

# Дифракция света



# *Характерным проявлением волновых свойств света*

*является **дифракция** света —*

*отклонение от*

*прямолинейного*

*распространения*

*на резких неоднородностях*

*среды*



# *Дифракция была открыта*

*Франческо Гримальди в конце XVII в.*

*Объяснение явления дифракции света дано Томасом Юнгом и Огюстом Френелем, которые не только дали описание экспериментов по наблюдению явлений интерференции и дифракции света, но и объяснили свойство прямолинейности распространения света с позиций волновой теории*



# Принцип Гюйгенса — Френеля

Для вывода законов отражения и преломления мы использовали принцип Гюйгенса. Френель дополнил его формулировку для объяснения явления дифракции

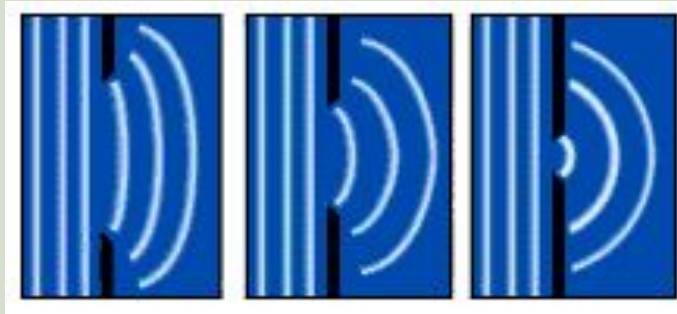
Определите, какое дополнение ввел Френель?

# Принцип Гюйгенса:

*каждая точка волновой поверхности  
является источником вторичных  
сферических волн*

# Принцип Гюйгенса-Френеля:

*каждая точка волновой поверхности является  
источником вторичных сферических волн,*

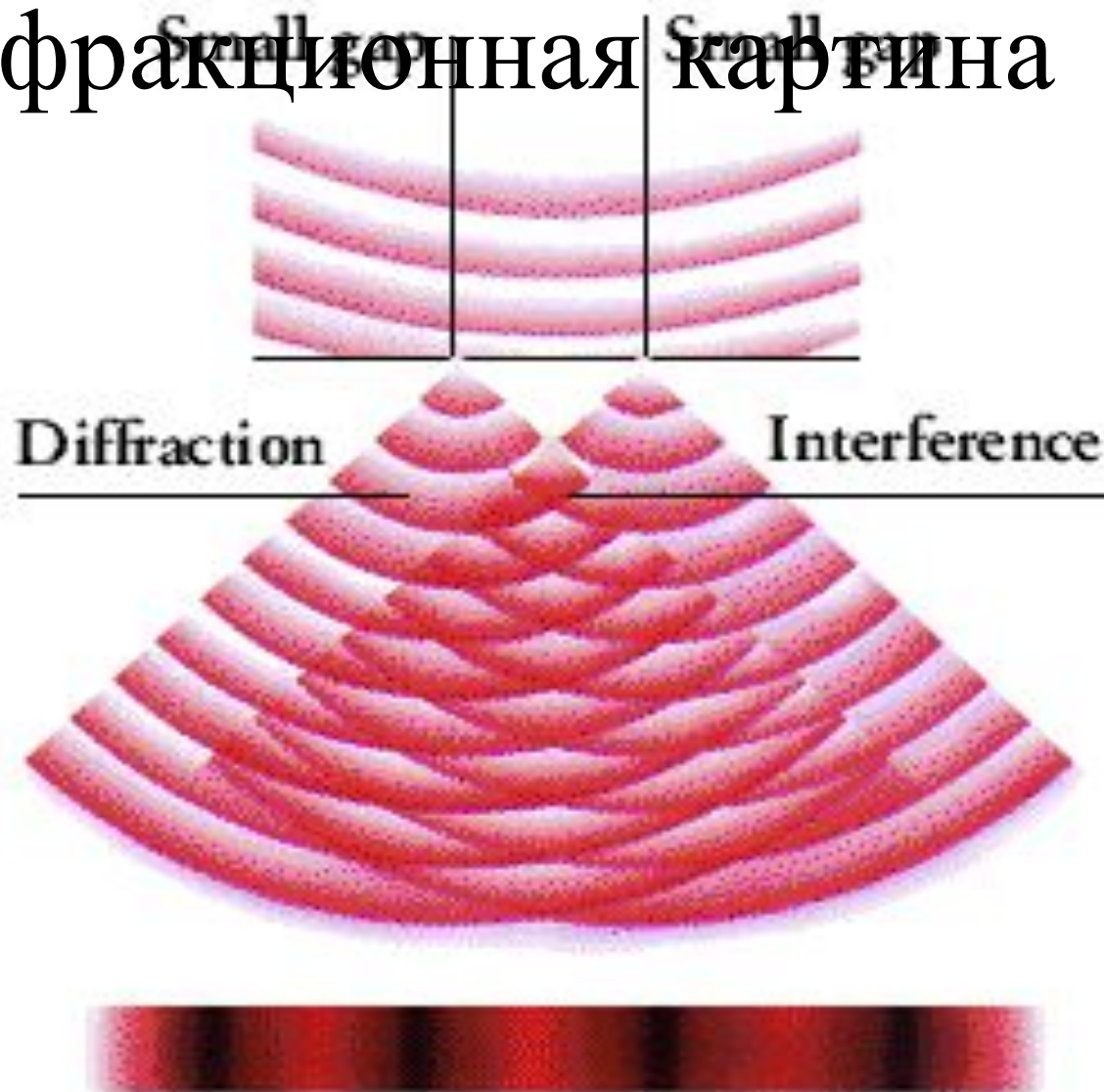


*которые интерферируют между собой*

## Задание:

Попробуйте предположить как будет выглядеть дифракционная картина?

# Дифракционная картина





## Задание:

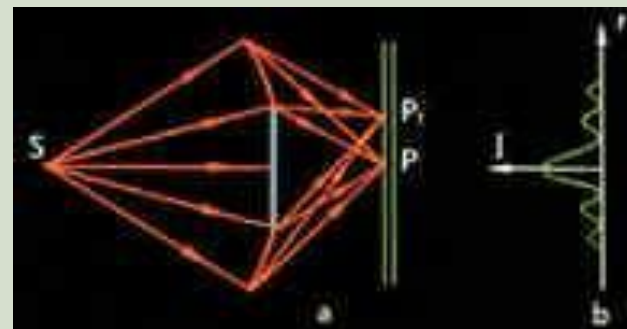
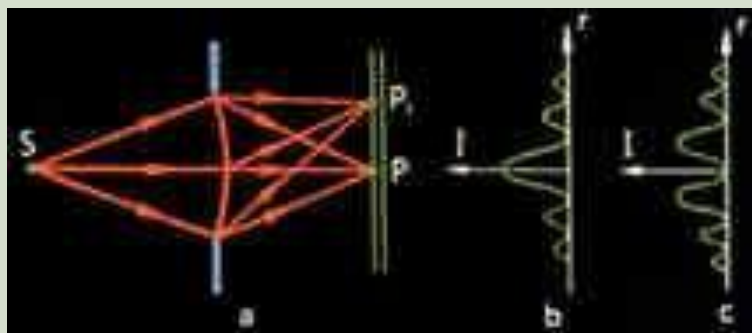
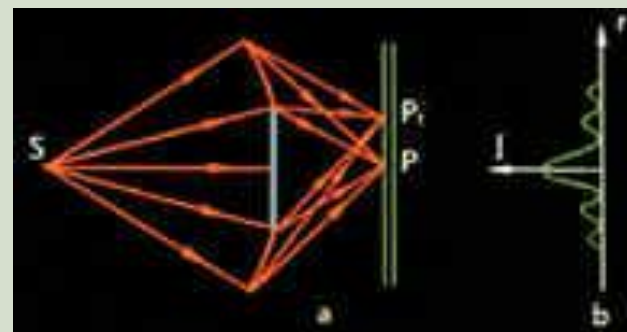
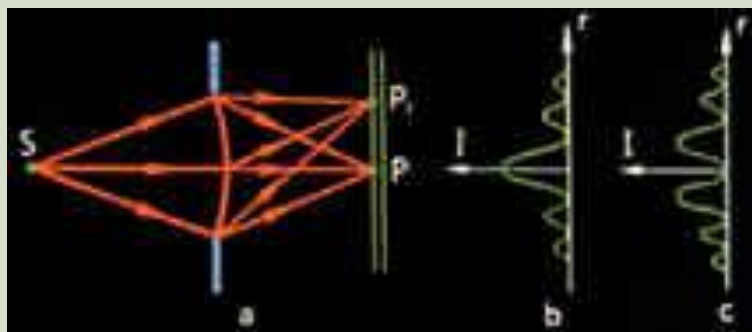
Будет ли вид дифракционной картины зависеть от длины волны (цвета)?

Как будет выглядеть дифракционная картина в белом свете?

# Задание:

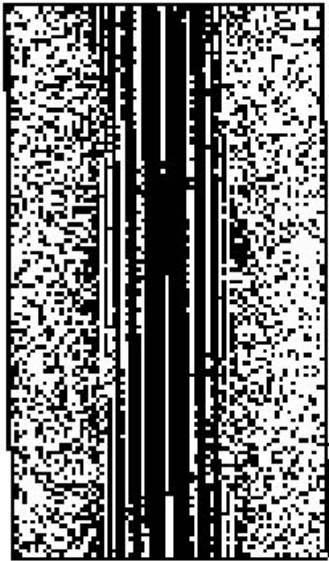
- Попробуйте предложить идею опыта по наблюдению дифракции

# Построение дифракционной картины от круглого отверстия и круглого непрозрачного экрана



## Дифракция от различных препятствий:

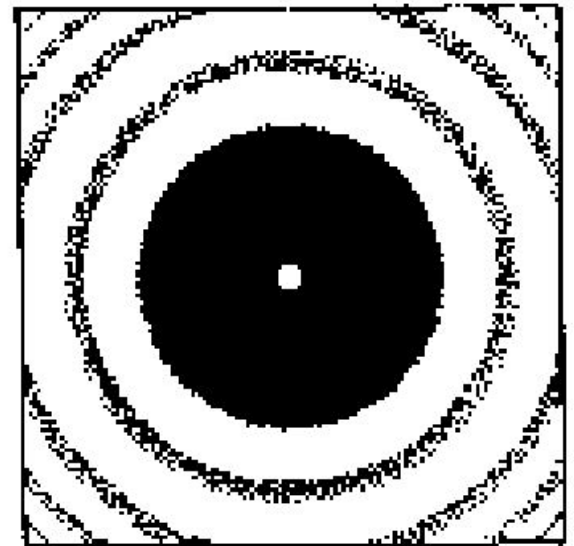
- а) от тонкой проволоочки;
- б) от круглого отверстия;
- в) от круглого непрозрачного экрана.



а)



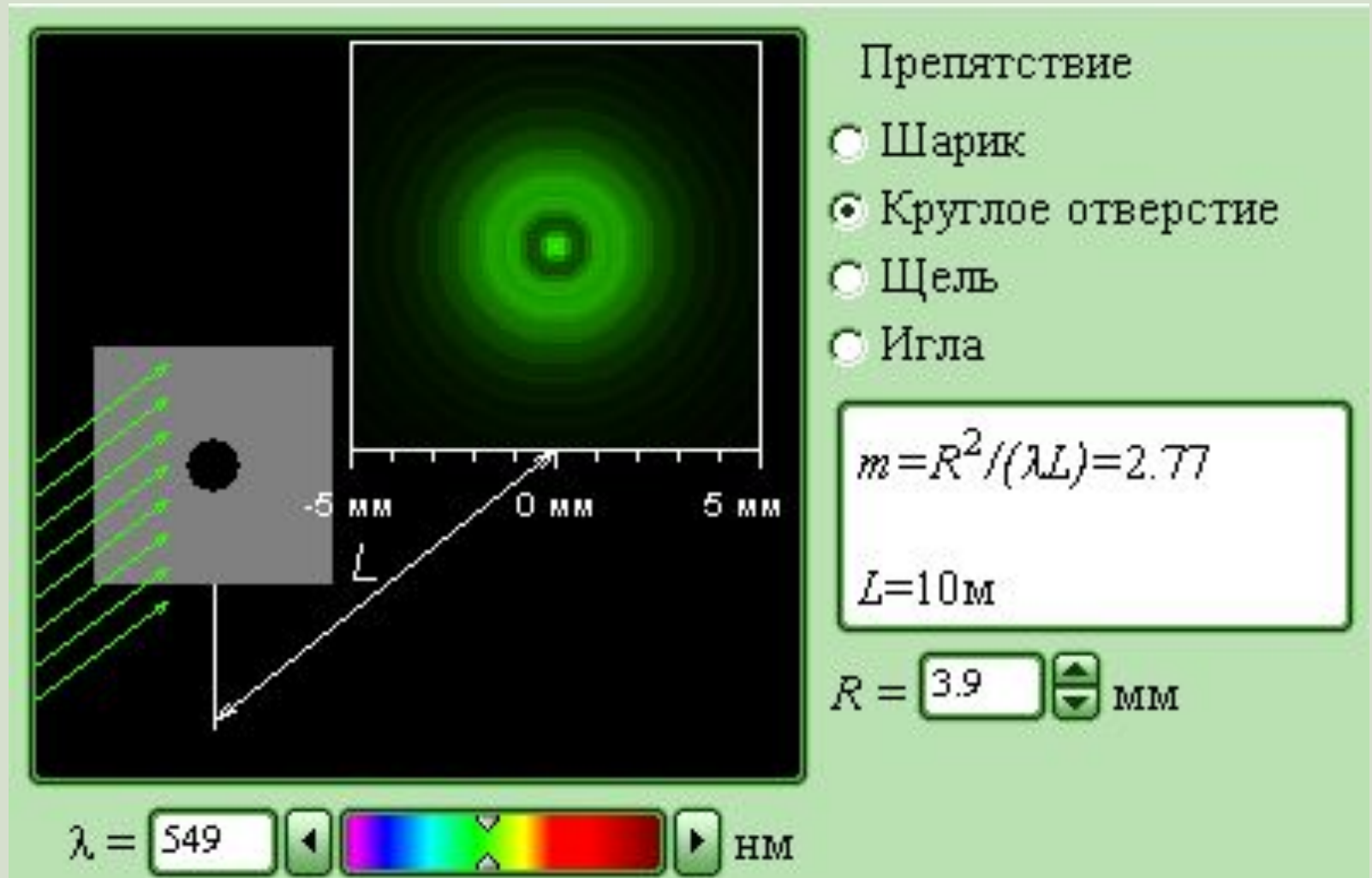
б)



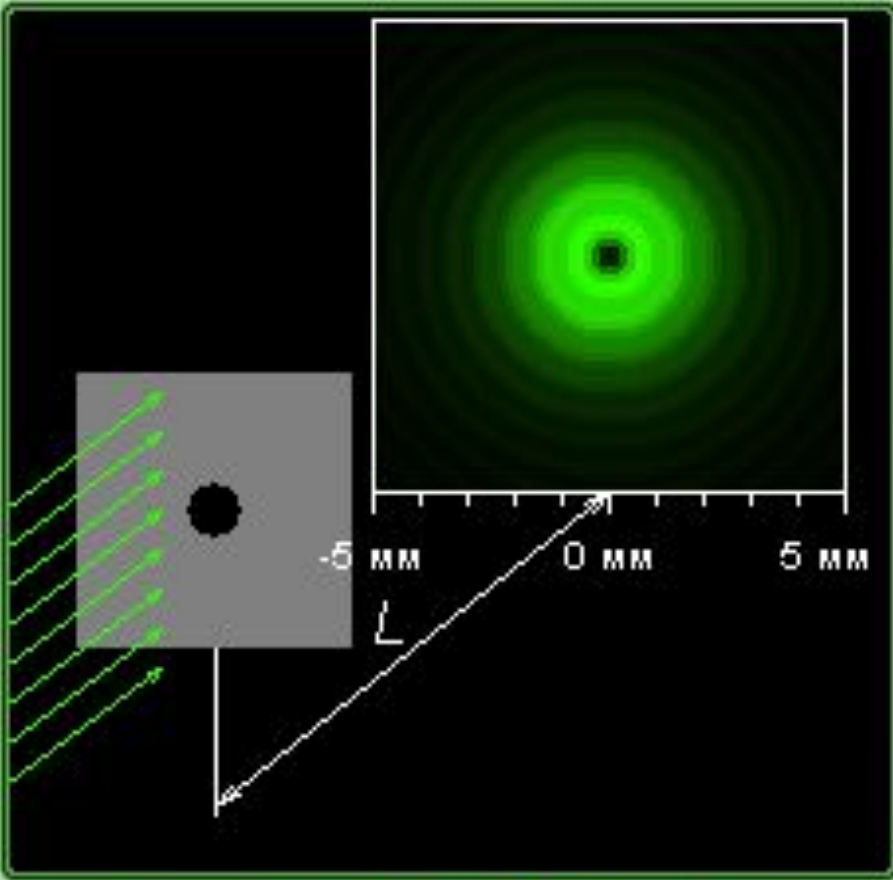
в)

# Препятствие – круглое отверстие

$R=3.9$



# Препятствие – круглое отверстие $R=3.3$



Препятствие

- Шарик
- Круглое отверстие
- Щель
- Игла

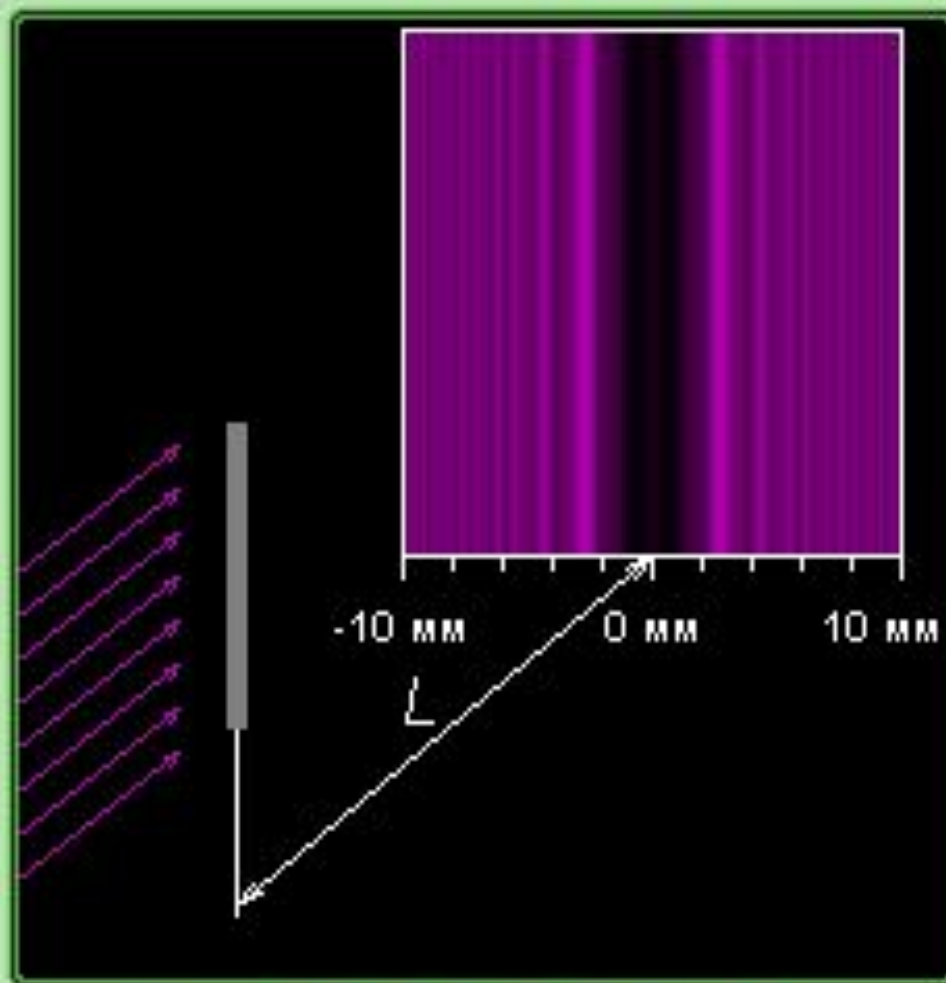
$m = R^2 / (\lambda L) = 1.98$

$L = 10 \text{ м}$

$R = 3.3 \text{ мм}$

$\lambda = 549 \text{ нм}$

# Препятствие – игла $d=2.3$



Препятствие

- Шарик
- Круглое отверстие
- Щель
- Игла

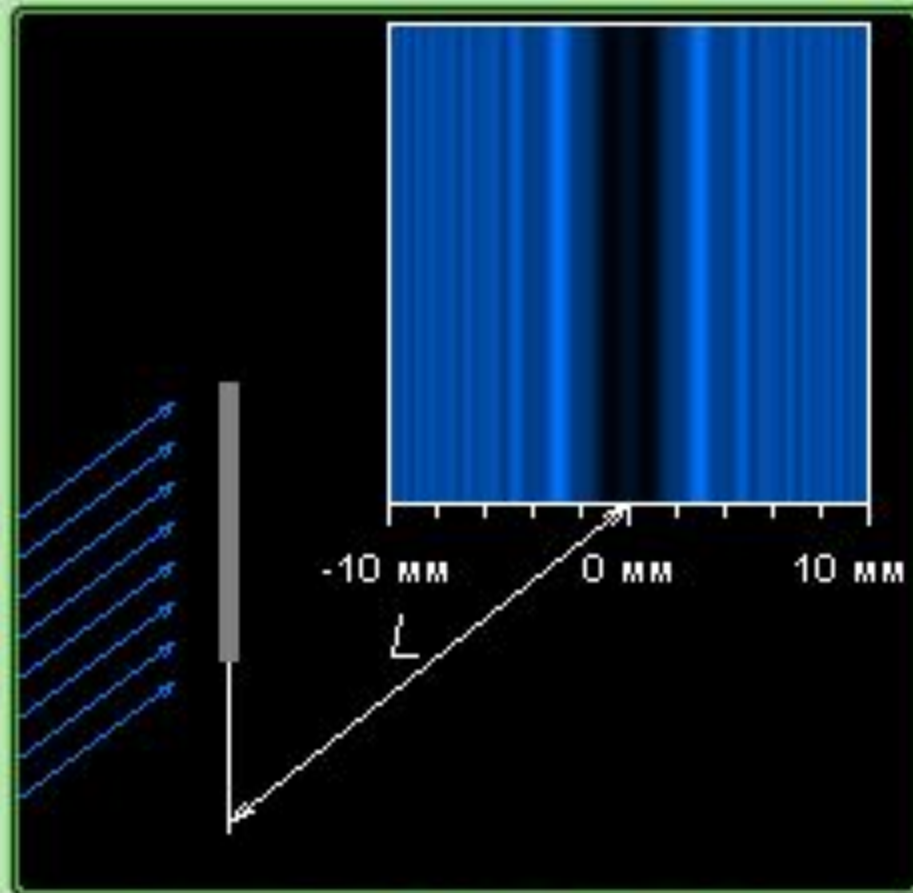
$$m = (d/2)^2 / (\lambda L) = 0.34$$

$$L = 10 \text{ м}$$

$$d = 2.3 \text{ мм}$$

$$\lambda = 388 \text{ нм}$$

# Препятствие – игла $d=2.3$



Препятствие

- Шарик
- Круглое отверстие
- Щель
- Игла

$$m = (d/2)^2 / (\lambda L) = 0.29$$

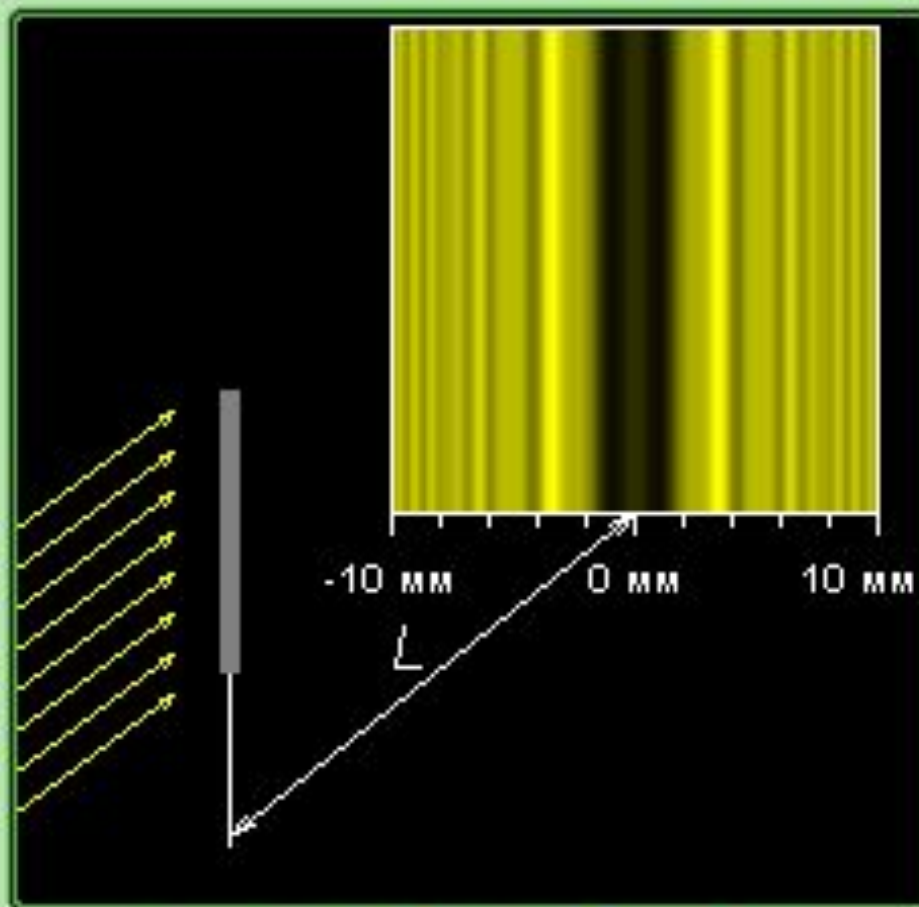
$$L = 10 \text{ м}$$

$$d = 2.3 \text{ мм}$$

$\lambda = 458$   нм



# Препятствие – игла $d=2.3$



Препятствие

- Шарик
- Круглое отверстие
- Щель
- Игла

$$m = (d/2)^2 / (\lambda L) = 0.22$$

$$L = 10 \text{ м}$$

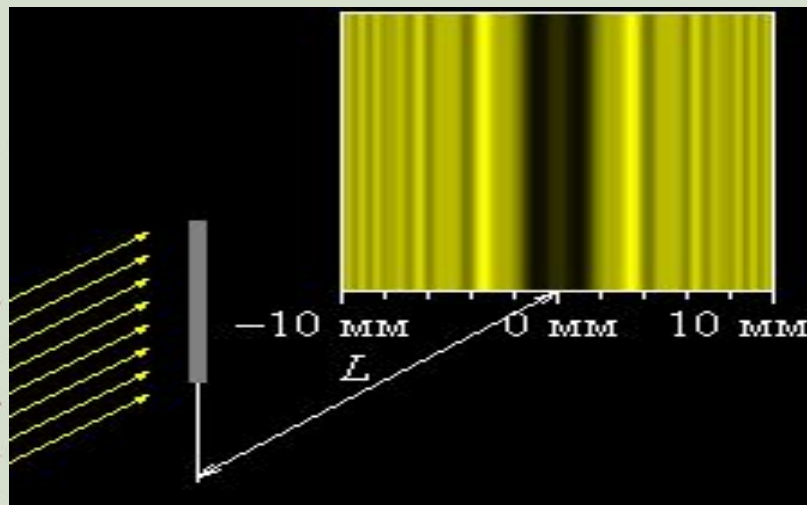
$$d = 2.3 \text{ мм}$$

$$\lambda = 591$$

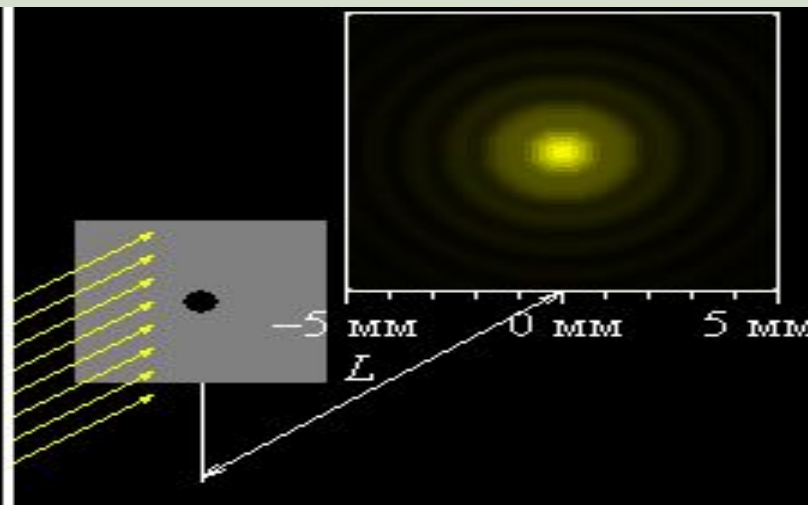


нм

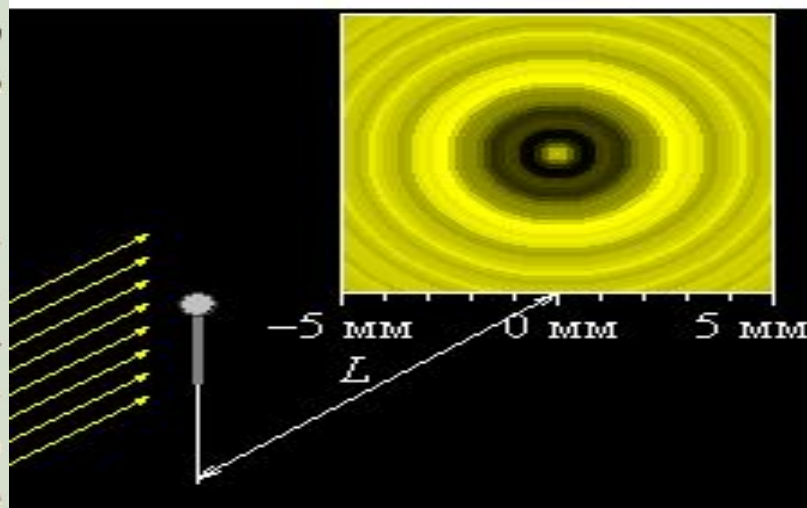
# Препятствия



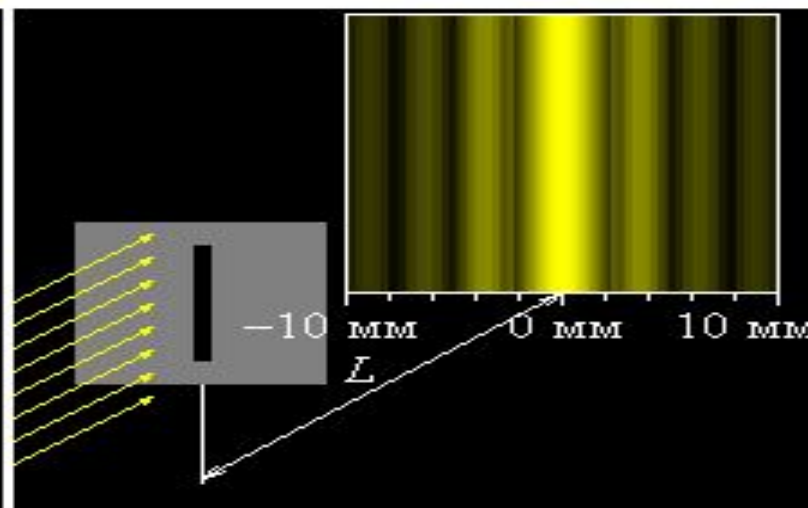
Игла



Круглое отверстие



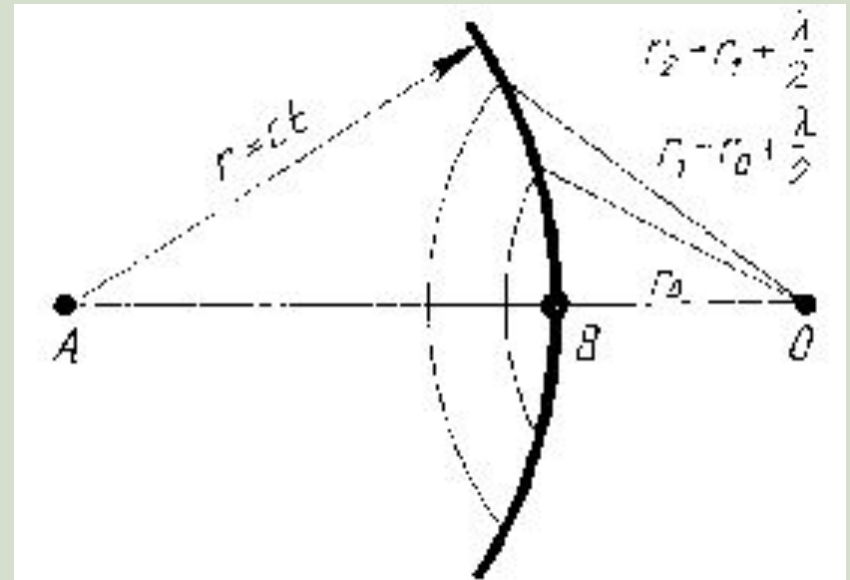
Шарик



Щель

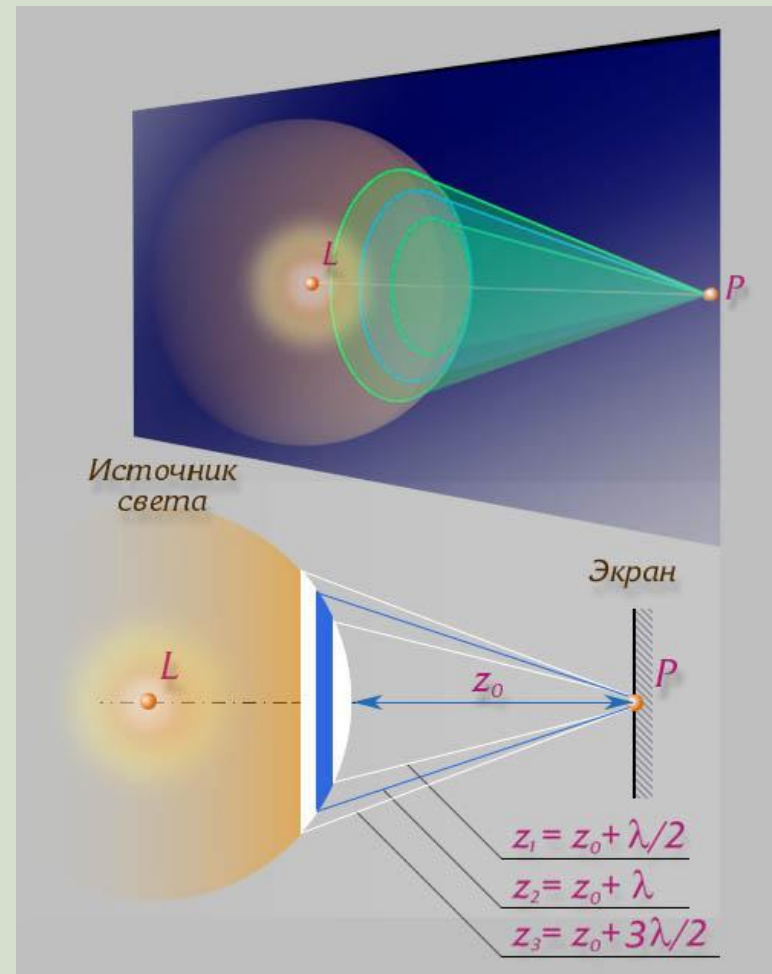
# Зоны Френеля

Для того чтобы найти амплитуду световой волны от точечного монохроматического источника света  $A$  в произвольной точке  $O$  изотропной среды, надо источник света окружить сферой радиусом  $r=ct$



# Зоны Френеля

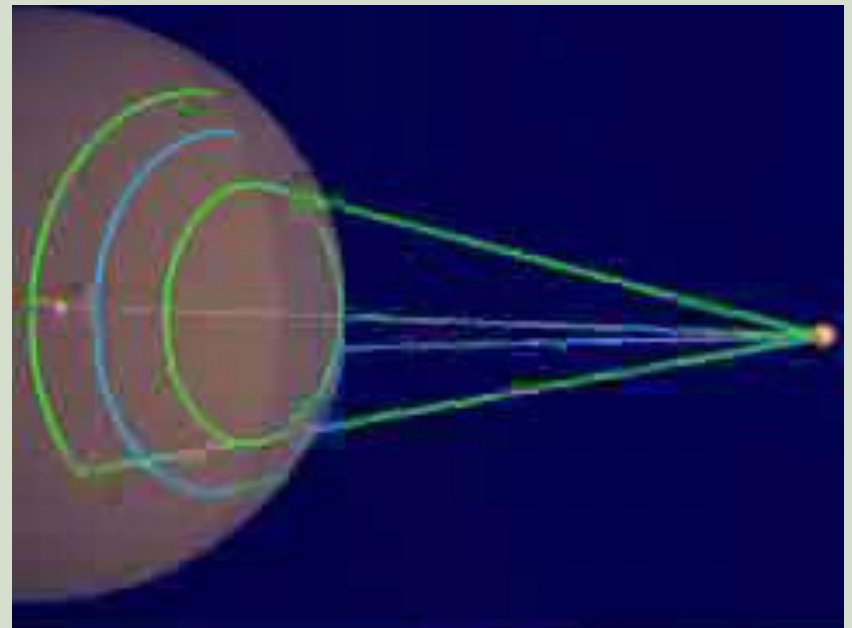
Интерференция волны от вторичных источников, расположенных на этой поверхности, определяет амплитуду в рассматриваемой точке  $P$ , т. е. необходимо произвести сложение когерентных колебаний от всех вторичных источников на волновой поверхности



# Зоны Френеля

Так как расстояния от них до точки  $O$  различны, то колебания будут приходить в различных фазах.

Наименьшее расстояние от точки  $O$  до волновой поверхности  $B$  равно  $r_0$

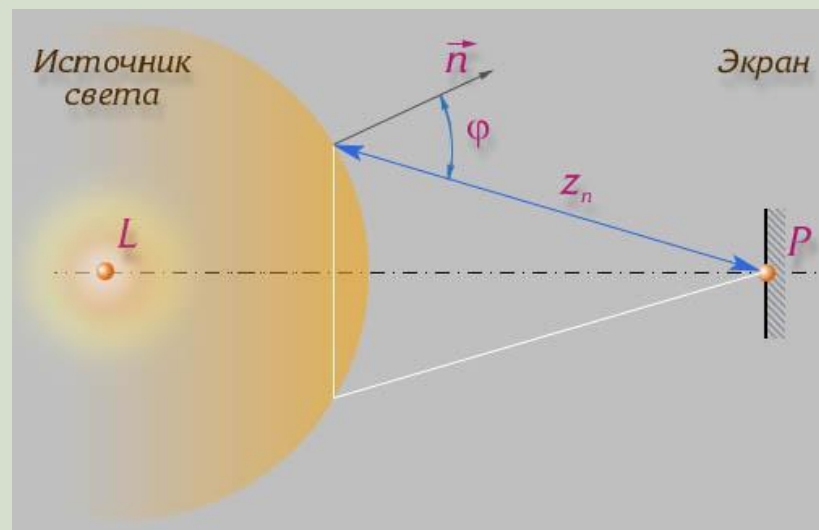


# Зоны Френеля

Первая зона Френеля ограничивается точками волновой поверхности, расстояния от которых до точки  $O$  равны:

$$r_1 = r_0 + \frac{\lambda}{2}$$

где  $\lambda$  — длина световой волны

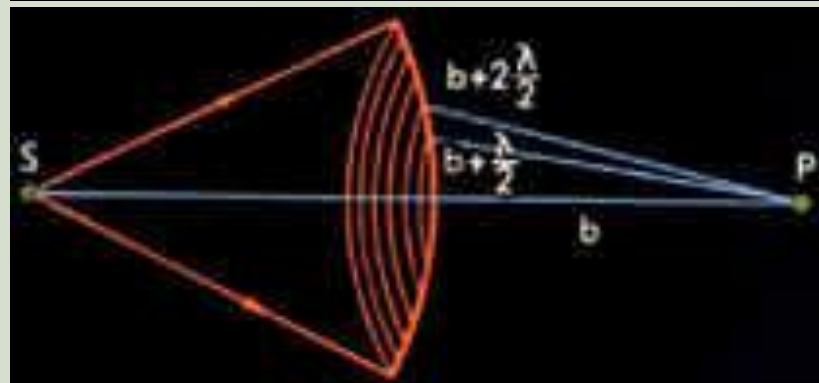
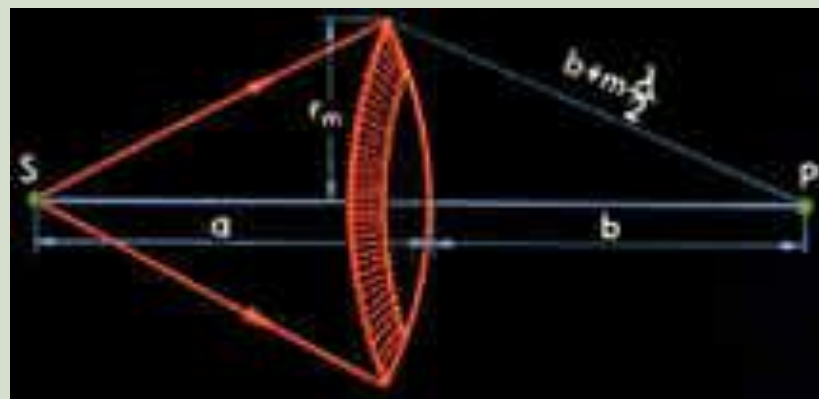


# Зоны Френеля

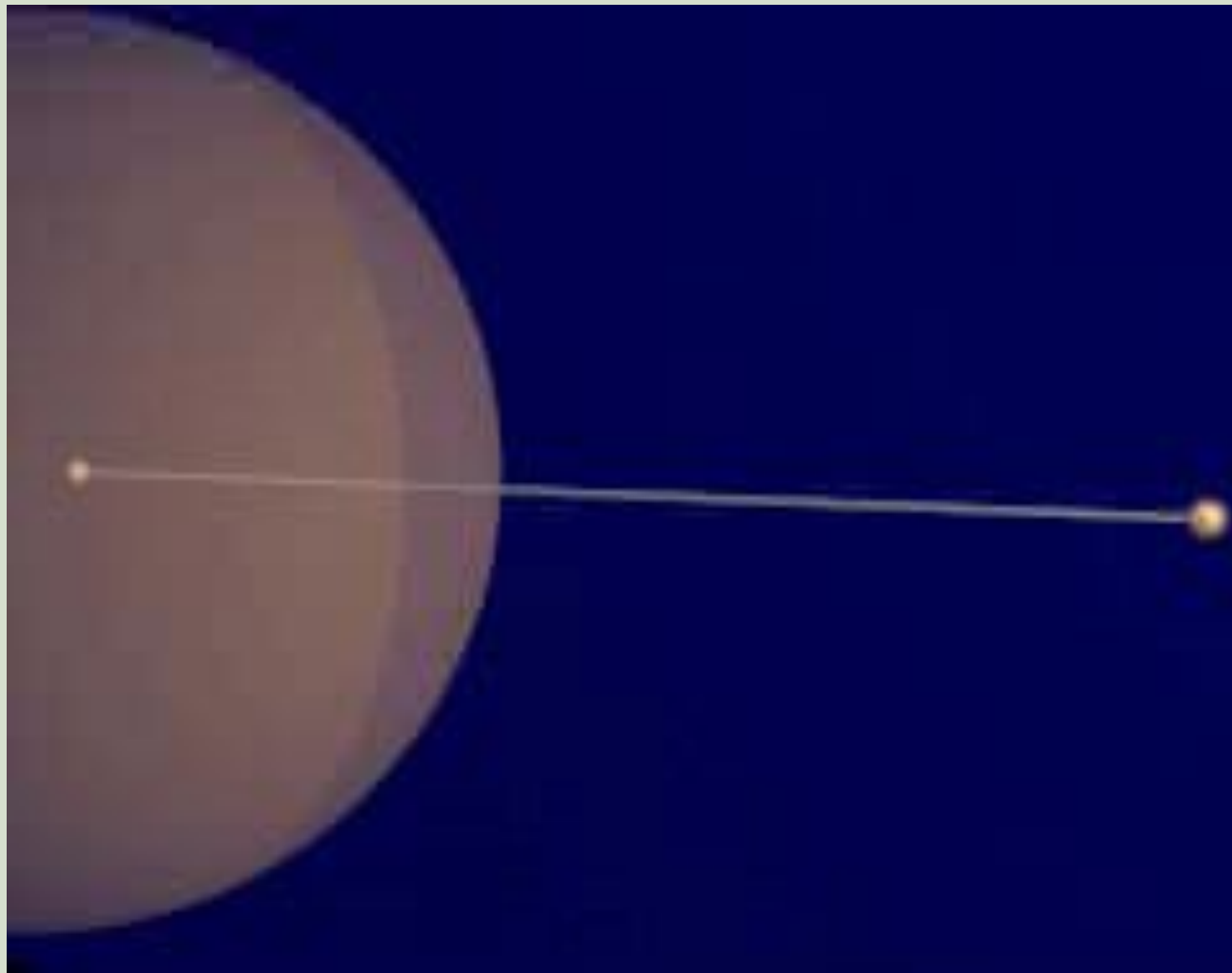
Вторая зона:

$$r_2 = r_1 + \frac{\lambda}{2} = r_0 + \lambda$$

Аналогично  
определяются  
границы других  
зон



# *Зоны Френеля*





# Дифракционные картины

от одного препятствия с разным числом открытых зон



# Прибор



# *Интерференционные экстремумы*

*Если разность хода от двух соседних зон равна половине длины волны, то колебания от них приходят в точку  $O$  в противоположных фазах и наблюдается интерференционный минимум, если разность хода равна длине волны, то наблюдается интерференционный максимум*

# Темные и светлые пятна

*Таким образом, если на препятствии укладывается целое число длин волн, то они гасят друг друга и в данной точке наблюдается минимум (темное пятно). Если нечетное число полуволн, то наблюдается максимум (светлое пятно)*

# *Зонные пластинки*

На этом  
принципе  
основаны т.н.  
зонные  
пластинки



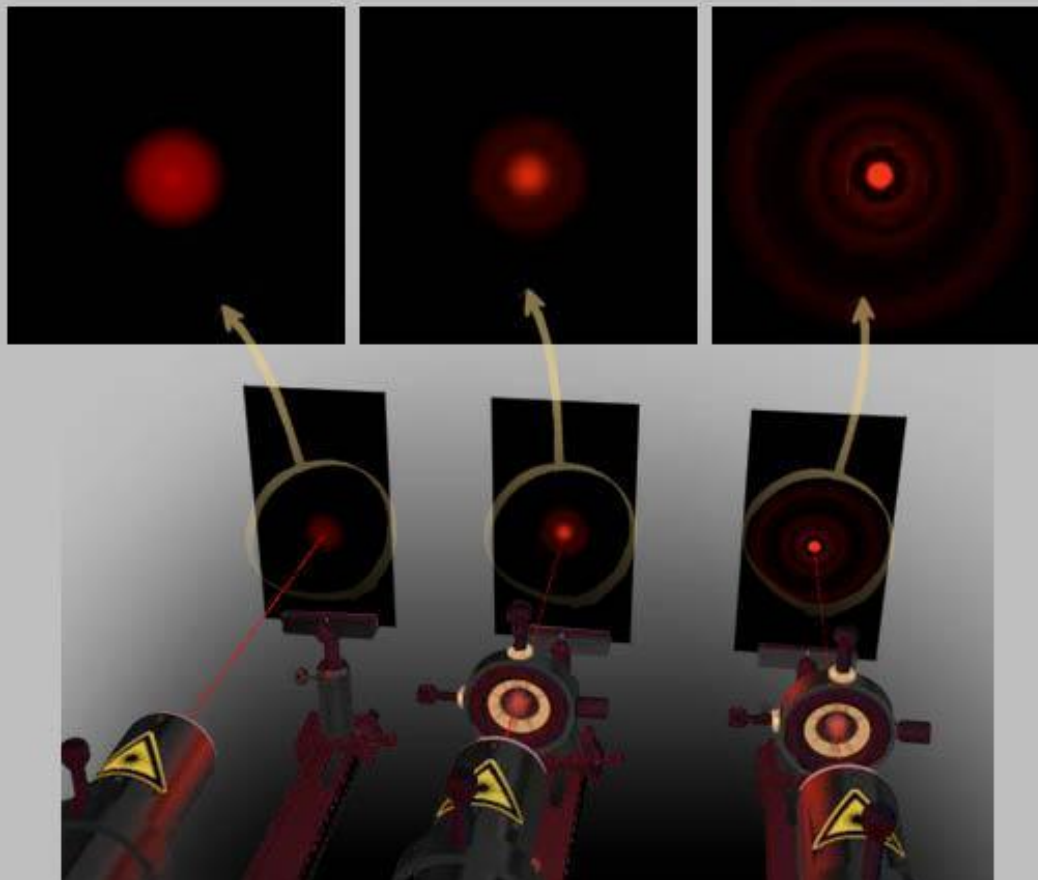
Зонная пластинка Френеля

# Зонные пластинки

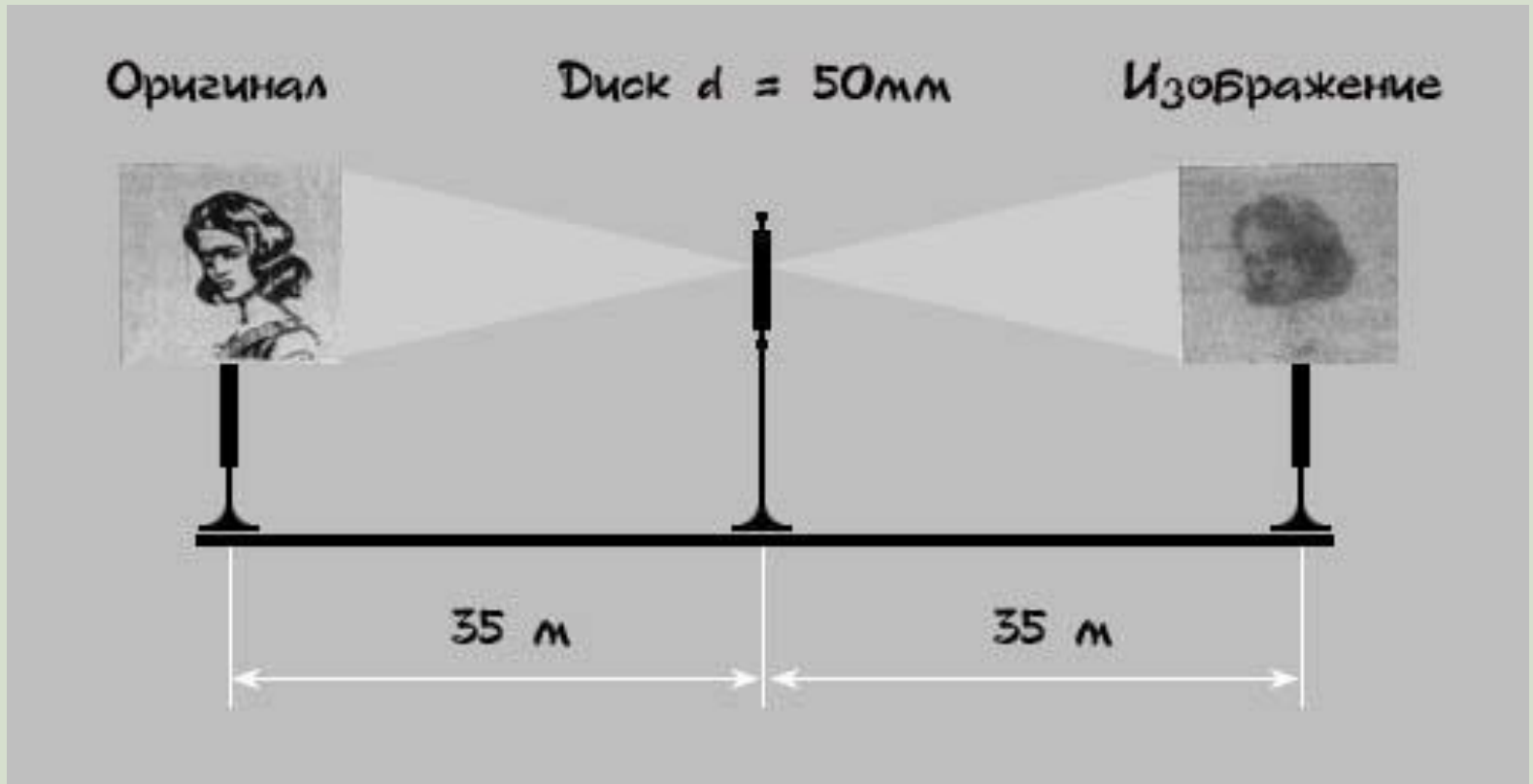
Такая интенсивность наблюдается на экране при свободном распространении световой волны

Препятствие, открывающее одну зону Френеля, увеличивает интенсивность света в 4 раза.

Зонная пластинка позволяет многократно усилить интенсивность излучения.



# Получение изображения с помощью зонной пластинки



# Условия наблюдения дифракции

- *Дифракция происходит на предметах любых размеров, а не только соизмеримых с длиной волны  $\lambda$*



# Условия наблюдения дифракции

- *Трудности наблюдения заключаются в том, что вследствие малости длины световой волны интерференционные максимумы располагаются очень близко друг к другу, а их интенсивность быстро убывает*

# *Границы применимости геометрической оптики*

- Дифракция наблюдается хорошо на расстоянии

$$L \geq \frac{d^2}{\lambda}$$

- Если , то дифракция невидна и получается резкая тень ( $d$  - диаметр экрана).

$$L \ll \frac{d^2}{\lambda}$$

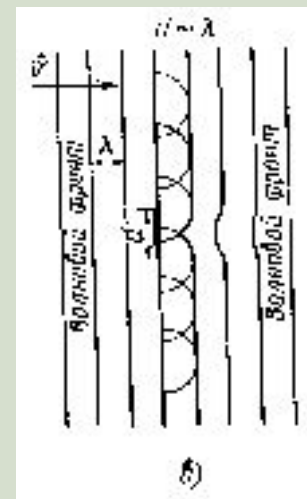
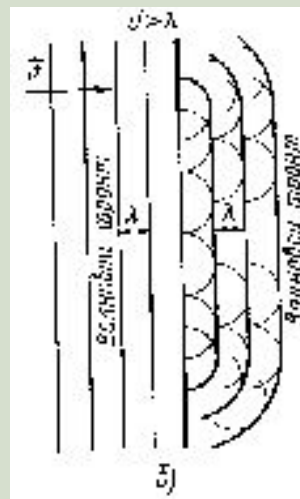
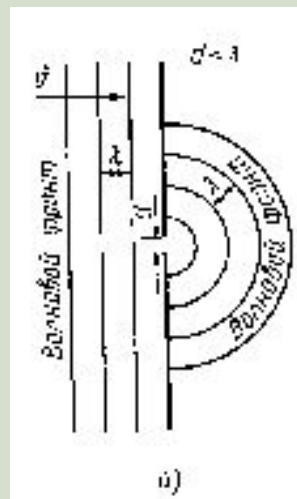
- Эти соотношения определяют границы применимости геометрической оптики

# *Границы применимости геометрической оптики*

- Если наблюдение ведется на расстоянии  $L > \frac{d^2}{\lambda}$ , где  $d$ —размер предмета, то начинают проявляться волновые свойства света

# Соотношения длины волны и размера препятствия

- На рис. показана примерная зависимость результатов опыта по распространению волн в зависимости от соотношения размеров препятствия и длины волны.



# Интерференционные картины

от разных точек предмета перекрываются, и изображение смазывается, поэтому прибор не выделяет отдельные детали предмета.

Дифракция устанавливает предел разрешающей способности любого оптического прибора

# Разрешающая способность человеческого глаза

приблизительно равна одной угловой минуте:

$$\alpha = \frac{\lambda}{D}$$

где  $D$  — диаметр зрачка; телескопа  $\alpha=0,02''$ ;  
у микроскопа увеличение не более  $2 \cdot 10^3$  раз.  
Можно видеть предметы, размеры которых  
соизмеримы с длиной световой волны

# *Дифракционная решетка*

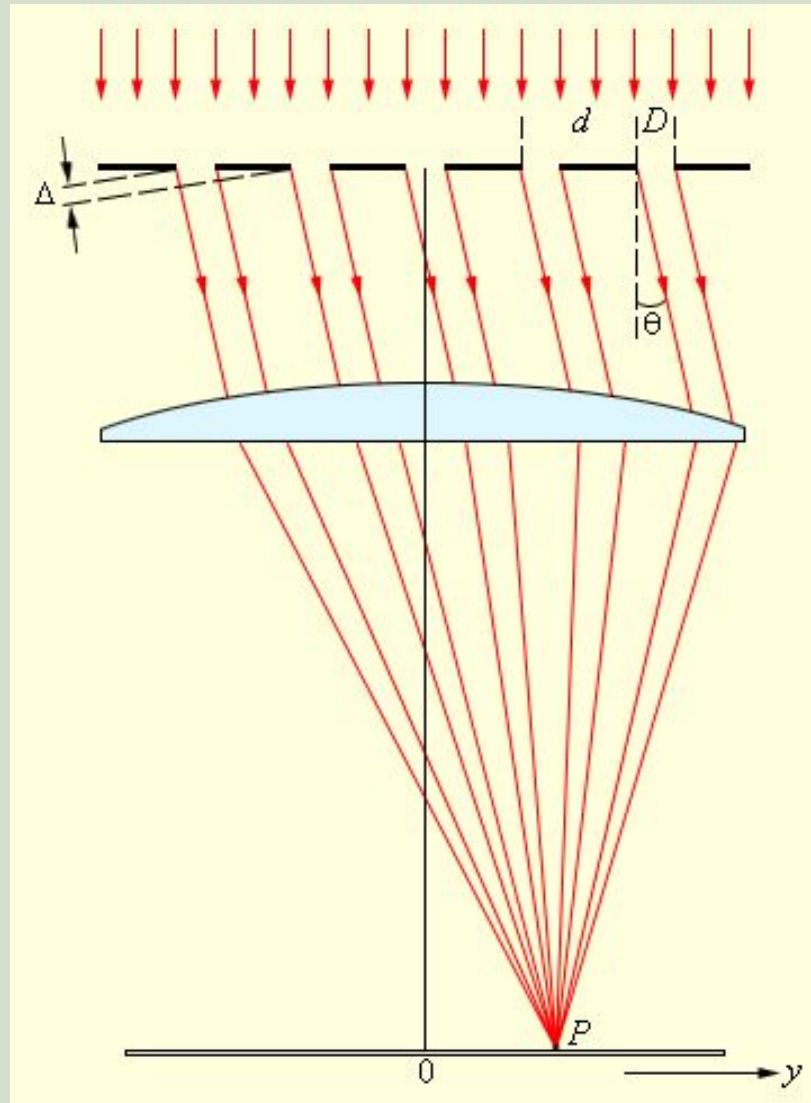
**Дифракционные решетки, представляющие собой точную систему штрихов некоторого профиля, нанесенную на плоскую или вогнутую оптическую поверхность, применяются в спектральном приборостроении, лазерах, метрологических мерах малой длины и т.д**

# *Дифракционная решетка*



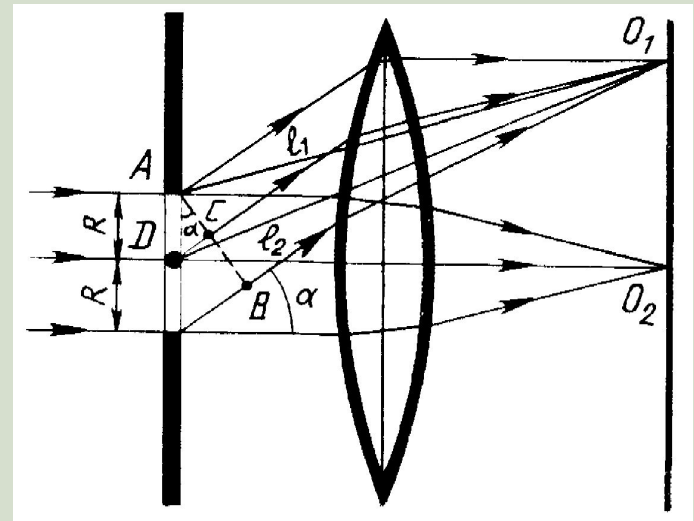


# Дифракционная решетка



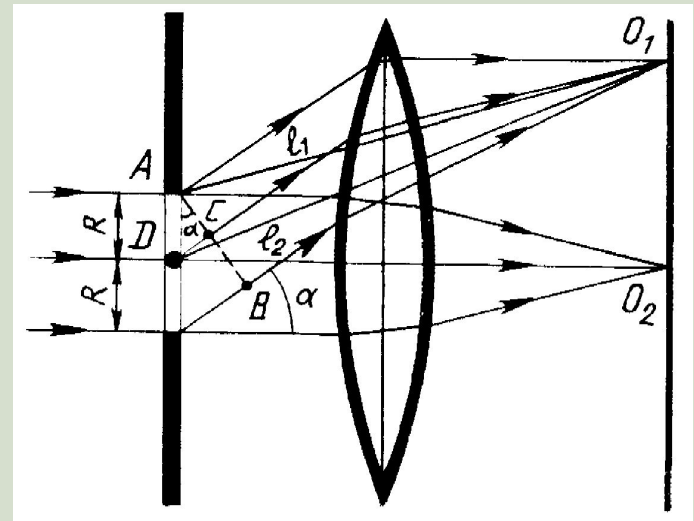
# Дифракционная решетка

- Величина  $d = a + b$  называется *постоянной* (периодом) *дифракционной решетки*, где  $a$  — ширина щели;  $b$  — ширина непрозрачной части



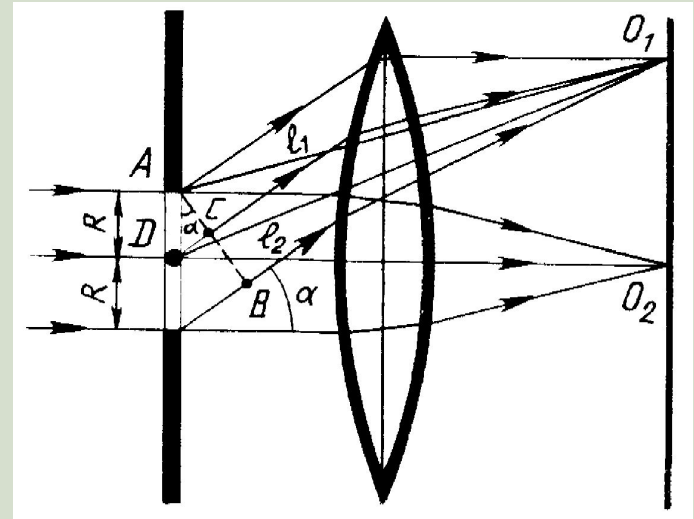
# Дифракционная решетка

- Угол  $\phi$  - угол отклонения световых волн вследствие дифракции.
- Наша задача - определить, что будет наблюдаться в произвольном направлении  $\phi$  - максимум или минимум



# Дифракционная решетка

- Оптическая разность хода  $\Delta d = AC = d \sin \varphi$
- Из условия максимума интерференции получим:  $\Delta d = k\lambda$



# Дифракционная решетка

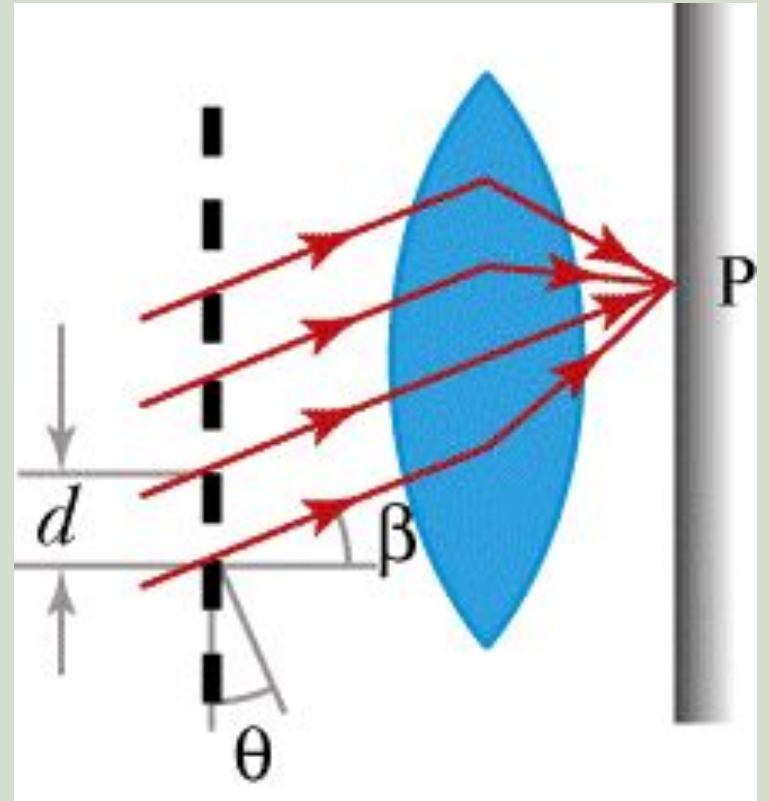
- Следовательно:

$$d \sin \varphi = k \lambda$$

- формула  
дифракционной  
решетки.

Величина  $k$  — порядок  
дифракционного  
максимума

( равен  $0, \pm 1, \pm 2$  и т.д.)



# Определение $\lambda$ с помощью дифракционной решетки

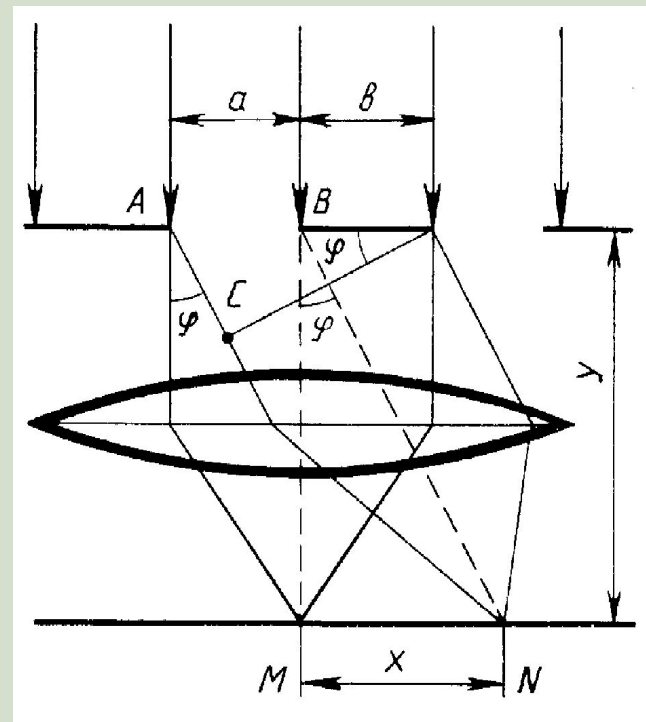
$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{x}{y},$$

$$\lambda = \frac{d \sin \varphi}{k} = d \frac{x}{ky}.$$

Если  $OM = y, MN = x,$

то  $\operatorname{tg} \varphi \approx \sin \varphi = \frac{x}{y}$

ввиду малости угла.



# Прибор



# Гримальди Франческо

2.IV.1618 - 28.XII.1663



Итальянский ученый. С 1651 года - священник.

Открыл дифракцию света, систематически ее изучал и сформулировал некоторые правила. Описал солнечный спектр, полученный с помощью призмы. В 1662 г. определил величину поверхности Земли.



# Френель Огюст Жан (10.V.1788 - 14.VII.1827)

Французский физик. Научные работы посвящены физической оптике.

Дополнил известный принцип Гюйгенса, введя так называемые зоны Френеля (принцип Гюйгенса - Френеля). Разработал в 1818 году теорию дифракции света



# Юнг Томас

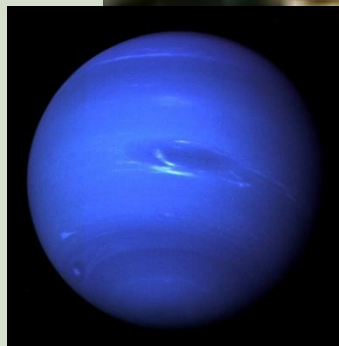
13.IV.1773-10.V.1829

Английский ученый.  
Полиглот. Научился читать в  
2 года. Объяснил  
аккомодацию глаза,  
обнаружил интерференцию  
звука, объяснил  
интерференцию света, и  
ввел этот термин. Измерил  
длины волн световых лучей.  
Исследовал деформацию



# Араго Доменик Франсуа (26.II.1786-2.X.1853)

Французский физик и политический деятель. Автор многих открытий по оптике и электромагнетизму: хроматическую поляризацию света, вращение плоскости поляризации, намагничивание железных опилок вблизи проводника с током. Установил связь полярных сияний с магнитными бурями. По его указаниям А.Физо и У.Фуко измерили скорость света, а У. Леверье открыл планету Нептун



# Фраунгофер Йозеф (6.III.1787- 7.VI.1826)

Немецкий физик.

Научные работы относятся к физической оптике. Внёс существенный вклад в исследование дисперсии и создание ахроматических линз. Фраунгофер изучал дифракцию в параллельных лучах (так называемая дифракция Фраунгофера). Сначала от одной щели, а потом от многих. Большой заслугой учёного является использование (с 1821 года) дифракционных решеток для исследования спектров (некоторые исследователи считают его даже изобретателем первой дифракционной решетки)



# Пуассон Семион Дени (21.VI.1781 - 25.IV.1840)

Французский механик, математик, физик, член Парижской академии наук (с 1812 года). Физические исследования относятся к магнетизму, капиллярности, теории упругости, гидромеханике, теории колебаний, теории света. Член Петербургской академии наук (с 1826 года)



***КОНЕЦ***