

Работа 3

ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

Цель работы: наблюдение явления дифракции света от дифракционной решетки в лучах лазера и источника белого света; измерение длины волны излучения лазера.

Введение

В однородной среде свет распространяется прямолинейно. Если в среде имеются резкие неоднородности (например, граница непрозрачного препятствия), то вблизи них наблюдается нарушение закона геометрической оптики о прямолинейном распространении света. Проникновение света в область геометрической тени (огибание препятствий) называется дифракцией света.

Рассмотрим экран с отверстием, на который падает параллельный пучок лучей монохроматического света с длиной волны λ (рис. 3.1), где b - размер отверстия, l - расстояние от экрана до точки наблюдения. По принципу Гюйгенса каждая точка в плоскости отверстия является источником вторичных сферических волн.

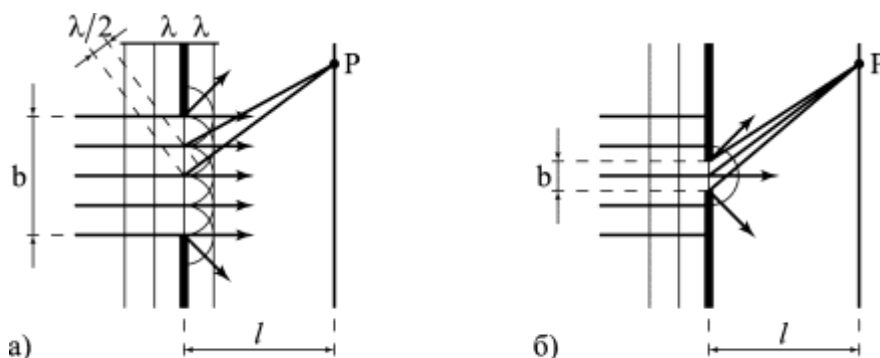


Рис. 3.1

На рис. 3.1 изображена огибающая всех вторичных волн через интервал времени, равный периоду. Видно, что часть света распространяется в области геометрической тени. Однако принцип Гюйгенса не позволяет ответить на вопрос: какова эта часть? Чтобы определить интенсивность света, например, в точке P , необходимо учесть интерференцию (наложение) всех вторичных волн в данной точке. Принцип Гюйгенса, дополненный условием интерференции вторичных волн, называется принципом Гюйгенса - Френеля.

Если размер отверстия большой по сравнению с длиной волны λ (выполнено неравенство $b/\lambda \gg l/b$), то, как видно из рис. 3.1,а, существует множество пар точек в плоскости отверстия, расстояния от которых до точки P отличается на $\lambda/2$. Поэтому волны от этих точек приходят в точку P в противофазе и, следовательно, гасят друг

друга. На рис. 3.1,а указана лишь одна пара таких точек. Разность расстояний от них до точки P (разность хода) равна $\lambda/2$. Таким образом, за широким отверстием свет распространяется в основном в направлении падающих лучей, и лишь незначительная его часть проникает в область геометрической тени.

Если же размер отверстия мал по сравнению с λ , т.е. выполнено условие $b/\lambda \ll l/b$ (рис. 3.1,б), то расстояние от всех точек в плоскости отверстия до точки P отличаются незначительно. Поэтому волны от всех вторичных источников приходят в точку P практически в фазе и, следовательно, усиливают друг друга. В этом случае значительная часть энергии света, прошедшего через отверстие, распространяется в область геометрической тени.

Отсюда дифракция света (и волн любой природы) заметно проявляется в том случае, когда размер отверстия (препятствия) в экране или размер неоднородностей в среде, в которой распространяется свет, имеет порядок величины, сравнимой с длиной волны λ . Более точно, когда выполнено условие $b/\lambda \leq l/b$.

Для наблюдения дифракции света используют дифракционные решетки, представляющие собой совокупность большого числа щелей, разделенных непрозрачными промежутками. Промышленностью изготавливаются решетки с числом штрихов (числом щелей) от 100 до 1000 и более на ширине в 1 мм. Расстояние d между серединами соседних щелей называется периодом решетки (рис. 3.2).

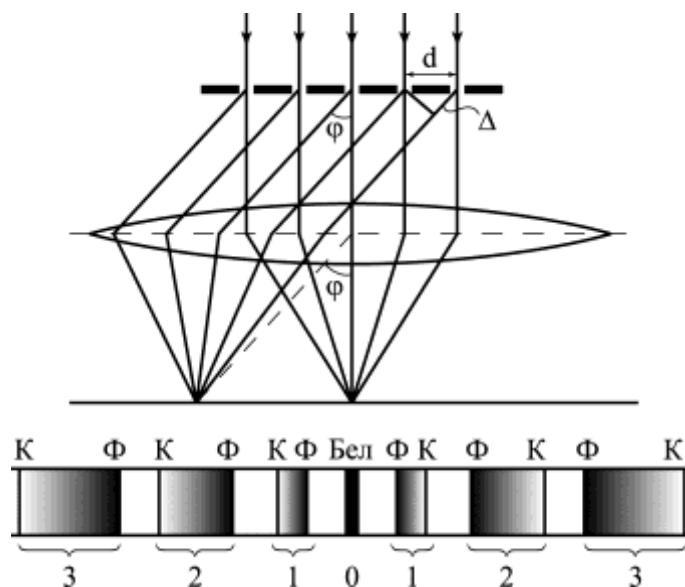


Рис. 3.2

При освещении решетки каждая ее щель является источником вторичных волн. Интенсивность света в направлении, заданном углом φ (см. рис. 3.2), зависит от разности хода Δ волн от соседних щелей. Из рис. 3.2 видно, что $\Delta = d \sin \varphi$. Если разность хода

равна целому числу k длин волн λ , то в указанном направлении вторичные волны с данной длиной усиливают друг друга.

Обычно за решеткой помещают линзу с экраном в ее фокальной плоскости. В том месте экрана, где собираются лучи удовлетворяющие указанному выше условию, т.е.

$$d \sin \varphi = k\lambda, \quad (3.1)$$

наблюдается максимум освещенности светом с данной длиной волны.

Пусть на решетку падает монохроматический свет с длиной волны λ . Тогда существует ряд значений φ_k , определяющих направление максимума интенсивности. Из (3.1) следует

$$\sin \varphi_k = k \frac{\lambda}{d} \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots). \quad (3.2)$$

На экране будет наблюдаться система узких линий (см., например, линии Φ на рис. 3.2), разделенных темными промежутками. Число k называют порядком максимума. Максимуму нулевого порядка ($k = 0, \varphi_0 = 0$) соответствует самая яркая линия в центре экрана. Ближайшие к ней две линии ($k = \pm 1, \sin \varphi_1 = \pm \lambda/d$) являются максимумами первого порядка и т.д. Если на решетку падает белый свет, то положения максимумов фиолетового (Φ) и красного (K) света не будут совпадать (кроме максимумов нулевого порядка, см. линию «Бел» на рис. 3.2). Так, для максимума первого порядка из выражения $\sin \varphi_1 = \pm \lambda/d$ следует, что ближе к центру расположена фиолетовая линия $\lambda_\Phi < \lambda_K$, поэтому $\varphi_1^\Phi < \varphi_1^K$. На экране будет наблюдаться ряд цветных полос (см. рис. 3.2).

Методика выполнения эксперимента

Измерения выполняются на установке, схема которой приведена на рис. 3.3. На оптической скамье устанавливают лазер и рейку Л с держателем дифракционной решетки ДР и передвижным экраном Э. Расстояние между решеткой и экраном измеряется по шкале, нанесенной на рейке, также имеется шкала и на экране.

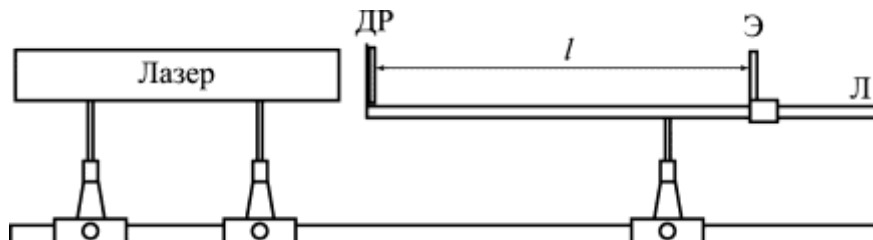


Рис. 3.3

Генерируемый лазером узкий пучок монохроматического света падает на решетку. В результате интерференции волн от всех освещенных щелей за решеткой наблюдается

несколько пучков света, образующих угол φ_k с направлением падающих лучей (рис. 3.4).

При этом на экране видны несколько освещенных пятен с координатами x_k .

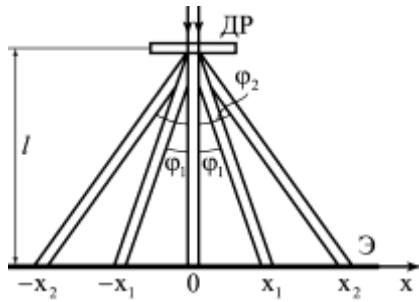


Рис. 3.4

Для небольших значений k ($k \leq 3$) можно положить $\sin \varphi_k \approx \text{tg } \varphi_k = x_k / l$ и записать формулу (3.2) в следующем виде:

$$\frac{x_k}{l} = k \frac{\lambda}{d}. \quad (3.3)$$

Таким образом, зная период решетки d и измеряя расстояние l и координату x_k максимума k -го порядка,

можно определить длину волны излучения лазера:

$$\lambda = \frac{x_k \cdot d}{k \cdot l}. \quad (3.4)$$

Из формулы (3.3) следует, что x_k обратно пропорционально d . Поэтому для двух решеток с периодами d_1 и d_2 при неизменном значении l получим

$$\frac{x_{k1}}{x_{k2}} = \frac{d_2}{d_1}.$$

Из этого соотношения можно определить период неизвестной решетки, если измерить координаты k -го максимума, заменив известную решетку неизвестной

$$d_2 = d_1 \frac{x_{k1}}{x_{k2}}. \quad (3.5)$$

Для наблюдения дифракции белого света, на оптической скамье (рис. 3.5) устанавливают осветитель Осв., линзу Л1, дифракционную решетку ДР, линзу Л2 и экран Э. Свет от осветителя, пройдя через линзу Л1, падает параллельным пучком на дифракционную решетку. Дифракция света наблюдается на экране, помещенном в фокальной плоскости линзы Л2.

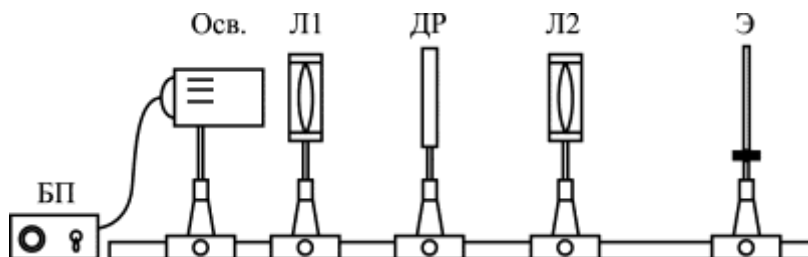


Рис. 3.5

Порядок проведения эксперимента

Задание 1. Измерение длины волны излучения лазера.

1. Вставьте в держатель дифракционную решетку с известным периодом d .
2. Отодвиньте экран от решетки на расстояние l порядка нескольких десятков сантиметров так, чтобы на экране наблюдалось не менее 4-5 максимумов с каждой стороны от центрального пятна. Измерьте координаты правого x_1'' и левого x_1' максимумов 1-го порядка. Данные занесите в табл. 3.1.
3. Рассчитайте x_1 как полусумму абсолютных значений x_1'' и x_1' . Погрешность измерения величины x_1 примите равной радиусу светового пятна на экране (~ 2 мм).
4. Рассчитайте по формуле (3.4) длину волны излучения лазера λ .

Таблица 3.1

d , мм	l , мм	x_1'' , мм	x_1' , мм	x_1 , мм	λ , нм
1/100					

Задание 2. Определение периода неизвестной решетки.

1. Аналогично п. 2 задания 1 при одном и том же расстоянии экрана от решетки измерьте координаты максимума 1-го порядка x_{11} для решетки с известным периодом d_1 , и x_{12} для решетки с неизвестным периодом d_2 . Данные занесите в табл. 3.2.
2. Рассчитайте по формуле (3.5) период неизвестной решетки d_2 .

Таблица 3.2

1-я решетка			2-я решетка			d_2 , мм
x_{11}'' , мм	x_{11}' , мм	x_{11} , мм	x_{12}'' , мм	x_{12}' , мм	x_{12} , мм	

Задание 3. Наблюдение дифракционной картины от лампы накаливания.

1. Перейдите к установке для наблюдения дифракционной картины от лампы накаливания. Включите осветитель.
2. Занесите результаты наблюдения дифракционной картины в журнал и объясните его.

Контрольные вопросы.

1. Какое явление называют дифракцией света?

2. В чем заключается принцип Гюйгенса - Френеля?
3. Что называется периодом дифракционной решетки?
4. Почему дифракция лазерного луча хорошо наблюдается без установки линзы за дифракционной решеткой, тогда как при наблюдении дифракционной картины от осветителя линза необходима?
5. Почему чередование от фиолетового к красному цвету в каждом из порядков спектров идет от центра к периферии?
6. Почему размеры светового пятна, соответствующего дифракционному максимуму, растет с ростом порядка максимума k ?
7. Почему для измерения рекомендуется максимум первого порядка? Можно ли выбрать для измерения максимум 5-го или 8-го порядка?
8. Каково теоретически возможное количество наблюдаемых дифракционных максимумов? Почему число наблюдаемых максимумов не совпадает с теоретически возможным их количеством?
9. Что произойдет с дифракционной картиной от одной щели при увеличении или уменьшении ширины щели?