

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

Факультет безопасности информационных технологий

Дисциплина:

«Физика с элементами компьютерного моделирования»

ОТЧЕТ ПО ПРОЕКТНОЙ РАБОТЕ

«Кольца Ньютона»

Выполнили:

Барышев Артём Антонович, студент группы N3246

(подпись)

Суханкулиев Мухаммет, студент группы N3246

(подпись)

Шегай Станислав Дмитриевич, студент группы N3246

(подпись)

Проверил:

Бочкарев Михаил Эдуардович, инженер

(отметка о выполнении)

(подпись)

Санкт-Петербург

2025 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Кольца Ньютона.....	4
1.1 Теоретические основы	4
1.1.1 Механизм образования	4
1.1.2 Применение.....	4
1.2 Математическая модель	5
1.2.1 Оптическая разность хода	5
1.2.2 Толщина воздушного зазора.....	5
1.2.3 Условие интерференции	5
1.2.4 Радиусы колец Ньютона	6
1.2.5 Интенсивность интерференционной картины	6
1.3 Алгоритм численного расчета.....	6
1.3.1 Инициализация параметров.....	6
1.3.2 Построение координатной сетки	6
1.3.3 Расчет толщины воздушного зазора	6
1.3.4 Расчет оптической разности хода	7
1.3.5 Расчет распределения интенсивности	7
1.3.6 Формирование изображения:	7
1.4 Программа	7
1.5 Оценка влияния параметров	9
1.5.1 Влияние длины волны.....	9
1.5.2 Влияние радиуса кривизны	10
Заключение.....	11
Список использованных источников.....	12

ВВЕДЕНИЕ

Цель работы – моделирование интерференционной картины, известной как кольца Ньютона, возникающей при отражении света между выпуклой линзой и плоскопараллельной пластиной. Анализ влияния параметров системы на распределение интенсивности.

Для реализации проекта необходимо:

1. Построить математическую модель.
2. Сформулировать алгоритм для численного расчета.
3. Реализовать программу согласно алгоритму. Представить Результаты в графической форме.
4. Оценить влияние длины волны света и радиуса кривизны линзы.

1 КОЛЬЦА НЬЮТОНА

1.1 Теоретические основы

Кольца Ньютона — это явление интерференции света, возникающее при падении света на систему, состоящую из выпуклой линзы, наложенной на плоское стекло. Между поверхностями образуется тонкий воздушный слой переменной толщины. Световые волны, отражённые от верхней и нижней границ этого слоя, интерферируют — накладываются друг на друга, создавая concentric светлые и тёмные кольца.

1.1.1 Механизм образования

Интерференция возникает из-за разности хода волн. В каждой точке расстояние между линзой и стеклом разное, поэтому и интерференционная картина меняется. Если разность хода соответствует условию разрушительной интерференции, появляется тёмное кольцо, при условии конструктивной — светлое.

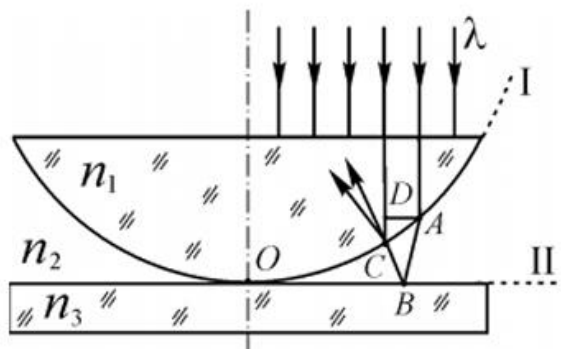


Рисунок 1 – Формирование интерференционной картины в опыте «Кольца Ньютона»

Особенности:

- При отражении от более плотной среды происходит сдвиг фазы на π , что влияет на условия интерференции;
- Кольца хорошо видны при наблюдении в монохроматическом (одноцветном) свете.

1.1.2 Применение

Кольца Ньютона используются для:

- оценки качества оптических поверхностей;
- измерения радиуса кривизны линз;
- контроля толщины тонких плёнок.

1.2 Математическая модель

Для моделирования интерференционной картины колец Ньютона используется явление интерференции света, возникающее при отражении от двух поверхностей: выпуклой линзы и плоскопараллельной пластины. Основой математической модели является расчёт оптической разности хода между лучами, отражающимися от этих поверхностей.

1.2.1 Оптическая разность хода

Оптическая разность хода между двумя интерферирующими лучами определяется по формуле:

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

где:

- d — толщина воздушного зазора между линзой и пластиной,
- λ — длина волны падающего света.

Слагаемое $\frac{\lambda}{2}$ учитывает потерю полуволны при отражении от более плотной среды (пластины).

1.2.2 Толщина воздушного зазора

Для сферической линзы с радиусом кривизны R толщина зазора d на расстоянии r от центра контакта выражается как

$$d \approx \frac{r^2}{2R}$$

Это приближение справедливо при условии $r \ll R$.

1.2.3 Условие интерференции

Усиление света (максимум интенсивности) происходит при:

$$\Delta = m\lambda$$

где m — целое число (порядок интерференции).

Ослабление света (минимум интенсивности) наблюдается при:

$$\Delta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

1.2.4 Радиусы колец Ньютона

Подставляя выражение для d в условие максимума, получим радиусы светлых колец:

$$r_m \sqrt{\left(m - \frac{1}{2}\right) \lambda R}$$

а для темных колец:

$$r_m = \sqrt{m \lambda R}$$

1.2.5 Интенсивность интерференционной картины

Распределение интенсивности света в зависимости от расстояния r описывается формулой:

$$I(r) = 4I_0 \cos^2 \left(\frac{\pi \Delta}{\lambda} \right)$$

где I_0 — интенсивность падающего света.

Эти уравнения позволяют численно смоделировать интерференционную картину и исследовать влияние таких параметров, как длина волны λ и радиус кривизны линзы R , на вид колец Ньютона.

1.3 Алгоритм численного расчета

1.3.1 Инициализация параметров

Длина волны света λ

Радиус кривизны линзы R

Диапазон координат r (до r_{max})

Интенсивность падающего света I_0

1.3.2 Построение координатной сетки

Создается двумерная сетка координат X, Y , охватывающее поле наблюдения;

Для каждой точки вычисляется расстояние от центра:

$$r = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

1.3.3 Расчет толщины воздушного зазора

Для каждого значения r вычисляем толщину зазора:

$$d(r) = \frac{r^2}{2R}$$

1.3.4 Расчет оптической разности хода

Для каждого r определим разность хода (с учетом фазового сдвига при отражении):

$$\Delta(r) = 2d(r) + \frac{\lambda}{2}$$

1.3.5 Расчет распределения интенсивности

$$I(r) = 4I_0 \cos^2\left(\frac{\pi\Delta(r)}{\lambda}\right)$$

1.3.6 Формирование изображения:

Интенсивность в каждой точке сетки сохраняется в матрицу, формируя двумерную карту — модель интерференционной картины;

Визуализация производится с помощью цветовой карты, где яркость отражает уровень интенсивности.

1.4 Программа

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from math import ceil

# --- Глобальные параметры ---
I0 = 1.0
r_max = 5e-3
grid_size = 600          # Размер изображения
N = 1000                  # Точек по радиусу для I(r)

lambda_values = [400e-9, 550e-9, 700e-9] # Фиолет, зелёный, красный
R_values = [0.5, 2.0, 10.0]

x = np.linspace(-r_max, r_max, grid_size)
y = np.linspace(-r_max, r_max, grid_size)
X, Y = np.meshgrid(x, y)
r_grid = np.sqrt(X**2 + Y**2)

def compute_intensity(lambda_val, R):
    d = r_grid**2 / (2 * R)
    delta = 2 * d + lambda_val / 2
    return I0 * np.cos(np.pi * delta / lambda_val) ** 2

# --- График I(r) для разных lambda ---
r = np.linspace(0, r_max, N)
fig1, ax1 = plt.subplots(figsize=(8, 5))
colors = ['purple', 'green', 'red']
```

```

for λ, color in zip(λ_values, colors):
    d = r**2 / (2 * R_values[1]) # фиксированный R = 1.0
    delta = 2 * d + λ / 2
    I = I0 * np.cos(np.pi * delta / λ) ** 2
    ax1.plot(r * 1e3, I, label=f"λ = {int(λ*1e9)} нм", color=color)

ax1.set_title("Распределение интенсивности I(r) при разных λ")
ax1.set_xlabel("Радиус r, мм")
ax1.set_ylabel("Интенсивность")
ax1.grid(True)
ax1.legend()

# --- 2D изображения колец Ньютона ---
fig2, axes = plt.subplots(len(λ_values), len(R_values),
                           figsize=(5 * len(R_values), 5 * len(λ_values)),
                           constrained_layout=True)

for i, λ in enumerate(λ_values):
    for j, R in enumerate(R_values):
        I_grid = compute_intensity(λ, R)
        ax = axes[i][j] if len(λ_values) > 1 else axes[j]
        im = ax.imshow(I_grid, cmap='gray',
                        extent=[-r_max * 1e3, r_max * 1e3, -r_max * 1e3, r_max
* 1e3])
        ax.set_title(f"λ = {int(λ*1e9)} нм, R = {R:.1f} м")
        ax.set_xlabel("x, мм")
        ax.set_ylabel("y, мм")

plt.suptitle("Интерференционные картины при разных λ и R", fontsize=16)
plt.show()

```

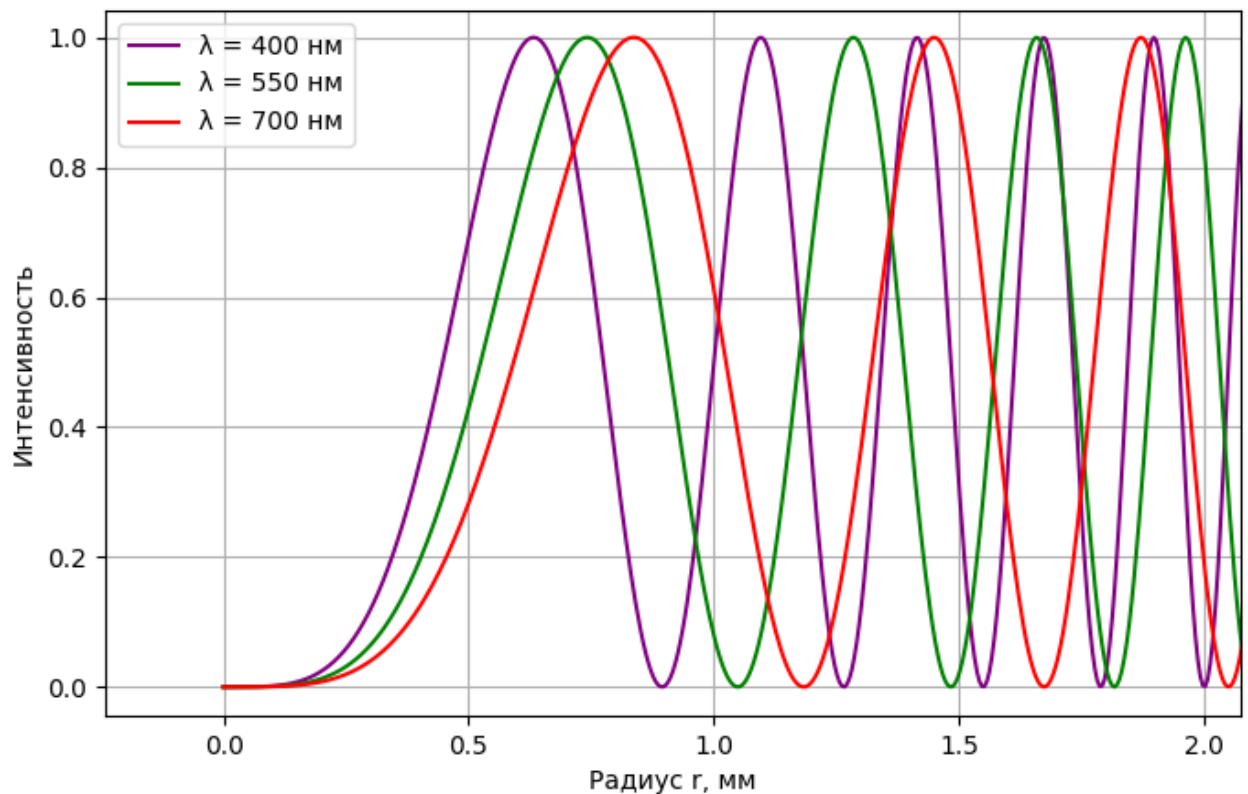


Рисунок 1 – Распределение интенсивности при разных длинах волны

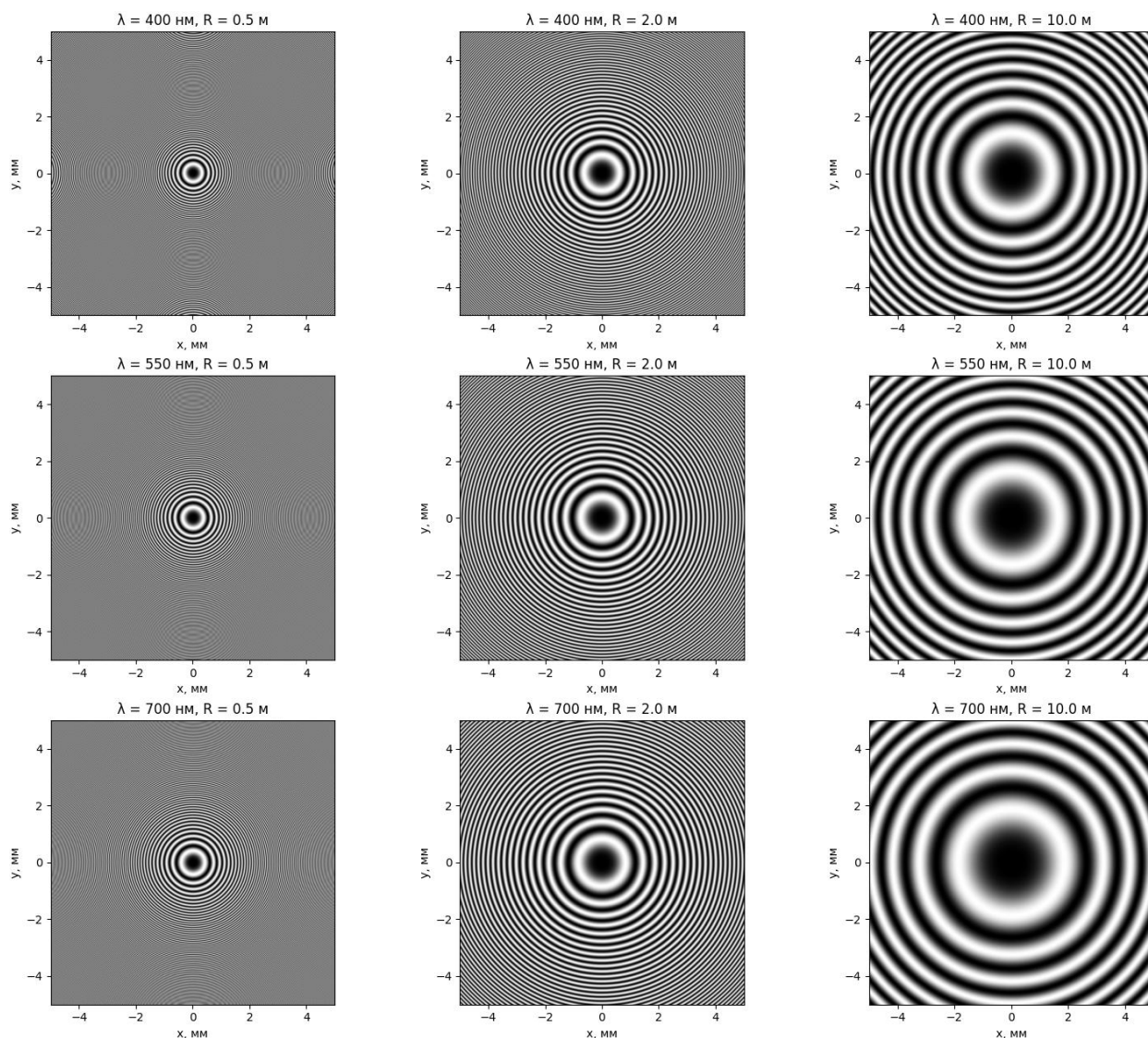


Рисунок 2 – Интерференционные картины при разных λ и R

1.5 Оценка влияния параметров

1.5.1 Влияние длины волны

- Увеличение длины волны (от 400 нм до 700 нм) приводит к уменьшению количества колец в пределах фиксированного радиуса наблюдения.
- При большей λ кольца становятся шире, а расстояние между ними увеличивается. Это объясняется тем, что условие интерференции ($\Delta = m\lambda$) при фиксированной геометрии достигается для меньшего числа порядков m при увеличении λ .

1.5.2 Влияние радиуса кривизны

- При малом R (более выпуклая линза) толщина воздушного зазора d возрастает быстрее с радиусом, что приводит к более плотному расположению колец.
- Увеличение R (менее выпуклая линза) даёт менее выраженные кольца — они становятся более растянутыми и редкими.

То есть, чем больше R , тем медленнее изменяется толщина зазора, а значит, ширина колец увеличивается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы была построена и реализована численная модель интерференции в системе «выпуклая линза — плоское стекло», позволившая визуализировать кольца Ньютона. Проведённый параметрический анализ подтвердил ожидаемое влияние длины волны и радиуса кривизны на характер интерференционной картины. Модель может использоваться для оценки оптических свойств линз и контроля геометрии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Физический факультет ФТМФ ИТМО. Определение радиуса кривизны линзы по интерференционной картине колец Ньютона: методическое пособие. – Санкт-Петербург. – 33 с. – 2025. – URL: [Описание лабораторной работы 4.03.pdf](#) (дата обращения: 03.05.2025).
2. Стафеев С. К.: Временной спектр излучения. Когерентность и монохроматичность. Понятие интерференции. Оптическая разность хода. Порядок интерференции. Метод деления амплитуды. Полосы равной толщины. Кольца Ньютона. Полосы равного наклона. Двулучевые интерферометры.: лекция 2. – 2025. – URL: [No Slide Title](#) (дата обращения: 03.05.2025).
3. Кольца Ньютона // Википедия: свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – 2023. – URL: [Кольца Ньютона — Википедия](#) (дата обращения: 03.05.2025).
4. Интерференция света // Википедия: свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – 2025. – URL: [Интерференция света — Википедия](#) (дата обращения: 03.05.2025).
5. Newton's rings // Wikipedia: the free encyclopedia [Electronic resource]. – 2025. – URL: [Newton's rings - Wikipedia](#) (дата обращения: 03.05.2025).