

О - 6. ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ДИФРАКЦИИ СВЕТА

Цель работы: изучить явления дифракции света и определить длину световой волны с помощью дифракционной решетки.

Теоретическая часть

Дифракция - это явление, возникающее при распространении света в среде с резкими неоднородностями, которое заключается в огибании светом препятствий и прохождением его в область геометрической тени. Дифракция заключается в нарушении закона прямолинейного распространения света. Качественно дифракцию можно объяснить с помощью **принципа Гюйгенса**: любая точка в пространстве, до которой дошел фронт волны, становится точечным источником вторичных сферических волн. Огибающая этих волн дает положение волнового фронта в последующий момент времени. Важно помнить, что **волновой фронт** - это поверхность, и световые лучи перпендикулярны волновому фронту.

Пусть непрозрачный экран с отверстием освещается параллельным пучком лучей (рис. 1).

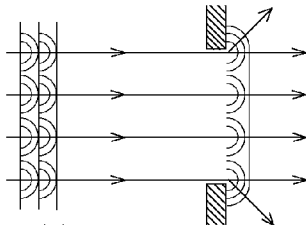


Рис. 1

Воспользовавшись принципом Гюйгенса, легко найти новое положение волнового фронта после прохождения света через отверстие и убедиться в том, что световые лучи действительно отклоняются от первоначального прямолинейного распространения. Для того, чтобы описать явление дифракции количественно, принцип Гюйгенса был дополнен Френелем. **Дополнение Френеля** касается источников вторичных волн: точечные источники вторичных сферических волн - когерентны и поэтому необходимо учитывать интерференцию этих волн при наложении (образование *max* и *min* интенсивности).

Рассмотрим дифракцию в параллельных лучах на одной щели.

Пусть параллельный пучок монохроматического света падает нормально на непрозрачный экран, в котором прорезана длинная узкая щель шириной

$AB = a$. Как только плоский фронт световой волны дойдет до щели, все ее точки станут точечными источниками когерентных волн и лучи от них будут распространяться во все стороны. Рассмотрим лучи, идущие под углом φ к первоначальному направлению (рис. 2).

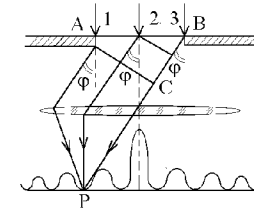


Рис. 2

Если собрать их линзой на экране в точке P , можно наблюдать результат их интерференции. **Оптическая разность хода** между двумя крайними лучами $\Delta = BC$ равна $\Delta = a \cdot \sin \varphi$. Если угол φ таков, что Δ равно четному числу полуволн

$$\Delta = a \cdot \sin \varphi = \pm 2k \frac{\lambda}{2}, \quad (k = 1, 2, \dots)$$

тогда фронт световой волны (в пределах щели) разбивается на четное число ($2k$) плоских зон Френеля.

Плоские зоны Френеля обладают следующими свойствами: для любого луча, идущего от одной зоны, найдется соответственный луч, идущий от соседней зоны, так что разность хода между этими лучами равна $\frac{\lambda}{2}$ и эти

лучи взаимно гасят друг друга. Поэтому все световые волны от 2 соседних зон приходят в точку наблюдения в противофазе и гасят друг друга. Поэтому условие

$$\Delta = a \cdot \sin \varphi = \pm 2k \frac{\lambda}{2}$$

есть **условие *min*** интенсивности в дифракционной картине. Если же

$\Delta = a \cdot \sin \varphi = \pm (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$, то поверхность фронта волны разбивается на

нечетное число ($2k + 1$) зон Френеля. Каждые две соседние зоны взаимно гасят друг друга, а действие одной из зон оказывается не компенсировано. Поэтому условие

$$\Delta = a \cdot \sin \varphi = \pm (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

является **условием *max*** интенсивности для дифракции от одной щели. В направлении угла $\varphi = 0$ лежит самый яркий *max* нулевого порядка, поскольку разность хода любых лучей, посылаемых щелью, в этом случае равна нулю. Поэтому лучи приходят в точку наблюдения в одной фазе, максимально усиливая друг друга.

При освещении щели монохроматическим светом на экране наблюдается дифракционная картина, состоящая из симметрично расположенных относительно центрального максимума нулевого порядка темных и светлых полос. Если щель освещается не монохроматическим светом, а белым, максимумы всех порядков, кроме нулевого, окрашены во все цвета радуги. Центральный же максимум - белый, т.к. при $\varphi = 0$ разность хода любых лучей, независимо от длины волны, равна нулю.

Для увеличения интенсивности и более четкого разделения цветов пользуются не одной щелью, а **дифракционной решеткой** (рис.3).

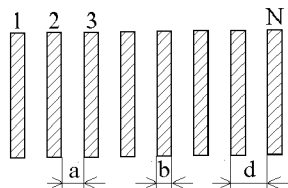


Рис.3

Она представляет собой ряд параллельных щелей одинаковой ширины (a), разделенных непрозрачными промежутками шириной (b). Суммарное расстояние $a + b = d$ называется **периодом или постоянной дифракционной решетки**.

Пусть на N -щелевую решетку падает параллельный пучок монохроматического света (рис.4).

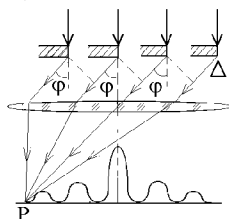


Рис.4

Согласно принципу Гюйгенса-Френеля все щели будут излучать вторичные когерентные волны. Расположив параллельно решетке линзу, в фокальной плоскости которой находится экран, можно наблюдать дифракционную картину. Для того, чтобы найти распределение интенсивности на экране, нужно учесть не только интерференцию волн,

вышедших из каждой отдельной щели, но и интерференцию волн, пришедших в данную точку наблюдения P из соседних щелей. Разность хода лучей от крайних точек равна $\Delta = d \sin \varphi$.

Условие *min* интенсивности для одной щели

$$a \sin \varphi = \pm 2k \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

является также **условием главных *min* интенсивности** и для **дифракционной решетки**. Действительно, если любая щель в отдельности не посылает света в направлениях, определяемых данным условием, действие всех щелей решетки в совокупности будет аналогичным. Если разность хода между лучами, идущими от двух соседних щелей, удовлетворяет условию

$$d \sin \varphi = \pm 2m \frac{\lambda}{2}, \quad (m = 0, 1, 2, \dots),$$

световые волны от всех щелей приходят в точку наблюдения P в одинаковых фазах, и взаимно усиливаясь, создают **максимумы интенсивности дифракционной картины**. Максимум, соответствующий $m = 0$, называется центральным, а максимумы при $m = 1, 2, 3, \dots$ называются *max* первого, второго, третьего порядков.

При освещении решетки не монохроматическим, а белым светом, световые полосы, соответствующие максимумам всех порядков, кроме нулевого, окрашены. С помощью дифракционной решетки с известным периодом d можно определить длину световой волны λ , воспользовавшись условием *max* для малых углов $\sin \varphi \approx \tan \varphi$:

$$\lambda = \frac{d}{m} \sin \varphi \approx \frac{d}{m} \tan \varphi = \frac{dx}{my} \quad (2)$$

где x - расстояние от центрального максимума ($m = 0$) до максимума m -порядка; y - расстояние от решетки до экрана.

При этом более точно $\sin \varphi$ можно рассчитать по формуле

$$\sin \varphi = \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (3)$$

Для дифракционной решетки из формулы (1) можно рассчитать максимальный порядок интерференции, который возможно получить от данной решетки при освещении ее определенным светом. Необходимо учесть, что m_{\max} при $\sin \varphi = 1$. Следовательно

$$m_{\max} = \frac{d}{\lambda} \quad (4)$$

Описание установки

Установка, на которой выполняется данная работа, состоит из источника света (газовый лазер), экрана с отверстием, дифракционной решетки и держателя, в котором можно укрепить либо щель с регулируемой шириной, либо проволочную нить в специальной оправе. Элементы установки располагаются на оптической скамье.

Обращаем внимание на то, что попадание в глаза прямого лазерного пучка опасно для зрения. При работе с лазером его излучение можно наблюдать только после отражения от рассеивающих поверхностей.

Экспериментальная часть

Задание 1 Определение длины волны лазера и максимального порядка интерференции

1. Установить на оптической скамье дифракционную решетку и экран (согласно заданию из таблицы 1) на максимальное расстояние между решеткой и экраном.
2. Включить с разрешения преподавателя лазер и добиться появления на экране дифракционной картины.
3. Закрепить на экране лист бумаги и отметить на нем положение интерференционных максимумов.
4. Передвигая решетку ближе к экрану согласно заданию и сдвигая, при необходимости лист на экране, отметить на листе новые положения максимумов интерференции.
5. Снять лист с экрана. Измерить расстояния между максимумами одинакового порядка для всех исследуемых случаев. Данные занести в таблицу 2.
6. По формуле (2) рассчитать длину волну лазерного излучения и определить ее среднее значение. Данные занести в таблицу 2.
7. Построить для каждого расстояния между решеткой и экраном график зависимости порядка интерференции от $\sin \varphi$. (значение синуса угла определить по формуле (3)). Определить по графику максимальный порядок интерференции, учитывая, что m_{\max} соответствует $\sin \varphi = 1$. Данные занести в таблицу 2.
8. Оценить по формуле (4) наибольший порядок интерференции, который можно получить от данной решетки при

использовании данного лазера $m_{\max(\text{теор.})}$. Рассчитать сколько максимумов может разместиться на предложенном экране. Проверить расчеты на эксперименте.

Таблица 2

Y, м	m	X, м	$\sin \varphi$	λ , м	$\lambda_{\text{ср}}$, м	m_{\max}	m_{\max} (теор.)
Y ₁	m = 1 m = 2 m = ...						
...	...						
Y _n	m = 1 m = 2 m = ...						

Задание 2 Определение диаметра нити по теореме Бабине

1. Установить между экраном и лазером держатель с закрепленной в оправе проволочной нитью на максимальное расстояние согласно заданию.
2. Отрегулировать механически систему таким образом, чтобы луч лазера попадал на нить. При этом на экране возникнет дифракционная картина.
3. Закрепить на экране лист бумаги, и отметить на нем положение 3-5 дифракционных максимумов.
4. В держатель вместо оправы с проволочной нитью закрепить щель регулируемой ширины. При этом расстояние от держателя до экрана должно оставаться неизменным.
5. Вращая микрометрический винт щели, добиться совмещения всех максимумов от щели с соответствующими максимумами от нити. Определить по барабану винта ширину щели и записать данные в таблицу 3.
6. Повторить измерения пункта 5 не менее трех раз.
7. Изменить расстояние между держателем и экраном согласно заданию и повторить измерения пп.1-6 для остальных расстояний.
8. Анализируя данные таблицы 3 с использованием теоремы Бабине, определить диаметр проволоки, и рассчитать его среднее значение. Данные занести в таблицу 3.

Таблица 3

X, м	d, м	$d_{\text{ср}}$, м
X_1		
X_2		
X_3		

Задание 3 Определение зависимости ширины дифракционной картины от ширины щели

1. Установить на расстояние согласно заданию таблицы 1 между экраном и лазером держатель с закрепленной в оправе регулируемой щелью.
2. Установить согласно номеру задания начальное значение ширины щели и получить на экране дифракционную картину.
3. Закрепить на экране лист бумаги и отметить 3-4 дифракционных максимума либо минимума.
4. Изменяя ширину щели с шагом согласно заданию и сдвигая лист бумаги на экране, отметить 3-4 максимума или минимума для всех значений ширины щели.
5. Выключить лазер. Снять лист с экрана и измерить для всех случаев ширину дифракционной полосы (расстояние между двумя соседними максимумами либо минимумами). Данные занести в таблицу 4.
6. По данным таблицы 4 построить зависимость ширины интерференционной полосы от ширины щели.

Таблица 4

a, м			
ΔX , м	ΔX_1 , м	...	ΔX_n , м

В заключении к работе сравнить экспериментально и теоретически получаемые результаты в задании 1, пояснить полученную в задании 3 зависимость ширины интерференционной полосы от ширины щели.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается явление дифракции света ?

2. В чем заключается принцип Гюйгенса и как с его помощью можно качественно объяснить дифракцию света ?
3. В чем заключается дополнение Френеля к принципу Гюйгенса ?
4. В каких направлениях и почему наблюдаются *max* при дифракции от одной щели ?
5. В каких направлениях и почему наблюдаются *min* при дифракции от одной щели ?
6. В каком направлении наблюдается *max* нулевого порядка ?
7. Чем отличается дифракционная картина от одной щели при освещении ее монохроматическим и белым светом ?
8. Как устроена дифракционная решетка и что является ее периодом ?
9. В каких направлениях и почему наблюдаются главные *min* при дифракции от многощелевой решетки ?
10. В каких направлениях и почему наблюдаются главные *max* при дифракции от многощелевой решетки ?
11. Как получить формулу для определения длины волны излучения лазера ?
12. В чем заключается теорема Бабиня ?
13. Какое расстояние называется шириной дифракционной полосы~?
14. Как меняется ширина дифракционной полосы при уменьшении или увеличении ширины щели ? Почему имеет место именно такое изменение ?