

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №4.03V

Кольца Ньютона

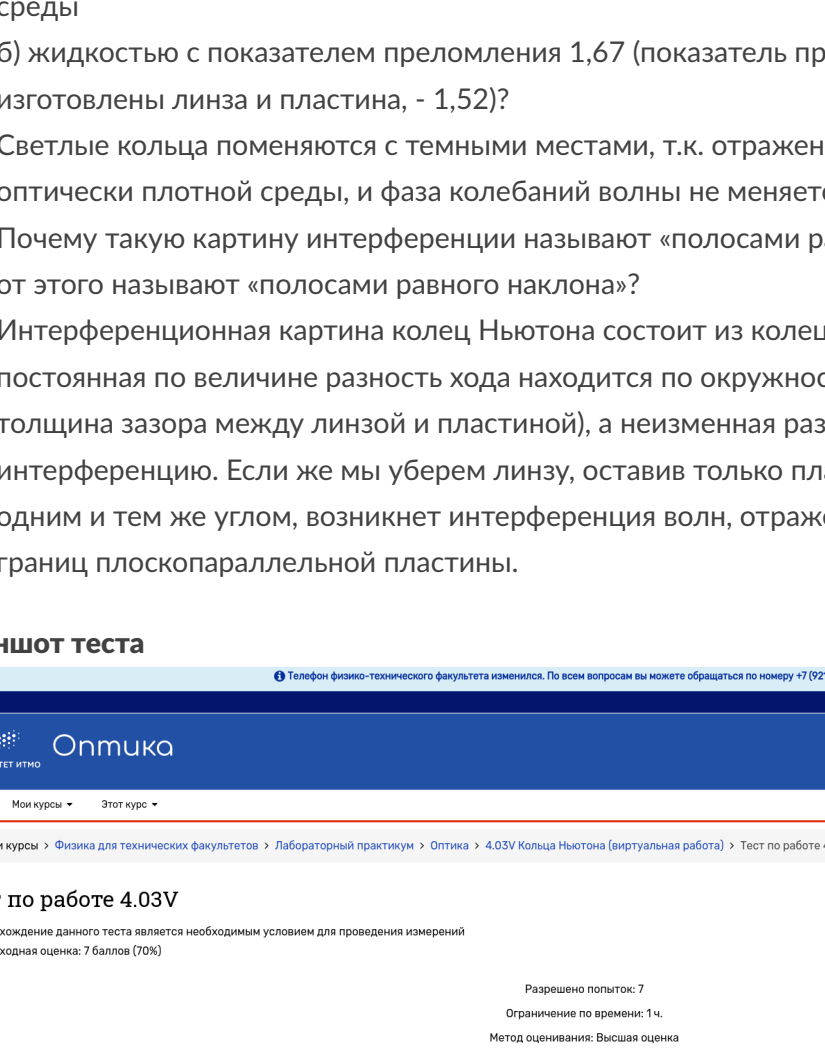
1. Цель работы.
- Изучение интерференционной картины колец Ньютона. Определение радиуса кривизны плоско-выпуклой линзы с помощью интерференционной картины колец Ньютона.
2. Задачи, решаемые при выполнении работы.
- проведение измерений интенсивности отраженного света при различных конфигурациях установки
 - выполнение расчета кривизны линзы
 - расчет погрешности измерения кривизны линзы
 - теоретический расчет разницы **видимости** соседних максимумов и минимумов, сравнение с практическим опытом
3. Объект исследования. колец.
- Интерференционная картина колец Ньютона
4. Метод экспериментального исследования.
- Компьютерное моделирование
5. Рабочие формулы и исходные данные.
- Вариант 10.
- $$n_1 = 1.40, n_2 = 1.55, \lambda_1 = 645 \text{ нм}, \lambda_2 = 594 \text{ нм}$$

Измерительные приборы:

№ п/п	Наименование	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	ось графика расстояния	0-2 мм	0.1мм
2	шкала выбора длины волны	382-778нм	1нм
3	поле ввода показателя преломления	1-1.5	0.01

Контрольные вопросы:

1. Показать ход лучей через данную систему, дающих интерференционную картину колец в отраженном и проходящем свете. Сравнить выражения для оптической разности хода.



- При наблюдении интерференционной картины в отраженном свете отражение от более оптически плотной среды приводит к потере полуволны, в отличие от случая с проходящим светом, где подобной потери не происходит. Таким образом, разности хода для темных и светлых колец отличаются на длину полуволны соответственно:
- $$\Delta_{\text{отр}} = \frac{2m+1}{2} \lambda$$
- $$\Delta_{\text{отр}} = \frac{2m+1}{2} \lambda$$
- $$\Delta_{\text{пр}} = \frac{2m+1}{2} \lambda$$
- $$\Delta_{\text{пр}} = \frac{2m+1}{2} \lambda$$
2. Как будут отличаться картины колец Ньютона в отраженном и в проходящем свете, полученные на данной интерференционной схеме?
- В отраженном свете центр картины темный, в прошедшем – светлый. В прошедшем свете видимость и контрастность ниже, поэтому наблюдать кольца предпочитают в отраженном.
3. Что понимают под временной когерентностью? Какие ограничения она накладывает на устройство интерференционной схемы?
- Временная когерентность – это сохранение взаимной когерентности при медленном изменении разности фаз колебаний. Как результат, для получения четкой интерференционной картины интервал частот должен быть малым.
4. Почему выпуклая поверхность линзы, используемой в опыте, должна иметь большой радиус кривизны?
- Чем больше радиус кривизны линзы – тем меньше зазор между поверхностью линзы и поверхностью плоскопараллельной пластины, который должен быть соизмерим с длиной волны падающего света, для того чтобы разность хода волн не была больше расстояния, при котором сохраняется интерференция за счёт разности фаз.
5. Что произойдет с картиной колец, если пространство между линзой и пластиной заполнить:
- а) водой
- Радиусы колец уменьшатся, так как отражение происходит от более оптически плотной среды
- б) жидкостью с показателем преломления 1.67 (показатель преломления стекла, из которого изготовлена линза и пластина, - 1.52)?
- Светлые кольца поменяются с темными местами, т.к. отражение происходит от менее оптически плотной среды, а фазы колебаний волны не меняются.
6. Почему такую картину интерференции называют «полосами равной толщины»? Что в отличие от этого называют «полосами равного наклона»?
- Интерференционная картина колец Ньютона состоит из колец равной толщины, т.к. постоянная по величине разность хода находится по окружности (там, где неизменная толщина зазора между линзой и пластиной), а неизменная разность хода дает неизменную интерференцию. Если же мы уберем линзу, оставив только пластину, свет будет падать под одним и тем же углом, возникнет интерференция волн, отраженных от задней и передней границ плоскопараллельной пластины.

Скриншот теста

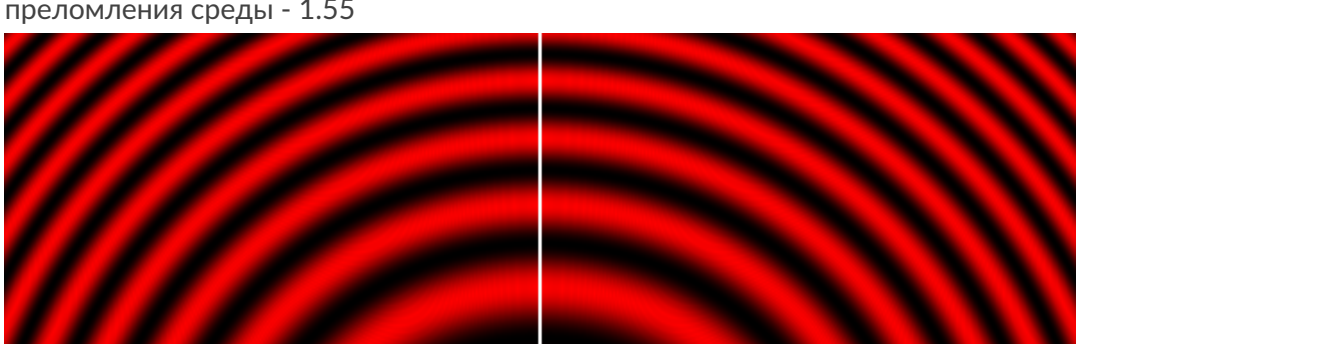


Схема установки

Наблюдение картины

Тип излучения

Длина волны 1

Показатель преломления среды

В проходящем свете

В отраженном свете

Монохроматический источник

Две длины волны

Диапазон длин волн

382нм

645

778нм

1.55

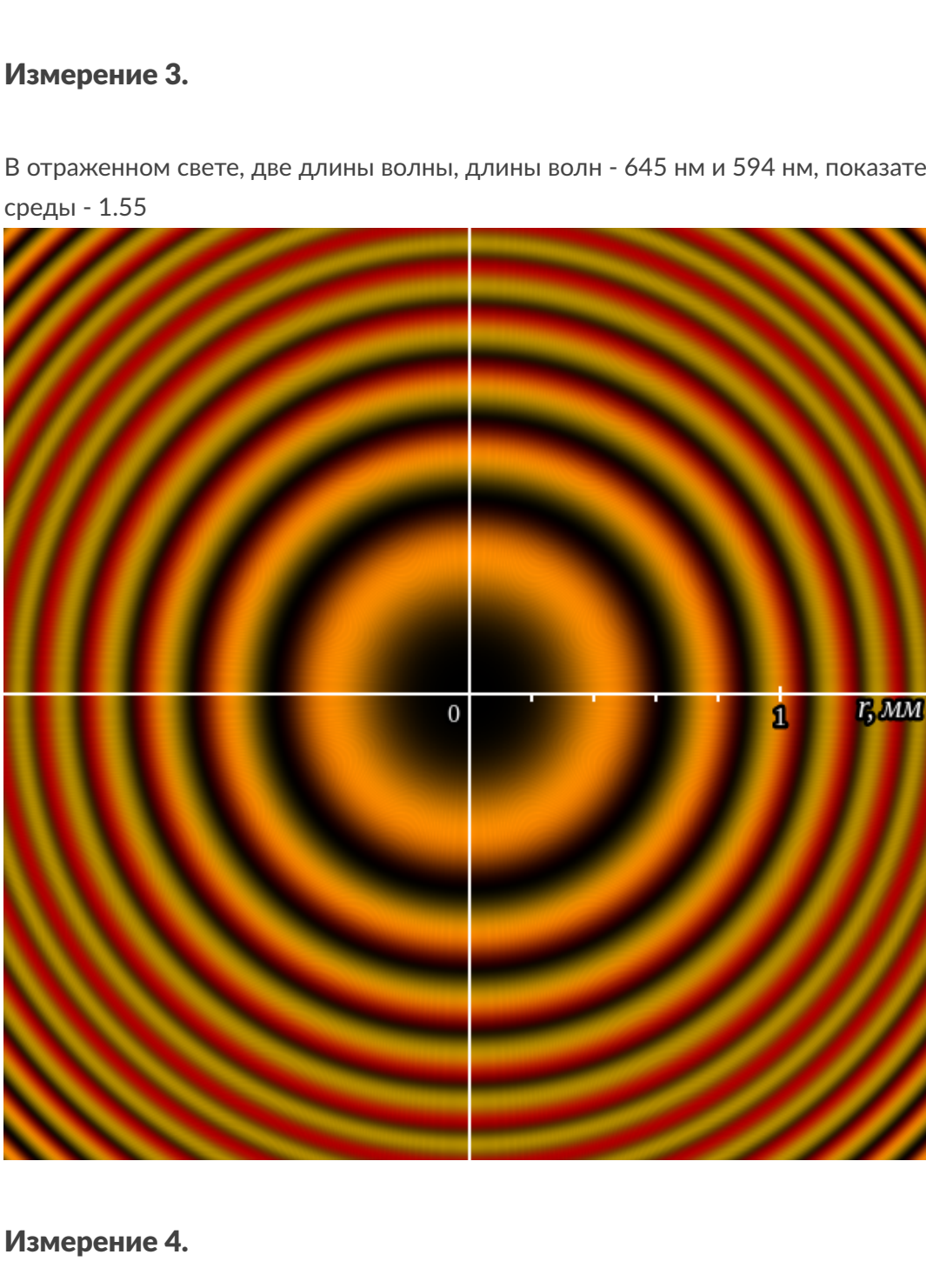
Построить

Сохранить результирующую интенсивность в CSV

Проведение измерений

Измерение 1.

В отраженном свете, монохроматический источник, длина волны - 645 нм, показатель преломления среды - 1.40



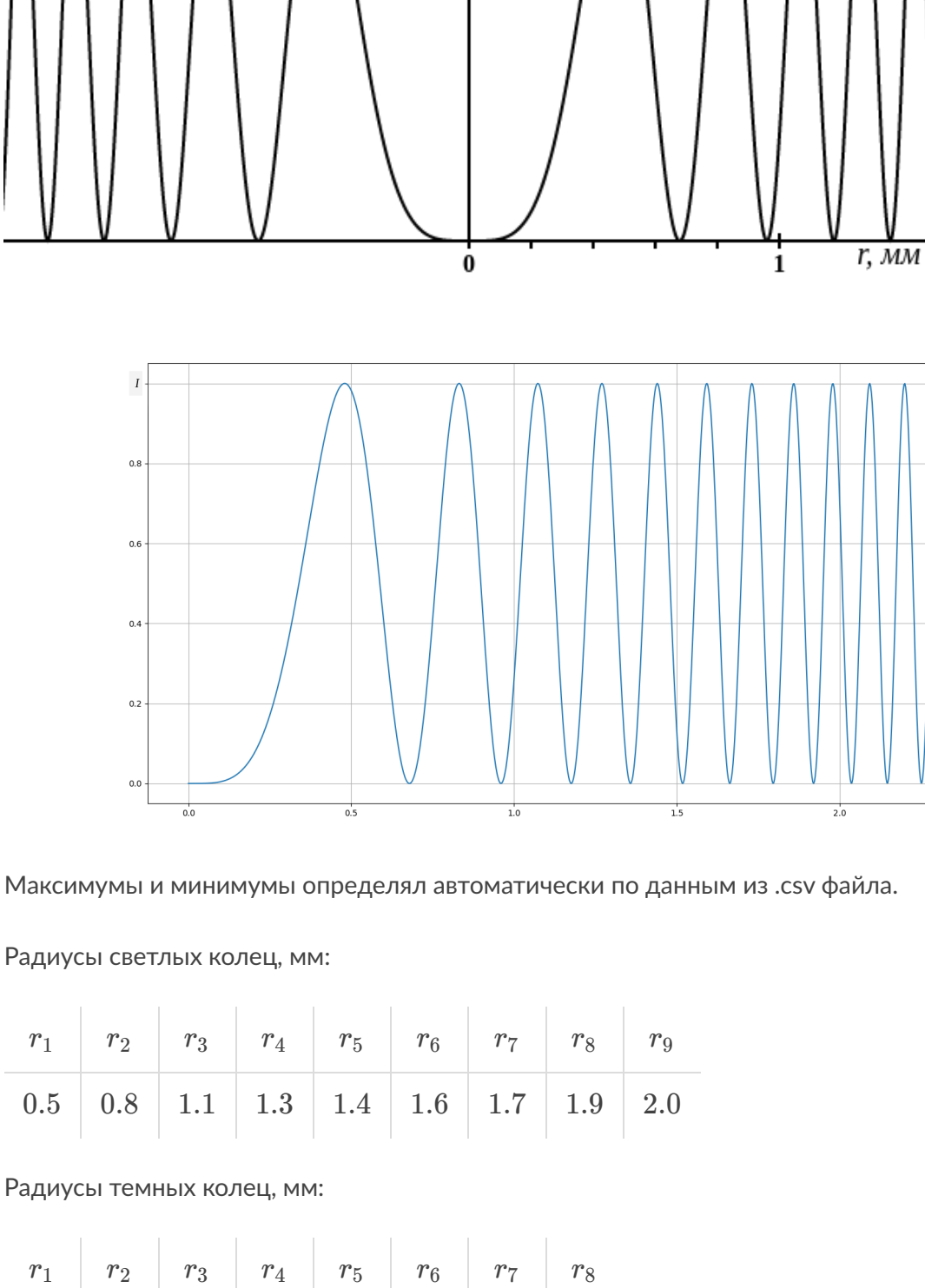
Измерение 2.

В отраженном свете, монохроматический источник, длина волны - 645 нм, показатель преломления среды - 1.55



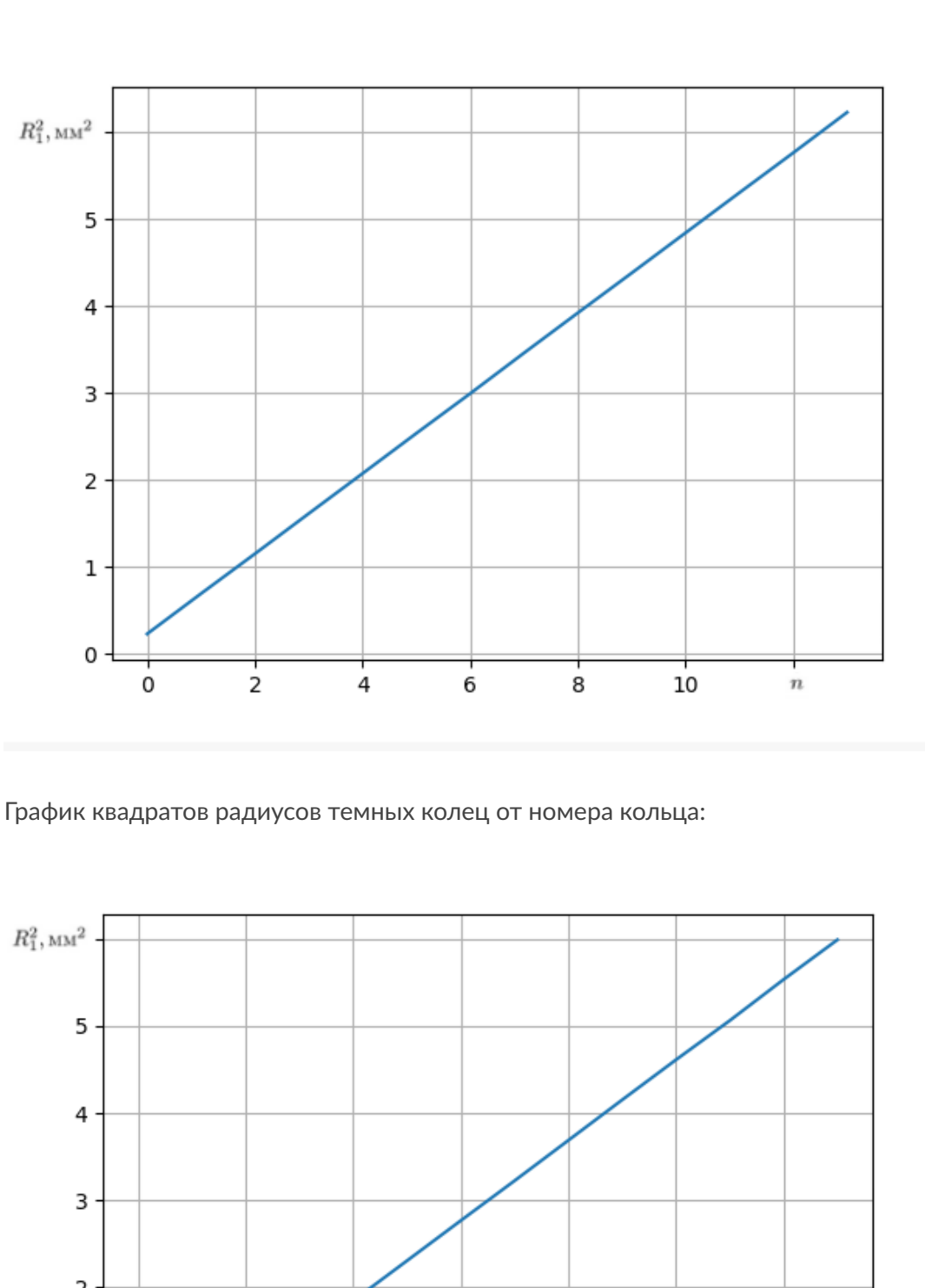
Измерение 3.

В отраженном свете, две длины волн, длины волн - 645 нм и 594 нм, показатель преломления среды - 1.55



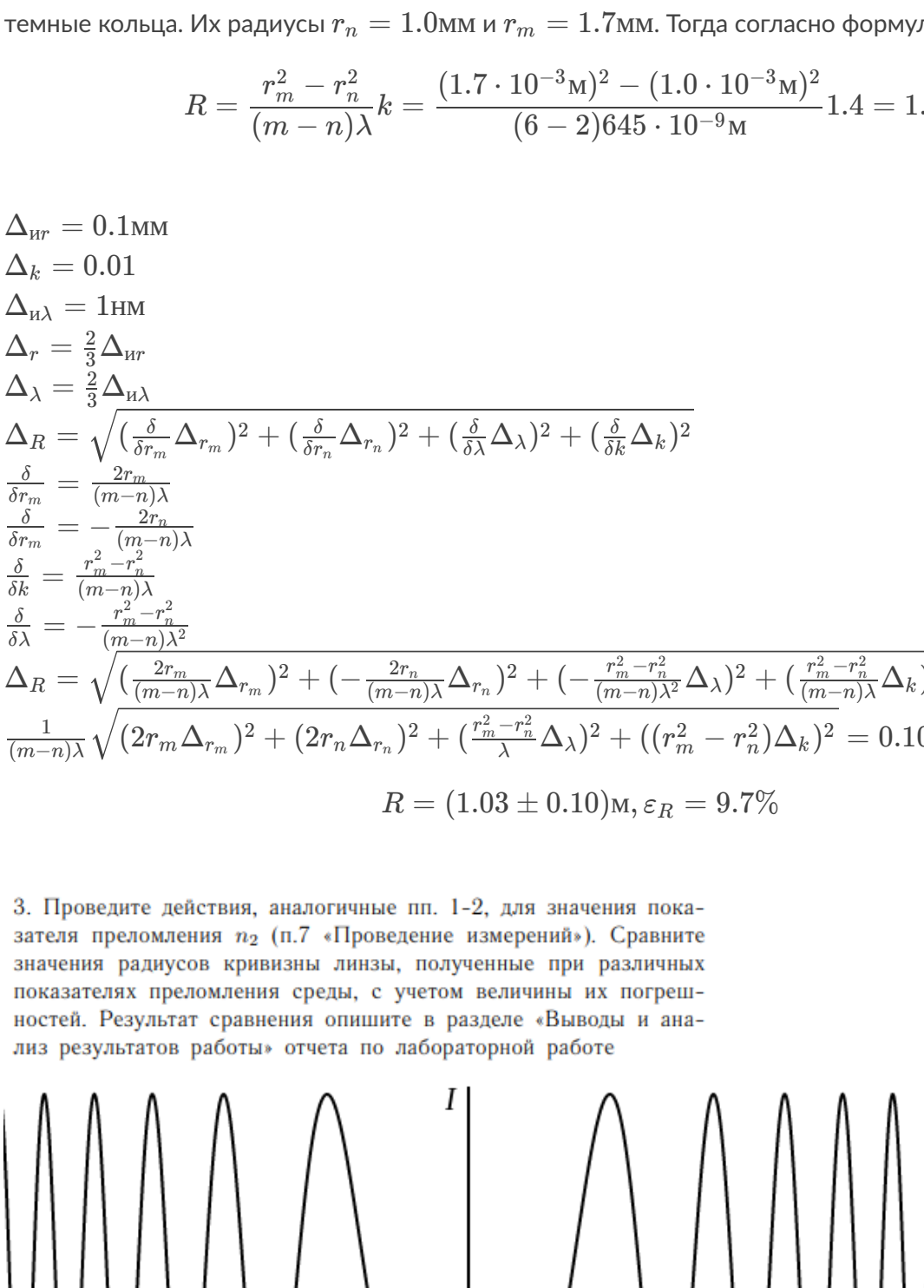
Измерение 4.

В отраженном свете, диапазон длин волн, от 594 нм до 645 нм, показатель преломления среды - 1.55



Обработка результатов измерений

1. Постройте график зависимости интенсивности, полученной в п.5 «Проведение измерений», от радиальной координаты: $I_1 = I_1(r)$. Определите радиусы светлых и темных колец. Постройте график зависимости квадратов радиусов колец от порядкового номера: $R_k^2 = R_k^2(m)$. Опишите в отчете характер полученной зависимости.



Максимумы и минимумы определял автоматически по данным из .csv файла.

Радиус светлых колец, мм:

r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅	r ₆	r ₇	r ₈	r ₉
0.5	0.8	1.1	1.3	1.4	1.6	1.7	1.9	2.0

Радиусы темных колец, мм:

r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅	r ₆	r ₇	r ₈
0.7	1.0	1.2	1.4	1.5	1.7	1.8	1.9

График квадратов радиусов светлых колец от номера кольца:

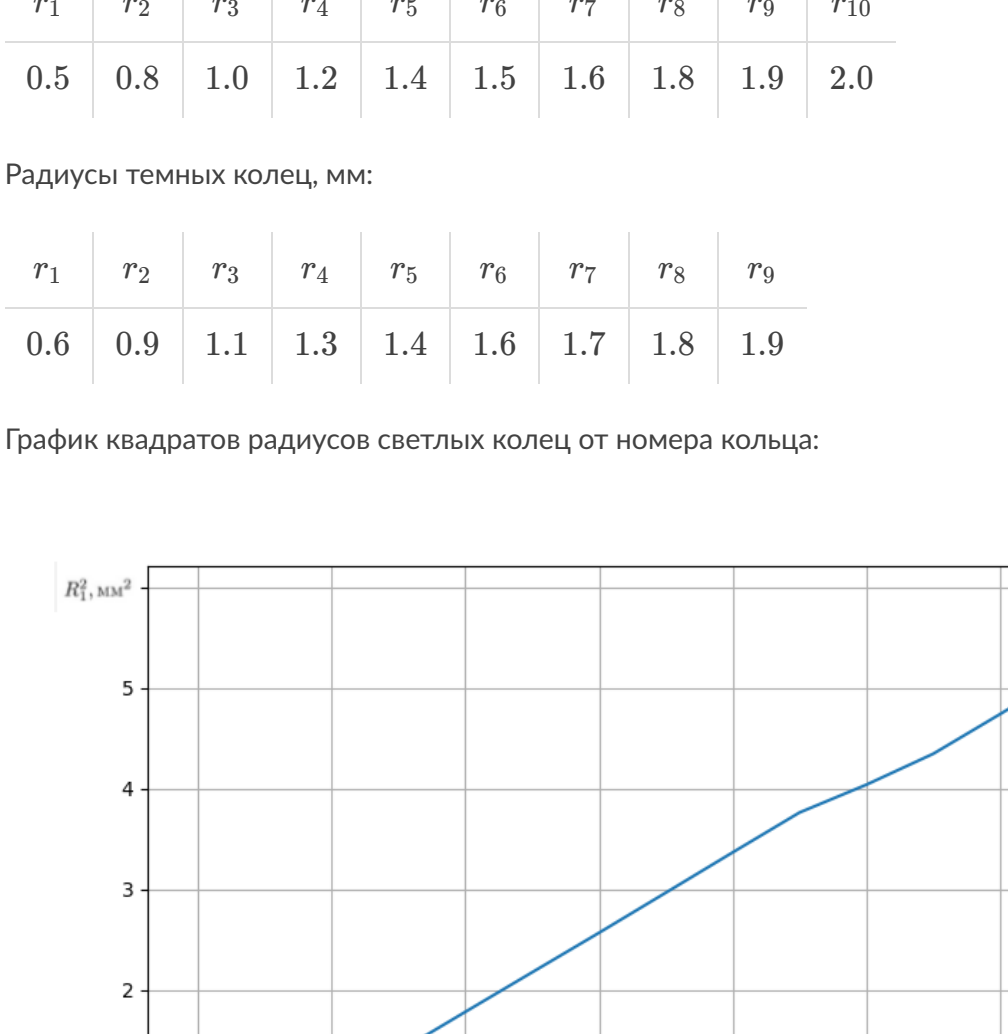
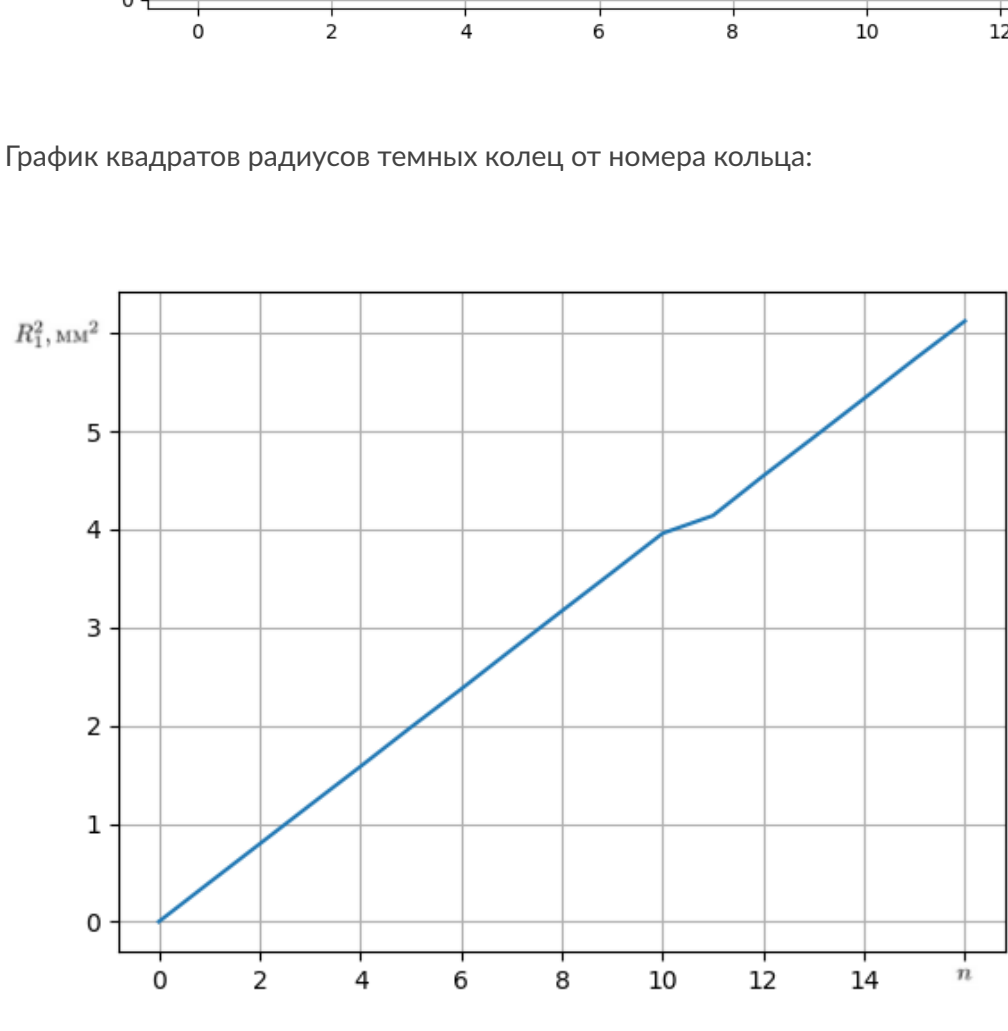


График квадратов радиусов темных колец от номера кольца:



Зависимость имеет линейный характер

2. Рассчитайте радиус кривизны линзы. Оцените погрешность его значения.

Радиус кривизны линзы рассчитывается по формуле $R = \frac{r_m^2 - r_n^2}{(m-n)\lambda} k$, где k - показатель преломления, r_m и r_n - радиусы темных колец с номерами m и n . Выберем $m = 2$ и $n = 6$ темные кольца. Их радиусы $r_n = 1.0$ мм и $r_m = 1.7$ мм. Тогда согласно формуле

$$R = \frac{r_m^2 - r_n^2}{(m-n)\lambda} k = \frac{(1.7 \cdot 10^{-3} \text{ м})^2 - (1.0 \cdot 10^{-3} \text{ м})^2}{(6-2)645 \cdot 10^{-9} \text{ м}} 1.4 = 1.03 \text{ м}$$

$$\Delta r_r = 0.1 \text{ мм}$$

$$\Delta r_k = 0.01$$

$$\Delta \lambda = 1 \text{ нм}$$

$$\Delta k = \frac{2}{3} \Delta n$$

$$\Delta R = \sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial r_m} \Delta r_m\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial r_n} \Delta r_n\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial \lambda} \Delta \lambda\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial k} \Delta k\right)^2}$$

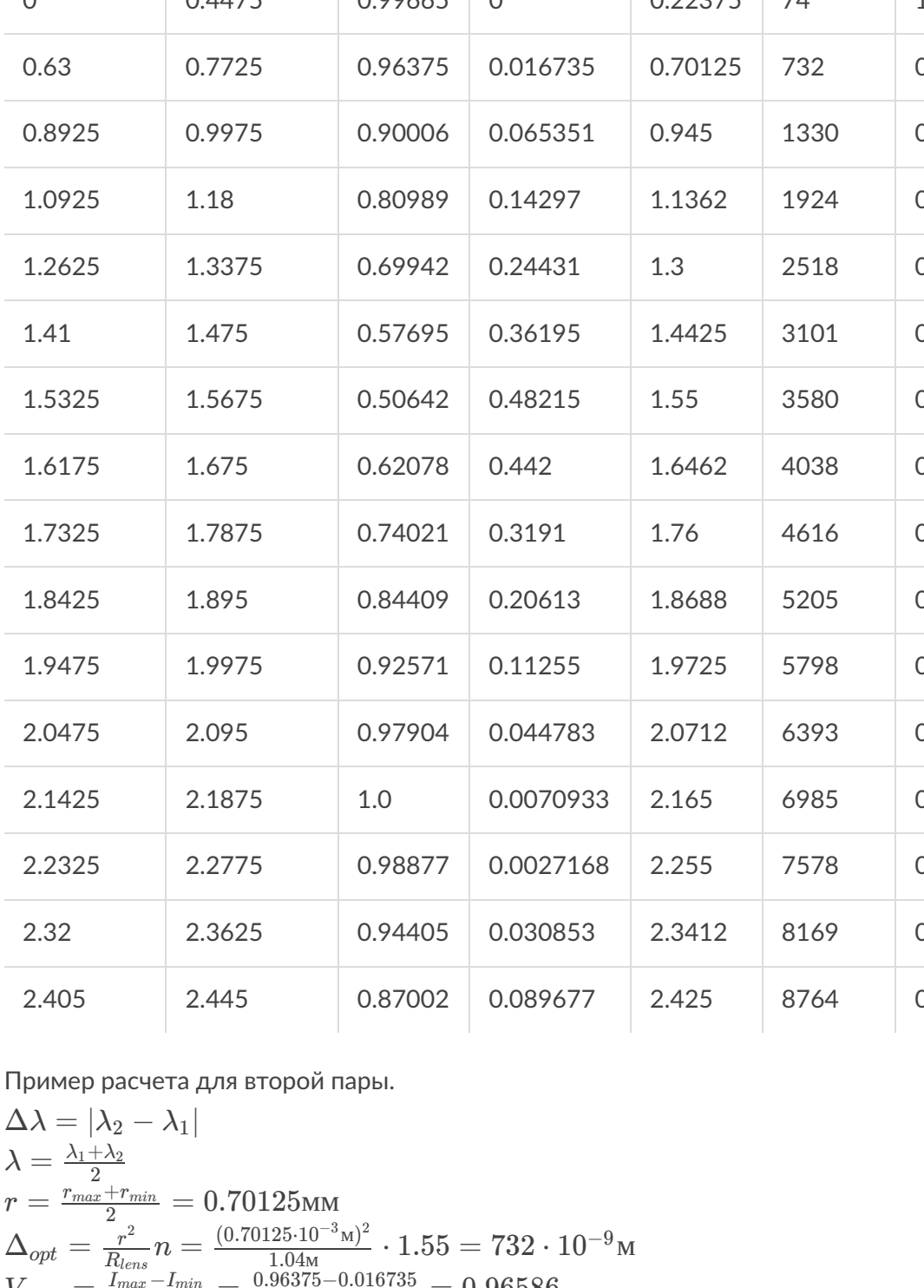
$$\frac{\partial R}{\partial r_m} = \frac{2r_m}{(m-n)\lambda} k, \quad \frac{\partial R}{\partial r_n} = -\frac{2r_n}{(m-n)\lambda} k, \quad \frac{\partial R}{\partial \lambda} = -\frac{r_m^2 - r_n^2}{(m-n)\lambda^2} k, \quad \frac{\partial R}{\partial k} = \frac{r_m^2 - r_n^2}{(m-n)\lambda}$$

$$\Delta R = \sqrt{\left(\frac{2r_m}{(m-n)\lambda} \Delta r_m\right)^2 + \left(-\frac{2r_n}{(m-n)\lambda} \Delta r_n\right)^2 + \left(-\frac{r_m^2 - r_n^2}{(m-n)\lambda^2} \Delta \lambda\right)^2 + \left(\frac{r_m^2 - r_n^2}{(m-n)\lambda} \Delta k\right)^2} =$$

$$\frac{1}{(m-n)\lambda} \sqrt{(2r_m \Delta r_m)^2 + (2r_n \Delta r_n)^2 + \left(\frac{r_m^2 - r_n^2}{\lambda} \Delta \lambda\right)^2 + ((r_m^2 - r_n^2) \Delta k)^2} = 0.10 \text{ м}$$

$$R = (1.03 \pm 0.10) \text{ м}, \epsilon_R = 9.7\%$$

3. Проведите действия, аналогичные пп. 1-2, для значения показателя преломления n_2 (п.7 «Проведение измерений»). Сравните значения радиусов кривизны линзы, полученные при различных показателях преломления среды, с учетом величин их погрешностей. Результат сравнения опишите в разделе «Выводы и анализ результатов работы» отчета по лабораторной работе



Радиусы светлых колец, мм:

r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅	r ₆	r ₇	r ₈	r ₉	r ₁₀
0.5	0.8	1.0	1.2	1.4	1.5	1.6	1.8	1.9	2.0

Радиусы темных колец, мм:

r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅	r ₆	r ₇	r ₈	r ₉
0.6	0.9	1.1	1.3	1.4	1.6	1.7	1.8	1.9

График квадратов радиусов светлых колец от номера кольца:



График квадратов радиусов темных колец от номера кольца:

Зависимость имеет линейный характер

Радиус кривизны линзы рассчитывается по формуле $R = \frac{r_m^2 - r_n^2}{(m-n)\lambda} k$, где k - показатель преломления, r_m и r_n - радиусы темных колец с номерами m и n . Выберем $m = 2$ и $n = 6$ темные кольца. Их радиусы $r_n = 0.9$ мм и $r_m = 1.6$ мм. Тогда согласно формуле

$$R = \frac{r_m^2 - r_n^2}{(m-n)\lambda} k = \frac{(1.6 \cdot 10^{-3} \text{ м})^2 - (0.9 \cdot 10^{-3} \text{ м})^2}{(6-2)645 \cdot 10^{-9} \text{ м}} 1.55 = 1.05 \text{ м}$$

$$\Delta R = \sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial r_m} \Delta r_m\right)^2 + \left(-\frac{\partial R}{\partial r_n} \Delta r_n\right)^2 + \left(-\frac{\partial R}{\partial \lambda} \Delta \lambda\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial k} \Delta k\right)^2} =$$

$$\frac{1}{(m-n)\lambda} \sqrt{(2r_m \Delta r_m)^2 + (2r_n \Delta r_n)^2 + \left(\frac{r_m^2 - r_n^2}{\lambda} \Delta \lambda\right)^2 + ((r_m^2 - r_n^2) \Delta k)^2} = 0.09 \text{ м}$$

$$R = (1.05 \pm 0.09) \text{ м}, \epsilon_R = 8.6\%$$

Результаты измерений радиусов кривизны линзы равны в пределах погрешности, средняя кривизна: $R_{\text{сред}} = \frac{R_1 + R_2}{2} = (1.04 \pm 0.10) \text{ м}$

4. Постройте график распределения интенсивности $I_2(r)$ для би-хроматического излучения (п.10 «Проведение измерений»).

5. Найдите для каждой пары соседних максимума и минимума значение видности $V_{\text{виз}}(\Delta)$, где Δ - оптическая разность хода для координат g лежащей посередине между максимумом и минимумом.

6. Препологая, что интенсивности складываемых гармоник одинаковы, рассчитайте теоретические значения $V_{\text{теор}}(\Delta)$. Сравните результаты с полученными в эксперименте. Постройте соответствующие зависимости на одном и том же графике.

16 соседних минимумов и максимумов:

Минимум, мм	Максимум, мм	I_{max}	I_{min}	r , мм	$\Delta_{\text{опт}}(r)$, нм	$V_{\text{виз}}(\Delta)$	$V_{\text{теор}}(\Delta)$
0	0.4475	0.99665	0	0.22375	74	1.0	0.99952
0.63	0.7725	0.96375	0.016735	0.70125	732	0.96586	0.95351
0.8925	0.9975	0.90006	0.065351	0.945	1330	0.86462	0.84927
1.0925	1.18	0.80989	0.14297	1.1362	1924	0.69991	0.6934
1.2625	1.3375	0.69942	0.24431	1.3	2518	0.48225	0.49496
1.41	1.475	0.57695	0.36195	1.4425	3101	0.22899	0.27057
1.5325	1.5675	0.50642	0.48215	1.55	3580	0.024551	0.073609
1.6175	1.675	0.62078	0.442	1.6462	4038	0.16822	0.11758
1.7325	1.7875	0.74021	0.3191	1.76	4616	0.39753	0.35187
1.8425	1.895	0.84409	0.20613	1.8688	5205	0.60745	0.56949
1.9475	1.9975	0.92571	0.11255	1.9725	5798	0.78319	0.75383
2.0475	2.095	0.97904	0.044783	2.0712	6393	0.91252	0.89243
2.1425	2.1875	1.0	0.0070933	2.165	6985	0.98591	0.97578
2.2325	2.2775	0.98877	0.0027168	2.255	7578	0.99452	0.99962
2.32	2.3625	0.94405	0.030853	2.3412	8169	0.93671	0.96253
2.405	2.445	0.87002	0.089677	2.425	8764	0.81311	0.86611

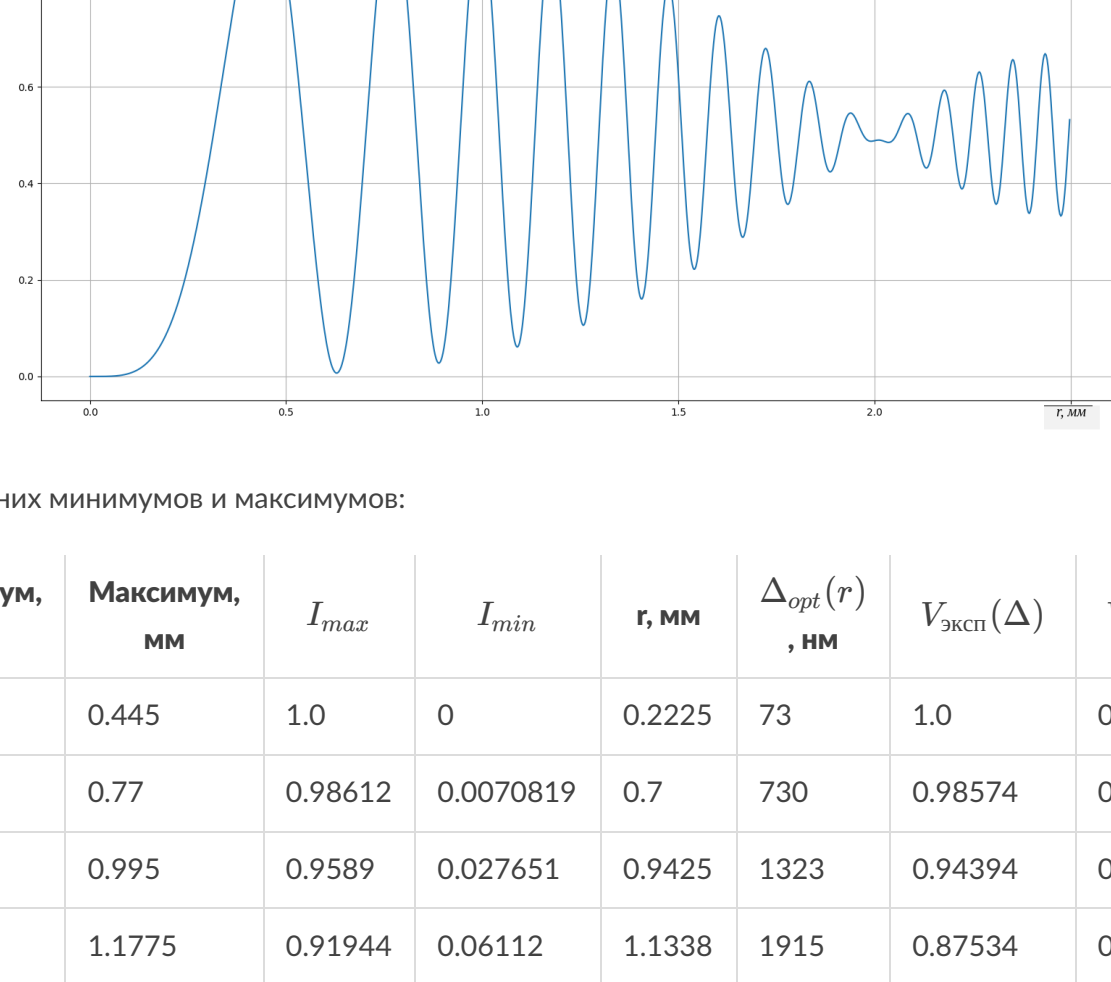
Пример расчета для второй пары.

$$\Delta \lambda = |\lambda_2 - \lambda_1|$$
$$\lambda = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}$$
$$r = \frac{r_m^2 - r_n^2}{2(m-n)\lambda} = 0.70125 \text{ мм}$$
$$\Delta_{\text{опт}} = \frac{r_m^2 - r_n^2}{2(m-n)\lambda} = \frac{(0.70125 \cdot 10^{-3} \text{ м})^2 - (0.4475 \cdot 10^{-3} \text{ м})^2}{2(6-2)645 \cdot 10^{-9} \text{ м}} = 732 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$
$$V_{\text{виз}} = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{I_{\text{max}} + I_{\text{min}}} = \frac{0.96375 - 0.016735}{0.96375 + 0.016735} = 0.96586$$

Теоретическая видность для би-хроматического источника взята из "Оптика" Бутикова Е. И., формула 5.19):

$$V_{\text{теор}}(\Delta_{\text{опт}}) = \left| \cos\left(\frac{\delta k \Delta_{\text{опт}}}{2}\right) \right|, \text{ где } \delta k = \left| \frac{\omega_2 - \omega_1}{c} \right|$$
$$\delta k = \left| 2\pi \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right) \right| = \left| 2 \cdot 3.14 \cdot \left(\frac{1}{645 \text{ нм}} - \frac{1}{594 \text{ нм}} \right) \right| = 8.36 \cdot 10^6 \frac{1}{\text{м}}$$
$$V_{\text{теор}} = \left| \cos\left(\frac{\delta k \Delta_{\text{опт}}}{2}\right) \right| = \left| \cos\left(\frac{8.36 \cdot 10^6 \cdot 732 \cdot 10^{-9}}{2}\right) \right| = 0.9535$$

7. Повторите расчеты пп. 4-6 для однородного сплошного спектра (п.12 «Проведение измерений»). Сравните с результатами для би-хроматического излучения, опишите результат сравнения в разделе «Выводы и анализ результатов работы» отчета по лабораторной работе.



16 соседних минимумов и максимумов:

Минимум, мм	Максимум, мм	I_{max}	I_{min}	r , мм	$\Delta_{opt}(r)$, нм	$V_{экл.}(\Delta)$	$V_{теор.}(\Delta)$
0	0.445	1.0	0	0.2225	73	1.0	0.99871
0.63	0.77	0.98612	0.0070819	0.7	730	0.98574	0.98344
0.89	0.995	0.9589	0.027651	0.9425	1323	0.94394	0.94873
1.09	1.1775	0.91944	0.06112	1.1338	1915	0.87534	0.89556
1.2575	1.335	0.86959	0.10587	1.2963	2504	0.78293	0.82622
1.4075	1.475	0.81152	0.16061	1.4413	3096	0.66957	0.74249
1.54	1.6025	0.7469	0.22191	1.5712	3679	0.54189	0.64918
1.665	1.7225	0.6796	0.28836	1.6938	4275	0.40419	0.54597
1.78	1.835	0.61119	0.35657	1.8075	4869	0.2631	0.4388
1.8875	1.94	0.54558	0.42369	1.9138	5458	0.12575	0.33184
1.99	2.01	0.48963	0.4872	2.0	5961	0.0024876	0.24257
2.035	2.085	0.54462	0.48475	2.06	6324	0.058162	0.18055
2.1325	2.1775	0.59306	0.43167	2.155	6921	0.1575	0.084958
2.2225	2.2675	0.63086	0.38836	2.245	7511	0.23793	0.0006346
2.31	2.3525	0.6564	0.3565	2.3312	8099	0.29608	0.07122
2.395	2.435	0.66856	0.33785	2.415	8692	0.3286	0.12979



Вывод и результаты обработки измерений

$$R_{\text{цел.}} = \frac{R_1 + R_2}{2} = (1.04 \pm 0.10) \mu\text{м}$$

В ходе данной лабораторной работы мною были выполнены прямые однократные измерения интенсивности "колец Ньютона" в отраженном свете для двух показателей преломления, а так же для бихроматического и полихроматического источников света, косвенные измерения радиуса кривизны линзы и видимости(экспериментальной и теоретической).

В результате обработки измерений я выяснил, что квадрат радиуса кольца Ньютона линейно зависит от его номера, а также нашел теоретическую зависимость видности от оптической разности хода для бихроматического излучения.