

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРА ПО ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ КАРТИНЕ ПОЛОС РАВНОГО НАКЛОНА

Цель работы – определение длины волны излучения гелий-неонового лазера с помощью интерференционной картины полос равного наклона и расчет порядка интерференции для центра картины.

Общие положения

Высокая степень когерентности (постоянство разности фаз) излучения лазера позволяет с его помощью наблюдать интерференционные полосы равного наклона при большой разности хода интерферирующих лучей (большая толщина плоскопараллельной пластины). Оптическая схема опыта представлена на рис. 1. Гелий-неоновый лазер 1 дает практически параллельный пучок лучей, который микрообъективом 2 собирается в точке его главного фокуса F' . Расходящийся из точки F' световой пучок освещает плоскопараллельную стеклянную пластину 3. Отраженные от передней и задней поверхностей пластины лучи дают картину интерференции на экране 4, совмещенном с задней фокальной плоскостью микрообъектива 2.

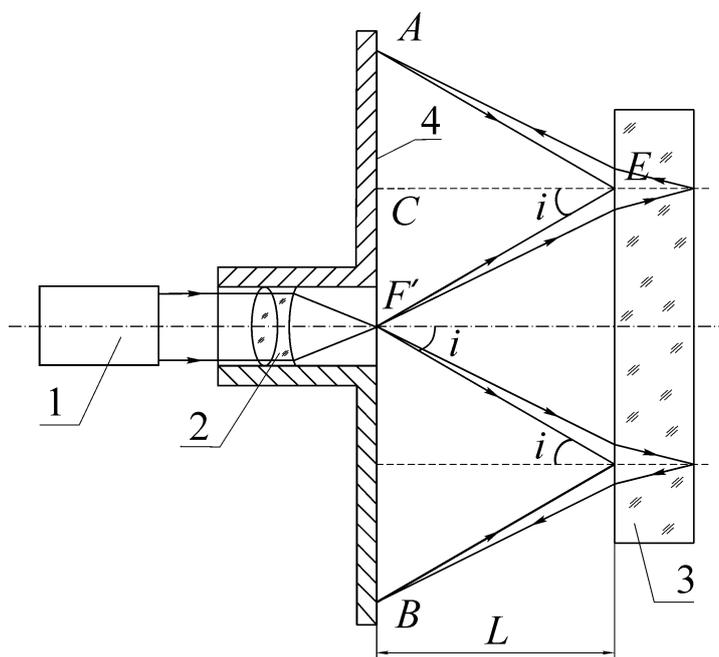


Рис. 1

Оптическая разность хода интерферирующих лучей для этого случая:

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2},$$

где d - толщина плоскопараллельной пластины;

n - показатель преломления стекла пластины; i - угол падения луча на пластину; $\frac{\lambda}{2}$ - потеря полуволны при отражении луча от оптически более плотной среды (в точке E).

Интерференционная картина при этом имеет вид концентрических темных и светлых колец. Каждое кольцо образовано интерферирующими лучами, которые имеют один и тот же угол падения на плоскопараллельную пластину. Отсюда следует и название картины – интерференционные полосы равного наклона.

Условие возникновения темного кольца (минимума интерференции) можно записать в виде $2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$ или, сократив на $\frac{\lambda}{2}$, получим:

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} = k\lambda, \quad (1)$$

где k - порядок интерференции и $k = 1, 2, \dots$.

Измеряя диаметры темных колец (AB на рисунке) на экране 4 и расстояние L от пластины до экрана, можно найти $\sin i$.

Запишем условие возникновения двух темных колец, различающихся по порядку интерференции на величину Δk (например, для первого и четвертого от центра картины колец $\Delta k = 3$):

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i_1} = (k + \Delta k)\lambda, \quad 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i_2} = k\lambda.$$

Вычитая одно уравнение из другого, получим:

$$2d(\sqrt{n^2 - \sin^2 i_1} - \sqrt{n^2 - \sin^2 i_2}) = \Delta k \cdot \lambda. \quad (2)$$

D В нашем случае углы падения лучей на пластину малы, поэтому $\sin i \approx \text{tg } i = \frac{D}{4L}$, где D – диаметр темного кольца.

Используя разложение корня в ряд и пренебрегая членами второго порядка малости, получаем:

$$\sqrt{n^2 - \sin^2 i} \approx \sqrt{n^2 - \frac{D^2}{16L^2}} \approx n - \frac{D^2}{32L^2 n}. \quad (3)$$

Тогда, $\frac{D_1^2}{32L^2 n} - n + \frac{D_2^2}{32L^2 n} = \Delta k \cdot \lambda$ (3) уравнение (2) принимает вид: . Отсюда получаем окончательную расчетную

формулу длины волны излучения лазера: $\lambda = \frac{D(D_2^2 - D_1^2)}{16L^2 \cdot n \cdot \Delta k}$. (4)

Порядок интерференции – величина, показывающая, сколько раз длина волны света укладывается в оптической разности хода.

В центре данной картины интерференции угол падения $i=0$, поэтому уравнение условия минимума принимает вид $2dn + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$ или $2dn = k\lambda$,

отсюда: $k = \frac{2dn}{\lambda}$. (5)

Последнее уравнение позволяет рассчитать порядок интерференции в центре интерференционной картины, если известны d , n и λ .

Порядок выполнения работы

1. Добиться четкого изображения картины колец на экране, регулируя высоту положения лазера и меняя положение пластины с помощью регулировочных винтов. Расстояние от экрана до пластины должно быть не менее 500 мм.

2. Наложить на экран лист бумаги с отверстием в центре листа (для пропускания излучения лазера) и обрисовать на нем подряд 6-8 темных интерференционных колец.

3. Измерить расстояние L от экрана до плоскопараллельной пластины с точностью не менее ± 5 мм.

4. Измерить диаметры зарисованных темных колец. Диаметры колец следует измерять с точностью не менее ± 1 мм. Выбрать из них три пары колец, отличающихся по порядку интерференции на 3.

5. Для каждой пары колец вычислить $(D_2^2 - D_1^2)$. Полученные разности квадратов диаметров для трех пар колец усреднить. Среднее значение разности квадратов для $\Delta k = 3$ использовать при расчете длины волны излучения лазера.

6. Рассчитать длину волны излучения лазера по формуле (4), используя известные значения толщины пластины и показателя преломления её стекла: $d \pm \Delta d = (8,07 \pm 0,01)$ мм; $n \pm \Delta n = 1,51 \pm 0,02$.

7. Вывести формулу погрешности для λ и рассчитать ошибку $\Delta \lambda$ для данного метода определения длины волны.

8. Рассчитать порядок интерференции k в центре картины по формуле (5). Вывести формулу погрешности для k и рассчитать ошибку определения порядка интерференции в работе.

Контрольные вопросы

1. В чем отличие понятий геометрической и оптической разности хода при интерференции?

2. Запишите условия возникновения темного и светлого интерференционных колец в данной работе.

3. Объясните, почему данная картина носит название полос равного наклона.

4. Как меняется порядок интерференции в картине, если идти от центра картины к её краю?

5. Как изменится вид интерференционной картины в данном опыте, если уменьшить длину волны источника?

6. Как изменится вид интерференционной картины в данном опыте, если уменьшить толщину пластинки?

7. Зачем в составе данной лабораторной установки нужен микробъектив?