

Лабораторная работа

ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ С ПОМОЩЬЮ БИПРИЗМЫ ФРЕНЕЛЯ

Описание целей работы

Конкретная цель	Критерий достижения цели
I. Изучение теории	
1. Интерференция волн	Без ошибок сформулировать понятия: интерференция волн, когерентные волны, интерференционная картина, максимум колебаний, минимум колебаний, разность хода, разность фаз, разность хода и указать условия \min и \max в интерференционной картине.
2. Когерентность света	Объяснить, почему два источника света не могут быть когерентными, определить понятия: длина и время когерентности, радиус когерентности.
3. Интерференционная схема с бипризмой Френеля	Изобразить ход лучей через бипризму, показать зону интерференции и мнимые источники света
II. Практические навыки	
Умение самостоятельно произвести необходимые операции: 1. Юстировка оптической установки 2. Измерение расстояний с помощью окулярного микрометра 3. Определение расстояния между мнимыми источниками света.	

Оборудование: оптическая скамья, источник света, щелевая диафрагма, бипризма Френеля, окулярный микрометр, объектив, мерная лента.

I. Необходимые теоретические сведения

1.1 Интерференция волн

Если в среде распространяется одновременно две (или более) волны, то каждая точка среды участвует одновременно в двух (или более) колебаниях. Результирующее колебание точки является векторной суммой складываемых колебаний (принцип суперпозиции).

Пусть в данную точку волнового поля приходит две волны одинаковой частоты, создавая колебания, описываемые уравнениями:

$$y_1 = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$$

$$y_2 = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2),$$

где A_1 и A_2 – амплитуды, а φ_1 и φ_2 – начальные фазы колебаний.

Результирующее колебание точки также будет гармоническим:

$$y = y_1 + y_2 = A \cos(\omega t + \varphi), \text{ где} \\ A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2 A_1 A_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2). \quad (1)$$

Из выражения(1) видно, что:

I) если разность фаз $\delta = \varphi_1 - \varphi_2 = \text{const}$, то в данной точке поля амплитуда результирующих колебаний A будет постоянной. В других точках поля разность фаз δ складываемых колебаний может принимать другие значения ($0 \leq \delta \leq 2\pi$), но важно, что в каждой точке она будет сохранять постоянное значение. Такие волны называются когерентными (то лат. coharens-находящийся в связи);

II) если δ может принимать значения от 0 до 2π , то амплитуда A может принимать значения от A_{\max} до A_{\min} , где

$$A_{\max} = A_1 + A_2, \text{ при } \delta = 2\pi m, \quad (2a)$$

$$A_{\min} = A_1 - A_2, \text{ при } \delta = (2m+1)\pi, \text{ где } m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (2б)$$

Если $A_1 = A_2$, то $A_{\max} = 2A_1$, а $A_{\min} = 0$, т.е. в одних точках поля колебания резко усилятся, а в других уменьшатся до нуля. Т.к. энергия (интенсивность) волны $I \sim A^2$, то мы фактически будем наблюдать устойчивую картину перераспределения энергии в волновом поле. Такая картина называется **интерференционной**, а соответствующее явление – **интерференцией волн**. Интерферировать могут любые волны.

ВОПРОСЫ

1. Почему наличие интерференции является признаком волновой природы явления?
2. Какие точки максимума называются точками интерференционной картины? минимумом?
3. Объясните условия, необходимые для наблюдения максимума и минимума в данной точке волнового поля.
4. Что будем наблюдать, если частота складываемых волн будет неодинакова?

1.2. ИНТЕРФЕРЕНЦИОННАЯ КАРТИНА ОТ ДВУХ ТОЧЕЧНЫХ МОНОХРОМАТИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ

Пусть S_1 и S_2 (рис.1) – точечные источники волн длиной λ . M – некоторая точка волнового поля, отстоящая от источников на расстояниях $r_1 = S_1M$ и $r_2 = S_2M$. Результат интерференции в точке M определяется разностью фаз δ колебаний, вызываемых в этой точке волнами, пришедшими от S_1 и S_2 . На практике разность фаз δ колебаний выражают через разность хода Δ :

$$\delta = \frac{\Delta}{\lambda} \cdot 2\pi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta \quad (3)$$

где $\Delta = r_1 - r_2$ - разность хода волн в точке М. Теперь условия 2а и 2б можно переписать в виде:

условие максимумов:

$$\Delta = r_1 - r_2 = m\lambda \quad (4)$$

условие минимумов: $\Delta = r_1 - r_2 = (2m+1)\frac{\lambda}{2}$, где $m=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ (5)

Т.е. в интерференционной картине максимумы располагаются в тех точках, для которых в разности хода лучей укладывается целое число волн, а минимумы – в точках, для которых в разности хода укладывается нечетное число полуволн. Число m называется порядком максимума. На рис.2 представлено расположение максимумов и минимумов в интерференционной картине от двух точечных источников S_1 и S_2 в однородной среде. Положения максимумов изображены сплошными, а минимумов – пунктирными линиями.

Из рисунка видно, что интерференционная картина наблюдается, если только источники расположены не слишком близко друг от друга. Действительно, для осуществления интерференции на разности хода должна уложиться хотя бы одна полуволна. Следовательно, если расстояние между источниками $S_1 S_2 = h < \lambda/2$, то интерференционная картина вырождается.

Таким образом, еще одно условие когерентности может быть сформулировано так: два источника не воспринимаются как один и создают интерференционную картину, если расстояние между ними больше половины длины волны.

ВОПРОСЫ

5. Напишите уравнение геометрического места точек максимумов (минимумов). Какую кривую (поверхность) вы получили?
6. Какова должна быть результирующая амплитуда в точке волнового поля (указанной преподавателем)?

1.3. ШИРИНА ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ ПОЛОСЫ

Расстояние между соседними линиями минимумов (или максимумов) называется **шириной интерференционной полосы** B . Найдем ее величину.

Пусть на рис. 4 S_1 и S_2 – точечные, монохроматические, когерентные источники волн длиной λ . Проведем прямую O_1O так, чтобы $O_1O \perp S_1S_2$, а $S_1O_1 = S_2O_1$.

Через точку O , выбранную произвольно, проведем плоскость, параллельную S_1S_2 . Ось OX выбираем так, чтобы $OX \parallel S_1S_2$. Очевидно, что в точке O будет

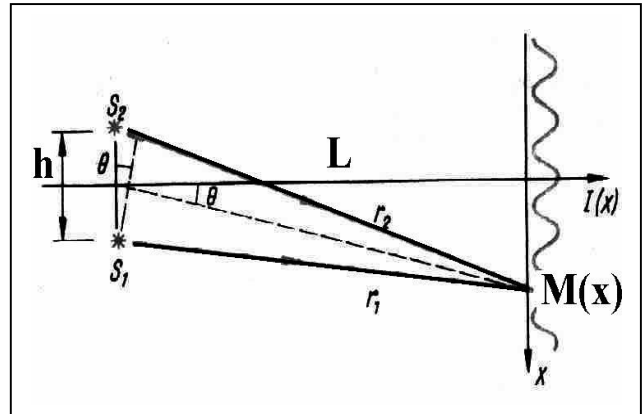


Рис. 4.

наблюдаться максимум нулевого порядка ($m = 0$). Линия O_1O является осью симметрии интерференционной картины. Максимумы следующих порядков ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$) будут располагаться симметрично относительно точки O (см. рис.2). Визуально, максимумы интерференционной картины для световых волн будут иметь вид светлых полос, а минимумы – темных.

Положим, что в точке M с координатой x наблюдается максимум m -го порядка.

Из рис. 4 получим:

$$r_1^2 = L^2 + \left(x - \frac{h}{2}\right)^2 \quad r_2^2 = L^2 + \left(x + \frac{h}{2}\right)^2,$$

откуда $r_1^2 - r_2^2 = 2xh$, где

h – расстояние между источниками S_1S_2 ,

L – расстояние от плоскости источников до плоскости наблюдения.

В оптических схемах $L \gg h$, ($L \sim \text{м}$, $h \sim \text{мм}$), поэтому положим $r_1 + r_2 \approx 2L$:

Разность хода лучей, интерферирующих в т. M

$\Delta = |r_2 - r_1| = \frac{2xh}{r_1 + r_2} = \frac{xh}{L}$. Т.к. в т. M наблюдается максимум m -го порядка:

$\Delta = m\lambda$ или $x_m = m \frac{\lambda L}{h}$, где x_m – координата точки, соответствующая максимуму m -го порядка.

Ближайший к точке M максимум (например, в т. N) будет иметь порядок $m - 1$ и координату $x_{m-1} = (m-1) \frac{\lambda L}{h}$. Расстояние между ними, т.е. ширина

интерференционной полосы $B = x_m - x_{m-1}$ будет равна

$$B = \frac{\lambda L}{h}, \quad (6)$$

В выражении (6) B не зависит от порядка интерференции (при каком условии?). Чем дальше плоскость наблюдения от источника, тем шире будут расстояния между максимумами (см. рис.2).

ВОПРОС

7. От каких еще факторов и как зависит ширина интерференционной полосы ?

1.4. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА

Электромагнитное излучение в диапазоне от 0,01 нм до 1 см называют оптическими. Светом обычно называют видимое излучение в диапазоне от 400 нм до 760 нм.

В практике с помощью двух независимых источников света (двух ламп) не удастся получить интерференционную картину. Чем это объяснить? На основании вышеизложенного, выделим важнейшие условия для получения интерференции:

1. частоты волн должны быть одинаковы;
2. должны складываться волны, в которых колебания имеют одинаковые направления, т.е. плоскополяризованные волны;
3. подразумевалось, что волны излучаются непрерывно в течение всего времени наблюдения.

Условия 1 и 2 нетрудно выполнить, третье условие не имеет места в оптике и определяет специфику оптических интерференционных схем. Источником световых волн является атом. Получив энергию (при нагревании тела, в электрическом поле и др.), атом «сбрасывает» ее за некоторое время τ , излучая электромагнитную волну, и переходит в стационарное состояние до следующего возбуждения. Испущенная волна имеет вид «куска» монохроматической волны, называемого цугом волны (рис.5).

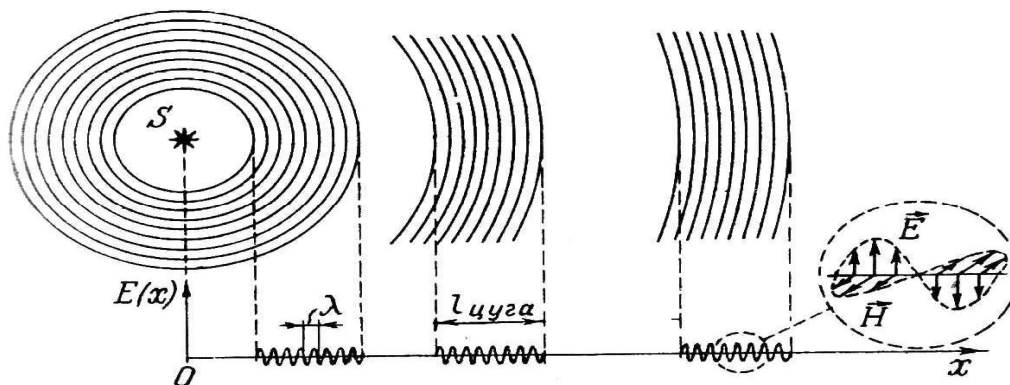


Рис. 5.

Т.к. излучаемая волна распространяется со скоростью света $c=3\cdot 10^8\text{ м/с}$, то длина цуга $\ell \leq c\tau$. По экспериментальным оценкам $\tau \sim 10^{-8}$ с. В каждом цуге длиной ℓ содержится $10^6 \div 10^8$ длин волн. При наложении двух цугов (одной частоты) на экране может возникнуть интерференционная картина, но длительность ее составит $\sim 10^{-8}$ с. У следующей пары цугов разность фаз будет иной, и интерференционная картина изменится. Даже один атом за секунду испускает $\approx 10^8$ цугов. При большом числе атомов, излучение каждого из атомов не согласовано с другими. При наложении волн, множество одновременно возникающих интерференционных картин будет: накладываться друг на друга, сменяясь сотни миллионов раз в секунду. Ни глаз (инерция зрения $\sim 0,1$ с), ни другой приемник света не в состоянии следить за быстрой сменой картин и фиксирует только равномерную освещенность экрана. Т.о. обычные источники света не могут создавать интерференционную картину и являются некогерентными.

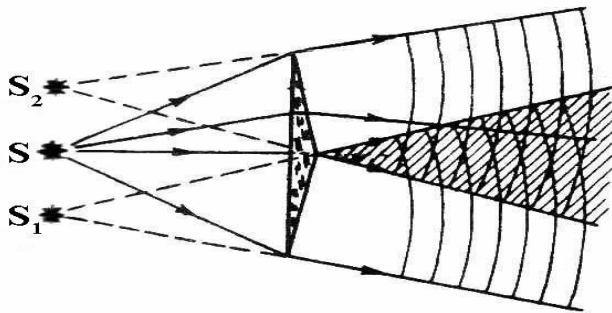
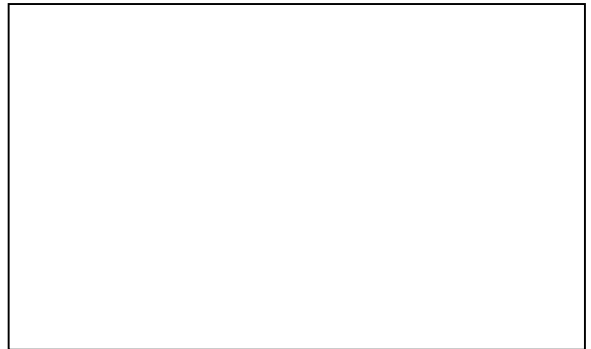
Как на практике обеспечить постоянство разности фаз колебаний, необходимое для их интерференции? Здесь возможны два пути: один из них заключается в том, что можно согласовывать акты излучения света атомами – этот путь сейчас реализован в лазерах. Другой путь позволяет осуществить интерференцию с обычными источниками света. Идея состоит в том, чтобы заставить интерферировать не колебания, идущие от разных атомов, а колебания, приходящие в точку наблюдения от одного и того же атома, но по разным путям. Одна из таких схем предложена Френелем.

ВОПРОСЫ

7. Почему понятие двух когерентных источников в оптике отличается от аналогичного понятия для упругих волн?
9. Можно ли подобрать две когерентные лампы накаливания?
10. Что такое электромагнитная волна и как она изображается?

1.5. ИНТЕРФЕРЕНЦИОННАЯ СХЕМА С БИПРИЗМОЙ ФРЕНЕЛЯ

Бипризма Френеля представляет собой симметричную стеклянную призму с очень малыми преломляющими углами θ (рис.6).



Источником света служит ярко освещенная узкая щель S , параллельная ребру тупого угла бипризмы. Преломляясь в бипризме, каждый цуг волн расщепляется на два, которые перекрываясь за бипризмой образуют интерференционную картину.

Если на пути интерферирующих пучков поставить экран, то на нем можно наблюдать систему темных (минимумы) и светлых (максимумы) полос, параллельных щели S . Т.к. полученная картина будет выглядеть очень мелкой, то ее рассматривают с помощью окулярного микрометра Ok , позволяющего проводить измерения ширины полос.

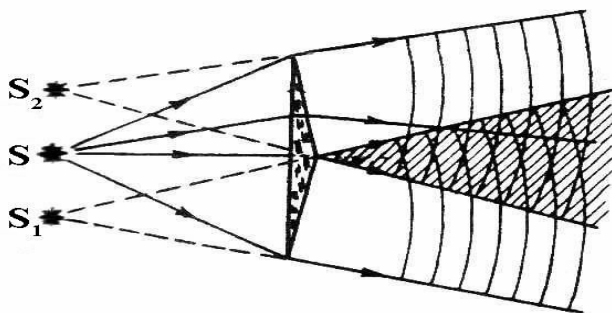


Рис. 6.

Можно показать, что если падающий пучок лучей достаточно узкий, то продолжения преломленных пучков дают два мнимых изображения S_1 и S_2 , лежащих в плоскости щели S . Схема с бипризмой сводится к схеме интерференции от двух точечных источников (рис.4) с тем только различием, что угловая ширина зоны интерференции будет ограничена углом ψ :

$$\psi = 2\theta(n-1), \quad (7)$$

где n - показатель преломления вещества бипризмы.

ВОПРОСЫ

11. Выразите угол отклонения β лучей в бипризме через ее показатель преломления n и преломляющий угол θ (получите соотношение 7).
12. Почему преломляющий угол бипризмы θ должен быть очень мал?
13. Как измениться картина, если щель и ребро бипризмы не будут параллельны?

1.6. РОЛЬ КОНЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ ИСТОЧНИКА СВЕТА. **ПРОСТРАНСТВЕННАЯ КОГЕРЕНТНОСТЬ**

Выше предполагалось, что источники S_1 и S_2 точечные. Однако реальные источники света имеют конечные размеры, значительно превосходящие длину световой волны. Согласно изложенному выше, интерферируют между собой волны, исходящие из одной и той же точки источника. Волны, исходящие от двух любых точек A и B источника (рис.7) создадут интерференционные картины, не совпадающие между собой. Чем больше расстояние между точками A и B , тем больше сдвиг полос в получающихся интерференционных картинах. Т.к. все точки источника, находящиеся между A и B , создадут свои интерференционные картины, накладывающиеся друг на друга, то наблюдаемая нами интерференционная картина будет размываться. Чем больше расстояние AB , тем сильнее будет размыта интерференционная картина, и при значительной ширине источника практически перестанет наблюдаться. Т.е., с увеличением размеров источника уменьшается резкость интерференционной картины, ее контрастность. Считается, что интерференционная картина будет еще достаточно резкой, если сдвиг интерференционных полос от крайних точек источника не превышает примерно $\frac{1}{4}$ ширины полосы. Оценка допустимых размеров источника (см.[1]§17, [3]§28, [5]§120) дает приближенное условие:

$$b \leq \lambda/4\omega, \text{ или } \omega < \lambda/b \quad (8)$$

где ω - **апертура интерференции**, т.е. угол расхождения интерферирующих лучей, идущих от источника S (рис.7). Чем меньше апертура интерференции, тем больше допустимые размеры источника. Если условие (8) выполнено, и следовательно, размеры источника не препятствуют возникновению интерференционной картины, то говорят, что имеет место **пространственная когерентность**.

ВОПРОСЫ

14. Меняется ли ширина интерференционной полосы при изменении размера источника? Почему?
15. Как объяснить исчезновение интерференционной картины при увеличении ширины входной щели установки (рис.6).
16. Какова апертура интерференции Вашей установки?
17. Как нужно изменить положение бипризмы, если Вы хотите увеличить размер входной щели? Проверьте на опыте.

1.7 ВЛИЯНИЕ НЕМОНОХРОМАТИЧНОСТИ ИСТОЧНИКА НА ИНТЕРФЕРЕНЦИОННУЮ КАРТИНУ

Нарушим теперь условие монохроматичности источника света. Пусть в состав излучения входит излучение с длинами волн от λ до $\lambda + \Delta\lambda$. Согласно формуле (6) с ростом λ растет ширина полосы B . Поэтому, при удалении от центра картины, максимумы будут «разбегаться», и полосы начнут размываться. На рис.8 изображены графики распределения интенсивности для длин волн λ и $\lambda + \Delta\lambda$.

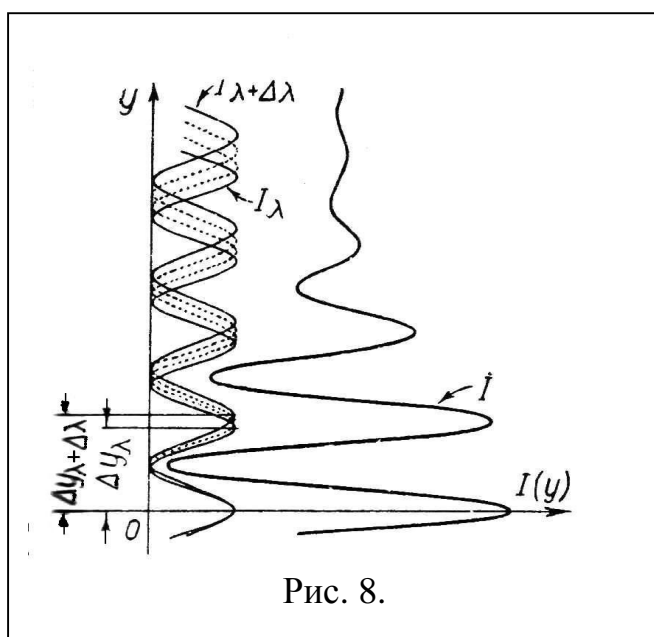


Рис. 8.

Между этими кривыми непрерывно располагаются кривые интенсивности для промежуточных длин волн (пунктирные линии). Мы видим, что с ростом порядка интерференции максимум кривой для $\lambda + \Delta\lambda$ все более «обгоняет» максимум кривой для λ и догоняет ее максимум следующего порядка – это приводит к постепенному уменьшению контрастности наблюдаемой картины. Полосы исчезнут совсем,

когда максимум m -го порядка для $\lambda + \Delta\lambda$ совпадет с максимумом $(m + 1)$ -го порядка для λ .

В этом случае весь провал между максимумами m -го порядка и $(m+1)$ -го порядков для λ будет заполнен максимумами m -го порядка промежуточных длин волн данного спектрального интервала $\Delta\lambda$.

Итак, условие исчезновения полос: $(m+1)\lambda = m \cdot (\lambda + \Delta\lambda)$, откуда

$$m = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}. \quad (9)$$

Рассмотрим возможные случаи:

- 1) Если излучение источника таково, что входящие в его состав монохроматические волны практически не различимы по цвету ($\Delta\lambda \leq 0,01\lambda$), то интерференционная картина будет одноцветной. В этом случае, начиная с порядка, определяемого формулой (9), исчезает всякая интерференционная картина – далее будет простираться равномерное световое поле.
- 2) Для белого света и визуального наблюдения ($\lambda \approx 400 \div 800 \text{ нм}$) $\Delta\lambda$ сравнимо с λ . В этом случае $m_{\max}=1$ и интерференционные полосы, казалось бы, наблюдаться не должны. Однако, благодаря способности глаза различать цвета, мы будем наблюдать цветную интерференционную картину. При $m = 0$ (центр интерференционной картины) получится белая полоса (волны всех длин имеют максимумы), а по обе стороны от нее будут видны цветные полосы, за которыми потянется равномерно освещенное световое поле.
- 3) Если свет состоит из двух отдельных монохроматических линий с длинами волн λ и $\lambda + \Delta\lambda$, то при $m_1 = \lambda / \Delta\lambda$ интерференционная картина исчезнет, а затем появится вновь и станет резкой при $m_2 = 2\lambda / \Delta\lambda$ и т.д. Чем меньше $\Delta\lambda$, тем больше периодов можно наблюдать.

ВОПРОС

18. Как можно реализовать случаи 1), 2), 3), в установке с бипризмой Френеля?

1.8 ДЛИНА И ВРЕМЯ КОГЕРЕНТНОСТИ

Из общего понятия интерференции волн мы знаем, что порядок интерференции определяется разностью хода Δ : $m = \Delta / \lambda$. Т.к. для некогерентного света при $m_{\max} = \lambda / \Delta\lambda$ интерференционная картина исчезнет, то очевидно, что максимальная разность хода Δ_{\max} , при которой еще будет видна интерференционная картина, определяется соотношением:

$$\Delta_{\max} = m_{\max} \cdot \lambda = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda} = \ell_{\text{ког}}. \quad (10)$$

Величина $\frac{\lambda^2}{\Delta\lambda} = \ell_{\text{ког}}$ называется **длиной когерентности**. Для того, чтобы наблюдать интерференцию, необходимо обеспечить условия, при которых разность хода интерферирующих лучей будет меньше $\ell_{\text{ког}}$.

В п.1.4. мы говорили, что свет испускается атомом в виде цугов длиной $\ell = c\tau$, где τ - время излучения цуга. Очевидно, что длина цуга и длина когерентности должны совпадать. В самом деле, если разность хода волны окажется больше длины цуга, то интерференция не будет наблюдаться, т.к.

обе части цуга не могут встретиться, а два разных цуга некогерентны. Поскольку обе части цуга уходят от источника одновременно, то разность фаз определяется только временем, на которое опаздывает к встрече одна из частей цуга, и будет одинаковой для всех следующих друг за другом цугов. Т.е. в области, где выполняется условие $\Delta < \ell_{\text{ког}}$ колебания когерентны и имеет место **временная когерентность**, т.к. осуществление интерференции зависит от времени запаздывания. Длительность цуга называют **временем когерентности**. Т.е. интерференция наблюдается, если разность хода будет меньше длины когерентности $\ell_{\text{ког}}$ и или, другими словами, задержка цуга по времени не будет превышать времени когерентности τ .

Теперь, когда мы выяснили, какую роль играют в интерференции размеры источника света и его монохроматичность, можно сделать вывод: интерференция в оптике наблюдается при наложении двух (или большего числа волн), идущих от одного и того же реального источника света, причем лишь в тех областях пространства, в которых имеет место пространственная и временная когерентность.

ВОПРОС

19. Как определить длину и время когерентности в Вашей установке?

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

2.1 ПОДГОТОВКА УСТАНОВКИ

Для получения интерференционной картины необходимо отъюстировать установку. Для этого:

1. Выставьте на оптическую скамью осветитель и рейтеры с раздвижной щелью и окулярным микрометром и отцентрируйте их по высоте. Отодвиньте окуляр-микрометр на другой конец скамьи.
2. Включите осветитель.

ВНИМАНИЕ!

В данной работе используется **ртутная лампа сверхвысокого давления** (см. описание лаб. раб. №3).

ПОМНИТЕ!

Нельзя включать лампу без кожуха и защитного стекла !!!

3. Установите ширину щели $\sim 0,5 \div 1$ мм и передвигая ее поперек скамьи, добейтесь, чтобы пучок шел вдоль скамьи.
4. На расстоянии 30-40 см от щели установите бипризму и отцентрируйте ее по высоте. Двигая бипризму поперек скамьи добейтесь, чтобы перекрытие световых пучков шло вдоль оси скамьи. Это удобнее сделать, если на скамью поставить белый экран (листок бумаги).

5. Уменьшая ширину щели и слегка поворачивая бипризму вокруг оси системы, получите в поле зрения окуляра микрометра максимально отчетливую интерференционную картину – систему окрашенных полос с центральной белой полосой.

6. Поставьте на лампу светофильтр (зеленый, синий, оранжевый). Полосы станут одноцветными и число их увеличится. Почему?

2.2 ИЗМЕРЕНИЕ ШИРИНЫ ПОЛОСЫ ОКУЛЯРНЫМ МИКРОМЕТРОМ

В винтовом окулярном микрометре (рис.9а) вблизи фокальной плоскости окуляра ОК находится стеклянная пластина с нанесенными на ней миллиметровыми делениями (рис.9б) и небольшая рамка с двойным штрихом и косым крестом. Рамка перемещается с помощью микрометрического винта. Один оборот барабана соответствует перемещению креста на 1 мм. Барабан разделен на 100 частей, следовательно, цена деления его 0,01 мм.

Для определения ширины интерференционной полосы крест микрометра наведите на какую-нибудь темную полосу и снимите отсчет по шкале и барабану. Например, би-штрих находится между 5 и 6-м делением шкалы, а на барабане против нулевой отметки находится 33-е деление. Отсчет $N_1 = 5,33$ мм. Затем косой штрих барабана вращая переместите на 5-10 полос, вновь наведите на середину темной полосы и снимите отсчет N_2 по шкале и барабану. Например, пусть $n = 10$ полос и $N_2 = 7,64$ мм. Тогда $B = \frac{(N_2 - N_1)}{n}$. В нашем примере $B = 0,231$ мм.

2.3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЯ h МЕЖДУ МНИМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ

Для определения h между бипризмой и микрометром поместите объектив (линзу). Определение h можно провести несколькими способами.

1 способ. Фокусное расстояние линзы должно быть известно. Придвинув

объектив непосредственно к бипризме, найдите такое положение окуляр – микрометра, при котором в его поле зрения получится резкое двойное изображение щели (без параллакса относительно визирного креста). Измерьте не менее трех раз расстояние между серединами этих изображений h_1 и запишите положение объектива.

Затем отодвиньте окуляр – микрометр на конец скамьи и, перемещая объектив, опять получите резкое двойное изображение щели. Снова измерьте расстояние между этими изображениями h_2 и запишите новое положение объектива. Нетрудно показать, что

$$h = \frac{d}{F \left(\frac{1}{h_2} - \frac{1}{h_1} \right)} \quad (11)$$

где d - расстояние между двумя положениями объектива.

2 способ. Возможен, если выполняется условие : $L < 4F$, где F - фокусное расстояние линзы, L -расстояние от щели S до плоскости наблюдения (оси барабана микрометра). Не меняя положение окулярного микрометра перемещают линзу между бипризмой и микрометром так, чтобы в положении 1 (рис.11) в поле зрения окулярного микрометра было видно увеличительное изображение щелей (две широко расположенные полосы), а в положении 2 - уменьшенное. Можно доказать, что в этом случае $h = \sqrt{h_1 h_2}$, где h_1 и h_2 - расстояние между изображениями щели в положениях 1 и 2.

3 способ. Применяется, если фокусное расстояние линзы неизвестно. Линзу поместите между бипризмой и окулярным микрометром и, передвигая её, добейтесь того, чтобы в окулярном микрометре было видно двойное изображение щели. С помощью окулярного микрометра измерьте расстояние между изображениями щели h_1 . Затем измерьте расстояние a_1 от линзы до щели S (рис.12) и расстояние a_2 от линзы до микрометра. h находят по формуле:

$$h = \frac{h_1 a_1}{a_2} \quad (12)$$

Т.к. этот способ дает большую погрешность, то необходимо сделать несколько измерений h при разных установках линзы и усреднить.

2.4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛОВОЙ ШИРИНЫ ЗОНЫ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ

Угол ψ вследствие малости может быть определен с помощью формулы:

$$\psi = h / \ell \quad (13)$$

где h - расстояние между мнимыми источниками, ℓ_0 - расстояние между щелью и бипризмой (рис.6).

2.5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ

Длина световой волны, согласно формуле (6) равна: $\lambda = \frac{Bh}{L}$, где L -

расстояние между щелью и плоскостью, в которой производится наблюдение световой картины; B - ширина интерференционной полосы в этой плоскости. Измерьте расстояние L от плоскости щели до оси барабанчика окулярного микрометра. После этого, не меняя положения окулярного микрометра, несколько раз измерьте ширину полосы B . При этом старайтесь использовать полосы, расположенные в центре картины, т.к. формула (6) справедлива только при малых углах интерференции.

Только измерив L и B можно измерить h , т.к. при этом приходится сдвигать окулярный микрометр.

ВНИМАНИЕ!

Положение бипризмы относительно щели нельзя менять в процессе всей работы.

ЗАДАНИЯ

1. Отъюстируйте установку.
2. Определите длину световой волны для указанного светофильтра и оцените погрешность результата.
3. Определите угловую ширину зоны интерференции (в угл.мин.) по формуле (13) и сравнив с формулой (7) найдите преломляющий угол бипризмы ($n=1,52$).
4. Определите максимальный порядок интерференции k_{\max} , т.е. порядок того максимума, который еще можно достаточно уверенно различить. Вычислите спектральную ширину линии $\Delta\lambda$ по формуле (9).
5. Зная ширину полосы B вычислите максимальное число полос для данной зоны интерференции: $N_{\max} = \frac{\ell\Psi}{B}$ и сравните с полным числом видимых полос. ℓ – расстояние между бипризмой и окуляр-микрометром.
6. Убедитесь, что мнимые изображения щели практически лежат в одной с ней плоскостью. Для этого получите в окулярном микрометре изображение щелей с помощью вспомогательного объектива. Затем уберите бипризму – в поле зрения окуляр - микрометра должно появиться четкое изображение самой щели.
7. Оцените по формуле (8) допустимую ширину щели S в установке и сравните с действительной (определите по барабанчику раздвижной щели). Т.к. апертура интерференции мала, то можно считать, что $\omega = \frac{D}{\ell_0}$ (рис.13).
8. Установив на место бипризму и убрав объектив, сделайте следующие операции и дайте объяснения наблюдаемых эффектов:
 - а) перекройте одну половину бипризмы стеклянной пластинкой - интерференционная картина должна исчезнуть; картина появится вновь, если пластинкой перекрыть обе половины бипризмы;
 - б) введите стеклянную пластинку в ход лучей перед окуляр-микрометром. Убедитесь, что небольшие повороты этой пластинки вокруг вертикальной оси приводят к смещению интерференционной картины;
 - в) меняя светофильтры, наблюдайте изменения в видимой картине;
 - г) перекройте одну половину бипризмы красным стеклом, а другую синим или зеленым. Объясните наблюдения.

9. Получите интерференцию света с помощью бипризмы Френеля на школьной оптической скамье (по прилагаемому описанию).

ЗАДАЧИ

1. В каком случае две электромагнитные волны одинаковой частоты складываются всегда так, что интенсивность результирующего колебания равна сумме интенсивностей исходных колебаний?
2. Найти графически амплитуду колебания, которое возникает в результате сложения следующих трех колебаний одного направления: $y_1 = a \cos \omega t$;
 $y_2 = 2a \sin \omega t$; $y = 1,5a \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{3} \right)$.
3. С какой разностью фаз должны происходить колебания в источниках волн А, В и С, чтобы в результате интерференции в точке О амплитуда колебаний была равна нулю? А, В и С расположены симметрично (рис.14).
4. Два когерентных источника, находящиеся в воздухе на расстоянии 20 мм, испускают световые волны в одинаковой фазе с частотой $5 \cdot 10^{14}$ Гц. Чему равна разность фаз колебаний, приходящих в точку, удаленную на 50 см от одного из источников в направлении нормали к прямой, соединяющей источники?
5. Два точечных когерентных излучателя 1 и 2 колеблются в направлении, перпендикулярном плоскости рис.15. Расстояние между 1 и 2 равно h , длина излучаемой волны равна λ . Имея в виду, что колебания излучателя 2 отстают по фазе на φ от колебаний излучателя 1, найти:
а) углы θ , при которых интенсивность излучения максимальна;
б) условия, при которых в направлении $\theta = \pi$ интенсивность излучения будет максимальна, а в противоположном направлении – минимальна.
6. Рассчитайте устройство с двумя щелями, которое давало бы на удаленном экране интерференционные полосы на расстоянии 1° друг от друга. $\lambda = 589$ нм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ландсберг Г.С. Оптика. М., 1976. Стр.62-94.
2. Бутиков Е.И. Оптика. М., 1986, стр. 201-211, 218-246.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Оптика. М., 1980. Стр. 188-221.
4. Физический практикум. Электричество и оптика / Под ред. В.И. Ивероновой, М., 1968. Стр. 443-451
5. Савельев И.В. Курс общей физики, т.2., М., 1988. Стр.347-362.

