cos(\omega t + \varphi_1), A_2 \cos(\omega t + \varphi_2).$$

Амплитуда результирующего колебания в данной точке определяется выражением

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos \Delta\varphi, \quad (1.1)$$

где $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$.

При разности фаз $\Delta\varphi = 0$ или кратной 2π (синфазные колебания) амплитуда A результирующего колебания в данной точке будет максимальна ($A = A_1 + A_2$). При $\Delta\varphi = \pi$ или равной нечетному числу π (колебания в противофазе) амплитуда минимальна ($A = |A_1 - A_2|$).

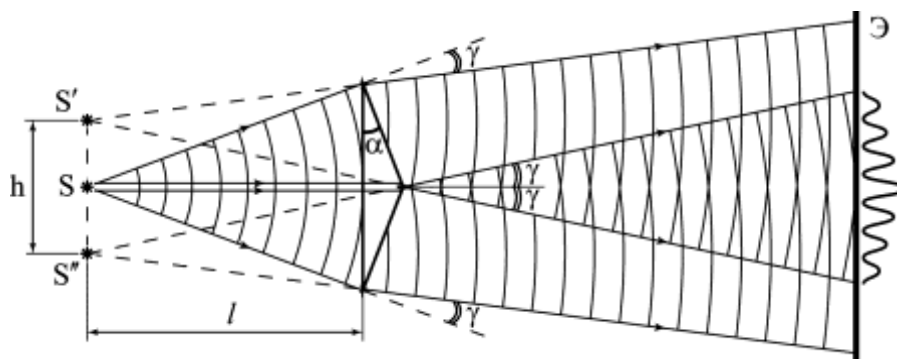


Рис. 1.1

Естественные источники света (солнце, лампы накаливания) состоят их множества атомов, которые, переходя из одного энергетического состояния в другое, излучают кванты или цуги волн, несогласованные по фазе. Поэтому независимые естественные источники света являются некогерентными. Для наблюдения интерференции когерентные пучки света могут быть получены делением первичного пучка, например на два, с последующим наложением их в определенной области пространства. Такое деление имеет место: при отражении от двух поверхностей пленок, в схемах с бизеркалами, бипризмами, двойной щелью.

Рассмотри один из таких методов реализуемый с помощью бипризмы Френеля. Бипризма Френеля – это сложенные своими большими основаниями две призмы с очень малым преломляющим углом α (рис. 1.1), изготовленные из одного куска стекла с показателем преломления n .

На рис. 1.1 указан ход лучей, падающих на каждую половину бипризмы от узкой щели S , расположенной параллельно ребру тупого угла бипризмы. При прохождении света через верхнюю и нижнюю половины бипризмы каждая элементарная световая волна расщепляется на две когерентные цилиндрические волны, как бы исходящих из двух щелей S' и S'' – мнимых изображений щели S . Если на пути этих волн поставить экран \mathcal{E} , то в зоне их перекрытия можно наблюдать интерференционную картину – систему чередующихся светлых и темных полос, параллельных щели S (справа на рисунке условно изображена освещенность разных точек экрана).

При $\alpha \ll 1$ все лучи отклоняются бипризмой на практически одинаковый угол $\gamma = \alpha(n-1)$, поэтому можно приближенно считать, что изображения S' и S'' находятся на том же расстоянии от бипризмы, что и источник S , а расстояние между S' и S''

$$h = 2l\alpha(n-1), \quad (1.2)$$

где l – расстояние от источника до бипризмы; α – преломляющий изображения S' и S'' угол бипризмы; n – ее показатель преломления.

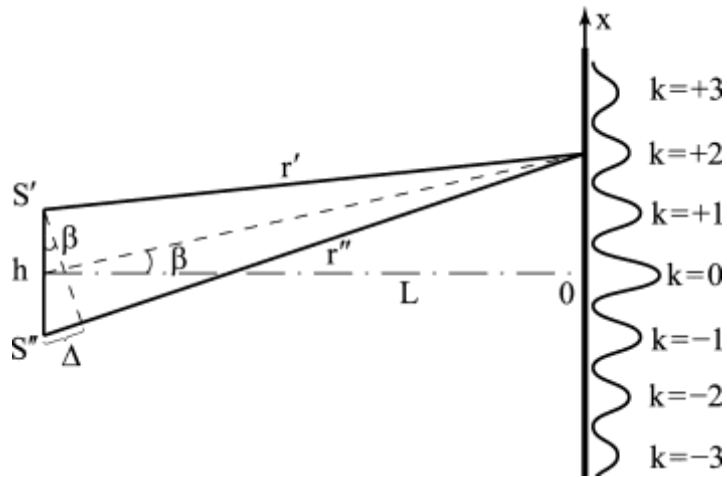


Рис.1.2

Найдем положения максимумов освещенности на экране. На рис. 1.2 указаны S' и S'' – изображения источника S в бипризме, их можно рассматривать как два источника когерентных волн, колебания которых происходят в одной фазе (синфазно). Освещенность в некоторой точке экрана с координатой x зависит от амплитуды результирующего колебания в данной точке (1.1), в частности от разности хода лучей $\Delta = r'' - r'$. Из рис. 1.2 видно, что $x/L = \text{tg } \beta$, $\Delta/h = \sin \beta$. Если угол β считать малым, то $\text{tg } \beta \approx \sin \beta$, поэтому $x/L = \Delta/h$, или

$$x = \Delta \frac{L}{h}. \quad (1.3)$$

Если оптическая разность хода Δ равна целому числу длин волн λ ,

$$\Delta = k\lambda \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (1.4)$$

то колебания от обоих источников приходят в точку на экране в фазе, и освещенность в этой точке будет максимальна. Если же Δ равно нечетному числу полуволен $\Delta = (k + 1/2)\lambda$, то колебания приходят в противофазе и освещенность в этой точке будет минимальна. При других значениях Δ освещенность будет иметь промежуточное значение.

Подставив в выражение (1.3) соотношение (1.4), получим выражение для координаты k -го максимума:

$$x_k = k\lambda \frac{L}{h}. \quad (1.5)$$

Расстояние между соседними максимумами (ширина интерференционной полосы)

$$\Delta x = x_{k+1} - x_k = \lambda \frac{L}{h}. \quad (1.6)$$

Таким образом, вычислив h по формуле (1.2), измерив L и Δx , из соотношения (1.6) можно определить длину волны света:

$$\lambda = \Delta x \frac{h}{L}, \quad (1.7)$$

где L – расстояние между щелью и плоскостью, в которой производится наблюдение интерференционной картины;

Методика выполнения эксперимента

Используемые в работе приборы с помощью рейтеров установлены на оптической скамье. Расположение приборов указано на оптической схеме рис. 1.3 (БП – блок питания лазера, Л – линза, Щ – щель, Б – бипризма Френеля, ОМ – окуляр-микроскоп). Источником света служит лазер малой мощности с длиной волны в диапазоне 0,63 – 0,68 мкм. Окуляр-микроскоп служит для измерения расстояния Δx между интерференционными максимумами, которые наблюдаются на экране, расположенном в его передней фокальной плоскости. Цена деления барабана окуляр-микроскопа равна 0,01 мм.

К приборам и принадлежностям относятся также компьютер с необходимым программным обеспечением и веб-камера, предназначенная для фиксации интерференционной картины на экране монитора.

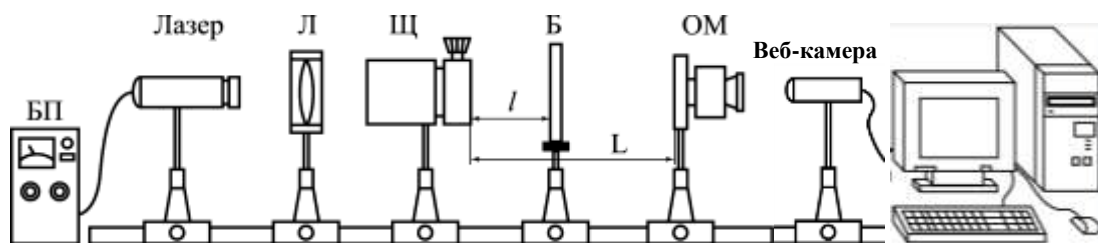


Рис.1.3

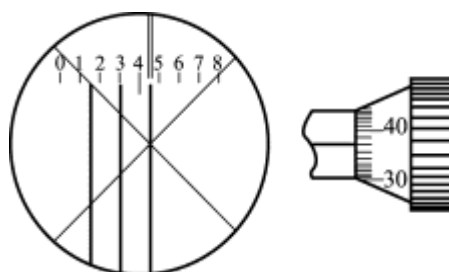


Рис.1.4

При снятии отсчетов с помощью окуляр-микроскопа наблюдатель видит на фоне полос интерференции оцифрованную миллиметровую шкалу, двойную черту и перекрестье.

Вращением барабана окуляр-микрометра необходимо совместить в его поле зрения двойную черту с центром одной из полос. Для определения координаты этой полосы следует использовать деления основной шкалы, определяемое положением двойного штриха, которое образует целую часть отсчета. На рис.1.4 это цифра 4, слева от двойной черты. Число делений по шкале барабана образует дробную часть отсчета (на рис. 1.4. это число равно 38). В итоге численное значение отчета оказывается равным $x_1 = 4,38$ мм.

Внимание: наблюдаемое на экране монитора изображение перевернуто.

Оптические элементы схемы отъюстированы, т.е. выставлены на одну высоту, все плоскости оптических элементов установлены параллельно, все вертикальные по отношению к оптической плите плоскости совпадают. В поле зрения окуляр-микрометра появляется система интерференционных полос. Измерения проводятся в монохроматическом красном свете лазера с длиной волны излучения $\lambda = 632,8$ нм (для гелий-неонового лазера) или $\lambda \approx 650$ нм (для полупроводникового лазера).

Порядок проведения эксперимента

1. Вращением барабана окуляр-микрометра совместите в его поле зрения двойную черту с центром одной из крайних полос справа. Определите координату этой полосы x_1 и запишите в таблицу 1.1.

2. Поворачивая барабан и одновременно отсчитывая число темных промежутков, переведите двойную черту на центр одной из полос слева (рекомендуемое число промежутков между измеряемыми полосами 5-7). Запишите измеренное число промежутков m и новую координату x_2 в табл. 1.1.

3. Повторите измерения по пп. 1 и 2 еще четыре раза.

Таблица 1.1

№ ИЗМ.	x_1 , мм	m	x_2 , мм	Δx , мкм	$\langle \Delta x \rangle \pm$ $\delta \langle \Delta x \rangle$, мкм	$L \pm \Delta L$, мм	$l \pm \Delta l$, мм	h , мкм	$\lambda \pm \Delta \lambda$, нм
1									
2									
3									
4									
5									

4. Измерьте расстояние от щели до бипризмы l и от щели до окуляр-микрометра L . Значения l и L запишите в таблицу. Укажите приборные погрешности измерений.

5. По измеренному расстоянию $|x_2 - x_1|$ рассчитайте расстояние между соседними интерференционными максимумами для каждого отдельного измерения $\Delta x = \frac{|x_2 - x_1|}{m}$, а также среднее расстояние $\langle \Delta x \rangle$.

6. Запишите под таблицей значение преломляющего угла $\alpha = 7,401 \cdot 10^{-3}$ рад бипризмы и показатель преломления стекла бипризмы $n = 1,52$. Рассчитайте по формуле (1.2) расстояние h между изображениями щели в бипризме.

7. Рассчитайте по формуле (1.7) длину волны излучения лазера.

8. Оцените погрешность результата $\Delta \lambda$, при этом относительная погрешность определения величины h принимается равной относительной погрешности измерения расстояния l :

$$\Delta \lambda = \lambda \sqrt{E_{\Delta x}^2 + E_h^2 + E_L^2} = \lambda \sqrt{E_{\Delta x}^2 + E_l^2 + E_L^2}.$$

Контрольные вопросы

1. В чем суть явления интерференции волн?
2. Какие волны называются когерентными?
3. Почему возникает интерференция света в области пространства за бипризмой Френеля?
4. При каком условии наблюдаются максимум, минимум освещенности в точке наложения двух когерентных световых волн?
5. Почему преломляющий угол бипризмы делают малым?
6. Что произойдет с интерференционной картиной, если приблизить бипризму к экрану? увеличить преломляющий угол?
7. Объясните, почему при наблюдении интерференционных полос в белом свете центральная полоса – белая, а боковые – окрашены?
8. Какая из картин интерференции будет шире, наблюдаемая в синем свете или в красном свете?