

Лабораторная работа № 5.3
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСА КРИВИЗНЫ ЛИНЗЫ
С ПОМОЩЬЮ КОЛЕЦ НЬЮТОНА

5.3.1. Цель работы

Целью работы является изучение явления интерференции света, наблюдение полос равной толщины (колец Ньютона) и экспериментальное определение радиуса кривизны линзы.

5.3.2. Краткая теория

Интерференция света – это перераспределение светового потока в пространстве при наложении двух или нескольких когерентных волн с образованием максимумов и минимумов интенсивности света.

Волны называются *когерентными*, если они имеют одинаковую частоту и постоянную разность фаз, не изменяющуюся с течением времени.

Когерентные волны при наложении усиливают друг друга, если оптическая разность хода этих волн равна целому числу длин волн в вакууме

$$\Delta = k \cdot \lambda, \quad (5.3.1)$$

где $k = 1, 2, 3, \dots$ (любое целое число).

Когерентные волны ослабляют друг друга, если оптическая разность хода этих волн равна нечетному числу длин полуволн в вакууме

$$\Delta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}. \quad (5.3.2)$$

Формулы (5.3.1) и (5.3.2) называются *условиями максимума и минимума* при интерференции света соответственно.

Полосы равной толщины наблюдаются при интерференции света в тонком клине (рис. 5.3.1).

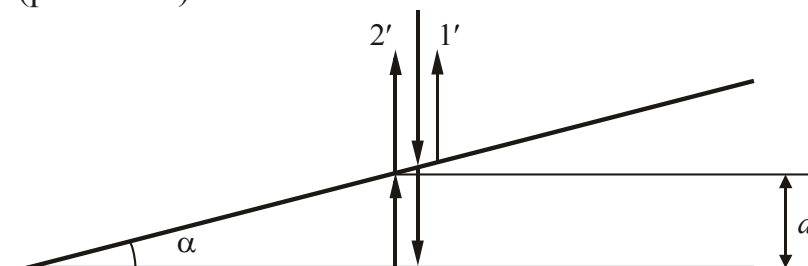


Рис. 5.3.1. Интерференция в тонком клине

Если угол α клина мал, то при нормальном падении света когерентные лучи $1'$ и $2'$, образующиеся при отражении света от верхней и нижней поверхностей клина, выходят практически вертикально и интерферируют.

Оптическая разность хода лучей $1'$ и $2'$ равна

$$\Delta = 2dn - \frac{\lambda}{2}, \quad (5.3.3)$$

где d – толщина клина;

n – абсолютный показатель преломления материала, из которого клин изготовлен;

$\frac{\lambda}{2}$ – потеря половины длины волны при отражении света от оптически более плотной среды.

Луч $1'$ (см. рис. 5.3.1) теряет половину длины волны при отражении от верхней поверхности клина.

Классическим примером полос равной толщины являются *кольца Ньютона*. Установка для их наблюдения состоит из плоскопараллельной пластинки и лежащей на ней плоско-выпуклой линзы с большим радиусом кривизны (от 0,5 м и более). Между линзой и пластинкой образуется воздушный клин (рис. 5.3.2).

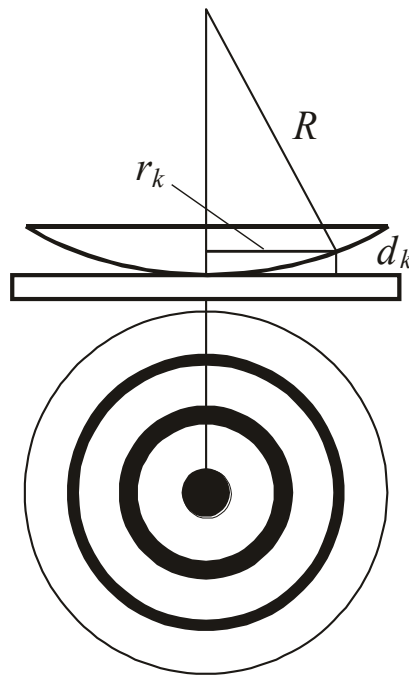


Рис. 5.3.2. Установка для наблюдения колец Ньютона

Если на линзу падает пучок монохроматического света, то световые волны, отражённые от верхней и нижней поверхностей клина, будут интерферировать между собой. При этом, в зависимости от толщины клина, образуются интерференционные полосы, имеющие форму концентрических светлых и тёмных колец убывающей ширины (см. рис. 5.3.2).

В отражённом свете оптическая разность хода лучей, отраженных от верхней и нижней поверхностей клина, с учётом потери половины длины волны

$$\Delta = 2d_k n + \frac{\lambda}{2}, \quad (5.3.4)$$

где d_k – толщина клина;

n – абсолютный показатель преломления воздуха, равный единице.

Из рис. 5.3.2 по теореме Пифагора следует, что

$$r_k^2 = R^2 - (R - d_k)^2 = 2Rd_k - d_k^2, \quad (5.3.5)$$

где R – радиус кривизны линзы.

Так как $d_k \ll R$, то d_k^2 можно пренебречь. Тогда из формулы (5.3.5) получим

$$d_k = \frac{r_k^2}{2R}. \quad (5.3.6)$$

Подставив (5.3.6) в (5.3.4), получим для оптической разности хода

$$\Delta = \frac{r_k^2 n}{R} + \frac{\lambda}{2}. \quad (5.3.7)$$

В точках, для которых выполняется условие минимума, формула (5.3.2), возникают темные кольца.

Приравнивая выражения (5.3.7) и (5.3.2), получим формулу для расчета радиуса k -го темного кольца в отраженном свете.

$$r_k = \sqrt{\frac{kR\lambda}{n}}. \quad (5.3.8)$$

Если выполняется условие максимума, формула (5.3.1), то образуются светлые кольца, радиус которых

$$r_k = \sqrt{(2k - 1)R \frac{\lambda}{2n}}. \quad (5.3.9)$$

Формула (5.3.8) позволяет определить радиус кривизны линзы. С учетом $n = 1$

$$R = \frac{r_k^2}{k\lambda}. \quad (5.3.10)$$

Вследствие деформации стекла, а также наличия на стекле пылинок, невозможно добиться полного примыкания линзы и пластины в одной точке. Поэтому при определении радиуса кривизны линзы пользуются другой формулой, в которую входит комбинация из двух значений радиусов интерференционных колец – r_m и r_n , что позволяет исключить возможный зазор в точке контакта линзы и пластины.

$$R = \frac{r_m^2 - r_n^2}{(m - n)\lambda}. \quad (5.3.11)$$

Кольца Ньютона можно наблюдать и в проходящем свете, если смотреть на установку снизу. При этом интерференционная картина меняется на противоположную (темные кольца в отраженном свете соответствуют светлым кольцам в проходящем и наоборот).

5.3.3. Порядок выполнения работы

Запустите программу «Открытая физика 1.1». Выберите раздел «Оптика» и модель «Кольца Ньютона». Нажмите вверху внутреннего окна кнопку с изображением страницы. Прочитайте краткие теоретические сведения. Закройте окно теории, нажав кнопку с крестом в правом верхнем углу внутреннего окна.

1. Внимательно рассмотрите окно опыта, показанное на рис. 5.3.3, найдите регуляторы с движками, задающими длину волны λ , радиуса кривизны линзы R и запишите их в соответствующую таблицу в отчете.

2. Зацепите мышью движок регулятора длины волны монохроматического света и установите первое значение длины волны из табл. 5.3.1 для вашей бригады. Аналогичным образом установите первое значение радиуса кривизны линзы R_1 . Запишите установленные значения под заголовком табл. 5.3.2.

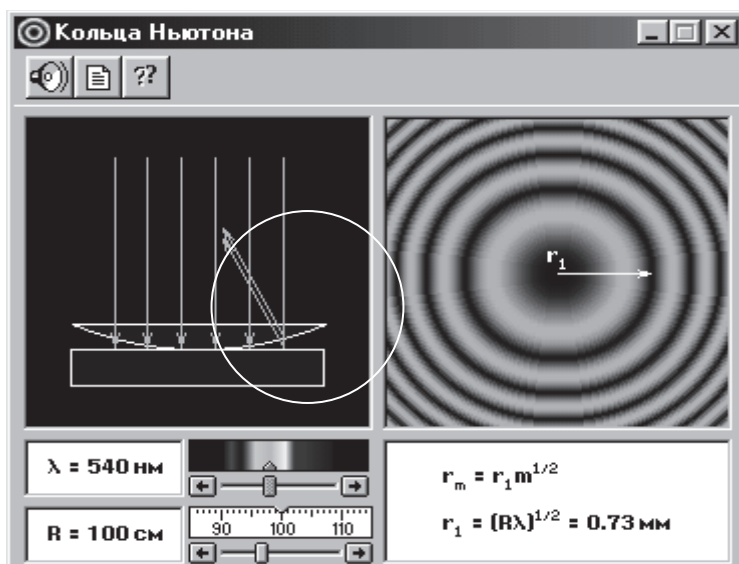


Рис. 5.3.3. Кольца Ньютона

3. По формуле $r_m = r_1 \sqrt{m}$ и указанному значению r_1 в правом нижнем углу окна опыта рассчитайте значения радиусов 2–7-го тёмных колец Ньютона и запишите эти значения в табл. 5.3.2.

4. По формуле (5.3.11) рассчитайте четыре значения радиуса кривизны линзы R , используя для расчета пары колец 1 и 4, 2 и 5, 3 и 6, 4 и 7. Запишите эти значения в табл. 5.3.2.

6. Рассчитайте среднее значение радиусов кривизны линзы и сравните его с установленным значением.

7. Оцените среднюю абсолютную и относительную погрешности измерений и запишите ответ (см. с. 7 – 8).

8. Проанализируйте полученные результаты и сделайте вывод.

Таблица 5.3.1

Исходные данные

Номер бригады	λ , нм	R , см	Номер бригады	λ , нм	R , см
1	400	80	5	460	130
2	520	70	6	560	150
3	640	90	7	680	160
4	730	110	8	760	170

Таблица 5.3.2

Результаты измерений и расчетов

при $\lambda = \underline{\hspace{2cm}}$ нм, $R^{\text{теор}} = \underline{\hspace{2cm}}$ см

Номер кольца	r_1 , мм	R , мм	ΔR , мм
1			
2			
3			
4			
5		-	-
6		-	-
7		-	-
Средние значения			

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется интерференцией света?
2. Какие волны называются когерентными?
3. Сформулируйте условие максимума и минимума при интерференции света.
4. При каких условиях наблюдаются полосы равной толщины?
5. Опишите установку для наблюдения колец Ньютона.
6. Как образуются кольца Ньютона в отраженном свете?
7. Выведите формулу для радиуса темных колец Ньютона в отраженном свете.
8. Выведите формулу для радиуса светлых колец Ньютона в отраженном свете.
9. Как изменится картина колец Ньютона, если наблюдение проводить в проходящем свете?
10. Почему для расчета радиуса кривизны линзы используют формулу (5.3.11), а не (5.3.10)?