

Лабораторная работа №25

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННОЙ КОГЕРЕНТНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель работы:

Изучение влияния временной когерентности различных источников света на видимость интерференционной картины и оценка ширины спектрального интервала исследуемого излучения.

Приборы и принадлежности:

Микроскоп с приспособлением для наблюдения в отражённом свете, линза в оправе, набор светофильтров, газоразрядная натриевая лампа.

Введение.

Для наблюдения устойчивой интерференционной картины необходимо, чтобы волны, результатом наложения которых является эта картина, были когерентны, т.е. чтобы разность фаз между ними оставалась постоянной во времени.

Любые два разных источника света не когерентны, поскольку акты испускания света атомами никак не скоррелированы между собой.

Желая получить когерентные световые волны, используют разделение волны, испускаемой одним источником. На этом принципе работают все интерференционные приборы. После разделения волны проходят различный оптический путь и, следовательно, приобретают разность фаз. Если в точке встречи волн разность фаз кратна 2π , волны усиливают друг друга – в данной точке наблюдается интерференционный максимум. Разности фаз 2π соответствует оптическая разность хода равная длине световой волны в вакууме, поэтому условие максимума интенсивности имеет вид:

$$\Delta = m\lambda \quad (1)$$

где Δ – оптическая разность хода волн, λ – длина волны света в вакууме, m – целое число, называемое порядком интерференции. Если волна строго монохроматична, то чисто теоретически нет ограничений на величину порядка интерференции и можно наблюдать интерференционные полосы сколь угодно высокого порядка.

Чисто монохроматических волн, однако, в природе не бывает. Любой источник света (в том числе и лазер) испускает свет с длинами волн в некотором конечном интервале $\lambda \mp \Delta\lambda/2$, это обстоятельство накладывает ограничение на максимально наблюдаемый порядок интерференции.

Для того, чтобы понять почему это происходит, рассмотрим сначала искусственную ситуацию. Пусть источник света испускает строго монохроматические волны с двумя близкими длинами волн λ и $\lambda + \Delta\lambda$. Если $\Delta\lambda$ мало по сравнению с λ , то при низких порядках интерференции максимумы волн будут приходиться практически на одно место. Однако с возрастанием порядка интерференции максимумы одной длины волны будут всё далее сдвигаться от максимумов другой, и, наконец, когда максимум одной длины волны наложится на минимум другой, будет наблюдаться равномерная освещенность, т.е. интерференционная картина исчезнет. Это произойдет, когда одновременно выполняются условия

$$\Delta = m\lambda, \quad \Delta = \left(m - \frac{1}{2}\right)(\lambda + \Delta\lambda), \quad (2)$$

т.е. при
$$m = \frac{\lambda}{2\Delta\lambda}. \quad (3)$$

В реальной волне присутствуют все длины волн, заключённые в интервале $\lambda \mp \Delta\lambda/2$. Этот интервал мы можем разбить на пары волн, отличающихся друг от друга на $\Delta\lambda/2$. Рассуждая аналогично вышесказанному, приходим к выводу, что интерференционная картина исчезает, начиная с порядка

$$m = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}. \quad (4)$$

Формула (4) получается из (3) заменой $\Delta\lambda$ на $\Delta\lambda/2$. Таким образом, разность хода интерферирующих волн не может быть слишком большой. Как говорят, в этом случае нарушается временная когерентность волн. Предельная разность хода называется длиной когерентности. Используя формулы (1) и (4), легко связать длину когерентности L с шириной интервала $\Delta\lambda$:

$$L = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}. \quad (5)$$

Время, в течение которого свет проходит расстояние, равное длине когерентности, называется временем когерентности

$$\tau = \frac{L}{c}, \quad (6)$$

где c – скорость света в вакууме. Поскольку частота и длина световой волны связаны между собой простым соотношением

$$\lambda = \frac{c}{\nu},$$

то формула (5) можно переписать, выразив длину когерентности через интервал частот

$$L = \frac{c}{\Delta\nu}. \quad (7)$$

Различные источники света имеют разные степени монохроматичности и соответственно разные длины и времена когерентности.

Описание экспериментальной установки

В качестве интерференционной схемы в данной работе используется установка для наблюдения колец Ньютона (рис. 1).

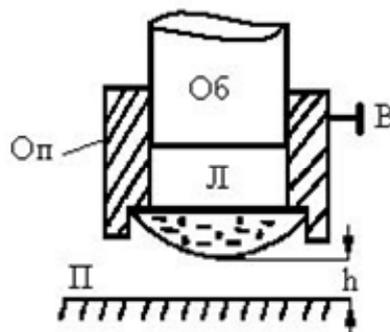


Рис. 1. Схема установки

Линза L закреплена в оправе $Оп$, которая с помощью винта $В$ может быть закреплена на объективе микроскопа. С помощью микрометрического винта микроскопа можно менять расстояние h между линзой и стеклянной подложкой $П$, лежащей на столике микроскопа. Именно эта величина h определяет разность хода интерферирующих волн, одна из которых отражается от сферической поверхности линзы, а другая от подложки $П$.

Наблюдение ведется через микроскоп в отраженном свете. Интерференционные полосы представляют собой в данном случае концентрические кольца. Когда линза касается подложки, в центре наблюдается чёрное пятно, поскольку отражение от подложки вносит дополнительную разность хода в $\lambda/2$. При поднятии линзы кольца "побегут" к центру интерференционной картины (максимумы высокого порядка смещаются в центр).

Микрометрический винт микроскопа позволяет определять высоту подъёма h с точностью до 0,002 мм. Интерференционные кольца исчезнут, когда разность хода

$$L = 2h \quad (8)$$

достигнет величины (5).

В качестве источника света в установке используется лампа накаливания, дающая белый свет. Набор светофильтров позволяет выделять из белого света разные части спектра. В качестве высокомонохроматического источника используется газоразрядная натриевая лампа. Внешний вид экспериментальной установки представлен на рис. 2.



Рис. 2. Внешний вид экспериментальной установки

Измерения и обработка результатов

Прежде чем приступить к измерениям, следует тщательно настроить установку.

1. Наденьте на объектив оправу с линзой, закрепите её винтом и очень осторожно опускайте тубус микроскопа вниз, пока расстояние между линзой и подложкой не будет 0,5 – 0,1 мм.

2. Освободите винт оправы так, чтобы линза коснулась подложки.

3. Включите осветитель. Не закрепляя оправы, осторожно перемещайте тубус микроскопа и наблюдайте за изменением картины в микроскопе. Добейтесь появления чётких интерференционных колец. Эту операцию легче провести, если на пути света поставлен светофильтр. Точная наводка производится с помощью микрометрического винта.

4. Закрепите оправу с помощью крепёжного винта. Осторожным перемещением тубуса с помощью микрометрического винта добейтесь, чтобы тёмное пятно в центре картины было как можно меньше. Это соответствует касанию линзой стекла подложки без вдавливания. Определите показание n_1 микрометрического винта и запишите его в таблицу.

5. С помощью микрометрического винта поднимайте тубус микроскопа с закреплённой на нём оправой с линзой и наблюдайте за изменением интерференционной картины в микроскопе. Остановите подъём, когда интерференционная картина исчезнет. Отметьте соответствующее значение n_2 микрометрического винта и запишите его в таблицу. На используемом в установке микроскопе нет счётчика полных оборотов микрометрического винта, поэтому следите за числом полных оборотов.

6. Пользуясь шкалой микрометрического винта, определите h по формулам (8), (6), (5), и (7) определите длину когерентности L , время когерентности τ , спектральный интервал $\Delta\lambda$, интервал частот $\Delta\nu$ и максимально возможный порядок интерференции m . Поскольку оценка "картина ещё не видна" и "картина уже не видна" является субъективной, измерения следует провести (для данного света) несколько (не менее трёх) раз.

7. Измерения провести с белым светом, а затем аналогично с тремя разными светофильтрами.

8. Включите лампу накаливания. Отсоедините её от микроскопа. Осветите входное отверстие натриевой лампы. (Примечание: после включения натриевой лампы следует подождать несколько минут, пока её свет не станет ярко жёлтого цвета). Проведите указанные выше измерения. Результаты измерений запишите в таблицу.

Будьте внимательны! Из – за высокой монохроматичности высота h может оказаться довольно большой, поэтому следите за числом полных оборотов микрометрического винта.

9. В опыте с натриевой лампой, увеличьте высоту подъёма линзы h в 2 раза по сравнению с той, при которой исчезла интерференционная картина. Что вы видите? Объясните это явление.

10. Включите натриевую лампу и установите осветитель микроскопа на место.

Таблица

№	Источник и светофильтр	n_1	n_2	h	L	τ	$\Delta\lambda$	$\Delta\nu$	m
1.									
2.									
...									

Контрольные вопросы

1. Какие волны называются когерентными? Почему любые два разных источника света дают некогерентные волны? Как можно получить некогерентные волны?

2. При каких условиях в данной точке пространства возникает интерференционный максимум? (интерференционный минимум?)

3. Можно ли считать когерентными следующие источники света: а) две одинаковые лампы накаливания; б) лампа и её отражение в зеркале; в) две щели, освещённые одной лампой; г) два лазера.

4. Почему возникает радужная картина на поверхности тонкой нефтяной плёнки? Почему такой картины не наблюдается на поверхности оконного стекла?

5. Белый свет – это волны примерно от 400 до 700 нм. Таким образом, $\Delta\lambda \approx 300$ нм и, следовательно, согласно формуле (4) для максимально возможного порядка интерференции имеем $m = (\lambda_{cp} / \Delta\lambda) < 2$. Таким образом, должно наблюдаться первое интерференционное кольцо.

6. Светофильтр вырезает из спектра интервал длин волн в несколько раз уже интервала видимого белого света. Число же колец, наблюдаемых от лампы со светофильтром и белом свете, примерно одинаково. Почему?

7. Объяснить, почему в опыте с натриевой лампой при увеличении высоты подъёма в 2 раза по сравнению с высотой, при которой исчезает интерференционная картина, снова появляются кольца Ньютона?

8. Известно, что время испускания света атомами при единичном акте перехода электрона с одного уровня на другой $\tau \approx 10^{-8}$ с. Это соответствует волновому цугу длиной $l = c\tau \approx 3$ м. Интерференционный прибор делит этот цуг два когерентных. Следовательно, при разности хода порядка 1 м должна наблюдаться интерференция. Почему же в опытах длина когерентности на много порядков меньше?

Литература

1. Лабораторный практикум по общей физике/ под ред. Е.М. Гершензона. М.: Просвещение, 1985. с.146 – 150.
2. Д.В. Сивухин. Общий курс физики. Оптика. М.: Наука, 1980. С. 217 – 221.