

Министерство образования и науки Российской Федерации

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра физики

УТВЕРЖДАЮ
Зав. каф. физики,
д.т.н., профессор
_____ Е.М. Окс

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИН ВОЛН ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫМ МЕТОДОМ
С ПОМОЩЬЮ БИПРИЗМЫ ФРЕНЕЛЯ

РУКОВОДСТВО
к лабораторной работе по курсу физики для студентов
всех специальностей

Разработчик:
ведущий инженер каф. физики
_____ Н.П. Кондратьева

“ 03 ” апреля 2008 г.

ВВЕДЕНИЕ

Интерференция волн - явление усиления или ослабления амплитуды результирующей волны в зависимости от соотношения между фазами складывающихся в пространстве двух или нескольких волн с одинаковыми периодами. Интерференция имеет место для волн любой природы - акустических, радио, световых и т.д. Условием наблюдаемости интерференционной картины является когерентность интерферирующих волн. Две волны одной частоты называются когерентными, если разность фаз колебаний, возбуждаемых волнами в данной точке пространства, постоянна во времени.

Наилучшие условия для наблюдения устойчивой картины интерференции получаются при использовании в качестве источников света лазеров, излучение которых обладает очень высокой степенью пространственной и временной когерентности. Для получения когерентных волн естественного света, обычно, излучение от небольшого участка источника путем отражения или преломления (с помощью бизеркала, бипризмы, билинзы, тонких пластинок) разделяют на две волны, которые, вследствие общности происхождения, будут когерентны и интерферируют при наложении.

Целью настоящей работы является изучение интерференции цилиндрических световых волн, исходящих от двух мнимых источников, получаемых с помощью бипризмы Френеля и определение длин волн красного, желтого или зеленого света, излучаемого лампой накаливания.

1 КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Интерференционные явления, наряду с дифракционными, послужили одним из решающих факторов в становлении волновой теории света. Без понятия сути интерференционных явлений было бы невозможно создание сложнейших оптических интерференционных приборов. Под интерференцией света обычно понимается широкий круг явлений, в которых при наложении пучков света происходит перераспределение интенсивности в пространстве. Мы на практике постоянно встречаемся с интерференционными явлениями. Даже самые обыденные явления, такие как получение изображения в линзе, отражение и преломление света на границе раздела двух сред есть ни что иное как интерференционные эффекты. Интерференционные методы широко используются в науке и технике и являются классическими и наиболее точными методами определения длины волны света.

При сложении двух волн одной и той же частоты, с одинаковыми направлениями колебаний амплитуда A и, следовательно, интенсивность J результирующего колебания определяются из выражения:

$$J = A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_0 + \varphi), \quad (1.1)$$

где A_1 , A_2 и $\varphi_0 + \varphi$ - амплитуды и разность фаз складывающихся колебаний; φ_0 - начальный сдвиг фаз колебаний; $\varphi = 2\pi\Delta/\lambda$ - сдвиг фаз, обусловленный оптической разностью хода $\Delta = n_1l_1 - n_2l_2$.

Из выражения (2.1) видно, что только при неизменности во времени разности фаз складывающихся колебаний в каждой точке пространства будет наблюдаться устойчивая интерференционная картина, чередование максимумов $J_{\max} = (A_1 + A_2)^2$ и минимумов $J_{\min} = (A_1 - A_2)^2$. При равенстве амплитуд $A_1 = A_2 = \sqrt{J_0}$ интенсивность меняется от $4J_0$ до 0 и равна $J = 2J_0[1 + \cos(\varphi_0 + \varphi)] = 4J_0 \cos^2[1/2(\varphi_0 + \varphi)]$.

При беспорядочном изменении разности фаз (некогерентные источники) в выражении (2.1) среднее значение косинуса равно нулю в каждой точке пространства, и интенсивность результирующего колебания всюду одинакова $J = A_1^2 + A_2^2$, и наблюдается равномерная освещенность.

Таким образом, результат интерференции полностью определяется разностью фаз интерферирующих волн в месте наблюдения, которая зависит от начальной разности фаз волн, а также от разности расстояний, отделяющих точку наблюдения от источников каждой из волн.

В соответствии с выражением (2.1) при $\varphi_0 = 0$ максимум интенсивности будет наблюдаться при $\varphi = 2\pi\Delta/\lambda = \pm 2m\pi$, где $m = 0, 1, 2, 3 \dots$ - порядок максимума (колебания в одной фазе), то есть когда оптическая разность хода лучей равна четному числу полуволн:

$$\Delta = \pm 2m(\lambda/2), \quad (\text{условие максимума}) \quad (1.2)$$

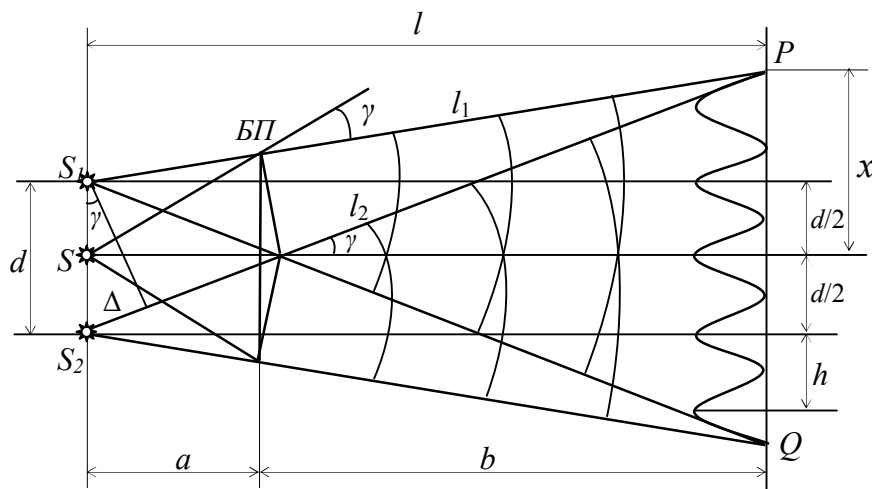
Минимальная интенсивность будет наблюдаться при $\varphi = \pm(2m+1)\pi$ (колебания в противофазе), то есть когда оптическая разность хода лучей равна нечетному числу полуволн:

$$\Delta = \pm(2m+1)(\lambda/2), \quad (\text{условие минимума}) \quad (1.3)$$

Волны, излучаемые независимыми источниками света некогерентны и, следовательно, не дают интерференционной картины, так как свет создается в результате излучения множества отдельных атомов.

После излучения за время порядка радиационного, атом, вновь возбуждись, может опять излучить, но без всякой корреляции с амплитудой, фазой и поляризацией предшествующей волны, испущенной данным или другим атомом. Разность фаз волн, излучаемых атомами, будет быстро и беспорядочно меняться и зафиксируется лишь равномерная освещенность.

Когерентно будет лишь излучение, испускаемое за время, не превышающее времени когерентности τ , которой соответствует длина когерентности $l_{\text{ког}} = \tau \cdot c$. Чтобы наблюдалась интерференция, необходимо, чтобы максимальная разность хода лучей, прошедших различные пути, была много меньше длины когерентности для применяемого источника света. Для получения когерентных волн, излучение, испускаемое тесно расположенной группой атомов (точечным источником) с помощью оптического устройства разделяют на два потока, которые вследствие общности происхождения будут когерентны и пройдя различные пути интерферируют при наложении.



S – источник света - выходная щель монохроматора;
 S_1 и S_2 – мнимые источники;
 БП – бипризма Френеля.

Рисунок 1.1- Схема интерференции световых волн

Найдем связь между длиной волны света и характеристиками интерференционной картины от бипризмы Френеля. Бипризма состоит из двух призм с малыми преломляющими углами и общим основанием. Параллельно ребру бипризмы на расстоянии a от нее располагается источник света S (рис. 1.1), в качестве которого служит выходная щель монохроматора УМ-2. После преломления в бипризме свет образует две системы когерентных цилиндрических волн, исходящих из мнимых источников S_1 и S_2 , лежащих в одной плоскости с S .

Интенсивность в любой точке P экрана, расположенной на расстоянии x от центра интерференционной картины, определяется оптической разностью хода $\Delta = l_2 - l_1$, так как для воздуха показатели преломления $n_1 = n_2 = 1$. Из рисунка 2.1 имеем: $l_2^2 = l^2 + (x + d/2)^2$, $l_1^2 = l^2 + (x - d/2)^2$.

Отсюда $l_2^2 - l_1^2 = 2xd$, или $\Delta = l_2 - l_1 = 2xd/(l_1 + l_2)$.

Из условия $l \gg d$ следует, что $l_1 + l_2 \approx 2l$, поэтому $\Delta = xd/l$.

Подставив это значение Δ в условие (2.2) получим, что максимумы интенсивности будут наблюдаться при $x_{\max} = \pm m\lambda l/d$.

Тогда ширина интерференционной полосы h (расстояние между двумя соседними максимумами или минимумами интенсивности) будет равна:

$$h = \frac{l \cdot \lambda}{d} \quad (1.4)$$

Таким образом, h не зависит от порядка интерференции и является постоянной для данных l , d , λ . При большом расстоянии между источниками, например при $d \approx l$, для видимого света отдельные полосы становятся неразличимыми ($h \approx \lambda \approx 10^{-7}$ м). Поэтому четкая интерференционная картина имеет место только при $l \gg d$.

Как видно из рис. 2.1, расстояние между мнимыми источниками

$$d = 2 a \cdot \operatorname{tg} \gamma \approx 2 a \cdot \gamma,$$

где a – расстояние от источника до бипризмы;

γ – угол отклонения луча бипризмой в радианах.

Тогда ширина интерференционной полосы будет равна

$$h = \frac{l \cdot \lambda}{2 a \gamma} . \quad (1.5)$$

Протяженность области перекрытия волн PQ равна:

$$2 b \cdot \operatorname{tg} \gamma \approx 2 b \cdot \gamma .$$

Тогда число N наблюдаемых интерференционных полос

$$N = \frac{2b \cdot \gamma}{h} . \quad (1.6)$$

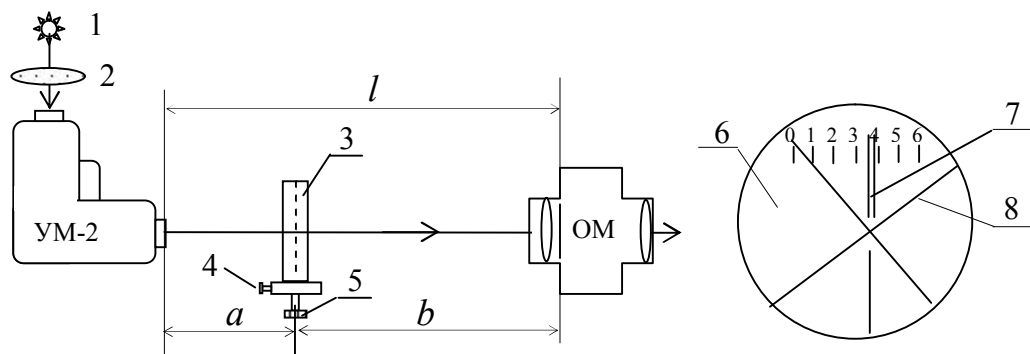
Выразив значение γ из формулы (2.6) и подставив в (2.5), получим:

$$h^2 = l \lambda \frac{b}{aN} . \quad (1.7)$$

Тогда, строя график зависимости h^2 от величины b/aN , по значению углового коэффициента полученной прямой и величины l можно определить длину волны λ .

2 ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Схема экспериментальной установки приведена на рис.2.1. Свет от лампы накаливания 1, рассчитанной на 36 В, линзой 2 проецируется на полностью раскрытую входную щель монохроматора УМ-2. Выделенная монохроматором световая волна, пройдя узкую выходную щель, падает на бипризму 3, установленную на специальном приспособлении, позволяющем перемещать бипризму (БП) по вертикали, горизонтали (винтами 4) и наклонять на некоторый угол. Наклон бипризмы осуществляется винтами 5. Последовательным закручиванием винтов 5 ребро бипризмы устанавливается параллельно выходной щели. При этом на экране окулярного микрометра ОМ получается четкое изображение интерференционной картины в виде чередующихся параллельных полос.



1 – лампа накаливания на 36 В; 2 – линза; УМ-2 – монохроматор; 3 – бипризма с регулируемыми винтами 4 и 5; ОМ – окулярный микрометр; 6 – поле зрения окулярного микрометра.

Рисунок 2.1- Схема экспериментальной установки

В поле зрения 6 окулярного микрометра видны внутренняя шкала с миллиметровыми делениями и биштрих 7 с перекрестием 8, которые перемещаются с помощью барабана микровинта. Поворачивая микрометрический винт ОМ, можно измерить расстояние между двумя максимумами (или лучше минимумами) интерференционной картины, последовательно устанавливая перекрестие и биштрих сначала на один максимум (минимум) потом на другой, и снимая отсчет по внутренней шкале ОМ (с ценой деления 1 мм) и делениям барабана микрометрического винта. Цена деления барабана 0.01 мм.

3 ЗАДАНИЕ

3.1 Получить четкую интерференционную картину в поле зрения окуляра, последовательно в области красных, желтых или зеленых лучей по указанию преподавателя.

3.2 Для каждого луча измерить ширину интерференционной полосы (для повышения точности измерений необходимо измерять ширину 5 интерференционных полос и разделять на число этих полос) и общее число полос N для не менее шести значений a при $l = \text{const}$. Учсть, что число полос N всегда нечетное и меняется немонотонно. Результаты измерений занести в таблицу 4.1.

3.3 Построить графики зависимостей h^2 от величины b/aN для световых лучей выделенных цветов и определить длины волн из графиков. Один из графиков построить методом наименьших квадратов.

3.4 Вычислить ошибку определения λ

3.5 Пользуясь формулой (1.4) вычислить расстояние d между двумя мнимыми источниками. Сравнить d с l .

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Включить лампу накаливания на 36 В и спроецировать изображение нити накала с помощью линзы на входную щель монохроматора. После этого полностью открыть входную щель.

4.2 Вращая барабан монохроматора вывести световой луч требуемого цвета через выходную щель. Ширина выходной щели должна быть порядка 0.1 мм.

4.3 Установить бипризму и ОМ соосно с монохроматором, на расстояниях 20 и 50 см от выходной щели соответственно. При правильной установке (ребро бипризмы должно быть параллельно щели) в поле зрения ОМ должна наблюдаться интерференционная картина.

4.4 Если интерференционная картина нечеткая, то необходимо винтами 5 скорректировать положение ребра бипризмы относительно щели, если и после этого нет четкой картины, необходимо уменьшить ширину выходной щели монохроматора.

4.5 Если интерференционная картина в поле зрения окуляра смещена вправо или влево необходимо бипризму сместить в противоположную сторону горизонтальным винтом 4 на держателе бипризмы. Затем опять установить ребро бипризмы параллельно щели, если четкость интерференционной картины нарушилась. Для более быстрой установки БП ее рекомендуется придвинуть вплотную к окулярному микрометру.

4.6 Выполнить пункты 3.1-3.5 задания.

Таблица 4.1 – Экспериментальные и расчетные данные

a , см	$b = l - a$, см	N	$5 \cdot h$, мм	h , мм	h^2 , мм ²	b/aN	Примечания
20							$l = 50$ см
24							
28							
32							
36							
40							

5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

5.1 В чем заключается явление интерференции?

5.2 Какие волны называются когерентными?

5.3 Каковы условия интерференционных максимумов и минимумов?

5.4 Какие волны называются плоскими, сферическими, цилиндрическими?

5.5 Почему интерференционная картина для световых волн наблюдается лишь при небольших расстояниях между когерентными источниками и достаточно малой разности хода?

5.6 Как изменяется ширина интерференционных полос при увеличении (уменьшении) длины волны интерферирующего света?

6 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

6.1 Детлаф А.А., Б.М. Яворский. Курс физики: учебное пособие.- М.: Академия, 2007. – 720 с.

6.2 Козырев А.В. Курс лекций по физике: учебник. – Томск: ТУСУР, 2007. – 422 с.

Министерство образования и науки Российской Федерации

Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники (ТУСУР)

Кафедра физики

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИН ВОЛН ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫМ МЕТОДОМ
С ПОМОЩЬЮ БИПРИЗМЫ ФРЕНЕЛЯ**

Руководство к лабораторной работе по физике
для студентов всех специальностей

2008