

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3.5

## ОПЫТ ЮНГА

*Цель работы:* исследование зависимости интерференционной картины от параметров интерференционной схемы; оценка степени пространственной и временной когерентности излучения при использовании различных источников света.

*Приборы и принадлежности:* лампа накаливания, ртутная лампа, стеклянные светофильтры, раздвигающаяся калиброванная щель, объектив, набор двойных щелей-объектов, стеклянные плоскопараллельные пластинки, окулярный микрометр, оптическая скамья, рамка с поляроидами.

### ВВЕДЕНИЕ

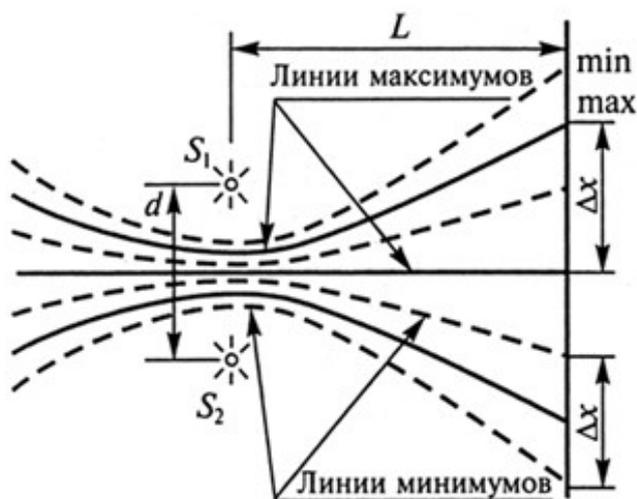


Рис. 3.5.1

I. В случае двух точечных когерентных источников света  $S_1$  и  $S_2$  (рис. 3.5.1) на экране, расположенном параллельно прямой, соединяющей источники, должно наблюдаться периодическое изменение освещённости (интерференционная картина). Расстояние между соседними интерференционными максимумами (или минимумами), называемое обычно шириной полосы  $\Delta x$ , может быть вычислено, если известно расстояние между источниками  $d$  и расстояние от источников до экрана  $L$ .

При  $L \gg d$  имеем

$$\Delta x = \frac{\lambda L}{d}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  — длина волны используемого света.

В случае реальных источников света интерференция наблюдается далеко не всегда. Так, например, интерференционной картины заведомо не будет, если источниками служат две небольшие электрические лампы; более того, даже использование двух очень малых отверстий, освещённых одной лампой, ещё не гарантирует успеха в наблюдении картины.

Одной из классических схем, позволяющих наблюдать интерференцию света двух источников, является схема, предложенная Т. Юнгом. Юнг использовал два небольших отверстия, освещённые достаточно малым или достаточно удалённым источником. Обращаясь к современной терминологии, можно сказать, что Юнгу удалось создать схему, удовлетворяющую условиям пространственной когерентности.

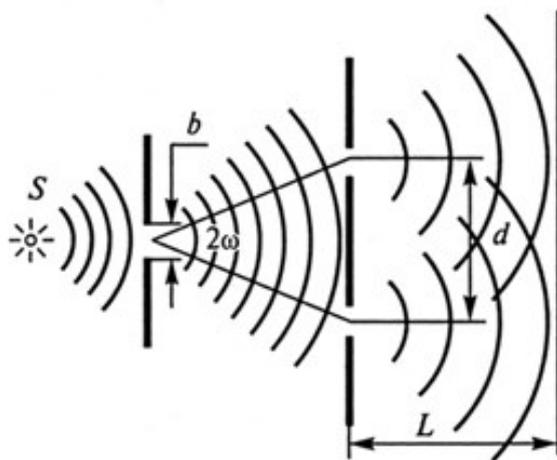


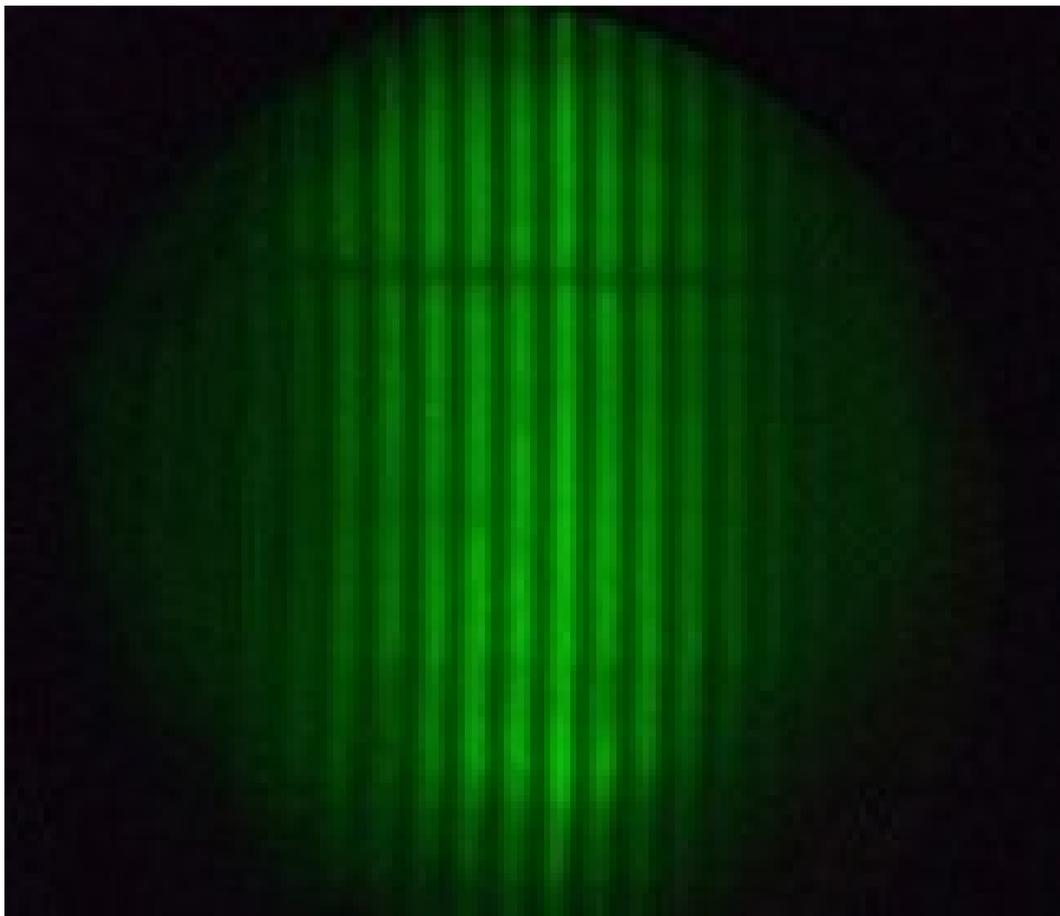
Рис. 3.5.2

Рассмотрим вариант схемы Юнга (рис. 3.5.2), в котором источник находится на сравнительно небольшом расстоянии от двух отверстий. Можно показать, что даже при идеально монохроматическом источнике интерференционная картина будет отчётливо видна только при выполнении условия

$$b \cdot \sin \omega < \frac{\lambda}{4}, \quad (2)$$

где  $b$  — протяжённость источника света (в нашем случае размер ограничивающей источник диафрагмы),  $\lambda$  — длина световой волны, а угол  $2\omega$  — характерный параметр схемы, называемый *апертурой интерференции*.

В первой части лабораторной работы предполагается исследовать зависимость вида интерференционной картины от параметров  $b$  и  $2\omega$ , соотношение между которыми определяет возможность достижения в схеме необходимой пространственной когерентности.



II. Вторая часть работы посвящается выяснению влияния поляризации световых волн на интерференционную картину. При первоначальном изучении интерференции волн обычно предполагается, что рассматриваемые волны линейно поляризованы. Следует помнить, однако, что даже в простейшем случае двух линейно поляризованных волн результат их наложения существенно зависит от угла между плоскостями поляризации этих волн. В этом можно убедиться экспериментально, перекрывая отверстия в схеме Юнга поляроидами, превращающими естественный свет источников (лампы накаливания, газоразрядные лампы) в линейно поляризованный свет заданной ориентации.

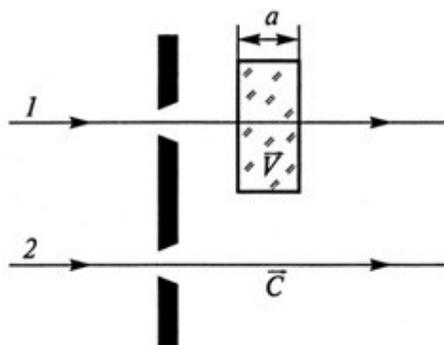


Рис. 3.5.3

III. В третьей части работы исследуется влияние степени временной когерентности

излучения на вид интерференционной картины. В случае реального источника интерференционная картина будет наблюдаться лишь в том случае, если оптическая разность хода световых волн не превышает длины когерентности излучения. Если на пути одного из пучков поместить стеклянную пластинку (рис. 3.5.3) толщиной  $a$  с показателем преломления  $n$ , то появляется оптическая разность хода

$$\Delta = a \cdot (n - 1). \quad (3)$$

Для случая пластинки из стекла ( $n \approx 1,5$ )  $\Delta = a \cdot (n - 1) \approx 0,5a$ .

Зная, что интерференционная картина исчезает при  $\Delta > L_{\text{ког}}$ , по известному значению  $a$  можно оценить длину и время когерентности  $\tau_{\text{ког}} = L_{\text{ког}}/c$ . Пользуясь известным соотношением  $\tau_{\text{ког}} \sim 1/\Delta\nu$  можно, наконец, оценить ширину спектра излучения  $\Delta\nu$  (в шкале частот) или же соответствующий интервал длин волн  $\Delta\lambda$  различных источников света.

## ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ



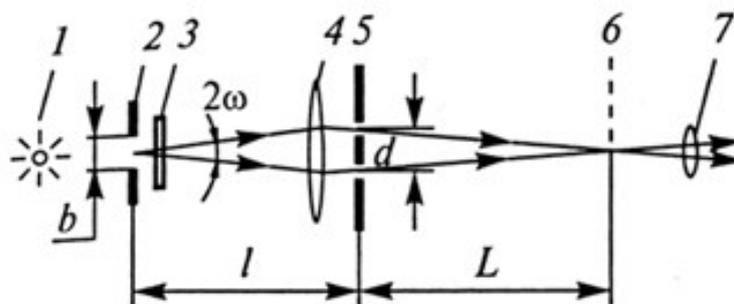


Рис. 3.5.4

Схема установки представлена на рисунке 3.5.4. Свет от лампы накаливания или ртутной лампы 1 падает на щель-источник 2. Ширина этой щели  $b$  определяет размер источника и может быть измерена с помощью шкалы (цена деления шкалы 0,005 мм). Для уменьшения спектрального интервала излучения между щелью-источником и двумя щелями помещается стеклянный светофильтр 3. Две щели 5 прорезаны в эмульсии засвеченной и обработанной фотопластинки. Расстояние между щелями указано на рамке, в которую вставлена пластинка. Непосредственно перед щелями помещается объектив 4, при помощи которого пучки света, выходящие из двух щелей, сводятся в точке наблюдения 6, находящейся на расстоянии  $L$  от щелей.

Наблюдают интерференционную картину при помощи окулярного микрометра 7, позволяющего измерять необходимые расстояния с точностью до 0,01 мм (подробное описание окулярного микрометра см. в приложении к работе). Рамки со щелями-объектами устанавливают на специальный столик, в пазы рамки столика можно вставлять оправы со стеклянными пластинами и поляроидами. Расстояние от щели-источника до двух щелей  $l$  и от щелей до точки наблюдения  $L$  измеряют с помощью линейки.

## ИЗМЕРЕНИЯ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

### I. Исследование зависимости вида интерференционной картины от параметров схемы и вычисление длины волны излучения ртутной лампы, пропускаемого зелёным светофильтром.

При выполнении заданий 1–4 в качестве источника света применяется ртутная лампа. Соблюдайте правила её включения. Убедитесь сначала, что ручка автотрансформатора стоит в крайнем левом положении, включите в сеть блок питания лампы и увеличивайте напряжение, вращая ручку вправо. Как только лампа загорится, уменьшите напряжение так, чтобы сила тока была равной 1 А. Первые несколько минут следите за током и поддерживайте его равным 1 А. Если вы не уследите за током и лампа погаснет, надо дождаться полного остывания лампы до следующего её включения.

Установите ртутную лампу перед щелью-источником. При ширине щели-источника порядка 0,5 мм найдите с помощью вспомогательного экрана (например, листа белой бума-

ги) изображение щели, образованное объективом, и расположите в этом месте окулярный микрометр. При правильной настройке в поле зрения микрометра видно резкое и яркое изображение щели.

Установив за щелью-источником зелёный светофильтр, а непосредственно за объективом рамку с двумя щелями, наблюдайте интерференционную картину. Если картина не отчётлива, уменьшите ширину щели источника, добиваясь оптимального сочетания яркости и контраста картины.

Измерьте ширину полосы  $\Delta x$ , а также расстояние  $L$ . Для повышения точности измерений рекомендуется измерять ширину нескольких полос и делить полученный результат на их число. Произведите аналогичные измерения, используя другую пару щелей ( $d_2 > d_1$ ), а затем изменив расстояние  $L$ . Перемещение двух щелей должно обязательно сопровождаться перемещением объектива  $4$ .

### Задание 1.

Вычислите для всех случаев длину волны излучения ртутной лампы, пропускаемого светофильтром. Результаты измерений и вычислений представьте в виде таблицы 1, содержащей отсчёты по шкале микрометра и вычисленные значения  $\Delta x$  и  $\lambda$  для различных значений  $L$  и  $d$ . Оценив погрешности измерений  $\Delta x$ ,  $d$  и  $L$ , определите погрешность измерения  $\lambda$ .

$L$ , мм	$d$ , мм	$\Delta x$ , мм	$\lambda$ , нм	$\lambda_{\text{ср}}$ , нм

Таблица 1: Результаты измерений для определения длины волны

## II. Исследование влияния пространственной когерентности на видимость интерференционной картины.

Для выполнения этой части работы необходимо знать параметры, определяющие степень пространственной когерентности, т.е. ширину щели-источника  $b$  и апертуру интерференции  $2\omega$ . Ширину щели определяют, пользуясь шкалой на оправе щели, а апертуру интерференции можно найти, зная расстояние от щели-источника до двух щелей  $l$  (см. рис. 3.5.4) и расстояние между щелями  $d$ . При  $d \ll l$  можно считать  $\sin \omega \approx \omega \approx d/2l$ .

Измерения производите в следующем порядке.

Во-первых, необходимо получить отчётливую интерференционную картину, используя объект со средним (1,1 мм) расстоянием между щелями, на небольшом расстоянии  $l$  ( $\sim 30$  см) от щели. Измерьте и запишите значения  $l$ ,  $b$  и  $d$ , зафиксировав наличие интерференционной картины.

Для получения следующего показания измерений, следя за изменением вида интерференционной картины, увеличивайте ширину щели до полного исчезновения картины. Запишите соответствующее значение ширины щели  $b$ .

Третье измерение получается путём отодвигания рамки с двумя щелями от источника. Таким образом увеличивается пространственная когерентность падающего на щель излучения. Наблюдая за изменением вида картины, отметьте положение объекта (новое расстояние  $l$ ), при котором картина становится отчётливо видимой.

### Задание 2.

Сведите данные всех измерений  $l$ ,  $d$  и  $b$  в таблицу 2 и вычислите для каждого случая  $b \cdot \sin \omega \approx bd/2l$ . Сравните полученные значения  $b \cdot \sin \omega$  с величиной  $\lambda/4$  и сформулируйте сложившийся в процессе выполнения эксперимента критерий возможности наблюдения интерференционной картины.

$d$ , мм	$b$ , мм	$l$ , мм	$\lambda/4$ , мм	$\frac{bd}{2l}$ , мм	Видимость
Лампа накаливания с фильтром					
Ртутная лампа с фильтром					

Таблица 2: Оценка временной когерентности

### III. Исследование влияния поляризации световых волн на результат их наложения

Для выполнения этого задания необходим объект, расстояние между щелями которого достаточно велико ( $d \sim 3$  мм). Используя опыт, накопленный в процессе выполнения предыдущих заданий, получают чёткую интерференционную картину (если освещённость картины недостаточна, можно убрать светофильтр). В пазы рамки столика для объектов вдвигают оправу, в которую вставлены пленочные поляроиды (два в одной оправе). Ориентация осей поляроидов указана на рамке оправы.

### Задание 3.

Перекрывая щели поляроидами (вначале закройте каждую из щелей различно ориентированными поляроидами, а затем обе щели одним поляроидом), наблюдайте за изменением вида картины и запишите результаты наблюдения для случаев различной ориентации поляроидов.

### IV. Оценка степени временной когерентности излучения различных источников света

В этом эксперименте используется та же схема, что и в предыдущем задании, но вместо поляроидов щели (сначала одну, а затем обе) перекрывают стеклянной пластинкой известной толщины.

### Задание 4.

Найдите, при какой толщине пластинки интерференционная картина исчезает, и оцените длину когерентности излучения ртутной лампы с зелёным фильтром.

### Задание 5.

Вместо ртутной лампы поставьте лампу накаливания и зелёный светофильтр, выделяющий интервал длин волн с  $\lambda_{\text{ср}} = 546$  нм. Повторив те же операции, что и в задании 4, оцените длину когерентности излучения лампы накаливания. Результаты внесите в таблицу 3.

Источник	$a_1$ , мм	Видимость	$a_2$ , мм	Видимость	Оценка $L$ , мм
Лампа накаливания с фильтром					
Ртутная лампа с фильтром					

Таблица 3: Оценка временной когерентности

## ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. При каких условиях в данной точке волнового поля возникает интерференционный минимум? интерференционный максимум?
2. Какие параметры схемы Юнга можно изменить и в какую сторону, чтобы улучшить контрастность картины? Какие параметры схемы не влияют на контрастность картины?
3. Какие параметры схемы Юнга можно изменить и в какую сторону, чтобы увеличить ширину полос на экране? Какие параметры схемы не влияют на ширину полос?
4. Где локализована интерференционная картина в схеме Юнга?
5. Оцените длину когерентности излучения радиогенератора, если его относительная стабильность по частоте  $\Delta\nu/\nu \approx 10^{-6}$ , а  $\lambda_{\text{ср}} = 30$  м.
6. Укажите возможные причины наблюдаемого различия в длинах когерентности излучения лампы накаливания с фильтром и ртутной лампы с фильтром.

## Приложение к работе ОПИСАНИЕ ОКУЛЯРНОГО МИКРОМЕТРА

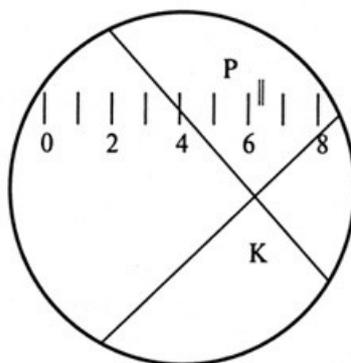
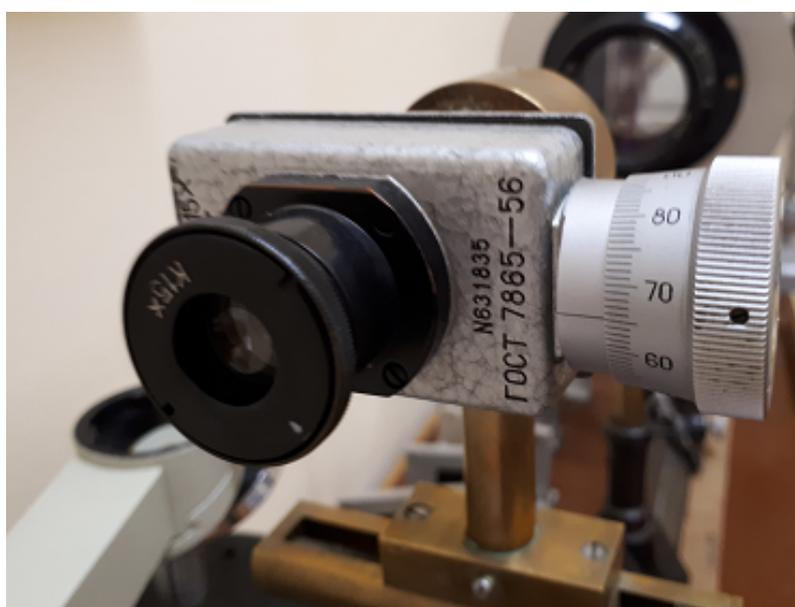


Рис. 3.5.5



Окулярным микрометром (фото на рис. 3.5.5) измеряются размеры изображения объекта.

В фокальной плоскости окуляра микрометра расположена неподвижная стеклянная пластинка со шкалой, каждое деление которой равно 1 мм. В этой же плоскости расположена вторая — подвижная — стеклянная пластинка с крестом *K* и рисками *P*. При вращении микрометрического винта крест и риски перемещаются в поле зрения окуляра относительно неподвижной шкалы (рис. 3.5.6).

Шаг винта равен 1 мм. При повороте барабана винта на один оборот крест и риски в поле зрения окуляра переместятся на одно деление шкалы, которая служит для отсчёта числа полных миллиметров перемещения креста. Для отсчёта сотых долей миллиметра служит шкала барабана винта. Поворот барабана на одно деление соответствует перемещению креста на 0,01 мм. Полный отсчёт по шкалам окулярного микрометра складывается из отсчёта по неподвижной шкале и отсчёта по барабану винта.

Отсчёт по неподвижной шкале в поле зрения определяется положением рисок, т.е. подсчитывается, на сколько полных делений шкалы переместились риски, считая от нулевого деления шкалы. Отсчёт по барабану микрометрического винта производится точно так же, как и на обычном микрометре, т.е. определяется, какое деление шкалы барабана приходится против индекса, расположенного на неподвижном патрубке винта.

Допустим, что риски в поле зрения расположены между 6-м и 7-м делениями шкалы в поле зрения окуляра и индекс барабана приходится против деления 21 шкалы барабана. В этом случае полный отсчёт равен  $6 + 0,21 = 6,21$  мм.