



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Физика»

Виртуальный практикум

Лабораторная работа № 14-В
«Дифракция Фраунгофера на щели»
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 щели. Рассмотрено влияние изменения параметров оптической схемы на распределение интенсивности света в дифракционной картине; определены длины волн основных цветов RGB системы.

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.....	6
Выполнение работы	8
Контрольные вопросы	10
Список литературы	10

Цель работы: 1) рассмотреть влияние изменения параметров оптической схемы на распределение интенсивности света в дифракционной картине; 2) определить длины волн основных цветов RGB системы.
Оборудование: ЭВМ с программой виртуального эксперимента

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Дифракция – это процесс огибания волной препятствий, соизмеримых с длиной волны.

Дифракция Фраунгофера – это дифракция в параллельных лучах.

Дифракция Френеля – это дифракция в сходящихся лучах.

Дифракция света на щели реализуется оптической схемой, представленной на рисунке 1. Параллельный пучок монохроматического света падает по нормали на щелевую диафрагму (D), шириной b (AC). 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 (\mathcal{E}) в виде дифракционной картины, относительная интенсивность которой приведена на рис.1.

Выберем два крайних параллельных луча, отклонившихся на угол φ . Проведем фронт дифрагированной волны (AB). Оптическая разность хода для этих лучей

$$\Delta = BC = b \sin \varphi. \quad (1)$$

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

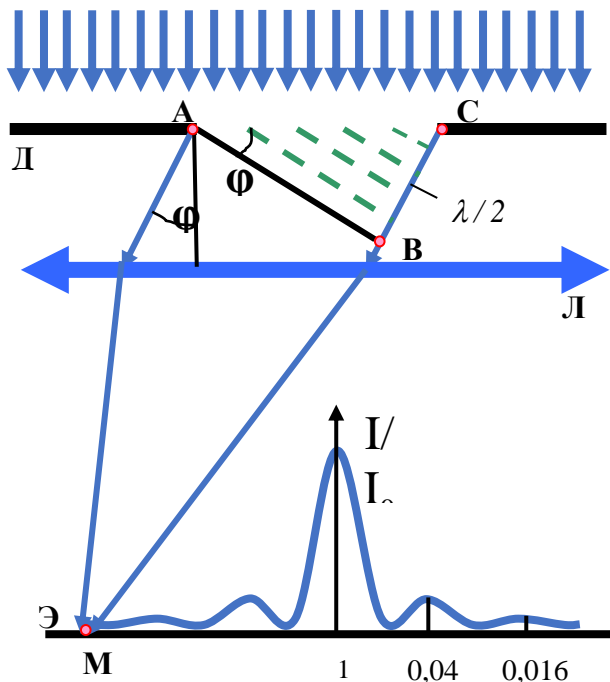


Рис.1

Разобьем оптическую разность хода BC на отрезки, равные $\lambda/2$ и проведем плоскости, параллельные фронту волны AB (на рис. пунктирные линии) до пересечения с плоскостью щели. В результате щель разбивается на зоны Френеля, шириной $\lambda/2$. Число зон Френеля, укладывающихся на ширине щели:

$$Z = BC / (\lambda/2) = b \sin \varphi / (\lambda/2). \quad (2)$$

Из уравнения (2) следует, что количество зон Френеля зависит от величины угла дифракции. В зонной теории Френеля принято считать, что световые вектора на экране от соседних зон находятся в противофазе. А это означает, что если в щели укладывается четное число зон, то есть $Z = 2m (m = 1, 2, 3, \dots)$, то на экране наблюдается *МИНИМУМ*, условием которого является:

$$b \sin \varphi_{min} = \pm 2m \frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

Если в щели укладывается нечетное число зон, то есть $Z = 2m + 1, (m = 0, 1, 2, 3, \dots)$, то наблюдается *МАКСИМУМ*.

$$b \sin \varphi_{max} = \pm(2m + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (4)$$

В центральный максимум колебания от всех зон Френеля приходят в одинаковой фазе.

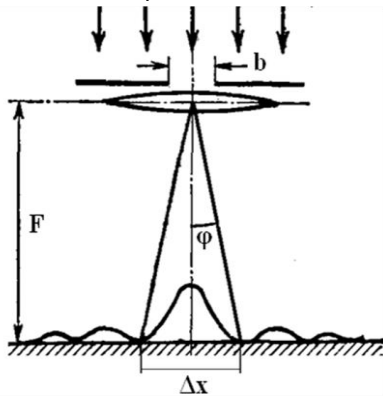


Рис.2

Известно, что решением Международной Комиссии по Освещению – МКО в 1931 году были стандартизованы основные цвета, которые рекомендованы использовать в качестве RGB системы. Ее основными цветами являются чистые спектральные цвета, соответствующие монохроматическим излучениям с длинами волн 700,0 (красный), 546,1 (зеленый) и 435,8 (синий) нм. Данный виртуальный эксперимент позволяет оценить качество восприятия глазом основных цветов RGB системы.

Для этого достаточно рассмотреть дифракцию монохроматического света на щели (рис.2). Зная фокусное расстояние линзы F , ширину щели b и измерив ширину центрального максимума Δx – расстояние между минимумами -1-го и +1-го порядков на экране, можно определить длину световой волны λ .

Из рисунка (2) следует, что ширина центрального максимума равна $\Delta x = 2F \operatorname{tg} \varphi$, а с учетом того, что при малых углах $\operatorname{tg} \varphi \approx \sin \varphi$, искомую величину представим в виде:

$$\Delta x = 2F \sin \varphi . \quad (5)$$

Выразим $\sin \varphi$ из формулы (3) и подставим его в равенство (5):

$$\Delta x = 2F \lambda / b . \quad (6)$$

Из уравнения (6) следует, что

$$\lambda = \frac{\Delta x \cdot b}{2F} . \quad (7)$$

ПОДГОТОВКА К ЭКСПЕРИМЕНТУ

Виртуальный эксперимент по дифракции Фраунгофера на щели осуществляют с помощью установки, представленной на рисунке 3. Оптическая схема установки включает в себя: щелевую диафрагму (D),

размеры которой регулируют в диапазоне $b=(10\div 100)$ мкм; экран (\mathcal{E}), расположенный в фокальной плоскости линзы и снабженный миллиметровой шкалой $x=\pm 40$ мм; линзу (\mathcal{L}) с переменным фокусом, который регулируют в диапазоне $L=(10\div 100)$ см. Важно знать, что линза вплотную прилегает к щели, т.е. $F=L$, и она не изменяет оптическую разность хода.

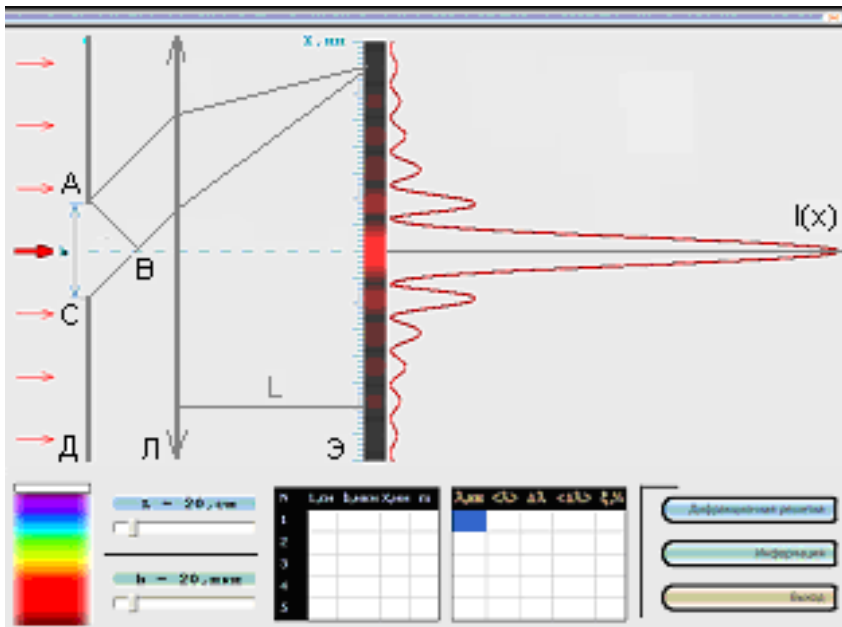


Рис. 3

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 $F=L$, b , $x=\Delta x/2$. Ответ получить, кликнув 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.

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Задание 1. *Определить длины волн основных цветов RGB системы*

1. Открыть папку и файл «Дифракция».
2. В сплошном спектре выбрать кликом ЛКМ *красный* цвет и осветить им щель.

3. Установить расстояние от щели до экрана $L = F_k \approx 50$ см.

4. Последовательно устанавливая ширину щели от 10 до 50 мкм, с шагом 10 мкм, и измерить ширину центрального максимума Δx .

5. Для каждого измерения рассчитать по формуле (7) длину световой волны λ_k . Найти среднюю длину волны $\langle \lambda_k \rangle$, абсолютную погрешность каждого измерения $\Delta \lambda_k$, среднюю абсолютную погрешность $\langle \Delta \lambda_k \rangle$ и относительную погрешность по формуле

$$\delta \lambda_k = \frac{\langle \Delta \lambda_k \rangle}{\langle \lambda_k \rangle} 100\%.$$

Вычисления можно выполнять на встроенном

калькуляторе.

6. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 1.

7. В сплошном спектре выбрать кликом ЛКМ *зеленый* цвет и осветить им щель.

8. Установить расстояние от щели до экрана $L = F_3 \approx 70$ см и

повторить пункты 4 – 6.

9. В сплошном спектре выбрать кликом ЛКМ *синий* цвет и осветить им щель.

10. Установить расстояние от щели до экрана $L = F_c \approx 80$ см и

повторить пункты 4 – 6.

11. Сопоставить средние значения полученных длин волн с табличными λ_T , принятых в RGB системе: 700,0 нм (красный), 546,1 нм (зеленый) и 435,8 нм (синий).

Таблица 1

		$F_k \approx 50 \text{ см}$			$F_3 \approx 70 \text{ см}$			$F_c \approx 80 \text{ см}$		
№ п/п	b мкм	Δx_k мм	λ_k нм	$\Delta \lambda_k$ нм	Δx_3 мм	λ_3 нм	$\Delta \lambda_3$ нм	Δx_c мм	λ_c нм	$\Delta \lambda_c$ нм
1	10									
2	20									
3	30									
4	40									
5	50									
Средние значения										
$\delta \lambda, \%$										

Задание 2. Установить зависимость ширины центрального максимума от длины волны и параметров измерительной установки.

1. Для установления зависимости ширины центрального максимума от длины волны воспользуемся уравнением (7), в котором размеры ширины щели и расстояние ее до экрана постоянны.

Если принять $F = 50 \text{ см} = 0,5 \text{ м}$, а $b = 10 \text{ мкм} = 10^{-5} \text{ м}$, то уравнение (7) примет вид:

$$\lambda = 10^{-5} \Delta x, \quad (8)$$

где Δx – измерять в метрах.

2. Последовательно освещать щель светом, указанным в таблице 2, измерять ширину центрального максимума Δx и по формуле (8) рассчитать длины волн. Результаты занести в таблицу 2.

Таблица 2

	красный	оранжевый	желтый	зеленый	голубой	синий	фиолетовый
$\Delta x, 10^{-3} \text{ м}$							
$\lambda, 10^{-9} \text{ м}$							

3. Построить график зависимости $\Delta x(\lambda)$.
4. Кликнуть ЛКМ по белому прямоугольнику и изменяя параметры b и L получить дифракционную картину в пределах одного - двух максимумов и познакомиться с механизмом спектрального разложения белого света. Сделать вывод.
5. Осветить щель светом длиной волны $\lambda = 500$ нм.
6. Щель расположить на расстоянии $L = 70$ см от экрана.
7. Изменять ширину щели от 10 мкм до 70 мкм с шагом 10 мкм, и измерять ширину центрального максимума.
8. Результаты измерений занести в таблицу 3.

Таблица 3

$b, 10^{-6}\text{м}$	10	20	30	40	50	60	70
$\Delta x, 10^{-3}\text{м}$							

9. Построить график зависимости ширины центрального максимума от ширины щели $\Delta x(b)$. Сделать вывод.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется дифракцией?
2. Чем различаются дифракции Фраунгофера и Френеля?
3. Сформулируйте принцип Гюйгенса – Френеля.
4. Что называется оптической разностью хода? Оптической длиной пути?
5. Условия максимума и минимума при дифракции на щели.
6. Как зависит ширина центрального максимума от длины волны?
7. Как зависит ширина центрального максимума от ширины щели?
8. В чём заключается метод зон Френеля?
9. 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.