

Дата и время измерений:
18.05.2020 14:00

Группа: P3122

К работе допущен:

Студент: Громов А.С.

Работа выполнена:

Преподаватель: Крылов В.А.

Отчет принят:

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе № 4.03V «Кольцо 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.

- 1) Получить интерференционную картину методом деления амплитуд.
- 2) Изучить зависимости интенсивности от радиальной координаты для монохроматического и бихроматического излучений.
- 3) Рассчитать радиус кривизны линзы.
- 4) Исследовать функцию видности.

3. Объект исследования.

Интерференционная картина кольца Ньютона.

4. Метод экспериментального исследования.

Статический.

5. Рабочие формулы и исходные данные.

$$n_1 = 1,20$$

$$n_2 = 1,70$$

$$\lambda_1 = 715 \text{ нм}$$

$$\lambda_2 = 650 \text{ нм}$$

$$R = \frac{(r_m^2 - r_n^2)n_0}{(m - n)\lambda}$$

$$V_{\text{эскп}} = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{I_{\text{max}} + I_{\text{min}}}$$

$$V_{\text{теор}} = \left| \cos \left(\frac{\pi \Delta \lambda}{\lambda^2} \Delta_{\text{opt}} \right) \right| - \text{для бихроматического излучения}$$

$$V_{\text{теор}} = \left| \text{sinc} \left(\frac{\pi \Delta \lambda}{\lambda^2} \Delta_{\text{opt}} \right) \right| - \text{для однородного сплошного спектра}$$

$$\frac{1}{c} = \frac{\pi \Delta \lambda}{\lambda^2} \Delta_{\text{opt}}$$

$$\Delta_{\text{opt}} = \frac{r^2}{R} n_0$$

6. Измерительные приборы.

Виртуальный стенд.

7. Схема установки.

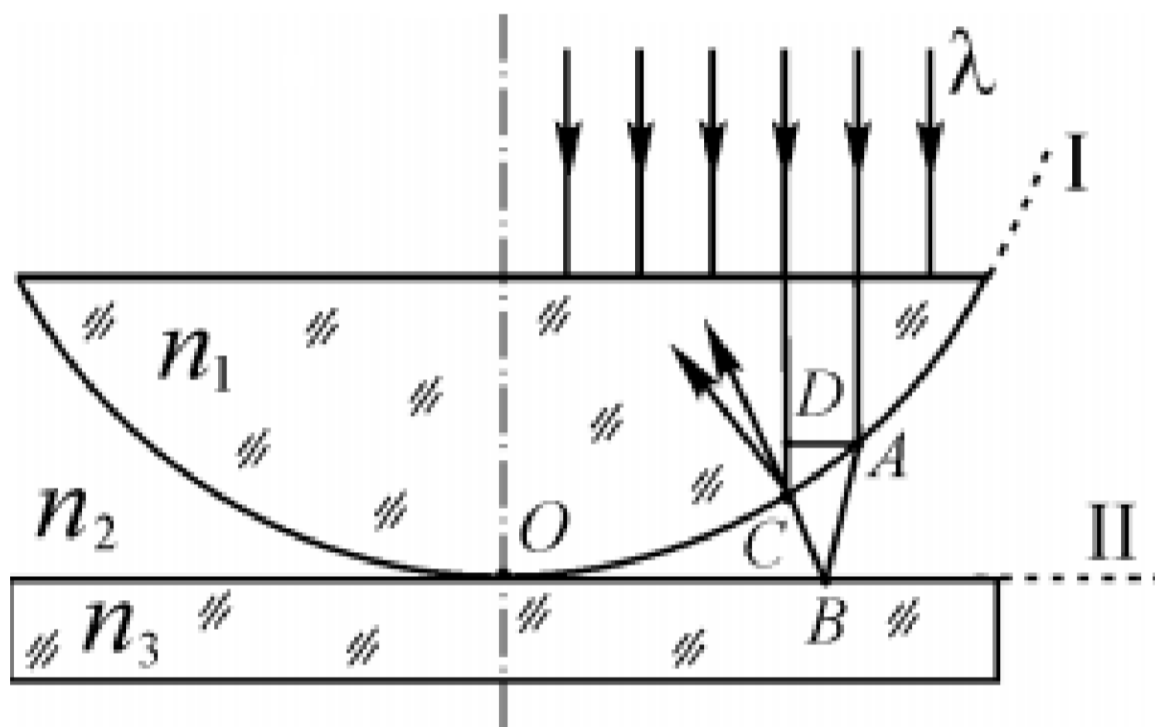
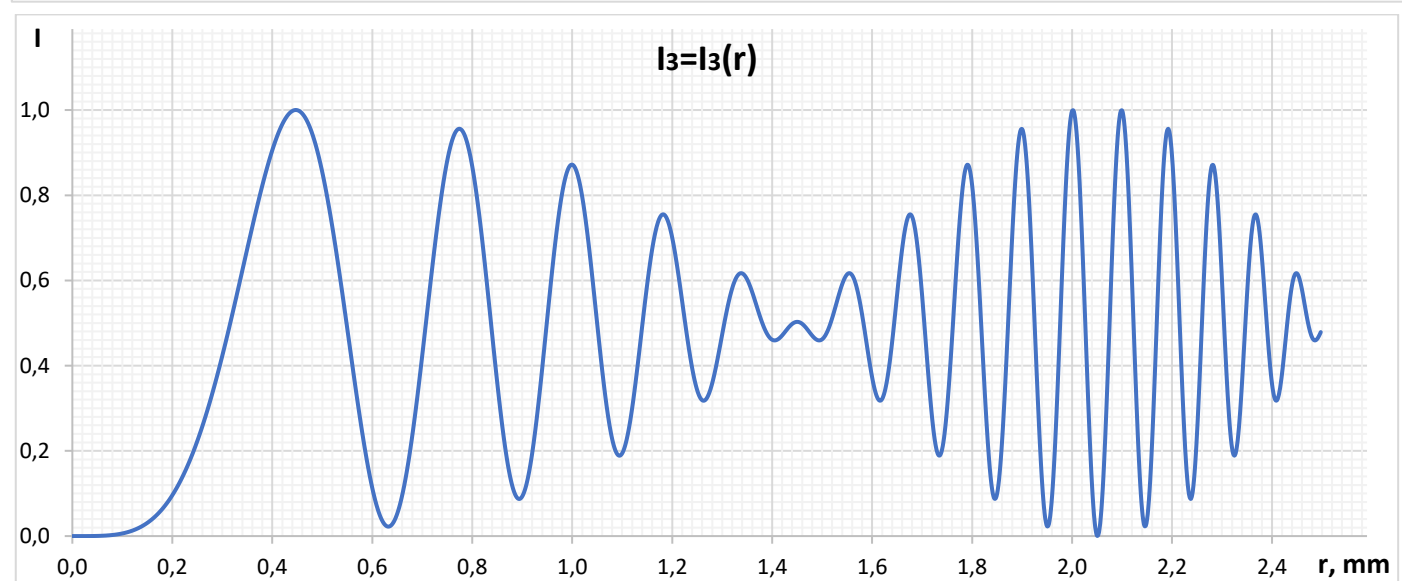
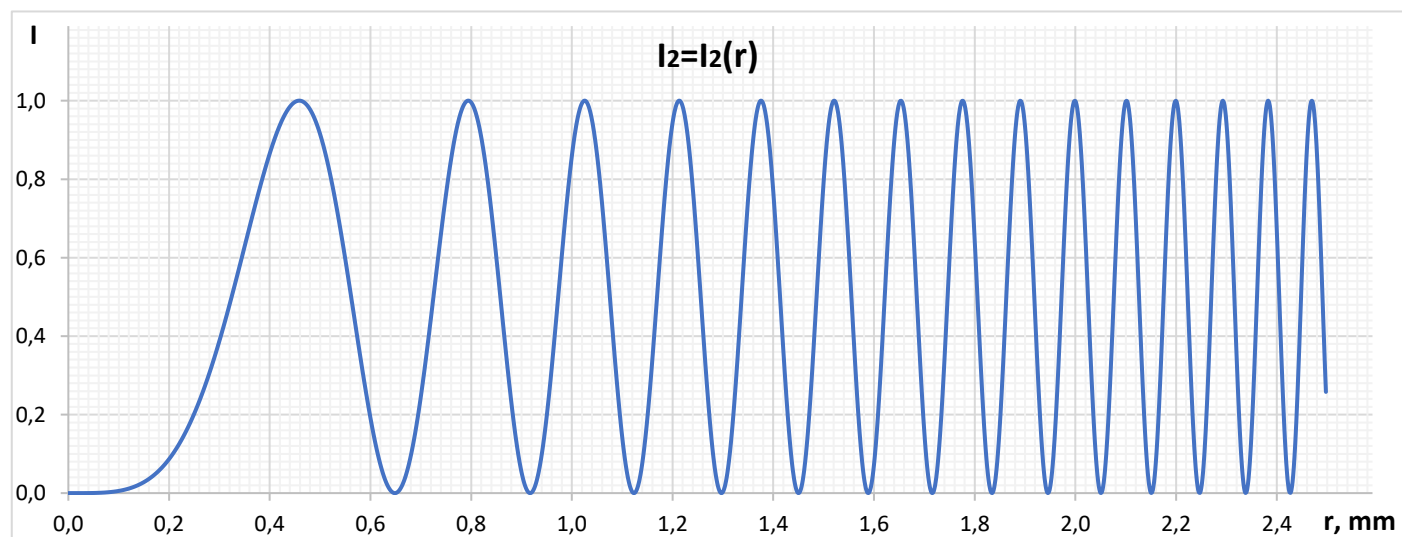
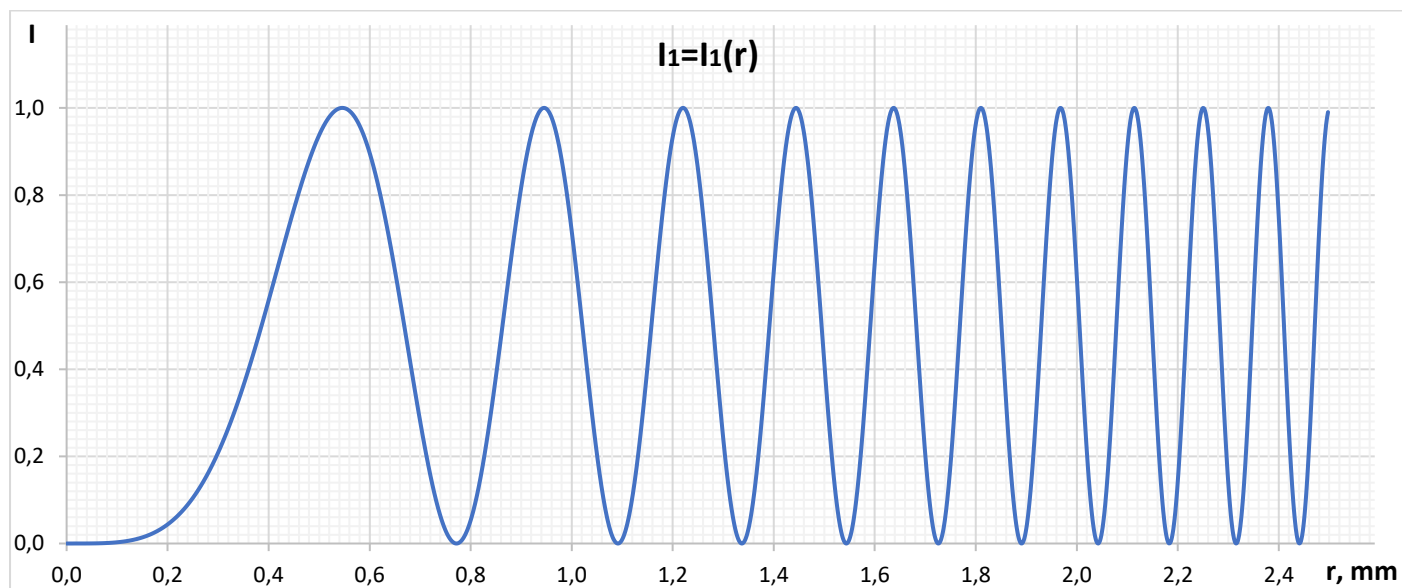
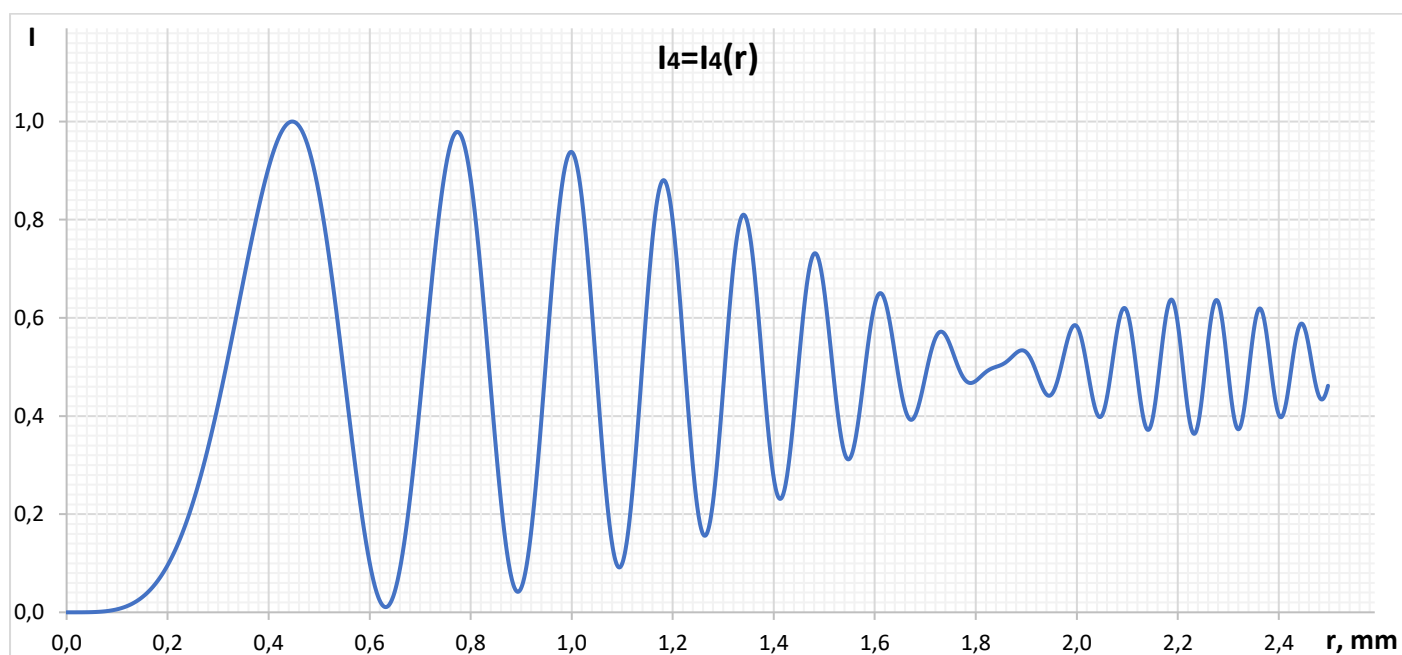


Рис. 2. Формирование интерференционной картины в опыте "кольца Ньютона".

8. Результаты прямых измерений и их обработки.





9. Расчет результатов косвенных измерений.

Таблица радиусов колец для измерения из п.5

m	$R_{\text{свет}}, \text{мм}$	$R_{\text{темн}}, \text{мм}$	$R_{\text{свет}}^2, \text{мм}^2$	$R_{\text{темн}}^2, \text{мм}^2$
0	-	0,0000	-	0,0000
1	0,5525	0,7750	0,3053	0,6006
2	0,9525	1,0925	0,9073	1,1936
3	1,2250	1,3375	1,5006	1,7889
4	1,4500	1,5450	2,1025	2,3870
5	1,6425	1,7275	2,6978	2,9843
6	1,8150	1,8925	3,2942	3,5816
7	1,9725	2,0425	3,8908	4,1718
8	2,1175	2,1825	4,4838	4,7633
9	2,2525	2,3140	5,0738	5,3546
10	2,3825	2,4425	5,6763	5,9658

Таблица радиусов колец для измерения из п.7

<i>m</i>	<i>R</i>_{свет}, мм	<i>R</i>_{темн}, мм	<i>R</i>²_{свет}, мм²	<i>R</i>²_{темн}, мм²
0	-	0,0000	-	0,0000
1	0,4675	0,6500	0,2186	0,4225
2	0,8000	0,9175	0,6400	0,8418
3	1,0275	1,1250	1,0558	1,2656
4	1,2175	1,2975	1,4823	1,6835
5	1,3800	1,4500	1,9044	2,1025
6	1,5225	1,5900	2,3180	2,5281
7	1,6575	1,7150	2,7473	2,9412
8	1,7775	1,8350	3,1595	3,3672
9	1,8925	1,9450	3,5816	3,7830
10	2,0000	2,0500	4,0000	4,2025
11	2,1050	2,1525	4,4310	4,6333
12	2,2025	2,2475	4,8510	5,0513
13	2,2950	2,3375	5,2670	5,4639
14	2,3850	2,4275	5,6882	5,8928
15	2,4725	-	6,1133	-

Таблица для расчета радиуса кривизны линзы (п.5)

$$R = \frac{(r_m^2 - r_n^2)n_0}{(m - n)\lambda}$$

<i>m – n</i>	<i>R</i>_{<i>m</i>}², мм²	<i>R</i>_{<i>n</i>}², мм²	<i>R_i</i>, мм
1-0	0,4536	0,0000	1,0080
3-2	1,3806	0,9216	0,9992
5-4	2,3028	1,8428	1,0023
7-6	3,2220	2,7639	0,9906
9-8	4,1514	3,6864	0,9924

Таблица для расчета радиуса кривизны линзы (п.7)

$m - n$	$R_m^2, \text{мм}^2$	$R_n^2, \text{мм}^2$	$R_i, \text{мм}$
1-0	0,4160	0,0000	1,0045
3-2	1,2488	0,8327	1,0077
5-4	2,0808	1,6641	0,9962
7-6	2,9156	2,4964	0,9823
9-8	3,7442	3,3306	0,9886
11-10	4,5796	4,1616	1,0242
13-12	5,4056	4,9952	0,9811

Таблица для вычисления функции видности (п.10)

$$\lambda_1 = 715 \text{ нм} \quad \lambda_2 = 650 \text{ нм}$$

$$V_{\text{эскп}} = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{I_{\text{max}} + I_{\text{min}}}$$

$$V_{\text{теор}} = \left| \cos \left(\frac{\pi \Delta \lambda}{\lambda^2} \Delta_{\text{opt}} \right) \right| - \text{для бихроматического излучения}$$

$$V_{\text{теор}} = \left| \text{sinc} \left(\frac{\pi \Delta \lambda}{\lambda^2} \Delta_{\text{opt}} \right) \right| - \text{для однородного сплошного спектра}$$

$$\frac{1}{c} = \frac{\pi \Delta \lambda}{\lambda^2} \Delta_{\text{opt}} \quad \Delta_{\text{opt}} = \frac{r^2}{R} n_0$$

$$\Delta \lambda = \lambda_1 - \lambda_2 = 645 - 594 = 65 \text{ нм}$$

$$\lambda = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} = \frac{645 + 594}{2} = 682,5 \text{ нм}$$

n	$R_{\text{max}}, \text{мм}$	$R_{\text{min}}, \text{мм}$	$r, \text{мм}$	I_{max}	I_{min}	c	$\Delta, \text{мм}^2$	$V_{\text{эскп}}$	$V_{\text{теор}}$
1	0,4500	0,0000	0,2250	0,9995	0,0000	0,0377	0,0861	1,0000	0,9993
2	0,7775	0,6350	0,7063	0,9545	0,0230	0,3717	0,8479	0,9529	0,9317
3	1,0025	0,8950	0,9488	0,8699	0,0874	0,6708	1,5302	0,8175	0,7833
4	1,1850	1,0950	1,1400	0,7533	0,1888	0,9685	2,2093	0,5992	0,5665
5	1,3425	1,2650	1,3038	0,6148	0,3185	1,2668	2,8896	0,3175	0,2994
6	1,4575	1,4075	1,4325	0,5000	0,4597	1,5293	3,4885	0,0420	0,0415
7	1,5600	1,4975	1,5288	0,6122	0,4602	1,7417	3,9730	0,1418	0,1701
8	1,6800	1,6175	1,6488	0,7495	0,3184	2,0259	4,6212	0,4037	0,4395
9	1,7925	1,7350	1,7638	0,8702	0,1889	2,3184	5,2884	0,6433	0,6799

10	1,9025	1,8475	1,8750	0,9465	0,0893	2,6200	5,9766	0,8276	0,8671
11	2,0050	1,9500	1,9775	0,9881	0,0231	2,9143	6,6479	0,9543	0,9743
12	2,0975	2,0500	2,0738	0,9977	0,0007	3,2049	7,3107	0,9986	0,9980
13	2,1950	2,1475	2,1713	0,9469	0,0246	3,5134	8,0144	0,9494	0,9317
14	2,2825	2,2375	2,2600	0,8705	0,0873	3,8065	8,6829	0,8178	0,7870
15	2,3700	2,3250	2,3475	0,7488	0,1889	4,1069	9,3683	0,5971	0,5691
16	2,4525	2,4075	2,4300	0,6118	0,3183	4,4007	10,038	0,3156	0,3067
17	-	2,4875	-	-	0,4598	-	-	-	-

Таблица для вычисления функции видности (п.12)

<i>n</i>	<i>R_{max}</i> , мм	<i>R_{min}</i> , мм	<i>r</i> , мм	<i>I_{max}</i>	<i>I_{min}</i>	<i>c</i>	<i>Δ</i> , мм ²	<i>V_{эскп}</i>	<i>V_{теор}</i>
1	0,4500	0,0000	0,2250	1,0000	0,0000	0,0377	0,0861	1,0000	0,9998
2	0,8000	0,6000	0,7000	0,9769	0,0117	0,3652	0,8330	0,9763	0,9779
3	1,0025	0,8950	0,9488	0,9354	0,0423	0,6708	1,5302	0,9135	0,9267
4	1,1850	1,0975	1,1413	0,8780	0,0939	0,9707	2,2142	0,8068	0,8502
5	1,3425	1,2650	1,3038	0,8090	0,1566	1,2668	2,8896	0,6756	0,7532
6	1,4850	1,4150	1,4500	0,7290	0,2324	1,5669	3,5743	0,5165	0,6382
7	1,6150	1,5500	1,5825	0,6476	0,3128	1,8664	4,2573	0,3486	0,5126
8	1,7375	1,6725	1,7050	0,5682	0,3923	2,1665	4,9419	0,1832	0,3821
9	1,8300	1,7925	1,8113	0,4960	0,4676	2,4449	5,5771	0,0295	0,2625
10	1,8925	1,8525	1,8725	0,5338	0,5051	2,6131	5,9606	0,0276	0,1930
11	1,9975	1,9475	1,9725	0,5849	0,4420	2,8996	6,6143	0,1392	0,0826
12	2,1000	2,0450	2,0725	0,6112	0,3980	3,2011	7,3019	0,2113	0,0186
13	2,1900	2,1425	2,1663	0,6349	0,3722	3,4972	7,9775	0,2608	0,0996
14	2,2750	2,2350	2,2550	0,6354	0,3660	3,7897	8,6445	0,2691	0,1593
15	2,3650	2,3200	2,3425	0,6171	0,3730	4,0895	9,3284	0,2465	0,1986
16	2,4475	2,4050	2,4263	0,5868	0,3977	4,3871	10,007	0,1921	0,2160
17	-	2,4875	-	-	0,4348	-	-	-	-

10. Расчет погрешностей измерений.

$$\overline{R_5} = \sum_{i=1}^N R_i = 1,0001 \text{ м}$$

$$\overline{R_7} = 0,9978 \text{ м}$$

$$S_{\overline{R_5}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (R_i - \overline{R})^2}{N(N-1)}} = 0,0033 \text{ м}$$

$$S_{\overline{R_7}} = 0,0059 \text{ м}$$

Погрешность измерительных приборов невероятно мала, поэтому:

$$\Delta R_5 = t_{\alpha,N} \cdot S_{\overline{R_5}} = 0,0033 \cdot 2,78 = 0,0092 \approx 0,009 \text{ м}$$

$$\Delta R_7 = t_{\alpha,N} \cdot S_{\overline{R_7}} = 0,0059 \cdot 2,45 = 0,00144 \approx 0,0014 \text{ м}$$

$$\varepsilon_{R_5} = \frac{\Delta R}{\overline{R}} \cdot 100\% = \frac{0,009}{1,000} \cdot 100\% = 0,9169\% = 0,9\%$$

$$\varepsilon_{R_7} = \frac{\Delta R}{\overline{R}} \cdot 100\% = \frac{0,0014}{0,9978} \cdot 100\% = 1,4404\% = 1,4\%$$

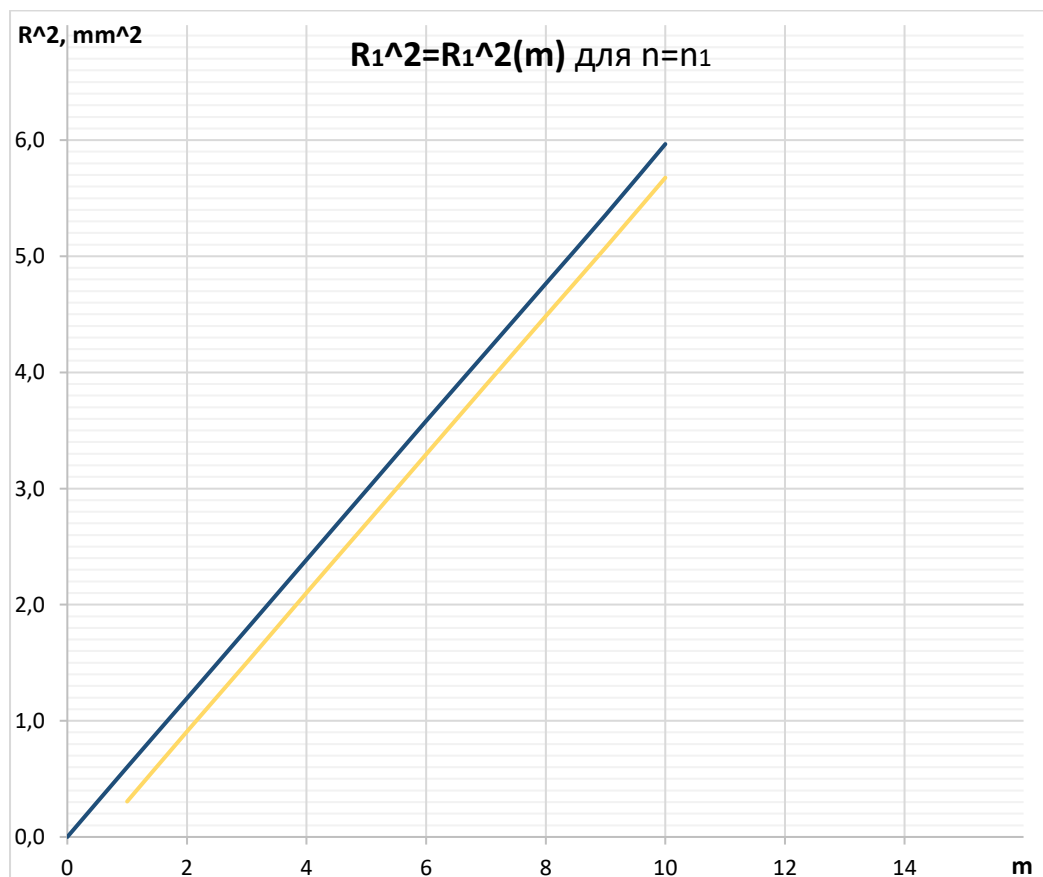
11. Графики.

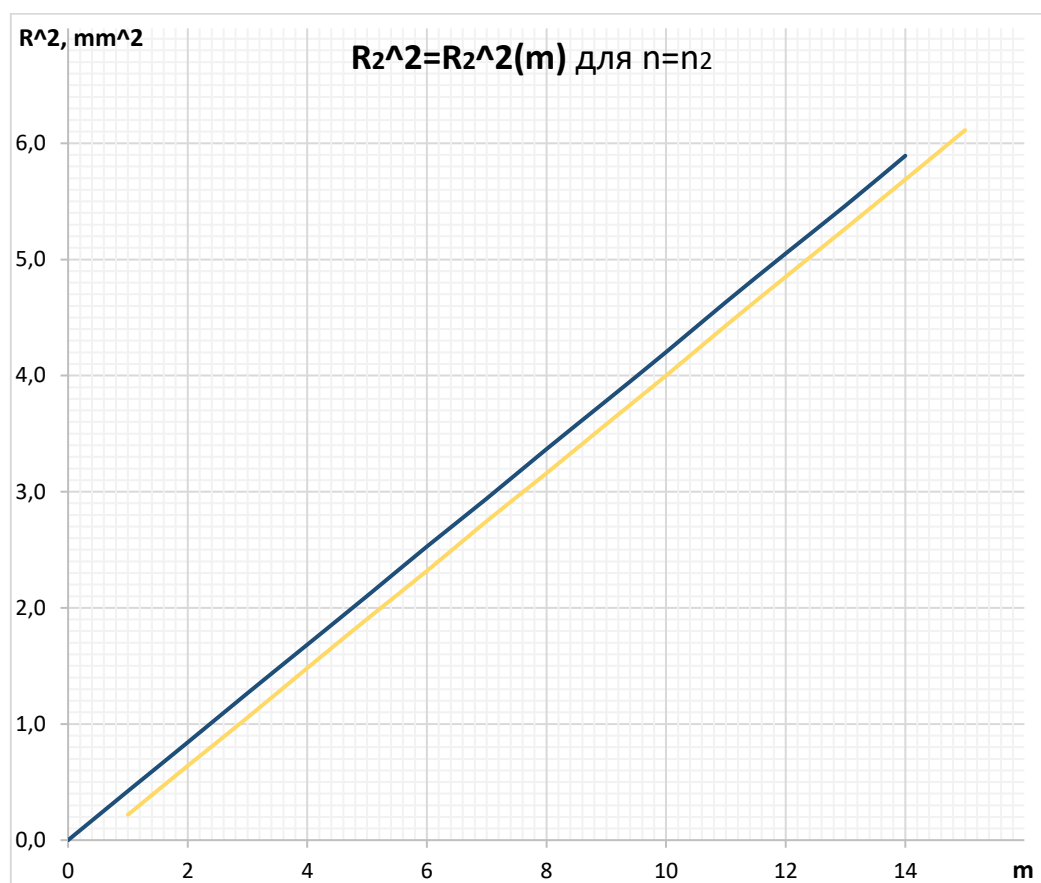
Синий – для темных колец.

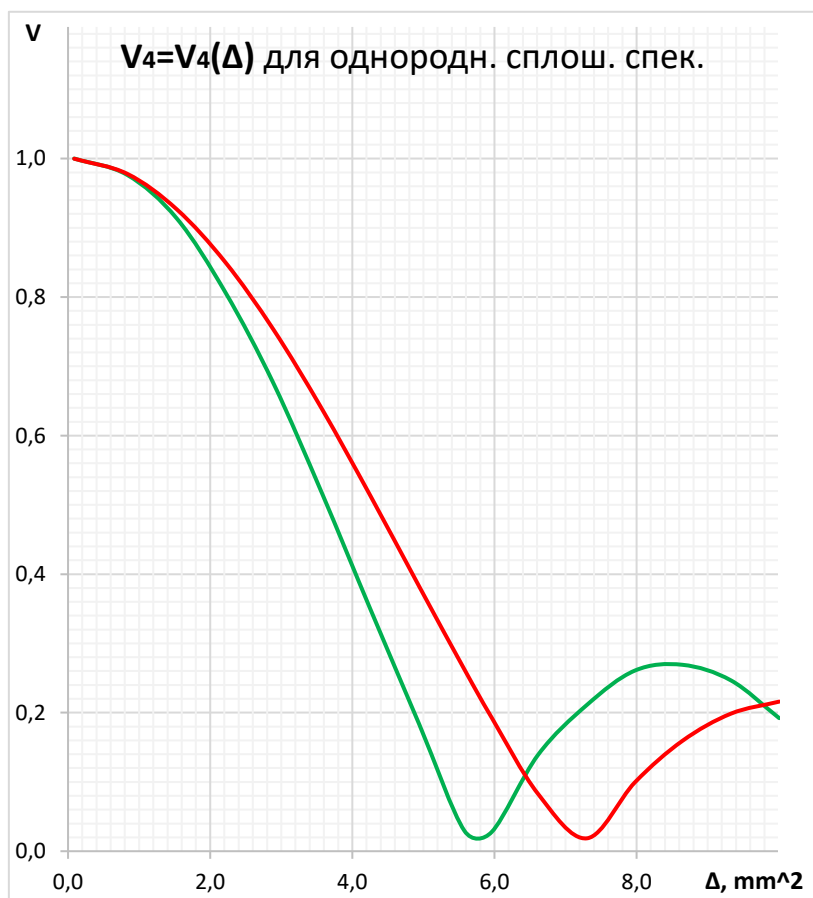
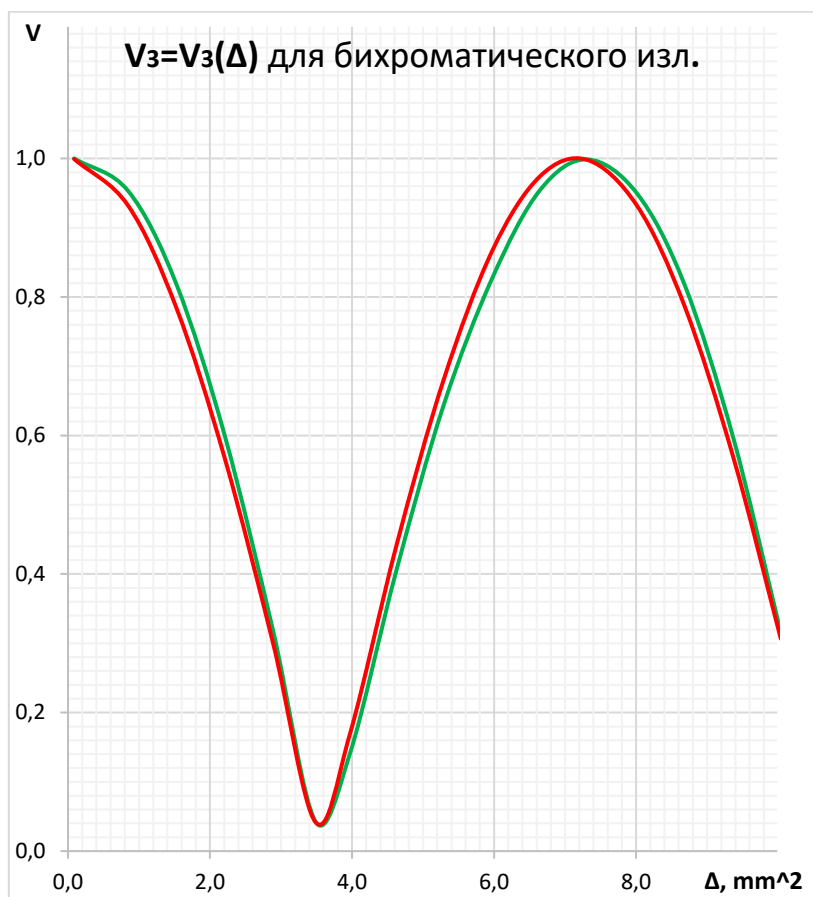
Желтый – для светлых колец.

Зеленый – получено в эксперименте.

Красный – рассчитано теоретически.







12. Окончательные результаты.

$$R_5 = (1,000 \pm 0,009) \text{ м}; \quad \varepsilon_R = 0,9\%; \quad \alpha = 0,95.$$

$$R_7 = (0,9978 \pm 0,0014) \text{ м}; \quad \varepsilon_R = 1,4\%; \quad \alpha = 0,95.$$

13. Выводы и анализ результатов работы.

Графики зависимости $R_1^2 = R_1^2(m)$ и $R_2^2 = R_2^2(m)$ имеют линейный характер как для темных, так и для светлых колец.

Исходя из того, что области допустимых значений вычисленных радиусов кривизны для измерений п.5 и п.7 покрывают друг друга, можно сделать вывод, что радиусы R_5 и R_7 равны, то есть используемый способ вычисления радиуса кривизны линзы справедлив.

Были изучены зависимости значений видности от оптической разности хода, полученные в эксперименте, а также рассчитанные теоретически, для двух типов излучения. Результат исследования этих зависимостей и соответствующих графиков функции приводит к выводу, что теоретическая формула для бихроматического излучения справедлива, а в случае однородного сплошного спектра отражает экспериментальные данные с низкой степенью точности.

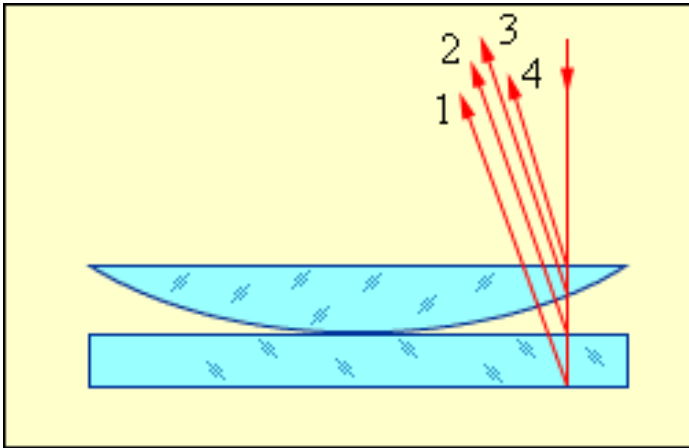
14. Дополнительные задания.

- 1) Показать ход лучей через данную систему, дающих интерференционную картину колец в отраженном и проходящем свете. Сравнить выражения для оптической разности хода.
- 2) Как будут отличаться картины колец Ньютона в отраженном и в проходящем свете, полученные на данной интерференционной схеме?
- 3) Что понимают под временной когерентностью? Какие ограничения она накладывает на устройство интерференционной схемы?
- 4) Почему выпуклая поверхность линзы, используемой в опыте, должна иметь большой радиус кривизны?
- 5) Что произойдет с картиной колец, если пространство между линзой и пластиной заполнить: а) водой; б) жидкостью с показателем преломления 1,67 (показатель преломления стекла, из которого изготовлены линза и пластина, - 1,52)?

6) Почему такую картину интерференции называют «полосами равной толщины»? Что в отличие от этого называют «полосами равного наклона»?

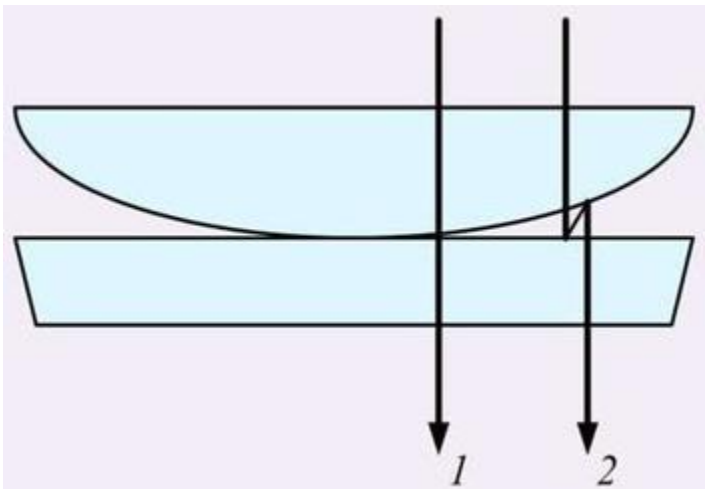
15. Выполнение дополнительных заданий.

1) В отраженном свете:



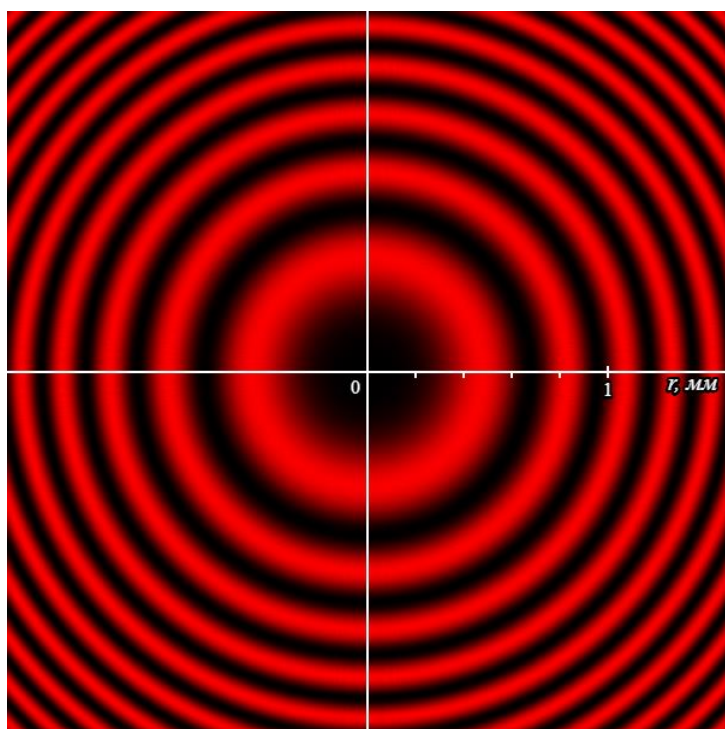
$$\Delta_{opt} = 2hn + \frac{\lambda}{2}$$

В проходящем свете:

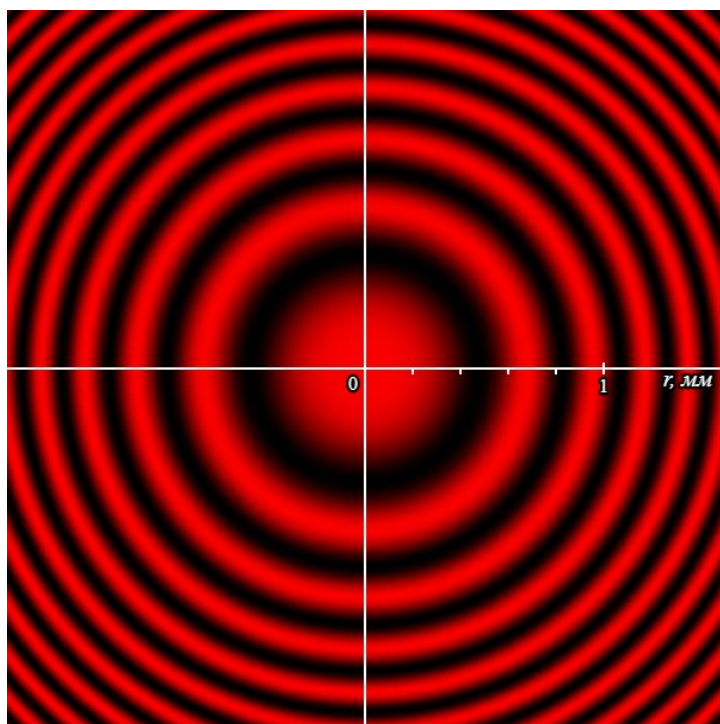


$$\Delta_{opt} = 2hn$$

2) В отраженном свете:



В проходящем свете:



3) Временная когерентность – состояние, при котором в течение некоторого времени разность фаз двух колебаний изменяется очень медленно. Чем меньше временная когерентность, тем менее четкой становится интерференционная картина.

4) Для того, чтобы интерференционная картина в виде чередующихся колец была более чёткой, чтобы можно было вычислить оптическую разность хода.

5) $r_m^2 = \frac{m\lambda R}{n_2} \Rightarrow$ С увеличением показателя преломления среды радиус колец будет уменьшаться.

6) Данная картина называется «полосы равной толщины», так как образуются концентрические окружности равной оптической толщины. Потому что система из пластины и линзы освещается параллельным пучком света, и оптическая разность хода лучей по окружности постоянна и поэтому кольца (полосы минимума и максимума) представляют из себя концентрические окружности с центром в точке соприкосновения линзы и пластины.

Полосы равного наклона – это чередующиеся тёмные и светлые полосы (интерференционные полосы), возникающие при падении света на плоскопараллельную пластину под одинаковым углом.

16. Замечания преподавателя.