

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4.2.1

---

## Кольца Ньютона

---

**Автор:**

Глеб Уваркин

615 группа

**Преподаватель:**

Клёнов Сергей Львович



5 апреля 2018 г.

## 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; плосковыпуклая линза; пластинка из чёрного стекла; ртутная лампа ДРШ; щель; линзы; призма прямого зрения; объектная шкала.

## 1 Теоретические сведения.

В опыте колец Ньютона наблюдается интерференция волн, отражённых от границ тонкой воздушной прослойки, образованной сферической поверхностью линзы и плоской стеклянной пластиной. Схема опыта показана на рис 1.

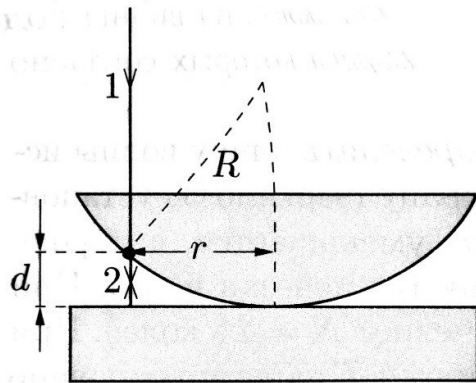


Рис. 1: Схема наблюдения колец Ньютона.

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. 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:

$$\Delta = 2d + \frac{\lambda}{2}.$$

Условие интерференционного минимума  $\Delta = (2m + 1)\frac{\lambda}{2}$  ( $m = 0, 1, 2, \dots$ ), откуда получаем для радиусов тёмных колец

$$r'_m = \sqrt{m\lambda R}. \quad (1)$$

Аналогично для радиусов  $r_m$  светлых колец

$$r'_m = \sqrt{(2m - 1)\lambda R/2}. \quad (2)$$

**Наблюдение биений.** При освещении системы светом, содержащим две спектральные компоненты (с длинами  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ ,  $\lambda_2 < \lambda_1$ ), наблюдается характерная картина биений: чёткость интерференционных колец периодически изменяется. Это объясняется наложением двух систем интерференционных колец. Размытые кольца получаются при наложении светлых колец одной картины на тёмные кольца другой.

Рассчитаем период возникающих биений. Пусть в промежутке между двумя центрами соседних чётких участков укладывается  $\Delta m$  колец для спектральной линии с длиной волны  $\lambda_1$ . Тогда в этом промежутке должно располагаться  $(\Delta m + 1)$  колец для спектральной линии с длиной волны  $\lambda_2$ . Найдём условие наложения максимумов:

$$\Delta m \lambda_1 = (\Delta m + 1) \lambda_2 \implies \Delta \lambda = \frac{\lambda_2}{\Delta m} \quad (3)$$

## 2 Экспериментальная установка.

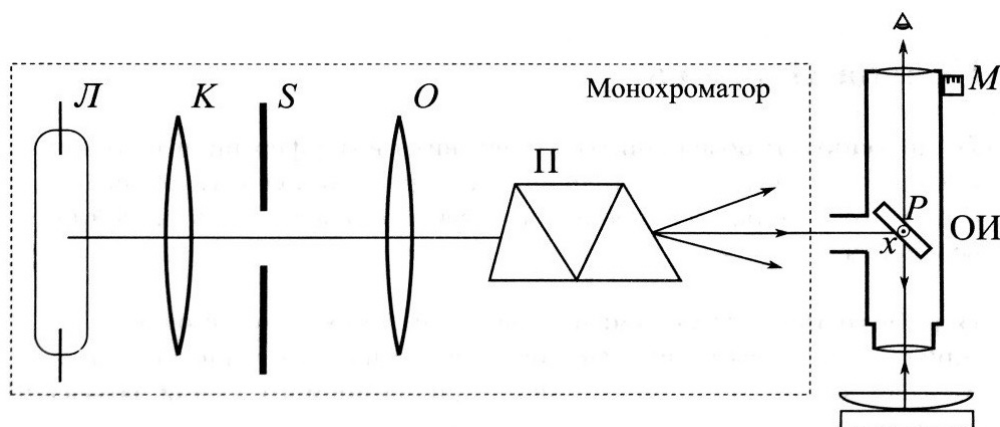


Рис. 2: Схема установки для наблюдения колец Ньютона.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 2. 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  $\Pi$ . Свет от монохроматора попадает на опак-иллюминатор (ОИ), расположенный между окуляром и объективом микроскопа – специальное устройство для освещения объекта при работе в отражённом свете. Внутри опак-иллюминатора находится полупрозрачная пластинка  $P$ , наклоненная под углом  $45^\circ$  к оптической оси микроскопа.

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, 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.

## 3 Ход работы.

### 3.1 Измерение диаметров колец.

Снимем показания окулярной шкалы и микрометрического винта для тёмных и светлых колец ( $m$  – номер кольца). Используем яркую зеленую линию ртути ( $\lambda = 546$  нм). Результаты занесём в таблицу 1.

Таблица 1: К определению диаметров колец.

$m$	-6	-5	-4	-3	-2	-1	-0	+0	1	2	3	4	5	6
$x_{\text{тёмн}}, \text{ дел}$	1.46	1.62	1.83	2.05	2.31	2.64	3.14	3.89	4.36	4.73	5.01	5.23	5.40	5.59
$x_{\text{светл}}, \text{ дел}$	1.54	1.73	1.95	2.19	2.49	2.92	-		4.13	4.51	4.90	5.11	5.32	5.50

### 3.2 Наблюдение «биений».

Получим картину «биений» и просчитаем количество тёмных полос  $\Delta m$  от центра одной чёткой системы полос до центра соседней чёткой системы. Получаем, что

$$\Delta m = 17$$

### 3.3 Калибровка окулярной шкалы.

Определим цену деления окулярной шкалы с помощью калиброванной объектной шкалы. Объектная шкала размером 1 мм разбита на 100 делений.

Получаем, что

$$7 \text{ дел.ок.шк} = 69 \text{ дел.об.шк} \cdot \frac{1 \text{ мм}}{100 \text{ дел}}$$

## 4 Обработка результатов.

1. Рассчитаем цену деления окулярной шкалы:

$$1 \text{ дел.ок.шк} \simeq 0.1 \text{ мм}$$

Погрешность этого измерения составляет 0.01 мм.

2. По результатам наблюдения «биений рассчитаем» разность длин волн для жёлтой и зелёной линии Hg с помощью формулы (3). Результаты занесём в таблицу 2.

Таблица 2: К определению  $\lambda$  желтой линии.

$\Delta\lambda$ , нм	$\lambda_{\text{жёлт}}^{\text{пр}}$ , нм	$\lambda_{\text{жёлт}}^{\text{теор}}$ , нм
32	578	577 – 579

3. Рассчитаем радиусы тёмных и светлых колец, используя таблицу 1 и результат калибровки окулярной шкалы. Построим графики зависимостей  $r_m^2$  и  $(r'_m)^2$  от номера  $m$  кольца. Все необходимые данные занесём в таблицу 3.

Подсчёт погрешностей:

$$r^2 = \left( \frac{x(m) - x(-m)}{2} \right)^2, \quad m = 1, 2, \dots, 6$$

$$\sigma_{r^2} = \sqrt{\left( \frac{\partial(r^2)}{\partial x_m} \cdot \sigma_{x_m} \right)^2 + \left( \frac{\partial(r^2)}{\partial x_{-m}} \cdot \sigma_{x_{-m}} \right)^2} = \sqrt{2 \left( \frac{x_m - x_{-m}}{2} \right) \cdot \sigma_{x_m}^2} = \frac{d \cdot \sigma_x}{\sqrt{2}}$$

Таблица 3: Определение  $r^2$ .

$m$	$d_{\text{темн}}, \text{ мм}$	$d_{\text{светл}}, \text{ мм}$	$r'^2, \text{ мкм}$	$r^2, \text{ мкм}$
1	0.17	0.12	$7.4 \pm 0.1$	$3.7 \pm 0.1$
2	0.24	0.20	$14.6 \pm 0.2$	$10.2 \pm 0.1$
3	0.29	0.27	$21.9 \pm 0.2$	$18.4 \pm 0.2$
4	0.34	0.32	$28.9 \pm 0.2$	$24.9 \pm 0.2$
5	0.38	0.36	$35.7 \pm 0.3$	$32.2 \pm 0.3$
6	0.41	0.39	$42.6 \pm 0.3$	$39.2 \pm 0.3$

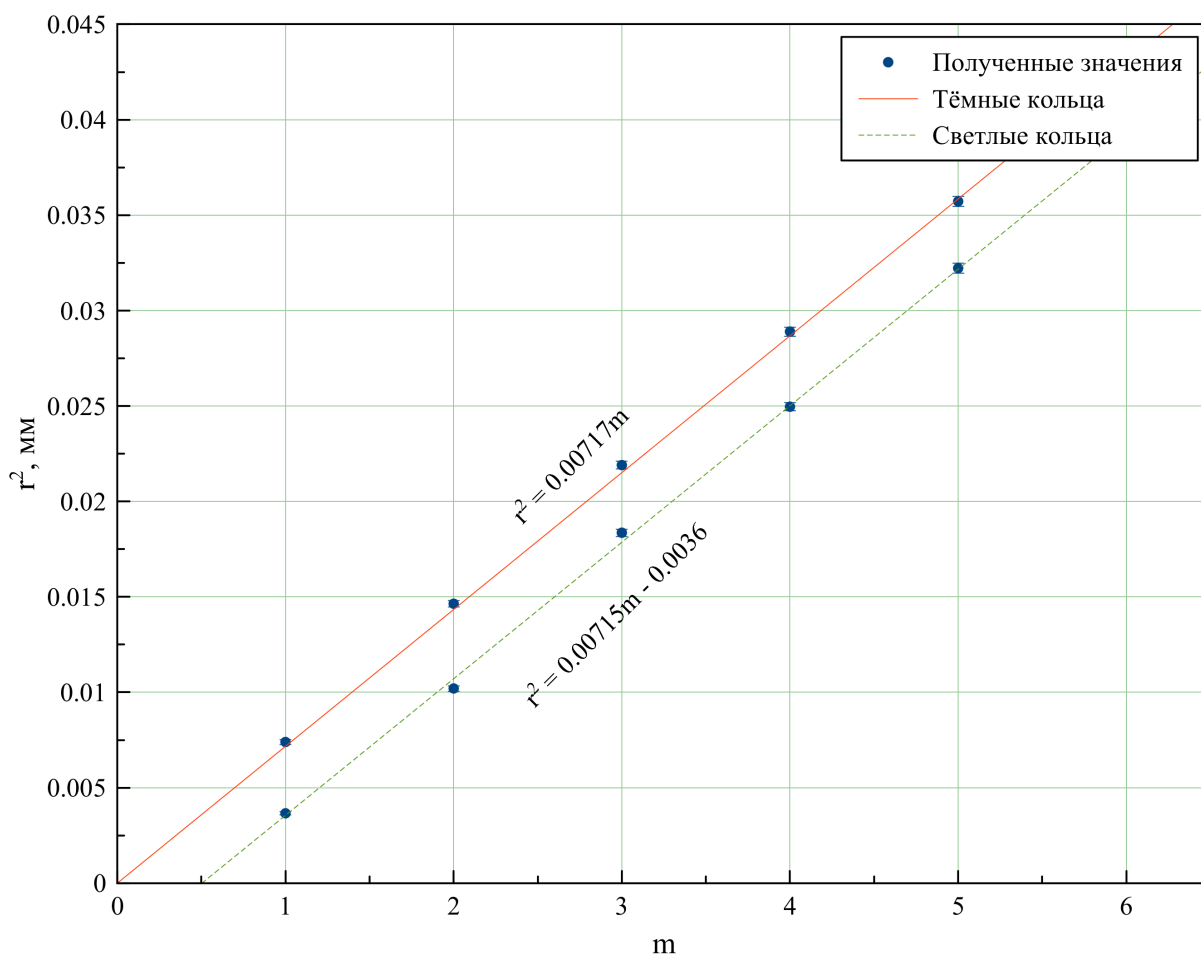


Рис. 3: Зависимость  $r^2$  и  $(r')^2$  от  $m$ .

График для тёмных колец проходит через начало координат. Также оценим размер тёмного пятна:

$$d_{\text{пятно}} \simeq 37.5 \text{ мкм.}$$

4. С помощью метода наименьших квадратов определим коэффициент наклона прямых. Получаем, что для тёмных колец

$$k' = \frac{\langle r'^2 \cdot m \rangle}{\langle m^2 \rangle} \simeq (7.17 \pm 0.03) \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2$$

Отсюда, из формулы (1) имеем:  $R = \frac{r'^2}{m} \cdot \frac{1}{\lambda} = \frac{k'}{\lambda}$

$$R = (13.1 \pm 0.1) \text{ мм}$$

## 5 Вывод.

- В результате данной лабораторной работы были получены кольца Ньютона, как результат интерференции света.
- С их помощью мы определили радиус кривизны линзы, относительная погрешность примерно равна 1%.
- Также было изучено явление «биений». С его помощью мы измерили разность длин волн жёлтой и зелёной линий спектра ртутной лампы. Величина совпала с табличной.