

Кольца Ньютона (4.2.1)

Манро Эйден

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

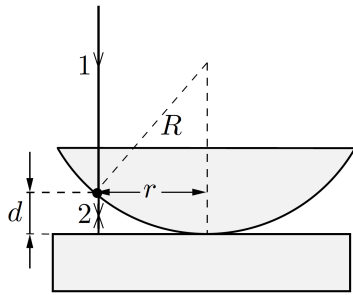


Рис. 1: Экспериментальная установка

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 π 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 Π . 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° 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.

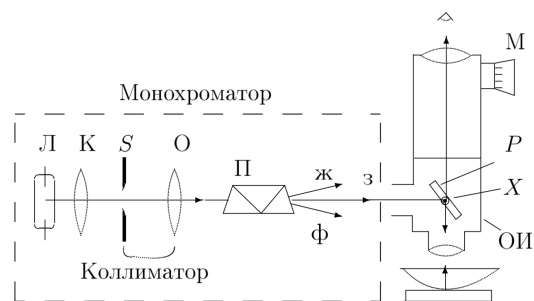


Рис. 2: Экспериментальная установка

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

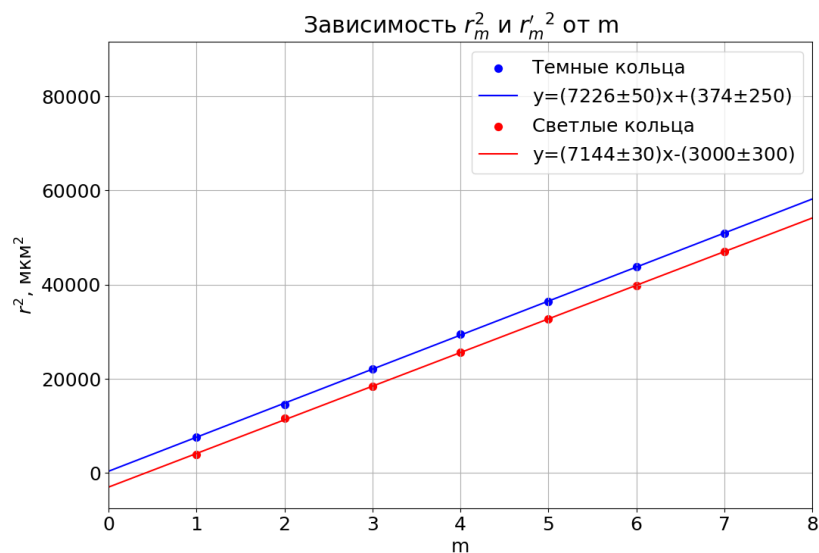


Рис. 3: Линеаризованные графики радиусов колец

Как видим, наклоны прямых практически равны, поэтому для простоты возьмем среднее значение (7185 ± 40) мкм². Согласно формулам (1) и (2) наклоны прямых равны $\lambda \cdot R$. Длины волн компонент желтого дуплета ртутной лампы 577 ± 10 нм. Отсюда можем найти радиус кривизны линзы

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

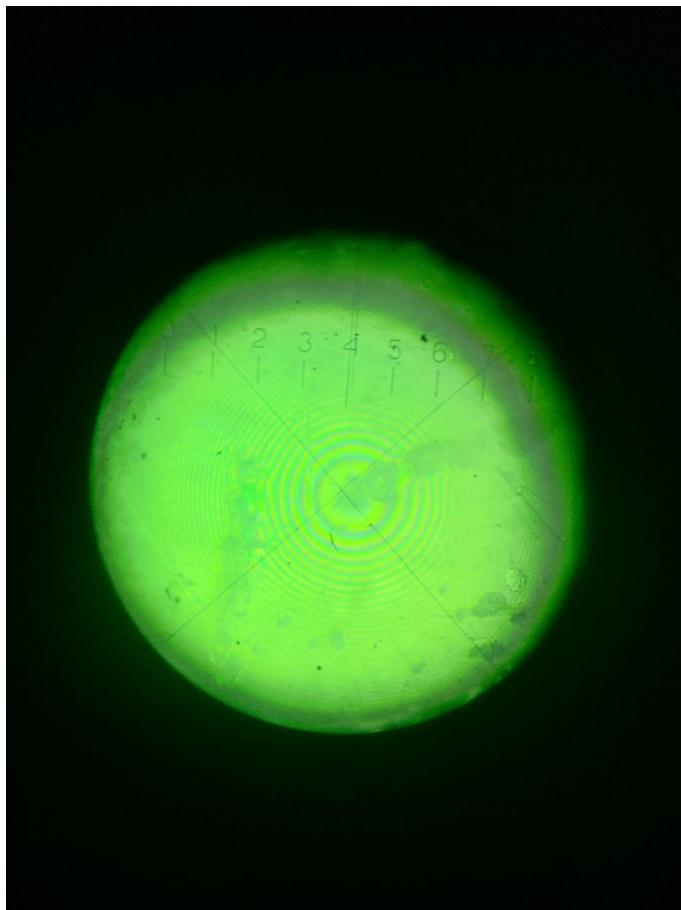


Рис. 4: Кольца Ньютона

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.