


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
"НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель отделения  
экспериментальной физики  
на правах кафедры

 А.М. Лидер  
" " \_\_\_\_\_ 2022 г.

**ИЗУЧЕНИЕ ДИФРАКЦИИ ФРАУНГОФЕРА  
НА СИСТЕМАХ ЩЕЛЕЙ И ДИФРАКЦИОННЫХ РЕШЕТКАХ**

Методические указания к выполнению  
лабораторной работы № 3-08  
по курсу "Общая физика" по теме "Оптика"  
для студентов всех специальностей

УДК 53.01

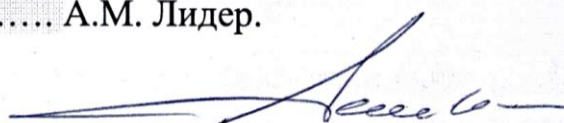
Изучение дифракции Фраунгофера на системах щелей и дифракционных решетках. Методические указания к выполнению лабораторной работы № 3-08 по курсу "Общая физика" по теме "Оптика" для студентов всех направлений и специальностей.

Составитель Т.Н Мельникова

Рецензент В.В. Ларионов

Методические указания рассмотрены и рекомендованы методическим семинаром кафедры общей физики ..... 2022 г.

Руководитель отделения экспериментальной физики  
на правах кафедры ..... А.М. Лидер.



# ИЗУЧЕНИЕ ДИФРАКЦИИ ФРАУНГОФЕРА НА СИСТЕМАХ ЩЕЛЕЙ И ДИФРАКЦИОННЫХ РЕШЕТКАХ

**Цель работы:** исследование распределения интенсивности света при дифракции Фраунгофера на различных объектах, компьютерное моделирование дифракции света, регистрация дифракционной картины прибором с линейкой фотодиодов, определение длины волны излучения полупроводникового лазера, определение периода решетки.

**Приборы и принадлежности:** Полупроводниковый лазер, работающий в непрерывном режиме; фоторегистрирующая система на основе приборов с линейкой фотодиодов; персональный компьютер, одиночная щель, подставка с двумя и пятью щелями.

## 1. КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

*Дифракцией света* называется явление отклонения света от прямолинейного направления распространения при прохождении вблизи препятствий. Как показывает опыт, свет при определенных условиях может заходить в область геометрической тени. Если на пути параллельного светового пучка расположено круглое препятствие (круглый диск, шарик или круглое отверстие в непрозрачном экране), то на экране, расположенном на достаточно большом расстоянии от препятствия, появляется *дифракционная картина* – система чередующихся светлых и темных колец. Если препятствие имеет линейный характер (щель, нить, край экрана), то на экране возникает система параллельных дифракционных полос.

Наиболее четкие дифракционные картины наблюдаются в тех случаях, когда размеры препятствий оказываются сравнимыми с длиной волны света.

Простейшее объяснение дифракции основано на принципе Гюйгенса-Френеля, в соответствии с которым каждая точка волнового фронта, т.е. каждая точка, до которой доходит световая «волна» является источником вторичных сферических волн. Огибающая этих вторичных волн в каждый последующий момент времени является новым фронтом волны (см. рис.1). Результирующее колебание в любой точке пространства рассчитывается как результат интерференции вторичных волн, излучаемых всей волновой поверхностью.

Различают два случая дифракции света – дифракцию Френеля, или дифракцию в сходящихся лучах, и дифракцию Фраунгофера, или дифракцию в параллельных лучах. Характер дифракции зависит от

значения безразмерного параметра, называемого *параметром дифракции*:

$$\frac{b^2}{L\lambda} \begin{cases} \ll 1 & \text{– дифракция Фраунгофера,} \\ \approx 1 & \text{– дифракция Френеля,} \\ \gg 1 & \text{– свет распространяется по законам геометрической оптики,} \end{cases}$$

где  $b$  – размер препятствия,  $\lambda$  – длина световой волны,  $L$  – расстояние от препятствия до экрана наблюдения.

Для практики наиболее интересен случай дифракции света, когда препятствие оставляет открытой лишь малую часть 1-й зоны Френеля. Этот случай реализуется (как сказано выше) при условии

$$m = \frac{b^2}{L\lambda} \ll 1 \quad \text{или} \quad b^2 \ll L\lambda,$$

т. е. дифракционную картину от препятствий небольшого размера следует в этом случае наблюдать на очень больших расстояниях. Например, если  $R = 1$  мм,  $\lambda = 550$  нм (зеленый свет), то расстояние  $L$  до плоскости наблюдения должно быть значительно больше 2 метров (т. е. минимум 10 метров или больше). Лучи, проведенные в далекую точку наблюдения от различных элементов волнового фронта, практически можно считать параллельными. Этот случай дифракции так и называется – **дифракция плоских световых волн, дифракция в параллельных лучах** или **дифракция Фраунгофера** – по имени немецкого физика И. Фраунгофера, современника Френеля. Если на пути лучей за препятствием поставить собирающую линзу, то параллельный пучок лучей, дифрагировавший на препятствии под углом  $\theta$ , соберется в некоторой точке фокальной плоскости (рис.1).

Следовательно, **любая точка в фокальной плоскости линзы эквивалентна бесконечно удаленной точке в отсутствие линзы.**

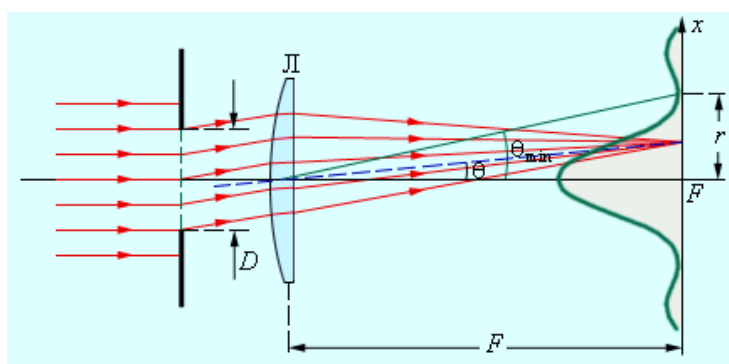


Рис. 1. Дифракция в параллельных лучах. Кривая – распределение интенсивности в фокальной плоскости (масштаб по оси  $x$  сильно увеличен).

В фокальной плоскости линзы наблюдается дифракционная картина Фраунгофера. Но согласно геометрической оптике, в фокусе линзы должно располагаться точечное изображение удаленного точечного предмета. На самом деле изображение точечного предмета оказывается размытым из-за дифракции. В этом проявляется волновая природа света.

## ДИФРАКЦИЯ ФРАУНГОФЕРА НА ОДНОЙ ЩЕЛИ

Дифракция в параллельных лучах была рассмотрена Фраунгофером в 1821-1822 гг. Для получения пучка параллельных лучей света, падающих на щель или отверстие, обычно пользуются небольшим источником света, который помещается в фокусе собирающей линзы  $L$ .

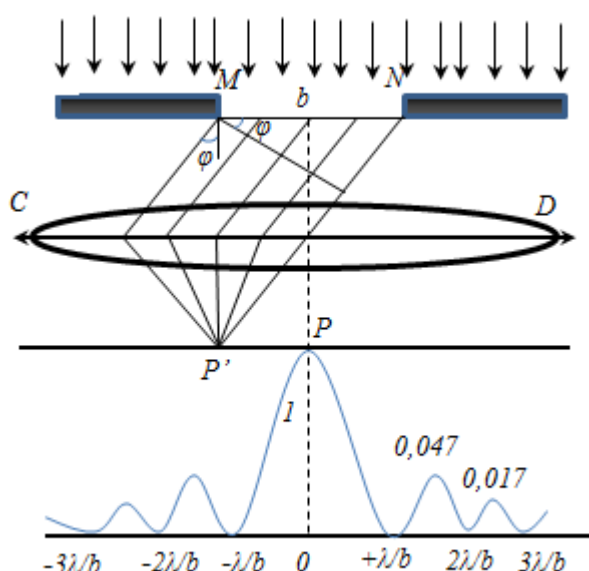


Рис. 2. Схема наблюдения дифракции на одной щели

Для наблюдения дифракции Фраунгофера необходимо точечный источник поместить в фокусе собирающей линзы, а дифракционную картину можно исследовать в фокальной плоскости второй собирающей линзы, установленной за препятствием.

Пусть монохроматическая волна падает нормально плоскости бесконечно длинной узкой щели ( $l \gg b$ ),  $l$  – длина,  $b$  – ширина. Разность хода между лучами 1 и 2 в направлении  $\varphi$

$$\Delta = NF = b \sin \varphi.$$

Разобьём волновую поверхность на участке щели  $MN$  на зоны Френеля, имеющие вид полос, параллельных ребру  $M$  щели. Ширина каждой полосы выбирается так, чтобы разность хода от краев этих зон была равна  $\lambda/2$ , т.е. всего на ширине щели уложится  $\Delta/(\lambda/2)$  зон. Т.к. свет на щель падает нормально, то плоскость щели совпадает с фронтом

волны, следовательно, все точки фронта в плоскости щели будут колебаться синфазно. Амплитуды вторичных волн в плоскости щели будут равны, т.к. выбранные зоны Френеля имеют одинаковые площади и одинаково наклонены к направлению наблюдения.

Число зон Френеля  $\Delta/(\lambda/2)$  укладывающихся на ширине щели, зависит от угла  $\varphi$ .

При интерференции света от каждой пары соседних зон амплитуда результирующих колебаний равна нулю, так как эти зоны вызывают колебания с одинаковыми амплитудами, но противоположными фазами.

Всего на ширине щели уместится  $\frac{\Delta}{\lambda/2} = \frac{b \sin \varphi}{\lambda/2}$  зон.

Если число зон четное, т.е.

$$\frac{b \sin \varphi}{\lambda/2} = \pm 2m \quad \text{или} \quad b \sin \varphi = \pm m\lambda, \quad m = 1, 2, 3, \dots, \quad (1)$$

то наблюдается дифракционный минимум (*темная полоса*).

Если число зон нечетное, т.е.

$$\frac{b \sin \varphi}{\lambda/2} = (\pm 2m + 1) \quad \text{или} \quad b \sin \varphi = \pm (2m + 1)\lambda, \quad m = 0, 1, 2, 3, \dots, \quad (2)$$

то наблюдается дифракционный максимум (*светлая полоса*).

В направлении  $\varphi = 0$ ,  $\Delta = 0$  в щели укладывается одна зона Френеля и, следовательно, в т. *P* наблюдается самый интенсивный главный (центральный) максимум нулевого порядка.

Распределение интенсивности на экране, полученное вследствие дифракции (*дифракционный спектр*) приведено на рис. 2. Расчеты показывают, что интенсивности в центральном и последующем максимумах относятся как 1:0,047:0,017:0,008: ..., т.е. **основная часть световой энергии сосредоточена в центральном максимуме**.

Углы, под которыми наблюдаются максимумы всех порядков, начиная с первого, зависят от длины волны света  $\lambda$ . Поэтому, если щель освещать монохроматическим светом, то максимумы, соответствующие разным длинам волн, будут наблюдаться под разными углами и, следовательно, будут пространственно разделены на экране. При уменьшении ширины щели  $b$  ( $\lambda = \text{const}$ ) будет возрастать ширина главного максимума. Иными словами, чем уже световой пучок в пространстве, тем шире спектр, необходимый для его описания.

Отношение же  $\frac{d}{b} = \frac{m}{n}$  определяет число интерференционных максимумов, расположенных между дифракционными минимумами.

Таким образом, параметры решетки приводят к следующим особенностям дифракционной картины:

1. Ширина щелей определяет величину модуляции. Если щели обладают конечной шириной, то главные максимумы не имеют одинаковой интенсивности. Определенные порядки могут даже исчезнуть.
2. Период решетки определяет положение главных максимумов.
3. Ширина решетки  $b$  характеризует ширину главных максимумов.

### ДИФРАКЦИЯ НА ДВУХ ЩЕЛЯХ

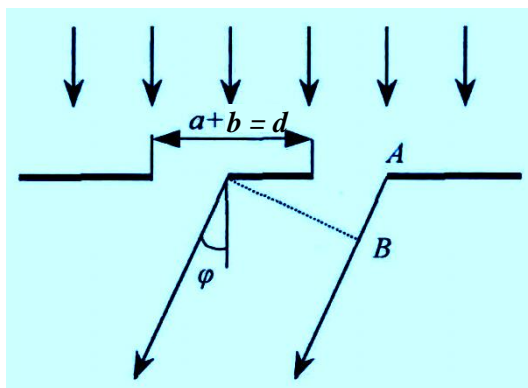


Рис. 3

Пусть диафрагма содержит две щели шириной  $b$  каждая, которые разделены непрозрачным промежутком шириной  $a$ , так что,  $a + b = d$  (рис. 3). Дифракционная картина будет представлять результат интерференции вторичных волн, идущих от первой и второй щелей. Дифракционные минимумы будут на прежнем месте, так как те направления по которым не посылает свет ни одна из щелей, не получают его и при двух щелях. Кроме того, существуют направления, в которых свет, посылаемый двумя щелями, взаимно гасится. Это будут направления, которым соответствует разность хода  $AB$ , равная  $\frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2}, \dots$  для лучей, идущих от соответствующих точек обеих щелей. Эти направления определяются из условия

$$AB = d \sin \varphi_{\min} = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}.$$

То есть в направлениях, определяемых условием

$$d \sin \varphi_{\min} = (2m + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

наблюдаются дифракционные минимумы. В направлениях, определяемых условием

$$d \sin \varphi = 2m \frac{\lambda}{2} \quad (4)$$

действие одной щели усиливает действие другой, так что этим направлениям соответствуют дифракционные максимумы.

Приведённый ниже рис. 4 показывает зависимость интенсивности света от угла в случае дифракции на одной щели (кривая красного цвета) и в случае дифракции на двух щелях (кривая синего цвета). Из рисунка видно, что в случае дифракции на двух щелях, огибающая интенсивности интерференционных полос повторяет кривую дифракции на одной щели.

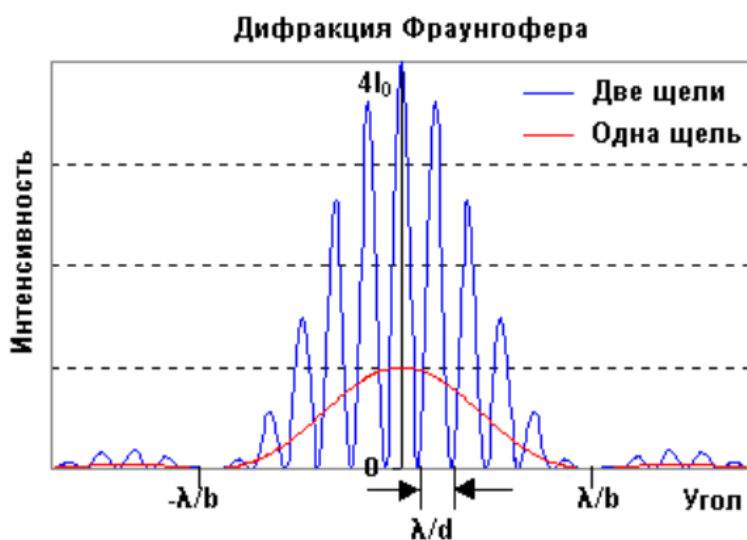


Рис. 4.

### ДИФРАКЦИЯ НА НЕСКОЛЬКИХ ЩЕЛЯХ

Рассмотрим теперь дифракцию в параллельных лучах от нескольких щелей. Совокупность большого числа параллельных, одинаковых, отстоящих друг от друга на одно и то же расстояние щелей, называется **дифракционной решеткой** (рис. 5). Ширину щели обозначим  $b$ , ширину непрозрачных промежутков между щелями —  $a$ . Величина  $d = a + b$  называется **периодом** или **постоянной дифракционной решетки**. Лучшие решетки имеют  $d = 0,8$  мкм, т.е. 1200 штрихов на 1 мм (до 400 000 штрихов вся решетка).

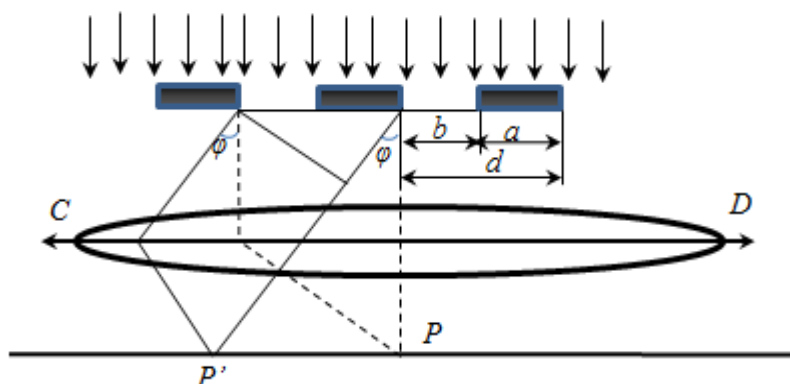




Рис. 5.

На рис. 5 показано только несколько щелей. Дифракционная картина получается в результате дифракции на каждой щели и интерференции лучей, падающих от разных щелей. Главные максимумы соответствуют таким углам  $\varphi$ , для которых колебания от всех  $N$  щелей складываются в фазе, т.е.  $A_{\text{макс}} = NA_{\varphi}$ , где  $A_{\text{макс}}$  – амплитуда колебания, посылаемого одной щелью под углом  $\varphi$ .

Интенсивность максимума

$$I_{\text{макс}} = N^2 I_{\varphi}, \quad (5)$$

т.е. может превышать во много раз интенсивность максимума, создаваемого одной щелью.

Таким образом, дифракционная картина при дифракции на дифракционной решетке будет иметь вид, приведенный на рис. 6:

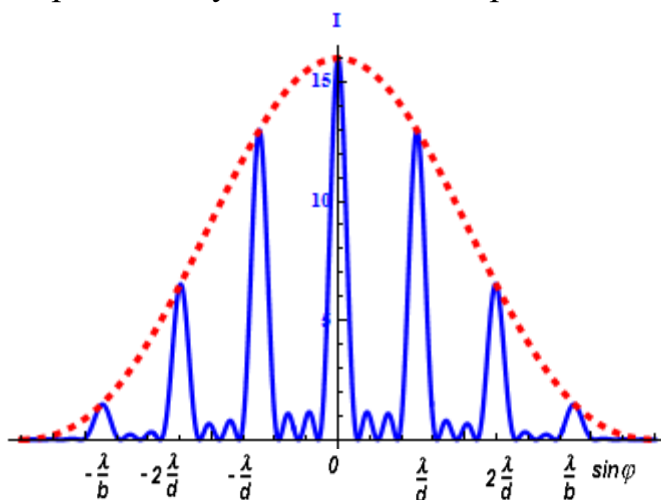


Рис. 6. Дифракция на нескольких щелях.

Условие главных максимумов:

$$d \sin \varphi = \pm m \lambda, \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (6)$$

Максимум нулевого порядка наблюдается при  $\varphi = 0$ , первого порядка при  $\sin \varphi = \pm \lambda/d$ , второго порядка при  $\sin \varphi = \pm 2 \lambda/d$  (см. рис. 6).

Главные минимумы соответствуют таким углам  $\varphi$ , в направлении которых ни одна из щелей не распространяет свет. Таким образом, условие главных минимумов выражает формула

$$d \sin \varphi = \pm (2m+1) \lambda / 2, \quad m = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (7)$$

Первый главный минимум наблюдается при  $\sin \varphi = \pm \lambda/2d$  (см. рис. 6).

Кроме главных максимумов имеется большое число слабых побочных максимумов, разделенных дополнительными минимумами. На рис. 6 они изображены между главными максимумами.

Положение главных максимумов (кроме центрального) зависит от длины волны  $\lambda$ . Поэтому при пропускании через решетку белого света все максимумы ненулевого порядка (кроме центрального с  $k = 0$ ), разложатся в спектр – совокупность составляющих цветов, причем фиолетовые линии будут ближе к центру, а красные дальше, т.к.  $\lambda_{\text{ф}} < \lambda_{\text{кр}}$ , то  $\varphi_{\text{ф}} < \varphi_{\text{кр}}$  (рис. 7).

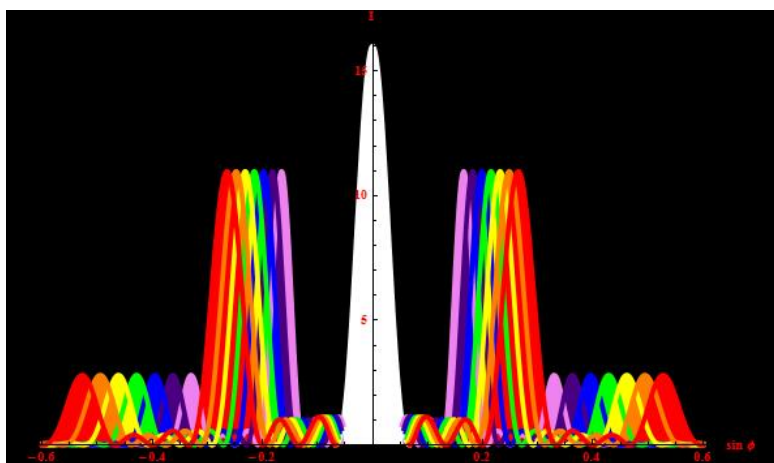


Рис. 7.

Количество щелей определяет световой поток через решетку. Чем их больше, тем большая энергия переносится волной через нее. Кроме того, чем больше число щелей, тем больше дополнительных минимумов помещается между соседними максимумами. Следовательно, максимумы будут более узкими и более интенсивными (рис.7).

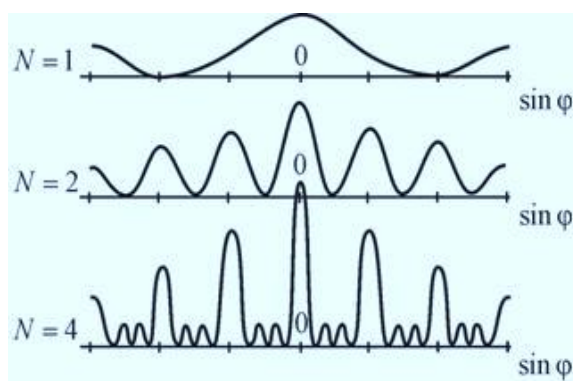


Рис. 7.

## 2. СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Принципиальная схема экспериментальной установки приведена на рис. 8. Коллимированный пучок света полупроводникового лазера (1)

проходит через дифракционные объекты (2-4) и попадает на регистрирующую систему (5).

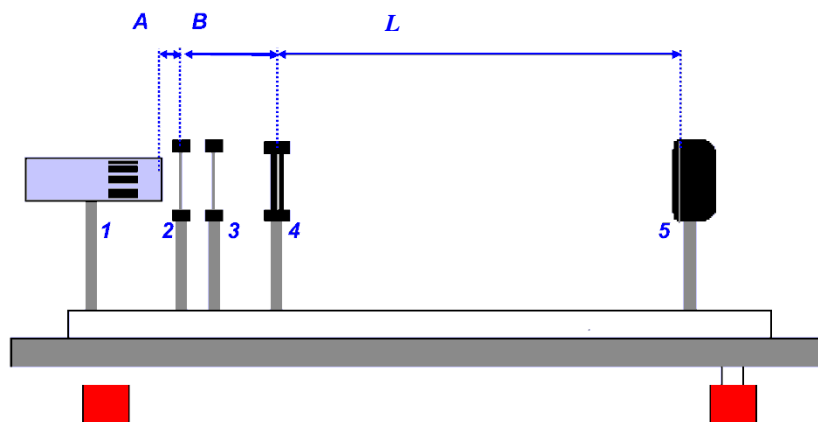


Рис. 8. 1-Лазерный источник видимого света; 2- Первый поляризатор. Поляризаторы удобно использовать для управления интенсивностью входящего светового пучка. Если свет лазера уже поляризован, то второй поляризатор не нужен; 3- Второй поляризатор; 4-Щель; 5- Оптическая головка CALIENS, снабженная плотным нейтральным фильтром

**A:** Расстояние между лазерным источником и первым поляризатором. Величина по умолчанию: несколько см.

**B:** Расстояние между вторым поляризатором и щелями. Лазерный луч должен достигать обеих щелей в одно и то же время. Если этого не происходит, увеличьте расстояние.

**L:** Расстояние между щелями и оптической головкой камеры CALIENS. Область чувствительности CALIENS составляет примерно 3 см. Убедитесь, что интерференционная картинка совпадает с областью чувствительности. Расстояние в 1 метр обычно дает хороший сигнал.

Для получения лучших результатов используются металлические щели, т.к. процесс отображения фотографической щели приводит к более низкому качеству сигнала по сравнению с металлической.

Для одновременной регистрации и преобразования распределения интенсивности в цифровой вид используется многоканальный анализатор спектральной информации CALIENS. CALIENS содержит в себе: линейку фотодиодов (ЛФД), которая располагается в плоскости наблюдения дифракционной картины и применяется в качестве преобразователя электромагнитного излучения в электрический сигнал.

Основным процессом взаимодействия излучения с элементарными ячейками является внутренний фотоэффект. ЛФД регистрирует изменение интенсивности светового пучка, которое преобразуется в цифровой вид. Для организации связи между CALIENS и персональным

компьютером используется модуль последовательно – параллельного интерфейса ППИ-4, который расположен в компьютере. Программное обеспечение дает возможность производить сбор, оперативную по ходу эксперимента обработку данных, а также позволяет выводить на монитор персонального компьютера пространственное распределение интенсивности света в плоскости фотодиодной линейки и полученные результаты эксперимента в численном виде.

### 3. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

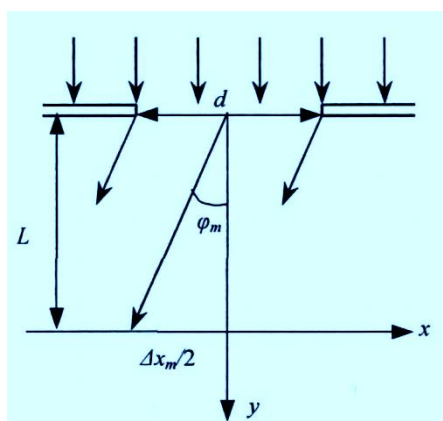


Рис. 9. Дифракция плоской волны на одной щели.

Расположим систему координат  $(x, y)$  в плоскости экрана, таким образом, чтобы ось  $x$  совпадала с расположением ячеек линейки фотодиодов. Пусть координата  $(x = 0)$  соответствует центру дифракционной картины. Из рис. 8 следует, что

$$\operatorname{tg} \varphi_n = \frac{\Delta x_n}{2L},$$

где  $\Delta x_n$  – расстояние между дифракционными минимумами  $n$ -ого порядка,  $L$  – расстояние от дифракционного объекта до линейки фотодиодов. Если угол  $\varphi_n$  не слишком велик, то  $\operatorname{tg} \varphi_n \approx \sin \varphi_n \approx \varphi_n$ .

Тогда, используя формулы

$$d \sin \varphi = 2n \frac{\lambda}{2}, \quad d \sin \varphi = (2n + 1) \frac{\lambda}{2},$$

можно получить

$$\lambda = \frac{d \Delta x_n}{2nL}, \tag{8}$$

где  $d$  – ширина щели,  $\Delta x_n$  – расстояние между симметрично расположенными минимумами с номером  $n$ ,  $L$  – расстояние от одиночной щели до линейки фотодиодов.

Исходя из условия наблюдения главных максимумов при дифракции волн на решетке, аналогичным способом можно получить выражение для определения периода дифракционной решетки  $d$ ,

$$d = \frac{2m\lambda L}{\Delta x_m}, \quad (9)$$

где  $\Delta x_m$  – расстояние между дифракционными максимумами  $m$ -ого порядка.

#### 4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Включите компьютер.

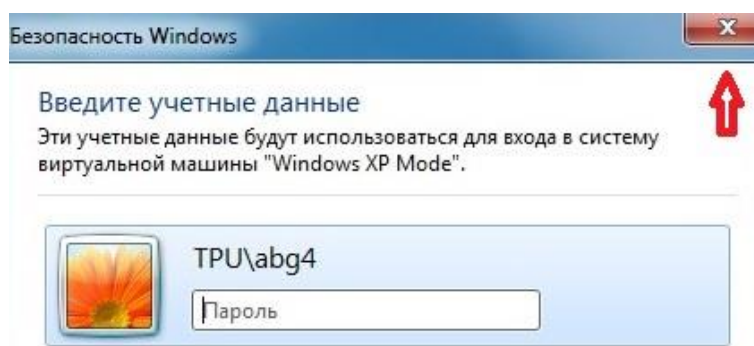
4.2. Войдите в профиль под своим логином и паролем.



4.3. Включите программу

4.4. Дождитесь запуска виртуальной машины.

4.5. Во всплывающем окне не вводите учетные данные.

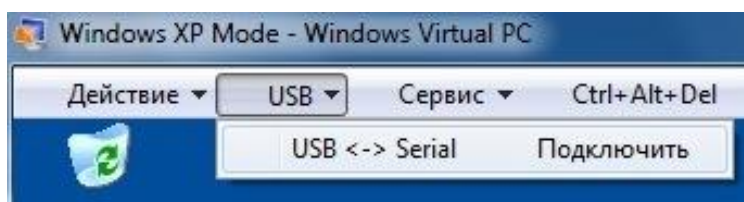


4.6. Перед проведением измерений установите оптическую головку CALIENS (линейная ПЗС камера) на краю оптической скамьи (оптического рельса). На противоположном краю оптической скамьи разместите полупроводниковый лазер и включите его с помощью ключа. Выставьте лазер так, чтобы его пучок распространялся строго вдоль оптической оси (в горизонтальной плоскости и вдоль оси скамьи) и попадал в центр окна оптической головки CALIENS чуть выше линейки фотодиодов (узкая длинная щель в центре окна). Для этого винтами грубой и точной юстировки необходимо добиться того, чтобы лазерный пучок попадал в центр окна при перемещении лазера вдоль оптической скамьи. На расстоянии примерно  $(40 \div 50)$  см от линейки фотодиодов на пути лазерного пучка установите дифракционный объект.

4.7. Включите блок питания CALIENS (5 на рис. 8). Проверьте наличие связи между CALIENS и персональным компьютером (осуществляется с помощью коаксиального кабеля).

4.8. Включите оптическую головку Caliens с помощью тумблера, расположенного в его верхней части. При этом загорается сигнальная лампочка зеленого света.

4.9. Включите вкладку USB - Подключить.



4.10. Запустите программу CALIENS нажатием левой клавиши



«мыши» на «иконку» CALIENS. На экране появится изображение, показанное на рис. 10.

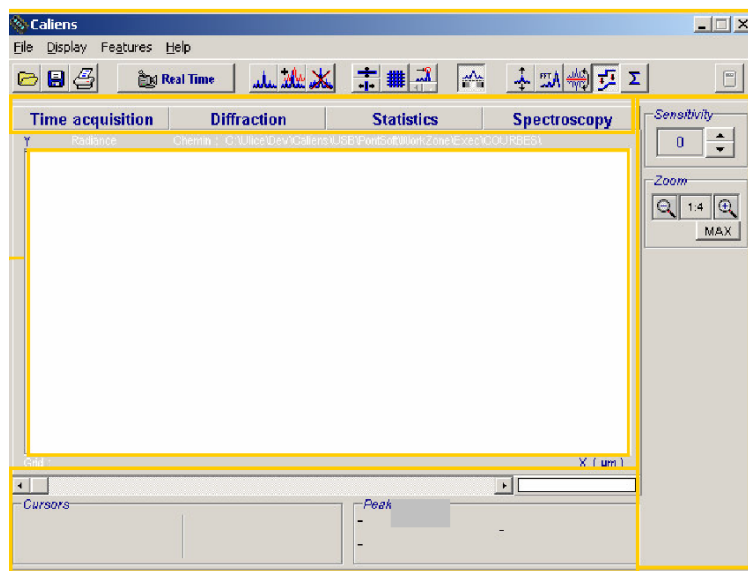


Рис. 10.

4.11. В работе применяются *одиночная щель* с плавно регулируемой шириной и *две решетки* (на отдельной поставке) с числом щелей  $N = 2$  (опыт Юнга) и  $N = 5$ . Важным условием является нормальное по отношению к падающему лазерному пучку расположение плоскости дифракционных объектов. Плавно перемещая дифракционный объект в

поперечном направлении, получите на экране симметричную дифракционную картину. Поднимая CALIENS вверх (с помощью винта плавной регулировки высоты) добейтесь того, чтобы дифракционная картинка попадала точно на линейку фотодиодов (она должна быть ориентирована вдоль оси дифракционной картины). Перед окном CALIENS в специальной оправе установите нейтральный светофильтр для ослабления внешнего фона и лазерного пучка.

4.12. Выберите позицию «Реальное время» нажатием кнопки



(рис. 10), назначение которой заключается в непосредственном отображении отклика линейки ПЗС (прибор с зарядовой связью). Это основной режим для проведения всех экспериментальных настроек. В режиме реального времени доступны все основные функции обработки и измерения. При этом начинается циклическое считывание данных с фотодиодной линейки. Правильность установки дифракционных объектов и CALIENS проверяется по виду дифракционной картины на экране компьютера (она должна быть симметричной и оптимальной по интенсивности).

4.13. Для управления снятием сигнала с ПЗС-линейки используйте



клавишу. Она активирует снятие выходного сигнала камеры и отображает результат согласно выбранным параметрам. Снятый ("замороженный") сигнал содержит информацию по всем 2048 пикселям камеры (в режиме максимального увеличения одна точка на экране соответствует 1 пикселю ПЗС). Кнопка F8 запускает новый эпизод снятия сигнала (аналогично щелчку на соответствующем значке).



4.14. Кнопка (Graylevels) представляет сигнал в виде привычного черно-белого изображения.

## 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА

5.1. Установите на оптической скамье *одиночную щель* с плавно регулируемой шириной. Получите на экране монитора дифракционную картину, вид которой представлен на рис. 11.

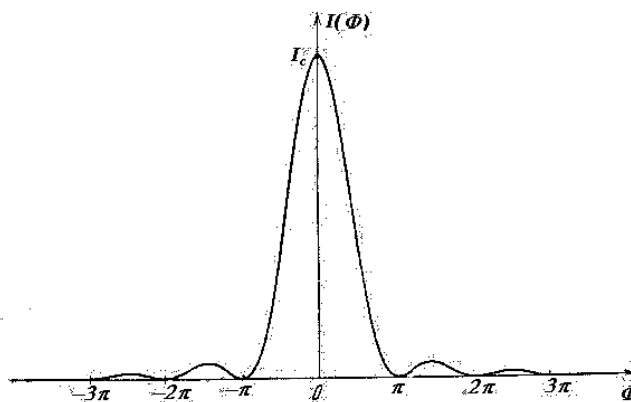




Рис. 11.

5.2. Измерьте с помощью линейки, укрепленной на оптической скамье расстояние  $L$  - от одиночной щели до линейки фотодиодов. Результаты занесите в таблицу 1.

5.3. Кнопка  (Filtering mode) позволяет активировать цифровую фильтрацию сигнала. Сигнал сглаживается. Каждый пиксель усредняется вместе со своими соседями. Порядок фильтра может изменяться.

5.4. С помощью микрометрического винта с делениями установите ширину щели, равную  $d = 100$  мкм.

5.5. Измерьте ширину дифракционного максимума. Для этого левой кнопкой мыши активируйте вертикальные курсоры нажатием нижней

кнопки . Поместите курсор мыши на маркер, нажмите правую кнопку мыши и, удерживая ее, установите маркер на первый левый минимум дифракционной картины. Аналогичным образом установите маркер на первый правый минимум. Положение каждого курсора  $x_1$  и  $x_2$ , а также абсолютное расстояние между ними  $(x_2 - x_1)$  отображаются в левом нижнем углу окна программы CALIENS. В режиме увеличения 1/1 абсолютная погрешность составляет 14 мкм. Занесите значение  $\Delta x$  в таблицу 1 и зарисуйте полученную на экране монитора картинку в отчет.

Положения вертикальных измерительных курсоров должны строго соответствовать положениям первого левого и правого минимумов дифракционной картины.

5.6. Исследуйте влияние ширины щели на вид дифракционной картины. Для этого поверните головку микровинта на один оборот, установив ширину щели равной 200 мкм. Проведите измерения как в п. 5.5. То же самое для 300 мкм и 400 мкм. Полученные дифракционные



картины зарисуйте в отчете на одном графике.

5.7. Сделайте вывод о влиянии ширины щели на ширину и высоту главных максимумов.

5.8. Рассчитайте длину волны лазера, определите ее среднее значение. Для расчёта длины волны  $\lambda$  используйте формулу (8):

$$\lambda = \frac{d\Delta x_n}{2nL},$$

где  $d$  – ширина одиночной щели;  $L$  – расстояние от одиночной щели до линейки фотодиодов;  $\Delta x_n$  – расстояние между симметрично расположенными *минимумами* с номером  $n$ . Результаты занесите в таблицу 1.

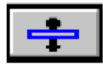
Таблица 1

$n =$				
$L =$				
$d$ , мкм	$d_1 = 100$	$d_2 = 200$	$d_3 = 300$	$d_4 = 400$
$\Delta x_n$ , мкм				
$\lambda$ , мкм				
$\lambda_{\text{ср}} =$				

## 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДА РЕШЕТКИ $d$ .

6.1. На расстоянии примерно (40 ÷ 50) см от линейки фотодиодов установите на оптической скамье подставку, с закрепленными в ней амплитудными дифракционными решетками. Введите в лазерный пучок решетку с числом щелей  $N = 2$ , плавно перемещая объект с помощью регулировочного винта в поперечном направлении (туда и обратно), получите на экране симметричную дифракционную картину. Она должна быть строго ориентирована в горизонтальном направлении.

6.2. Измерьте расстояние  $L$ . Значения  $L$ ;  $\lambda_{\text{ср}}$  – средняя длина волны полупроводникового лазера (значение длины волны возьмите из таблицы 1);  $d = 70$  мкм – ширина щелей решетки;  $N = 2$  – количество щелей занесите в таблицу 2.

6.5. Перейдите к ручной установке измерительных маркеров на дифракционной картине с помощью кнопочной панели  (как в предыдущем задании). Только теперь установите маркеры на левый и

правый главные максимумы. Результаты измерений ( $\Delta x$ , отображаемые в нижнем левом углу экрана) занесите в таблицу 2.

6.6. Зарисуйте картину дифракции Фраунгофера для решетки с числом щелей  $N = 2$ . По формуле (5)

$$d = \frac{2m\lambda L}{\Delta x_m}$$

рассчитайте период дифракционной решетки  $N = 2$ .

Таблица 2

$N$	$m$	$\Delta x_m$ мкм	$d$ , мкм	$\lambda$ , мкм	$L$ , мм	$d$ , мкм
2	1		70			
	2					

6.7. Аналогичные исследования проведите с решеткой с числом щелей  $N = 5$ . Данные занесите в табл. 3. Ширина щелей решетки  $d$  составляет также 70 мкм. Обратите внимание на уменьшение ширины главных максимумов и характерные особенности интерференционной структуры при  $N = 5$ . Зарисуйте картину дифракции Фраунгофера для решетки с числом щелей  $N = 5$ .

Таблица 3

$N$	$m$	$\Delta x_m$ , м	$d$ , мкм	$\lambda$ , мкм	$L$ , мм	$d$ , мкм
5	1		70			
	2					

6.8. По формуле (5)

$$d = \frac{2m\lambda L}{\Delta x_m}$$

рассчитайте период дифракционной решетки с числом щелей  $N = 5$ .

6.9. Выключите головку Caliens, выключите лазер, закройте программу, выключите компьютер.

6.10. Проведите анализ полученных результатов. Сделайте вывод.

## 7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое явление называется дифракцией света? Как визуально (на экране) проявляется дифракция света? При каком условии наблюдаются наиболее четкие дифракционные картины?
2. Сформулируйте принцип Гюйгенса-Френеля. Объясните качественно явление дифракции на основе этого принципа.

3. Что называется дифракционной решеткой? Для чего применяются дифракционные решетки?
4. Какой вид имеет дифракционная картина от решетки при освещении монохроматическим светом, например, красным? (Что такое монохроматический свет?).
5. Какой вид имеет дифракционная картина от решетки при освещении белым светом? Каков физический смысл термина «Порядок спектра»?
6. Напишите формулу для интенсивности света в дифракционной картине, получаемой с помощью решетки. Проведите анализ этой формулы (от каких величин зависит интенсивность, во сколько раз возрастает интенсивность, если вместо 1 щели используется решетка с  $N$  щелями?).
7. Получите условие для главных минимумов и главных максимумов при дифракции на дифракционной решетке.
8. Нарисуйте графики распределения интенсивности света при дифракции от одной щели и от дифракционной решетки. В чем их основное отличие? Сколько минимумов возникает между двумя соседними максимумами при использовании решетки?
9. Что такое волновой фронт?
10. Дайте расширенное понятие зон Френеля.
11. Каковы условия наблюдения дифракции Фраунгофера?
12. Какой должна быть разность хода между лучами, чтобы при их наложении получить максимум (минимум) интенсивности?
13. Назовите условия образования дифракционных максимумов для одной щели (для двух щелей).
14. Что такое период (постоянная решетки)? Как его определить? Как он связан с числом штрихов на 1 мм?
15. Как влияет ширина щели диафрагмы на параметры дифракционной картины?
16. Как влияют параметры дифракционной решетки (ширина щелей, период) на особенности изображения.
17. Какова технология изготовления дифракционных решеток? Дать расширенный ответ по литературным источникам.
18. Как изменится дифракционная картина при изменении угла падения лучей на решетку?
19. Дайте подробное понятие отражательной дифракции решетки.
20. Можно ли изменить период решетки, не изменяя ее технических и конструктивных размеров?
21. Сравните дифракционный и дисперсионный спектры излучения. В чем их разница?

22. Дайте понятие разрешающей способности дифракционной решетки.
23. Как определить ширину спектральной линии дифракционного спектра?
24. С помощью дополнительных литературных источников объясните принцип работы дифракционного спектрографа.
25. Почему компакт-диски (CD) причудливо и красиво раскрашены?

## 8. ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Кн. 4, Волны. Оптика. - М.: Наука: Физматлит, 1998.-256 с.
2. Айзензон А. Е. Курс физики. - М.: Высшая школа, 1996.- 462 с.
3. Матвеев А.Н. Оптика. - М.: Высшая школа, 1985, 351 с.
4. Пресс Ф.П. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью, М., Радио и связь, 1991, 230 с.
5. Биченков Е.И., Климкин В.Ф., Клинков К.В. Комплекс лекционных демонстраций по оптике с использованием современных фоторегистрирующих систем и компьютерного сопровождения. Новые информационные технологии в университетском образовании. Материалы Международной научно-практической конференции, Новосибирск, НГУ, 1999, С. 29-32.
6. Колфилд Г. Оптическая голография, Т.1, М., Мир, 1982, 374 с.

## 9. ГЛОССАРИЙ

1. **Волновой фронт** – поверхность, окружающая источник колебаний, все точки которой имеют одинаковые фазы колебаний. Фронт волны может быть сферой (сферическая волна) или иметь более сложную форму. Направление распространения волны – нормаль к фронту волны.
2. **Дифракция волн** – явление, которое проявляет себя как отклонение от законов геометрической оптики при распространении волн при прохождении вблизи препятствий, сопровождающееся пространственным перераспределением энергии световой волны – интерференцией.
3. **Дифракционная решетка** – оптический прибор, работающий по принципу дифракции света, представляет собой совокупность большого числа регулярно расположенных штрихов (щелей, выступов), нанесённых на некоторую поверхность.

Дифракционная решётка – любая периодическая структура, периодически неоднородная структура, при распространении волн через которую наблюдаются особенности, относящиеся к дифракции.

4. **Дифракция Френеля** – дифракционная картина, которая наблюдается на небольшом расстоянии от препятствия, по условиям, когда основной вклад в интерференционную картину дают границы экрана.

5. **Дифракция Фраунгофера** – случай дифракции, при котором дифракционная картина наблюдается на значительном расстоянии от отверстия или преграды.

6. **Зоны Френеля** – участки, на которые можно разбить поверхность световой (или звуковой) волны для вычисления результатов дифракции света (или звука).

7. **Интенсивность света** – величина, пропорциональная квадрату амплитуды вектора электрической напряжённости световой волны. Это понятие, характеризующее распределение светового потока в пространстве (сила света), по поверхности (освещённость или светимость энергетическая), по спектру и т. д.

8. **Коллимированный пучок света** – Коллимация — создание тонкого параллельно идущего потока излучения при помощи щелей, через которые он проходит. Коллиматор — устройство для получения параллельных пучков лучей света или частиц.

9. **Модуляция** – (размеренность, ритмичность) — процесс изменения одного или нескольких параметров высокочастотного несущего колебания по закону низкочастотного информационного сигнала (сообщения).

10. **Монохроматический излучение** – электромагнитное излучение, обладающее очень малым разбросом частот, в идеале — одной частотой (длиной волны).

11. **Относительная интенсивность дифракционных максимумов** при дифракции Фраунгофера на щели – определяется выражением:

$$I_{\varphi} = I_0 \frac{\sin^2\left(\frac{\pi}{2} b \sin \varphi\right)}{\left(\frac{\pi}{2} b \sin \varphi\right)^2}; \quad I_{\varphi} \approx a_{\varphi}^2.$$

12. **Период решетки** – расстояние, через которое повторяются штрихи на решётке.

**13. Принцип Гюйгенса-Френеля** – Каждый элемент волнового фронта можно рассматривать как центр вторичного возмущения, порождающего вторичные сферические волны, а результирующее световое поле в каждой точке пространства будет определяться интерференцией этих волн.

$$E = \int_{\sigma} k(\varphi) \frac{a_0}{r} \cos(\omega t - kr + \alpha_0) d\sigma$$

**14. Разрешающая способность** – Разрешающая способность  $R$  измеряется отношением длины волны к наименьшему интервалу длин волн, который ещё может разделить решётка:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN = \frac{W}{\lambda} (\sin \alpha + \sin \beta)$$

**15. Фотоэффект** – это испускание электронов веществом под действием света (или любого другого электромагнитного излучения). В конденсированных веществах (твёрдых и жидких) выделяют внешний и внутренний фотоэффект.

**16. Фотоэффект внутренний** – это перераспределение электронов по энергетическим состояниям в твёрдых и жидких полупроводниках и диэлектриках, происходящее под действием излучений. Он проявляется в изменении концентрации носителей зарядов в среде и приводит к возникновению фотопроводимости или вентильного фотоэффекта.

**17. Ширина спектральной линии** дифракционного спектра – интервал частот или интервал длин волн, характеризующий спектральные линии в излучениях квантовых систем. Ширина линии измеряется по половине от максимальной интенсивности (Полуширина).