

Дифракция Фраунгофера на щели

Цель работы: изучить явление дифракции параллельного пучка света на щели.

Решаемые задачи:

- приобрести навыки юстировки оптической схемы для наблюдения дифракции с He-Ne лазером в качестве источника света;
- пронаблюдать дифракционную картину от щелей различной ширины визуально на экране и с помощью системы VideoCom;
- определить ширину щели по расстоянию между минимумами на экране;
- с помощью системы VideoCom убедиться в линейном характере зависимости расстояний между минимумами дифракционной картины от обратной ширины щели;
- измерить зависимость расстояния до n -ого минимума от его порядка n .

Оптические элементы и аппаратура:

- гелий-неоновый лазер (1);
- линза с фокусным расстоянием $f = +5$ мм (2);
- линза с фокусным расстоянием $f = +50$ мм (3);
- поляризатор (4);
- щель переменной ширины (5)
- линза с фокусным расстоянием $f = +50$ мм (6);
- приемник излучения VideoCom (7);
- компьютер (8)
- оптическая скамья (9);
- рейтеры (10);
- полупрозрачный экран (11);
- щели с фиксированной шириной на диафрагме (12);
- пружинный держатель (13).

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.

Экспериментально это реализуется с помощью набора линз, устанавливаемых между источником света и объектом дифракции, которые и формируют параллельный пучок света.

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. Поскольку расчет дифракционных картин проще выполнять для дифракции Фраунгофера, экспериментальные упражнения, предлагаемые в данной работе, основаны на предположении, что наблюдаемая дифракция – это дифракция в параллельных пучках света.

Если на щель малой ширины 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 минимума имеет вид:

$$b \sin \varphi = n \lambda, \quad n = 1, 2, 3 \dots \quad (1)$$

где b – ширина щели, φ - угол, под которым видна интересующая нас точка экрана, λ - длина волны падающего света, n – порядок минимума.

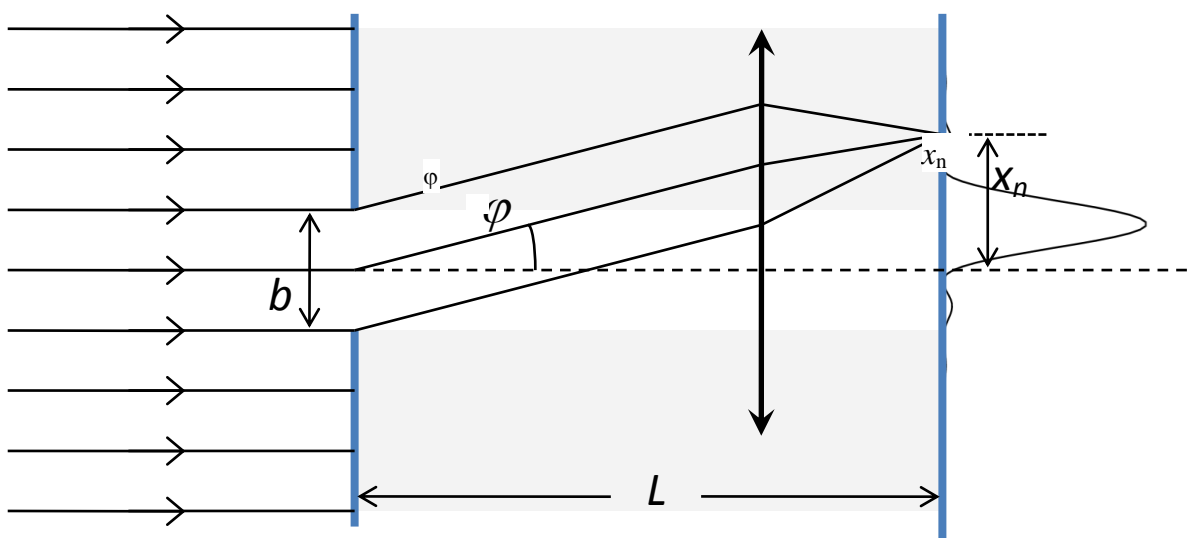


Рис.1. Дифракция Фраунгофера на щели.

В случае, когда угол φ мал, а расстояние между щелью и экраном L велико, можно записать

$$\sin \varphi \approx \varphi \approx \frac{x_n}{L} \quad (2)$$

Тогда условие (1) принимает вид

$$b \frac{x_n}{L} = n \lambda. \quad (3)$$

Таким образом, зная длину волны источника света и расстояние L , по дифракционной картине, наблюдаемой от щели, можно определить неизвестную ширину щели b . Если же ширину щели можно менять, то график зависимости расстояния между двумя ярко выраженными минимумами одного порядка $2 \cdot x_n$ от обратной ширины щели $1/b$ будет представлять собой прямую линию.

Порядок выполнения работы:

Упражнение 1. Сборка установки для наблюдения дифракции на щели. Наблюдение дифракционной картины от щели с переменной шириной с помощью системы VideoCom.

Собрать установку, фотография которой приведена на рис.2.

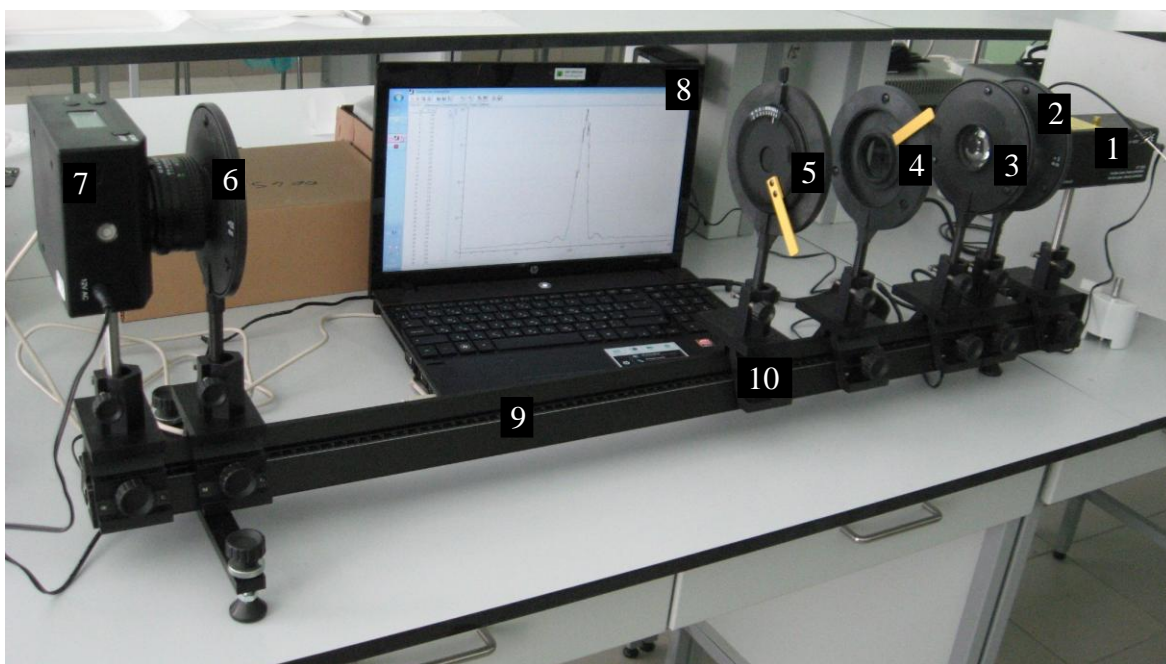


Рис. 2 Внешний вид установки для наблюдения дифракции на щели с помощью системы VideoCom.

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.

Все оптические элементы должны быть установлены на одной высоте.

На оптической скамье 9 установить с помощью рейтера 10 гелий-неоновый лазер 1. На расстоянии около 50 см от лазера на скамье закрепить щель с переменной шириной 5. Направить лазер параллельно оптической скамье. Поворотом ключа в положение «1» на задней стенке лазера включить его. Добиться того, чтобы лазерный луч попадал точно в центр щели.

Перед лазером установить линзу 2 с фокусным расстоянием +5 мм. Расстояние между передней стенкой лазера и линзой должно быть примерно

1 см. Теперь свет лазера должен полностью закрыть диафрагму со щелью.

На расстоянии 10 – 11 см от линзы 2 установить линзу 3 с фокусным расстоянием +100 мм (расстояния измеряются по одноименным краям рейтеров 10 на оптической скамье 9: по правым или левым). Перемещая линзу 3 вдоль оптической скамьи, получить четкое изображение лазерного пятна на щели 5. После этого слегка сдвинуть линзу 3 по направлению к линзе 2 так, чтобы диаметр пятна на щели стал равен приблизительно 6 мм. В этом случае диаметр лазерного пучка вдоль оптической оси должен быть постоянным. Это можно проверить с помощью листа белой бумаги, перемещая его вдоль оптической скамьи и наблюдая за изображением лазерного пучка.

Переместить диафрагму со щелью ближе к лазеру. Расстояние между лазером и диафрагмой должно стать 35 см. Убедиться в том, что лазерное пятно по-прежнему находится в центре щели. Между щелью 5 и линзой 3 установить поляризатор 4.

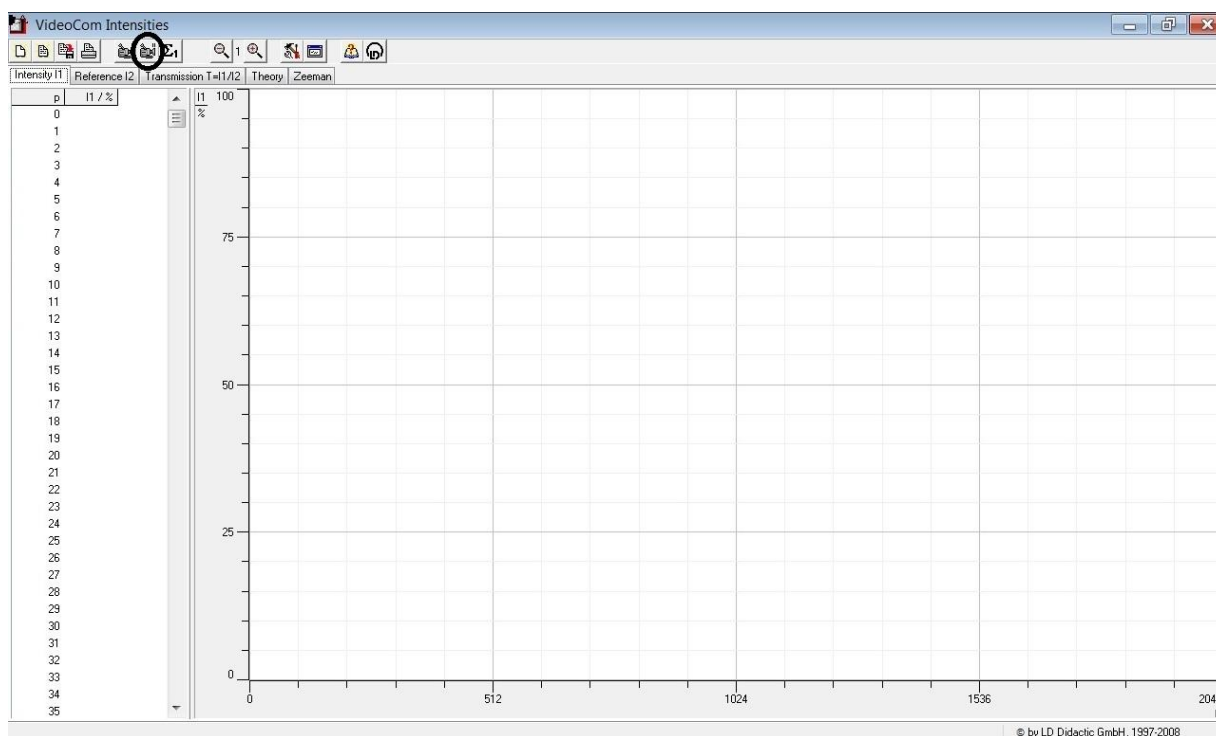


Рис. 3. Окно программы «VideoCom Intensities». Маркером отмечена кнопка начала измерения на 2048 пикселях. По оси X отложены пиксели, по оси Y интенсивность падающего света в %.

На противоположном от лазера конце оптической скамьи установить приемник излучения VideoCom 7. Ближайшая к корпусу приемника шкала на объективе соответствует ширине диафрагмы объектива, она должна быть установлена на значение 1,5, что соответствует максимальной ширине диафрагмы. Вторая шкала должна быть установлена на ∞ . С помощью USB-разъема подключить приемник к компьютеру 8. На компьютере запустить программу «VideoCom Intensities». С помощью шкалы на задней стороне

диафрагмы со щелью 5 выставить ширину щели, равную 0,6 мм. На рис. 3 показан внешний вид окна программы «VideoCom Intensities». Для запуска измерений в программе нажать соответствующую клавишу или клавишу F9 на клавиатуре. Те же клавиши останавливают измерение.

При правильной сборке установки в центральном диапазоне шкалы программы должен наблюдаться узкий интенсивный сигнал (интенсивность падающего на приемник света можно регулировать, поворачивая поляризатор, при этом положение 0 соответствует максимальной интенсивности, в положении 90 свет не проходит). При полностью открытом поляризаторе (положение 0) интенсивность наблюдаемого сигнала должна быть > 100 .

Получив интенсивный сигнал от приемника, установить дополнительную линзу 6 с фокусным расстоянием +50 мм перед объективом приемника VideoCom. При этом частично повернуть поляризатор ($\sim 45^\circ$). Линзу необходимо установить таким образом, чтобы ободок вокруг линзы совместился с внешним корпусом объектива. Запустив измерение в программе «VideoCom Intensities» и регулируя интенсивность излучения с помощью поляризатора, получить на экране компьютера дифракционную картину от щели: должен наблюдаться интенсивный максимум в центре и несколько максимумов более высоких порядков с меньшими интенсивностями с обеих сторон от него.

Меняя ширину щели (0,2 мм, 0,4 мм, 0,6 мм, 0,8 мм), получить дифракционные картины для различных ширин щели на экране компьютера. Для каждой фиксированной ширины измерить расстояние в пикселях между двумя вторыми минимумами (допустимо измерять расстояния между третьими минимумами, однако для всех ширин щели порядок используемых минимумов должен быть одинаковым). При необходимости часть окна программы можно растянуть: необходимо нажать сочетание клавиш Alt+Z и выделить мышкой желаемую область. Обратное масштабирование — Alt+O.

Результаты записать в таблицу.

Ширина щели, $b/\text{мм}$	Расстояние между первыми минимумами, $2x_n/\text{пиксель}$

Построить график зависимости расстояния между минимумами от обратной ширины щели $x_n = f(1/b)$.

Упражнение 2. Определение зависимости расстояния до n -ого минимума от его порядка.

Используется та же схема установки, что и в упражнении 1.

С помощью шкалы на задней поверхности диафрагмы со щелью переменной ширины установить ширину щели, равную 0,6 мм. Получить на

экране компьютера четкое изображение дифракционной картины. Растянуть необходимую область изображения на весь экран. Измерить расстояние в пикселях между минимумами с $n = 1, 2, 3$ и т.д., пока есть такая возможность, но не менее 3-х точек. Для определения расстояния между минимумами с $n = 3$ и более интенсивность падающего на приемник света можно увеличить, повернув в соответствующую сторону поляризатор. Результаты записать в таблицу

Порядок минимума, n	Расстояние между n -ыми минимумами, $2x_n/\text{пиксель}$	Отношение x_n/n (мм/пиксель)

Упражнение 3. Определение ширины щели по дифракционной картине.

В этом упражнении дифракционная картина от щели наблюдается визуально на полупрозрачном экране. Для этого с оптической скамьи 10 следует убрать поляризатор 4, линзу 6, приемник VideoCom 7, а диафрагму со щелью переменной ширины 5 заменить на пружинный держатель 13, в который вставить пластинку 12 с 3 щелями неизвестной ширины. Полупрозрачный экран закрепить с помощью рейтера 10 на конце оптической скамьи. Схема полученной установки показана на рис. 4.

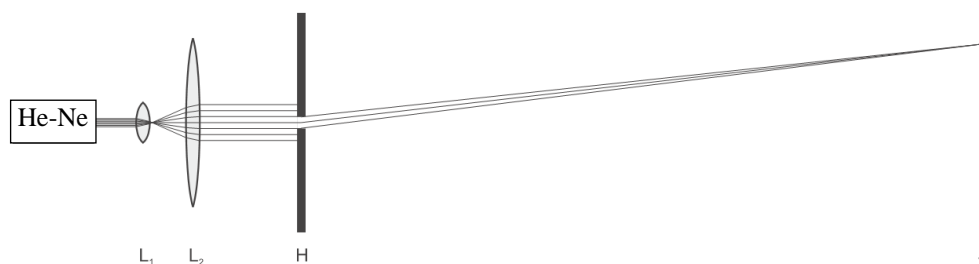


Рис. 4. Схема экспериментальной установки для наблюдения дифракционной картины от щели на экране. Здесь L_1 и L_2 – линзы с фокусными расстояниями +5 мм и +50 мм, соответственно, H – пружинный держатель с пластинкой с тремя щелями различной ширины, S – полупрозрачный экран.

Аккуратно (держась за края пластинки 12) перемещая пластинку в пружинной держателе, добиться того, чтобы центр лазерного пучка приходился на одну из щелей на диафрагме. При этом на полупрозрачном экране должна быть видна дифракционная картина из максимумов и минимумов. Передвигая пластинку в держателе, получить дифракционные картины на экране от всех трех щелей неизвестной ширины. 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. Прикладывая к экрану лист белой бумаги, отметить карандашом положения первых минимумов дифракционной картины для всех трех щелей. Выключить лазер поворотом ключа в положение «0». Линейкой измерить полученные расстояния $2x_{1i}$. Записать результаты. Для определения ширины щелей также необходимо измерить расстояние между полупрозрачным экраном и самой щелью L . Теперь, зная длину волны гелий-неонового лазера 632,8 нм, можно определить ширину i -ой щели, где $i = 1, 2, 3$, по формуле:

$$b_i = \frac{L\lambda}{x_{1i}} \quad (4).$$

Записать полученные значения.

Вопросы к обсуждению с преподавателем.

1. Явление дифракции света. Принцип Гюйгенса-Френеля.
2. Классификация дифракционных явлений. Дифракция Френеля и Фраунгофера.
3. Дифракция Фраунгофера на щели. Вывести формулу для определения ширины щели по расстоянию между минимумами n -ого порядка.
4. Объяснить назначение всех оптических элементов, используемых в установке, описать порядок юстировки оптической схемы.
5. Объяснить линейный характер зависимости расстояния между минимумами от обратной ширины щели.
6. Как меняется дифракционная картина от щели при изменении расстояния между щелью и экраном?

Литература

1. Ландсберг Г. С. Оптика. Учеб. пособие: Для вузов. – 6-е. изд., стереот. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 848 с. §§ 39-42.
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. §§ 39-45.