

МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра «Физика»

А.С. Чуев, Ю.В. Герасимов

## КОМПЬЮТЕРНАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА О-84 К

### ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ И ДИФРАКЦИИ НА ПРИМЕРЕ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ

**Цель работы** – знакомство с явлениями интерференции и дифракции волн. Изучение параметров оптической дифракционной решетки.

**Используемые приборы и оборудование** – компьютер с программой: *fizika\_p* (или *difraction*).

#### ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Дифракцией называется явление, связанное с огибанием волнами препятствий. Данное явление хорошо наблюдается, когда размеры препятствий соизмеримы с длиной волны, падающей на препятствие. Так как свет – это электромагнитная волна, длина волны которой составляет 0,4–0,7 мкм, то для наблюдения дифракции света размеры препятствий должны быть порядка микрометров.

Различают два основных случая дифракции. Если фронт световой волны является плоским, то говорят о дифракции Фраунгофера, а если фронт волны сферический – то о дифракции Френеля.

Большой интерес представляет случай дифракции Фраунгофера от бесконечно длинной щели (для этого достаточно, чтобы длина щели была значительно больше её ширины).

Если на щель шириной  $b$  (рис. 1) по нормали падает плоская монохроматическая волна, пройдя сквозь щель, дифрагирует под разными углами, отклоняясь от первоначального направления. В результате на экране, расположенном на расстоянии  $L$  от щели, наблюдается дифракционная картина в виде светлой центральной полосы с максимальной освещенностью и симметрично расположенных относительно центральной полосы светлых полос меньшей интенсивности, разделённых темными полосами (рис. 1).

Углы  $\varphi$ , под которыми наблюдаются максимумы и минимумы освещенности, можно найти, используя метод зон Френеля. Для этого фронт волны, ограниченный щелью, надо разбить на отдельные участки (зоны Френеля) так, чтобы расстояние от краев соседних зон до точки наблюдения отличалось на половину длины волны. Тогда волны от соседних зон будут приходить в точку наблюдения в противофазе и гасить друг друга.

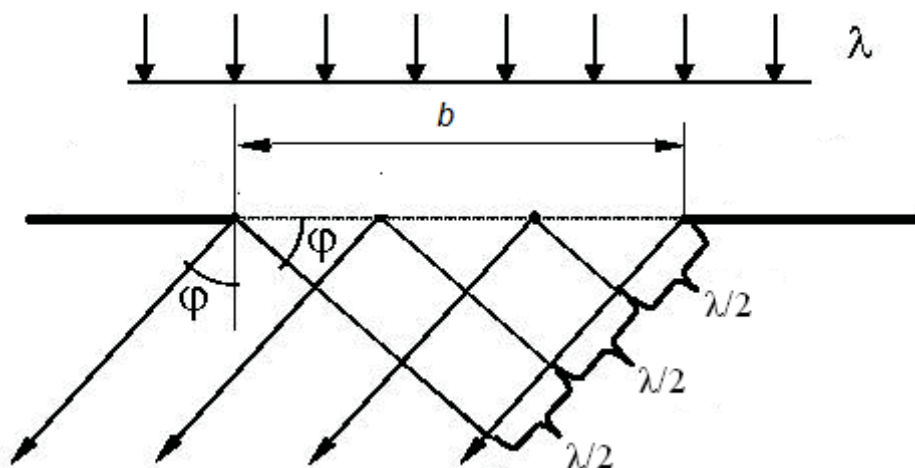


Рис. 1.

Если на фронте волны в щели кажется четное число зон, то под данным углом  $\varphi$  на экране будет наблюдаться минимум, а если нечетное – то максимум.

Дифракционная решётка - представляет собой прибор, предназначенный для анализа спектрального состава оптического излучения. Дифракционная решётка состоит из тысяч узких и близко расположенных щелей. Из-за интерференции интенсивность света прошедшего через дифракционную решётку различна в различных направлениях. Имеются выделенные направления, в которых световые волны от различных щелей решётки складываются в фазе, многократно усиливая друг друга.

При освещении дифракционной решётки монохроматическим светом на её выходе наблюдаются узкие лучи с большой интенсивностью. Так как направления на интерференционные максимумы зависят от длины волны, белый свет, прошедший через дифракционную решётку, будет расщепляться на множество лучей разного цвета. Таким образом, мы можем исследовать спектральный состав света. Выражение для интерференционных максимумов одинаково для пары щелей и дифракционной решётки, но в последнем случае максимум оказывается намного более острым и интенсивным, обеспечивая высокое разрешение в спектроскопических исследованиях. Интенсивность максимумов также ока-

зывается пропорциональной второй степени количества освещаемых щелей (штрихов).

Самый яркий максимум наблюдается при угле  $\varphi = 0$  (рис. 2).

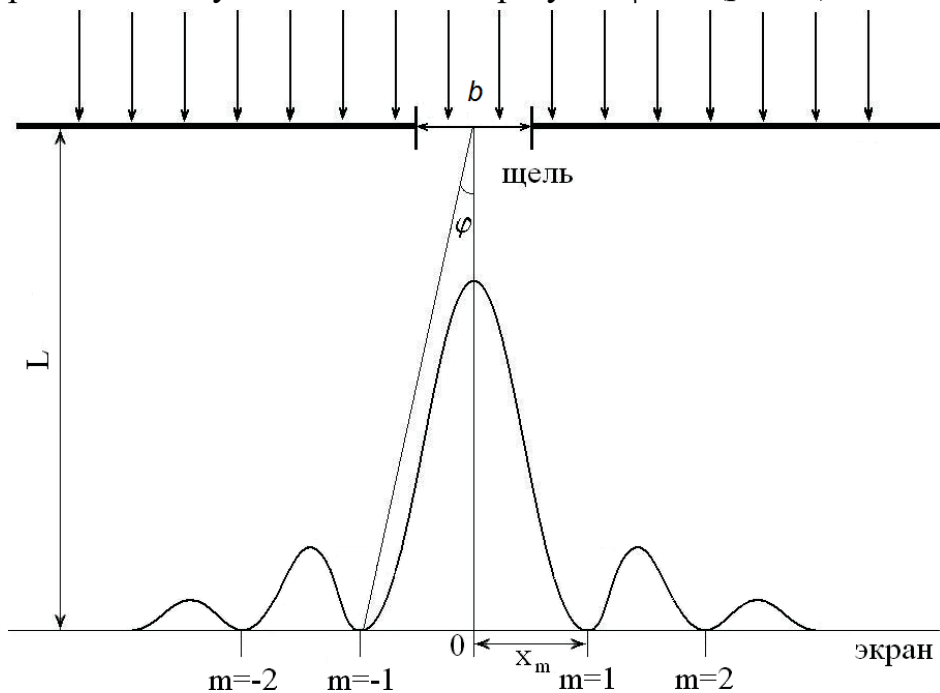


Рис.2.

Рассмотрим вначале две щели, на которые нормально падает плоская монохроматическая волна. Интенсивность света будет зависеть от угла отклонения  $\varphi$  к первоначальному направлению распространения света. Распределение света на экране будет соответствовать рис.3.

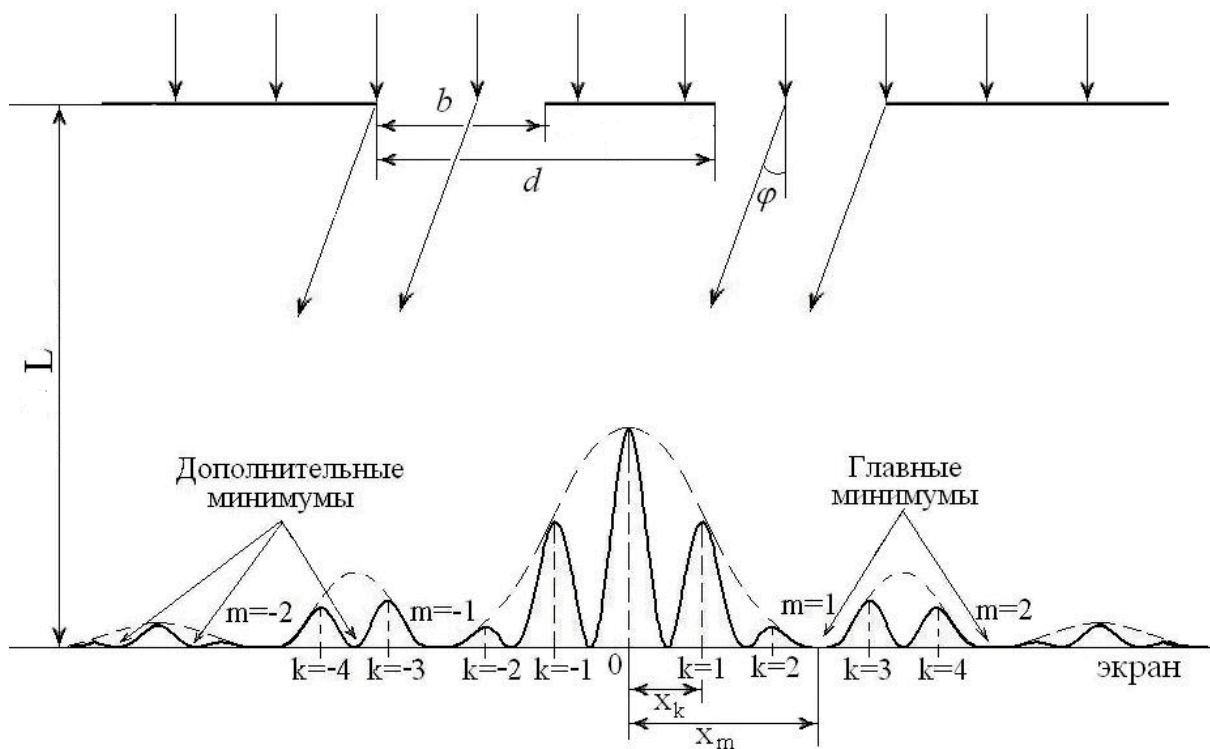


Рис.3.

Если дифракционная решётка состоит из  $N$  параллельных щелей, то волны от щелей решётки будут интерферировать с образованием интерференционных полос как показано на рис.4.

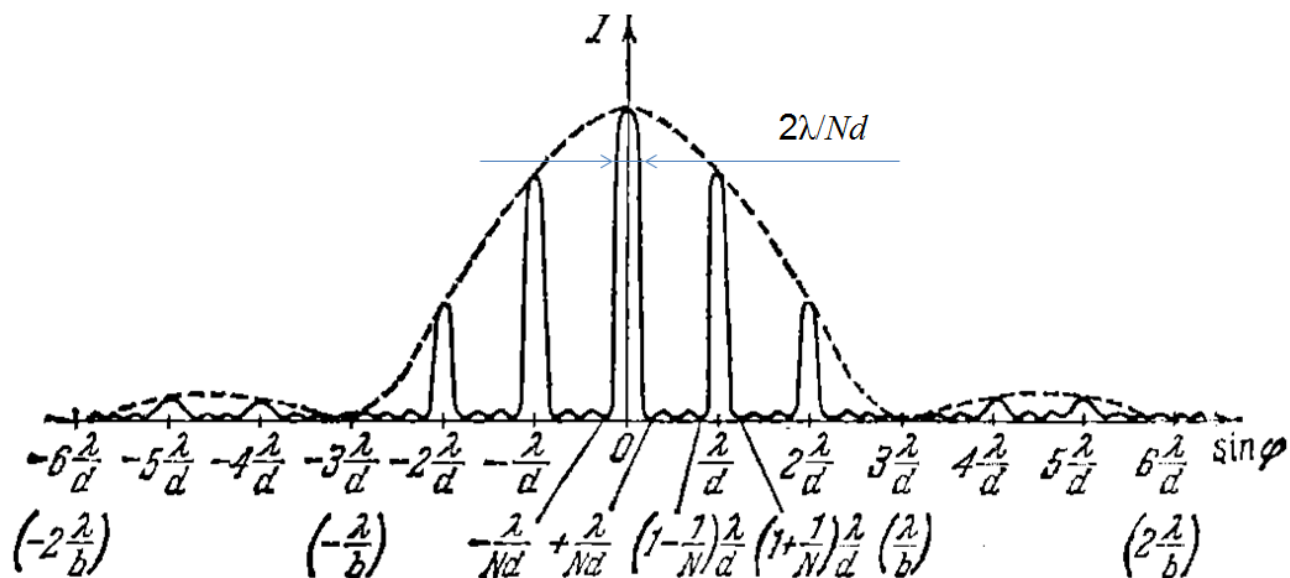


Рис. 4.

Распределение света на выходе дифракционной решётки от угла  $\varphi$  описывается выражением [2]:

$$I_{\varphi} = I_0 \left( \frac{\sin(kb\varphi/2)}{kb\varphi/2} \right)^2 \left( \frac{\sin(Nkd\varphi/2)}{\sin(kd\varphi/2)} \right)^2$$

Первый множитель в скобках этой формулы описывает дифракцию Фраунгофера на одной щели, а второй множитель - интерференцию волн от  $N$  щелевых источников.

Оптическая разность хода между лучами от различных щелей будет равна  $d \cdot \sin \varphi$ . Если разность хода равна целому числу длин волн света, то волны будут интерферировать в фазе, многократно усиливая друг друга. Поэтому мы можем записать следующее уравнение для главных максимумов интерференционной картины:

$$d \cdot \sin \varphi = m\lambda, \text{ где } m = 0, 1, 2, \dots$$

Дифракционная решетка является спектральным прибором. Основными характеристиками всякого спектрального прибора являются его *дисперсия* и *разрешающая сила*. Дисперсия определяет угловое или линейное расстояние между двумя спектральными линиями, различающимися по длине волны на единицу (например, на 1 ангстрем). Разрешающая сила определяет минимальную разность длин волн  $\delta\lambda$ , при которой две линии воспринимаются в спектре раздельно.

*Угловой дисперсией* называется величина

$$D = \frac{\delta\varphi}{\delta\lambda}$$

где:  $\delta\varphi$  – угловое расстояние между спектральными линиями, различающимися по длине волны на  $\delta\lambda$ . В пределах небольших углов

$$D \approx \frac{m}{d}$$

где:  $d$  – период решетки.

*Линейной дисперсией* называют величину

$$D_{\text{лин}} = \frac{\delta l}{\delta\lambda},$$

где:  $\delta l$  – линейное расстояние на экране или на фотопластинке между спектральными линиями, различающимися по длине волны на  $\delta\lambda$ .

*Разрешающей силой* спектрального прибора называют безразмерную величину

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda},$$

где:  $\delta\lambda$  – минимальная разность длин волн двух спектральных линий, при которой эти линии воспринимаются раздельно.

Два близких максимума воспринимаются глазом раздельно в том случае, если интенсивность в промежутке между ними составляет не более 80% от интенсивности максимума. Согласно критерию, предложенному английским физиком Релеем, такое соотношение имеет место в том случае, если середина одного максимума совпадает с краем другого. Такое взаимное расположение максимумов получается при определенном (для данного прибора) значении  $\delta\lambda$ .

Разрешающая сила дифракционной решетки с числом щелей  $N$  для  $m$  – го максимума, по критерию Релея будет определяться выражением

$$R = mN$$

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

**Задание 1.** *Описать параметры дифракционных решеток (ДР), используемых в компьютерной программе *fizika\_p* (или *difraction*), представив их в табличной форме (табл. 1).*

$$\lambda = 0,65 \text{ мкм};$$

размер решеток 10 x 10 мм; прозрачная пленка толщиной 110 мкм; щели вертикальные ( в строке 2 совместно с горизонтальными), разрешение 4000 точек (пикселей) на дюйм;

$$1 \text{ пиксел} = 1/4000 \text{ дюйма} = 6,35 \text{ мкм}.$$

Таблица 1. Параметры дифракционных решеток.

Ряд ДР	Значения линейных параметров привести в мкм (или <i>нк</i> )					
	<i>b</i>	<i>b/λ</i>	<i>d</i>	<i>d – b</i>	<i>d/b</i>	<i>N</i>
1					2	
2					2	
3					ИЗМ.	
4					ИЗМ.	
5					-	1
6					ИЗМ.	2
7					ИЗМ.	2

**Задание 2.** *Изучить параметры и свойства дифракционной решетки.*

А. Зарисовать дифракционные картины от решеток с одной и двумя щелями 10 и (2 x 10), 20 и (2 x 20) (ряды 5 и 6), сравнить их и сделать выводы.

Б. Пользуясь интерференционными изображениями пятого ряда ДР определить зависимость углового расположения интерференционных минимумов и разрешающей способности от относительной ширины щели (*b/λ*). Построить графики зависимостей.

В. По 3 ряду решеток зарисовать три характерных положения (два крайних и среднее). Определить зависимость углового расстояния между главными максимумами от параметров дифракционной решетки.

Г. По 7 ряду решеток с двумя щелями одинаковой ширины определить зависимость числа главных максимумов, располагаемых в центральной части дифракционной картины, от параметров дифракционной решетки.

**Задание 3.** Сформулировать выводы по проведенной работе.

### **Контрольные вопросы**

1. В чем отличие поперечных и продольных волн? Что такое когерентность?
2. Поясните явления интерференции и дифракции волн.
3. Сформулируйте принцип Гюйгенса. В чем отличие дифракций Френеля и Фраунгофера?
4. Что такое зоны Френеля, поясните векторную диаграмму Френеля?
5. Опишите дифракционную картину от края полубесконечной плоскости.
6. Что такое дисперсия и поляризация волн? Приведите примеры из оптики.
7. Что такое дисперсия и разрешающая сила дифракционной решетки, как и какими параметрами они определяются?
8. Где используется дифракционная решетка?
9. В чем отличие амплитудной и фазовой дифракционных решеток?
10. Почему в современной электронной промышленности широкое распространение получили оптические лазерные технологии?

### **Список литературы**

1. Иродов И.Е. Волновые процессы. Основные законы: Учеб. пособие для вузов – 2-е изд., дополн. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004.– 263 с.
2. Савельев И.В. Курс общей физики: в 5 кн.: Кн. 4.: Волны. Оптика: Учебн. пособие для вузов. – М.: ООО «Изд. Астрель»: ООО «Изд. АСТ», 2004. – 256 с.