

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3.3

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3.3

### КОЛЬЦА НЬЮТОНА

*Цель работы:* наблюдение интерференционной картины (колец Ньютона) и экспериментальное определение радиуса кривизны линзы.

*Приборы и принадлежности:* светодиоды, микроскоп с опак-иллюминатором, столик для крепления линз с отсчетным устройством, набор линз.

#### ВВЕДЕНИЕ

Наложив плоско-выпуклую линзу на отшлифованную стеклянную пластинку, можно наблюдать интерференционную картину в виде концентрических колец, называемых кольцами Ньютона. Радиусы колец можно связать с параметрами интерференционной схемы. Действительно, если свет падает нормально к поверхности стеклянной пластинки, то оптическая разность хода  $\Delta$  между лучом, отраженным от сферической поверхности в точке (рис. 3.3.1), и лучом, прошедшим точку после отражения его от пластинки, определяется выражением

$$D = 2h_k + \frac{\lambda}{2}, \quad (1)$$

где  $h_k$  — толщина воздушного зазора в данном месте (рекомендуется подумать о причины появления добавочной разности хода в  $1/2$  длины волны).

При условии  $R \gg h_k$  квадрат радиуса кольца с номером  $k$  равен

$$r_k^2 = 2Rh_k. \quad (2)$$

Для темного кольца с номером  $k$  (интерференционный минимум  $k$ -го порядка) оптическая разность хода в точке равна

$$\Delta = (2k - 1)\lambda/2; \quad k = 1, 2, \dots \quad (3)$$

Из уравнений (1), (2) и (3) можно получить формулу для определения радиуса кривизны линзы:

$$R = \frac{r_k^2 - r_i^2}{(k - i)\lambda} = \frac{d_k^2 - d_i^2}{4(k - i)\lambda}, \quad (4)$$

где  $k$  и  $i$  — порядковые номера темных колец в отраженном свете, считая от центра (для центрального темного пятна  $k = 1$ ),  $d_k$  и  $d_i$  — диаметры колец.

#### ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Установка для наблюдения и измерения колец Ньютона собрана на базе микроскопа, предметный столик которого заменен специальным столиком для крепления и перемещения

линзы и пластинки (рис. 3.3.2). Исследуемая линза 1 вставлена в подвижную круглую оправу 5. Изменяя с помощью винтов 3 высоту этой оправы над столиком 6, можно добиться того, чтобы исследуемая линза коснулась укрепленной на столике пластинки черного стекла (использование черного стекла устраняет ненужное отражение света от нижней стороны пластинки). Необходимое для измерений перемещение столика осуществляется с помощью винта 4. Величина этого перемещения отсчитывается по шкале индикатора часового типа 7 с точностью до 0,01 мм. Небольшое смещение столика в поперечном направлении (для точной наводки микроскопа на центр интерференционной картины) достигается с помощью винтов 2. Фотографии столика микроскопа с указанными элементами приведены на рис. 3.3.3.

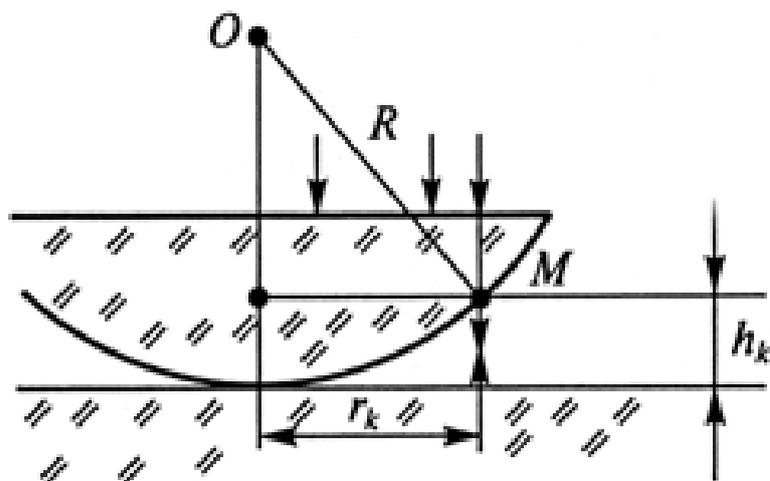


Рис. 3.3.1

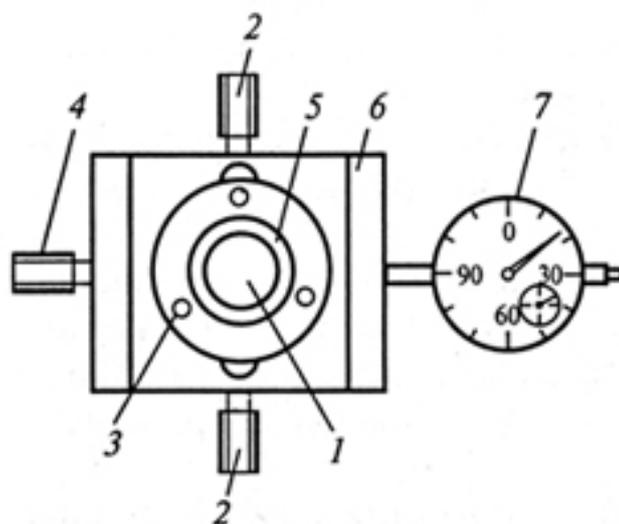


Рис. 3.3.2



Картину колец Ньютона наблюдают в отраженном свете. Для этого используют так называемый опак-иллюминатор – полупрозрачную стеклянную пластинку, укрепленную в тубусе микроскопа.

Устройство опак-иллюминатора схематически изображено на рисунке 3.3.4. Световой пучок от осветителя 1 (светодиода) падает на тонкую полупрозрачную стеклянную пластинку 2, помещающуюся между окуляром и объективом микроскопа под углом  $45^\circ$  как к направлению падения света, так и к направлению оптической оси микроскопа (последние два направления взаимно перпендикулярны). Отразившись вниз от пластинки, световой пучок нормально падает на систему "линза – пластинка" и снова отражается, вторично проходит сквозь объектив и, попадая на полупрозрачную пластинку, снова разделяется: часть отражается от пластинки в направлении осветителя, часть же, пройдя сквозь пластинку, проходит через окуляр в глаз наблюдателя, обеспечивая возможность наблюдения интерференционной картины в поле зрения окуляра микроскопа.

Фотография микроскопа с вставленным в окошко иллюминатора осветителем приведена на рис. 3.3.5.

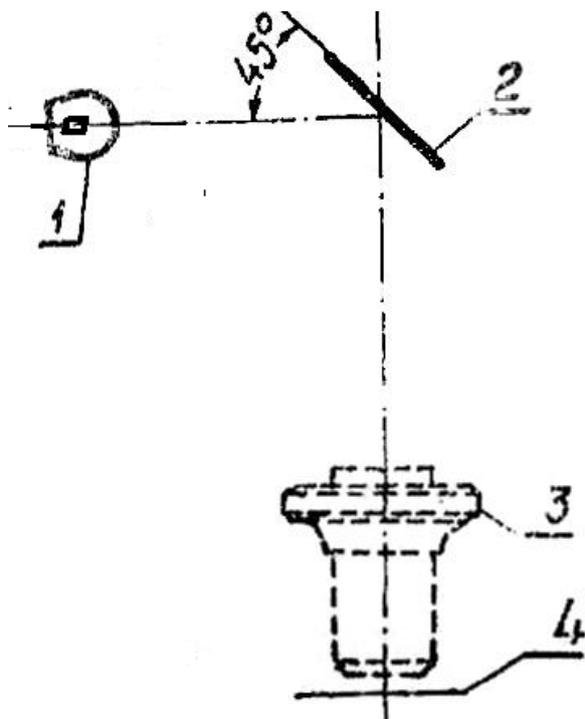
В фокальной плоскости глазной линзы окуляра помещается крест нитей, позволяющий определить смещение определенной точки картины относительно оптической оси микроскопа.

## ИЗМЕРЕНИЯ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Необходимым условием правильных измерений является получение достаточно яркой и контрастной интерференционной картины. Последовательность операций для получения картины такова:

1. Выбирают светодиод (фото на рис. 3.3.6) и вставляют его в окошко опак-иллюминатора.
2. Поднимают тубус микроскопа и, подняв винтами круглую оправу (см. рис. 3.3.2) над столиком, осторожно вставляют в нее исследуемую линзу.

Вращая винты 3, опускают оправу так, чтобы линза коснулась черной стеклянной пла-



стинки (в этот момент в точке соприкосновения линзы с пластинкой можно разглядеть маленькое черное пятнышко – центральный минимум интерференционной картины).

- Опустив тубус микроскопа так, чтобы объектив находился примерно в 5 мм над линзой, осторожно (медленно!) поднимают тубус до появления в поле зрения интерференционных полос. Заметив полосы, перемещают столик винтами 2 и 4, добиваясь симметричного расположения картины относительно креста нитей. Резкость картины корректируют микрометрическим винтом настройки микроскопа.

**Внимание!** Пункты 2 и 3 выполняет инженер при подготовке установки к работе. Чтобы не нарушить настройку, вам не следует трогать винты 2 и 3. Для перемещения столика используйте только винт 4.

Проверив, что при перемещении столика можно наблюдать достаточное число интерференционных колец как слева, так и справа от центра (их количество зависит от степени монохроматичности источника света), приступают к измерениям радиусов колец. Для уменьшения относительной ошибки измерений рекомендуется измерять диаметры колец, выбирая кольца достаточно больших номеров (не менее 5-го), например:  $k = 10$ ,  $i = 8$ .

### Задание 1. Определение радиуса кривизны линзы.

Измерьте диаметры трех достаточно далеко отстоящих друг от друга колец (например, 5-го, 10-го и 15-го). С помощью выражения (4) вычислите три значения радиуса кривизны линзы  $R$ , используя разные пары номеров колец (например,  $k = 10$ ,  $i = 5$ , и  $k = 15$ ,  $i = 5$ , и  $k = 15$ ,  $i = 10$ ). Найдите среднее значение радиуса кривизны. Значение длины волны

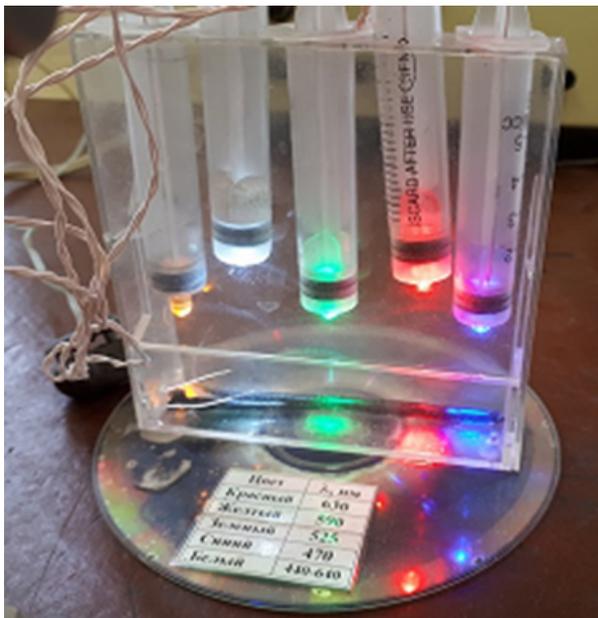


Рис. 3.3.6

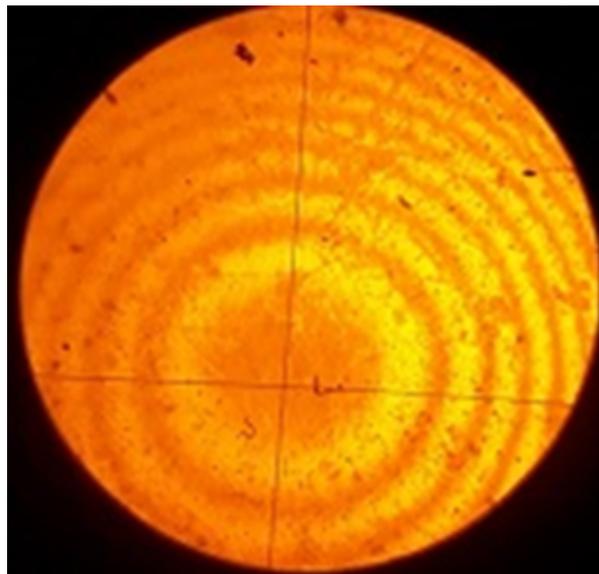


Рис. 3.3.7

используемого света указано на держателе светодиодов (для красного светодиода  $\lambda = 630$  нм, для желтого  $\lambda = 590$  нм). Сменив светофильтр, повторите всю серию измерений для нового значения длины волны. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу. Оценив погрешности измерения радиуса колец, вычислите погрешность измерения радиуса кривизны линзы.

Номер кольца	$d$ , мм (кр.)	$R_{ki}$ , мм (кр.)	$d$ , мм (жёлт.)	$R_{ki}$ , мм (жёлт.)	$R_{ср}$ , мм
5					
10					
15					

Таблица 1

### Задание 2. Определение степени монохроматичности источников.

Посчитайте максимальное количество колец для всех предложенных источников. Полученные данные внесите в таблицу 2. Вспомните, как максимальный порядок интерференции связан со степенью монохроматичности источника  $\lambda/\Delta\lambda$ .

Цвет светодиода	Длина волны $\lambda$ , нм	Кол-во колец	$\lambda/\Delta\lambda$
Красный			
Желтый			
Зеленый			
Синий			
Белый			

Таблица 2

## ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Нарисуйте лучи, отраженные от поверхностей линзы и пластины. Какие из этих лучей создают интерференционную картину и почему не все лучи участвуют в ее создании?
2. Где локализованы полосы равной толщины и где – полосы равного наклона? Цветные пятна от бензина на лужах – это какой тип интерференции в тонких плёнках?
3. Сравните интенсивность интерферирующих пучков света для случаев наблюдения в проходящем и отраженном свете. В каком из случаев картина более контрастна? Чем еще будет отличаться картина колец Ньютона, наблюдаемая в проходящем свете, от картины, наблюдаемой в отраженном свете?
4. Что будет наблюдаться, если линзу слегка поднять над пластинкой?
5. Можно ли при наблюдении колец Ньютона пользоваться достаточно протяженными источниками света?
6. Выведите формулу (4). Объясните, почему мы не вычисляем радиус кривизны линзы по значению радиуса одного отдельно взятого кольца.