

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННОЙ КОГЕРЕНТНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель работы: изучение влияния временной когерентности излучения различных источников света на видимость интерференционной картины и оценка ширины спектрального интервала исследуемого излучения.

Приборы и принадлежности: микроскоп типа МБР-1 с приспособлением для наблюдения в отраженном свете (опак-иллюминатором), линза в специальной оправе, надевающейся на объектив микроскопа, лампа накаливания, газоразрядные лампы (ртутная и натриевая), стеклянные светофильтры.

ВВЕДЕНИЕ

Для наблюдения устойчивой интерференционной картины необходимо, чтобы волны, результатом наложения которых является эта картина, были **когерентны**.

Желая получить когерентные световые волны, используют разделение волны, испускаемой одним источником, на две – такова, например, интерференционная схема с тонкой стеклянной пластинкой: интерференционную картину образуют две части падающей на пластинку волны – отраженная от первой грани и «догоняющая» ее, обусловленная отражением света от второй грани пластинки.

Опыт показывает, однако, что интерференционная картина наблюдается далеко не всегда — в случае использования «белого» света толщина пластинки должна быть достаточно малой — порядка нескольких микрометров!

Это становится понятным, если учесть, что излучение любого реального источника света не представляет собой бесконечной синусоидальной волны: необходимо пользоваться представлением о волновых импульсах конечной длины, или, как принято говорить, о когерентных волновых цугах.

Между отдельными цугами отсутствует какая-либо согласованность, они заведомо некогерентны. В случае с пластинкой интерференция возможна, если две части одного и того же цуга успевают «встретиться», несмотря на разность хода, обусловленную толщиной пластинки. Чем больше длина цуга, или, как принято говорить, длина когерентности излучения, тем большей может быть толщина пластинки, используемой для наблюдения интерференционной картины. Другими словами, ***интерференционная картина наблюдается только в тех случаях, когда обусловленная интерференционной схемой разность хода не превышает длины когерентности излучения.***

Длина когерентности излучения связана с шириной спектрального интервала. Чем уже спектральный интервал излучения $\Delta\lambda$ (чем ближе излучение к монохроматическому), тем больше его длина когерентности.

Если, как это обычно бывает при точных оптических измерениях, свет достаточно

монохроматичен ($\Delta\lambda \ll \lambda$), то, как показывает расчет, длина когерентности

$$L \approx \lambda^2 / \Delta\lambda \quad (1)$$

Время прохождения светом длины L называется *временем когерентности*

$$\tau = L/c \quad (2)$$

Определив, при какой разности хода исчезает интерференционная картина, можно оценить длину когерентности исследуемого излучения, а также ширину его спектрального интервала (степень монохроматичности). Эти величины характеризуют *временную когерентность излучения*.

В предлагаемой работе используется одна из классических интерференционных схем — наблюдение колец Ньютона (см. описание работы 3.3). В отличие от традиционной схемы установка позволяет достаточно точно измерять разность хода между интерферирующими световыми пучками. Благодаря этому можно оценить временную когерентность излучения различных источников света.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

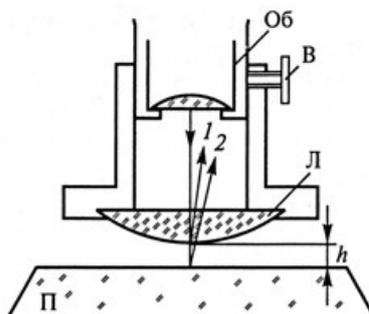


Рис. 3.4.1

С установкой для наблюдения колец Ньютона следует ознакомиться по описанию работы 3.3. Отличие предлагаемой установки от традиционной заключается в следующем (рис. 3.4.1).

Линза L , от нижней поверхности которой отражается световая волна 1 , закреплена в специальной оправе, надевающейся на объектив микроскопа ($Об$). Стекла́нная пластинка $П$, от поверхности которой отражается волна 2 , лежит на неподвижном столике микроскопа. Освободив винтом $В$ оправу и опустив линзу до соприкосновения с пластинкой, можно, перемещая тубус микроскопа, настроить его так, чтобы была отчетливо видна интерференционная картина, локализованная примерно в плоскости соприкосновения линзы и пластинки.

Закрепив после этого винт $В$ и поднимая тубус микроскопа при помощи микрометрического винта, можно изменить величину зазора между линзой и пластинкой. Именно эта

величина определяет разность хода Δ интерферирующих волн 1 и 2:

$$\Delta = 2h + \lambda/2 \quad (3)$$

Если пренебречь дополнительной разностью хода, обусловленной различием условий отражения волн на границах «стекло – воздух» и «воздух – стекло», можно считать

$$\Delta \approx 2h \quad (4)$$

Пользуясь шкалой, нанесенной на барабан микрометрического винта микроскопа, можно измерять величину зазора h и, следовательно, разность хода с точностью до 1 мкм. В качестве источников исследуемого излучения в работе используются лампа накаливания с фильтром, ртутная лампа и натриевая лампа.

ИЗМЕРЕНИЯ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Прежде чем приступить к измерениям, следует тщательно настроить установку, придерживаясь следующего порядка выполнения операций:

1. Наденьте на объектив микроскопа оправу с линзой, закрепите ее винтом и осторожно опускайте тубус микроскопа до тех пор, пока линза не окажется на очень небольшом ($\sim 0,5$ мм) расстоянии от стеклянной пластинки. После этого освободите оправу и дайте линзе возможность спокойно опуститься на пластину.
2. Установите источник света (осветитель с лампой накаливания) против отверстия опак-иллюминатора и добейтесь равномерной освещенности поля зрения. Эту операцию удобно проводить при вынутом окуляре микроскопа. Правильность настройки можно проверить, изменяя отверстие ирисовой диафрагмы осветителя: эта операция не должна нарушать симметрии освещенного пятна.
3. Не закрепляя оправы, осторожно перемещайте тубус микроскопа до появления в поле зрения интерференционной картины. Точная наводка осуществляется с помощью микрометрического винта¹.

Если картина недостаточно контрастна, следует несколько уменьшить накал лампы осветителя и, что особенно результативно, уменьшить отверстие диафрагмы осветителя (последняя операция служит дополнительной проверкой правильности расположения лампы).

4. Наблюдая в микроскоп, осторожно закрепите оправу на объективе микроскопа, стараясь не сбить достигнутой настройки. С помощью микрометрического винта осторожно поднимайте тубус микроскопа. Кольца интерференционной картины при этом должны «бежать», стягиваясь к центру. Опуская тубус, восстановите первоначальную картину.

После этого приступайте к измерениям и вычислениям. Отчет о работе должен содер-

¹После всех операций положение микрометрического винта должно быть таким, чтобы с его помощью при дальнейшей работе микроскоп можно было *поднимать*. Убедиться в этом можно, обратив внимание на положение точки-указателя и двух рисок, нанесенных соответственно на подвижной и неподвижной частях: перед началом измерений точка должна быть около нижней риски.

жать письменные выводы, сделанные по выполнению каждого из перечисленных заданий, и ответы на поставленные вопросы.

Задание 1.

Получите картину колец Ньютона в «белом» свете (лампа накаливания без фильтра). Отметьте, при каком зазоре интерференционная картина исчезает.

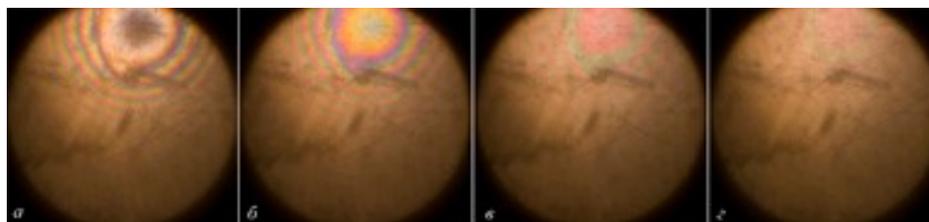


Рисунок 3.4.2.

На рисунке 2 представлены фотографии получаемых интерференционной картины, изменяющейся при увеличении зазора.

Задание 2.

Повторите наблюдения, поставив красный фильтр. Чем отличается наблюдаемая картина от предыдущей? Пользуясь шкалой микрометрического винта, измерьте величину зазора h , при которой интерференционная картина исчезает.

З а м е ч а н и е. Оценка ситуаций «картина еще видна» и «картина уже не видна» достаточно субъективна, поэтому полезно повторить операцию несколько раз, выработав свой «критерий исчезновения».

Вычислите длину когерентности L исследуемого излучения и соответствующую ширину спектрального интервала $\Delta\lambda$. Значения средних длин волн излучения источников указаны в паспорте работы.

Задание 3.

Исследуйте таким же образом временную когерентность излучения ртутной лампы с фильтром и натриевой лампы. Для включения ртутной лампы следует включить в сеть блок питания, предварительно убедившись, что ручка автотрансформатора стоит в крайнем левом положении. После чего, вращая ручку вправо, увеличить напряжение. Как только лампа загорится, напряжение следует уменьшить так, чтобы сила тока была порядка 1 А. Натриевая лампа включается аналогично. Результаты измерений и вычислений удобно оформить в виде таблицы, указав в ней числа делений шкалы n , размеры зазора h , а также L и $\Delta\lambda$ для каждого источника.

Источник	λ , нм	h , мм	L , мм	$\Delta\lambda$, нм
Лампа накаливания	Белый свет			
Лампа накаливания с зеленым фильтром	550			
Лампа накаливания с красным фильтром	650			
Ртутная лампа	579			
Натриевая лампа	589			

Таблица 1

Нарисуйте в подходящем масштабе (примерно $1 \text{ мм} = 1 \text{ нм}$) спектрограмму, показывающую, какую полосу в спектре длин волн видимого света занимает излучение каждого из исследуемых источников.

ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. При каких условиях в данной точке волнового поля возникает интерференционный минимум? интерференционный максимум?
2. Возможно ли наблюдение интерференционной картины при использовании стеклянной пластины толщиной порядка нескольких миллиметров и лучшего из использованных вами источников?
3. Каковы возможные причины различия степени временной когерентности излучения лампы накаливания с фильтром и газоразрядной лампы?
4. Оцените максимальный порядок интерференции для случаев наблюдения интерференционной картины в свете лампы накаливания с зеленым фильтром и в свете ртутной лампы.
5. Зная, что $\tau \approx 1/\Delta\nu$, получите формулу (1) для длины когерентности.
6. Где локализована данная интерференционная картина?
7. Есть ли ограничения на размер источника света для наблюдения колец Ньютона и почему?