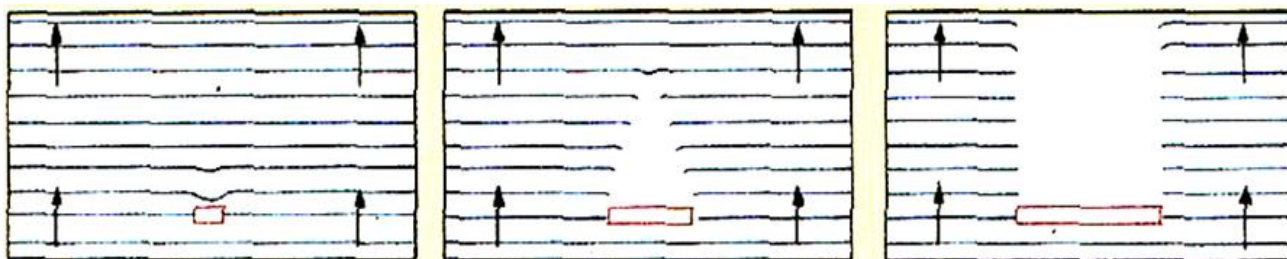


## Тема: Дифракция света

**Дифракцией** называется явление огибания волнами препятствий, встречающихся на их пути, или в более широком смысле – любое отклонение распространения волн вблизи препятствий от прямолинейного.

Благодаря дифракции волны могут попадать в область геометрической тени, огибать препятствия, проникать через небольшое отверстие в экранах и т.д. (см. рис. 1)

### Дифракция механических волн на воде

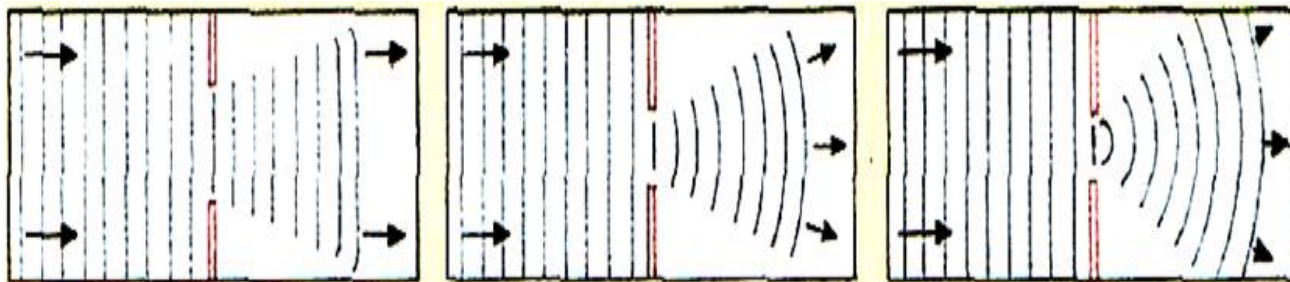


Препятствие мало по сравнению с длиной волны – сильная дифракция, так что «тень» не образуется

Размер препятствие сравним с длиной волны – умеренная дифракция, так что образуется небольшая «тень», то есть область, за которую волна не проходит

Препятствие велико по сравнению с длиной волны – дифракции почти нет, так что образуется большая «тень».

### Дифракция механических волн на воде



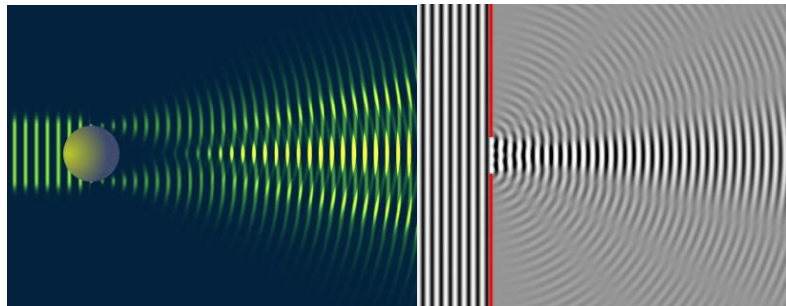
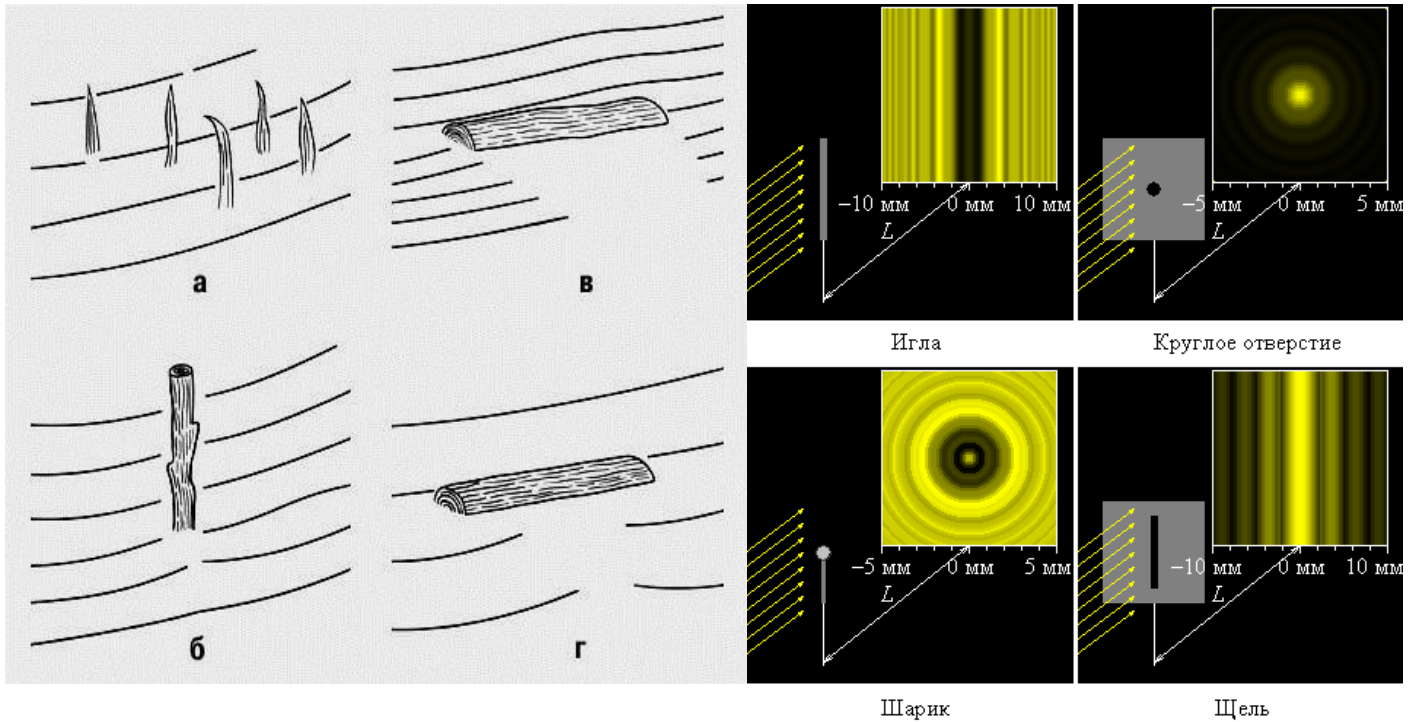
Размер щели большой по сравнению с длиной волны – слабая дифракция

Щель сравнима с длиной волны – наблюдается умеренная дифракция

Щель мала по сравнению с длиной волны – очень сильная дифракция

**Рис. 1** Дифракция механических волн на различных препятствиях

Эти рисунки делать не надо



Эти рисунки делать не надо

Дифракция наблюдается всегда при встрече волнового фронта волны с препятствием и её результат зависит от соотношения между длиной волны  $\lambda$  и размерами препятствия  $d$ , причём:

- если  $d \approx \lambda$ , то дифракция наблюдается на небольших от препятствия расстояниях,
- если  $d \gg \lambda$ , то дифракция наблюдается на больших от препятствия расстояниях,
- если  $d \ll \lambda$ , то препятствие не оказывает влияние на распространение волны.

Дифракция объясняется интерференцией вторичных волн, возникающих при взаимодействии волны с веществом препятствия на границе отсечённого фронта волны и проявляется в огибании волнами препятствий и формировании интерференционной картины в области геометрической тени.

## **Дифракция Френеля и Дифракция Фраунгофера**

Различают два вида дифракции света:

1. **Дифракция Френеля** (или *дифракция в сходящихся лучах*) наблюдается, когда дифракционная картинка формируется на экране, находящемся на таком конечном расстоянии от препятствия, что волновой фронт, приходящий в точку наблюдения остаётся ещё сферическим.

(в этом случае размеры препятствия сравнимы с размерами первой зоны Френеля и вторичные волны от противоположных краёв препятствия могут приходить как в одинаковых, так и в противоположных фазах)

2. **Дифракция Фраунгофера** (или *дифракция в параллельных лучах*) наблюдается, когда на препятствие падает плоская волна, и дифракционная картина формируется на таком большом расстоянии от препятствия, что волновой фронт, приходящий в точку наблюдения, уже плоский.

(в этом случае размеры препятствия много меньше размера первой зоны Френеля и вторичные волны от противоположных участков препятствия приходят в точку наблюдения в одинаковой фазе).

### **Принцип Гюйгенса-Френеля**

Для решения задач, связанных с распространением волн при дифракции, применяют принцип Гюйгенса-Френеля.

#### **1. Принцип Гюйгенса (1678 г)**

*Каждая точка среды, до которой дошла волна, становится источником вторичных сферических волн.*

*Огибающая этих вторичных волн в любой момент однозначно определяет фронт результирующей волны в этот момент времени.*

*Волновым фронтом называется геометрическое место точек, до которых дошла волна к рассматриваемому моменту времени.*

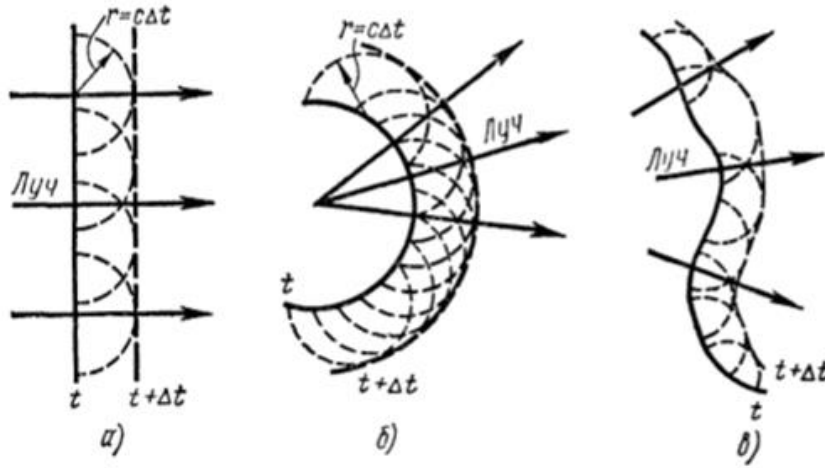


Рис. 2

Применение принципа Гюйгенса для

- а) плоского фронта волны,
- б) сферического фронта волны,
- в) фронта волны произвольной формы в неоднородной среде

Эти рисунки делать не надо

## 2. Принцип Френеля (1815 г)

*Все вторичные источники волн, расположенные на одной и той же волновой поверхности, когерентны между собой.*

*Амплитуда результирующей волны в любой точке пространства является результатом интерференции волн, излучаемых вторичными источниками.*

Согласно **принципу Гюйгенса-Френеля**, световая волна, возбуждаемая каким-либо источником  $S$ , может быть представлена как результат суперпозиции когерентных вторичных волн, излучаемых малыми элементами некоторой замкнутой поверхности, охватывающей источник  $S$ .

## Метод зон Френеля

Метод зон Френеля позволяет в некоторых случаях заменить сложные вычисления, применив чрезвычайно наглядный прием, в основе которого лежит принцип Гюйгенса-Френеля.

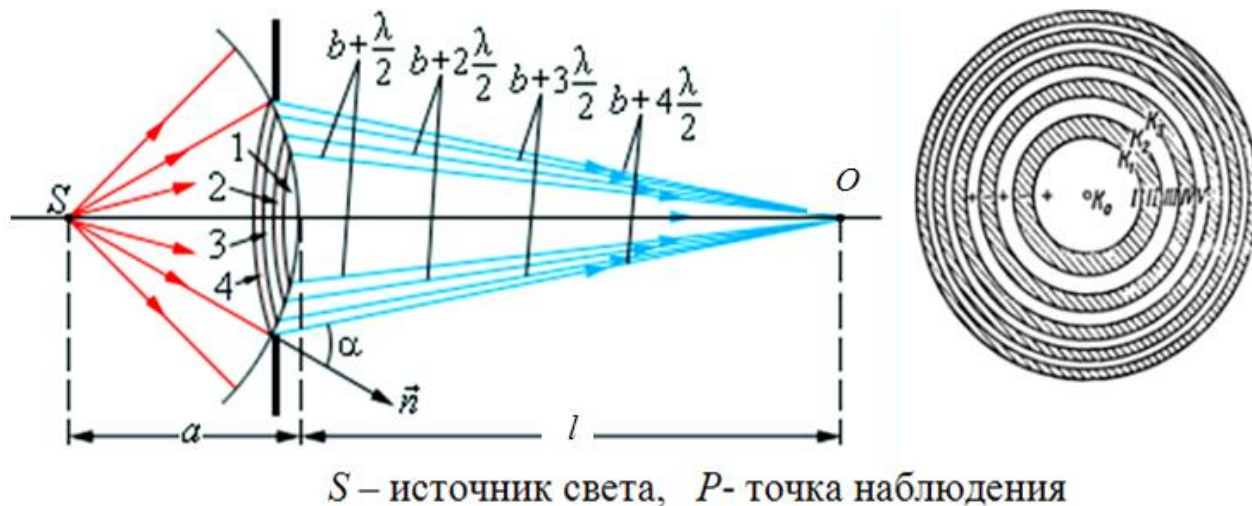


Рис. 3 Метод зон Френеля

Эти рисунки делать не надо

Для определения амплитуды результирующей волны в точке наблюдения  $O$  (см. рис. 3) разбивают сферическую поверхность на небольшие кольцевые участки (зоны Френеля) так, чтобы расстояние от краёв каждой соседней зоны Френеля до точки  $O$  отличались на пол длины световой волны  $\frac{\lambda}{2}$  (см. рис. 3).

Так как разность хода волн от любых двух соседних зон равна пол длины волны  $\frac{\lambda}{2}$ , следовательно в точку  $O$  они будут приходить в противофазе и интерферируя между собой ослаблять друг друга.

Можно показать, что если  $\lambda \ll a$  и  $\lambda \ll l$  (см. рис. 3), то площади всех зон Френеля оказываются одинаковыми.

Применим метод зон Френеля для расчета дифракции света.

## Дифракция Френеля

### Дифракция Френеля на круглом отверстии

Разобьем поверхность сферического волнового фронта в области препятствия на зоны Френеля (см. рис.3) так, чтобы волны от соседних зон приходили в точку наблюдения  $O$  в противофазе.

Тогда амплитуду результирующей волны в точке  $O$  можно представить так:

$$A = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 \dots \pm A_m \quad (1)$$

где  $A_i$  - амплитуда волны, пришедшей от  $i$ -ой зоны Френеля,

$A_m$  - последняя открытая зона Френеля.

Перед  $A_m$  берется знак плюс, если  $m$  - нечетное, и знак минус, если  $m$  - четное.

Величина  $A_i$  уменьшается с ростом  $i$  вследствие увеличения расстояния от  $i$ -ой зоны Френеля до точки наблюдения  $O$ .

Таким образом,  $A_1 > A_2 > \dots > A_m$ .

Так как площади всех зон Френеля оказываются примерно одинаковыми, то можно приближенно считать, что

$$A_i = \frac{A_{i-1} + A_{i+1}}{2}. \quad (2)$$

В таком случае уравнение (1) можно переписать в виде

$$A = \frac{1}{2} A_1 + \left( \frac{1}{2} A_1 - A_2 + \frac{1}{2} A_3 \right) + \left( \frac{1}{2} A_3 - A_4 + \frac{1}{2} A_5 \right) + \dots \pm \frac{A_m}{2}. \quad (3)$$

Так как согласно (2) все выражения, стоящие в скобках, оказываются равными нулю, то окончательно уравнение (3) примет вид:

$$A = \frac{A_1}{2} \pm \frac{A_m}{2} \quad (4)$$

### **Амплитуда результирующего колебания в точке $O$ от всего волнового фронта**

Так как в этом случае  $A_m \ll A_1$ , то из уравнения (4) следует, что результирующая амплитуда в точке наблюдения  $O$  равна:

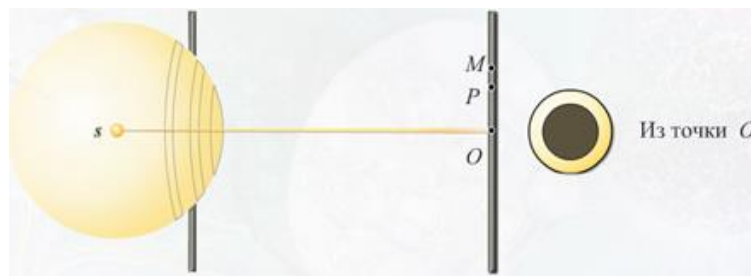
$$A = \frac{1}{2} A_1.$$

То есть, **результующее действие в точке  $O$  полностью открытого фронта световой волны от точечного источника света равно половине действия первой зоны Френеля.**

### **Дифракция Френеля на небольшом круглом отверстии в непрозрачном экране**

При этом возможны следующие случаи:

1. **Точка наблюдения  $O$  находится по середине отверстия и отверстие вырезает мало зон Френеля**



**Рис. 4** Точка наблюдения находится в центре отверстия

*Этот рисунок делать не надо*

В этом случае согласно (4) можно написать:

$$A = \frac{A_1}{2} + \frac{A_m}{2}, \text{ если } m\text{-нечётное,}$$

то есть в точке наблюдения  $O$  будем наблюдать усиление света.

$$A = \frac{A_1}{2} - \frac{A_m}{2}, \text{ если } m\text{-чётное.}$$

то есть в точке наблюдения  $O$  будем наблюдать ослабление света.

Таким образом, в точке  $O$  наблюдается либо усиление, либо ослабление света в зависимости от числа открытых зон Френеля.

Если в точке наблюдения  $O$  параллельно отверстию поместить экран, то на нём будет наблюдаться дифракционная картинка в виде чередующихся тёмных и светлых колец двух видов (рис.5):

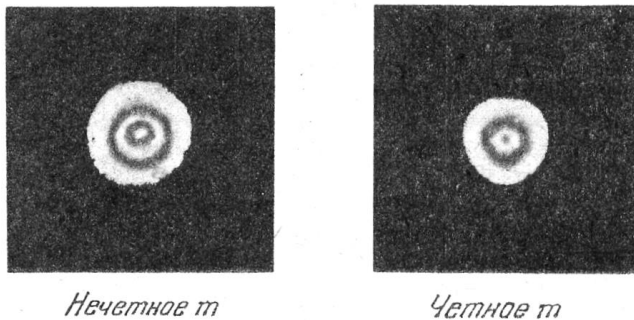


Рис. 5

1. в центре светлое пятно, если  $m$  нечётное

2. в центре тёмное пятно, если  $m$  чётное

Эти рисунки делать не надо

### **2. Отверстие вырезает много зон Френеля ( $m \gg 1$ )**

В этом случае  $A_m \ll A_1$ , тогда из уравнения (4) следует, что результирующая амплитуда в точке наблюдения  $O$  равна:

$$A = \frac{1}{2} A_1,$$

То есть, результирующее действие в точке  $O$  такое же, как от полностью открытого фронта световой волны, то есть **в центре всегда будет наблюдаться светлое пятно.**

### **3. Отверстие вырезает только первую зону Френеля ( $m = 1$ )**

В этом случае

$$A = A_1,$$

то есть амплитуда колебаний в точке  $O$  вдвое больше, чем от всего открытого волнового фронта!



## Дифракция Фраунгофера на многих щелях

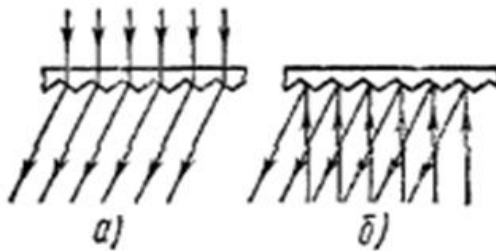
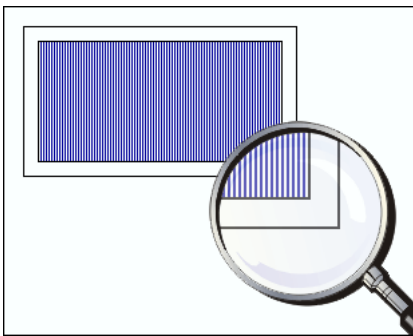
### Дифракционная решетка

*Дифракционной решёткой* называется система параллельных равноотстоящих и близкорасположенных узких щелей, пропускающих или отражающих свет

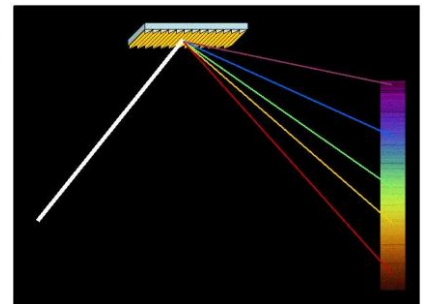
Дифракционная решетка - важнейший спектральный прибор, предназначенный для разложения света в спектр и измерения длин световых волн.

Она представляет собой плоскую стеклянную или металлическую поверхность, на которой нарезано очень много (до сотен тысяч) прямых равноотстоящих штрихов.

Дифракционные решётки бывают двух видов: пропускающие и отражающие свет (см. рис.).



Пропускающая (а) и отражающая (б) дифракционные решётки



Эти рисунки делать не надо

## Условия дифракционных максимумов и минимумов на дифракционной решётке

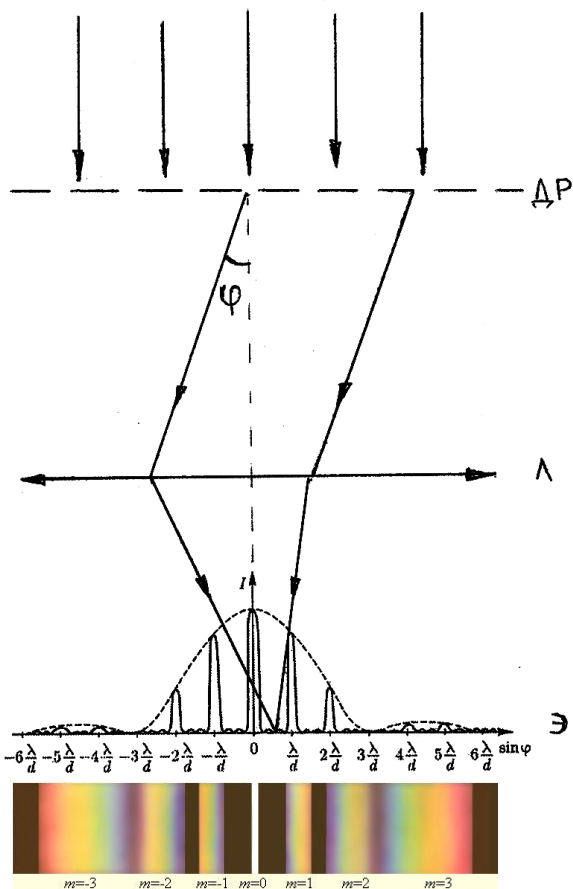


Рис. 6 Оптическая схема дифракционной решётки

Этот рисунок делать не надо

Пусть решётка состоит из  $N$  одинаковых равноотстоящих параллельных щелей, сделанных в непрозрачном экране.

Ширину щели обозначим  $a$ , а ширину непрозрачных промежутков между щелями -  $b$ . Величина  $d = a + b$  называется **периодом** или **постоянной дифракционной решетки**. Лучшие решетки содержат 1200 штрихов на 1 мм.

Дифракционная картина от решетки получается в результате дифракции на каждой щели и интерференции лучей, падающих от разных щелей.

Условие главных максимумов для такой дифракционной решётки имеет вид:

$$d \sin \varphi = \pm m\lambda, \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (5)$$

А условие главных минимумов имеет вид:

$$a \sin \varphi = \pm m\lambda, \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (6)$$

где

$d$  - период дифракционной решётки (или постоянная дифракционной решётки),  $m$

$a$  - ширина щели дифракционной решётки,  $m$ ,

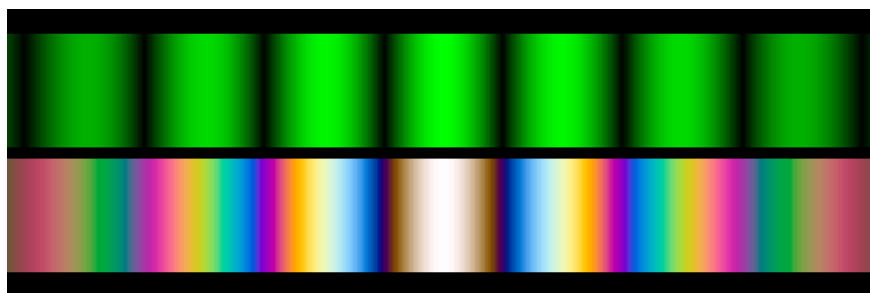
$\varphi$  - угол дифракции,

$m$  - порядок спектра,

$\lambda$  - длина световой волны,  $m$ .

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

Из уравнений (5) и (6) следует, что положение главных максимумов зависит от длины волны. Поэтому при нормальном падении на решётку белого света все максимумы, кроме центрального ( $m = 0$ ), разложатся в спектр, фиолетовая область которого будет обращена к центру дифракционной картины, красная – наружу (см. рис. 7).



**Рис. 7** Дифракционная картинка при падении на решётку зелёного и белого света

Этот рисунок делать не надо

Таким образом, дифракционная решетка представляет собой спектральный прибор, позволяющий изучать химический состав вещества по его спектру излучения или поглощения.