

Московский физико-технический институт
(государственный университет)
Факультет общей и прикладной физики

Лабораторная работа № 4.2.1
(Общая физика: оптика)

Кольца Ньютона

Работу выполнил:
Иванов Кирилл, 625 группа

г. Долгопрудный
2018 год

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

Оборудование: измерительный микроскоп с опак-иллюминатором, плоско-выпуклая линза; пластинка из чёрного стекла, ртутная лампа типа ДРШ, щель, линзы, призма прямого зрения, объектная шкала.

1. Теоретическое введение

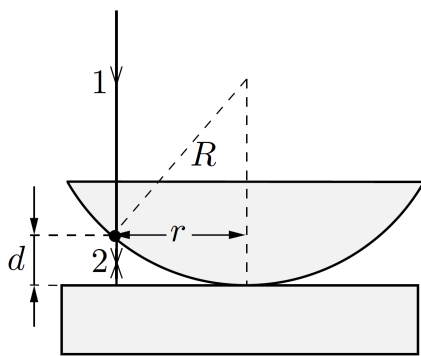


Рис. 1: Экспериментальная установка

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**:

$$\Delta = \frac{\lambda}{2} + 2d = \frac{r^2}{2R} + \frac{\lambda}{2}$$

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 :

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

2. Экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 2. Опыт выполняется с помощью измерительного микроскопа. На столик микроскопа помещается держатель с полированной пластинкой из 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 К, коллиматора (щель S и объектив О) и призмы прямого зрения П. Эти устройства с помощью рейтеров располагаются на оптической скамье. Свет от монохроматора попадает на расположенный между объективом и окуляром микроскопа опак-иллюминатор (ОИ) специальное устройство, служащее для освещения объекта при работе в отражённом свете. Внутри опак-иллюминатора находится полупрозрачная стеклянная 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 , опак-иллюминатор вокруг вертикальной оси.

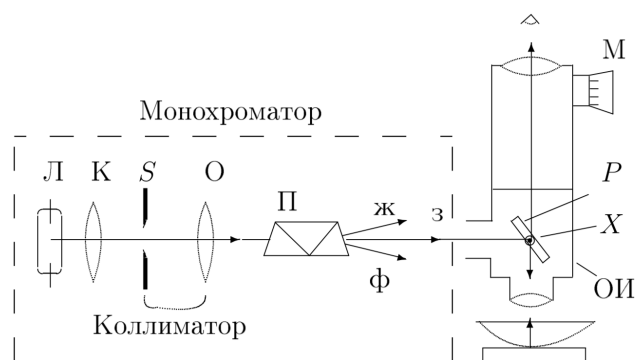


Рис. 2: Экспериментальная установка

Столик микроскопа может перемещаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях помощью винтов препаратопроводителя. Отсчетный крест окулярной шкалы перемещается перпендикулярно оптической оси с помощью микрометрического винта М.

Оптическая схема монохроматора позволяет получить в плоскости входного окна опак-иллюминатора достаточно хорошо разделённые линии спектра ртутной лампы. Изображение щели S фокусируется на поверхность линзы объективом микроскопа, т.е. точка источника и точка наблюдения спектра совпадают. Интерференционная картина не зависит от показателя преломления линзы и определяется величиной зазора между линзой и пластинкой (кольца равной толщины).

Сначала микроскоп настраивается на кольца Ньютона в белом свете (свете ртутной лампы), затем при помощи монохроматора выделить из спектра яркую зелёную линию и провести измерения диаметров колец в монохроматическом свете.

3. Ход работы

После настройки микроскопа проведем измерения диаметров колец Ньютона. Измерения будем проводить в безразмерных единицах окулярной шкалы, переведённых затем в реальную величину с помощью калиброванной объектной шкалы.

Оценим систематическую погрешность измерения величин на окуляре как $\sigma_l = 0,02$ (из-за цены деления).

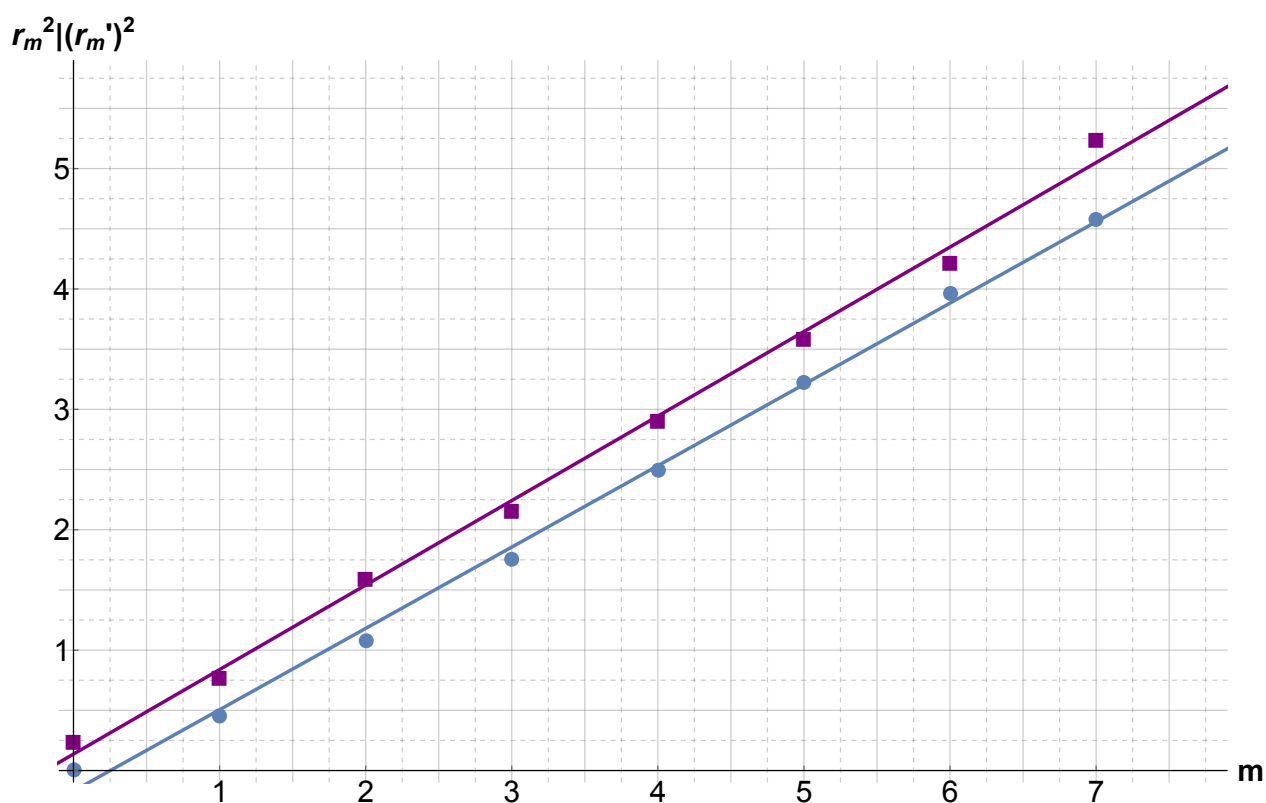
С помощью призмы разобьем свет ртутной лампы на зеленый ($\lambda_z = 546$ нм) и желтый ($\lambda_{ж} = 578$ нм).

Будем последовательно измерять расстояния l_1 от верхнего края 6-ого «набора» колец до нуля до центра, затем аналогично будем измерять расстояния l_2 от нижнего края до нуля. Результаты занесем в таблицу.

Построим график зависимости радиусов колец от их номера.

Таблица 1: Измерение диаметров колец Ньютона

| m | Темные кольца | | | Светлые кольца | | |
|---|---------------|-------|---------|----------------|-------|------------|
| | l_1 | l_2 | r_m^2 | l_1 | l_2 | $(r'_m)^2$ |
| 0 | 4.71 | 3.72 | 0.25 | 4.15 | 4.15 | 0 |
| 1 | 5 | 3.24 | 0.77 | 4.78 | 3.43 | 0.46 |
| 2 | 5.45 | 2.92 | 1.6 | 5.16 | 3.08 | 1.08 |
| 3 | 5.59 | 2.65 | 2.16 | 5.44 | 2.79 | 1.76 |
| 4 | 5.83 | 2.42 | 2.91 | 5.7 | 2.54 | 2.5 |
| 5 | 6.02 | 2.23 | 3.59 | 5.91 | 2.32 | 3.22 |
| 6 | 6.17 | 2.06 | 4.22 | 6.09 | 2.11 | 3.96 |
| 7 | 6.47 | 1.89 | 5.24 | 6.25 | 1.97 | 4.58 |

Рис. 3: График зависимости r_m^2 и $(r'_m)^2$ от номера m Таблица 2: Расчет аппроксимированной прямой $y = ax + b$ для темных колец

| | Estimate | Standart Error |
|-----|----------|----------------|
| b | 0.13 | 0.08 |
| a | 0.70 | 0.01 |

Теперь определим калибровку окулярной шкалы. Она равна $k = 0,1$ мм.

Таблица 3: Расчет аппроксимированной прямой $y = ax + b$ для светлых колец

| | Estimate | Standart Error |
|-----|----------|----------------|
| b | -0.17 | 0.06 |
| a | 0.67 | 0.01 |

При биениях мы наблюдали следующее количество полос между центрами четких систем $\Delta m = 12$. Вычислим отсюда разность длин волн желтого и зеленого света ртутной лампы $\Delta\lambda = \lambda_{\text{ж}} - \lambda_{\text{з}}$:

$$(\Delta m + 1)\lambda_{\text{з}} = \Delta m\lambda_{\text{ж}} \Rightarrow \Delta\lambda = \frac{\lambda_{\text{з}}}{\Delta m} \approx 45 \text{ нм}$$

Определим радиус кольца. Так как $\frac{r_m^2}{m} = k^2 \cdot a_{\text{т}}$, отсюда

$$R = \frac{r_m^2}{m\lambda} = (1,28 \pm 0,02) \text{ м}$$

4. Вывод

Таким образом, мы получили, что их экспериментального периода биений разница длин волн желтого и зеленого света ртутной лампы примерно равна $\boxed{\Delta\lambda = 45 \text{ нм}}$, в то время как табличный результат — 33 нм. Это может быть объяснено большой неточностью определения числа Δm .

Также мы построили графики зависимости радиусов колец Ньютона от их номеров. Полученный результат позволил нам рассчитать радиус линзы — $\boxed{R = (1,28 \pm 0,02) \text{ м}}$.