

Дифракция Фраунгофера на одно- и двумерных решетках

Цель работы: изучить явление дифракции параллельного пучка света на периодической структуре.

Решаемые задачи:

- пронаблюдать дифракционную картину от одномерных решеток с различным количеством штрихов на см визуально на экране;
- пронаблюдать дифракционную картину от двумерных решеток визуально на экране;
- измерить расстояния между максимумами в дифракционной картине от одномерной решетки и определить период решетки d (g – в обозначениях на пластинке);
- определить длину волны гелий-неонового лазера по дифракционной картине от двумерной решетки.

Оптические элементы и аппаратура:

- ✓ гелий-неоновый лазер (1);
- ✓ пружинный держатель (2);
- ✓ диафрагма с тремя одномерными решетками 469 87 (3);
- ✓ диафрагма с двумя двумерными решетками 469 88 (4);
- ✓ оптическая скамья (5);
- ✓ рейтеры (6);
- ✓ полупрозрачный экран (7);
- ✓ салазковый штатив (8).

Дифракция представляет собой отступление от законов геометрической оптики при распространении волн. Она является одним из доказательств волновой природы света. Дифракция всегда наблюдается, когда на пути светового пучка имеются препятствия, такие, например, как щели или ирисовые диафрагмы. В этом случае отклонение от прямолинейного распространения света называют дифракцией. В зависимости от экспериментальных проявлений выделяют два типа дифракции.

Дифракция Фраунгофера наблюдается в параллельном пучке света с плоским волновым фронтом. В этом случае предполагается, что источник света удален на бесконечно большое расстояние от препятствия (объекта дифракции). Кроме того, экран, на котором наблюдается дифракционная картина, также предполагается удаленным на бесконечно большое расстояние от препятствия.

В случае дифракции Френеля и источник света, и экран располагаются на конечном расстоянии от объекта дифракции. С увеличением расстояний

дифракция Френеля в пределе переходит в дифракцию Фраунгофера.

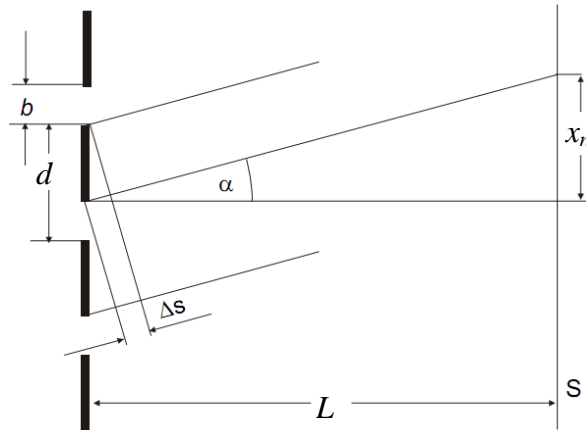


Рис. 1. Дифракция света на периодической структуре. b – ширина щелей, d – период решетки, L – расстояние между решеткой и экраном S , x_n – расстояние от центра дифракционной картины до n -ого максимума.

Если на дифракционную решетку с периодом d падает параллельный пучок света, как показано на рис. 1, то вследствие явления дифракции свет попадает, в том числе, и в область геометрической тени. На экране наблюдается картина чередующихся полос максимумов и минимумов. Условие нахождения в определенной точке экране, удаленной от центра на расстояние x_n максимума имеет вид:

$$n \frac{\lambda}{d} = \frac{x_n}{L}, n = 1, 2, 3 \dots (1)$$

где λ - длина волны падающего света, n – порядок максимума. Здесь предполагается, что L много больше d .

Таким образом, зная длину волны источника света и расстояние L , по дифракционной картине, наблюдаемой от щели, можно определить неизвестный период решетки d . Зная период решетки, по дифракционной картине, наблюдаемой на экране, можно определить длину волны источника света.

Для N щелей ширины b и с периодом d распределение интенсивности света на экране задается следующим выражением:

$$I(\alpha) = \frac{\sin^2\left(\frac{\phi}{2}\right)}{\left(\frac{\phi}{2}\right)^2} \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{N}{2}\varphi\right)}{\sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)}, (2)$$

где $\phi = \frac{2\pi}{\lambda} b \sin \alpha$ и $\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \alpha$.

В выражении (2) второй множитель соответствует периодической

последовательности максимумов и минимумов интенсивности, которая бы наблюдалась от совокупности N равноудаленных друг от друга щелей бесконечно малой ширины. Первый множитель описывает влияние конечной ширины щелей b . В результате огибающая дифракционной картины представляет собой дифракционную функцию от одной щели с шириной b .

Суперпозиция двух одномерных дифракционных решеток под углом 90° друг к другу представляет собой двумерную решетку. Дифракционная картина по-прежнему может быть описана с помощью выражения (2), но уже в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Порядок выполнения работы:

Упражнение 1. Сборка установки для наблюдения дифракции на периодических структурах. Наблюдение дифракционных картин от одномерных решеток с различным периодом.

Собрать установку, схема которой приведена на рис. 2.

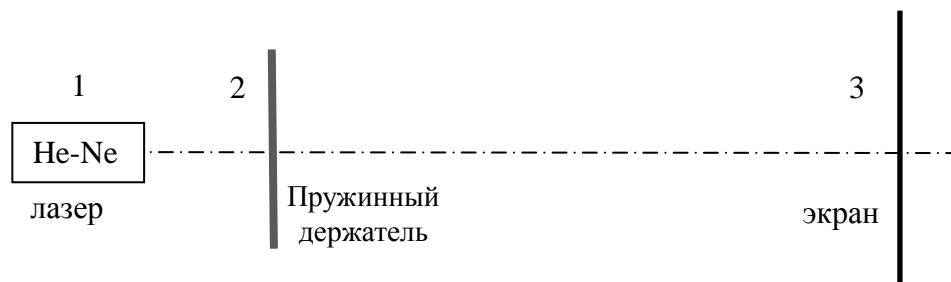


Рис. 2. Схема установки для наблюдения дифракции на периодических структурах.

Внимание! Гелий-неоновый лазер относится ко 2 классу опасности. При работе с ним нужно соблюдать меры предосторожности:

Не допускать попадания прямого или отраженного лазерного луча в глаза – не заглядывать внутрь лазера.

На конце оптической скамьи установить с помощью рейтера гелий-неоновый лазер 1. На расстоянии около 20 см от лазера на скамье закрепить пружинный держатель пока без пластинки с решетками. Установить полупрозрачный экран 7 на салазковом штативе на стол на расстоянии около 170 см от положения пружинного держателя. Направить лазер параллельно оптической скамье. Поворотом ключа в положение «1» на задней стенке лазера включить его. Отрегулировать элементы оптической схемы таким образом, чтобы луч лазера попадал в центр экрана.

В пружинный держатель вставить диафрагму (пластинку) с тремя одномерными решетками. Аккуратно (не касаясь пальцами прозрачной части пластинки) перемещая пластинку в пружинной держателе, добиться того, чтобы лазерный пучок полностью приходился на одну из решеток на диафрагме. Последовательно пронаблюдать дифракционные картины на экране от всех трех

решеток. При необходимости интенсивность лазерного пучка можно временно увеличить, нажимая на кнопку на конце гибкого стержня, выходящего из верхней части корпуса гелий-неонового лазера. При этом сдвигается серый фильтр, закрывающий выходное отверстие лазера. Измерить расстояния между максимумами дифракционной картины. Для этого приложить к экрану лист белой бумаги и карандашом отметить положения нескольких максимумов. Внимание! При измерениях расстояние между решеткой и полупрозрачным экраном должно быть постоянным! С помощью рулетки или длинной линейки измерить расстояние между решеткой и полупрозрачным экраном L . Считая длину волны гелий-неонового лазера равной 633 нм, определить периоды для трех решеток. Результаты записать в таблицу:

| Расстояние между максимумами, x_n /мм | Период решетки, d /мм |
|---|-------------------------|
| | |

Упражнение 2. Определение длины волны излучения лазера по дифракционной картине от двумерной решетки.

Поменять диафрагму в пружинном держателе на диафрагму с двумя двумерными решетками. Пронаблюдать на экране дифракционные картины от обеих двумерных решеток. Для каждой двумерной решетки измерить расстояния между максимумами с помощью листа бумаги (см. упражнение 1). С помощью рулетки или длинной линейки измерить расстояние между решеткой и полупрозрачным экраном L . Зная период решеток ($d = 0.25$ мм), по формуле (1) найти длину волны гелий-неонового лазера.

Вопросы к обсуждению с преподавателем.

1. Явление дифракции света. Принцип Гюйгенса-Френеля.
2. Классификация дифракционных явлений. Дифракция Френеля и Фраунгофера.
3. Дифракция Фраунгофера на периодической структуре из N одинаковых щелей.
4. Почему в качестве источника излучения используется лазер?
5. Как меняется дифракционная картина от решетки при уменьшении периода решетки?
6. Каким образом на дифракционную картину влияет конечная ширина щелей решетки? Показать, где это проявляется в эксперименте.

Литература

1. Ландсберг Г. С. Оптика. Учеб. пособие: Для вузов. – 6-е. изд., стереот. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 848 с. §§ 44, 45-48, 52, 53.
2. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Учеб. пособие: Для вузов. В 5 т. Т. IV. Оптика. — 3-е изд., стереот. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 792 с. §§ 46, 47, 61.