

## *Интерференция сферических волн*

Цель работы: изучить явление интерференции когерентных сферических волн, созданных методом деления амплитуды.

Принципиальная оптическая схема установки для наблюдения двухлучевой интерференции сферических волн, реализованная в данной работе, приведена на рис.1.

Свет от точечного источника  $S_0$  проходит сквозь полупрозрачное зеркало  $M_1$ . Волна частично отражается от его поверхности и частично проходит сквозь него, попадая на второе зеркало  $M_2$ . Это зеркало полностью отражает свет. В результате возникает две когерентные волны 1 и 2, как бы испускаемые мнимыми источниками  $S_1$  и  $S_2$ .

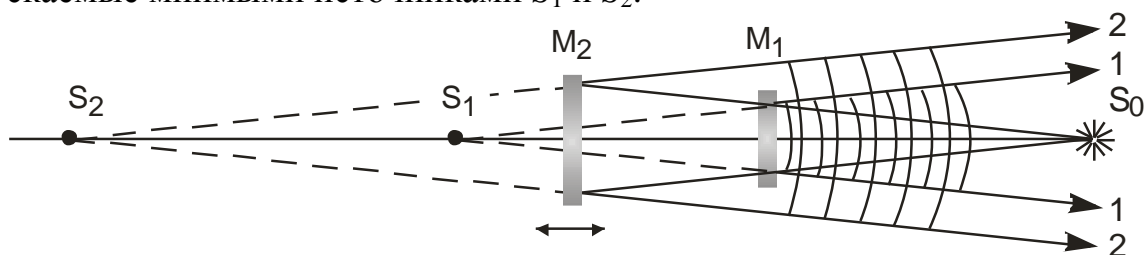


Рис.1. Схема наблюдения двухлучевой интерференции сферических волн.

Оценим видность образующейся интерференционной картины.

Будем считать, что расходимости интерферирующих волн невелики, и пренебрежем уменьшением интенсивности с расстоянием.

Если коэффициент отражения зеркала  $M_1$  равен  $R$ , а зеркала  $M_2 = 1$ , то, пренебрегая поглощением света в зеркалах, интенсивности 1 и 2 волн соответственно равны:

$$I_1 = I_0 R, \quad I_2 = I_0 (1 - R)^2,$$

где  $I_0$  – интенсивность волны, падающей на зеркало  $M_1$ , от источника  $S_0$ .

Видность интерференционной картины  $V$  равна:

$$V = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} = \frac{2\sqrt{I_1 I_2}}{I_1 + I_2} = \frac{2(1-R)\sqrt{R}}{R + (1-R)^2}.$$

В нашей установке  $R = 0,5$ , следовательно,  $V = 0,94$ .

Поскольку видность интерференционной картины близка к 1, то можно ожидать, что интерференционные полосы будут достаточно хорошо различимы.

Получим выражения для радиуса  $m$ -го кольца и ширины интерференционных колец.

Пусть источники  $S_1$  и  $S_2$  излучают сферические волны (рис.2). При падении на экран (он расположен в точке  $A$ ) их радиусы кривизны равны  $R_1$  и  $R_2$ . Для сечений волновых поверхностей, расположенных в плоскости рисунка, в выбранной системе координат можно записать:

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = R_1^2 \\ (x + a)^2 + y^2 = R_2^2 \end{cases} \quad (1)$$

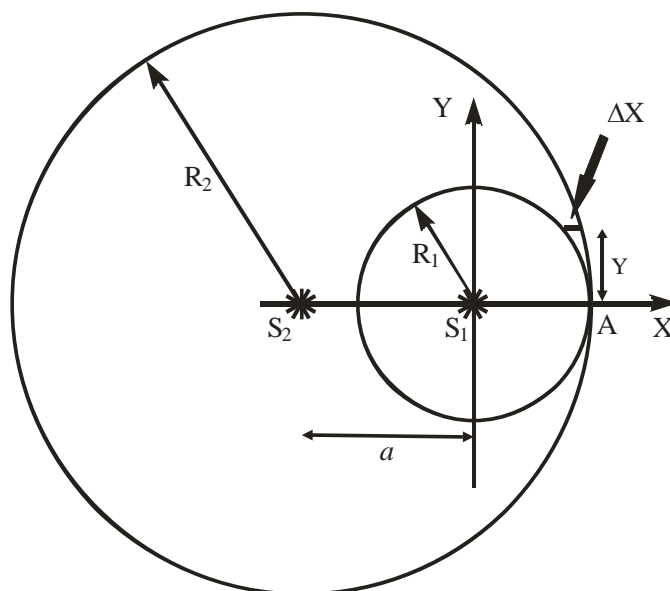


Рис.2. К выводу выражений для радиуса  $m$ -го кольца и ширины интерференционных колец.

В окрестности точки А:

$$\begin{cases} x_1 = \sqrt{R_1^2 - y^2} \\ x_2 = \sqrt{R_2^2 - y^2} - a \end{cases} \quad (2)$$

Рассмотрим точки, расположенные вблизи точки А. Если для них выполняется условие  $R_2 \gg y$  и  $R_1 \gg y$ , то можно записать:

$$\begin{aligned} \Delta x &= x_2 - x_1 = \sqrt{R_2^2 - y^2} - a - \sqrt{R_1^2 - y^2} = \\ &= R_2 \left( 1 - \frac{y^2}{2R_2^2} \right) - a - R_1 \left( 1 - \frac{y^2}{2R_1^2} \right) = \\ &= \frac{y^2}{2} \left( \frac{R_2 - R_1}{R_1 R_2} \right) = \\ &= \frac{ay^2}{2R_1 R_2}, \end{aligned}$$

где  $a = R_2 - R_1$ .

Условие наблюдения максимума или минимума интерференционной картины имеет вид:  $\Delta x = m \frac{\lambda}{2}$ .

При нечетных  $m$  будет наблюдаться минимум (темное кольцо), а при четных – максимум (светлое кольцо).

Таким образом:

$$\frac{ay_m^2}{2R_1 R_2} = m \frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

Откуда радиус  $m$ -го кольца равен:

$$y_m = \sqrt{m\lambda \frac{R_1 R_2}{a}}. \quad (4)$$

Продифференцируем (4) и, заменив:  $dy \rightarrow \Delta y$ , а  $dm \rightarrow \Delta m = 1$ , получим:

$$\Delta y = \frac{\sqrt{\lambda \frac{R_1 R_2}{a}}}{2\sqrt{m}} \sim \frac{1}{\sqrt{m}}.$$

Таким образом, с ростом номера кольца расстояние между ними уменьшается.

#### Решаемые задачи:

- приобрести навыки юстировки оптической схемы для создания когерентных сферических волн методом деления амплитуды;
- пронаблюдать интерференционную картину, образующуюся при интерференции двух сферических волн;
- пронаблюдать изменение интерференционной картины при изменении расстояния между источниками и температуры воздуха;
- определить длину волны лазерного излучения.

#### Элементы экспериментальной установки (рис.3):

- ✓ He-Ne лазер (1);
- ✓ линза с фокусным расстоянием  $f = +50$  мм (2);
- ✓ полупрозрачное зеркало ППЗ(3);
- ✓ зеркало (4);
- ✓ микрометрический винт (5) с редуктором (6);
- ✓ полупрозрачное зеркало ПП7 (7);
- ✓ экран (8).

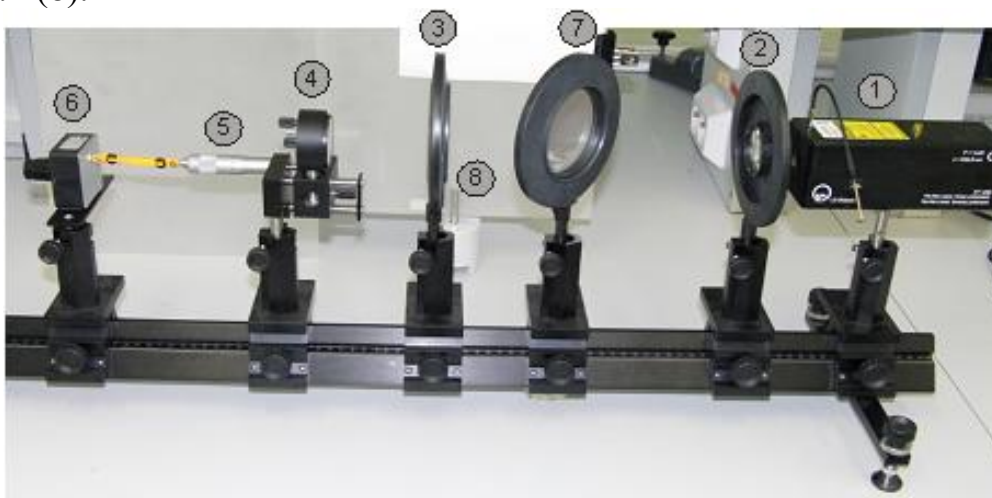


Рис.3 Внешний вид экспериментальной установки: He-Ne лазер (1), линза с фокусным расстоянием  $f = +50$  мм (2), полупрозрачное зеркало ППЗ(3), зеркало (4), микрометрический винт (5) с редуктором (6), полупрозрачное зеркало ПП7 (7) и экран (8).

#### Порядок выполнения работы:

##### Упражнение 1. Сборка и юстировка установки для наблюдения интерференции сферических волн.

Расположение элементов экспериментальной установки на оптической скамье показано на рис.3.

### *Порядок юстировки.*

**Внимание!** Категорически запрещается касаться руками и предметами оптических поверхностей зеркал и линз. Если Вы заметили грязь на рабочих поверхностях оптических элементов, обратитесь к инженеру.

Уберите с оптической скамьи все элементы.

На правом конце оптической скамьи установите лазер 1 и на расстоянии 52 см от него - зеркало 4 с микрометрическим винтом 5 и редуктором 6 (все расстояния отсчитываются от левых краев рейтеров).

Включите лазер и направьте его луч вдоль оптической скамьи. Для визуализации луча используйте кусочек белой бумаги в качестве переносного экрана.

Перемещением зеркала вверх/вниз, добейтесь, чтобы луч попадал на его середину. Поворотом зеркала направьте отраженный луч в выходное окно лазера. При необходимости более точной настройки, используйте винты, расположенные на задней стороне оправы зеркала.

Установите линзу 2 на расстоянии 11 см от лазера. Изменяя положение линзы по высоте, добейтесь, чтобы центр образовавшегося широкого пучка оказался примерно на той же высоте, что и выходное отверстие лазера. Для этого наблюдайте светлое пятно, которое образуется на торце лазера от луча, отраженного зеркалом и вновь прошедшим через линзу. Это пятно, перемещением линзы вверх/вниз, нужно совместить с выходным отверстием лазера. Не забывайте следить за тем, чтобы плоскость линзы была перпендикулярна лучу лазера.

На расстоянии 13 см от зеркала 4 установите зеркало ППЗ (точки на оправе расположить к лазеру) так, чтобы отраженный от него луч, пройдя линзу, также попал в выходное отверстие лазера.

Таким образом, в фокусе линзы 2 мы создали первичный точечный источник  $S_0$  (рис.1). Сферическая световая волна от него отражается зеркалом 4 (она как бы излучается мнимым источником  $S_2$ ), а сферическая волна, отраженная полупрозрачным зеркалом ППЗ - мнимым источником  $S_1$ .

Чтобы развернуть эти волны и направить их на боковой экран 8, установите на расстоянии 11 см от ППЗ полупрозрачное зеркало ПП7 (точки на оправе расположить от лазера) под углом примерно  $45^\circ$  к оси оптической скамьи. Установите экран 8 на расстоянии 25÷30 см. На экране Вы будете наблюдать несколько светлых пятен. Винтами плавной регулировки наклонов зеркала 4 совместите эти пятна. Появится интерференционная картина в виде концентрических колец.

*Комментарий.* Вращать винты следует крайне осторожно: интерференционная картина очень чувствительна к малым перемещениям зеркала и вибрациям. Рекомендуется после небольшого поворота винтов убрать пальцы и подождать, пока прекратится вибрация установки. Если интерференционная картина не появилась, то следует продолжить юстировку.

### Упражнение 2. Наблюдение изменений интерференционной картины

при изменении температуры воздуха и расстояния между когерентными источниками.

Если, например, увеличить температуру воздуха между зеркалами 4 и ППЗ, то плотность воздуха в этой области уменьшится и, как следствие, уменьшится показатель преломления. Эти изменения отразятся на интерференционной картине.

Аккуратно, не касаясь оптических элементов, поместите ладонь под лучом между зеркалами 4 и ППЗ. Пронаблюдайте изменения в интерференционной картине.

Пронаблюдайте изменения интерференционной картины при перемещении зеркала вдоль оптической скамьи. Для этого аккуратно и плавно вращайте в одном направлении микрометрический винт с помощью редуктора. Вы увидите, что интерференционная картина «плывет»: центральное пятно периодически становится то темным, то светлым.

### Упражнение 3. Определение длины волны излучения лазера.

Определите цену деления поворота рукоятки редуктора (шкала нанесена на торце редуктора), зная цену деления микрометрического винта (10 мкм).

Очевидно, что смена светлого пятна на светлое происходит при перемещении зеркала на расстояние  $\lambda/2$ . Плавно поворачивайте рукоятку редуктора в одном направлении. Сосчитайте число таких смен и перемещение, которое при этом совершило зеркало. По этим данным определите длину волны излучения лазера.

### Вопросы к обсуждению с преподавателем.

1. Интерференция монохроматического света. Расчет интерференционной картины при двухлучевой интерференции (оптический путь, оптическая разность хода, условия образования максимумов и минимумов, ширина интерференционной полосы).
2. Когерентные источники, способы их получения (метод деления амплитуды и метод деления волнового фронта).
3. Объясните причину возникновения интерференционных полос. Почему они имеют форму колец?
4. Объясните назначение всех оптических элементов, используемых в установке, опишите порядок юстировки оптической схемы.
5. Почему интерференционные полосы имеют форму окружностей?
6. Выведите формулы для радиусов колец и их ширины.
7. Почему интерференционная картина смещается при изменении температуры среды? Оцените, какие изменения в показателе преломления можно зафиксировать с помощью этой установки.
8. Почему интерференционные полосы смещаются при движении зеркала 4?
9. Как определить цену деления шкалы редуктора?
10. Как определить длину волны излучения лазера? Обсудите полученные результаты, сформулируйте выводы.

Рекомендуемая литература.

1. Ландсберг Г.С. Оптика, Изд.6, М., Физматлит, 2006. §§25, 26.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. т.4. Оптика. Изд.3. М., Физматлит, 2005. §33.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.2. Изд.10, М., Физматлит, 2008. §122.
4. Бутиков Е.И. Оптика. Изд.2, С-Пб., Невский диалект, 2003. §5.1, §5.3