

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

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой общей физики ФТИ
_____ А.М. Лидер
« ___ » _____ 2017 г.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА
ПРИ НАБЛЮДЕНИИ КОЛЕЦ НЬЮТОНА**

Методические указания к выполнению лабораторной работы № 3-05
по курсу «Общая физика» для студентов всех специальностей

Томск 2017

Лабораторная работа №3-05

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА ПРИ НАБЛЮДЕНИИ КОЛЕЦ НЬЮТОНА

Цель работы: сформулировать гипотезу исследования и изучить один из примеров проявления интерференции света на установке для наблюдения колец Ньютона, определить радиус кривизны линзы и длину волны света, определить разность хода (разность фаз) между интерферирующими волнами.

Приборы и принадлежности: микроскоп МБС-10, светофильтры, источник белого света, микрометр окулярный винтовой МОВ-1-16Х или окуляр со шкалой, объект – микрометр, ячейка для получения колец Ньютона, блок питания для лампы осветителя.

Краткое теоретическое введение

Сложение двух или нескольких когерентных световых волн, в результате которого в одних точках пространства происходит увеличение, а в других – уменьшение амплитуды результирующей волны, называется *интерференцией света*.

Волны называются *когерентными*, если они имеют равные частоты и постоянную разность начальных фаз. Источники когерентных волн называются когерентными источниками. Кроме того, для наблюдения интерференции необходимо, чтобы колебания вектора \mathbf{E} электромагнитных полей интерферирующих волн совершались вдоль одного и того же направления, т.е. чтобы интерферирующие волны были поляризованы в одной плоскости.

Существует несколько способов наблюдения интерференции света. Рассмотрим интерференцию света при отражении от тонкой пластинки.

Пусть на прозрачную плоскопараллельную пластинку (пленку) толщиной d падает под углом i пучок параллельных монохроматических лучей с длиной волны λ (рис. 1).

Выделим лучи 1 и 2 этого пучка. Луч 1 после преломления в точке A отражается в точке B и затем после преломления в точке C (луч 1) интерферирует с отраженным в этой точке лучом 2 , так как лучи 1 и 2 являются когерентными. Интенсивность света при этом либо возрастает, либо уменьшается, что зависит

от оптической разности хода лучей. Оптическая разность хода лучей в отраженном свете будет равна

$$\Delta = (AB + BC)n_{nl} - DCn_g + \lambda/2, \quad (1)$$

где n_{nl} – абсолютный показатель преломления вещества пластинки; n_v – абсолютный показатель преломления воздуха, равный единице (пластинка находится в воз-

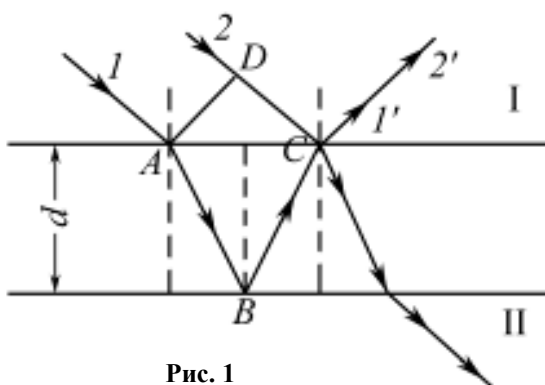


Рис. 1

духе). Добавление в (1) $\lambda/2$ учитывает сдвиг по фазе на π при отражении света от оптически более плотной среды в точке С.

Как следует из рис.1, разность хода лучей Δ можно выразить через толщину пластинки d и угол падения i

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2}, \quad n = n_{пл.} \quad (2)$$

Если Δ будет равна четному числу полуволен, то световые колебания в точке С усиливаются, т. е. имеет место интерференционный максимум. При равенстве Δ нечетному числу полуволен в точке С образуется интерференционный минимум. Следовательно, в отраженном свете может реализоваться одно из условий

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2} = (2k)\frac{\lambda}{2} \quad \text{— условие max}; \quad (3)$$

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2} = (2k + 1)\frac{\lambda}{2} \quad \text{— условие min.} \quad (4)$$

В приведенных формулах буквой k обозначен порядок интерференции. k может принимать значения $0, 1, 2, \dots$

В проходящем свете оптическая разность хода Δ отличается от Δ для **отраженного света** на $\lambda/2$ (это может показать читатель).



Рис. 2

Следовательно, максимумам интерференции в отраженном свете соответствуют минимумы интерференции в проходящем свете и наоборот. Если наблюдатель I видит пластинку окрашенной в цвет, соответствующий λ , то наблюдатель II видит пластинку затемненной, и наоборот.

темной, и наоборот.

Пусть пластинка (или пленка) имеет сечение клина с малым углом α (рис.2). Разность хода лучей, определяемая формулой (2), применима и здесь, но только для определенной толщины клина d .

Пусть угол падения $i = 0$, т.е. лучи падают нормально на клин (строго говоря, падают нормально на нижнюю поверхность клина), тогда Δ и, следовательно, условие **max** и **min** будет определяться d ; и интерференционная картина представляет собой чередование светлых и темных полос, локализованных на поверхности клина и параллельных ребру клина. Каждая интерференционная

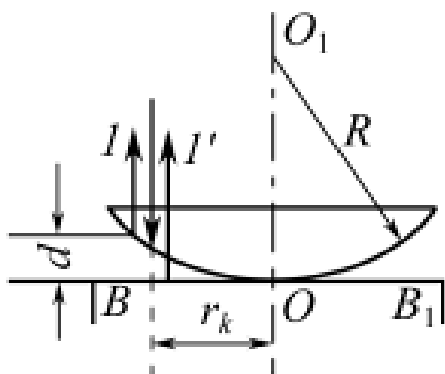


Рис. 3

полоса соответствует определенной толщине клина d . Интерференционная картина называется “**полосами равной толщины**”. Наиболее интересным примером полос равной толщины являются кольца Ньютона.

Если поместить линзу с очень малой кривизной на плоскую стеклянную пластину (рис. 3), то между линзой и пластиной около точки их соприкосновения O образуется воздушный клин. Линза освещается лучами, падающими **нор-**



Рис. 4

мально к поверхности воздушного клина. Отраженные лучи I и I' , являясь когерентными, будут интерферировать. (Лучи I и I' разделены в пространстве для наглядности). Интерференционные полосы равной толщины, возникающие при этом, имеют вид концентрических окружностей с центром в точке O (рис. 4). Их называют *кольцами Ньютона*. В центре находится темное пятно (минимум нулевого порядка). Оно окружено системой чередующихся светлых и темных

колец, ширина и интенсивность которых постепенно убывают по мере удаления от центрального пятна.

В проходящем свете наблюдается дополнительная картина – центральное пятно светлое, следующее кольцо темное и т.д. Условие (2) для Δ запишется в этом случае

$$\Delta = 2d + \lambda/2,$$

где показатель преломления воздуха принят равным единице, а член $\lambda/2$ учитывает сдвиг по фазе на π при отражении света от поверхности пластины. Светлые кольца соответствуют d , для которых

$$2d + \frac{\lambda}{2} = 2k \frac{\lambda}{2}, \quad k = 1, 2, \dots \quad (4a)$$

Для темных колец

$$2d + \frac{\lambda}{2} = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (5)$$

Из рис. 3 видно, что радиус кольца Ньютона r_k , радиус кривизны линзы R и толщина воздушной прослойки d связаны соотношением

$$r_k^2 = R^2 - (R - d_k)^2, \text{ т.к. } d_k \ll R, \text{ то } d_k^2 \approx 0,$$

тогда получаем,

$$r_k^2 \approx 2Rd_k, \text{ т.е. } d_k = \frac{r_k^2}{2k}. \quad (6)$$

Итак, подставив (6) в формулу (4a), запишем условие для *максимума интерференции*

$$n \frac{r_k^2}{R} + \frac{\lambda}{2} = 2k \frac{\lambda}{2} \quad \text{или} \quad n \frac{r_k^2}{R} = (2k - 1) \frac{\lambda}{2}. \quad (7)$$

Тогда для радиусов светлых колец можно записать формулу

$$r_k = \sqrt{R(2k - 1) \frac{\lambda}{2}}. \quad (8)$$

Для m -го светлого кольца формула (7) запишется

$$\frac{r_m^2}{R} = (2m - 1) \frac{\lambda}{2}. \quad (9)$$

Для n -го светлого кольца

$$\frac{r_n^2}{R} = (2n - 1) \frac{\lambda}{2} \quad (10)$$

Вычтя (10) из (9), получим

$$r_m^2 - r_n^2 = (m - n)\lambda R, \quad (11)$$

Отсюда

$$\lambda = \frac{r_m^2 - r_n^2}{(m - n)R} \quad (12)$$

Точно так же связаны радиусы m -го и n -го темных колец.

Методика определения длины волны света и радиуса кривизны линзы на основе наблюдения интерференционных колец в установке Ньютона

Для определения длины волны света с помощью интерференционных колец Ньютона в работе используют следующую методику:

1. Наблюдают кольца Ньютона при использовании света с известной длиной волны λ_0 . Измеряют радиусы этих колец (светлые или темные).

2. Наблюдают кольца Ньютона при использовании света с неизвестной длиной волны λ_x . Измеряют диаметры колец того же порядка, что и в первом случае.

3. Определяют по формуле $\lambda_x = \lambda_0 \frac{(D'_m + D'_n)(D'_m - D'_n)}{(D_m + D_n)(D_m - D_n)}$, полученной на основании формул (11) или (12), неизвестную длину волны.

4. Рассчитывают, используя формулы (11) или (12), (где в качестве λ_0 берут известную длину волны), радиус кривизны линзы R .

Описание экспериментальной установки

Описанная методика может быть реализована с помощью экспериментальной установки, состоящей из микроскопа со шкалой в окуляре для измерения диаметров интерференционных колец, установки Ньютона, которая включает плосковыпуклую линзу с большим радиусом кривизны и плоскопараллельную пластинку, на которую эта линза помещается (рис. 3) и двух светофильтров для получения света с известной и неизвестной длиной волны. С помощью специального устройства установка Ньютона освещается таким образом, что наблюдение колец ведется в отраженном свете.

Рекомендации по выполнению упражнения “Измерение длины волны и радиуса кривизны линзы”

1. Подготовьте микроскоп к работе.
2. Включите осветитель, предназначенный для проведения исследования в белом отраженном свете. Сфокусируйте микроскоп так, чтобы была видна интерференционная картина. (Как правило, микроскоп заранее сфокусирован на интерференционные кольца и, дополнительную фокусировку проводить не нужно).
3. Поместите на пути светового пучка красный светофильтр с известной длиной волны $\lambda_3 = 670 \text{ нм}$.
4. Измерьте диаметры темных (или светлых) колец. Для этого по шкале окуляра отметьте положение левого и правого концов диаметра кольца. При измерениях рекомендуется использовать кольца, более удаленные от центра системы колец. Радиусы колец с малым значением k определяются с меньшей точностью, так как они могут быть искажены за счет деформации линзы и пластинки. **Рекомендуем использовать для измерений светлые кольца с номерами $k=3, 4$ и 5 .**
5. Измерьте диаметр каждого кольца не менее 3 раз. Данные измерений занесите в таблицу.
6. Поместите на пути светового пучка зеленый светофильтр, который пропускает свет с неизвестной длиной волны.
7. Проведите все измерения согласно указаниям, описанным в пунктах 5,6. Результаты измерений занесите в ту же таблицу.
8. Рассчитайте по формуле неизвестную длину волны λ_x

$$\lambda_x = \lambda_3 \frac{(D'_m + D'_n)(D'_m - D'_n)}{(D_m + D_n)(D_m - D_n)},$$

где λ_3 – известная длина волны. Запишите значение неизвестной длины волны в таблицу.

9. Сравните значение полученной в эксперименте длины волны зеленого света с длиной волны зеленого цвета в спектре ртути. Таблица основных спектральных линий спектра ртути приведена на рабочем месте, либо находится у лаборанта.

10. Вычислите по формуле (11) или (12) радиус кривизны линзы. Для расчета рекомендуется применять графический метод расчета радиуса кривизны. Для этого необходимо построить график зависимости квадратов радиусов измеренных колец r_m от их номеров m . Согласно (12) график имеет вид прямой, угловой коэффициент которой равен $R\lambda$. Зная значения λ_3 , определите R .

Таблица

Цвет светофильтра и его λ , нм	Номер кольца	Номер измерения	Отсчеты по шкале			Среднее значение диаметра $D_{ср,м}$
			Слева, деление	Справа, деление	Диаметр $D, м$	
Красный светофильтр $\lambda=670$ нм	3	1				
		2				
		3				
	4	1				
		2				
		3				
	5	1				
		2				
		3				
Зеленый светофильтр $\lambda_x = \dots$	3	1				
		2				
		3				
	4	1				
		2				
		3				
	5	1				
		2				
		3				

Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Если линза едва касается пластинки, то, что наблюдается в отраженном (проходящем) свете в центре интерференционной картины – максимум или минимум? Что необходимо сделать, чтобы в центре интерференционной картины в отраженном свете поочередно наблюдать минимум и максимум?
2. Каким способом в данной лабораторной работе получают когерентные волны для наблюдения колец в отраженном и проходящем свете?
3. Почему интерференционная картина, получаемая на установке Ньютона, имеет вид концентрических колец?
4. Какие отличия в интерференционной картине можно наблюдать, если вести наблюдение в отраженном свете, а затем в проходящем?
5. Если установка для наблюдения колец Ньютона освещается белым светом, то как будут выглядеть кольца? Выделите уровни сложности в данной работе.
6. Объясните формулы (3) и (4), применяя понятие длины когерентности.
7. Выделите уровни сложности в данной работе. Поясните, как в данной работе получают монохроматический свет?
8. Если воздух между линзой и пластинкой заменить водой с большим показателем преломления, чем у воздуха, то, что изменится в интерференционной картине?
9. Как изменяются кольца Ньютона при изменении радиуса кривизны линзы, показателя преломления материала линзы, показателя преломления материала плоскопараллельной пластинки?
10. От чего зависит контрастность колец Ньютона?
11. Как соотносятся условия минимумов и максимумов в отраженном и проходящем свете?
12. Определите область, в которой локализованы кольца Ньютона.
13. Кольца Ньютона – это полосы «равной толщины» или полосы «равного наклона»?
14. Увеличиваются или уменьшаются диаметры колец, если источник монохроматического света с длиной волны **600 нм** заменить источником монохроматического света с длиной волны **450 нм**?
15. Почему при выполнении работы не рекомендуется измерять диаметры колец, близких к центру?
16. Как изменится интерференционная картина в ее центре, если линзу постепенно поднимать над пластинкой?
17. Назовите примеры использования установки для наблюдения колец Ньютона.
18. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается монохроматическим светом, падающим нормально. При заполнении пространства между линзой и стеклянной пластинкой прозрачной жидкостью радиусы темных колец в отраженном свете уменьшились в 1,21 раза. Определите показатель преломления жидкости [1,46].

19. На сферической поверхности плоско-выпуклой стеклянной линзы имеется шлифованный плоский участок радиусом 3 мм, которым она соприкасается с плоской стеклянной пластинкой. Радиус кривизны сферической поверхности линзы – 150 см. Найдите радиус шестого светлого кольца при наблюдении в отраженном свете с длиной волны 0,655 мкм.

20. Плосковыпуклая стеклянная линза с радиусом кривизны сферической поверхности 12,5 см прижата к стеклянной пластинке. Диаметры десятого и пятнадцатого темных колец Ньютона в отраженном свете равны 1,00 и 1,50 мм. Определите длину волны света [0,50] мкм.

21. Две соприкасающиеся тонкие симметричные стеклянные линзы – одна двояковыпуклая, другая двояковогнутая – образуют систему с оптической силой 0,50 дптр. В свете с длиной волны 0,61 мкм, отраженном от этой системы, наблюдают кольца Ньютона. Определите:

а) радиус десятого темного кольца;

б) как изменится радиус этого кольца, если пространство между линзами заполнить водой?