



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Физика»

Виртуальный практикум

Лабораторная работа № 22-В
«Дифракция света на дифракционной
решётке»
по дисциплине

«Физика»

Авторы
Кудря А. П.,
Жданова Т. П.,
Лемешко Г. Ф.,
Егорова С. И.

Ростов-на-Дону, 2021

Аннотация

Настоящая лабораторная работа посвящена изучению дифракции на дифракционной решётке. Рассмотрено влияние изменения параметров оптической схемы на распределение интенсивности света в дифракционной картине; исследована зависимость распределения интенсивности света на экране от параметров дифракционной решетки.

Практикум предназначен для самостоятельной работы студентов всех форм обучения, изучающих физику, при подготовке и проведении учебного виртуального эксперимента, особенно при дистанционном обучении.

Авторы

ст. преподаватель	кафедры	«Физика»
Кудря А.П.,		
к.ф.-м.н., доцент	кафедры	«Физика»
Жданова Т.П.,		
к.ф.-м.н., профессор	кафедры	«Физика»
Лемешко Г.Ф.,		
д.ф.-м.н., профессор	кафедры	«Физика»
Егорова С.И.		

Оглавление

Краткая теория	4
Подготовка к эксперименту.....	7
Выполнение работы	8
Контрольные вопросы	11
Список литературы	11

Цель работы: 1) рассмотреть влияние изменения параметров оптической схемы на распределение интенсивности света в дифракционной картине; 2) исследовать зависимость распределения интенсивности света на экране от параметров дифракционной решетки.

Оборудование: ЭВМ с программой виртуального эксперимента

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Дифракция - огибание волной препятствий, соизмеримых с длиной волны, когда свет заходит в область геометрической тени.

Дифракция Фраунгофера – это дифракция в параллельных лучах.

Дифракция Френеля – это дифракция в сходящихся лучах.

Дифракционной решеткой называется оптический прибор, состоящий из одинаковых щелей, расположенных друг от друга на одинаковом расстоянии. Расстояние между соседними щелями называется периодом (постоянной) решетки $d = a + b$, где b - ширина щели, a - расстояние между щелями (рис.1).

Дифракция света на дифракционной решетке реализуется оптической схемой, представленной на рисунке 1. Параллельный пучок монохроматического света падает по нормали на решетку ($ДР$) с периодом (AB). Согласно *принципу Гюйгенса-Френеля* каждая точка фронта волны, достигшей щели, становится источником вторичных когерентных волн, которые интерферируя, образуют новый фронт волны. В результате дифракции свет заходит в область геометрической тени и, пройдя собирающую линзу (L), проецируется на экран ($Э$) в виде дифракционной картины, распределение интенсивности в которой приведено на рис.1. Направление, в котором ни от одной щели не исходит свет (в каждой щели четное число зон Френеля), соответствует *главному минимуму*:

$$b \sin \varphi = \pm m \lambda, \text{ где } m = 1, 2, 3 \dots \quad (1)$$

Направление, в котором от каждой щели исходит свет (в каждой щели нечетное число зон Френеля), и колебания светового вектора совпадают по фазе, соответствует главному максимуму. Для получения условия главного максимума выберем два параллельных луча, исходящих из соседних щелей под углом φ . Проведем фронт дифрагированной волны (AC). Из треугольника ABC оптическая разность хода для этих лучей $\Delta = d \sin \varphi$, а между первым и N -м лучами

$$\Delta = N d \sin \varphi. \quad (2)$$

(Оптическая разность хода равна разности оптических длин; оптическая длина – это произведение геометрического пути на относительный показатель преломления).

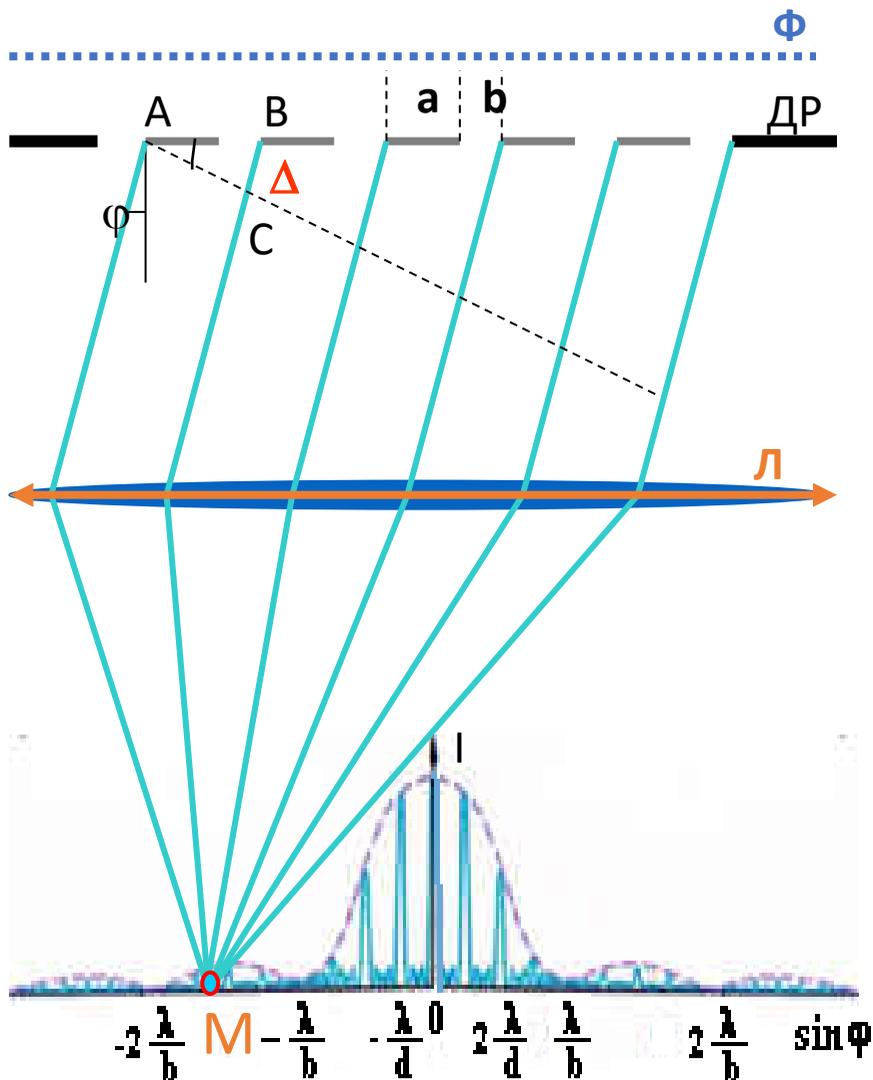


Рис. 1

Синфазное колебание световых векторов возможно при разности фаз $\Delta\varphi = (2\pi / \lambda)\Delta = (2\pi / \lambda)m' / \lambda$, где $m' = 0, N, 2N, 3N, \dots$. Следовательно, уравнение (2) примет вид: $N d \sin \varphi = \pm m' \lambda$ или $d \sin \varphi = \pm (m' / N) \lambda = \pm k \lambda$, где $k = 0, 1, 2, 3, \dots$ - порядок максимума.

Таким образом, условие *главного максимума*:

$$d \sin \varphi = \pm k \lambda . \quad (3)$$

Между соседними максимумами располагаются $N - 1$ добавочных минимумов. Они возникают в тех направлениях, для которых колебания от отдельных щелей взаимно погашают друг друга. Положение *добавочных минимумов* определяется условием:

$$d \sin \varphi = \pm (m' / N) \cdot \lambda , \text{ где } m' = 1, 2, 3 \dots N - 1, N + 1 \dots \quad (4)$$

В промежутках между $N - 1$ минимумами располагаются $N - 2$ вторичных максимумов, интенсивность которых составляет $\sim 1/22$ от интенсивности соседних максимумов (рис.2).

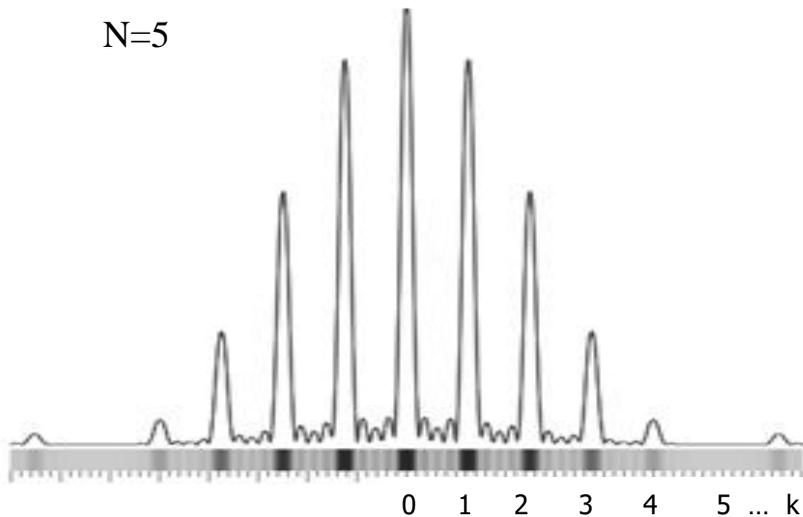


Рис.2

При наложении дифракционной картины от одной щели (пунктирная линия рис.1) на дифракционную картину от N щелей (от решётки) наблюдаем, что *главный минимум* m накладывается на определенный *главный максимум* k . Так как в этом случае углы дифракции совпадают, то совместное решение уравнений (1) и (3) позволяет определить порядок главного максимума k , совпадающий с главным минимумом m :

$$k = \left(\frac{a}{b} + 1 \right) \cdot m. \quad (5)$$

Из уравнения (5) следует, что если $a = b$, то главный минимум 1-го порядка совпадает с главным максимумом 2-го порядка, а при

$m=2$, $k=4$ и т.д.. На рисунке 2 приведена дифракция монохроматического света на решетке, в которой $a=4b$ главный минимум 1-го порядка совпадает с главным максимумом 5-го порядка, т.е. как бы «вырезает» его.

С увеличением числа щелей в решетке:

1) увеличиваются интенсивности главных максимумов I_{\max} в N^2 раз больше интенсивности I_{φ} , создаваемой в направлении φ одной щелью: $I_{\max} = N^2 I_{\varphi}$;

2) ширина главных максимумов уменьшается: $\Delta x \propto 1/N$;

3) интенсивность вторичных максимумов убывает.

На рис. 1 представлено распределение интенсивности света на экране от дифракционной решетки $a/b=3$; штриховая линия, проходящая через вершины главных максимумов, изображает интенсивность от одной щели, умноженную на N^2 .

ПОДГОТОВКА К ЭКСПЕРИМЕНТУ

Виртуальный эксперимент по дифракции Фраунгофера на дифракционной решетке осуществляют с помощью установки, представленной на рис. 3. Оптическая схема установки включает в себя: дифракционную решетку (DP), период которой можно изменять в диапазоне $d=(20\div 200)$ мкм; линзу (L) с переменным фокусом, который регулируют в диапазоне $L=(10\div 100)$ см; экран (\mathcal{E}), расположенный в фокальной плоскости линзы и снабженный миллиметровой шкалой $x=\pm 40$ мм. Важно знать, что линза вплотную прилегает к щели, т.е. $F=L$, и она не изменяет оптическую разность хода.

[Освещение диафрагмы осуществляется путем клика левой кнопкой мыши \(ЛКМ\) по выбранному цвету в сплошном спектре или по белому прямоугольнику.](#)

Обработку результатов эксперимента можно производить с помощью встроенного калькулятора, предварительно внося в него измеренные величины L , d , x . Чтобы получить ответ, необходимо кликнуть ЛКМ по активированному прямоугольнику в столбце « λ , нм».

Кроме того, по ссылке «Информация» осуществляется переход на страницу, где приведены биографии известных ученых, создавших экспериментальные и теоретические основы дифракции света. На этой же странице можно подробно познакомиться: с дифракцией Френеля и его зонной теорией; с дифракцией Фраунгофера на одиночной щели и на дифракционной решетке.

На главной панели имеется переключатель, с помощью

которого осуществляется установка для эксперимента щелевой диафрагмы или дифракционной решетки. Количество щелей в решетке устанавливают в верхней левой части рабочей панели, кликнув ЛКМ в области буквы N .

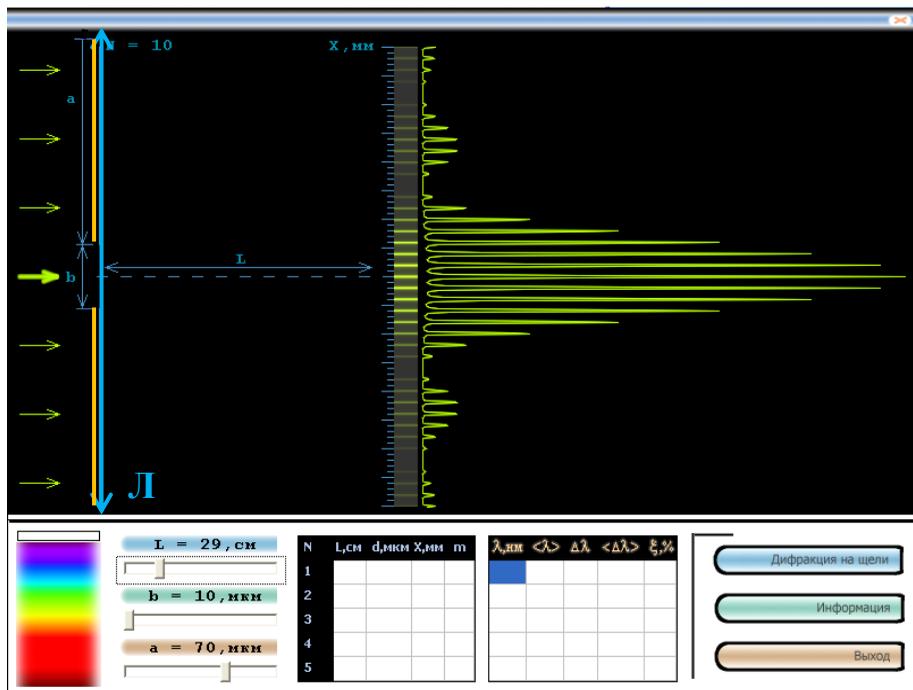


Рис. 3

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Задание 1. *Исследование зависимости характеристик дифракционной картины от числа щелей решетки*

1. Открыть папку и файл «Дифракция». На панели нажать клавишу «Дифракционная решетка».
2. В сплошном спектре выбрать кликом ЛКМ цвет (например, зелёный) и осветить им решетку.
3. Установить расстояние от решетки до экрана $L = F_k \approx 50 \text{ см}$, $a = b = 10 \text{ мкм}$.
4. Последовательно устанавливая в решетке количество щелей N (от трех до десяти) измерить ширину максимума первого порядка

Δx и количество добавочных минимумов n .

5. Полагая, что в направлении 1-го порядка интенсивность света от одной щели равен $I_1 \approx 1 \text{ мВт} / \text{м}^2$, рассчитать интенсивность от N щелей, по формуле $I_N = I_1 N^2$.

6. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 1.

Таблица 1

$\lambda = \text{const}$								
N	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta x, \text{мм}$								
n								
$I_N, \frac{\text{мВт}}{\text{м}^2}$								

7. Построить графики $\Delta x(N)$, $I_N(N)$.

По выполненному заданию сделать вывод.

Задание 2. *Исследование зависимости координаты максимума первого порядка от длины волны*

1. Установить для решетки с $N = 10$, $a = b = 10$ мкм и расстояние до экрана $L = 100$ см.

2. Последовательно освещать решетку светом, указанным в таблице, и измерять координату x первого максимума.

Таблица 2

	красный	оранжевый	желтый	зеленый	голубой	синий	фиолетовый
$x, \text{мм}$							
$\sin \varphi \approx \text{tg} \varphi$ $= x / L$							
$\lambda, \text{нм}$							

3. Для каждого цвета вычислить угловое расстояние по формуле $\sin \varphi \approx tg \varphi = x/L$, а по формуле (3) длину световой волны λ .
4. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 2.
5. Построить график зависимости $x(\lambda)$.
6. Кликнуть ЛКМ по белому прямоугольнику и установить размеры: $L=80-90$ см; $a=b=10$ мкм; $N=3$. Познакомиться с механизмом спектрального разложения белого света.
7. Последовательно увеличивать количество щелей в решетке и наблюдать за изменением дифракционной картины.
По выполненному заданию сделать вывод.

Задание 3. Исследование зависимости дифракционной картины от размеров a и b решетки

1. Выбрать определенный цвет и осветить им дифракционную решетку с числом щелей $N=10$.
2. Для каждого измерения устанавливать размеры a , b и L указанные в таблице 3.
3. Определить номер главного максимума k , который «вырезается» главным минимумом 1-го порядка, и измерить его координату x . Например, на рис.3 $k=8$, а $x=16$.
4. Результаты измерений занести в таблицу 3.

Таблица 3

$N_2 \setminus N_1$	a	b	L	k	x	$\sin \varphi$	λ	$\Delta \lambda$	δ
п/п	мкм	мкм	см	-	мм	-	нм	нм	%
1	100	10	50						
2	80	10	50						
3	100	20	100						
4	90	30	100						
5	80	40	100						
СРЕДНИЕ							ЗНАЧЕНИЯ		

6. Учитывая, что при малых углах $\sin \varphi \approx tg \varphi = x/L$, вычислить $\sin \varphi$, а по формуле (3) длину световой волны λ .
7. Вычислить абсолютные погрешности отдельных измерений

$\Delta\lambda$, а также средние абсолютную $\langle \Delta\lambda \rangle$ и относительную погрешность $\delta = \frac{\langle \Delta\lambda \rangle}{\langle \lambda \rangle} 100\%$. Вычисления можно проводить на встроенном калькуляторе.

8. Результаты вычислений занести в таблицу 3.

Сделать вывод по данному заданию.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется дифракцией света?
2. Что такое дифракционная решётка?
3. В чем состоит смысл принципа Гюйгенса – Френеля?
4. Чем различаются дифракции Фраунгофера и Френеля?
5. Привести оптическую схему, реализующую дифракцию света на решетке.
6. Чему равна оптическая разность хода при дифракции на дифракционной решетке?
7. Привести условия главного минимума, главного максимума и добавочных минимумов.
8. Как зависит интенсивность максимумов и их ширина от количества щелей?
9. От чего зависит количество добавочных минимумов и вторичных максимумов и их интенсивность?
10. Как определить порядок главного максимума, который совпадает с главным минимумом?
11. Привести качественное объяснение спектрального разложения белого света.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савельев И.В. Курс физики Т.2. – М: Наука, 2015.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М: Высшая школа, 2016.