

## Лабораторная работа № 18а

### Наблюдение интерференционных полос равного наклона и определение порядка интерференции

Высокая степень монохроматичности излучения лазера позволяет с его помощью осуществить наблюдение интерференционных полос равного наклона при большой разности хода и определить соответствующий им порядок интерференции.

Как и всегда, для наблюдения картины интерференционных полос равного наклона используется световой пучок с большой угловой апертурой, освещающий плоскопараллельный слой прозрачного вещества. Принципиальная схема опыта показана на рис. 1.

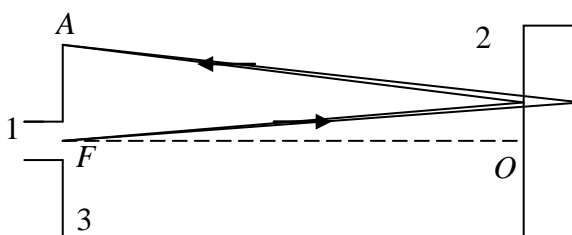


Рис. 1.

Микроскопический объектив 1 собирает параллельный световой пучок лазера в своем фокусе  $F$ . Расходящийся из  $F$  световой конус достигает плоскопараллельного стеклянного диска 2. Отраженные от передней и задней поверхностей диска световые пучки дают интерференционную картину концентрических колец на экране 3. Интерференционное условие минимума отраженного света для угла падения  $i$  запишется

$$2d\mu \cos r = m\lambda \quad (1)$$

где  $d$  – толщина пластины,  $\mu$  – показатель преломления стекла, а  $m$  – искомый порядок интерференции. Угол падения  $i$  света на пластинку связан с углом преломления  $r$  света внутри пластины условием  $\sin i / \sin r = \mu$  или, учитывая малость углов  $i$  и  $r$  в условиях опыта, соотношением  $i/r \approx \mu$ .

Обращаем внимание на то, что интерференционная картина полос равного наклона, локализованная вообще в бесконечности, наблюдается в данном случае непосредственно на удаленном экране, а не в фокальной плоскости некоторого наблюдательного объектива. На опыте можно измерить радиусы  $R_m = FA$  нескольких интерференционных колец на экране 3 и расстояние  $L = OF$  от плоскости экрана, проходящей через фокус объектива  $F$  до поверхности стеклянного диска 2 (рис. 1). Тогда

$$\operatorname{tg} i_m \approx i_m \approx \frac{R}{2L} \quad (2)$$

и, зная  $\mu$ , можно найти значение  $r_m$ . После этого, применив формулу (1) к нескольким измерениям, можно, исключив  $d$ , вычислить  $m_{\max}$ , т.е. максимальный порядок интерференции в условиях задачи.

Если диск ориентирован правильно, то на экране должна быть видна система концентрических светлых и темных интерференционных колец – полос равного наклона. Центр этой картины должен совпадать с оптической осью объектива, на тубус которого надет круглый экран. О правильном расположении интерференционных колец можно судит по совпадению одного из них с контурами одной из окружностей, начерченных на поверхности экрана. Если после включения лазера на экране не

получилось сразу центрированной интерференционной картины, то ее постепенно улучшают вращением кронштейна и упорного винта.

### Измерения.

Измерениям подлежат радиусы темных интерференционных колец  $R$  и расстояние  $L$  от плоскости экрана 3 (фокальной плоскости объектива микроскопа) до поверхности стеклянной пластины 2 (рис. 1).

Прежде всего, следует перенумеровать в журнале измерений номерами  $k_x = 0, 1, 2, 3, 4 \dots$  темные интерференционные кольца, подлежащие измерениям. Нулевой номер приписывается, например, первому видимому на экране темному интерференционному кольцу вблизи отверстия в экране. Следующие номера идут в возрастающей последовательности, в порядке увеличения радиусов темных колец. Правильная нумерация колец имеет решающее значение при последующей обработке результатов.

На опыте измеряются не радиусы колец, а их диаметры с помощью двух перпендикулярных шкал, нанесенных на поверхности экрана. Из среднего значения длин двух диаметров находят среднее значение радиусов темных интерференционных колец  $R_k$ .

Затем находят расстояние  $L = l + \Delta l_1 + \Delta l_2$  от плоскости экрана до наружной поверхности стеклянного диска, где  $l$  – расстояние от рейтера, несущего экран, до рейтера с пластинкой,  $\Delta l_1$  – отрезок между плоскостью стеклянной пластинки и отсчётной точкой рейтера,  $\Delta l_2$  – отрезок между плоскостью экрана и отсчётной точкой несущего рейтера.

### Обработка результатов измерений.

Прежде всего, пользуясь значениями  $R$  и  $L$ , находят по формуле (2) значение углов  $i$  для всех промеренных колец.

Дальнейшая обработка результатов производится на основании следующих соображений. Учитывая малые значения углов  $i$  и  $r$ , имеем

$$2d\mu \cos r = 2d\mu \left( 1 - \frac{r^2}{2} \right)$$

откуда, принимая во внимание, что  $m_{\max} = 2d\mu/\lambda$ , находим

$$r_m^2 = \frac{2(m_{\max} - m)}{m_{\max}}$$

или

$$i_m^2 = \frac{2\mu^2(m_{\max} - m)}{m_{\max}} = \frac{2\mu^2 k}{m_{\max}} \quad (3)$$

где  $k = m_{\max} - m$ . Надо заметить, что величина  $2d\mu/\lambda$  не обязательно будет целым числом, или, другими словами, в центре интерференционной картины, где  $r = 0$ , не обязательно будет темное пятно. Однако при больших значениях  $m$  в условиях данной задачи мы пренебрегаем дробной долей числа  $m$ .

Из (3) видно, что  $i_m^2$  должно быть линейной функцией  $k$ . Однако, мы не знаем истинного значения  $k$ .

В самом деле, центральная часть кольцевой интерференционной картины не видна, так как в центре экрана сделано отверстие для объектива и не известно, сколько интерференционных колец в нем укладывается. Поэтому мы можем вести счет

интерференционных колец только с первого видимого кольца или с какого-то другого видимого кольца. Припишем номер 0 произвольному видимому на экране кольцу и начнем счет от него, в порядке увеличения радиусов колец. Пусть какое-то кольцо имеет условный номер  $k_x$ , тогда как для этого кольца истинное значение  $k = k_0 + k_x$ , где  $k_0$  – число неучтенных темных интерференционных колец между центром интерференционной картины и условным нулевым кольцом. Тогда выражение (3) переписывается так

$$i_m^2 = \frac{2\mu^2 k_0}{m_{\max}} + \frac{2\mu^2 k_x}{m_{\max}} \quad (4)$$

и  $i_m^2$  оказывается линейной функцией  $k_x$ .

График зависимости  $i_m^2$  от  $k_x$  будет выглядеть как показано на рис. 2

Из этого графика ясно как можно найти значение  $k_0$ . Именно экстраполируя до оси абсцисс прямую, заданную уравнением (4), мы можем утверждать, что  $k_0$  будет численно равно длине отрезка  $OA$ , выраженной в масштабе единиц, принятых для изображения чисел  $k$ , на оси абсцисс. Далее тот же график поясняет, что производная от  $i_m^2$ , взятая по  $k_x$ , дает возможность найти  $m_{\max}$ . В самом деле,

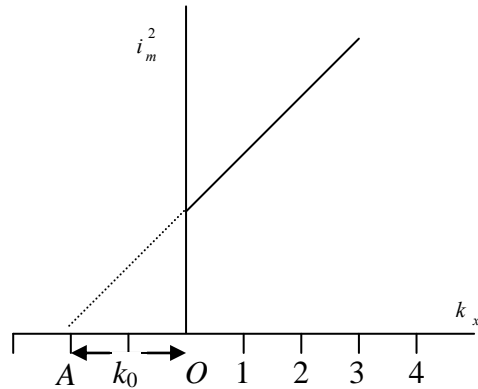


Рис. 2

$$\frac{di_m^2}{dk_x} = \frac{2\mu^2}{m_{\max}} \quad \text{или} \quad m_{\max} = \frac{2\mu^2}{di_m^2/dk_x} \quad (5)$$

Построим по экспериментальным данным зависимость  $i_m^2$  от  $k_x$ . Полученные экспериментальные точки должны укладываться на прямую, которую и надо провести по ним, пользуясь методом наименьших квадратов. До построения графика надо разумно выбрать масштабы по обеим осям координат, чтобы получившаяся прямая составляла приблизительно угол в  $45^\circ$  с осями координат так, как это делается всегда при графическом изображении линейных функциональных зависимостей.

По графику построенной экспериментальной прямой, ее экстраполяцией до оси абсцисс находим  $k_0$ .

Для отыскания значения  $m_x$  заменим производную  $i_m^2$  по  $k_x$  отношением конечных приращений этих величин  $\Delta$ . Учитывая численные значения масштабов, использованных на осях координат для величин  $i_m^2$  и  $k_x$ , имеем

$$m_{\max} = \frac{2\mu^2}{\Delta i_m^2 / \Delta k_x} \quad (6)$$

После этого, зная  $k_0$ , оцениваем истинные значения порядков интерференции  $m = m_{\max} - k_0 - k_x$  всех промеренных интерференционных колец. Значение показателя преломления  $\mu$  стекла, из которого сделан диск, равно 1,511. Толщина стеклянного диска 15,87 мм.