

Отчёт о выполнении работы 4.2.1

Кольца Ньютона

Житников Андрей Комкин Михаил

Март 2025

Содержание

1	Теоретическое введение	2
2	Экспериментальная установка	3
3	Обработка и обсуждение результатов	4
3.1	Определение радиуса кривизны линзы	5
3.2	Наблюдение биений	7
4	Вывод	7

Цель работы: Познакомиться с явлением интерференции на примере Колец Ньютона и методикой интерференционных измерений кривизны линзы.

В работе используются: измерительный микроскоп с опак-иллюминатором; плосковыпуклая линза; пластинка из чёрного стекла; ртутная лампа ДРШ; щель; линзы; призма прямого зрения; объектная шкала; светофильтры оранжевый, жёлтый, фиолетовый, красный.

Теоретическое введение

Явление *интерференции* возникает при падении двух или более когерентных электромагнитных волн – волн, разность фаз которых постоянна во времени и которые при сложении дают колебания постоянной частоты. Легче всего интерференция наблюдается при сложении двух монохроматических световых волн, исходящих изначально от одного источника. Интенсивность результирующей волны I при этом определяется выражением

$$I = 2I_0 \left(1 + \cos \frac{2\pi}{\lambda} \Delta \right), \quad (1)$$

где I_0 – амплитуда интерферирующих волн, λ – длина волны, $\Delta = n_1 r_1 - n_2 r_2$ – оптическая разность хода. Из (1) видно, что максимум интенсивности достигается, когда в разность хода укладывается целое число длин волн, т. е.

$$\Delta = m\lambda, \quad m \in \mathbb{N}. \quad (2)$$

Для условия минимумов аналогично получаем

$$\Delta = \left(m + \frac{1}{2} \right) \lambda, \quad m \in \mathbb{N}. \quad (3)$$

Кольца Ньютона образуются при интерференции световых волн, отражённых от границ тонкой воздушной прослойки между выпуклой поверхностью линзы и стеклянной пластинкой.

При освещении системы светом, содержащим две спектральные компоненты, наблюдается характерная картина биений: чёткость интерференционных колец периодически изменяется. Это объясняется наложением двух систем интерференционных колец, возникающих для разных длин волн λ_1 и λ_2 . Чёткие кольца в результирующей картине образуются при наложении светлых колец на светлые и тёмных на тёмные. Размытые кольца получаются при наложении светлых колец одной картины на тёмные кольца другой. Нетрудно рассчитать период возникающих биений. Пусть в промежутке между двумя центрами соседних чётких участков укладывается Δm колец для спектральной линии с длиной волны λ_1 . Тогда в этом промежутке должно располагаться $(\Delta m + 1)$ колец для спектральной линии с длиной волны λ_2 (при $\lambda_2 < \lambda_1$). Получаем соотношение для разности длин волн (4).

$$\Delta\lambda = \lambda_2 / m \quad (4)$$

Линии постоянной разности хода – концентрические кольца с центром в точке касания с тёмным пятном 0 порядка. При нормальном падении света интерференционная картина локализована на сферической поверхности линзы и состоит из полос равной толщины.

Оптической разностью хода в данном случае является удвоенная толщина воздушной прослойки $2d$. Для точки сферической поверхности на расстоянии r от оси системы $R^2 = r^2 +$

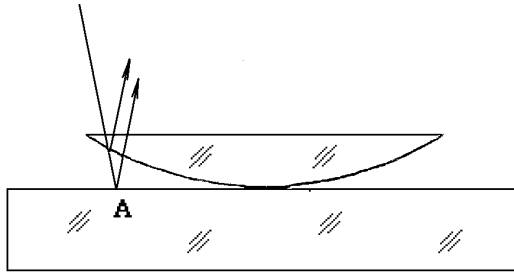


Рис. 1

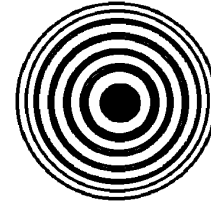


Рис. 2

Рис. 1: а) Плосковыпуклая линза на стеклянной пластинке б) Картина колец

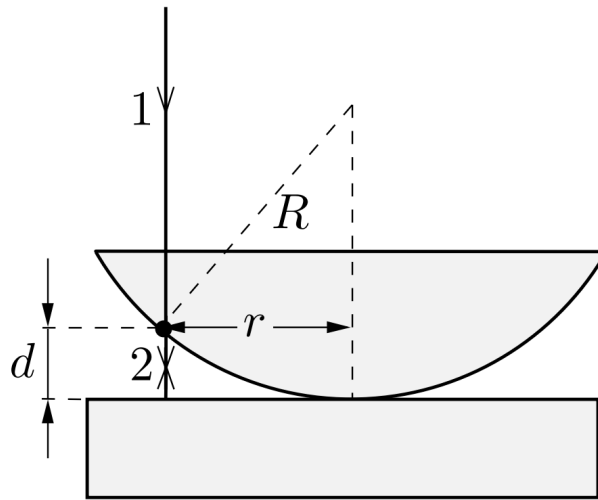


Рис. 2: Геометрия системы

$(R - d)^2$. Если линза тонкая, т.е. $R \gg r$, то $d = r^2/2R$. При преломлении световой волны на границе воздух-стекло фаза колебаний изменяется на π , откуда оптическая разность хода

$$\Delta = 2d + \frac{\lambda}{2} = \frac{r^2}{R} + \frac{\lambda}{2}. \quad (5)$$

Из условия интерференционного минимума (3) и (5) получаем радиусы тёмных колец:

$$r_m = \sqrt{mR\lambda}. \quad (6)$$

Аналогично, из (2) получаются радиусы светлых колец:

$$r'_m = \sqrt{(2m - 1)R\lambda}. \quad (7)$$

Экспериментальная установка

Источником света служит ртутная лампа 1. Для получения монохроматического света используется конденсор 2 - линза, которая изменяет ширину пучка, падающего на объектив О.

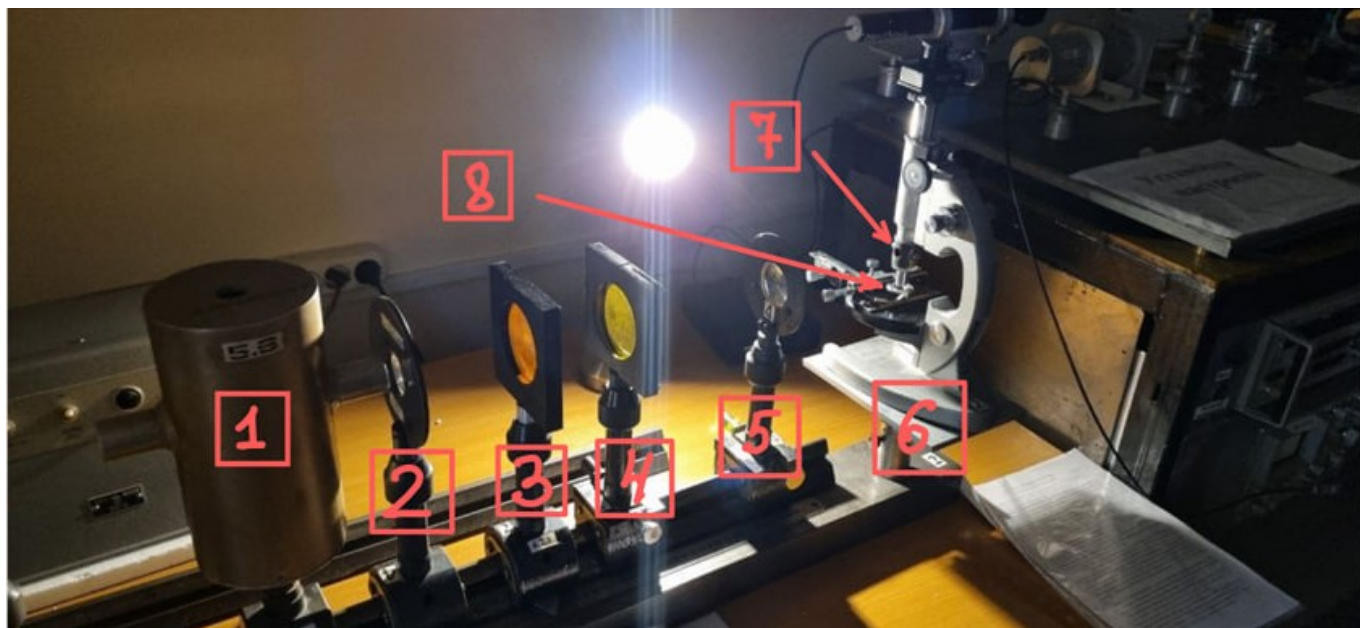


Рис. 3: Экспериментальная установка

Далее свет проходит через **светофильтр 3** на определённую длину волны спектра ртутной лампы. После этого свет попадает в **объектив 4**. Эту систему устройств назовём **монохроматором**. Свет впоследствии попадает на **опак-иллюминатор 7** - устройство для интенсивного освещения поля зрения. Внутри него находится полупрозрачная пластинка Р, наклонённая под углом 45° к оптической оси, что позволяет свету частично отражаться от пластинки, проходить через объектив микроскопа и попадать на исследуемый объект. На столике микроскопа **6** закреплена стеклянная пластинка, на которой лежит линза **8** выпуклой стороной. Площадку можно перемещать с помощью регулировочных винтов, тубус микроскопа перемещается вдоль вертикальной оси. Отсчётная шкала окуляра перемещается с помощью **микрометрического винта**. Перемещение объектива вдоль оптической оси влияет на освещённость поля зрения.

Отсчёт радиусов колец для определения радиуса кривизны линзы ведётся с помощью вращения микрометрического винта. Предварительно стол и отсчётная шкала выстраиваются в центре интерференционной схемы и по числу оборотов составляется первоначальные измерения в условных единицах значения для радиусов колец. Поочередно сменяются тёмные и светлые пятна. Для исключения влияния люфта винт вращается только в одну сторону. Далее для определения цены деления сравниваются показания с эталонной (объектной шкалой) размером 1 мм на 100 делений. Предварительно убирают линзу и кладут шкалу на пластинку и регулировкой положения стола и тубуса добиваются чёткого изображения объектной шкалы

Обработка и обсуждение результатов

При дальнейших расчётах используется калибровочное значение $0,883 \text{ мкм/дел}$

3.1 Определение радиуса кривизны линзы

Проведём измерения на разных фильтрах для соответствующих компонент спектра ртутной лампы (жёлтый, красный).

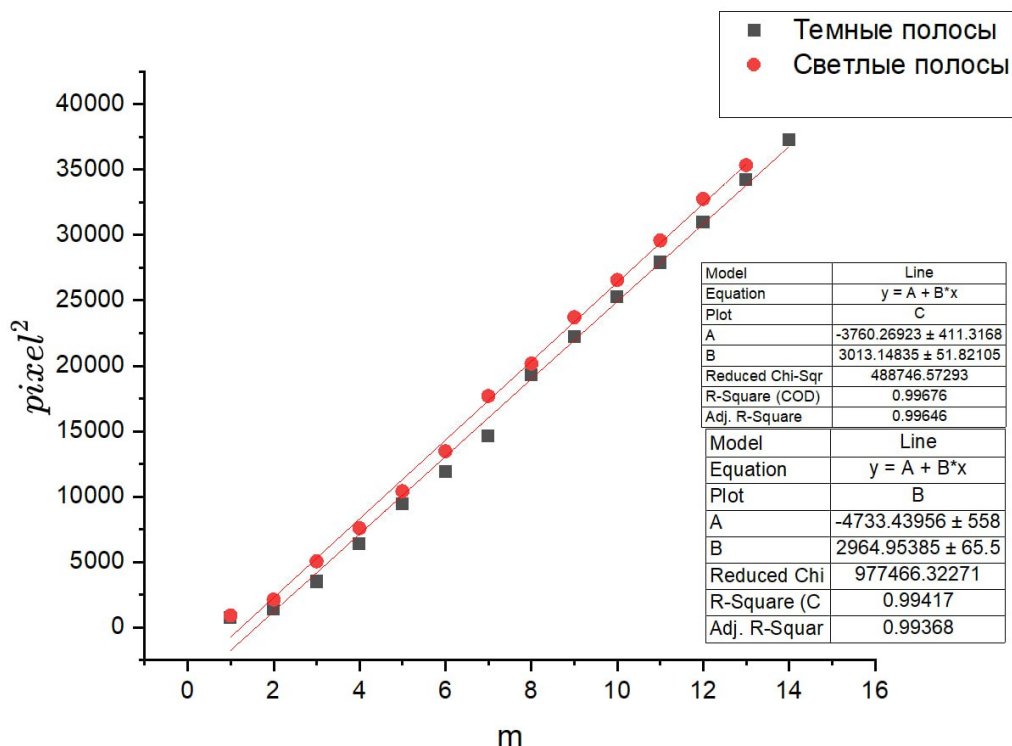
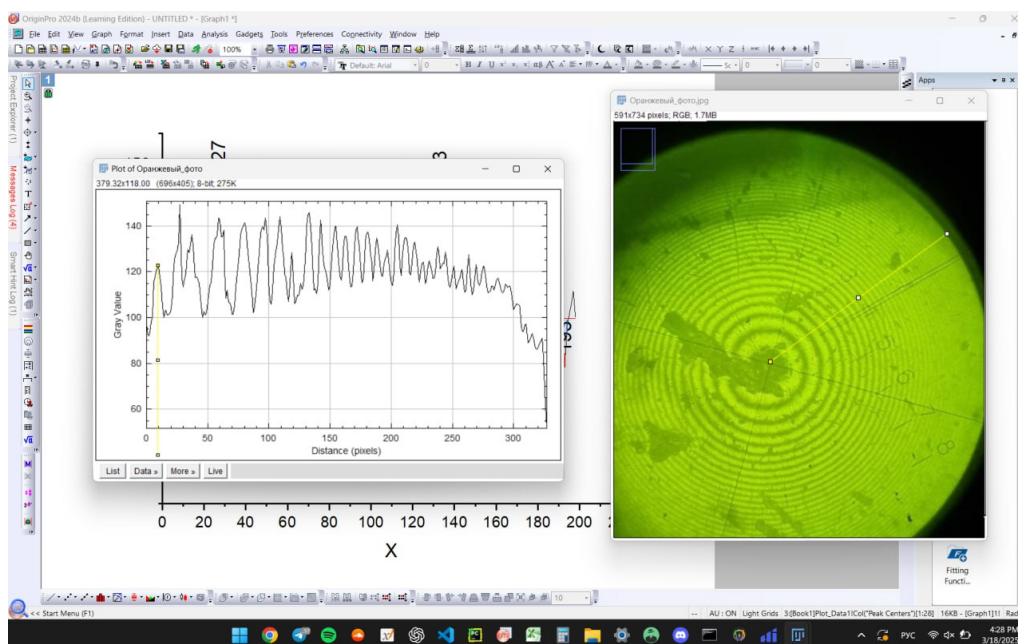


Рис. 4: Желтый фильтр



Определим радиус сферической поверхности линзы из. Имеем для радиуса R :



Рис. 5: Фотография интерференционной картины

$$R = \frac{k}{\lambda} \approx 1,29 \pm 0,05 \text{ см}$$

k - коэффициент наклона на соответствующем графике.

3.2 Наблюдение биений

На обычном свете без фильтров между размытыми участками укладывается $\Delta m = 14$ колец. Тогда имеем $\Delta\lambda = \frac{\lambda_2}{m} \approx 39$ ($\lambda_2 = 546\text{нм}$). Табличный результат $\Delta\lambda_{\text{табл.}} = 33$ нм.

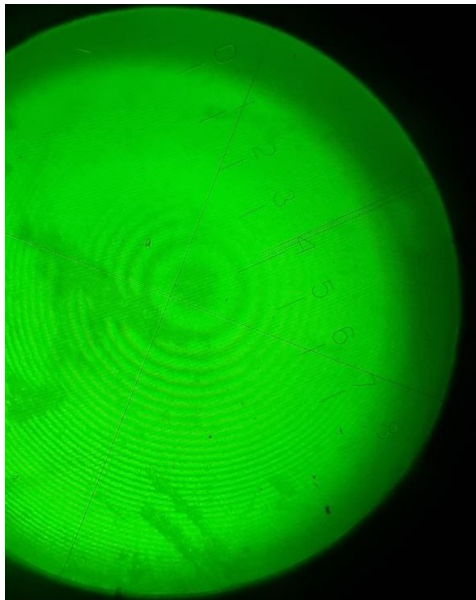


Рис. 6: Картина биений: чередование чётких и размытых областей

Вывод

В ходе работы были исследованы кольца Ньютона, возникающие при отражении монохроматического света от плосковыпуклой линзы. Экспериментально определён радиус кривизны линзы, который оказался близок к расчётному значению. Наблюдалось также явление биений при освещении системой смешанным светом, и полученная величина разности длин волн хорошо согласуется с табличными данными. Проведённые измерения подтверждают высокую точность и наглядность интерференционного метода исследования тонких оптических плёнок и свойств линз.