

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ОТЧЁТ
О ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Кольца Ньютона

Работу выполнил,
студент ФЭФМ группы Б04-107 _____ Луговцов Г.С.

Долгопрудный 2023

Реферат

В работе продемонстрирован метод измерения радиуса кривизны линзы и метод поиска разности длин волн двух дуплетов ртутной лампы с помощью явления «Кольца Ньютона». В основе этого метода лежит измерение расстояния от центра наблюдаемой картины до каждого кольца. В работе продемонстрирован как ручной метод измерения окулярным микрометрическим винтом, так и обработка изображения колец на компьютере с помощью фотокамеры. В результате метод компьютерной обработки показал на порядок меньшую погрешность при измерении радиуса кривизны линзы.

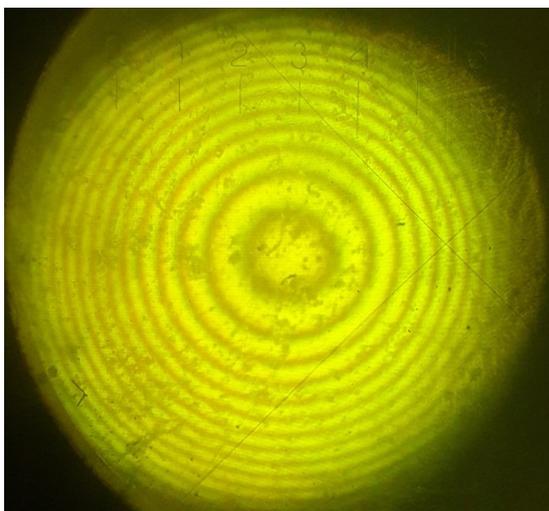
Содержание

Введение	4
1 Методика	5
1.1 Наблюдение колец Ньютона	5
1.2 Измерение диаметров колец	5
1.2.1 Микрометрический винт	5
1.2.2 Компьютерная обработка	5
1.3 Наблюдение «биений»	6
1.4 Экспериментальная установка	6
2 Обсуждение результатов	9
2.1 Диаметры колец	9
2.2 Расчёт кривизны линзы	10
2.3 Вычисление разности длин волн при наблюдении биений	12
Заключение	14
Список использованных источников	15

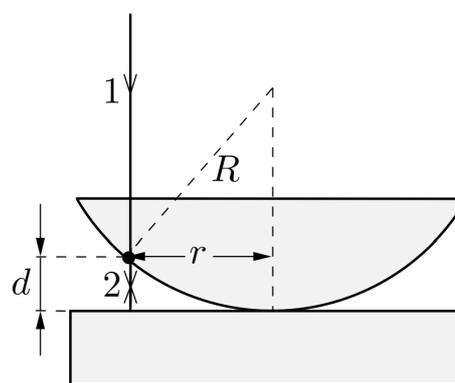
Введение

При производстве линз существует проблема точного измерения кривизны их поверхностей. Существующие механические решения, например, с помощью микрометрического винта, предоставляют недостаточно точности при измерении. Альтернативой является использование оптических явлений и волновых свойств света. В частности, наблюдение колец Ньютона позволяет измерить кривизну линзы с точностью до десяти микрон и наблюдать неровности поверхности. Этот способ

Кольца Ньютона (рис. 0.1а) возникают при интерференции световых волн, отражённых от границ тонкой воздушной прослойки, заключённой между выпуклой поверхностью линзы и плоской стеклянной пластинкой.



(а) Фото колец Ньютона



(b) Схема наблюдения колец Ньютона

Рисунок 0.1 — Кольца Ньютона

Линии постоянной разности хода представляют собой концентрические кольца, с центром в точке соприкосновения. Линии равной толщины локализованы на поверхности линзы, так как линза лежит на пластинке (рис. 0.1b).

Кольца Ньютона можно использовать в том числе для поиска разности длин волн при сложении двух близких квазимонохроматических волн. В таком случае образуется так называемая «картина биений», по количеству чётких максимумов в которой вычисляется разность длин волн.

1 Методика

1.1 Наблюдение колец Ньютона

Для анализа получившейся картинке в работе применялось два подхода. В первом случае использовался микрометрический винт. Измерение диаметра колец происходило путём центрирования винта по центру тёмного пятна, далее измерялись расстояния от этой точки до середины светлых колец. Этот метод не точен, так как приходится центрироваться и находить центр кольца «на глаз».

Во втором случае применялась компьютерная обработка фотографии колец. Сначала картинка фотографировалась на телефон, далее использовались алгоритмы, которые её анализируют. Здесь главной сложностью является калибровка картинке по эталону и поиск цены деления каждого пикселя. Современные камеры телефонов практически не обладают сферическими аберрциями, поэтому их влияние учтено не было.

1.2 Измерение диаметров колец

1.2.1 Микрометрический винт

Первым способом измерения диаметров колец является использование окулярного микрометрического винта, которых предварительно необходимо откалибровать по эталону. Эталон размещается на предметном стекле микроскопа, затем сопоставляется количество делений винта и размера эталона, после чего находится нормировочный коэффициент. Этот способ является самым простым, но наименее точным и занимает больше времени, чем второй.

1.2.2 Компьютерная обработка

Вторым способом измерения диаметров колец является использование алгоритмических методов обработки фотографии колец, которую можно получить прислонив камеру телефона к окуляру микроскопа и сфокусировавшись на кольца. Этого проще добиться, используя режим ручного фокуса и выставления экспозиции. Алгоритмическая обработка

позволяет добиться уменьшения погрешности более, чем на порядок и занимает гораздо меньше времени.

1.3 Наблюдение «биений»

Наблюдение биений возможно при интерференции двух спектральных компонент, например, жёлтой и зелёной. Посчитав количество полос между чёткими картинками можно вычислить разность длин волн для этих компонент.

Кроме того, можно использовать метод компьютерной обработки фото биений, который позволит точно наблюдать статичную картину биений, то есть зависимости интенсивности от радиуса, начиная с центра.

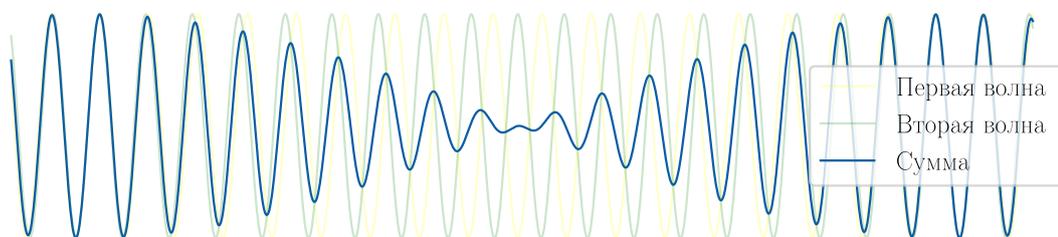


Рисунок 1.1 — Схема биений при близких длинах волн

1.4 Экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки изображена на рис. 1.2. Опыт выполнялся с помощью измерительного микроскопа, изображённого на схеме справа. На столик микроскопа помещалась полированная пластинка из чёрного стекла (почему чёрное?), на которой лежала исследуемая линза.

Источником света послужила ртутная лампа ДРШ-250, как спектр её излучения подходит для наблюдения колец Ньютона и картины биений в видимом диапазоне. На рис. 1.3 изображён спектр излучения ртутной лампы [1]. Основные наблюдения колец и измерение их диаметра происходило с использованием фильтра ОС-13, выделяющего жёлтый дуплет с длиной волны $\lambda = 577 \pm 10$ нм. Биения наблюдались с использованием фильтра ЖС-18, который кроме того же жёлтого дуплета выделял зелёную компоненту с длиной волны $\lambda = 546$ нм.

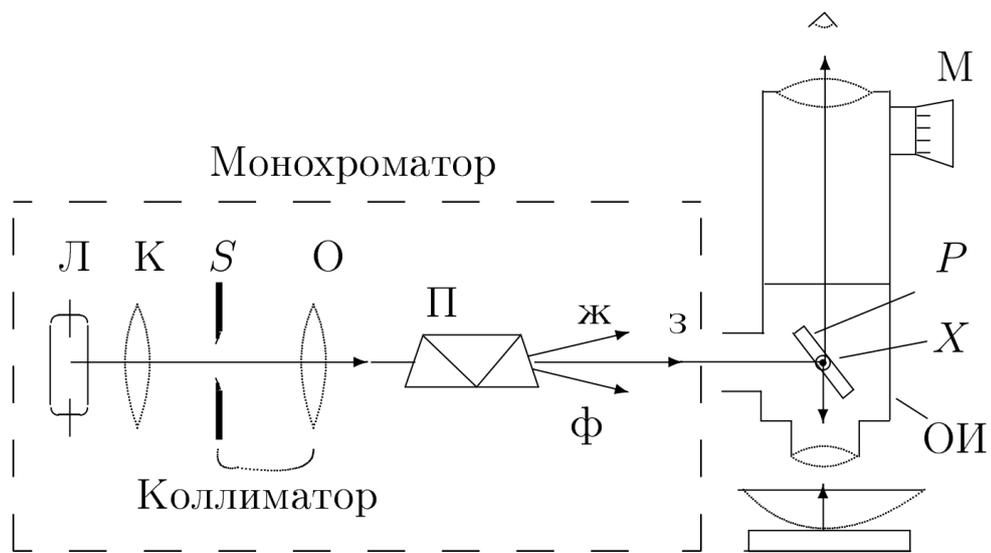


Рисунок 1.2 — Л – ртутная лампа; К – конденсор (собирающая линза); S – щель; О – объектив; П – призма прямого зрения; ОИ – опак-иллюминатор; Р – полупрозрачная стеклянная пластинка; М – микрометрический винт, регулирующий отсчётный крест окулярной шкалы.

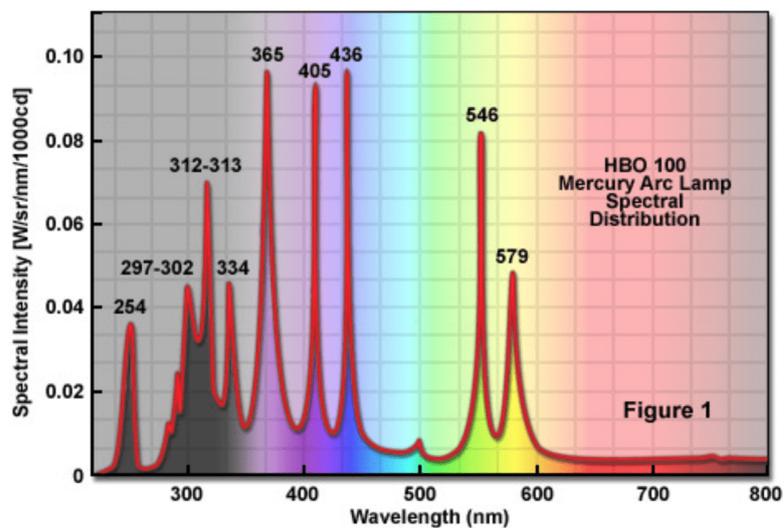


Рисунок 1.3 — Спектр излучения ртутной лампы ДРШ-250

Для получения монохроматического света применялся призмный монохроматор, состоящий из конденсатора, коллиматора и призмы прямого зрения (рис. 1.2). Свет от монохроматора попадал на опак-иллюминатор (ОИ) микроскопа – специальное устройство, служащее для освещения объекта при работе с отражённым светом. Внутри ОИ находится полупрозрачная стеклянная пластинка, наклонённая под углом 45° к оптической оси микроскопа. Свет частично отражается от этой пластинки, проходит через объектив микроскопа и попадает на исследуемый объект.

Такая оптическая схема монохроматора позволяет получить в плоскости входного окна ОИ достаточно хорошо разделённые линии спектра ртутной лампы.

2 Обсуждение результатов

2.1 Диаметры колец

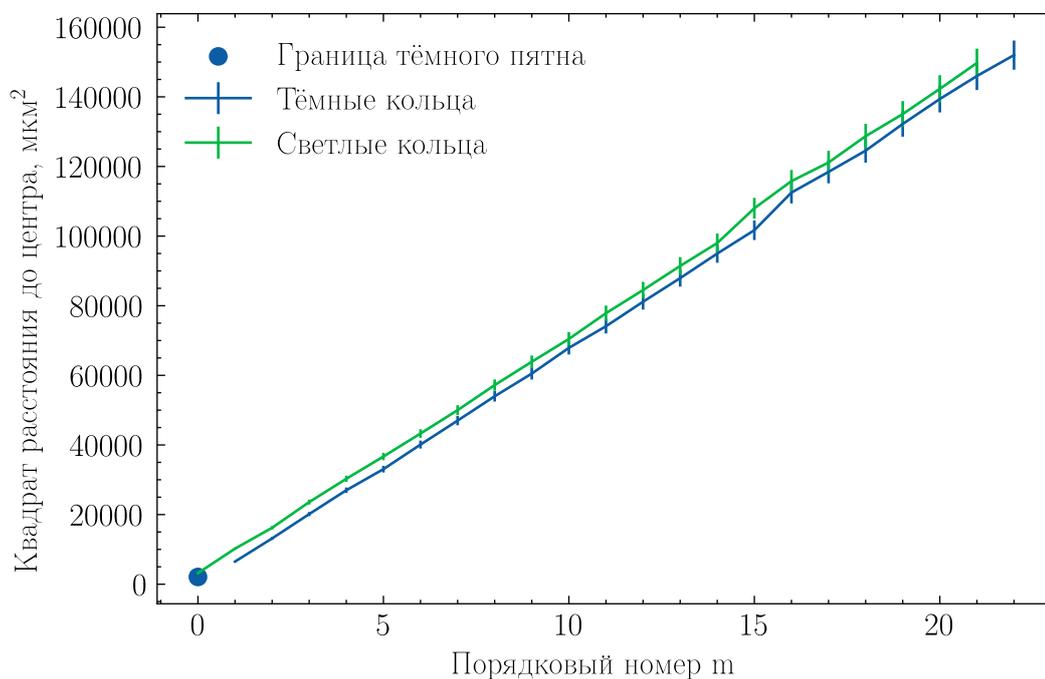


Рисунок 2.1 — Зависимость квадрата расстояния от центра до середины кольца от порядкового номера кольца. Синей точкой обозначена граница тёмного пятна в центре наблюдаемой картины.

Отклонение от прямой в середине графика скорее всего связано с ошибкой при проведении измерений. В ходе измерений диаметра колец окулярным кольцом скорее всего было пропущено одно светлое или тёмное кольцо, в связи с чем наблюдается небольшой выступ на дальнем от центра крае.

Видно, что точки почти идеально ложатся на прямую, причём прямая, соответствующая тёмным кольцам, проходит через точку $(0; 0)$.

Как на рис. 2.1, так и на рис. 2.2 видно, что точки ложатся на прямую, как и утверждала теория.

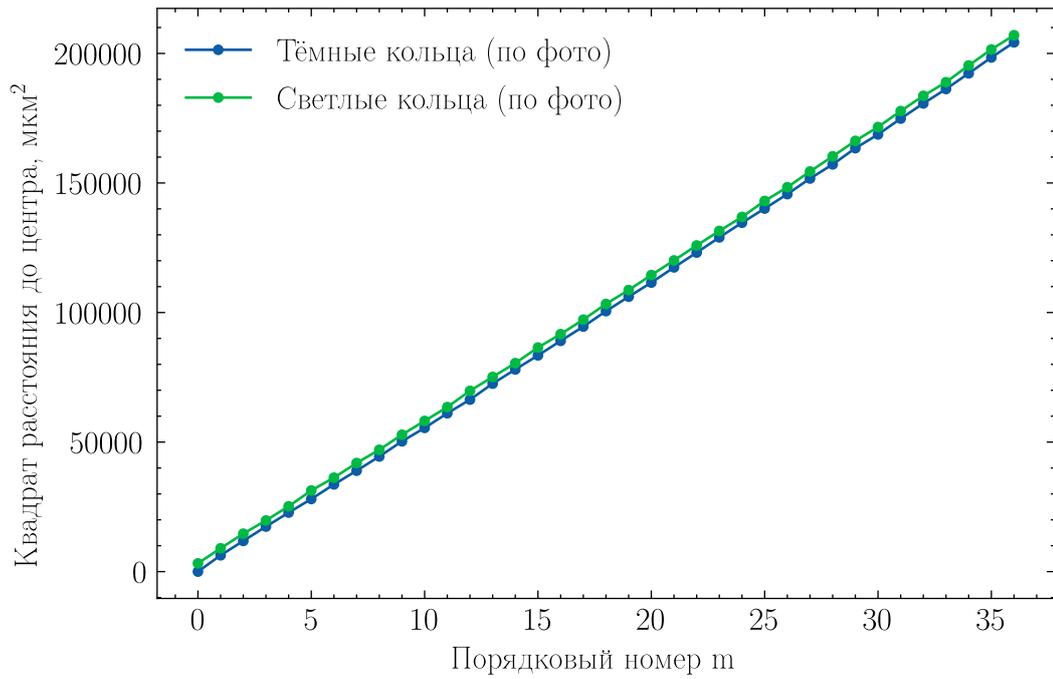


Рисунок 2.2 — Зависимость квадрата расстояния от центра до середины кольца от порядкового номера кольца. Результат компьютерной обработки фотографии колец.

2.2 Расчёт кривизны линзы

С помощью коэффициента наклона прямых, полученных двумя способами (рис. 2.3 и рис. 2.4) находим кривизну линзы по формуле (2.71) [2]:

$$R_{\text{руч}} = 11.9 \pm 0.8 \text{ мм}$$

$$R_{\text{комп}} = 9.75 \pm 0.06 \text{ мм}$$

Погрешность при измерении вторым способом получилась на порядок меньше.

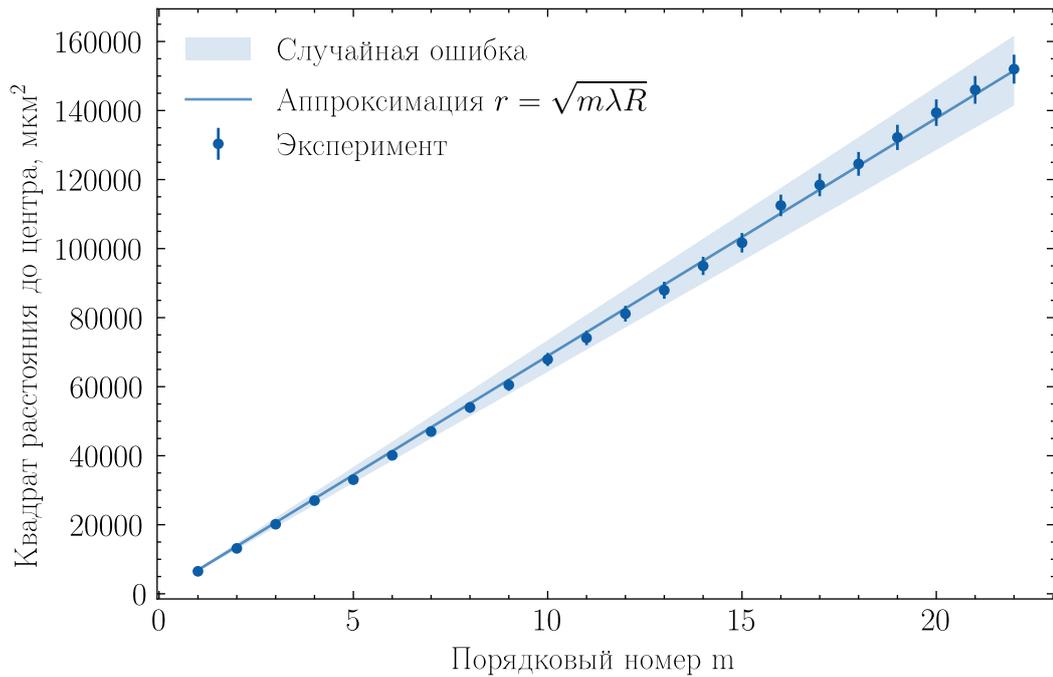


Рисунок 2.3 — Аппроксимация зависимости квадрата расстояния от центра до средны кольца от порядкого номера кольца прямой линией, проходящей через центр.

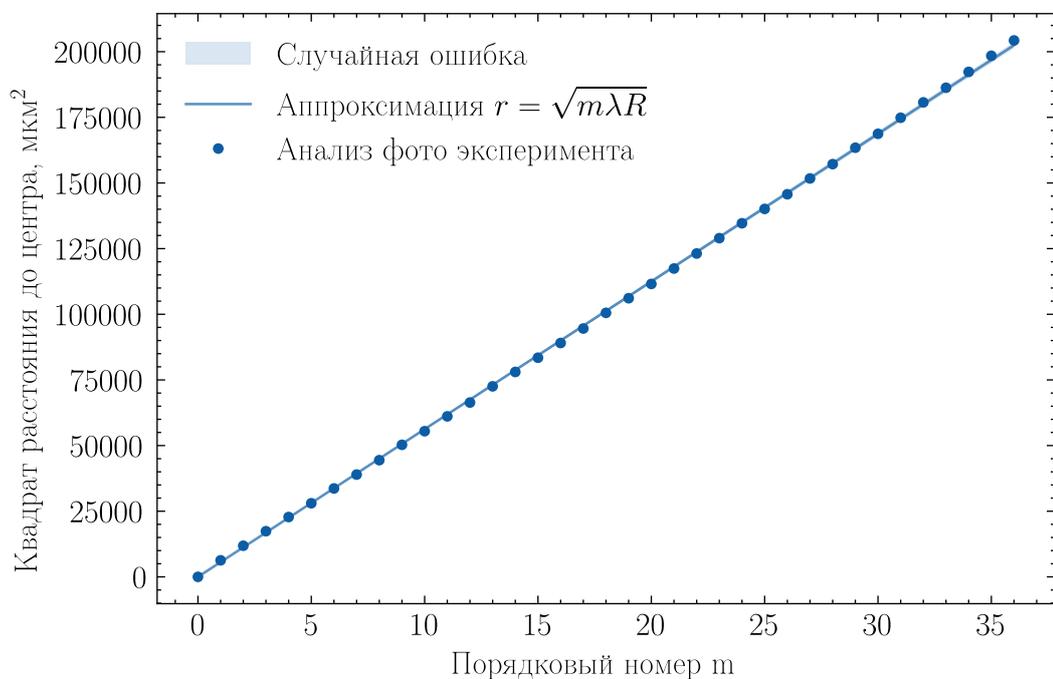


Рисунок 2.4 — Аппроксимация зависимости квадрата расстояния от центра до средны кольца от порядкого номера кольца прямой линией, проходящей через центр. Результат компьютерной обработки фото.

2.3 Вычисление разности длин волн при наблюдении биений

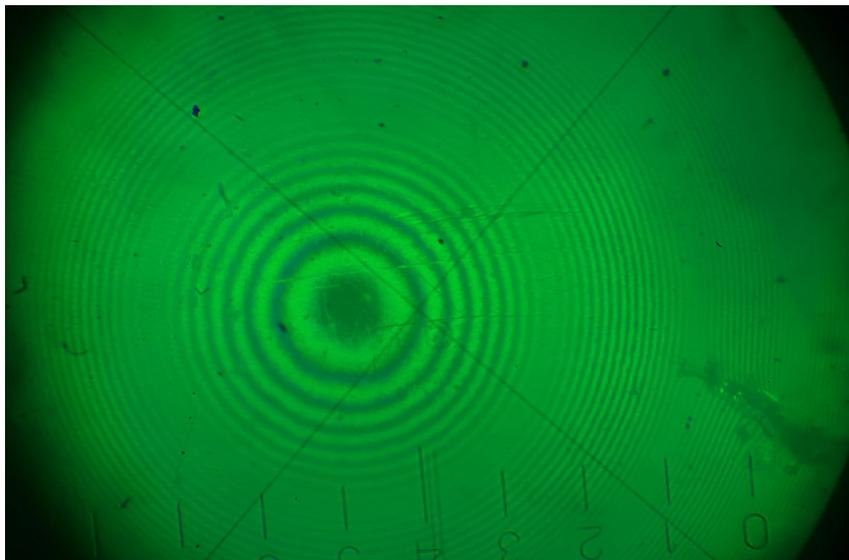


Рисунок 2.5 — Фото биений в кольцах Ньютона при сложении двух близких волн

Рисунок 2.6 с экспериментально полученными данными почти совпадает с рисунком 1.1, на котором схематично изображены биения для близких волн источника. Считая количество периодов внутри одного большого периода, находим разность длин волн:

$$\Delta_{\text{теор}} = 31,$$

$$\Delta_{\text{эксп}} = 33.94.$$

Результат практически совпадает с теоретическим. Отклонение может быть вызвано несовершенностью метода определения разности длин волн или другим значением реальной ширины пропускания светофильтров.

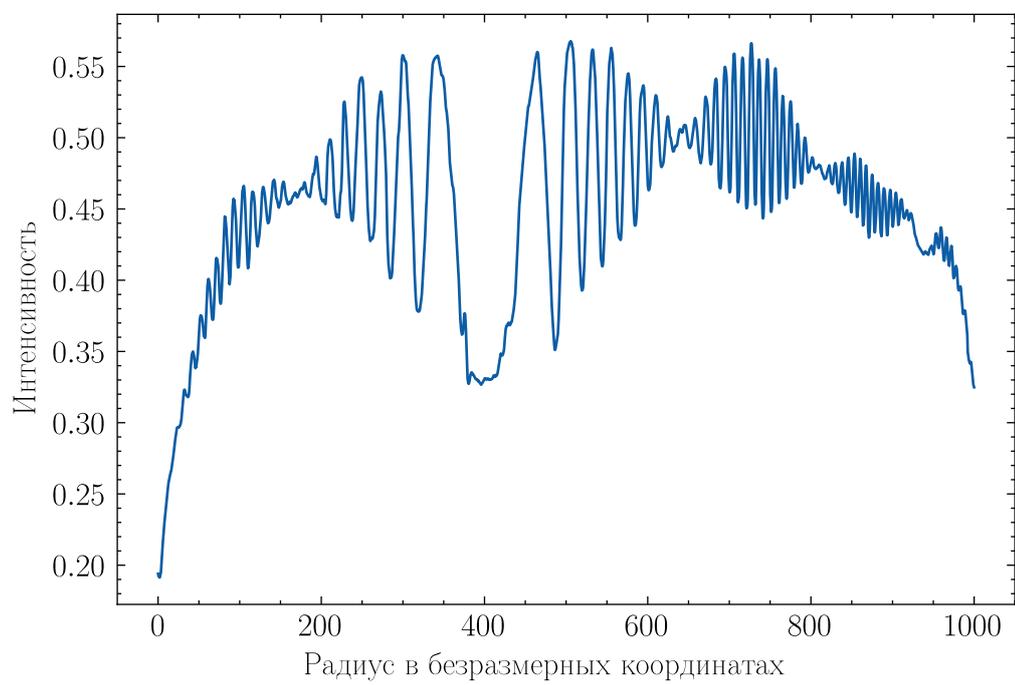


Рисунок 2.6 — Результат анализа фото биений

Заключение

Зависимость квадрата расстояния от центра до середины колец от порядкового номера кольца действительно представляет прямую, как и утверждала теория. Способ компьютерной обработки изображения позволил на порядок уменьшить погрешность при измерении радиуса кривизны линзы.

Теоретическая разность длин волн дуплетов ртутной лампы практически совпадает с полученным теоретическим значением. Отклонение может быть связано с несовершенностью метода определения разности длин волн или другим значением реальной ширины пропускания светофильтров.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Veilly, Alexandre.* The different conformal coating curing techniques. Focus on UV and UV LED curing processes. — 2020. <https://www.abchimie.com/the-different-conformal-coating-curing-techniques/>.

2. *А.В. Максимычев Д.А. Александров, Н.С. Берюлёва.* Лабораторный практикум по общей физике. Т.2. Оптика. / Н.С. Берюлёва А.В. Максимычев, Д.А. Александров. — Москва: МФТИ, 2014. — 446 с.