

ИЗУЧЕНИЕ ФРАУНГОФЕРОВОЙ ДИФРАКЦИИ СВЕТА НА ЩЕЛИ

Цель работы – экспериментально изучить зависимость интенсивности света от углов дифракции, определить длины волн излучения.

Краткие теоретические сведения1. Дифракция плоской монохроматической волны на щели

Пусть на длинную узкую щель падает плоская монохроматическая волна (рис. 1). Подробное рассмотрение дифракционной задачи приводит к следующему выражению для интенсивности света, дифрагированного под углом θ к направлению распространения волны:

$$I(\theta) = I_0 \frac{\sin^2 \left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \theta \right)}{\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \theta \right)^2}, \quad (1)$$

где I_0 – интенсивность падающей волны; λ – длина волны; b – ширина щели. График распределения $I(\theta)$ показан на рис. 1.

В распределении можно выделить центральный максимум в направлении $\theta=0$, а также ряд побочных максимумов, направления наблюдения которых находятся из условия:

$$b \sin \theta = \pm \left(k + \frac{1}{2} \right) \lambda$$

или (для малых углов):

$$b \theta = \pm \left(k + \frac{1}{2} \right) \lambda, \quad (2)$$

где $k = 1, 2, 3, 4, \dots$

Условие наблюдения минимумов, разделяющих максимумы,

$$b \sin \theta = \pm k \lambda$$

или (для малых углов):

$$b \theta = \pm k \lambda. \quad (3)$$

Из условий экстремумов следует, что уменьшение ширины щели приводит к уширению дифракционной картины. При $b = \lambda$ центральный максимум расплывается на весь экран ($\theta_{\min} = \arcsin 1$). Очевидно, дальнейшее уменьшение b в связи с исчезновением структуры в дифракционной картине бессмысленно. Увеличение ширины щели ведет к сужению дифракционной картины. Предельная допустимая ширина щели b_{\max} определяется разрешающей способностью глаза. Приравняв угловое положение первого минимума наименьшему разрешаемому глазом углу ($\lambda/b_{\max} \sim 10^{-3}$), найдем, что $b_{\max} \sim 10^3 \lambda$. Таким образом, при наблюдении дифракции света на щели ее ширина должна находиться в пределах $\lambda \leq b \leq 10^3 \lambda$ (например, для видимого света $0,5 \leq b \leq 500$ мкм). Анализируя выражение (1), несложно получить и другие свойства дифракционной картины [1, §129].

2. Дифракционная решетка

В науке и технике широко используется дифракция света на системе параллельных, расположенных на одинаковом расстоянии щелей, так называемой, дифракционной решетке. В связи с этим необходимо кратко рассмотреть это явление.

Пусть на дифракционную решетку падает плоская монохроматическая волна. Наблюдения ведутся на экране P , расположенном в фокальной плоскости линзы L (рис. 2). Каждая щель решетки формирует на экране ранее рассмотренную (см. рис. 1) дифракционную картину. Нетрудно показать (используя правила построения хода лучей через линзу и определение фраунгоферовой дифракции), что каждая щель будет

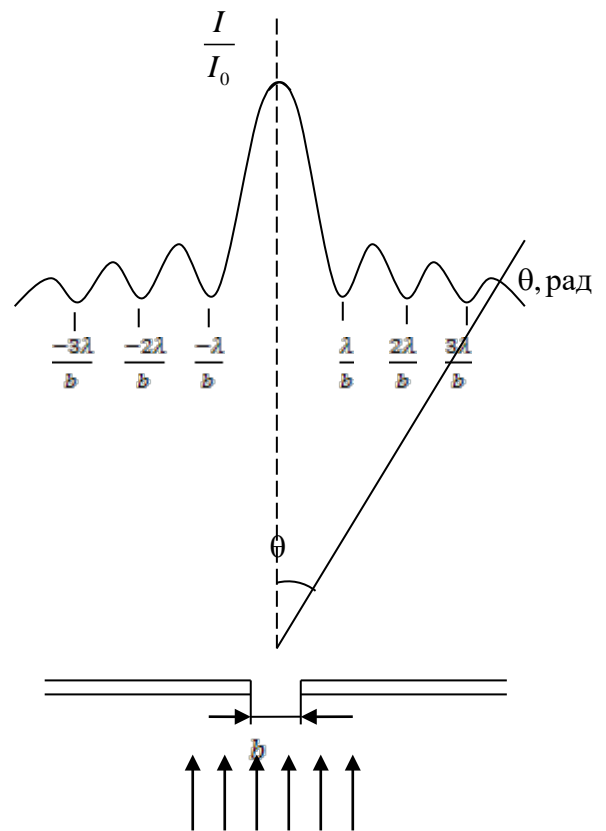


Рис. 1

«светить» в одно и то же место на экране. Так как световые волны, идущие от каждой щели – когерентны, то на экране они будут интерферировать между собой. В результате интерференции интенсивность света в пределах дифракционной картины от одной щели (см. *рис. 1*) перераспределится: образуется ряд ярких узких полос, получивших название главных максимумов решетки, разделенных широкими темными полосами (*рис. 3*).

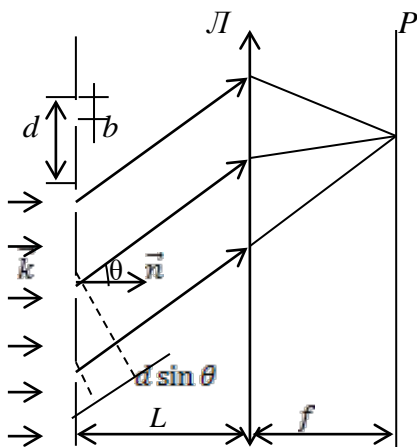


Рис. 2

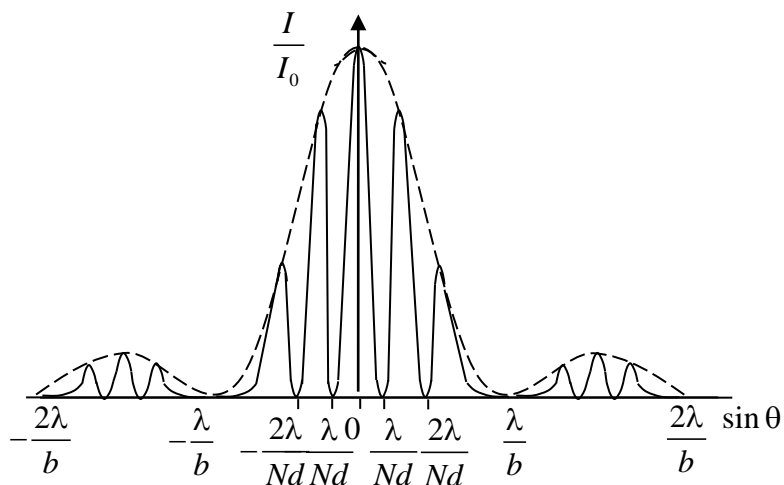


Рис. 3

Более подробное рассмотрение задачи приводит к следующему аналитическому выражению для рассматриваемой дифракционной картины:

$$I(\theta) = I_0 \frac{\sin^2\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \theta\right)}{\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \theta\right)^2} \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{N\pi d}{\lambda} \sin \theta\right)}{\sin^2\left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta\right)}, \quad (4)$$

где N – число щелей в решетке; d – период решетки.

Исследуя последнее выражение, можно получить условие главных максимумов:

$$d \sin \theta = \pm m\lambda, \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

условие добавочных (интерференционных) минимумов $d \sin \theta = \frac{k'}{N}\lambda$, где $k' = 1, 2, 3, \dots$, и другую информацию, необходимую для выполнения работы.

Описание экспериментальной установки. Методика измерений.

Схема экспериментальной установки показана на *рис. 4*.

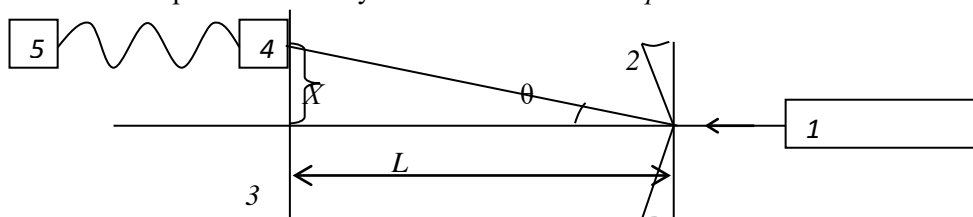


Рис. 4

В качестве источника света в данной работе используется He-Ne лазер 1, генерирующий практически плоскую монохроматическую волну в красной области спектра. Световая волна направляется на раздвижную щель перпендикулярно к ее плоскости. Щель содержит микровинт, с помощью которого можно устанавливать нужную ее ширину. Дифракционная картина наблюдается на экране 3. В плоскости экрана может перемещаться фотоприемник 4 с маленьким входным окошком. Сигнал с фотоприемника (в качестве фотоприемника используется фотодиод), пропорциональный средней интенсивности света, прошедшей через входное окошко [2, § 65; 3, § 6.4], после усиления измеряется вольтметром 5.

Если подобрать ширину щели 2 так, чтобы ширина дифракционного максимума была много больше диаметра входного окошка фотоприемника, с помощью описанной установки можно достаточно точно измерить распределение интенсивности $I(\theta)$ дифрагированного пучка и, следовательно, экспериментально проверить выражение (1).

Обработка экспериментальных данных

1. По значениям абсолютных координат $x_{i\text{абс.}}$ из *табл. 1* найти значения координат $x_{i\text{отн.}}$ относительно координаты центрального максимума (принимая её за 0).
2. По формуле $\theta_{i\text{эксп.}} = \frac{x_{i\text{отн.}}}{L}$ определить экспериментальный угол дифракции для каждого значения координаты из *табл. 1*, а результаты записать в соответствующую колонку.
3. Для всех значений U_i из *табл. 1* найти экспериментальные значения $\frac{I}{I_0}$ эксп. и занести их в соответствующие ячейки этой таблицы. В качестве I_0 для экспериментальной кривой взять величину показания прибора, соответствующего центральному максимуму.
4. Для всех значений $\theta_{i\text{эксп.}}$ из *табл. 1* найти по формуле (1) расчётные значения отношения $\frac{I}{I_0}$ расч. и занести их в соответствующие ячейки этой таблицы.
5. По формулам (2) и (3) найти теоретические значения углов $\theta_{i\text{теор.}}$, соответствующих максимумам и минимумам интенсивности в пределах углов дифракции, для которых были проведены экспериментальные измерения, а по формуле (1) рассчитать для них соответствующие значения $\frac{I}{I_0}$ теор. Заполнить *табл. 2*.
6. По данным *табл. 1* и *табл. 2* в одной системе координат построить графики экспериментальной ($\frac{I}{I_0}$ эксп.) и теоретической ($\frac{I}{I_0}$ расч. и $\frac{I}{I_0}$ теор.) зависимостей относительной интенсивности от угла дифракции. Сделать вывод о подтверждении теории. При наличии отклонений – объяснить их причины.
7. По графику экспериментальной зависимости $\frac{I}{I_0}$ эксп. от угла дифракции (или из *табл. 1*) найти угловое положение всех минимумов и максимумов и занести их в *табл. 4*.

Таблица 4

Аргумент МНК p	1 ^{ый} <i>min</i>	1 ^{ый} <i>max</i>	2 ^{ой} <i>min</i>	2 ^{ой} <i>max</i>	3 ^{ий} <i>min</i>	3 ^{ий} <i>max</i>
	1	1,5	2	2,5	3	3,5
θ_i , рад						

8. Используя данные *табл. 3*, а также условие экстремумов $b\theta = p\lambda$, ($p=1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5\dots$), которое следует из условий (2) и (3), по методу наименьших квадратов рассчитать значение длины волны λ и среднеквадратическую ошибку δ_λ .
9. Определить отношения $\frac{b_{\text{max}}}{\lambda}$ и $\frac{b_{\text{min}}}{\lambda}$ и сравнить их с теоретическими критериями.

Дополнительное задание

1. Для каждой координаты x_i найти значения $\sin \theta_i = \frac{x_i}{\sqrt{L^2 + x_i^2}}$ и занести их в *табл. 2*.
2. Используя ранее полученное значение λ , данные таблицы 2 и формулу (5), по методу наименьших квадратов рассчитать величину периода дифракционной решетки d и среднеквадратичную ошибку δ .
3. Используя значение d и число видимых главных максимумов q , оценить ширину щели решетки b .

Контрольные вопросы

1. Что такое дифракция света?
2. Существует ли принципиальное различие между явлениями дифракции и интерференции?
3. Сформулируйте принцип Гюйгенса-Френеля. Приведите его аналитическое выражение.
4. Чем отличается дифракция Фраунгофера от дифракции Френеля?
5. Получите условия минимумов и максимумов дифракционной картины.

6. В каких пределах может находиться ширина щели при наблюдении дифракции? Как изменяется дифракционная картина при увеличении ширины щели от b_{\min} до b_{\max} ?
7. * Запишите критерий для разграничения случаев дифракции Фраунгофера, Френеля и геометрической оптики. Дайте толкование этим критериям на основе представлений о зонах Френеля.
8. Что произойдет с дифракционной картиной, если закрыть половину линзы, в фокальной плоскости которой расположен экран?
9. Получите общее выражение и рассчитайте несколько значений отношения интенсивности побочных максимумов к главному.
10. От чего зависит число видимых главных максимумов решетки?
11. Во сколько раз интенсивность главного максимума решетки превышает интенсивность главного максимума одной щели?
12. Что такое интенсивность световой волны?
13. С помощью каких приборов и на основе каких эффектов измеряется интенсивность света в данной работе? Откуда следует пропорциональность между интенсивностью света и показаниями прибора?

Литература

1. Савельев И.В. Курс общей физики. – М.: Наука, 1982. –Т.2. – § 110, 125, 126, 129, 130.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. – М.: Наука, 1982. –Т.3. – § 65.
3. Соболева Н.А., Меломид А.Е. Фотоэлектронные приборы. – М.:Высш.шк., 1974. - § 6.4.

Составители: Бригинец В.П., Гусева О.А., Моисеенко В.И., Пугач О.В.