

Работа 2

КОЛЬЦА НЬЮТОНА

Цель работы: определение радиуса кривизны слабовыпуклой линзы с помощью интерференционной картины колец Ньютона.

Введение

При прохождении света через тонкую прослойку воздуха между плоской стеклянной пластиной и положенной на нее плосковыпуклой линзой большого радиуса кривизны возникает интерференционная картина, имеющая вид concentрических колец. Эти кольца называют кольцами Ньютона, и их можно наблюдать как в свете, отраженном от пластины, так и в свете, проходящем через нее. В нашем эксперименте кольца Ньютона наблюдаются в отраженном свете. Этот метод имеет преимущество в том, что получаемая картина колец Ньютона является гораздо более контрастной по сравнению с наблюдением колец в интенсивном проходящем свете.

Определим, как связаны радиусы наблюдаемых колец Ньютона с радиусом кривизны линзы и длиной волны падающего света.

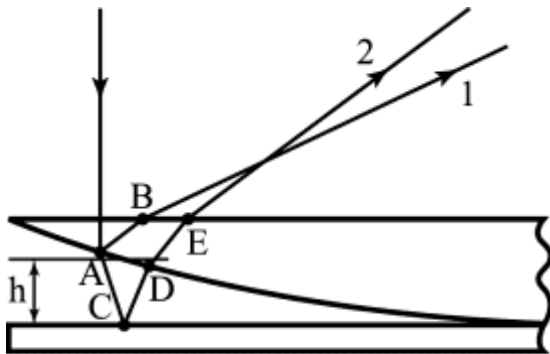


Рис. 2.1

Рассмотрим случай, когда волна определенной длины λ падает перпендикулярно на плосковыпуклую линзу (рис. 2.1). На выпуклой поверхности линзы на границе стекло-воздух (точка А) происходит отражение и появляется волна 1, которая, вторично преломившись на верхней поверхности линзы (точка В) на границе стекло-воздух, выходит в виде отраженного света.

Вторая волна рождается из первичного луча при преломлении света в точке А, затем отражается в точке С, преломляется в точке D, и, наконец, еще раз преломляется в точке Е. Если радиус кривизны линзы достаточно велик и, следовательно, воздушный промежуток между линзой и плоской пластиной очень мал (на рис. 2.1 эти условия не соблюдены), то волны 1 и 2 практически параллельны, когерентны и имеют разность фаз, с большой точностью равную

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \delta + \pi, \quad (2.1)$$

где δ – разность хода волн 1 и 2, которую, в силу малости воздушного зазора, можно считать равной его удвоенной толщине ($\delta = 2h$).

При отражении световой волны в точке С от границы с оптически более плотной средой - стеклом (т.е. средой с большим коэффициентом преломления n) направление светового вектора \vec{E} меняется на противоположное. Поэтому возникает дополнительное увеличение разности фаз на π в формуле 2.1.

Если $\delta_k = k\lambda$ ($k = 0, 1, 2, \dots$), т.е. $\Delta\varphi = (2k + 1)\pi$, то волны ослабляют друг друга.

Если $\Delta\varphi = (2k + 2)\pi$, то волны усиливают друг друга. При этом $\delta_k = (k + 1/2)\lambda$ ($k = 0, 1, 2, \dots$).

Точки выпуклой поверхности линзы, находящиеся на одинаковом расстоянии $h_k = \delta_k/2$ от плоской стеклянной пластины, образуют окружность радиусом r_k , именно поэтому интерференционная картина имеет вид концентрических колец – полос равной толщины.

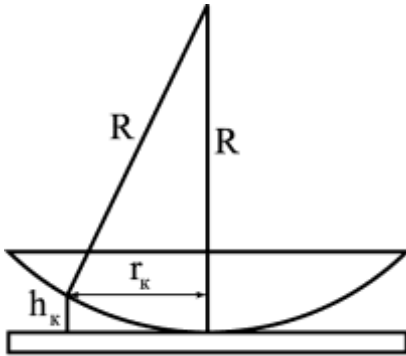


Рис. 2.2

Радиусы k -го темного и светлого колец связаны с толщиной воздушного зазора h_k и радиусом кривизны линзы R . Найдём эту связь. По теореме Пифагора (рис. 2.2)

$$R^2 = r_k^2 + (R - h_k)^2,$$

или $2Rh_k = r_k^2 + h_k^2$. Так как $r_k \gg h_k$, то $2Rh_k \approx r_k^2$ и

$$h_k \approx r_k^2 / 2R. \quad (2.2)$$

Учитывая, что для минимумов $2h_k/\lambda = k$, получим

для k -го радиуса темного кольца

$$r_{kT} = \sqrt{k \cdot \lambda R}. \quad (2.3)$$

Значение $k = 0$ соответствует $r_{0T} = 0$, т.е. это - точка в месте касания пластины и линзы. В этой точке наблюдается минимум интенсивности, обусловленный изменением фазы на π при отражении световой волны от пластины. Соответственно, для радиуса k -го светлого кольца имеем

$$r_{kC} = \sqrt{\left(k - \frac{1}{2}\right)\lambda R}. \quad (2.4)$$

Таким образом, результаты измерений радиусов колец Ньютона позволяют определить или длину волны света λ , если известен радиус кривизны, или, наоборот, радиус кривизны поверхности, если известна длина волны.

Методика выполнения эксперимента

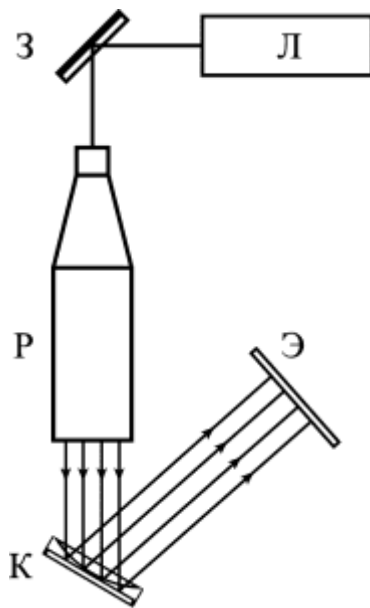


Рис. 2.3

Картина колец Ньютона получается с помощью лазера Л (рис. 2.3) и расширителя пучка Р, который позволяет создавать пучок параллельных световых лучей. Этим потоком освещается плоскопараллельная стеклянная пластина с прижатой к ней линзой большого радиуса кривизны (кассета) – К. При освещении белым светом на поверхности пластинки, частично отражающей белый свет, наблюдаются радужные кольца. По направлению отраженного от кассеты светового луча устанавливается экран Э, на который в отраженном свете проецируется изображение колец Ньютона в параллельных лучах. В плоскости, проходящей по оси падающего луча и перпендикулярно к плоскости рис. 2.3, кольца Ньютона

проецируются на экран Э без искажений размеров.

Радиус кривизны линзы может быть рассчитан по формуле:

$$R = \frac{r_k^2}{k\lambda}, \quad (2.5)$$

где k – номер темного кольца. Радиус кривизны может составлять десятки метров.

Однако на практике удобнее и точнее измерять диаметры колец d_k . Тогда расчетная формула может быть записана в виде

$$R = \frac{d_k^2 - d_{k-1}^2}{4\lambda}. \quad (2.6)$$

Измерение диаметров d_k изображений темных колец Ньютона на экране проводится с помощью миллиметровой бумаги, путем нанесения точек, соответствующих диаметру колец.

По результатам определения d_k и известному значению длины волны излучения лазера можно определить радиус кривизны слабовыпуклой линзы по формуле (2.6).

Порядок проведения эксперимента

1. Измерьте радиусы темных колец на экране r_k и определите номер кольца k . Данные запишите в таблицу.

2. Вычислите квадраты диаметров темных колец d_k^2 и рассчитайте значения радиуса кривизны линзы R по формуле (2.6) для нескольких пар соседних колец. Рассчитайте среднее значение радиуса кривизны $\langle R \rangle$. Результаты запишите в таблицу.

3. Оцените погрешность измерений.

Номер темного кольца k	Радиус кольца r_k , мм	r_k^2 , мм ²	Диаметр кольца d_k , мм	d_k^2 , мм ²	Радиус кривизны линзы R , м
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
$\lambda = \dots$ нм					$\langle R \rangle \pm \Delta R =$

4. По данным таблицы постройте график $r_k^2 = f(k)$. По наклону графика определите $\langle R_{cp} \rangle$ радиус кривизны линзы и его погрешность. Сравните полученное значение со средним значением радиуса кривизны $\langle R \rangle$ из п.2.

Контрольные вопросы

1. С помощью колец Ньютона судят о качестве сферической поверхности линзы. Каким образом?
2. Как изменится число колец Ньютона, если радиус кривизны линзы уменьшится?
3. При каком отношении δ/λ разности хода двух когерентных интерферирующих волн к их длине волны наблюдается максимум освещенности?
4. При каком отношении δ/λ наблюдается минимум освещенности?
5. Как изменится картина колец Ньютона, если пространство между пластиной и линзой заполнить веществом с коэффициентом преломления $n > n_{\text{стекла}}$ ($n_{\text{стекла}} = 1,5$)?

6. В чем отличие интерференционной картины колец Ньютона в проходящем свете от интерференционной картины в отраженном свете?

7. Темным или светлым будет центральное пятно при наблюдении колец Ньютона в проходящем свете?

8. Две когерентные световые волны создают отдельно на экране освещенности, которые отличаются друг от друга в 4 раза. Во сколько раз отличаются освещенности интерференционных максимумов и минимумов при наложении этих волн?

9. Оцените величину h для темного кольца с наибольшим и наименьшим радиусами.