



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Физика»

Методические указания
к практическим занятиям
по дисциплине
«Физика»
**«Определение радиуса
кривизны линзы при
помощи колец Ньютона»**

Авторы
Павлов А. Н.,
Брылева М. А.

Ростов-на-Дону, 2020

Аннотация

Указания содержат краткую теорию по теме «Определение радиуса кривизны линзы при помощи колец Ньютона», описание рабочей установки и методику эксперимента.

Предназначено для обучающихся, изучающих дисциплину «Физика» для выполнения лабораторной работы по программе курса общей физики.

Авторы

д.ф.-м.н., профессор А.Н. Павлов,
к.ф.-м.н, доцент М.А.Брылева,



Оглавление

Введение	4
1. Краткая теория	4
2. Описание экспериментальной установки и методика измерения	6
3. Порядок выполнения работы	6
Контрольные вопросы и тесты	8
Задания	8
Список литературы	15
Указания по технике безопасности	15

ВВЕДЕНИЕ

Цель работы: ознакомление с явлением интерференции света и одним из методов его практического использования.

Приборы и принадлежности: система «линза – плоско-параллельная пластинка» для получения колец Ньютона, проекционный фонарь с конденсором, кассета со светофильтром, объектив, экран, оптическая скамья, измерительная линейка.

1. КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Если плосковыпуклую линзу большого радиуса кривизны прижать выпуклой стороной к плоскопараллельной стеклянной пластинке, то между линзой и пластинкой образуется воздушный зазор в виде кольцевого клина. При освещении этого зазора монохроматическим светом можно наблюдать систему концентрических тёмных и светлых колец, обусловленных интерференцией света (кольца Ньютона).

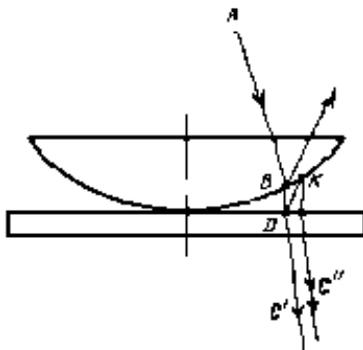


Рис. 1 Система «линза-пластинка».

Пусть на плоскую поверхность линзы падает пучок параллельных световых лучей. На рис. 1 изображен ход произвольного луча А, который частично отражается от верхней стороны воздушного зазора (от выпуклой поверхности линзы) и переходит в зазор. Затем свет отражается в точке D от поверхности пластинки и снова от линзы в точке К. Таким образом образуются два луча С' и С'', идущих в одном направлении, которые будут интерферировать между собой.

Из-за малой кривизны линзы оптическая разность хода лучей С' и С'' может быть с достаточной точностью определена как

$$\Delta = 2h + \lambda_0, \quad (1)$$

где h – толщина зазора в месте падения луча A , λ_0 – длина волны падающего света. (Дополнительная разность хода, равная λ_0 , образуется из-за того, что свет на своём пути дважды отражается от оптически более плотной среды (стекла) в точках D и K).

В результате наложения лучей C' и C'' в точке B образуется либо интерференционный максимум, либо минимум. Геометрическим местом точек, расположенных на верхней поверхности воздушного клина, которым соответствует разность хода (1), будет окружность, что и определяет форму интерференционных полос в виде колец. Чтобы найти радиусы тёмных колец, запишем условие образования интерференционных минимумов:

$$\Delta = \pm(2m + 1) \frac{\lambda_0}{2} \quad (m = 0, 1, 2, \dots). \quad (2)$$

Толщина зазора h , радиус m -го кольца r_m и радиус кривизны линзы R связаны соотношением

$$h = \frac{r_m^2}{2R} \quad (3)$$

Подставляя (3) в (1) и учитывая (2), получим выражение для m -го тёмного кольца:

$$r_m = \sqrt{\left(m - \frac{1}{2}\right) \lambda_0 R} \quad (m = 1, 2, 3, \dots).$$

Определить радиус кривизны R линзы можно, если измерить радиусы r_m и r_n двух тёмных колец (m и n – номера колец, $m < n$). В этом случае

$$R = \frac{(r_n + r_m)(r_n - r_m)}{\lambda_0(n - m)}.$$

На практике удобнее измерять не радиусы, а диаметры тёмных колец, поэтому

$$R = \frac{(d_n + d_m)(d_n - d_m)}{4\lambda_0(n - m)},$$

где d_m и d_n – диаметры тёмных колец.

2. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ И МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ

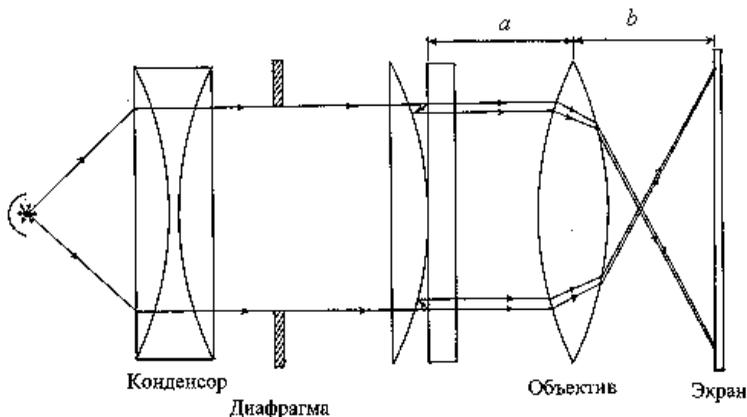


Рис. 2 Общий вид установки.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Оптическая система установки показана на рис. 2. Изучите на ней расположение и назначение отдельных элементов.

2. Включите проекционный фонарь и откорректируйте освещенность оптической системы «линза – пластинка». Для получения монохроматического света используйте светофильтр.

3. Перемещением объектива добейтесь чёткого изображения колец Ньютона на экране, предварительно поместив на него лист белой бумаги.

4. Отметьте на листе положение нескольких (не менее 5) тёмных колец. На рис. 3 в качестве примера указан диаметр 5-го тёмного кольца.

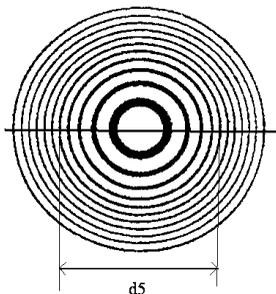


Рис. 3 Кольца Ньютона.

5. Снимите лист с экрана. По диаметрально противоположным точкам на каждом из колец измерьте несколько раз диаметры и найдите средний диаметр каждого кольца. Полученные значения $d_1, d_2, \dots, d_m, \dots, d_n$ занесите в таблицу (в соответствии с их номерами m и n).

Измерьте расстояние от середины объектива до системы «линза – пластинка» a и до экрана b (рис.2).

Таблица 1. Результаты измерений.

№ опыта	n	m	$d_n, \text{ м}$	$d_m, \text{ м}$	$R, \text{ м}$	$\langle R \rangle, \text{ м}$
1	5	1				
2	5	2				
3	5	3				
4	4	1				
5	4	2				

6. Уточните у преподавателя длину волны света λ_0 , пропускаемого светофильтром, и рассчитайте для каждой пары диаметров d_m и d_n , указанных в таблице, радиус кривизны линзы по формуле:

$$R = \left(\frac{a}{b}\right)^2 \frac{(d_n + d_m)(d_n - d_m)}{4(n - m)\lambda_0}.$$

7. Определите среднее значение радиуса кривизны линзы по формуле:

$$\langle R \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_i \quad (\text{м}),$$

где N – число опытов.

8. Определите абсолютную и относительную погрешности

измерения радиуса кривизны линзы:

$$\Delta R = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N (\langle R \rangle - R_i)^2} \quad (\text{м}); \quad \delta R = \frac{\Delta R}{\langle R \rangle} 100\%.$$

9. Запишите результат в виде

$$R = (\langle R \rangle \pm \Delta R), \text{ м}; \quad \delta R = \dots \%$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ТЕСТЫ.

1. Дайте определение явления интерференции.
2. Дайте определение оптической длины пути и оптической разности хода.
3. Выведите формулу для определения оптической разности хода лучей, интерферирующих на тонкой плёнке.
4. Рассмотрите разные случаи интерференции на тонкой плёнке: полосы равной толщины и полосы равного наклона.
5. Объясните, почему в отраженном свете в центре колец Ньютона наблюдается тёмное пятно, а в проходящем – светлое.
6. Для тестов, приведенных далее, выберите правильный вариант ответа:

ЗАДАНИЯ

Задание № 1

Какие волны называются когерентными?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1) волны одинаковой частоты и амплитуды;
- 2) волны с постоянной во времени разностью фаз;
- 3) волны одинаковой частоты и постоянной во времени разностью фаз;
- 4) с постоянной во времени разностью фаз и одинаковой амплитудой.

Задание № 2

Интерференция света – это...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1) взаимодействие двух или нескольких световых волн;

- 2) усиление или ослабление света при наложении двух или нескольких световых волн;
- 3) усиление или ослабление света при наложении волн одинаковой частоты;
- 4) пространственное перераспределение световой энергии при наложении когерентных волн.

Задание № 3

При интерференции световых волн интенсивность результирующей световой волны может быть значительно меньше интенсивности каждой волны в отдельности. Это связано с тем, что энергия волн...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1) поглощается средой;
- 2) превращается в другие виды энергии;
- 3) перераспределяется в пространстве;
- 4) рассеивается.

Задание № 4

Разность фаз двух интерферирующих световых волн при разности хода между ними $3/4$ длины волны равна...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1) $3\pi/2$;
- 2) $2\pi/3$;
- 3) $3\pi/4$;
- 4) среди ответов нет правильного.

Задание № 5

Две когерентные световые волны ($\lambda_0 = 600$ нм) с одинаковой амплитудой интерферируют. Минимальная оптическая разность хода, при которой эти волны полностью ослабляют друг друга, равна...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1) 150 нм;
- 2) 300 нм;
- 3) 600 нм;
- 4) среди ответов нет правильного.

Задание № 6

Два когерентных источника света с длиной волны λ_0 , расположенные в вакууме, создают в некоторой точке экрана максимум освещенности. Как должны быть связаны расстояния L_1 и L_2 от источников до точки наблюдения?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1) $L_1 - L_2 = \lambda/2$;
- 2) $L_1 - L_2 = \lambda$;
- 3) $L_1 + L_2 = \lambda/2$;
- 4) среди ответов нет

правильного.

Задание № 7

Тонкая плёнка с показателем преломления 1,5 освещается светом с длиной волны $\lambda_0 = 600$ нм. При какой минимальной толщине плёнки интенсивность отражённого от неё света резко уменьшится?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

1) 100 нм; 2) 200 нм; 3) 600 нм; 4) среди ответов нет правильного.

Задание № 8

Уменьшить отражение света с длиной волны λ_0 от стеклянной поверхности можно,...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1) покрыв её прозрачной плёнкой с оптической толщиной $\lambda_0/4$;
- 2) покрыв её прозрачной плёнкой с оптической толщиной $\lambda_0/2$;
- 3) покрыв её прозрачной плёнкой с большим чем у стекла показателем преломления и оптической толщиной $\lambda_0/4$;
- 4) покрыв её прозрачной плёнкой с меньшим чем у стекла показателем преломления и оптической толщиной $\lambda_0/4$.

Задание № 9

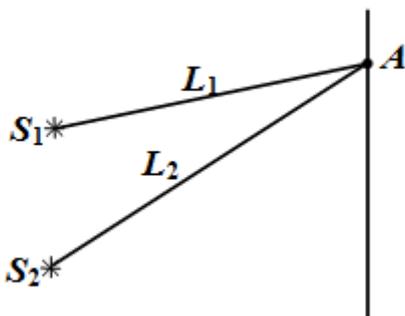
В центре колец Ньютона в отраженном свете всегда наблюдается темное пятно из-за отсутствия отражения света в этом месте, ...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1) так как толщина воздушного зазора меньше длины волны света;
- 2) так как толщина воздушного зазора меньше половины длины волны света;
- 3) так как толщина воздушного зазора меньше длины волны света, и при отражении волны от поверхности пластинки фаза волны изменяется на π ;
- 4) так как толщина воздушного зазора меньше половины длины волны света, и при отражении волны от поверхности пластинки фаза волны изменяется на π .

Задание № 10

Если S_1 и S_2 – источники когерентных волн, а L_1 и L_2 (см. рисунок) – расстояния от точки А до источников, то в точке А наблюдается минимум интерференции в воздухе при условии...



ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1) $L_2 - L_1 = (2m - 1) \frac{\lambda}{2}$, $m = 1, 2, 3, \dots$;
- 2) $L_2 - L_1 = 2m \frac{\lambda}{2}$, $m = 0, 1, 2, 3, \dots$;
- 3) $L_2 - L_1 = m \frac{\lambda}{4}$, $m = 0, 1, 2, 3, \dots$;
- 4) $L_2 - L_1 = m \frac{\lambda}{2}$, $m = 0, 1, 2, 3, \dots$.

Задание № 11

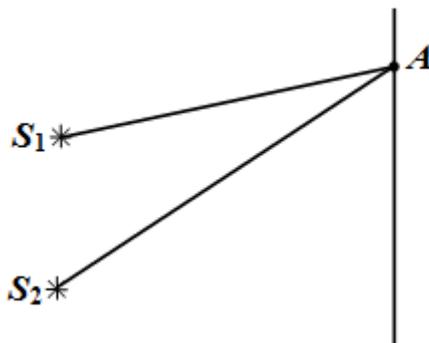
На установку для получения колец Ньютона падает нормально монохроматический свет с длиной волны $\lambda_0 = 500$ нм. Какова толщина воздушного зазора в том месте, где наблюдается пятое тёмное кольцо в отраженном свете?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1) 1,25 мкм; 2) 2,25 мкм; 3) 2,5 мкм; 4) среди ответов нет правильного.

Задание № 12

Для точки А оптическая разность хода лучей от двух когерентных источников S_1 и S_2 равна 1,2 мкм (см. рисунок). Если длина волны в вакууме 600 нм, то в точке А будет наблюдаться...



ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1) максимум интерференции, так как разность хода равна четному числу полуволен;
- 2) минимум интерференции, так как разность хода равна четному числу полуволен;
- 3) минимум интерференции, так как разность хода равна нечетному числу полуволен;
- 4) максимум интерференции, так как разность хода равна нечетному числу полуволен.

Задание № 13

На стеклянной линзе нанесена тонкая пленка, дающая минимум в отраженном свете (просветление оптики). Какие параметры влияют на «эффект просветления»?

- A. Толщина пленки.
- B. Показатель преломления пленки.
- C. Длина волны падающего света.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1) только A;
- 2) A и B;
- 3) только C;
- 4) A и C;
- 5) A, B, C.

Задание № 14

Тонкая пленка на поверхности линзы дает минимум в отраженном свете для зеленого цвета. Чтобы минимум достигался для фиолетового цвета, можно...

- A. Увеличить толщину пленки при неизменном показателе преломления.
- B. Уменьшить толщину пленки при неизменном показателе преломления.

ломления.

С. Увеличить показатель преломления пленки при той же ее толщине.

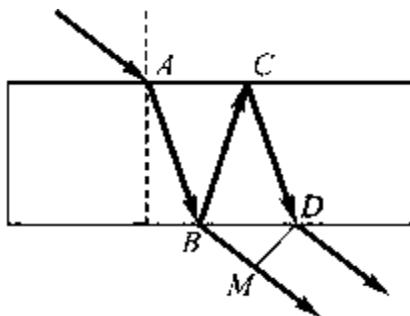
Д. Уменьшить показатель преломления пленки при той же ее толщине.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1) только А; 2) только В; 3) только С; 4) А или С;
5) В или D.

Задание № 15

Свет падает на тонкую пленку с показателем преломления n , большим, чем показатель преломления окружающей среды. Чему равна разность хода лучей на выходе из тонкой пленки?

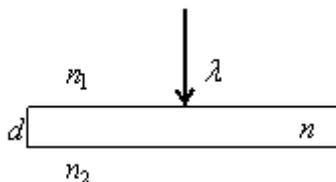


ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ

- 1) BM ; 2) $n(BC+CD)-BM$; 3) $BC+DC$; 4) $n(BC+CD)$.

Задание № 16

Тонкая стеклянная пластинка с показателем преломления n и толщиной d помещена между двумя средами с показателями преломления n_1 и n_2 (см. рисунок). На пластинку нормально падает свет с длиной волны λ . Чему равна разность хода для интерферирующих лучей в отражённом свете? Выберите вариант правильного ответа для каждого из 4 случаев:



- 1) $n_1 > n < n_2$;
- 2) $n_1 > n > n_2$;
- 3) $n_1 < n < n_2$;
- 4) $n_1 < n > n_2$.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1) $2dn + \frac{\lambda}{2}$;
- 2) $2dn$;
- 3) $2dn + \lambda$;
- 4) $2d + \lambda$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.2. СПб.: Лань, 2018-с.347-373.
2. Капуткин Д.Е., Шустиков А.Г. Физика. Обработка результатов измерений при выполнении лабораторных работ (№805). М.: МИСиС. «Учеба», 2007.- 108 с.
3. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Наука, 1976. – 272с.
- 4.Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Академия, 2015. – 560с.

УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Внимание! Лица, не прошедшие инструктаж по технике безопасности, к проведению лабораторной работы не допускаются.

Запрещается:

1. При выполнении работы необходимо строго соблюдать правила техники безопасности и охраны труда, установленные на рабочем месте студента.
2. Категорически запрещается самостоятельное включение источника питания осветителя.
3. При обнаружении неисправного оборудования немедленно сообщайте об этом лаборанту или преподавателю. На неисправном оборудовании работать запрещается.