

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ОЭФ

_____ А.М. Лидер
« ___ » _____ 2021 г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3-04

**ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА НА БИПРИЗМЕ
ФРЕНЕЛЯ**

**Методические указания к выполнению лабораторной работы
по курсу «Общая физика» по теме «Оптика»
для студентов всех специальностей**

Томск-2021

УДК 53.01

Изучение интерференции света на бипризме Френеля. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Общая физика» для студентов всех специальностей. - Томск. Изд. ТПУ, 2021.- 14 с.

Составитель: зав. лабораторией ОЭФ Т.Н. Мельникова

Методические указания рассмотрены и рекомендованы методическим семинаром кафедры общей физики 2021 г.

Руководитель ОЭФ: _____ А.М. Лидер.

ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА НА БИПРИЗМЕ ФРЕНЕЛЯ

Цель работы: получить интерференционную картину с помощью бипризмы Френеля, рассчитать длину волны источника света и величину преломляющего угла бипризмы.

Приборы и принадлежности: газовый лазер, закрепленный на оптической скамье, бипризма, линза, экран, сантиметровая линейка.

Краткое теоретическое введение

Явление *интерференции* света состоит во взаимном усилении волн в одних точках пространства и ослаблении в других при их наложении друг на друга.

Необходимым условием интерференции волн является их *когерентность*: равенство их частот и постоянство разности фаз их колебаний. Кроме того, необходимо, чтобы колебания векторов \vec{E} электромагнитных полей интерферирующих волн совершались вдоль одного и того же направления, т.е. чтобы интерферирующие волны были поляризованы в одной плоскости.

Световые волны, излучаемые независимыми естественными источниками, являются некогерентными, что обусловлено хаотичностью, беспорядочностью испускания света атомами таких источников.

Когерентные световые волны можно получить, разделив волну, излучаемую одним источником, на две волны (например, с помощью зеркал Френеля, бипризмы Френеля или с помощью двух узких щелей S_1 и S_2 в непрозрачном экране). Если заставить две когерентные волны пройти разные оптические пути, а потом наложить их друг на друга, наблюдается интерференция.

В данной работе для получения когерентных источников света используется *бипризма Френеля*.

Бипризма Френеля представляет собой изготовленные из одного куска стекла две одинаковых трехгранных призмы с малым преломляющим углом δ (порядка долей градуса), сложенные своими основаниями. За счет преломления в бипризме света, испускаемого источником S , за бипризмой распространяются две волны, как бы исходящие от двух когерентных мнимых источников S_1 и S_2 , лежащих в одной плоскости с S (рис. 1). В области пространства, где пучки от источников S_1 , S_2 перекрываются, возникает интерференционная картина.

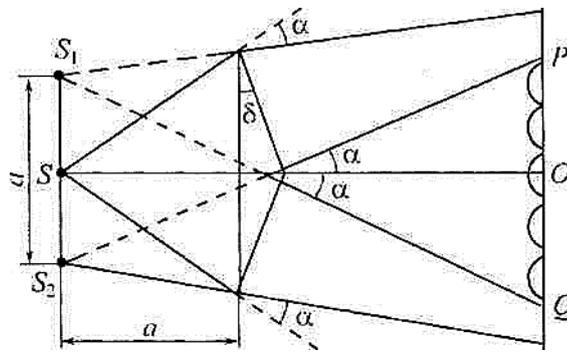


Рис. 1

Эта область называется **полем интерференции**. Если в поле интерференции внести экран, то на экране наблюдается интерференционная картина, которая имеет вид чередующихся светлых и темных полос (область PQ на экране, рис. 1). Расстояние между соседними минимумами (или соседними максимумами) интенсивности называется **шириной интерференционной полосы** Δx .

Обозначим расстояние между мнимыми источниками света S_1 и S_2 через d , их кратчайшее расстояние до экрана через l (рис. 2).

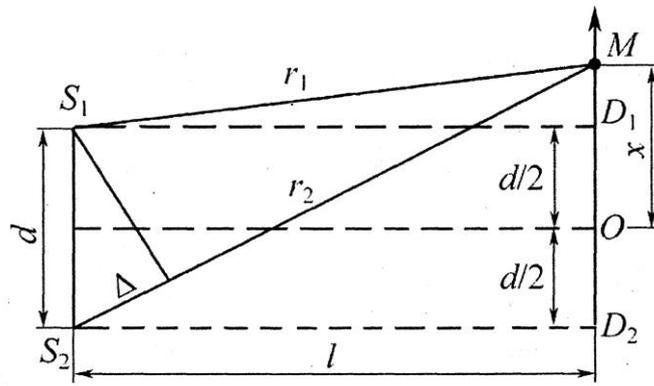


Рис. 2

Вычислим ширину интерференционных полос.

Пусть экран параллелен плоскости, проходящей через мнимые источники S_1 и S_2 , и находится от них на расстоянии $l \gg d$. Положение точки на экране будем характеризовать координатой x . Начало отсчета выберем в точке O , относительно которой мнимые источники S_1 и S_2 расположены симметрично. Из прямоугольных треугольников MS_1D_1 и MS_2D_2 (рис. 2), используя теорему Пифагора запишем:

$$r_1^2 = l^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2, \quad r_2^2 = l^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2.$$

Отсюда получаем:

$$r_2^2 - r_1^2 = 2xd.$$

$$(r_2 + r_1)(r_2 - r_1) = 2xd.$$

Обычно достаточно четкая интерференционная картина наблюдается только вблизи середины экрана (точки O). Поэтому можно считать, что $l \gg d$, следовательно, $r_1 \approx r_2 \approx l$.

Тогда

$$r_1 + r_2 \approx 2l.$$

$$(r_2 - r_1) = \frac{xd}{l},$$

где $(r_2 - r_1)$ – разность хода лучей.

Умножив $(r_2 - r_1)$ на показатель преломления среды n , получим оптическую разность хода

$$\Delta = n \frac{xd}{l}. \quad (1)$$

Максимальные интенсивности найдем из условия:

$$\Delta = m\lambda_0, \quad (2)$$

где $m = 0, 1, 2, \dots$ называется **порядком** интерференционного максимума; λ_0 – длина волны в вакууме.

Из уравнений (1) и (2) имеем:

$$n \frac{xd}{l} = m\lambda_0.$$

Отсюда для координаты максимума получаем

$$x_{\max} = \frac{ml\lambda_0}{nd}. \quad (3)$$

Обозначим

$$\frac{\lambda_0}{n} = \lambda,$$

где λ – длина волны в среде, заполняющей пространство между источником и экраном. Тогда координата **максимума** интенсивности

$$x_{\max} = \frac{m\lambda l}{d}. \quad (4)$$

Аналогично координата m – ого **минимума** запишется в виде

$$x_{\min} = \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda l}{d}, \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \quad (5)$$

В центре интерференционной картины при $x = 0$ разность хода $\Delta = 0$, так что будет наблюдаться светлая полоса.

Расстояние между соседними минимумами интенсивности (ширина интерференционной полосы Δx) из формулы (5) равно:

$$\Delta x = \frac{l\lambda}{d}. \quad (6)$$

Расстояние между двумя соседними максимумами интенсивности, называемое расстоянием между интерференционными полосами, также равно $\frac{l\lambda}{d}$.

Согласно формуле (6) ширина интерференционной полосы растет с уменьшением расстояния между источниками d . При d , сравнимом с расстоянием l , расстояние между полосами будет того же порядка, что и λ , т.е. составляло бы несколько десятых микрометров. В этом случае отдельные полосы были бы совершенно неразличимы.

Для того чтобы интерференционная картина стала отчетливой, необходимо соблюдение условия: $d \ll l$.

Если интенсивность интерферирующих волн одинакова $J_1 = J_2 = J_0$, то результирующая интенсивность J в точках, для которых разность фаз равна φ , определяется следующим выражением:

$$J = J_1 + J_2 + 2\sqrt{J_1 J_2} \cos \varphi = 2J_0 + (1 + \cos \varphi) = 4J_0 \cos^2 \frac{\varphi}{2}.$$

Поскольку разность фаз пропорциональна разности хода, т.е. $\varphi \sim \Delta$, то J растет пропорционально x [см. формулу (1)]. Следовательно, интенсивность изменяется вдоль экрана по закону квадрата косинуса.

По формуле (6), измерив расстояние между полосами Δx и измерив l и d , можно вычислить длину волны λ источника света.

Можно показать, используя законы геометрической оптики, что в случае, когда преломляющий угол δ призмы очень мал и углы падения лучей на грань призмы не очень велики, все лучи отклоняются призмой на практически одинаковый угол, равный

$$\alpha = (n - 1)\delta,$$

где n – показатель преломления материала призмы. Расстояние между мнимыми источниками d равно:

$$d = 2a \sin \alpha \approx 2a \cdot \alpha,$$

так как для малых углов $\sin \alpha \approx \alpha$.

Угол α здесь выражается в радианах.

$$d = 2a(n - 1)\delta,$$

Здесь, a – расстояние от источника света до бипризмы (см. рис. 1). Для преломляющего угла δ получаем формулу:

$$\delta = \frac{d}{2a(n-1)}. \quad (7)$$

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА



Рис. 3

Схема установки, предназначенной для выполнения лабораторной работы, представлена на рис. 4. Она включает: оптическую скамью 1, в самом начале которой установлен источник монохроматического света –

газовый лазер 2 с укрепленным на нем объективом 3, бипризму Френеля 4, подставка 5 с линзой и микрометром с круговой шкалой (цена деления 0,1 мм), экран 6 и сантиметровую линейку.

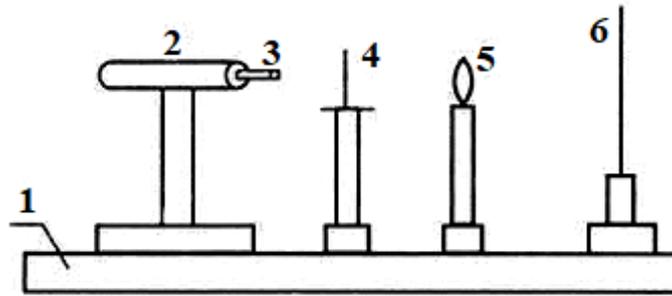


Рис. 4

Использование объектива 3 позволяет получить расходящийся пучок монохроматических лучей вместо узкого пучка, идущего непосредственно от лазера.

ЗАДАНИЕ

1. Определите с помощью бипризмы Френеля длину волны излучения лазера.
2. Определите преломляющий угол бипризмы.

МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Включите в сеть источник питания лазера, прогрейте его, а затем зажгите лазер.

2. Установите на оптическую скамью вблизи от объектива, закрепленного на лазере, столик с бипризмой Френеля. С помощью регулировочного винта отрегулируйте положение бипризмы таким образом, чтобы на экране можно было наблюдать изображение мнимых источников S_1' и S_2' (Две яркие точки).

3. С помощью линейки измерьте расстояние d' между изображениями мнимых источников света S_1' и S_2' . Измерьте расстояние a от объектива до бипризмы и расстояние l между объективом и экраном. Результаты измерений занесите в таблицу отчета.

4. Установите на скамью подставку с короткофокусной линзой и микрометром, перемещая ее вдоль оптической скамьи, получите увеличенное изображение интерференционной картины в виде чередующихся темных и светлых полос на экране 6 (рис. 5).

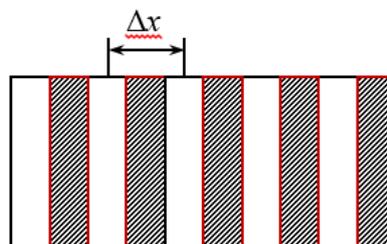


Рис. 5

Интерференционные полосы

5. Определите расстояние Δx между светлыми (или темными) полосами. Для этого с помощью микровинта отметьте положение первой светлой (или темной) полосы. Метка изображается в виде скрещенных линий. Показание N_1 (число делений) запишите в таблицу. Затем установите метку на соседнюю полосу, замерьте N_2 и т.д.

Таблица

№ п/п	d , мм	N (дел)	ΔN (дел)	Δx , мм	l , мм	a , мм	λ , нм	δ , рад
1			—	—				
2								
3								
4								
5								
Среднее значение		-						

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Истинное значение расстояния d между мнимыми источниками S_1 и S_2 рассчитайте по формуле:

$$d = d' \frac{a}{l - a}.$$

2. Рассчитайте расстояние ΔN (в делениях) между соседними интерференционными полосами.

3. Умножив ΔN на цену деления микровинта $c = 0,1$ мм, получите расстояние Δx (в мм).

4. Рассчитайте средние значения. Все результаты занесите в таблицу.

5. По формуле:

$$\lambda = \frac{\Delta x d}{l}$$

рассчитайте длину волны излучения лазера.

6. Используя формулу

$$\delta = \frac{d}{2a(n-1)},$$

найдите преломляющий угол бипризмы. Показатель преломления стекла бипризмы считать равным $n = 1,6$.

7. Рассчитайте погрешность определения длины волны лазерного излучения λ и запишите результат в стандартной форме. Сравните полученный результат со значением длины волны гелий-неонового лазера $\lambda = 632,8$ нм.

8. Сделайте вывод по работе.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Какую роль играет детектор при наблюдении интерференции света?
2. Почему преломляющий угол δ бипризмы должен быть мал?
3. Какой вид имеет интерференционная картина при наблюдении ее в монохроматическом свете? В белом свете?
4. Нарисуйте ход лучей в бипризме. Модифицируйте опыт.
5. Придумайте виртуальное устройство для наблюдения.
6. Как соотносится данный опыт с опытом Юнга?
7. Как ввести понятие длины когерентности в исследуемом опыте?
8. Оцените длину когерентности в данном опыте.
9. Что такое оптическая длина пути? оптическая разность хода?
10. Почему расчет интерференционной картины с помощью бипризмы Френеля и по методу Юнга ничем не отличаются?
11. Отчего в общем случае зависит длина когерентности?
12. Метод деления амплитуды или метод деления волнового фронта используют в данном эксперименте?
13. С какой целью устанавливают объектив (рис. 4)?
14. Чем определяется количество полос интерференции на экране наблюдения?
15. Предложите точный метод определения расстояния между полосами.
16. С какой точностью следует определять длину волны лазерного излучения? Красной полосы солнечного света?
17. Как зависит расстояние между полосами на экране от расстояния между мнимыми источниками?
18. Точность какой из измеренных величин должна быть максимальной?
19. Сформулируйте требования к размерам щелей S_1 и S_2 .
20. Каков физический и технический смысл пространственной когерентности.
21. Используя литературные источники, предложите иной детектор для изучения интерференционной картины.
22. Определите степень монохроматичности лазерного и солнечного излучения.
23. Как оценить угловой размер источника излучения?
24. Приведите один из парадоксов интерференции.
25. Для каких волн (по их природе) не наблюдается явление интерференции?
26. В каком случае волны от когерентных источников не создают интерференционную картину?
27. Почему с помощью естественных источников можно наблюдать интерференцию света именно на тонких, а не на «толстых» пленках?
28. Как связана оптическая разность хода Δ с разностью фаз δ для волн, длина волны которых равна λ ?

ГЛОССАРИЙ

Бипризма Френеля – двойная призма с очень малыми углами при вершинах. Бипризма Френеля является оптическим устройством, позволяющим из одного источника света формировать две когерентные волны, которые дают возможность наблюдать на экране устойчивую интерференционную картину. Бипризма Френеля служит средством экспериментального доказательства волновой природы света.

Волновой фронт — это поверхность, до которой дошли колебания к данному моменту времени.

Волновой цуг – прерывистое излучение света атомами в виде отдельных коротких импульсов.

Время когерентности $t_{\text{ког}}$ – средняя продолжительность одного цуга.

Гипотеза — предположение или догадка; утверждение, предполагающее доказательство, в отличие от аксиом, постулатов, не требующих доказательств.

Длина когерентности – расстояние $l_{\text{ког}}$, на которое распространится волна за время когерентности, называется длиной когерентности $l_{\text{ког}} = \upsilon t_{\text{ког}}$. В пределах такой длины волну можно считать когерентной.

Интенсивность света – величина, пропорциональная квадрату амплитуды вектора электрической напряжённости световой волны.

Интерференция света – оптическое явление: – возникающее при сложении двух или нескольких когерентных световых волн, линейно поляризованных в одной плоскости;
– представляющее собой устойчивую во времени картину усиления или ослабления результирующих световых колебаний в различных точках пространства.

Когерентные волны — это волны одинаковой частоты, с постоянной разностью фаз, колебания векторов напряженности в которых происходят в одной плоскости.

Лазер — оптический квантовый генератор — устройство, преобразующее энергию накачки (световую, электрическую, тепловую, химическую и др.) в энергию когерентного, монохроматического, поляризованного и узконаправленного потока излучения.

Огюстен Жан Френель (10 мая 1788 — 14 июля 1827), французский физик, один из создателей волновой теории света.

Показатель преломления вещества — величина, равная отношению фазовых скоростей света (электромагнитных волн) в вакууме и в данной среде.

Поле интерференции – область, в которой перекрываются волны от когерентных источников.

Преломляющий угол призмы – угол между преломляющими поверхностями призмы.

Призма — оптический элемент из прозрачного материала в форме геометрического тела — призмы, имеющий плоские полированные грани, через которые входит и выходит свет. Свет в призме преломляется.

Пространственная когерентность — когерентность колебаний, которые совершаются в один и тот же момент времени в разных точках плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны.

Радян — основная единица измерения плоских углов в современной математике и физике. Радян определяется как угловая величина дуги, длина которой равна её радиусу. Таким образом, величина полного угла равна 2π радиан. Так как величина угла, выраженная в радианах, равна отношению длины дуги окружности к длине её радиуса, радиан — величина безразмерная. Поэтому обозначение радиана (рад) часто опускается.

Степень монохроматичности – величина, характеризующая предельным порядком интерференции $m = \lambda/\Delta\lambda$, начиная с которого полосы исчезают.

Ширина интерференционной полосы – расстояние между двумя соседними максимумами интенсивности или между двумя соседними минимумами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.2. - М.: Наука, 1982. - 496с.
2. Детлаф А.А. Курс физики: Учеб. пособие для студ. вузов / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. – 5-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 720 с.
3. Ларионов В.В., Веретельник В.И., Тюрин Ю.И, Чернов И.П. Физический практикум. Ч. 3: Атомная и ядерная физика: Учебное пособие для студентов высших учебных заведений.– Томск: Изд-во Том. ун-та, 2005. – 218 с.