

# Кольца Ньютона (4.2.1)

Мотыгуллин Булат

**Цель работы:** Познакомиться с явлением интерференции в тонких плёнках (полосы равной толщины) на примере колец Ньютона и с методикой интерференционных измерений кривизны стеклянной поверхности.

**В работе используются:** Измерительный микроскоп с опак-иллюминатором, плоско-выпуклая линза; пластинка из чёрного стекла, ртутная лампа типа ДРШ, щель, линзы, призма прямого зрения, объектная шкала.

## Теоретические сведения

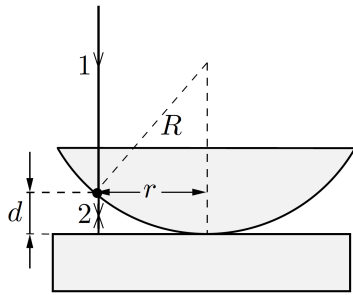


Рис. 1: Экспериментальная установка

Этот классический опыт используется для определения радиуса кривизны сферических поверхностей линз. В этом опыте наблюдается интерференция волн, отражённых от границ тонкой воздушной прослойки, образованной сферической поверхностью линзы и плоской стеклянной пластиной. При нормальном падении света (рис. 1) интерференционные полосы локализованы на сферической поверхности и являются полосами равной толщины.

Геометрическая разность хода между интерферирующими лучами равна удвоенной толщине воздушного зазора  $2d$  в данном месте. Для точки на сферической поверхности, находящейся на расстоянии  $r$  от оси системы, имеем  $r^2 = R^2 - (R - d)^2 = 2Rd - d^2$ , где  $R$  — радиус кривизны сферической поверхности (рис. 1).

При  $R \gg d$  получим  $d = r^2/2R$ . С учётом изменения фазы на  $\pi$  при отражении волны от оптически более плотной среды (на границе воздух-стекло) получим **оптическую разность хода интерферирующих лучей:**

$$\Delta = \frac{\lambda}{2} + 2d = \frac{r^2}{2R} + \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

Из условия интерференционного минимума  $\Delta = \frac{(2m+1)\lambda}{2}$ ,  $m = 0, 1, 2, \dots$  получим радиусы темных колец  $r_m$ , а из аналогичного условия максимума  $\Delta = m\lambda$  радиусы светлых  $r'_m$ :

$$r_m = \sqrt{m\lambda R}, \quad r'_m = \sqrt{\frac{(2m-1)\lambda R}{2}} \quad (2)$$

## Экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 2. Опыт выполняется с помощью измерительного микроскопа. На столике микроскопа помещается держатель с пластинкой чёрного стекла. На пластинке лежит исследуемая линза. Источником света служит ртутная лампа, находящаяся в защитном кожухе. Для получения монохроматического света применяется призмный монохроматор, состоящий из конденсора  $K$ , коллиматора (щель  $S$  и объектив  $O$ ) и призмы прямого зрения  $\Pi$ . Эти устройства с помощью рейтеров располагаются на оптической скамье. Свет от монохроматора попадает на opak-иллюминатор (ОИ), расположенный между окуляром и объективом микроскопа – специальное устройство для освещения объекта при работе в отражённом свете. Внутри opak-иллюминатора находится полупрозрачная пластинка  $P$ , наклоненная под углом  $45^\circ$  к оптической оси микроскопа. Свет частично отражается от этой пластинки, проходит через объектив микроскопа и попадает на исследуемый объект. Пластинка может поворачиваться вокруг горизонтальной оси  $x$ , а opak-иллюминатор – вокруг вертикальной оси.

Столик микроскопа может перемещаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях с помощью винтов препаратопроводителя. Отсчетный крест окулярной шкалы перемещается перпендикулярно оптической оси микроскопа с помощью микрометрического винта. Оптическая схема монохроматора позволяет получить в плоскости входного окна opak-иллюминатора достаточно хорошо разделённые линии спектра ртутной лампы. Изображение щели  $S$  фокусируется на поверхность линзы объектива микроскопа, и в том же месте находится плоскость наблюдения микроскопа, т.е. точка источника и точка наблюдения интерференции совпадают. Картина интерференции как и в случае расположения пластинки сверху, так и в данном случае не зависит от коэффициента преломления линзы и определяется величиной зазора между нижней поверхностью линзы и стеклянной пластинкой. Рекомендуется сначала настроить микроскоп на кольца Ньютона в белом свете (свете ртутной лампы), а затем после выделения монохроматором зелёной линии провести измерения в монохроматическом свете.

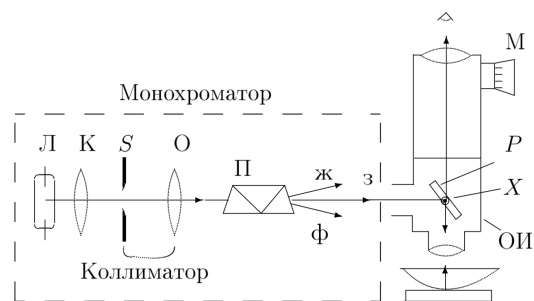


Рис. 2: Экспериментальная установка

# Ход работы

## Измерение радиуса кривизны линзы

Полученные данные приведены в таблице 1.

$m$	$r_m$ , МКМ	$r'_m$ , МКМ
1	87.2	61.9
2	120.8	106.9
3	148.7	135.5
4	3,51	160.1
5	171.3	180.8
6	209.5	200.1
7	223.2	217.9

Таблица 1: Радиусы тёмных и светлых колец

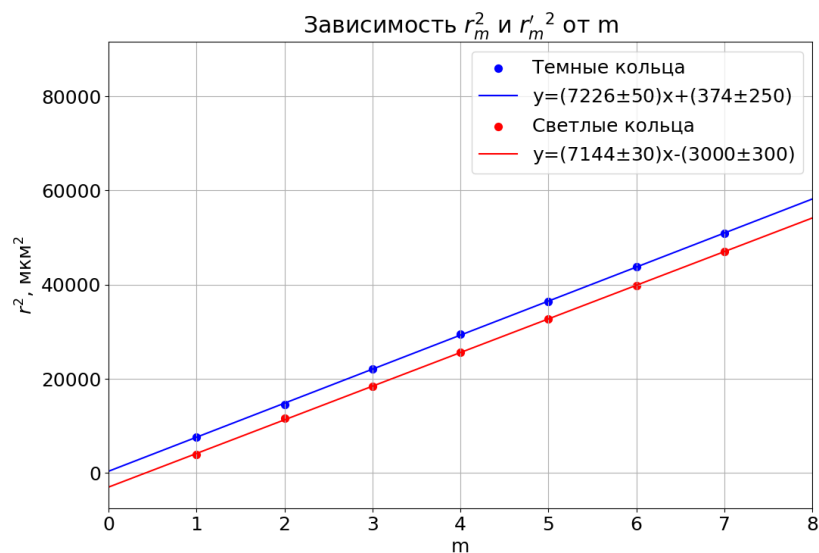


Рис. 3: Линеаризованные графики радиусов колец

Как видим, наклоны прямых практически равны, поэтому для простоты возьмем среднее значение  $(7185 \pm 40)$  МКМ<sup>2</sup>. Согласно формулам (1) и (2) наклоны прямых равны  $\lambda \cdot R$ . Длины волн компонент желтого дуплета ртутной лампы  $577 \pm 10$  нм. Отсюда можем найти радиус кривизны линзы

$$R = (1.25 \pm 0.02) \text{ см} \quad (3)$$

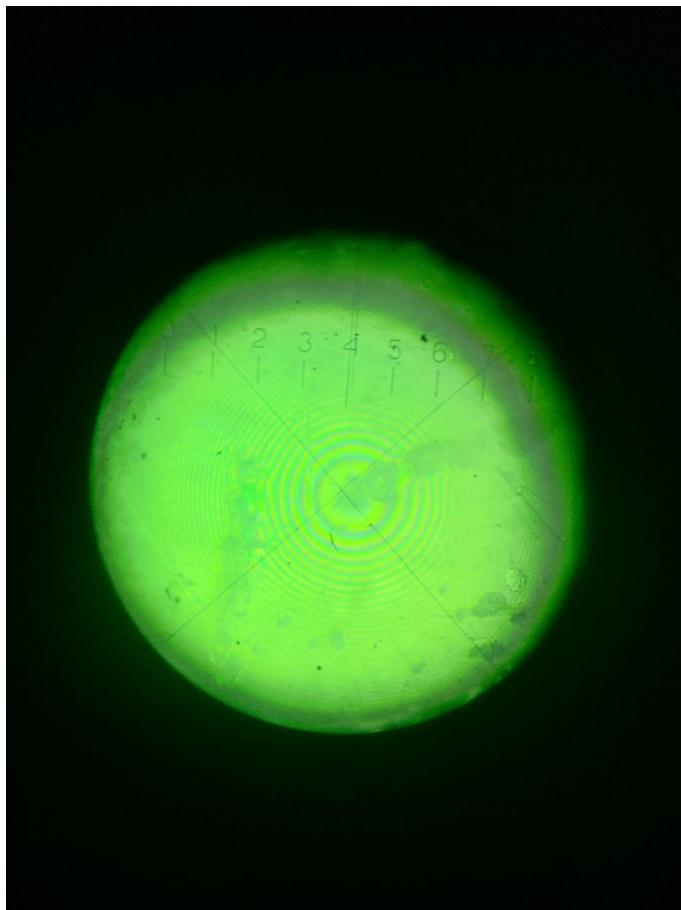


Рис. 4: Кольца Ньютона

## Биения

При пропускании света с двумя компонентами монохроматичности возникают биения вследствие наложения двух систем колец. Когда максимумы одной системы ложатся на минимумы другой системы, четкость картинка теряется. Период границ четкости (в кольцах) приблизительно равен  $\Delta m = \lambda / \Delta \lambda$ . Визуальными измерениями получили период границ четкости в 18 полос.  $\lambda \approx 577 \text{ нм} \Rightarrow \Delta \lambda \approx 32 \text{ нм}$ . Из данных про спектр ртутной лампы имеем  $\lambda_1 = 577 \text{ нм}$ ,  $\lambda_2 = 546 \text{ нм}$ ,  $\Delta \lambda = 33 \text{ нм}$ .

## Выводы

Успешно пронаблюдали кольца Ньютона, которые появляются вследствие многолучевой интерференции в зазоре между линзой и черным стеклом. Радиусы светлых и темных колец с хорошей точностью описываются теоретической формулой.

Пронаблюдали биения интерференционной картины вследствие немонохроматичности света. Оценка разности длин волн спектральных компонент в световой смеси достаточно близко к табличным значениям, однако это ни о чем не говорит, потому что оценка строится на не совсем точных принципах, а погрешность измерения границ четкости сильно большая из-за незоркого зрения наблюдателя.