

Лабораторная работа 3.03

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ВОЛНЫ МОНОХРОМАТИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА С ПОМОЩЬЮ КОЛЕЦ РАВНОГО НАКЛОНА

В.И. Рябенков, Е.В. Козис

Цель работы: изучение интерференции монохроматических волн оптического диапазона.

Задание: измерить диаметры нескольких темных колец в интерференционной картине, рассчитать длину волны монохроматического излучения.

Подготовка к выполнению лабораторной работы: изучить явление интерференции света (полосы равного наклона) применительно к лабораторной установке.

Библиографический список

1. Савельев И.В. Курс общей физики.- М.: Наука, 1982, 1988, т. 2, §§ 119-122.
2. Трофимова Т.И. Курс физики – М.: Высш. Шк. 2001 г, раздел 5, гл. 22, §174.

Контрольные вопросы.

1. Какие источники света называются когерентными?
2. Что такое «полосы равного наклона»?
3. Почему для получения интерференционной картины от толстых пластин требуется источник света с высокой монохроматичностью?
4. В каком случае происходит скачкообразное изменение фазы световой волны, падающей на границу раздела двух сред?
5. Напишите условие максимума и минимума интенсивности света при интерференции?
6. Почему наблюдаемая интерференционная картина состоит из чередующихся темных и светлых колец?
7. Почему не следует допускать прямого попадания луча лазера в глаз?

8. Почему в опыте используются пластинки с параллельными сторонами?
11. Что называется степенью монохроматичности?
10. Как изменится вид интерференционной картины, если за пластинкой будет находиться среда с показателем преломления большим, чем у пластинки?
12. Какова должна быть толщина стеклянной пластины, чтобы в центре картины наблюдалось темное пятно?
13. Каков будет вид интерференционной картины, если будет использована не плоскопараллельная пластина?

Теоретическое введение

Высокая степень монохроматичности когерентных источников излучения – лазеров - дает возможность наблюдать интерференцию световых волн при большой разности хода. При падении монохроматического расходящегося пучка света на плоскопараллельную пластинку происходит отражение от обеих поверхностей пластинки. В результате, возникают когерентные лучи, которые могут интерферировать с образованием максимумов и минимумов.

Рассмотрим два луча расходящегося пучка, падающего на пластинку толщиной b с показателем преломления n (рис.1). Образующиеся при отражении от нижней и верхней граней лучи 1 и 2 будут когерентными. Оптическая разность хода между ними равна

$$\Delta = n (AC + CB) - [(OD + OF) + \lambda/2], \quad (1)$$

где AC и CB - пути, пройденные лучом 1 в пластинке. Отрезки DO и OF - пути, пройденные лучом 2 в воздухе ($n_{\text{возд}} = 1$), а появление дополнительной разности хода $\lambda/2$ связано со скачкообразным изменением фазы луча 2 при отражении в точке O от оптически более плотной среды ($n > 1$). Прямые AD и FB проведены так, что геометрические длины путей лучей 1 и 2 от источника до точек A и D и от точек F и B до места, где лучи интерферируют на экране, одинаковы.

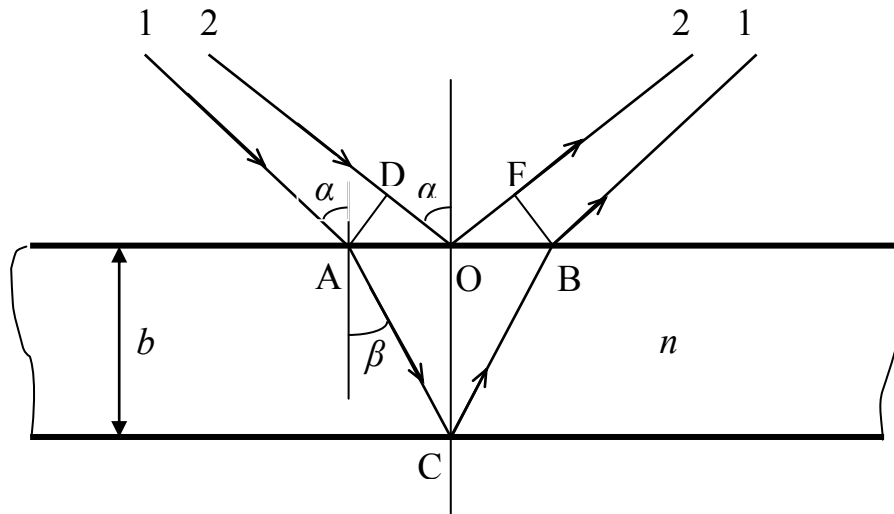


Рис. 1

Из рис. 1 видно, что $AC + CB = 2b/\cos\beta$. Поскольку, $\alpha_1 \approx \alpha_2 = \alpha$ (пучок слабо расходящийся) и угол $ADO \approx \pi/2$, $OD + OF = 2 OD = 2b \operatorname{tg}\beta \sin\alpha$. Используя закон преломления света $\sin\alpha = n \sin\beta$, получим выражение для разности хода в виде

$$\Delta = 2bn \cos \beta + \lambda/2. \quad (2)$$

Поскольку угол β неудобен для измерения (он находится внутри пластинки), заменим его углом падения α , используя равенство

$$n \cos \beta = \sqrt{n^2 - n^2 \sin^2 \beta} = \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}.$$

Тогда, оптическая разность хода может быть записана в виде

$$\Delta = 2b\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} - \lambda/2$$

и условие минимумов интерференционной картины для лучей 1 и 2 будет выглядеть как

$$2b\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} = m\lambda, \quad (3)$$

где m – целое число ($m = 1, 2, 3, \dots$).

Из (3) видно, что с ростом угла α порядок интерференции уменьшается, следовательно, при $\alpha \rightarrow 0$ (т.е. вблизи центра интерференционной картины) порядок m достигает максимума, равного m_0 , и условие минимума интерференции здесь можно записать как

$$2bn = m_0\lambda. \quad (4)$$

Для порядка интерференции удобно ввести величину $m = m_0 - k$, где k принимает значения 1, 2, 3, Тогда в этих обозначениях условие (3) запишется как

$$2b\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} = (m_0 - k)\lambda, \quad (5)$$

где $k = 1, 2, 3, \dots$ - номер кольца.

Рассмотрим теперь плоскопараллельную пластинку, освещенную расходящимся монохроматическим пучком света, полученным с помощью лазера Л и собирающей линзы СЛ (рис.2). Фокус линзы совпадает с плоскостью экрана.

Отраженные от передней и задней плоскостей пластинки П лучи интерферируют и образуют на экране Э систему концентрических темных и светлых колец (они называются «кольца равного наклона», т.к. образуются за счет лучей падающих на пластинку под одинаковым углом).

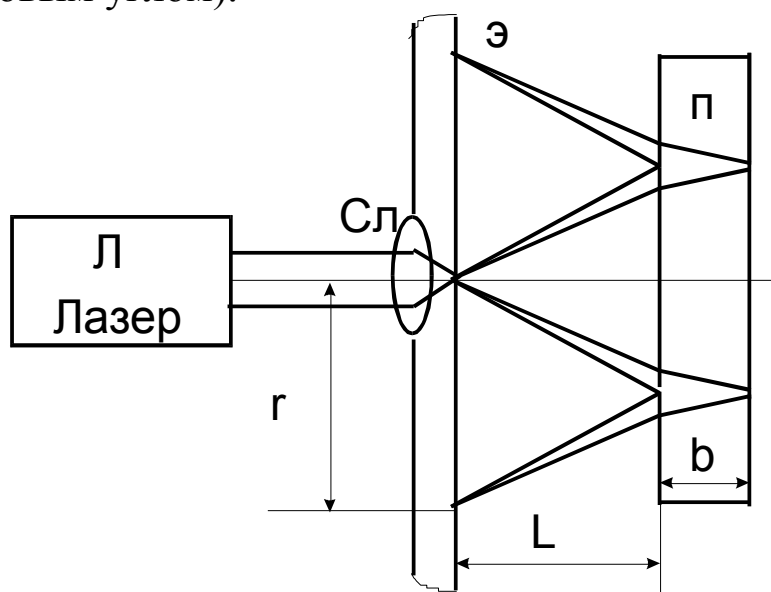


Рис. 2

Радиусы темных колец r_k легко вычислить в приближении малости величин b и r_k по сравнению с расстоянием L от экрана до пластинки (это условие заведомо осуществляется в нашем опыте). В этом случае $\alpha \ll 1$ и $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha = r_k/2L$.

Поделим левые и правые части выражений (5) и (4) друг на друга. Тогда получим

$$\frac{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}{n} = \sqrt{1 - \frac{1}{n^2} \sin^2 \alpha} = 1 - \frac{k}{m_0} = 1 - \frac{k\lambda}{2bn}. \quad (6)$$

Используя малость угла α , можно записать (оставляя первые два члена разложения в ряд Тейлора и заменив $\sin \alpha$ на $\operatorname{tg} \alpha$)

$$\sqrt{1 - \frac{1}{n^2} \sin^2 \alpha} \approx 1 - \frac{1}{2n^2} \operatorname{tg}^2 \alpha.$$

Подставив далее это выражение в (6) и заменив $\operatorname{tg} \alpha$ через $D_k/4L$ (из рис. 2 видно, что $\operatorname{tg} \alpha = r_k/2L$, а $r_k = D_k/2$), получим

$$D_k^2 / L^2 = 16kn\lambda / b. \quad (7)$$

Из этой формулы видно, что, если нам известны величины L , k , D_k , n и b , то можно определить длину волны излучения λ .

В действительности, мы не знаем точный номер кольца (т.к. не знаем, что наблюдается в центре интерференционной картины и сколько колец приходится на поверхность линзы), поэтому пользоваться формулой (7) не совсем корректно.

Перепишем (7) в виде

$$D_k^2 = 16kn\lambda L^2 / b = \alpha k \quad (8)$$

откуда видно, что если построить график зависимости D_k^2 от k , то он будет иметь вид прямой (прямая не обязательно должна проходить через начало координат), угловой коэффициент которой позволяет определить длину волны излучения λ .

Порядок выполнения работы

1. Ознакомившись с элементами и работой всех узлов установки, с помощью преподавателя включают газовый гелий-неоновый лазер.

Внимание! При работе с включенным лазером НЕЛЬЗЯ допускать прямого попадания луча лазера в глаз!

2. Выводят из лазерного луча света собирающую линзу СЛ и экран Э и ориентируют пластинку П перпендикулярно направлению луча так, чтобы отраженный от стеклянной пластинки луч попадал в центр выходного отверстия лазера. Измеряют толщину пластинки b .

3. Возвращают линзу СЛ и экран Э на место и тщательно центрируют. На экране при этом должна появиться система концентрических колец (темных и светлых), центр которых должен совпадать с центром отверстия в экране. Измеряют расстояние L от экрана до пластинки.
4. Производят измерение нескольких диаметров темных колец (не менее 10 разных колец) в двух взаимно перпендикулярных направлениях (I и II) и результаты заносят в протокол, оформленный в виде таблицы 1.

Таблица 1.

№№ колец	Направление		$(D_k)_{\text{ср}}$	$[(D_k)_{\text{ср}}]^2$
	I D_k мм	II D_k мм		
1				
2				
3				
.				
N				

$L = \dots$, $n = \dots$, $b = \dots$.

Обработка результатов измерений

1. Вычислить среднее значение диаметра $(D_k)_{\text{ср}}$ каждого темного кольца и его квадрата $(D_k)_{\text{ср}}^2$ и занести результаты в таблицу.
2. Для одного из колец выполнить расчет длины волны, используя формулу (7).
3. Построить график зависимости $(D_k)_{\text{ср}}^2$ от k . График, согласно (8), должен иметь вид прямой.
4. Пользуясь графиком, вычислить значение углового коэффициента этой прямой.
5. По известным значениям n , L , b и вычисленному угловому коэффициенту, рассчитать, используя формулу (8), длину волны света λ .
6. Определить относительную погрешность измерений длины волны λ по формуле

$$E = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta n}{n} + 2\frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta a}{a}.$$

7. Рассчитать абсолютную погрешность $\Delta\lambda$ и записать конечный результат в виде $\lambda \pm \Delta\lambda$.