

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

ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА С ПОМОЩЬЮ БИПРИЗМЫ ФРЕНЕЛЯ

**Методические указания
к выполнению лабораторной работы № 309 по физике
для студентов с направлением подготовки 011200.62 «Физика»**

Хабаровск
Издательство ТОГУ
2014

Изучение интерференции света с помощью бипризмы Френеля: методические указания к выполнению лабораторной работе № 309 по физике для студентов с направлением подготовки 011200.62 «Физика» / сост. А. В. Кирюшин.– Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2014. – 8 с.

Методические указания составлены на кафедре «Физика». Включают общие сведения об особенностях интерференции света, методику эксперимента, порядок выполнения работы. Объем выполнения лабораторной работы 3 часа.

Печатается в соответствии с решениями кафедры «Физика» и методического совета факультета компьютерных и фундаментальных наук

Цель работы. Ознакомление с явлением интерференции света, изучение метода деления волнового фронта при реализации двухлучевой интерференционной схемы.

Задача. Определение расстояния между двумя мнимыми источниками света, преломляющего угла бипризмы и длины световой волны лазера.

Приборы и принадлежности. He – Ne лазер, регулируемая щель, бипризма Френеля, длиннофокусная линза, короткофокусная линза, экран.

Техника безопасности. 1) Лазер питается напряжением 1,5 кВ, поэтому блок питания лазера должен быть надежно заземлен;

2) основную опасность при работе с лазером представляет воздействие излучения на органы зрения, что может произойти лишь при грубом нарушении правил техники безопасности, с которыми все работающие на установке должны быть ознакомлены перед началом работы;

3) в конце скамьи должен находиться экран для предотвращения выхода излучения за пределы установки.

1. Опыт Юнга. Бипризма Френеля. Общие сведения

Интерференцией называется перераспределение интенсивности света в пространстве, в результате чего в одних местах возникают максимумы, а в других – минимумы интенсивности. Результат интерференции определяется соотношением фаз складывающихся волн.

Необходимым условием интерференции волн является их когерентность, т. е. сохранение неизменной разности фаз на время, достаточное для наблюдения.

Световые волны, излучаемые независимыми естественными источниками, некогерентны, что обусловлено хаотичностью, беспорядочностью испускания света атомами таких источников. Именно с этим фактом связана невозможность наблюдения интерференционной картины от двух электрических ламп накаливания.

Тем не менее, когерентные световые волны можно получить даже от обычных источников. Для этого создают условия, при которых свет от такого источника до экрана идет двумя различными путями. На экране встречаются волны, которые испущены одним и тем же атомом источника, но в разное время. Когерентность обусловлена таким малым запаздыванием одной волны относительно другой, при котором обе волны принадлежат к одному акту испускания света любым атомом источника.

Другими словами, складываются две части волны, излученной отдельным атомом. Такую волну называют цугом. Длина цуга называется длиной когерентности. Длина когерентности определяется свойствами источника света. Для естественного источника она составляет $\sim (10 - 100)$ мкм, у лазеров может достигать нескольких километров. Для He - Ne лазера, используемого в данной работе, она составляет $\sim 0,5$ м. Для получения интерференци-

онной картины разность путей встречающихся лучей не должна превышать длину когерентности.

Разделение одной и той же волны на две части для реализации интерференции осуществляется двумя способами: 1) делением амплитуды; 2) делением фронта волны.

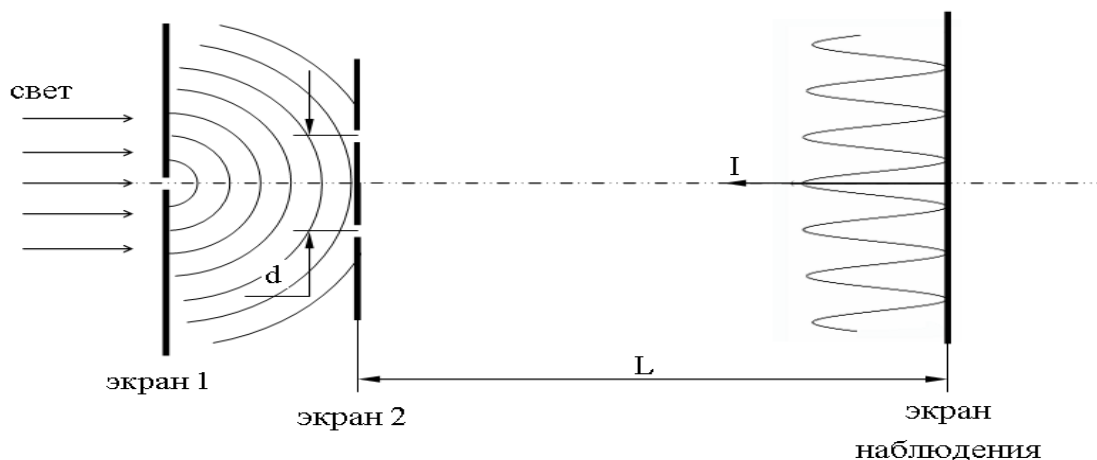


Рис.1. Схема опыта Юнга

В настоящей работе применяется двухлучевая интерференционная схема с делением фронта световой волны. Все основные схемы, основанные на этом методе, сводятся к опыту Юнга (рис.1), поставленному в 1802 г.

Юнг в темной комнате пропустил солнечный свет через узкую щель, а затем с помощью двух щелей, вырезанных в следующем экране, разделил этот пучок на два. Эти два пучка, накладываясь друг на друга, образовали на экране наблюдения систему полос - чередующихся максимумов и минимумов интенсивности I (рис.1). Расстояние между соседними максимумами или минимумами, называемое шириной интерференционной полосы, определяется соотношением

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

где L – расстояние от экрана с двумя щелями до интерференционной картины, d – расстояние между этими щелями, λ – длина световой волны.

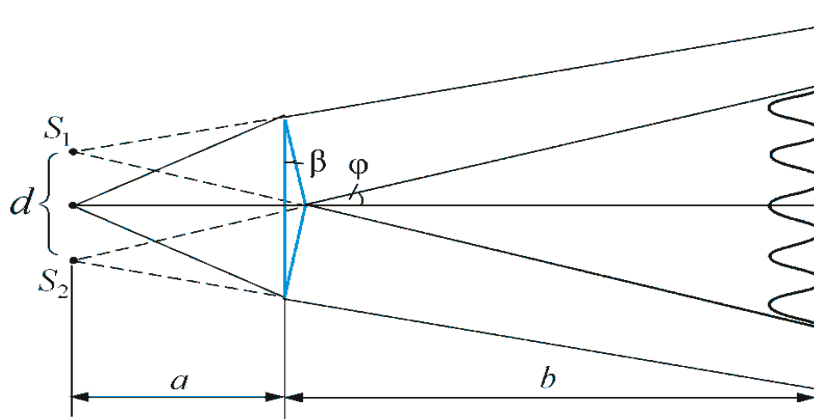


Рис.2. Ход лучей в бипризме Френеля

Таким образом, в опыте Юнга интерференционная картина получалась путем деления фронта волны, исходящей из одного источника, при ее прохождении через две близко расположенных щели. Этот опыт позволил впервые определить длину световой волны. Простота и убедительность опыта Юнга сделали его классическим, одним из самых ярких в истории физики.

Существенные черты этого опыта сохраняются в установке с бипризмой Френеля. Бипризма Френеля представляет собой две прямоугольные призмы с малыми преломляющими углами β , сложенные своими основаниями (рис. 2). Практически она изготавливается из целого куска стекла. Источником света является ярко освещенная узкая щель, установленная параллельно ребру бипризмы. Можно показать, что, поскольку угол β очень мал, все лучи при преломлении в бипризме отклоняются на угол

$$\varphi = (n - 1)\beta \quad (2)$$

независимо от угла падения, если последний также мал.

В результате за бипризмой лучи распространяются так, как если бы они исходили из двух мнимых источников S_1 и S_2 (изображений входной щели). В области пространства, где пучки от источников S_1 , S_2 перекрываются, возникает интерференционная картина (см. рис.2). Расстояние между этими источниками равно

$$d = 2a\varphi, \quad (3)$$

где a – расстояние от источников до бипризмы.

2. Методика эксперимента и экспериментальная установка

Для измерения расстояния между двумя мнимыми источниками света используется установка, показанная на рис. 3.

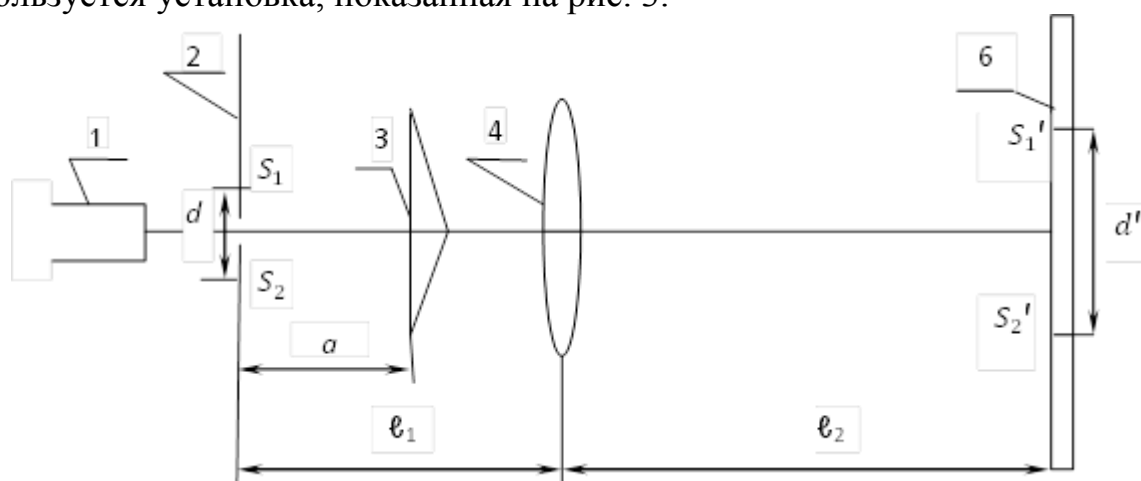


Рис.3. Схема наблюдения изображений S_1' и S_2' двух мнимых источников S_1 и S_2

Световой пучок He-Ne лазера 1 проходит через регулируемую щель 2 и падает на бипризму 3, создающую два мнимых источника S_1 и S_2 так, как это показано на рис. 3. Длиннофокусная линза 4 (№ 8 на оправе) предназначена для получения увеличенного изображения S_1' и S_2' этих источников. Расстояние d' между изображениями мнимых источников, наблюдаемыми на

экране, связано с расстоянием d между фактическими положениями этих источников формулой увеличения линзы

$$d = d' \frac{l_1}{l_2}, \quad (4)$$

где l_1 – расстояние от щели до линзы, l_2 – расстояние между линзой и экраном (см. рис. 3).

Теперь с помощью формул (2), (3) можно легко найти преломляющий угол бипризмы

$$\beta = \frac{d}{2a(n-1)}. \quad (5)$$

Для наблюдения интерференционной картины длиннофокусную линзу 4 (см. рис.3) удаляют из установки. Между бипризмой и экраном помещают короткофокусную линзу 5, перемещением которой добиваются получения увеличенного изображения 8 интерференционных полос 7 на экране 6 (рис.4).

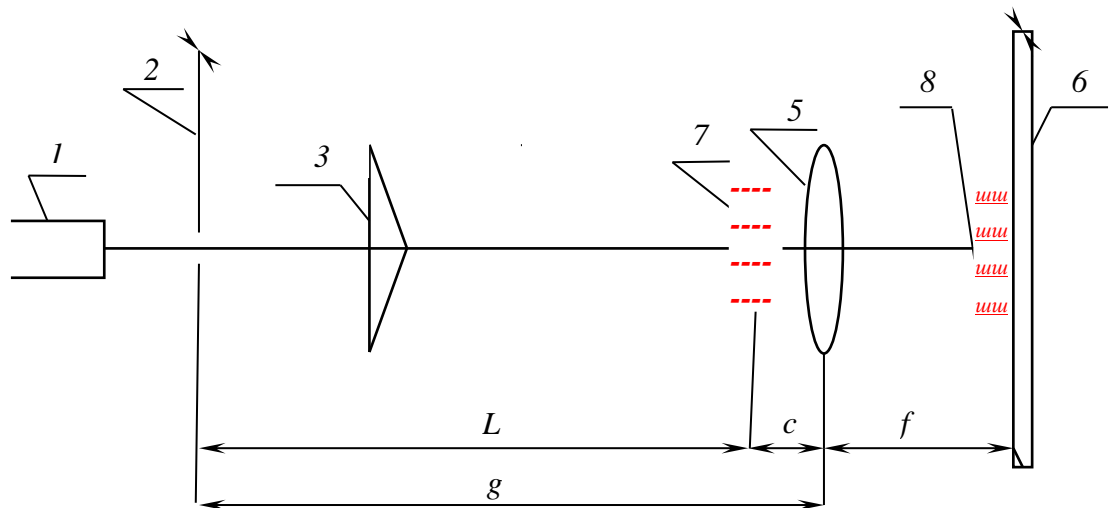


Рис.4. Схема наблюдения увеличенного изображения 8 интерференционных полос 7

Ширина Δx проектируемых на экран полос 7 связана с шириной $\Delta x'$ наблюдаемых полос 8 соотношением

$$\Delta x = \Delta x' \frac{f}{c}, \quad (6)$$

где c – расстояние от полос 7 до линзы 5, f – расстояние между линзой 5 и экраном 6 (рис.4). Для этих расстояний и фокусного расстояния F линзы 5 справедлива формула тонкой линзы

$$\frac{1}{c} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}. \quad (7)$$

Вводя в рассмотрение расстояние g между щелью и линзой 5, можно записать формулу

$$g = L + c. \quad (8)$$

Исключая из выражений (1), (6) – (8) величины L , c , $\Delta x'$, которые в данной работе непосредственно не измеряются, получим

$$\lambda = \frac{d\Delta x'}{g\left(\frac{f}{F} - 1\right) - f}. \quad (9)$$

Это выражение устанавливает связь между длиной световой волны и геометрическими параметрами системы, в которой наблюдается интерференционная картина.

Недостатком опыта с бипризмой Френеля является искажение интерференционной картины, вносимое дифракцией на ребре бипризмы. Оно выражается в появлении дополнительных, обычно немногочисленных, черных и светлых полос, наблюдаемых на фоне изучаемой интерференционной картины.

3. Порядок выполнения работы

1. Включить лазер. Бипризма устанавливается на расстоянии a , равном 8 – 12 см от щели так, чтобы ребро ее тупого угла было параллельно щели. Выставленное значение a заносится в таблицу 1. В течение всей работы оно не изменяется.

2. Удаляют обе линзы. При достаточно широкой щели поперечным (по отношению к оптической оси) перемещением бипризмы добиваются появления на экране двух ярких светящихся пятен.

3. Между бипризмой и экраном, ближе к бипризме, располагают длиннофокусную линзу (№ 8 на оправе). Перемещая эту линзу и суживая щель, добиваются появления на экране отчетливого изображения двух светящихся щелей. Расстояние d' между ними измеряется 3–4 раза с помощью миллиметровой бумаги, зафиксированной на экране. Результаты заносят в таблицу 1.

Таблица 1

№ п/п	a	d'	$\Delta d'$	l_1	l_2	d	β
1							
2							
3							
4							
$x_{\text{средн}}$							
t_{an}							
σ_{nx}							
Δx							

4. Измеряют расстояние между щелью и линзой l_1 и между линзой и экраном l_2 . Результаты записывают в таблицу 1.

5. Длиннофокусная линза удаляется из установки. Между бипризмой и экраном располагают короткофокусную линзу (№ 2 на оправе). Перемещени-

ем линзы добиваются появления на экране интерференционных полос, показанных на рис. 2.

6. При помощи миллиметровой бумаги определяют расстояние $\Delta x'$ между соседними светлыми или темными полосами. Для этого необходимо измерить расстояние между достаточно удаленными друг от друга темными (светлыми) полосами и разделить это расстояние на число полос. Измерения проводят 3 – 4 раза и результаты записывают в табл.

7. Измеряют расстояние между щелью и линзой g и между линзой и экраном f . Результаты заносят в таблицу 2.

Таблица 2

№ п/п	$\Delta x'$	$\Delta(\Delta x')$	g	f	λ
1					
2					
3					
4					
$x_{\text{средн}}$					
$t_{\alpha n}$					
σ_{nx}					
Δx					

8. Методом Стьюдента провести обработку прямых измерений величин d' и $\Delta x'$, наиболее существенно влияющих на погрешность косвенных измерений в данной работе.

9. С помощью средних значений прямых измерений рассчитать по формуле (4) расстояние d между двумя мнимыми источниками света, по формуле (5) – преломляющий угол β бипризмы, по формуле (9) – длину волны лазера (при этом используется численное значение $F = 36$ мм).

10. Оценить погрешность косвенных измерений этих величин.

11. Сравнить найденное значение преломляющего угла бипризмы с паспортным значением $\beta = 0,5^\circ$ данной установки.

12. Сравнить найденное значение длины волны с табличным значением $\lambda = 0,63$ мкм He – Ne лазера.

13. Сделать выводы.

4. Контрольные вопросы и задания

1. При интерференции световых волн не происходит суммирования интенсивностей этих волн. Означает ли это, что закон сохранения энергии нарушается?

2. Что такое временная когерентность? время когерентности? длина когерентности?

3. Что такое пространственная когерентность? ширина когерентности? угол когерентности?

4. Назовите способы получения когерентных волн в оптике.
5. В чем состоит сущность метода деления амплитуды при реализации двухлучевых интерференционных схем?
6. В чем состоит сущность метода деления волнового фронта при реализации двухлучевых интерференционных схем?
7. Почему крылья стрекозы имеют радужную окраску?
8. Нарисовать и прокомментировать схему интерференционного опыта с зеркалами Френеля.
9. Нарисовать и прокомментировать схему интерференционного опыта с билинзой Бийе.
10. Нарисовать и прокомментировать схему интерференционного опыта с зеркалом Ллойда.
11. Нарисовать и прокомментировать схему интерференционного опыта Юнга.
12. Почему наличие узкой входной щели в опыте Юнга (см. рис.1) является принципиальным и важным обстоятельством? Нарисовать и прокомментировать схему опыта Гримальди.
13. Что называется звездным интерферометром Майкельсона? Каков принцип его действия?
14. Вывести формулу (1), определяющую ширину интерференционной полосы в опыте Юнга.
15. Нарисовать и прокомментировать схему интерференционного опыта с бипризмой Френеля.
16. Вывести формулу (2), определяющую угол отклонения луча, упавшего на бипризму под любым, но малым углом.
17. Вывести формулу (3), определяющую расстояние между двумя мнимыми источниками света в установке с бипризмой Френеля.
18. Почему расстояние между двумя мнимыми источниками света в установке с бипризмой Френеля должно быть достаточно малым?
19. Вывести расчетную формулу (9), определяющую длину волны лазера.
20. Каковы недостатки интерференционной схемы с бипризмой Френеля?

Библиографический список

1. *Сивухин Д.В.* Общий курс физики: в 5 т.Т.4. Оптика. М.: Физматлит, 2005. – 792 с.
2. *Иродов И. Е.* Волновые процессы. Основные законы. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006.- 363 с.
2. *Ландсберг Г.С.* Оптика. – М.: Физматлит, 2003. – 848 с.
3. *Стафеев С.К., Боярский К.К., Башнина Г.П.* Основы оптики. СПб.: Питер.2006.- 336 с.

4. *Савельев И.В.* Курс общей физики: в 4 т. Т.2. Электричество и магнетизм. Оптика. М.: КНОРУС, 2009. – 576 с.

5. *Лабораторный практикум по физике* / под ред. Барсукова К.А. и Уханова Ю.И. – М.: Высш. шк., 1988. – 351 с.