

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»**

**ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА
С ПОМОЩЬЮ БИПРИЗМЫ ФРЕНЕЛЯ**

**Методические указания к лабораторной работе № 61
по дисциплине «Физика»**

Уфа 2015

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

Кафедра физики

**ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА
С ПОМОЩЬЮ БИПРИЗМЫ ФРЕНЕЛЯ**

Методические указания к лабораторной работе № 61
по дисциплине «Физика»

Уфа 2015

Составитель Абрамова М. М.

УДК 534-14(07)

ББК 22.365(Я7)

Изучение интерференции света с помощью бипризмы Френеля: Методические указания к лабораторной работе № 61 по дисциплине «Физика» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. М. М. Абрамова – Уфа, 2015. – 16 с.

Цель методических указаний – закрепление и совершенствование знаний студентов по дисциплине «Физика» и формирование умений их применять для решения научно-технических задач в теоретических и прикладных аспектах, возникающих в последующей профессиональной деятельности выпускников технического университета.

Знакомят студентов с явлением интерференции света, методами получения когерентных источников света и интерференционной картины. Описана экспериментальная установка и методика определения малого преломляющего угла бипризмы Френеля.

Предназначены для студентов, изучающих дисциплину «Физика» по разделу «Волновая оптика» на всех направлениях подготовки бакалавров и специалистов.

Ил. 5. Табл. 1. Библиогр.: 2 назв.

Рецензенты: канд. физ.-мат. наук, доц. Хатмуллина М. Т.,
канд. техн. наук, доц. Караваева М. В.

© Уфимский государственный
авиационный технический университет, 2015

Содержание

Введение	4
1. Цель работы.....	5
2. Задачи.....	5
3. Теоретическая часть	5
3.1. Интерференция света.....	5
3.2. Взаимосвязь ширины полосы и преломляющего угла бипризмы Френеля.....	9
4. Экспериментальная часть.....	11
5. Требования по технике безопасности	12
6. Задания.....	12
7. Методика выполнения заданий	13
7.1. Измерение расстояния между мнимыми источниками.....	13
7.2. Определение преломляющего угла бипризмы Френеля.....	14
Контрольные вопросы	14
Требования к содержанию и оформлению отчета	15
Критерии результативности выполнения лабораторной работы	15
Список литературы	16

Введение

Свет имеет сложную природу. Он представляет собой единство двух противоположенных видов движения – корпускулярного (квантового) и волнового (электромагнитного). Явление интерференции хорошо объясняется на основе волновых представлений о свете. В настоящей работе изучается данное явление и определяется преломляющий угол бипризмы Френеля. Выполнение работы способствует закреплению знаний о волновой природе света, явлении интерференции, понятии о когерентных источниках света, а также условиях наблюдения интерференционной картины.

В результате выполнения данной лабораторной работы формируются следующие компетенции:

- владение знаниями о волновой природе света и явлении интерференции;
- способность использовать необходимое оборудование и измерительные приборы;
- способность сопоставлять экспериментальные данные с теоретическими положениями;
- способность оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы;
- способность применять полученные теоретические знания в экспериментальной работе.

Перечисленные компетенции формируются через умения:

- работать с измерительными приборами;
 - рассчитывать физические величины по экспериментальным данным;
 - анализировать полученные результаты;
 - оформлять отчет;
 - использовать знания, полученные в опыте, для подтверждения теоретических знаний;
- а также владения:
- теоретическим материалом;
 - навыками измерений физических величин по приборам;
 - технологией графической обработки экспериментальных данных.

Лабораторная работа № 61

ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучение явления интерференции света и условий наблюдения интерференции.
2. Определение преломляющего угла бипризмы Френеля по данным интерференционной картины.

2. ЗАДАЧИ

1. Закрепление знаний студентами о волновой природе света, явлении интерференции и условий её наблюдения.
2. Овладение методом измерения преломляющего угла бипризмы Френеля по результатам измерения ширины интерференционных полос.
3. Приобретение навыков проведения измерений и умения обработки получаемых при этом данных.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

3.1. Интерференция света

Волновые свойства света наиболее отчетливо проявляются в явлении интерференции. Под интерференцией света понимают явление, когда при наложении пучков света результирующая интенсивность не равна сумме интенсивностей отдельных пучков, то есть возникают чередующиеся светлые и темные полосы вследствие перераспределения энергии волны в пространстве. Наблюдать интерференцию световых волн можно лишь при определенных условиях.

Электромагнитные волны являются поперечными: векторы \vec{E} – напряженности электрического поля и \vec{H} – напряженности магнитного поля волны взаимно перпендикулярны и лежат в плоскости, перпендикулярной к вектору скорости \vec{v} распространения волны (рис. 3.1). Векторы \vec{E} и \vec{H} образуют правовинтовую систему: из конца вектора \vec{v} вращение от \vec{E} к \vec{H} по кратчайшему расстоянию происходит против часовой стрелки.

Пусть в некоторую точку пространства приходят волны,

напряженности электрического поля которых равны \vec{E}_1 и \vec{E}_2 , а частоты одинаковы и равны ω . По принципу суперпозиции напряженность результирующего поля равна их векторной сумме

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2, \quad (3.1)$$

где $E_1 = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$ и $E_2 = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$, A – амплитуда световой волны; ω – циклическая частота колебаний; φ – начальная фаза колебаний.

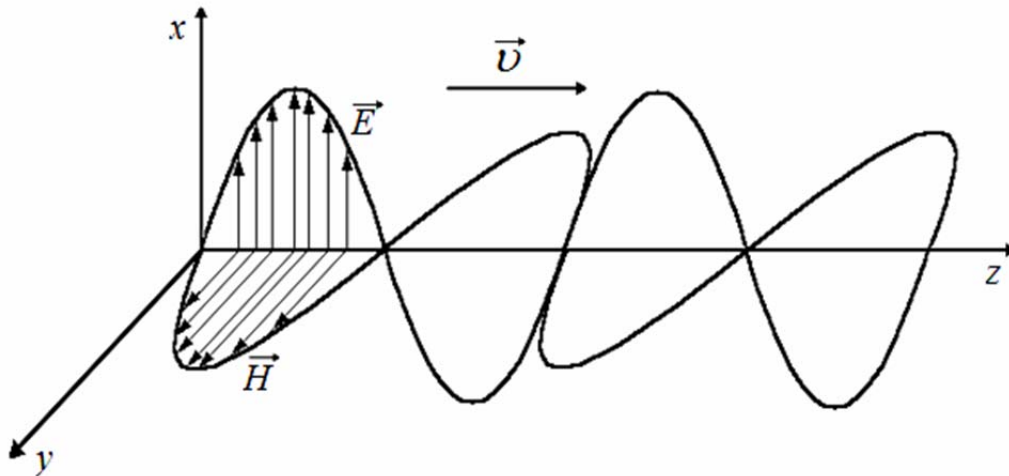


Рис. 3.1. Графическое представление электромагнитной волны

При сложении двух гармонических колебаний одинаковой частоты получается колебание той же частоты, амплитуда которого зависит от соотношения фаз складываемых колебаний и поэтому в разных точках наблюдения имеет разные значения.

Экспериментально наблюдаемая интенсивность (яркость) света пропорциональна среднему значению квадрата напряженности электрического поля $\langle \vec{E}^2 \rangle$ за время, определяемое инерционностью приемника излучения,

$$\langle \vec{E}^2 \rangle = \langle (\vec{E}_1 + \vec{E}_2)^2 \rangle = \langle \vec{E}_1^2 \rangle + \langle \vec{E}_2^2 \rangle + 2\langle \vec{E}_1 * \vec{E}_2 \rangle. \quad (3.2)$$

Слагаемое $2\langle \vec{E}_1 * \vec{E}_2 \rangle$, называемое инерционным членом, равно нулю, если складываемые волны линейно поляризованы во взаимно перпендикулярных направлениях. Если оба вектора \vec{E}_1 и \vec{E}_2 в точке наблюдения совершают колебания вдоль одной прямой, то $2\langle \vec{E}_1 * \vec{E}_2 \rangle \neq 0$, что является необходимым условием возникновения интерференции. В таком случае результирующую напряженность электрического поля находят как векторную сумму \vec{E}_1 и \vec{E}_2 (рис. 3.2).

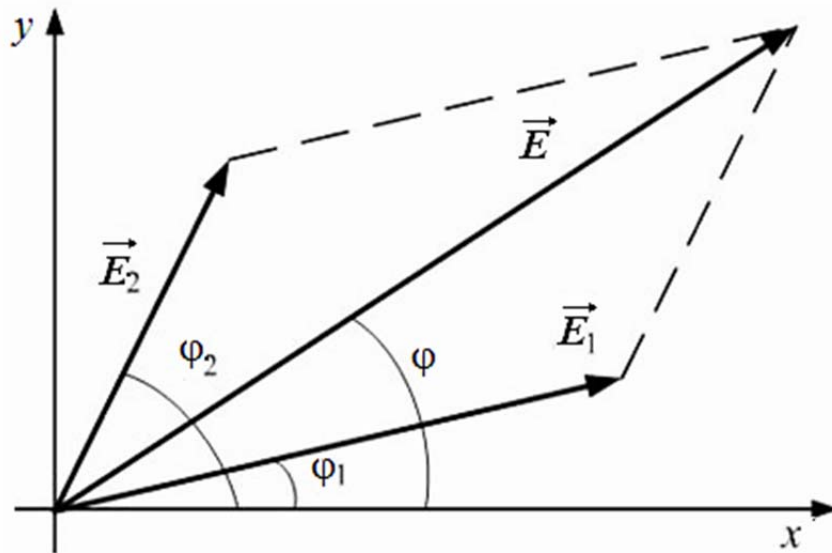


Рис. 3.2. Сложение двух гармонических колебаний одинаковой частоты

Вводя интенсивность света (J) как величину, пропорциональную квадрату амплитуды напряженности $J \sim A^2$, можно интенсивность результирующего колебания записать в виде

$$J = J_1 + J_2 + 2\sqrt{J_1 J_2} \cos(\varphi_1 - \varphi_2). \quad (3.3)$$

Чтобы получить устойчивую во времени интерференционную картину, в которой отчетливо видны максимумы и минимумы интенсивности, необходимы когерентные источники колебаний.

Когерентные источники – это такие источники, у которых частоты излучения одинаковы, разность фаз колебаний в течение времени наблюдения сохраняется неизменной, и колебания векторов \vec{E} (а значит и \vec{H}) происходят в параллельных плоскостях, то есть одинаково поляризованы.

Получить две когерентные волны можно, используя излучение одного и того же атома. Для этого излучение, испускаемое атомом, разделяют на два потока и заставляют их встретиться после того, как ими пройдены различные оптические пути $L_1 = l_1 n_1$ и $L_2 = l_2 n_2$ (где l_1 и l_2 – геометрическая длина пути, n_1 и n_2 – показатели преломления сред). При этом для получения интерференционной картины оптическая разность хода: $\Delta = (L_2 - L_1)$ должна быть настолько малой (порядка 10 ... 100 мкм), чтобы обе группы встречающихся волн принадлежали одному акту испускания атома. Практически это осуществляется одним из двух различных способов:

а) посредством отражения и преломления волн, испускаемых

точечным источником (тесно расположенной группой атомов) – бизеркалами Френеля, бипризмой Френеля, билинзой Бийе и др.;

б) второй способ заключается в образовании налагающихся когерентных волн благодаря явлению дифракции различных участков одной и той же волны – опыт Юнга.

Найдем условия, при которых когерентные волны усиливают или ослабляют друг друга, на примере опыта Юнга.

Пусть S_1 и S_2 – точечные когерентные источники света, находящиеся на расстоянии L от экрана. Колебание в точке A , дошедшее от источника S_1 (рис. 3.3), по уравнению волны будет происходить по закону

$$E_1 = a_1 \sin(\varphi_t - \varphi_1) = a_1 \sin \omega(t - \tau_1).$$

Колебание в той же точке, вызванное волной от источника S_2 , происходит по закону $E_2 = a_2 \sin(\varphi_t - \varphi_2) = a_2 \sin \omega(t - \tau_2)$.

Разность фаз этих колебаний $\delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = \omega\tau_2 - \omega\tau_1$, где τ_1 – время, за которое 1-я волна прошла геометрический путь l_1 со скоростью v_1 ; τ_2 – время, за которое 2-я волна прошла геометрический путь l_2 со скоростью v_2 .

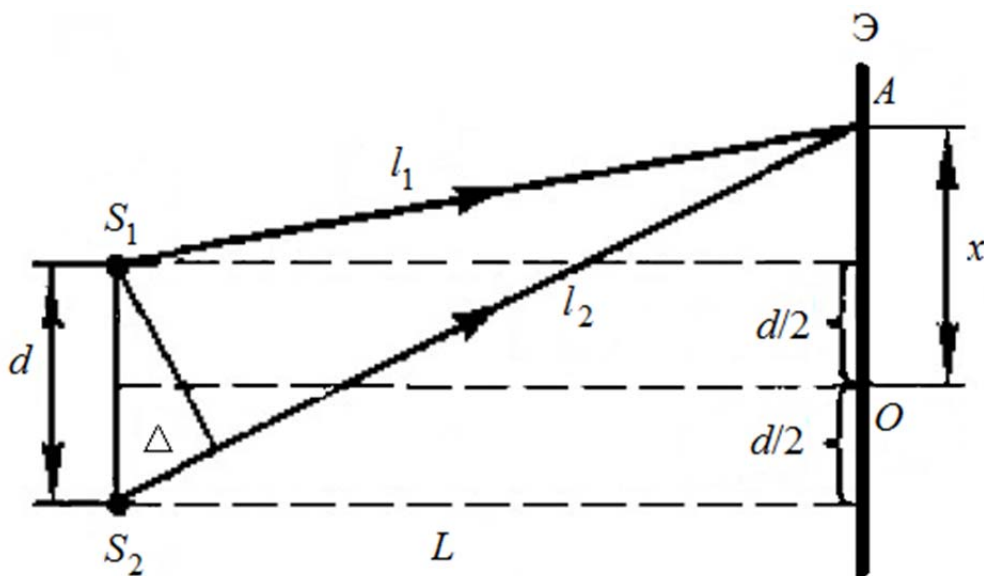


Рис. 3.3. Ход лучей от двух когерентных источников

Учитывая, что:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}, \quad \tau = \frac{l}{v}, \quad v = \frac{c}{n}, \quad c = \frac{\lambda_0}{T},$$

где T – период колебаний; c – скорость света в вакууме; v – скорость света в среде; n – показатель преломления среды; λ_0 – длина волны

света в вакууме, получим

$$\begin{aligned}\varphi_2 - \varphi_1 &= \frac{2\pi}{T}(\tau_2 - \tau_1) = \frac{2\pi}{T}\left(\frac{l_2}{v_2} - \frac{l_1}{v_1}\right) = \\ &= \frac{2\pi}{T}\left(\frac{l_2 n_2}{c} - \frac{l_1 n_1}{c}\right) = \frac{2\pi}{\lambda_0}(l_2 n_2 - l_1 n_1).\end{aligned}\quad (3.4)$$

Произведение геометрического пути l на показатель преломления среды n , в которой распространяется луч, называется *оптической длиной* пути луча. Величина $\Delta = (l_2 n_2 - l_1 n_1)$ называется *оптической разностью хода* волн. Из формул (3.3) и (3.4) следует, что интенсивность в точке A максимальна, если:

$$\begin{aligned}\cos(\varphi_2 - \varphi_1) &= \cos\frac{2\pi}{\lambda_0}\Delta = 1, \text{ то есть } \frac{2\pi}{\lambda_0}\Delta = \pm 2\pi k \text{ или} \\ \Delta_{\max} &= \pm k\lambda_0,\end{aligned}\quad (3.5)$$

где $k = 0, 1, 2 \dots$, т.е. при оптической разности хода лучей, равной целому числу длин волн. Число k , указывающее номер интерференционной полосы, называется порядком интерференции. Интенсивность в точке A минимальна, если:

$$\begin{aligned}\cos(\varphi_2 - \varphi_1) &= \cos\frac{2\pi}{\lambda_0}\Delta = -1, \frac{2\pi}{\lambda_0}\Delta = \pm(2k - 1)\pi \text{ или} \\ \Delta_{\min} &= \pm(2k - 1)\frac{\lambda_0}{2},\end{aligned}\quad (3.6)$$

т.е. при оптической разности хода лучей, равной нечетному числу половолн.

3.2. Взаимосвязь ширины полосы и преломляющего угла бипризмы Френеля

Бипризма изготавливается как единая целая призма с углом при вершине β , близким к 180° . После преломления в бипризме свет от щели S делится на два перекрывающихся пучка, как бы исходящих от двух мнимых изображений щели S_1 и S_2 , являющихся когерентными источниками. Найдем положение полос и расстояние между ними в интерференционной картине, полученной от двух когерентных мнимых источников (рис. 3.3). На экране \mathcal{E} наблюдается интерференционная картина в виде параллельных светлых и темных полос. Пусть d – расстояние между источниками, L – расстояние от источников до экрана, x – расстояние от центра картины до некоторой интерференционной полосы, находящейся в точке A .

Из рис. 3.2. видно, что:

$$l_1^2 = L^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2,$$

$$l_2^2 = L^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2.$$

Вычитая одно уравнение из другого, получим

$$l_2^2 - l_1^2 = (l_2 - l_1)(l_2 + l_1) = 2xd.$$

При обычных условиях наблюдения $d \ll L$ и $x \ll L$ приближенно можно считать $l_1 + l_2 \approx 2L$, $\Delta = |l_2 - l_1|$ – это разность хода волн.

$$x = \frac{\Delta \cdot L}{d}, \quad (3.7)$$

используя условия образования максимумов и минимумов интенсивности света (3.5) и (3.6) при интерференции и выражение (3.7), можно найти координаты светлых (max) и темных (min) полос:

$$x_{\max} = \pm \frac{k\lambda L}{d}, \quad x_{\min} = \pm \frac{(2k-1)\lambda L}{d}. \quad (3.8)$$

Из формул (3.8) можно определить взаимосвязь между толщиной полосы и расстоянием между мнимыми источниками $\Delta x = \frac{\lambda \cdot L}{d}$.

Таким образом, за бипризмой в области пересечения пучков наблюдается интерференционная картина в виде чередующихся светлых и темных полос, параллельных щели S . В свою очередь, каждая половина бипризмы отклоняет лучи на небольшой угол $\varphi = (n-1)\beta$.

Расстояние между мнимыми источниками равно

$$d \approx 2b \sin \varphi \approx 2b \varphi = 2b(n-1)\beta, \quad (3.9)$$

где b – расстояние от источника света до бипризмы; n – показатель преломления призмы; для малых углов $\sin \varphi \approx \varphi$.

Из выражения (3.9) находим преломляющий угол β бипризмы

$$\beta = \frac{d_{\text{ср}}}{2b(n-1)}. \quad (3.10)$$

Интерференционная картина возникает в любой части пространства, где перекрываются когерентные волны. При увеличении ширины щели увеличивается освещенность экрана, но уменьшается четкость интерференционных полос, и они совсем

исчезают при определенной ширине щели. Очевидно, что в этом случае источник света уже нельзя считать точечным. Для улучшения четкости интерференционной картины вводят светофильтр, монохроматизирующий свет.

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Экспериментальная установка представляет собой лампу накаливания, щель, бипризму Френеля, окулярный микрометр и светофильтры (рис. 4.1).

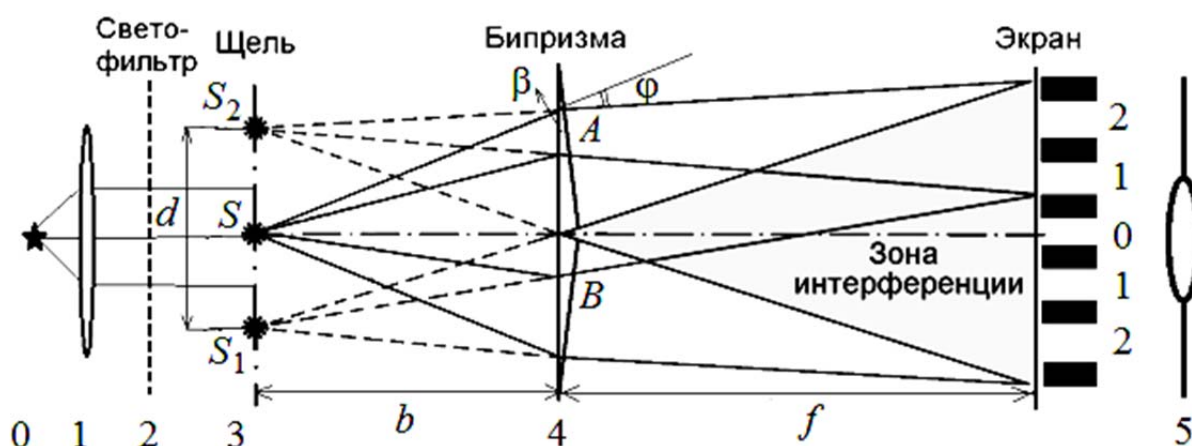


Рис. 4.1. Схема экспериментальной установки

Свет от лампы (0) накаливания с помощью линзы 1 фокусируется на узкую щель 3, которая устанавливается строго параллельно преломляющему ребру бипризмы 4. Щель 3 служит источником света. На пути светового пучка устанавливается стеклянный светофильтр 2. Для разделения световой волны на два когерентных пучка за щелью располагают бипризму Френеля 4. Интерференционная картина, образуемая после прохождения света через бипризму, наблюдается с помощью окулярного микроскопа 5 (рис. 4.1 и 4.2).

Окулярный микроскоп состоит из микрометрического винта и окуляра (рис. 4.2), в поле зрения которого имеются неподвижное стекло с делениями (в миллиметрах) и указатель в виде штрихов и перекрестия.

Штрихи и перекрестия одновременно перемещаются с помощью микрометрического винта. Горизонтальная линия на барабане винта служит индексом, по которому производится отсчет по круговой шкале, цена деления шкалы 0,01 мм.

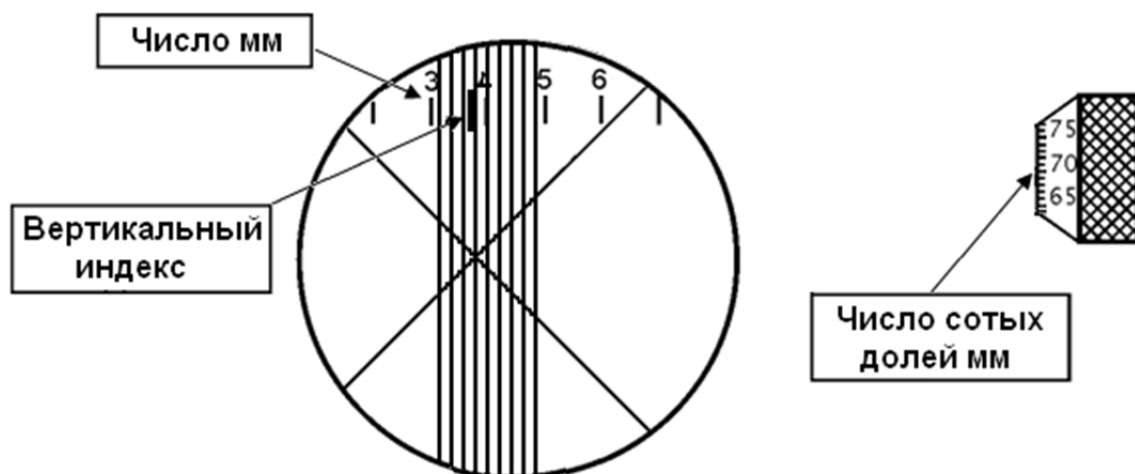


Рис. 4.2. Схема определения показаний с помощью окулярного микроскопа

Положение интерференционных полос определяется по показаниям неподвижной шкалы в поле зрения окуляра (в миллиметрах) и показаниям круговой шкалы микрометрического винта (десятые и сотые доли миллиметра). Пример: перекрестие наведено на одну из интерференционных полос (рис. 4.2). Штрихи при этом оказались между делениями 3 и 4 (мм). Следовательно, целое число миллиметров равно 3. При этом показания микрометра совпадали с делением 71 по круговой шкале, то есть доли миллиметра составляют 0,71. Таким образом, полный отсчет равен 3,71 мм.

5. ТРЕБОВАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Лабораторная установка должна быть обязательно заземлена, токоведущие провода изолированы.
2. Запрещается загромождать рабочее место посторонними предметами.
3. По окончании работы необходимо выключить установку. Привести в порядок рабочее место.

6. ЗАДАНИЯ

1. Измерить расстояния между темными или светлыми полосами на интерференционной картине.
2. Вычислить расстояние между мнимыми источниками.
3. Вычислить преломляющий угол бипризмы Френеля.

7. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЙ

7.1. Измерение расстояния между мнимыми источниками

Сначала для выполнения работы необходимо получить интерференционную картину на экране. Для этого:

1. Включить осветительную лампу. Перемещая линзу 1, добиться максимально яркого и равномерного освещения щели (по крайней мере, ее средней части). Придвинув бипризму и окулярный микрометр непосредственно к щели, отцентрировать их по высоте, так чтобы они находились на одном уровне.

2. Отодвинуть окулярный микрометр на конец скамьи, а бипризму – на расстояние 10-15 см от щели. Уменьшая ширину щели и поворачивая оправу бипризмы (щель должна быть параллельна ребру бипризмы), получить в поле зрения окулярного микрометра отчетливую интерференционную картину. При необходимости повернуть бипризму так, чтобы интерференционная картина была параллельна вертикальным штрихам (рис. 4.2).

3. Ввести один из светофильтров (красный или зеленый) и дополнительной юстировкой положения бипризмы добиться того, чтобы полос стало как можно больше.

Для определения расстояния между мнимыми источниками света необходимо:

1. Измерить расстояние между соседними темными полосами Δx . Для большей точности следует определить расстояние между несколькими полосами, а затем разделить полученный результат на число интервалов m между полосами (формула 7.1)

$$\Delta x = (x_0 - x_m) / m. \quad (7.1)$$

Измерения провести 3 раза для разных пар интерференционных полос. Найти среднее значение $\Delta x_{\text{ср}}$. Данные записать в таблицу.

2. Измерить по шкале, нанесенной на оптическую скамью, расстояние b от щели до бипризмы и расстояние f от бипризмы до линзы окуляра.

3. Не меняя положения щели и бипризмы, заменить светофильтр и повторить измерения 1-2.

4. Рассчитать расстояние между мнимыми источниками d по формуле $d_{\text{ср}} = \frac{\lambda \cdot L}{\Delta x_{\text{ср}}}$, где $L = b + f$, L – расстояние между щелью

и плоскостью наблюдения для обоих светофильтров.

5. Найти значение $d_{\text{ср}}$.

6. Занести полученные данные занести в таблицу.

Таблица

Светофильтр	№ п/п	x_0 , мм	x_m , мм	m	Δx , мм	f , мм	b , мм	L , мм	d , мм	β , мин
Красный $\lambda = 670$ нм	1.									
	2.									
	3.									
Среднее значение										
Зеленый $\lambda = 470$ нм	1.									
	2.									
	3.									
Среднее значение										

7.2. Определение преломляющего угла бипризмы Френеля

1. Определить преломляющий угол призмы β по формуле

$$\beta_{\text{ср}} = \frac{d_{\text{ср}}}{2b(n-1)}, \quad (7.3)$$

где $n = 1,5$ – показатель преломления стекла бипризмы.

Результат выразить в минутах ($1' = 2,91 \cdot 10^{-4}$ рад).

2. Рассчитать абсолютную и относительную погрешности измерения значений величин d и β .

Контрольные вопросы

1. Какие явления подтверждают волновую природу света?

2. Какие волны называются когерентными? Методы получения когерентных волн.

3. В чем заключается явление интерференции света? Условие образования интерференционных максимумов и минимумов.

4. Почему для наблюдения интерференции света от обычных источников интерферирующие пучки должны происходить от одного и того же источника?

5. Какую форму имеют интерференционные полосы при падении на экран монохроматических волн от двух точечных когерентных источников?

6. Можно ли наблюдать интерференцию в данном опыте в белом свете? Ответ поясните.

7. Почему для наблюдения интерференции используется точечный источник света? Что в данной работе выполняет роль точечного источника?

8. Как меняется контрастность интерференционной картины при использовании светофильтров? Как это отражается на точности измерений? Ответ поясните.

9. Что называется оптической длиной пути световой волны, оптической разностью хода?

10. Что собой представляет бипризма Френеля? Нарисуйте ход лучей в ней.

11. Нарисуйте схему установки, на которой вы проводили измерения. Объясните назначение всех элементов.

12. Как определяется расстояние между мнимыми источниками света S_1 и S_2 ?

13. Как определить длину световой волны с помощью бипризмы Френеля?

14. Как определить координату минимума или максимума, ширину Δx полосы на интерференционной картине (опыт Юнга)?

Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Номер, название и цели работы.
2. Теоретическую основу метода определения преломляющего угла бипризмы Френеля, используемой в работе.
3. Схему установки.
4. Данные измерений расстояния между полосами интерференционной картины Δx для разных светофильтров.
5. Расчет значений расстояния между мнимыми источниками света.
6. Расчет преломляющего угла бипризмы Френеля и его абсолютной погрешности.

Критерии результативности выполнения лабораторной работы

1. Знание явления интерференции света, когерентных источников света, оптической длины пути, оптической разности хода;

знание методов получения когерентных источников, условий возникновения максимумов и минимумов интерференции; знание физических основ метода расчета преломляющего угла бипризмы Френеля.

2. Выполнение экспериментальной и расчетной частей работы.
3. Соответствие отчета предъявленным требованиям.

Список литературы

1. *Трофимова Т. И.* Курс физики. – М.: Academia, 2012.
2. *Савельев И. В.* Курс общей физики. Т. 3. – КноРус, 2012.

Составитель АБРАМОВА Марина Михайловна

ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА
С ПОМОЩЬЮ БИПРИЗМЫ ФРЕНЕЛЯ

Методические указания к лабораторной работе № 61
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2015. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Печать плоская. Гарнитура Nimes New Roman Cyr.

Усл. печ. л. 1,1. Усл.-кр.-отт. 1,1. Уч-изд.л. 0,9.

Тираж 300 экз. Заказ №

ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный
технический университет

Редакционно-издательский комплекс УГАТУ

450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12