



**Методические указания к лабораторным работам
по курсу «Оптика»
с использованием виртуального практикума «Физикон»**

В.Д. Степахин, Е.М. Кончиков, В.Д. Борзосеков

Методические указания к лабораторным работам
по курсу «Оптика» с использованием виртуального
практикума «Физикон»

Методическое пособие основано на курсах лекций и практических занятий по курсу общей физики для студентов кафедры физики МБФ ГБОУ ВПО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России.

Материал отбирался с учетом специализации кафедры для студентов обучающихся по специальностям 30.05.01 «медицинская биохимия», 30.05.02 «медицинская биофизика» и 30.05.03 «медицинская кибернетика».

Необходимо отметить, что пособие является почти целиком компилятивным. Вкладом авторов является главным образом отбор материала, проверка и оценка эффективности методик, основанные на личном опыте.

Составители: доцент, к.т.н. В.Д. Степахин, доцент, к.ф.-м.н Е.М. Кончиков, к.ф.-м.н. В.Д. Борзосеков

Под редакцией зав. кафедрой физики МБФ РНИМУ им. Н.И. Пирогова, д.ф.-м.н., профессор Гусейнзаде Н.Г.

Содержание

Допуск к лабораторной работе	3
Лабораторная работа № 1	5
«Изучение микроскопа»	
Лабораторная работа № 2	9
«Опыт Юнга»	
Лабораторная работа № 3	13
«Опыт Ньютона»	
Лабораторная работа № 4	17
«Дифракция Фраунгофера на одной щели»	
Лабораторная работа № 5	21
«Дифракционная решетка»	
Литература	27

Допуск к лабораторной работе

Перед допуском к лабораторной работе необходимо пройти инструктаж по технике безопасности на рабочем месте.

Для получения допуска:

- Каждый студент предварительно оформляет свой персональный конспект в тетради для лабораторных работ (ЛР).
- Преподаватель индивидуально проверяет оформление конспекта и задает вопросы по теории, методике измерений, установке и обработке результатов.
- Студент отвечает на заданные вопросы (письменно в черновике конспекта или устно).
- При выполнении всех выше изложенных пунктов преподаватель допускает студента к работе и ставит свою подпись в конспекте студента (графа ДОПУСК в табличке перед лабораторной работой).

Конспект для допуска к ЛР готовится заранее в тетради в клетку.

1. Сверху на первом листе должна быть приведена таблица

Допуск	Номер бригады	Выполнение	Зачет

2. Название лабораторной работы.
3. Цель работы: ____ (переписать полностью из описания).
4. Краткая теория (выписать основные определения, формулы и пояснить каждый символ, входящий в формулу).
5. Экспериментальная установка (нарисовать чертеж и написать наименование узлов и деталей).
6. Таблицы (состав таблиц и их количество, определить самостоятельно в соответствии с методикой измерений и обработкой их результатов).
7. Оформление отчета.

Оформление лабораторной работы к зачету

Полностью оформленная и подготовленная к зачету работа должна соответствовать следующим требованиям:

1. Выполнение всех **пунктов** раздела описания “Оформление отчета” (в тетради представлены все расчеты требуемых величин, заполнены чернилами все таблицы, построены все графики).

2. **Графики** должны удовлетворять всем требованиям, приведенным ниже.
3. Для всех величин в таблицах должна быть записана соответствующая единица измерения.
4. Сделаны **выводы** по каждому графику (см. ниже шаблон)
5. Приведен **ответ** по установленной форме (см. ниже шаблон).
6. Сделаны и приведены **выводы** по полученному результату (см. ниже шаблон).

Требования к графикам:

- график строится на миллиметровой бумаге, размер не менее 1/2 тетрадного листа,
- на графике: оси декартовой системы, на концах осей - стрелки, индексы величин, единицы измерения,
- на каждой оси - **равномерный масштаб** (риски через равные промежутки, числа через равное количество рисок), если не указан специальный масштаб,
- под графиком - полное название графика **словами**,
- на графике - экспериментальные и теоретические точки ярко, различными цветами и формой точек,
- вид графика соответствует теоретической зависимости (не ломаная).

Анализ графика (шаблон):

Полученный экспериментально график зависимости «название функции словами» от «название аргумента» имеет вид прямой (проходящей через начало координат, параболы, гиперболы, плавной кривой) и качественно совпадает с теоретической зависимостью данных характеристик, соответствующих «формула».

Ответ: По результатам измерений и расчетов получено значение «название физической характеристики», равное «символ» = («среднее» $\pm$ «ошибка») «един. измер.».

Ответ (шаблон):

Полученное экспериментально значение величины «полное название словами», равное «число, единица измерения», с точностью до ошибки измерений, составляющей «число, единица измерения», совпадает (не совпадает) с табличным (теоретическим) значением данной величины, равным «число, единица измерения».

Изучение микроскопа

Цель работы

- Ознакомление с оптической схемой микроскопа.
- Моделирование этой схем из простых линз.
- Проверка формулы увеличения микроскопа.

Краткая теория

Микроскоп предназначен для наблюдения мелких предметов, не различимых глазом. На рис. 1 показано оптическая схема микроскопа.

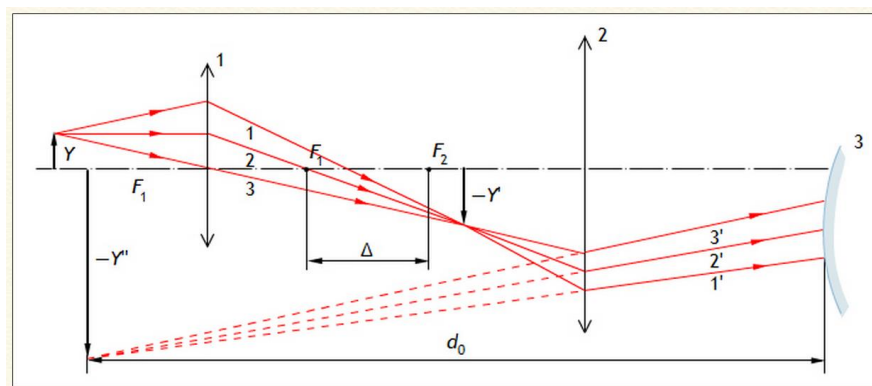


Рис.1.

Микроскоп состоит из двух линз: короткофокусного объектива 1 и окуляра 2, фокусное расстояние которого больше, чем у окуляра. Предмет Y располагается вблизи первого фокуса F_1 объектива так, что действительное увеличенное обратное изображение Y' получается вблизи первого фокуса F_2 окуляра 2 – между ним и окуляром. Окуляр действует как лупа, давая мнимое изображение Y'' на расстоянии наилучшего зрения d_0 ($d_0 = 0,25\text{м}$) от глаза 3, который находится непосредственно за окуляром 2. Лучи 1, 2, 3 позволяют получить изображение Y' ; лучи 1', 2', 3', попадая в систему глаза 3, сходятся на сетчатке глаза, где дают изображение, соответствующее мнимому изображению Y'' , даваемому окуляром как лупой. Без участия глаза изображения не видно, а из окуляра выходит расходящийся пучок лучей. Расстояние Δ между вторым фокусом объектива и первым фокусом окуляра называется оптическим интервалом.

Если предмет Y поместить на расстояние d_1 от объектива микроскопа, его изображение Y' будет находиться от объектива на расстоянии f_1 , удовлетворяющем уравнению

$$\frac{1}{F_{об}} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1}. \quad (1)$$

Изображение предмета будет увеличено при этом

$$k_{об} = \frac{f_1}{d_1} \text{ раз.} \quad (2)$$

Окуляр располагают относительно изображения Y' так, чтобы оно рассматривалось через него как через лупу. Окончательное изображение Y'' будет мнимым и будет отстоять от окуляра на расстоянии f_2 . Если расстояние d_2 от окуляра до промежуточного изображения Y' подобрано так, что оно удовлетворяет уравнению

$$\frac{1}{F_{ок}} = \frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2},$$

то увеличение изображения Y' , даваемое окуляром, при этом окажется равным

$$k_{ок} = \frac{f_2}{d_2} \text{ раз.} \quad (3)$$

Увеличение микроскопа Γ вычисляется как произведение увеличений объектива и окуляра:

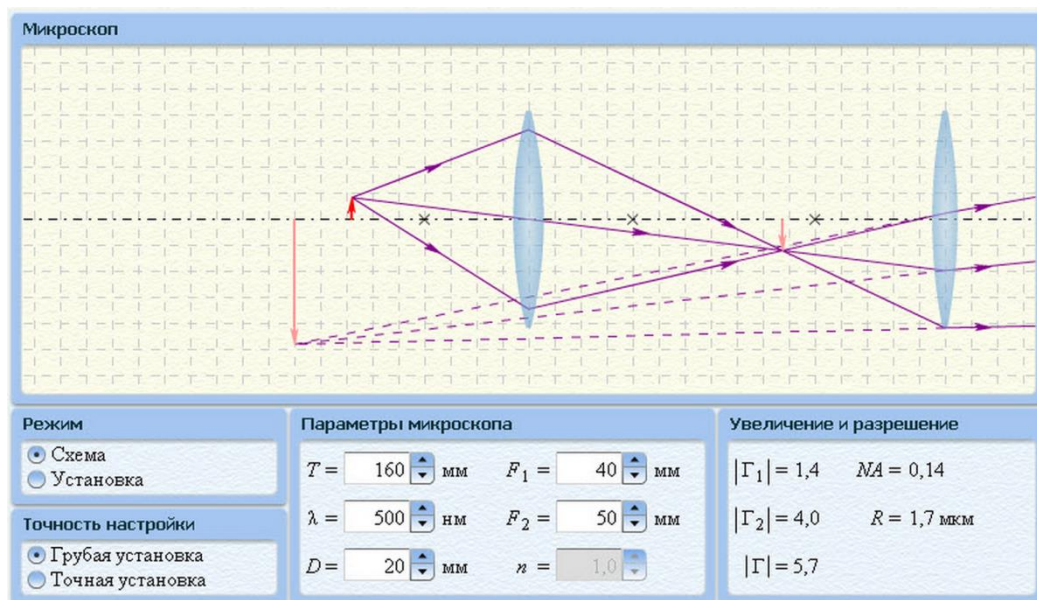
$$\Gamma = k_{об} k_{ок}. \quad (4)$$

В случае, когда F_1 и F_2 много меньше оптического интервала Δ , увеличение микроскопа выражается простой формулой:

$$\Gamma = \frac{d_0 \Delta}{F_1 F_2}. \quad (5)$$

Методика и порядок измерений

Внимательно рассмотрите окно опыта. Найдите все регуляторы и другие основные элементы. Зарисуйте в свой конспект схему опыта.



1. Подведите маркер мыши к окну «Режим» и установите «Схема».
2. Подведите маркер мыши к окну «Точность настройки» и установите «Грубая установка».
3. Подведите маркер мыши к окну «Параметры микроскопа» и установите: $T = 150$ мм, $\lambda = 500$ нм, $D = 20$ мм, а также значения F_1 и F_2 , указанные в таблице 1 для вашей бригады.
4. С помощью миллиметровой линейки измерьте расстояния d_1 , d_2 , f_1 , f_2 и запишите их в таблицу 2.
5. По формулам (2) и (3) и (4) рассчитайте $k_{об}$, $k_{ок}$ и Γ и запишите эти значения в таблицу 2.
6. Рассчитайте по формуле (5) теоретическое значение оптического интервала Δ_T по параметрам, указанным в нижней части окна.
7. Определите масштаб шкалы окна оптической схемы микроскопа. Для этого измерьте с помощью миллиметровой линейки на экране монитора фокусное расстояние F_1 и сопоставьте его значение со значением, указанным в левом нижнем прямоугольнике окна оптической схемы.
8. Измерьте с помощью миллиметровой линейки на экране монитора оптический интервал микроскопа, приведите его в соответствие с масштабом шкалы окна и запишите полученное значение интервала в таблицу 2 (графа Δ_3).
9. Сопоставьте полученные экспериментальные значения оптического интервала и увеличения микроскопа с указанными в окошке опыта значениями и сделайте анализ опыта.
10. Сделайте оценку погрешности измерений.

Таблица 1.

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
F_1 , мм	35	40	45	50	55	60	65	70
F_2 , мм	60	55	50	45	40	45	50	55

Таблица 2.

F_1 , мм	F_2 , мм	d_1 , мм	d_2 , мм	f_1 , мм	f_2 , мм	$k_{об}$	$k_{ок}$	Γ	Δ_3 , мм

Вопросы и задания

1. Что называется линзой?
2. Какая линза называется тонкой?
3. Что такое главная и побочная оптические оси?
4. Что называется фокусом линзы?
5. Как можно построить изображение произвольной точки в любой линзе?
6. Можно ли с помощью рассеивающей линзы получить увеличенное изображение?
7. Можно ли с помощью собирающей линзы получить уменьшенное изображение предмета?
8. Что называется оптической силой линзы, в каких единицах эта сила измеряется?
9. Запишите формулу тонкой линзы.

Лабораторная работа № 2

Опыт Юнга

Цель работы

- Знакомство с процессом сложения когерентных электромагнитных волн и его моделированием.
- Экспериментальное исследование закономерностей взаимодействия световых волн от двух источников (щелей).

Краткая теория

Когерентностью называется согласованное протекание нескольких колебательных или волновых процессов.

Когерентными называются волны, для которых разность фаз возбуждаемых ими колебаний остается постоянной во времени. Когерентными являются гармонические волны с равными частотами.

Интерференцией называется устойчивое перераспределение в пространстве интенсивности суммарной волны, возникающее в результате суперпозиции волн, возбуждаемых несколькими когерентными источниками волн.

Рассмотрим для примера два точечных источника (см. рис.1), расположенных на расстоянии d друг от друга на линии, параллельной экрану. Экран отстоит от линии источников (1 и 2) на расстоянии L . Максимум при интерференции волн на экране наблюдается при условии, что разность хода Δr волн, приходящихся в данную точку, кратная длине волны:

$$\Delta r = m\lambda \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

Формула $d \sin \alpha = m\lambda$ для первого максимума при $L \gg d$, когда

$$\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha \approx \frac{x_{\max}}{L}$$

преобразуется следующим образом:

$$\frac{x_{\max} d}{L} = \lambda, \text{ откуда } x_{\max} = \lambda L \frac{1}{d}.$$

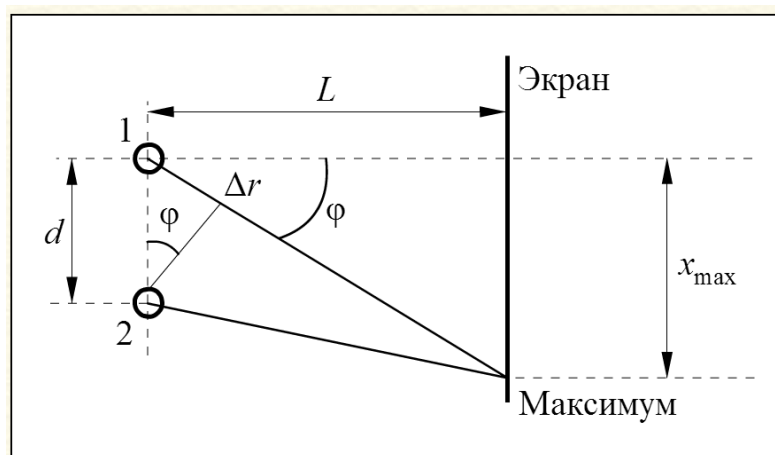
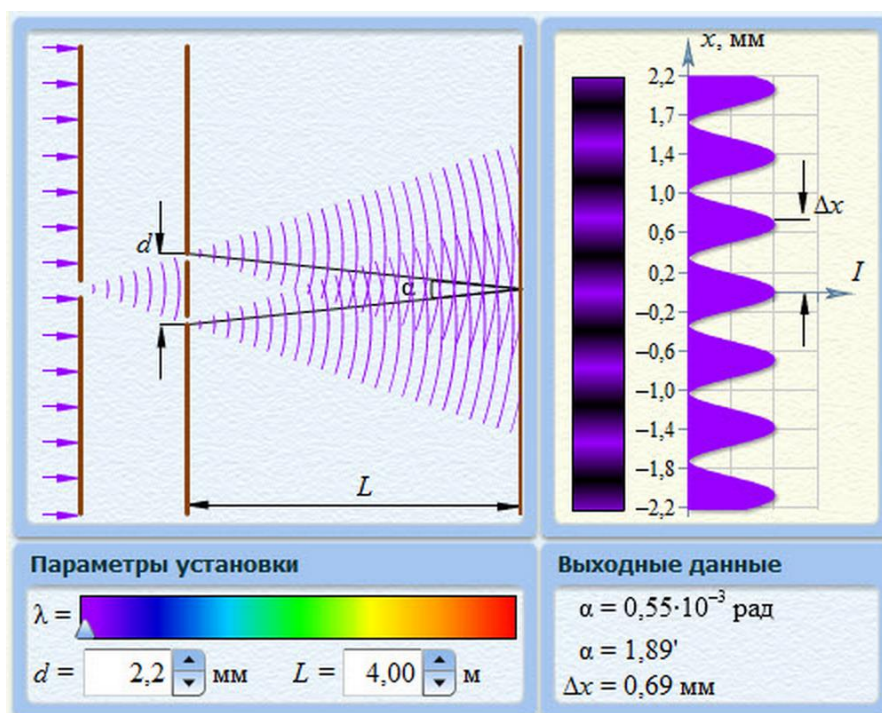


Рис.1. Схема интерференции волн от двух точечных источников.

Методика и порядок измерений

Внимательно рассмотрите рисунок, найдите все регуляторы и другие основные элементы и зарисуйте их в конспект.



Модель интерференции гармонических волн от двух источников.

Зарисуйте необходимое с экрана в свой конспект лабораторной работы.

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

Измерения

1. Подведите маркер мыши к движку регулятора на картинке спектра. Нажмите левую кнопку мыши и удерживая её в нажатом состоянии,

- двигайте движок, установив цвет волны, соответствующий табл. 1 для вашей бригады. Установите так же нужное L_1 .
- Щелкая мышью кнопку регулятора d расстояния между щелями, установите минимальное значение $d = 1$ мм. Измерьте расстояние x_{max} (в модели просто Δx) между нулевым и первым максимумами (используйте «Выходные данные» модели) и запишите в табл. 2.
 - Увеличивая d , измерьте еще 9 значений расстояния x_{max} .
 - Устанавливая новые значения L , из табл. 1 для вашей бригады, повторите измерения по п. 2, записывая результаты в табл. 3 и 4.

Таблица 1.(не перерисовывать). Значение цвета волны

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
Цвет	Фиолет	Синий	Голубой	Зеленый	Желтый	Оранжев	Светло-красный	Темно-красный
L_1 , м	3,0	3,3	3,6	3,9	4,1	4,3	4,4	4,5
L_2 , м	3,1	3,4	3,7	4,0	4,2	4,4	4,5	3,8
L_3 , м	3,2	3,5	3,8	4,1	4,3	4,5	3,0	3,5

Таблица 2 – 4. Результаты измерений для волны _____ цвета при $L = \underline{\hspace{1cm}}$ м

d , мм	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5	2,8	3,0
x_{max} , мм										
$1/d$, мм ⁻¹										

Обработка результатов и оформление отчета

- Рассчитайте и внесите в таблицы значения обратного расстояния между щелями $1/d$.
- Постройте на одном рисунке графики экспериментальных зависимостей смещения первого максимума x_{max} от обратного расстояния между щелями (указав на каждой величину L).
- Для каждой линии определите по графику экспериментальное значение λ , используя формулу:

$$\lambda = \frac{\Delta x_{max}}{L \cdot \Delta\left(\frac{1}{d}\right)}.$$

- Запишите ответ и проанализируйте ответ и графики.

Вопросы и задания

- Что такое волна?
- Что такое гармоническая волна?

3. Что такое длина волны?
4. Напишите математическое условие того, что функция $f(x, t)$ описывает волну.
5. Что определяет форму волны и направление её распространения?
6. Напишите математическую функцию, определяющую одномерную гармоническую волну, распространяющуюся в положительном направлении оси Ox .
7. Как связаны длина волны и ее частота?
8. Что такое когерентность?
9. Что такое свет?
10. Что такое монохроматические волны?
11. Как получают монохроматические волны?
12. Как получают когерентные волны?
13. Могут ли интерферировать монохроматические волны?
14. Дайте определение когерентных волн.
15. Дайте определение явления интерференции.
16. Что такое разность хода двух одинаковых гармонических волн, излучаемых двумя источниками?
17. При какой разности хода двух волн при их сложении наблюдается максимум?
18. При какой разности хода двух волн при их сложении наблюдается минимум?

Лабораторная работа № 3

Опыт Ньютона

Цель работы

- Знакомство с моделированием явления интерференции света в тонких пленках.
- Изучение интерференции полос равной толщины в схеме колец Ньютона.
- Определение радиуса кривизны линзы.

Краткая теория

Классическим примером полос равной толщины являются кольца Ньютона. Они наблюдаются при отражении света от воздушного зазора, образованного плоскопараллельной пластинкой и соприкасающейся с ней плосковыпуклой линзой с большим радиусом кривизны (рис.1).

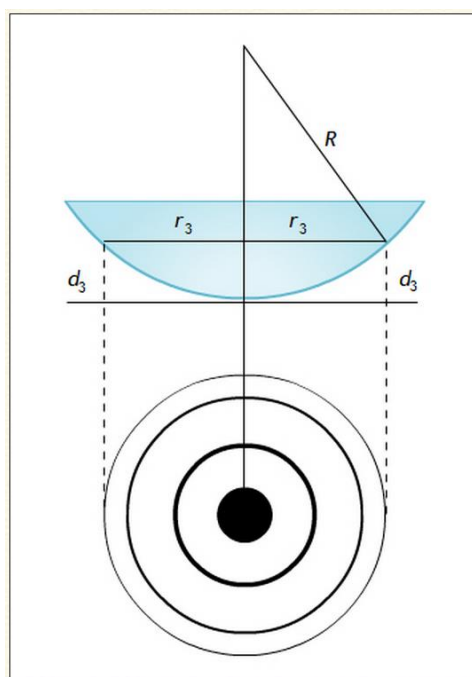


Рис.1.

Если на линзу падает пучок монохроматического света, то световые волны, отраженные от верхней и нижней поверхностей воздушной прослойки, будут интерферировать между собой. При этом образуются интерференционные полосы, имеющие форму концентрических светлых и темных колец убывающей ширины.

В отраженном свете оптическая разность хода с учетом потери полуволны будет равна:

$$\Delta = 2d + \frac{\lambda}{2}, \quad (1)$$

где d – толщина воздушного зазора. Из рис. 1 следует, что

$$r^2 = R^2 - (R - d)^2 = 2Rd - d^2. \quad (2)$$

Учитывая, что d^2 является величиной второго порядка малости, то из (2) получим

$$d = \frac{r^2}{2R}. \quad (3)$$

Следовательно,

$$\Delta = \frac{r^2}{R} + \frac{\lambda}{2}. \quad (4)$$

В точках, для которых оптическая разность хода равна

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

возникают тёмные кольца. Из формул (4) и (5) радиус k -го темного кольца будет равен:

$$r_k^2 = kR\lambda. \quad (6)$$

Формула (6) позволяет определить радиус кривизны линзы:

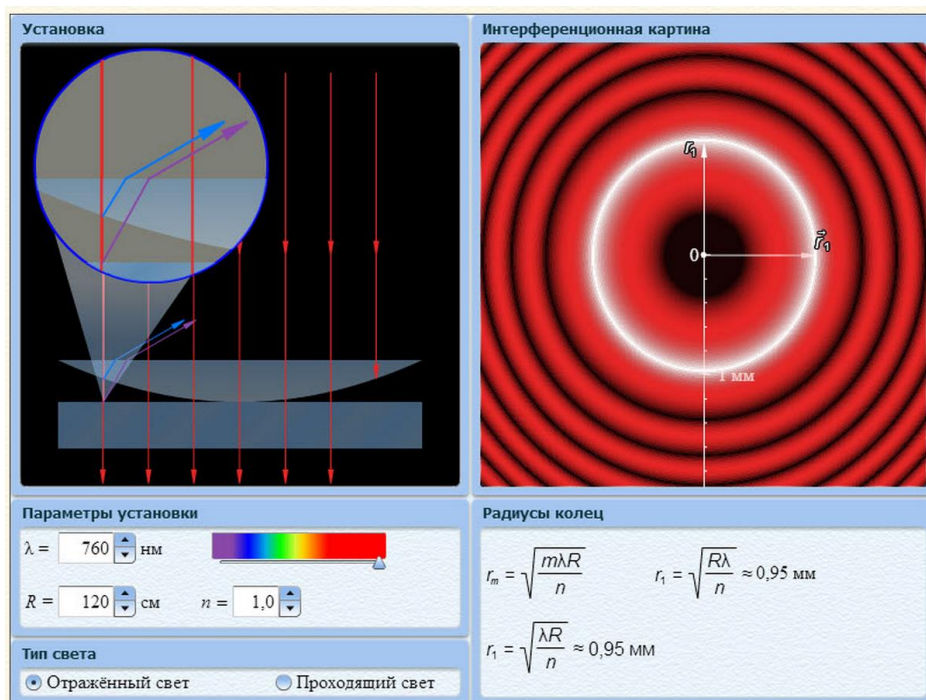
$$R = \frac{r^2}{k\lambda}.$$

Вследствие деформации стекла, а также наличия на стекле пылинок невозможно добиться плотного примыкания линзы и пластины в одной точке. Поэтому при определении радиуса кривизны линзы пользуются другой формулой, в которую входит комбинация из двух значений радиусов интерференционных колец и , что позволяет исключить возможный зазор в точке контакта линзы r_m и r_n стеклянной пластины:

$$R = \frac{r_m^2 - r_n^2}{(m - n)\lambda}. \quad (7)$$

Методика и порядок измерений

Внимательно рассмотрите окно опыта. Найдите все регуляторы и другие основные элементы. Зарисуйте в свой конспект схему опыта.



1. Подведите маркер мыши к окну «Параметры установки» и установите длину волны света и радиус кривизны линзы, указанные в таблице 1 для вашей бригады.
2. Подведите маркер мыши к окну «Тип Света» и установите «Отраженный свет»
ВНИМАНИЕ! Цель работы – проверить соответствие установочного значения радиуса кривизны линзы рассчитанного по формуле (7).
3. По формуле $r_m = r_1 \sqrt{m}$ и указанному значению r_1 в правом нижнем окне опыта рассчитайте значение радиусов 3, 4, 5 и 6-го тёмных колец Ньютона и запишите эти значения в таблицу 2.
4. По формуле (7) для $m_1 = 3$ и $n_1 = 5$ и $m_2 = 4$ и $n_2 = 6$ рассчитайте радиусы кривизны линзы R_1^* и R_2^* и запишите эти значения в таблицу 2.
5. Установите мышью вторые значения радиуса кривизны линзы и длины волны из таблицы 1 и выполните измерения пп. 3 и 4.
6. Проанализируйте полученные результаты и оцените погрешность проведенных измерений.

Таблица 1. Значение длины волны и радиуса кривизны линзы

Бригады	λ_1 , нм	λ_2 , нм	R_1 , см	R_2 , см
1, 5	400	640	50	180
2, 6	460	680	70	160
3, 7	520	730	90	140
4, 8	560	760	110	120

Таблица 2. Результаты измерений и расчетов

λ_1 _____, R_1 _____				λ_2 _____, R_2 _____			
r_3	r_5	r_4	r_6	r_3	r_5	r_4	r_6
$R_1^* =$		$R_2^* =$		$R_3^* =$		$R_4^* =$	

Вопросы и задания

1. Что такое полосы равной толщины и равного наклона? Где они локализованы?
2. Проведите расчет интерференционной картины в тонкой пленке.
3. Что называется временем когерентности некогерентной волны?
4. Что называется длиной когерентности?
5. Почему для некогерентного света число видимых интерференционных колец будет ограниченным? От чего будет зависеть это число?
6. Объясните, почему расстояние между кольцами изменяется с изменением радиуса кривизны линзы при неизменной длине волны?
7. Как изменится картина колец Ньютона, если воздушный зазор между линзой и пластиной заполнить водой?
8. Почему в отраженном свете в центре наблюдается темное кольцо?
9. Как изменится картина колец Ньютона, если наблюдение проводить в проходящем свете?
10. Почему масляное пятно на поверхности жидкости имеет радужную окраску?
11. Объясните, как явление интерференции света в тонких пленках используется для просветления оптики?

Лабораторная работа № 4

Дифракция Фраунгофера на одной щели

Цель работы

- Знакомство со схемой дифракции Фраунгофера от одной щели в когерентном свете.
- Определение углов дифракции в параллельных лучах.

Краткая теория

Дифракция Фраунгофера наблюдается в том случае, когда источник света и точка наблюдения бесконечно удалены от препятствия, вызвавшего дифракцию. Схема наблюдения дифракции Фраунгофера от одной щели показана на рис. 1.

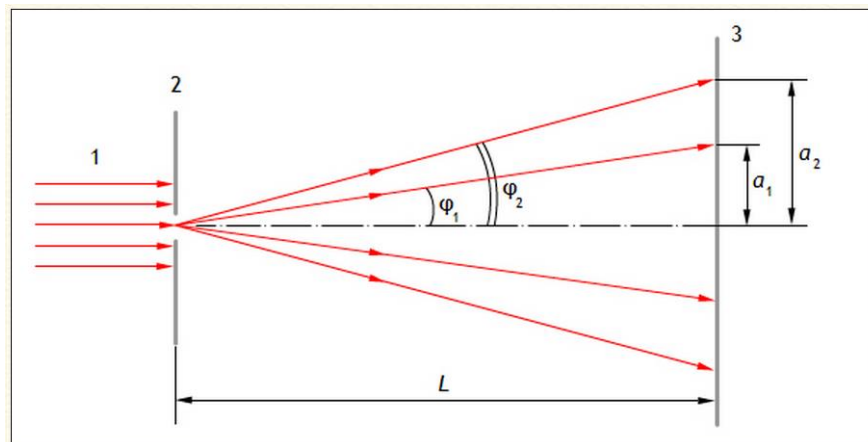


Рис.1.

Параллельный монохроматический пучок света 1 падает нормально на щель 2, длина которой много больше её ширины d . Согласно принципу Гюйгенса, каждая точка плоскости щели, до которой дошло световое колебания, становится источником вторичных волн, распространяющихся во все стороны под углами дифракции $\varphi_1, \varphi_2, \dots$, то есть свет дифрагирует при прохождении через щель. Дифрагированные пучки являются когерентными и могут интерферировать при наложении. Результат интерференции в виде полос с периодическим распределением интенсивности наблюдается на экране 3, находится на расстоянии L . Условие дифракционного максимума на основе метода зон Френеля определяемой формулой:

$$d \sin \varphi = \pm (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, (m = 1, 2, \dots).$$

Более точный расчёт интерференционной картины от одной щели даёт следующие формулы, определяющие углы дифракции, соответствующие дифракционным максимумам:

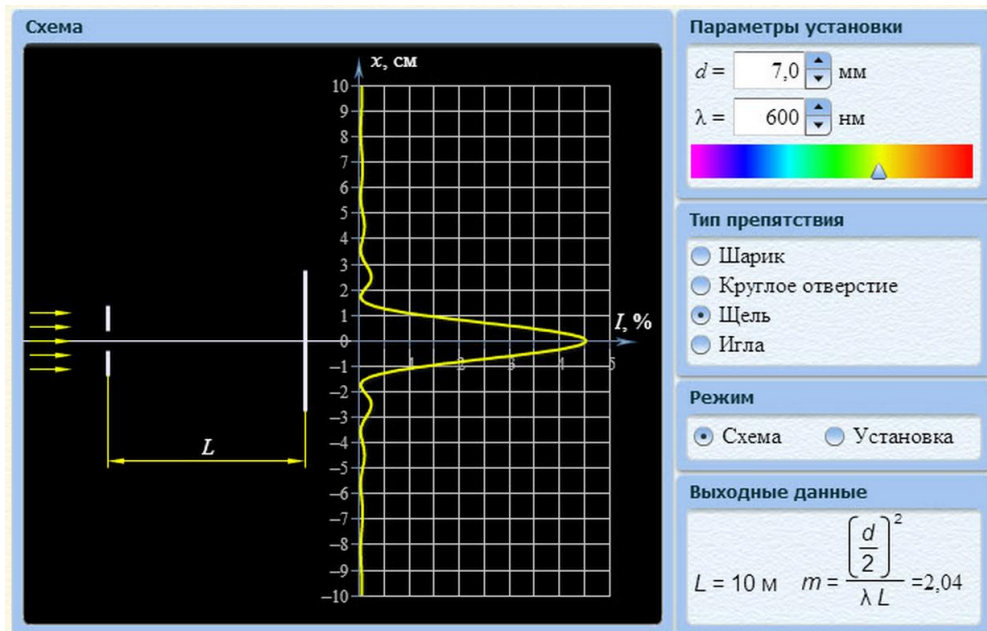
$$\begin{aligned} \text{первого порядка: } d \sin \varphi_1 &= \pm 1,43\lambda; \\ \text{второго порядка: } d \sin \varphi_2 &= \pm 2,46\lambda; \\ \text{третьего порядка: } d \sin \varphi_3 &= \pm 3,47\lambda. \end{aligned} \quad (1)$$

Из этих формул, зная ширину щели d и длину волны света λ , можно теоретически рассчитать направления на точки экрана, в которых амплитуда, а, следовательно, и интенсивность света максимальна. Аналогичные расчёты можно сделать из экспериментальных данных по измеренным на опыте значениям φ_1 , φ_2 и φ_3 и заданному расстоянию между щелью и экраном L : (для малых углов допускаем $\sin \varphi = \operatorname{tg} \varphi$). Тогда:

$$\sin \varphi_1 \approx \frac{a_1}{L}; \sin \varphi_2 \approx \frac{a_2}{L}; \sin \varphi_3 \approx \frac{a_3}{L}; \quad (2)$$

Методика и порядок измерений

Ознакомьтесь с конспектом лекции и учебником. Запустите программу компьютерного моделирования. Выберите модель «Дифракция света». Прочитайте краткие теоретические сведения. Подготовьте конспект.



1. Подведите маркер мыши к окну «Параметры установки», установите ширину щели 7 мм и первую длину волны света, указанные в таблице 1 для вашей бригады.
2. Подведите маркер мыши к окну «Тип препятствия» и выберите «Щель».
3. Подведите маркер мыши к окну «Режим» и выберите «Схема».

- Измерьте, используя шкалу на экране, расстояние a_1 между нулевым и первым максимумами, a_2 – между нулевым и вторым максимумами и так далее, до четвертого максимума. Запишите эти значения в таблицу 2.
- Согласно таблице 1, устанавливая новые числовые значения длины волны λ для вашей бригады, повторите измерения по пункту 2, записывая результаты измерения в таблицы, аналогичные таблице 2.

Таблица 1. Значения длины волны λ (нм).

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
λ_1	400	405	410	415	420	425	430	435
λ_2	500	505	510	515	520	525	530	540
λ_3	580	585	590	595	600	605	610	615
λ_4	630	635	640	645	650	655	660	665

Таблица 2.

	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4
a_1 , мм				
a_2 , мм				
a_3 , мм				
a_4 , мм				
$\sin \varphi_1 \times 10^3$				
$\sin \varphi_2 \times 10^3$				
$\sin \varphi_3 \times 10^3$				
$\sin \varphi_4 \times 10^3$				

Обработка результатов и оформление отчета

- Измерьте по шкале экрана и внесите в таблицы значения a_1 , a_2 , a_3 , a_4 .
- Рассчитайте по формулам (2) и внесите в таблицы значения синусов углов дифракции.
- Сравните полученные результаты с теоретическими, рассчитанными по формулам (1).
- Оцените абсолютную ошибку измерений углов дифракции.
- Проведите качественные наблюдения изменения дифракционной картины при увеличении размера щели от минимального до его максимального значения при неизменной длине волны и запишите результаты этих наблюдений в свой отчет.

Вопросы и задания

1. Что называется дифракцией Фраунгофера?
2. Что называется дифракцией Френеля?
3. Что такое световая волна?
4. Что такое зона Френеля?
5. Что такое пятно Пуассона и почему оно возникает?
6. Запишите условия максимумов и минимумов при дифракции Френеля и дифракции Фраунгофера.
7. Решите задачу, предложенную в работе под знаком вопроса в верхней части экрана.

Лабораторная работа № 5

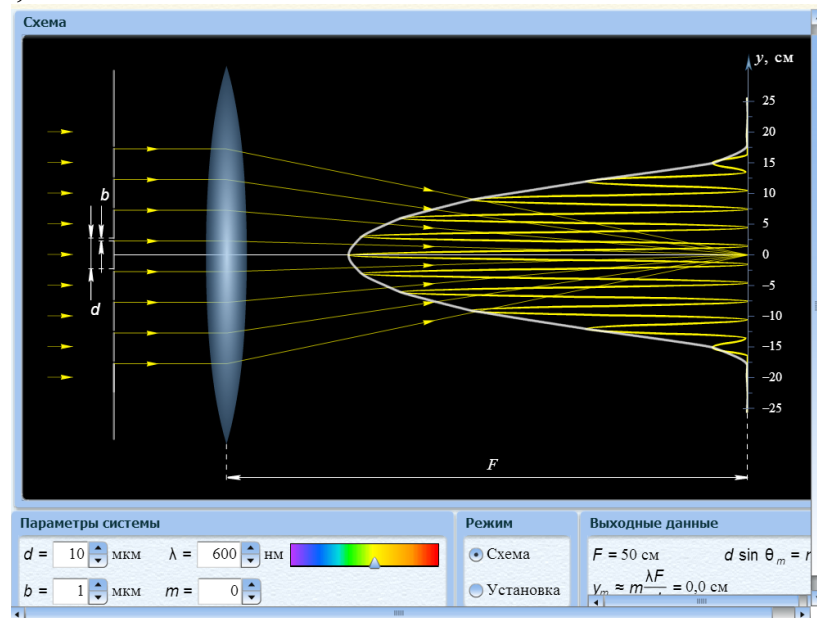
Дифракционная решетка

Цель работы

- Знакомство с процессами сложения когерентных электромагнитных волн и его моделирование.
- Экспериментальное исследование закономерностей взаимодействия световых волн с периодической структурой (дифракционной решеткой).

Краткая теория

Модель, схема.



Дифракционная решетка.

Зарисуйте с экрана компьютера (или схемы) то, что поясняет работу дифракционной решетки.

Дифракционной решеткой называется совокупность большого числа N одинаковых, отстоящих друг от друга на одно и то же расстояние прямоугольных щелей в плоском непрозрачном экране.

Периодом (постоянной) дифракционной решетки называется расстояние d между серединами щелей или сумма ширины b и ширины непрозрачного участка a .

При анализе излучения, проходящего через решетку, обычно используют линзу и экран, расположенный в фокальной плоскости линзы на расстоянии L от нее. Линза собирает параллельные лучи в одну точку на экране. То есть $L = F$.

Положение y точки на экране зависит от угла падения θ лучей на экран: $y = L \sin \theta$. Для очень малых углов:

$$\sin \theta \approx \theta \text{ и } y = \theta L.$$

Разность хода лучей от соседних щелей:

$$\Delta = d \sin \theta.$$

Разность фаз лучей от двух соседних лучей:

$$\delta = 2\pi \frac{\Delta}{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta.$$

Условия максимума соответствует разности хода, кратной длине волны

$$d \sin \theta = \pm m\lambda, (m = 0, 1, 2, \dots - \text{порядок максимума}).$$

Интенсивность излучения, идущего от решетки под углом θ :

$$I = I_0 \frac{\sin^2(\frac{\pi b \sin v}{\lambda})}{(\frac{\pi b \sin v}{\lambda})^2} \frac{\sin^2(\frac{N\pi d \sin v}{\lambda})}{\sin^2(\frac{\pi d \sin v}{\lambda})},$$

где I_0 – интенсивность, создаваемая одной щелью против центра линзы, b – ширина щели.

Первый сомножитель обращается в ноль в точках, для которых:

$$b \sin \theta_k = \pm k\lambda (k = 0, 1, 2, \dots).$$

Поскольку обычно ширина b щели много меньше постоянной решетки d (расстояния между центрами щелей), ширина нулевого максимума достаточно велика и можно не учитывать влияние первого сомножителя.

Второй множитель принимает максимальное значение N^2 в точках, удовлетворяющих условию:

$$d \sin(\theta_m) = \pm m\lambda \quad (m = 0, 1, 2, \dots),$$

$$y_m = v_m L = \pm m \frac{\lambda}{d} L = \pm m \frac{\lambda F}{d}.$$

Последнее условие определяет положение **главных максимумов** излучения после прохождения через дифракционную решетку, а m называется порядком главного максимума.

Методика и порядок измерений

Внимательно рассмотрите рис.1, найдите все регуляторы и другие основные элементы и зарисуйте их в конспект.

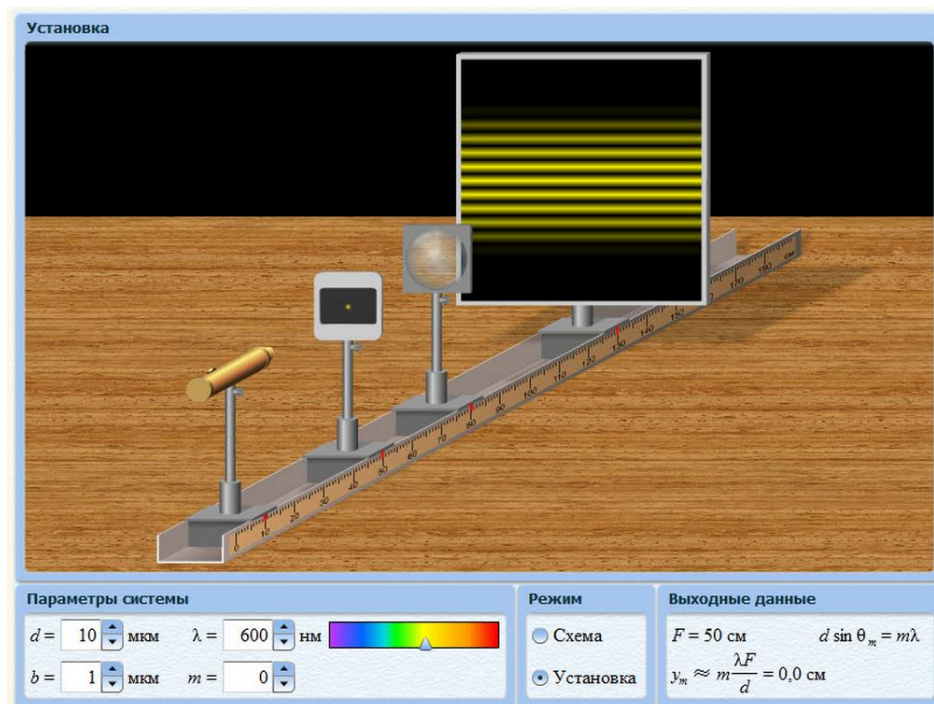


Рис.1. Модель эксперимента с дифракционной решеткой.

Нажимая левую кнопку мыши, меняйте m от 0 до 3 и наблюдайте изменение числового значения координаты максимума в окне «Выходные данные». Установите длину волны излучения, соответствующую красному цвету, и, меняя m и d , снова наблюдайте картину интерференции.

Измерения

Нажмите мышью кнопку, около которой написано «Схема».

Установите расстояние между щелями $d = 10$ мкм и ширину щели $b = 1$ мкм.

Подведите маркер мыши к кнопке на спектре и нажмите левую кнопку мыши. Удерживая кнопку в нажатом состоянии, перемещайте ее до тех пор, пока не попадете в нужную часть спектра, указанную в табл. 1 для вашей бригады.

Изменяя с помощью регулятора номер максимума m , определите координаты соответствующих максимумов на экране (используя график и информацию в окне «Выходные данные»). Запишите значения координат в табл. 2.

Увеличивая d на 3 мкм, повторите измерения по п.2.

Установив новое значение длины волны из табл. 1 повторите измерения, записывая результаты в табл. 3 и 4.

Таблица 1. Примеры значения длины волны

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
λ_1 , нм	400	410	420	430	440	450	460	470
λ_2 , нм	500	510	520	530	540	550	560	570
λ_3 , нм	600	610	620	630	640	650	660	670

Таблицы 2, 3 и 4. Результаты измерений при $\lambda = \rule{1cm}{0.4pt}$ нм.

d , мкм	10	13	16	18	20	23	26	28	30
$1/d$, 10^5 м^{-1}									
y_{m1} , мм									
y_{m2} , мм									
y_{m3} , мм									

Обработка результатов и оформление отчета

Вычислите и запишите в табл. 2, 3 и 4 обратные периоды решетки.

По результатам табл. 2 постройте на одном рисунке графики экспериментальных зависимостей положения трех первых главных максимумов от обратного периода решетки для первой длины волны (указав номер максимума).

На втором и третьем рисунках постройте аналогичные графики по результатам табл. 3 и 4.

По наклону каждого графика определите экспериментальное значение ширины щели, используя формулу:

$$F = \frac{\Delta y_m}{m\lambda \cdot \Delta(\frac{1}{d})}.$$

Вычислите среднее значение фокусного расстояния линзы, проанализируйте ответы и графики.

Истинное значение $F = 50$ см.

Вопросы и задания

1. Дайте определение световой волны.
2. Дайте определение гармонической волны.
3. Дайте определение электромагнитной волны.
4. Напишите формулу зависимости напряженности электрического поля от времени и координаты для одномерной гармонической ЭМВ, распространяющейся вдоль оси Ox .
5. Какие волны называются когерентными?
6. Дайте определение дифракции.
7. Что такое дифракционная решетка?
8. Для каких целей используются дифракционная решетка?
9. Что мы увидим, если в дифракционной решетке закрыть все щели, кроме одной?
10. Что такое постоянная дифракционной решетки?
11. Зачем между дифракционной решеткой и экраном ставится собирающая линза?
12. Напишите формулу разности хода лучей, идущих от двух соседних щелей дифракционной решетки.

13. При какой разности хода лучей от соседних щелей решетки наблюдается максимум при их сложении?
14. При какой разности хода лучей от соседних щелей решетки наблюдается минимум при их сложении?
15. Напишите формулу разности фаз лучей от соседних щелей.
16. Как формируются главные максимумы дифракционной картины?
17. Нарисуйте, как распространяется после решетки одна плоская гармоническая волна, падающая перпендикулярно плоскости решетки.
18. Нарисуйте, как будут распространяться после решетки две плоские гармонические волны с близкими длинами волн, падающие перпендикулярно плоскости решетки.
19. Можно ли сделать дифракционную решетку для радиолокационной волны? Как она будет отличаться от обычной дифракционной решетки для видимого света?
20. Применяются ли дифракционные решетки в радиолокации?
21. Как подобрать длину волны локатора, использующего дифракционную решетку на борту самолета?

Литература

1. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высшая школа, 2004.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высшая школа, 2006.
3. Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики. М.: Высшая школа, 2000.