

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

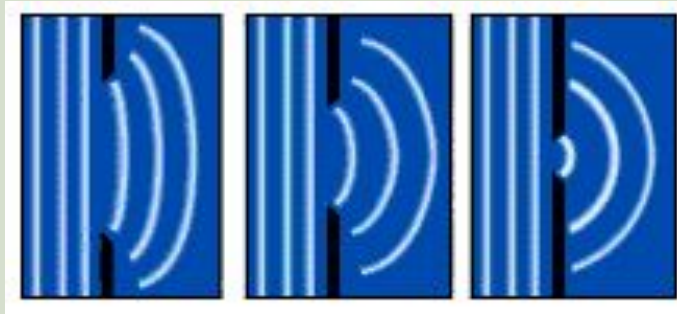
Определите, какое дополнение ввел Френель?

Принцип Гюйгенса:

*каждая точка волновой поверхности
является источником вторичных
сферических волн*

Принцип Гюйгенса-Френеля:

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

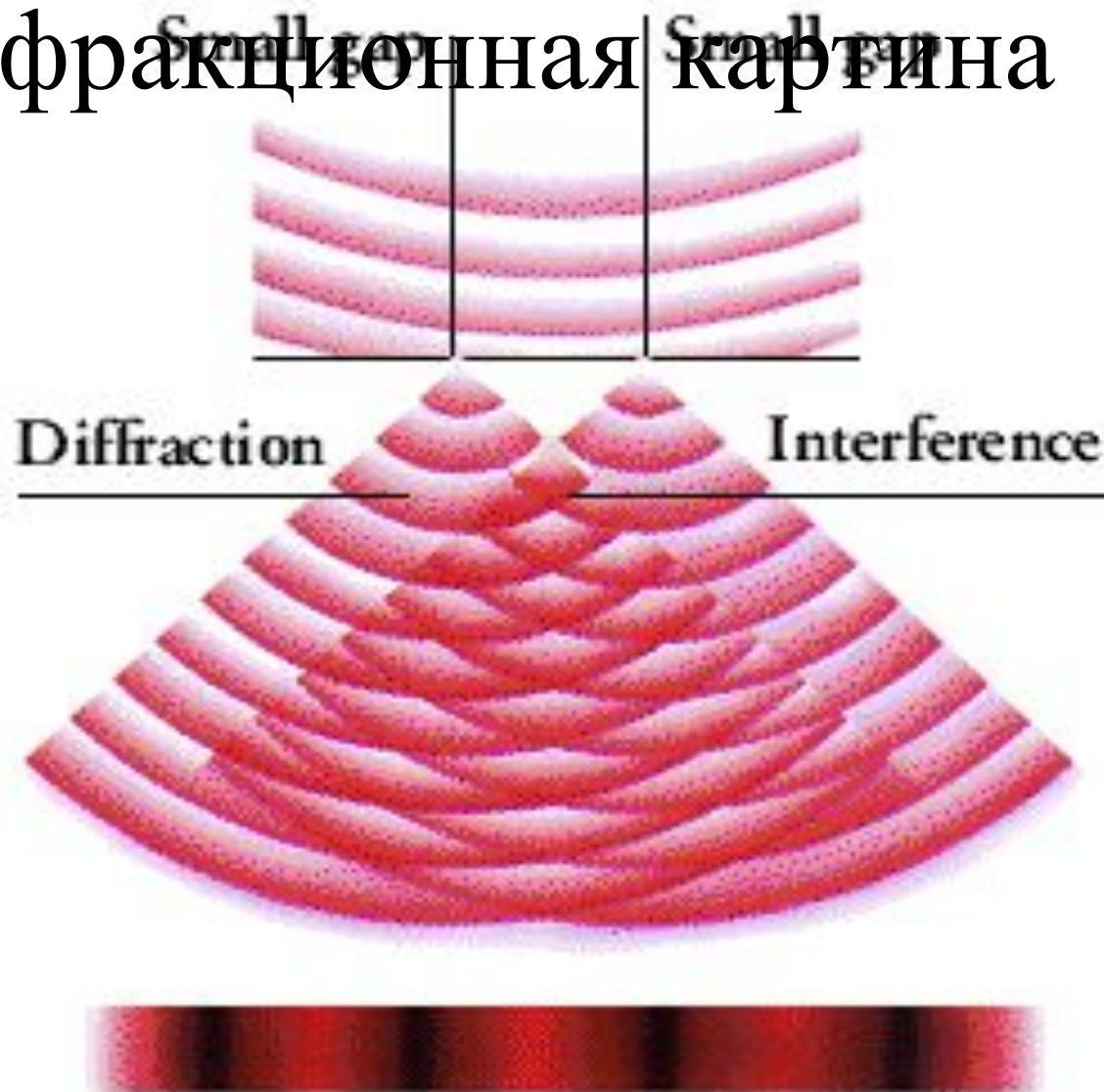


которые интерферируют между собой

Задание:

Попробуйте предположить как будет выглядеть дифракционная картина?

Дифракционная картина



Задание:

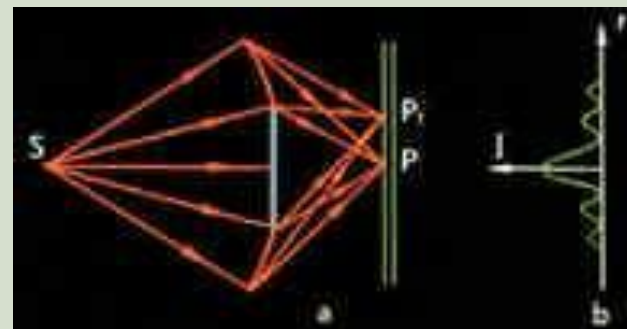
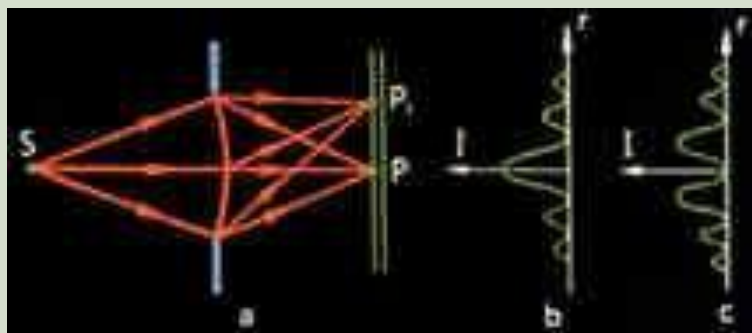
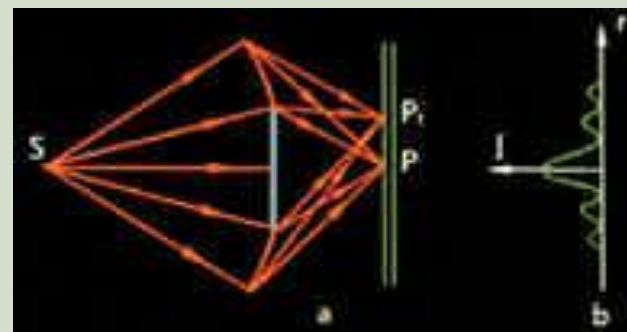
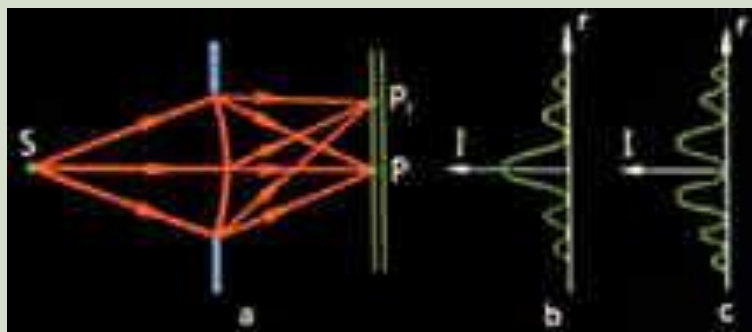
Будет ли вид дифракционной картины зависеть от длины волны (цвета)?

Как будет выглядеть дифракционная картина в белом свете?

Задание:

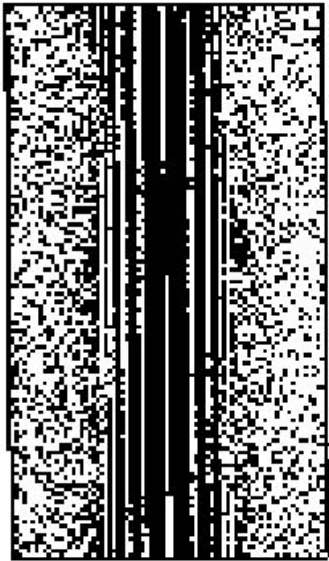
- Попробуйте предложить идею опыта по наблюдению дифракции

Построение дифракционной картины от круглого отверстия и круглого непрозрачного экрана



Дифракция от различных препятствий:

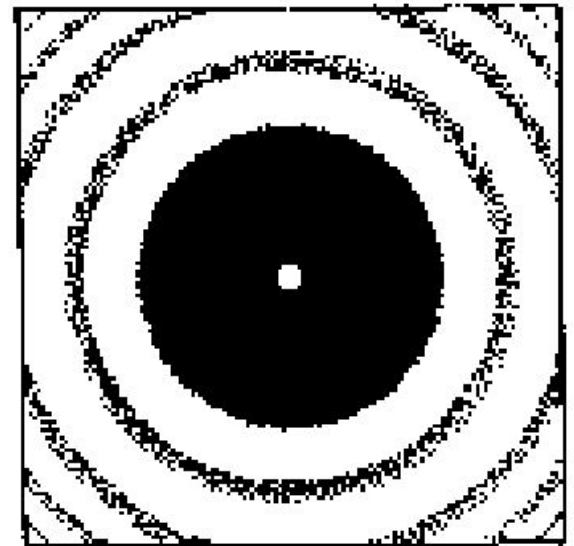
- а) от тонкой проволоочки;
- б) от круглого отверстия;
- в) от круглого непрозрачного экрана.



а)



б)



в)

Препятствие – круглое отверстие

$R=3.9$

Препятствие

- Шарик
- Круглое отверстие
- Щель
- Игла

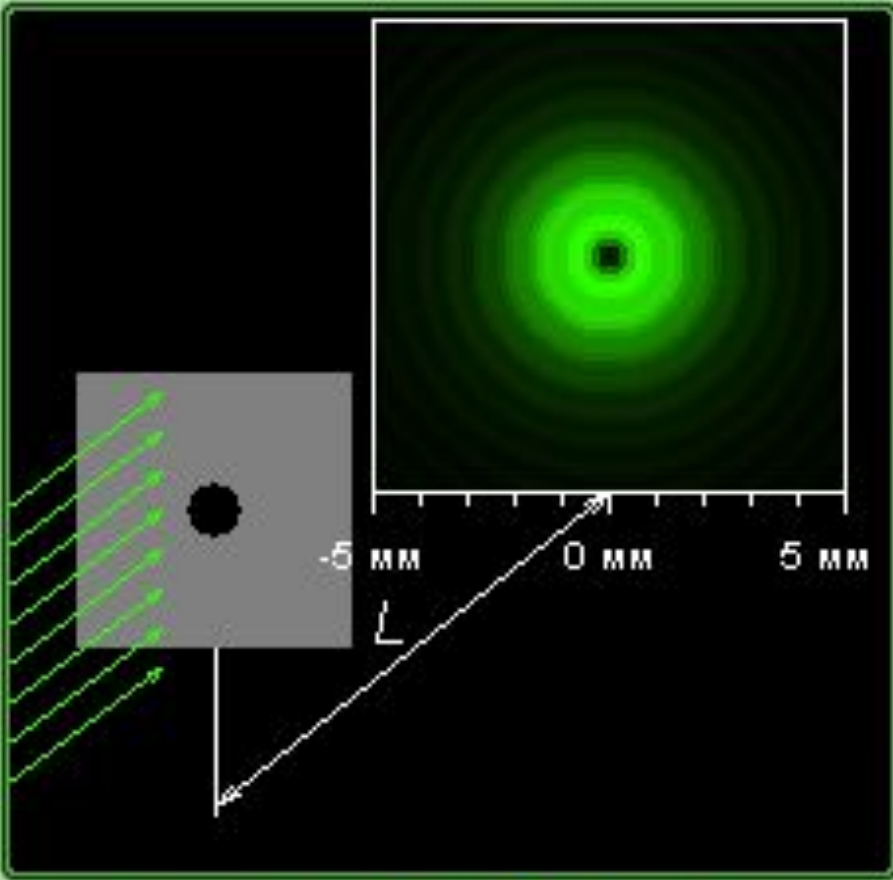
$m = R^2 / (\lambda L) = 2.77$

$L = 10 \text{ м}$

$R = 3.9 \text{ мм}$

$\lambda = 549 \text{ нм}$

Препятствие – круглое отверстие $R=3.3$



Препятствие

- Шарик
- Круглое отверстие
- Щель
- Игла

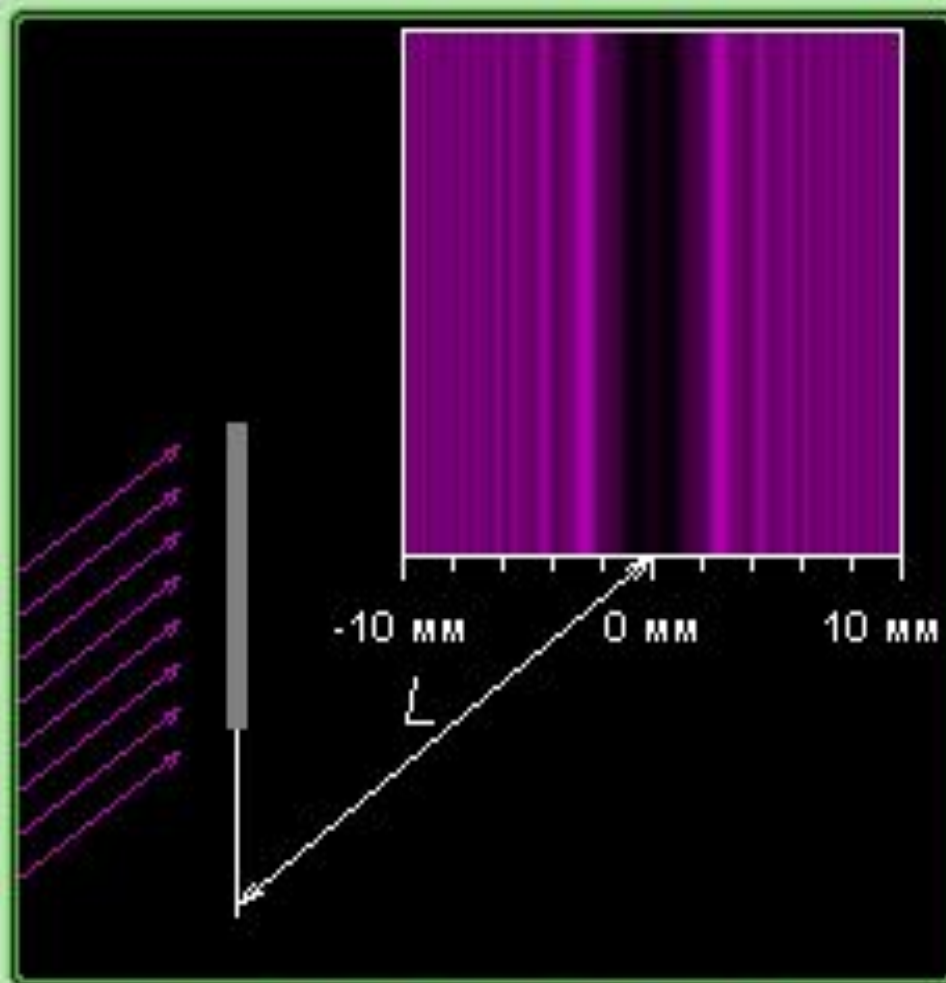
$m = R^2 / (\lambda L) = 1.98$

$L = 10 \text{ м}$

$R = 3.3 \text{ мм}$

$\lambda = 549 \text{ нм}$

Препятствие – игла $d=2.3$



Препятствие

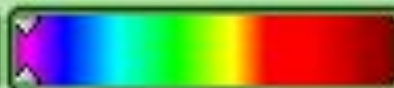
- Шарик
- Круглое отверстие
- Щель
- Игла

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

$$L = 10 \text{ м}$$

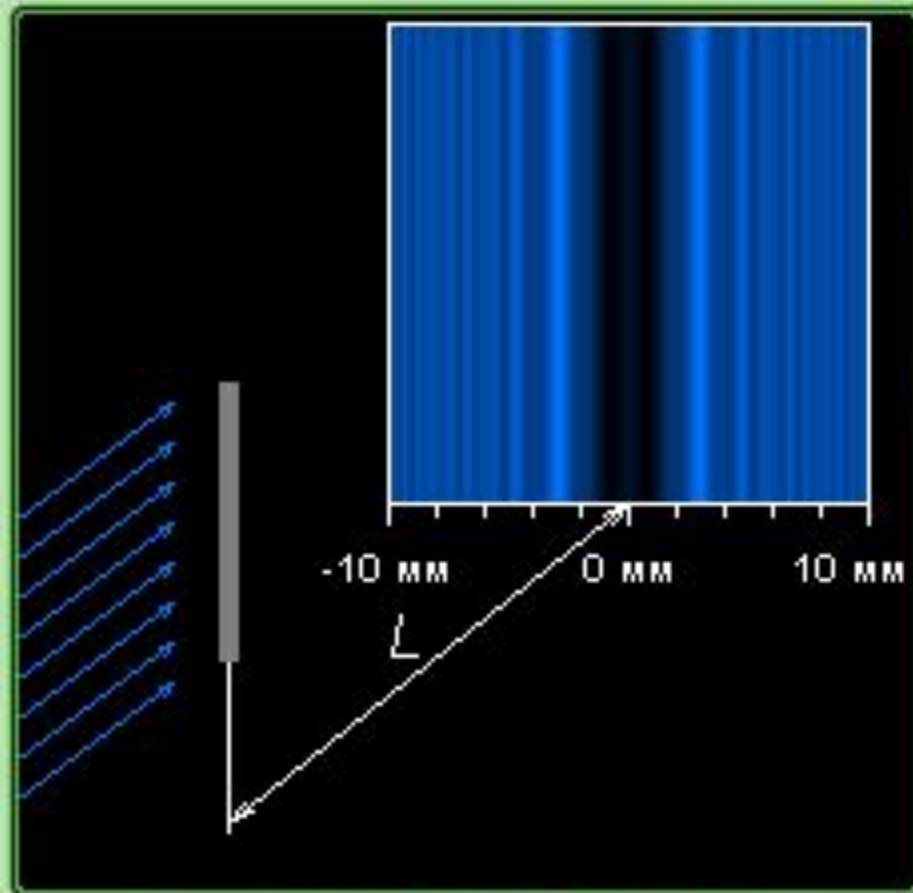
$$d = 2.3 \text{ мм}$$

$$\lambda = 388$$



нм

Препятствие – игла $d=2.3$



Препятствие

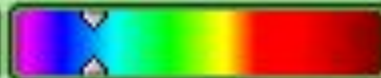
- Шарик
- Круглое отверстие
- Щель
- Игла

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

$$L = 10 \text{ м}$$

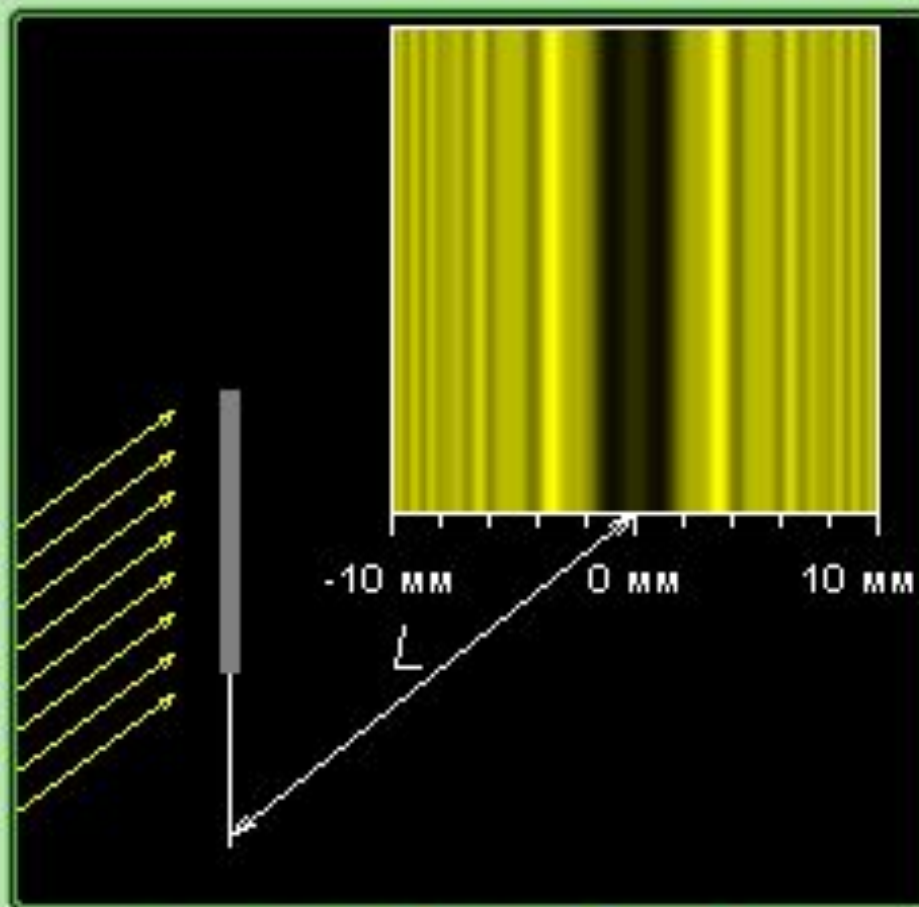
$$d = 2.3 \text{ мм}$$

$$\lambda = 458$$



нм

Препятствие – игла $d=2.3$



Препятствие

- Шарик
- Круглое отверстие
- Щель
- Игла

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

$$L = 10 \text{ м}$$

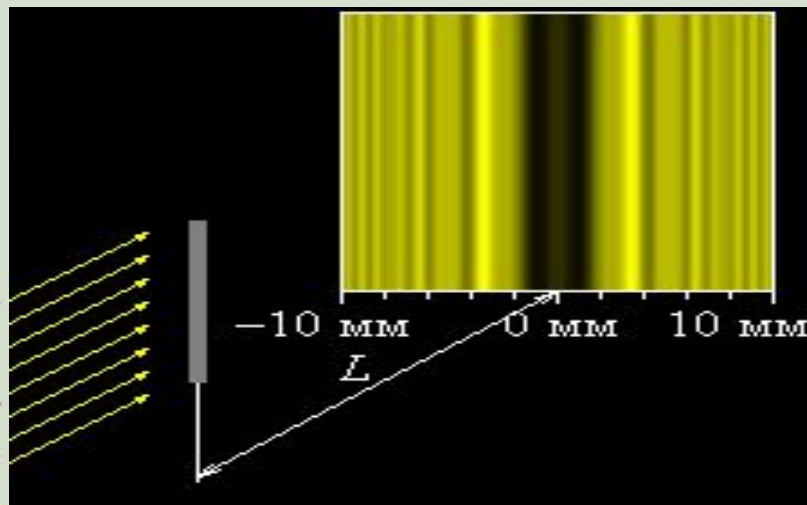
$$d = 2.3 \text{ мм}$$

$$\lambda = 591$$

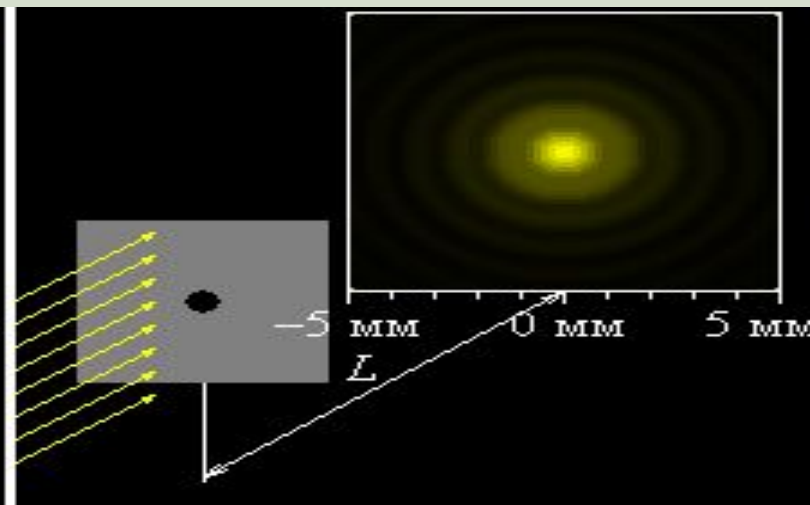


нм

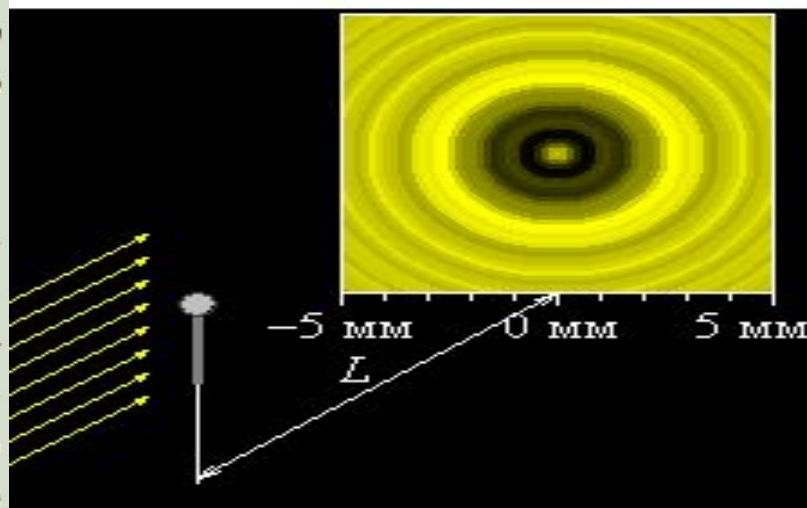
Препятствия



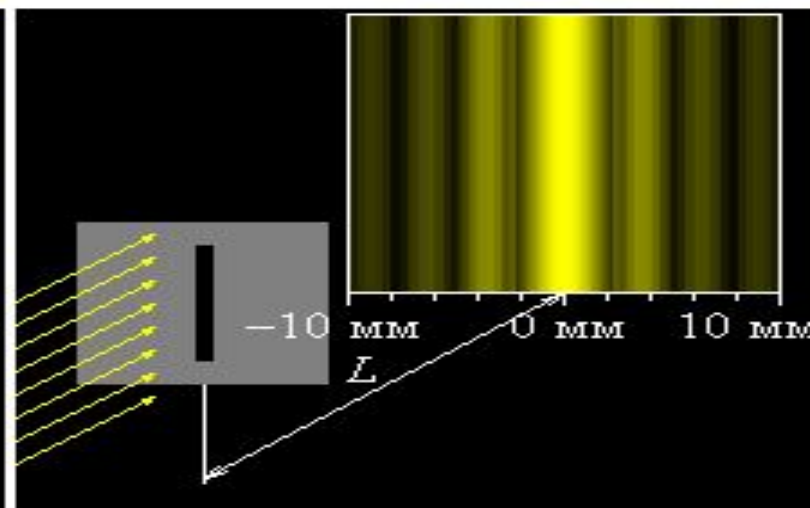
Игла



Круглое отверстие



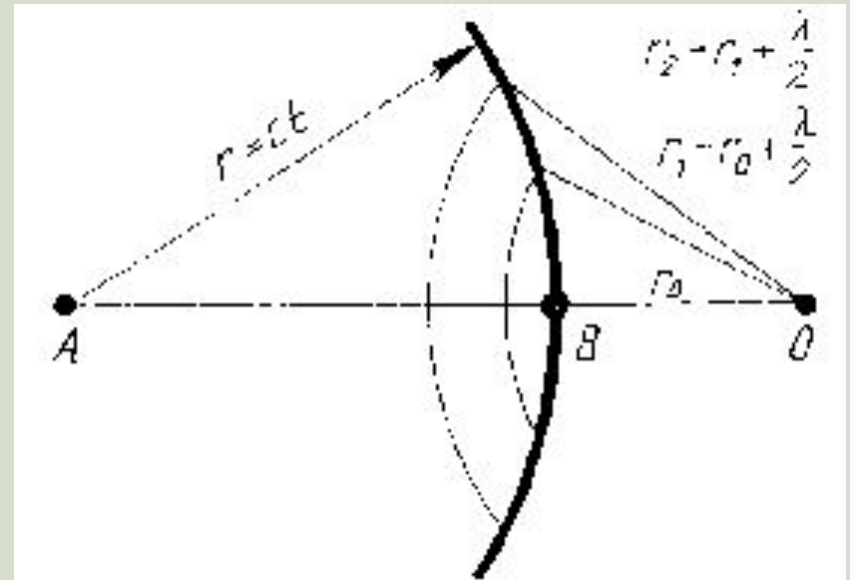
Шарик



Щель

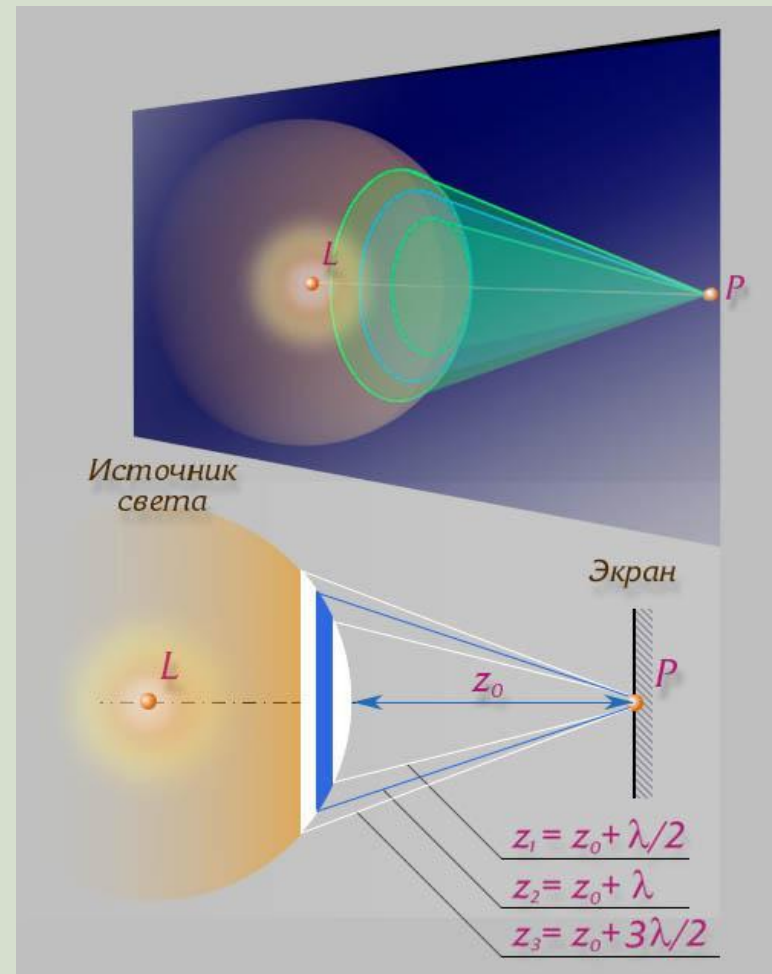
Зоны Френеля

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

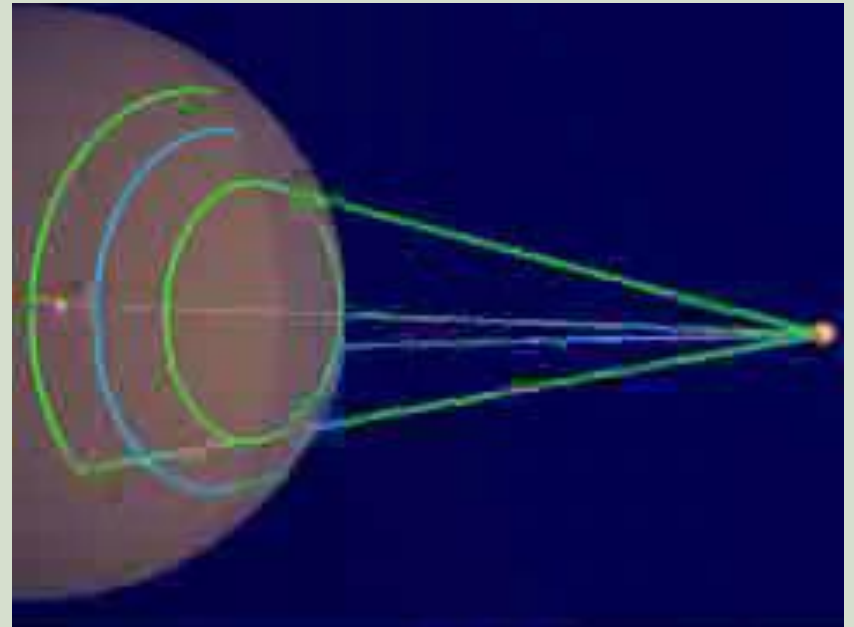
Интерференция волны от вторичных источников, расположенных на этой поверхности, определяет амплитуду в рассматриваемой точке P , т. е. необходимо произвести сложение когерентных колебаний от всех вторичных источников на волновой поверхности



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

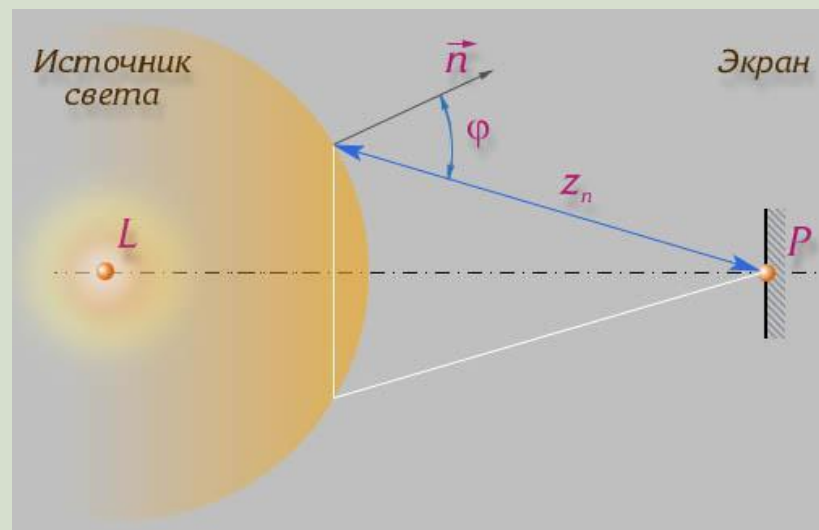


Зоны Френеля

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

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

где λ — длина световой волны

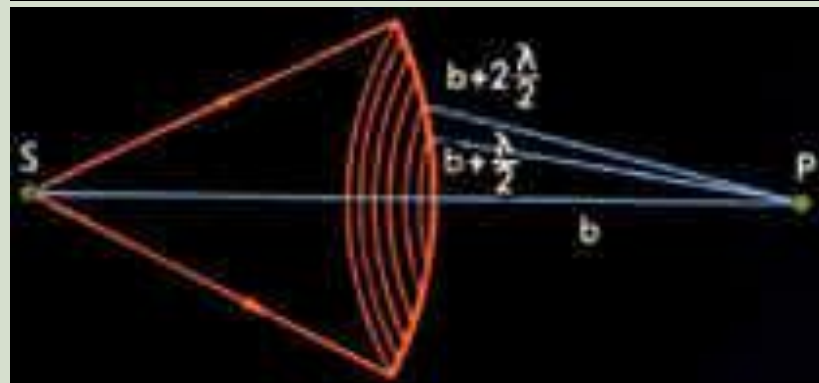
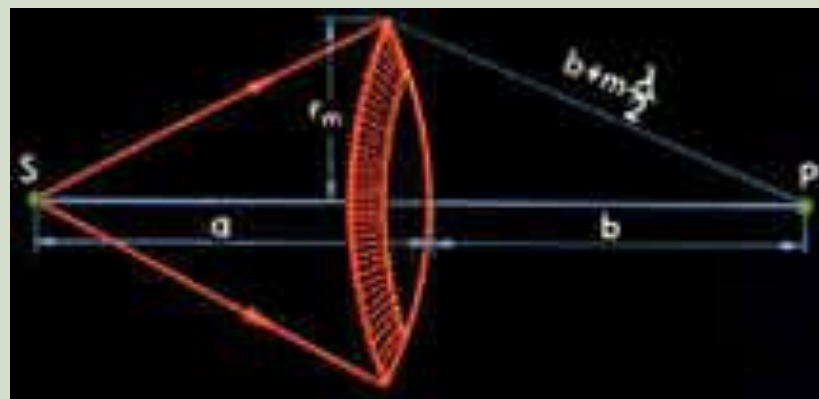


Зоны Френеля

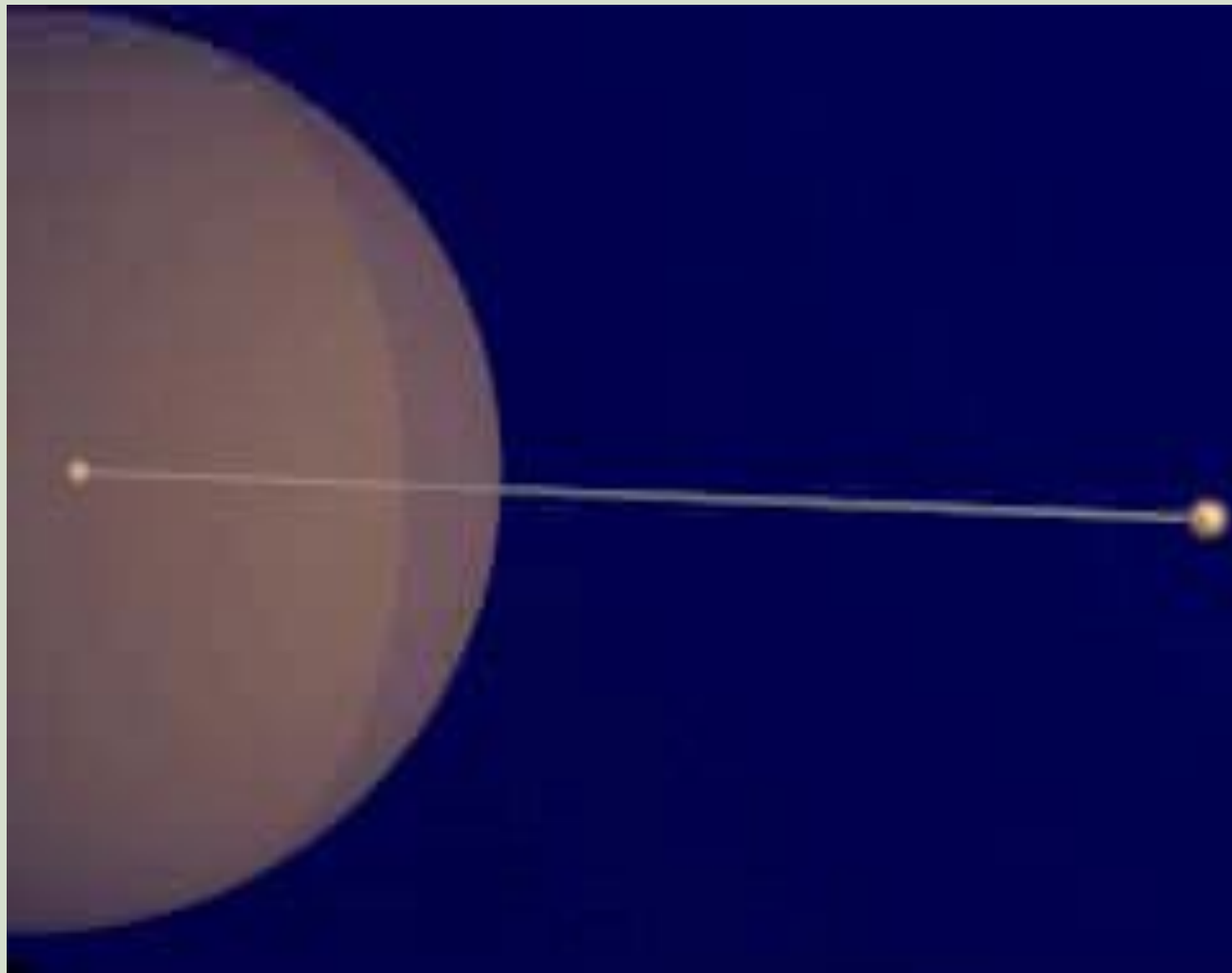
Вторая зона:

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

Аналогично
определяются
границы других
зон

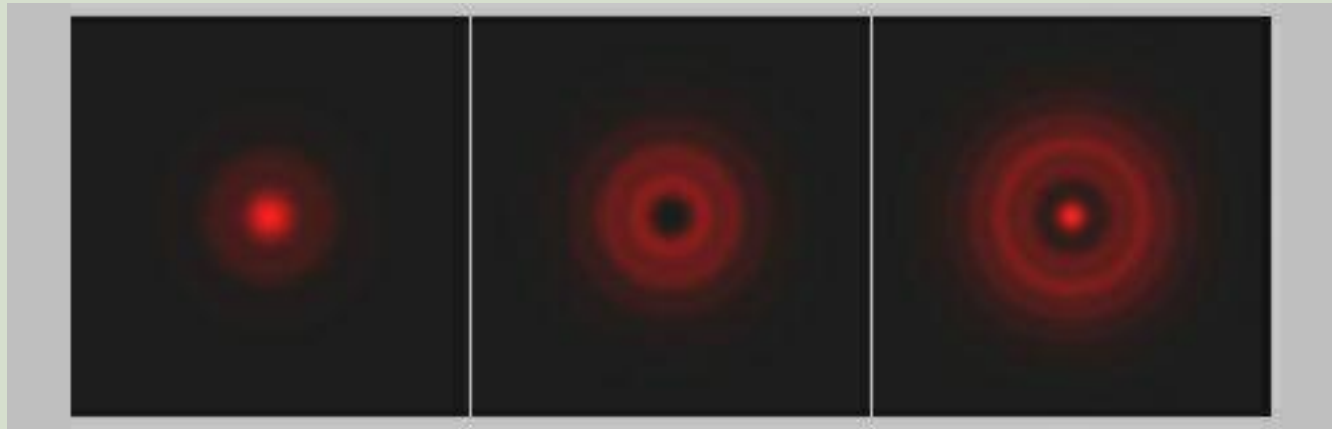


Зоны Френеля



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



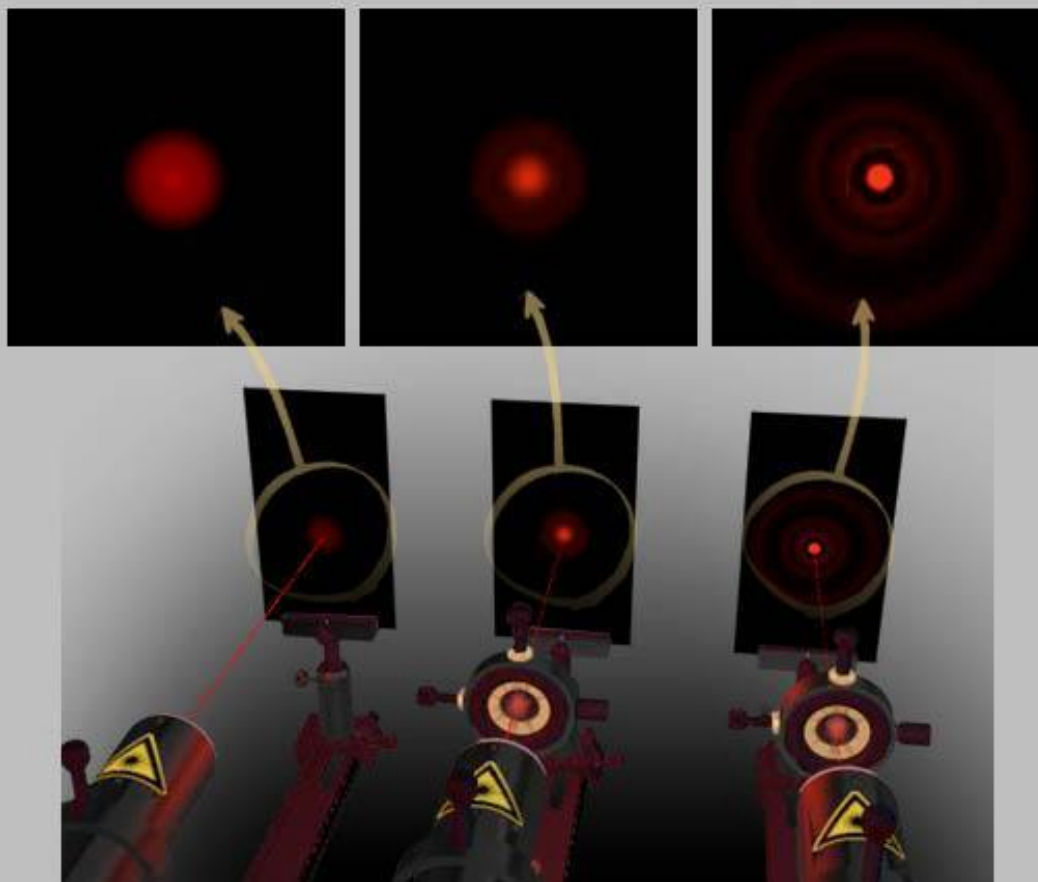
Зонная пластинка Френеля

Зонные пластинки

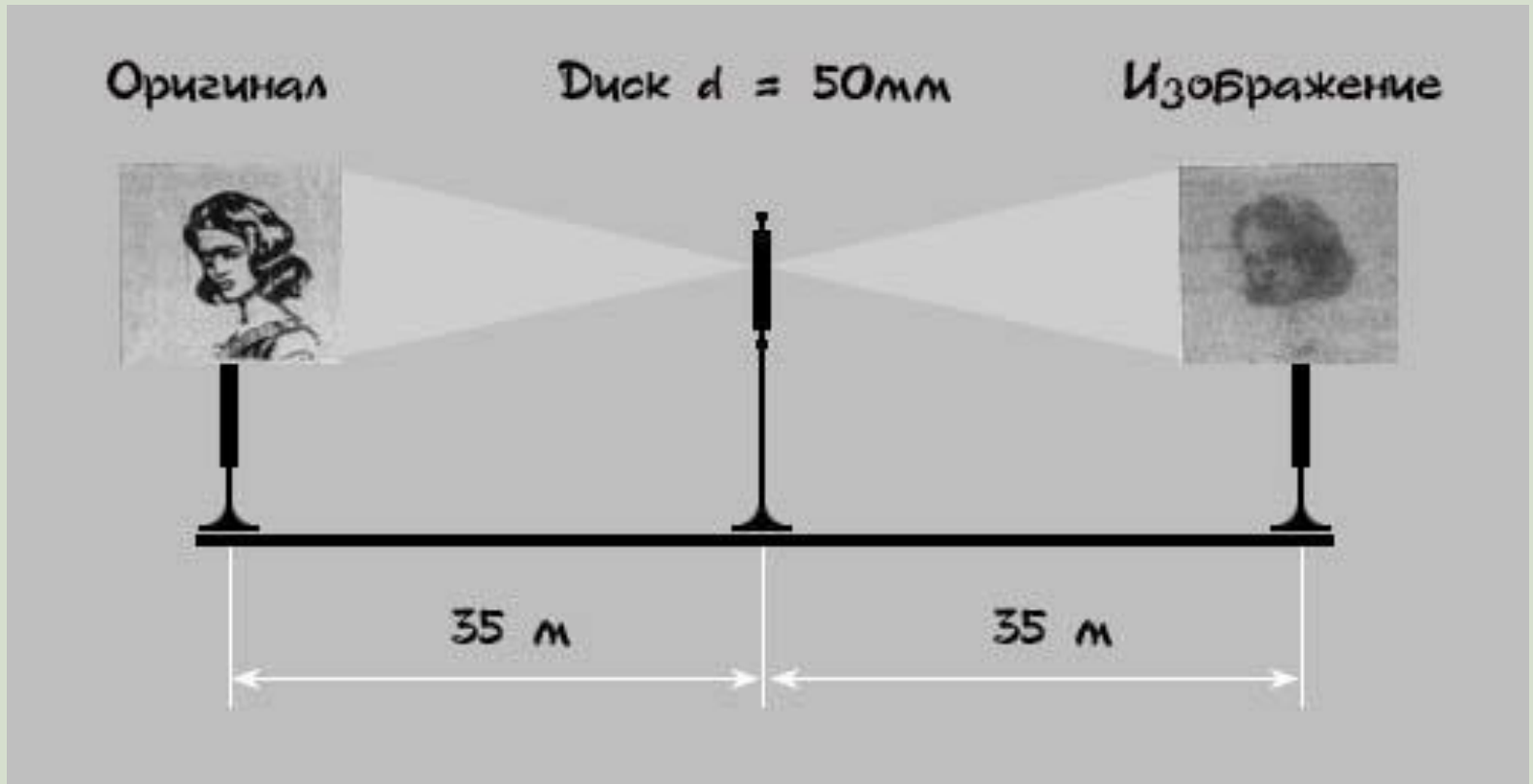
Такая интенсивность наблюдается на экране при свободном распространении световой волны

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 λ*

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).

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

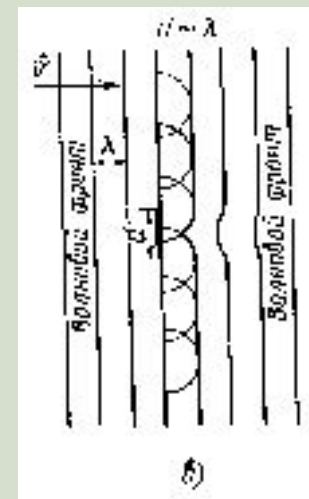
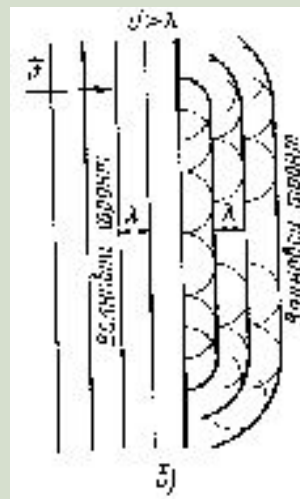
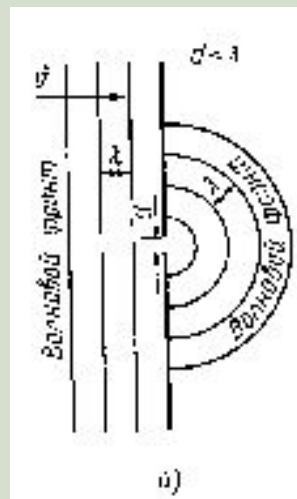
- Эти соотношения определяют границы применимости геометрической оптики

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

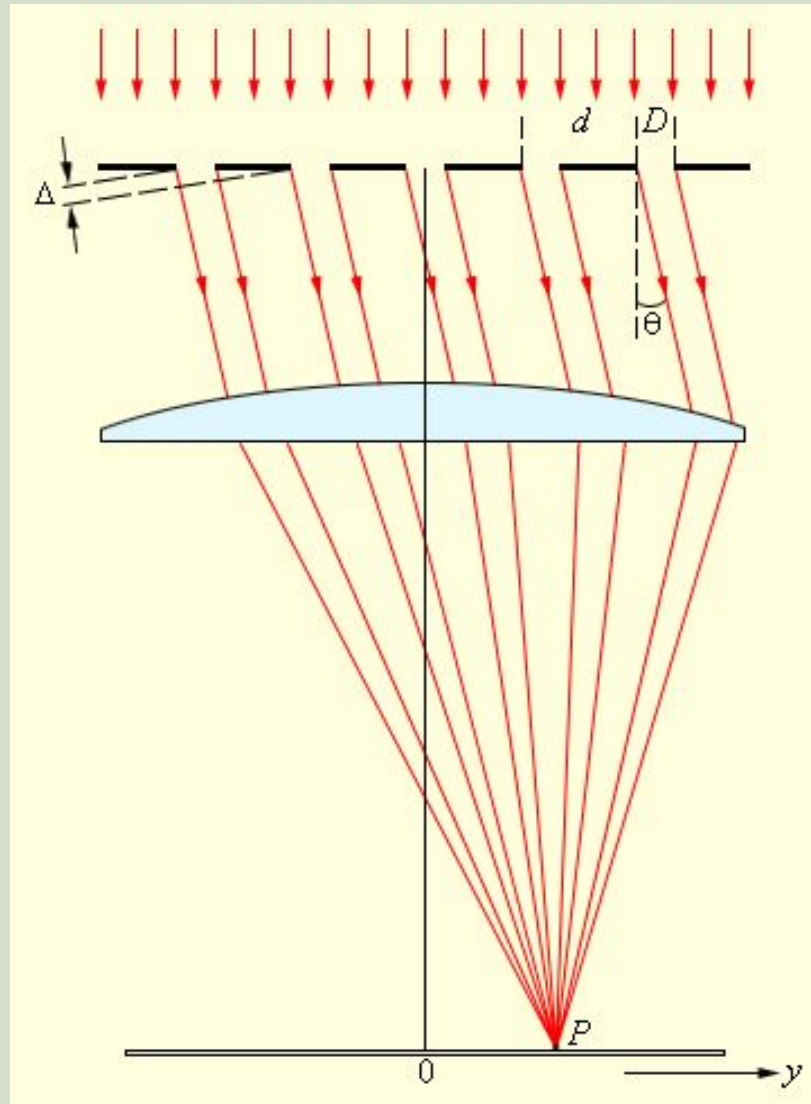
Дифракционная решетка

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

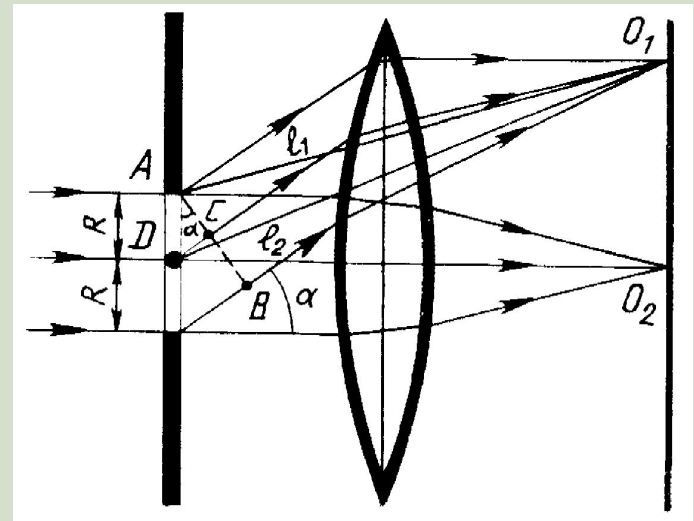


Дифракционная решетка



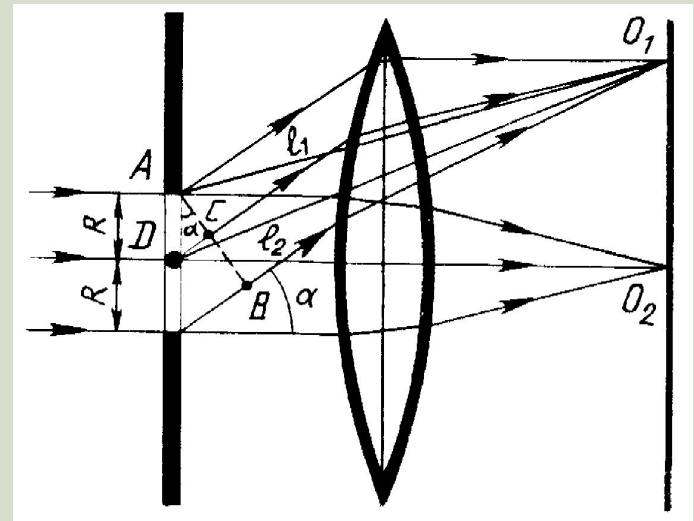
Дифракционная решетка

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



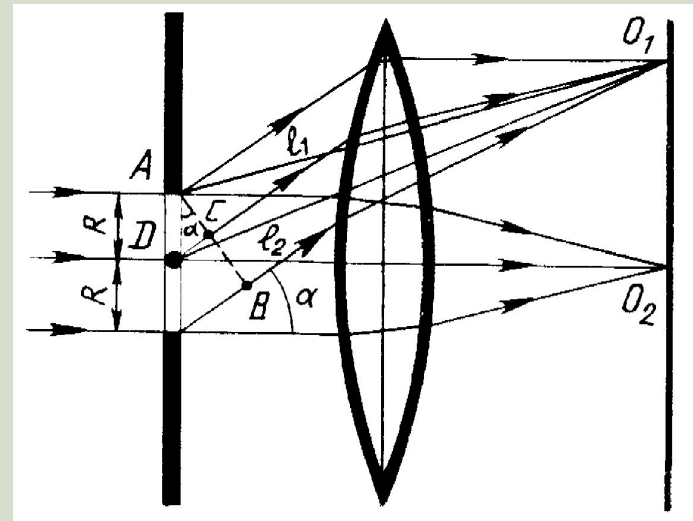
Дифракционная решетка

- Угол ϕ - угол отклонения световых волн вследствие дифракции.
- Наша задача - определить, что будет наблюдаться в произвольном направлении ϕ - 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

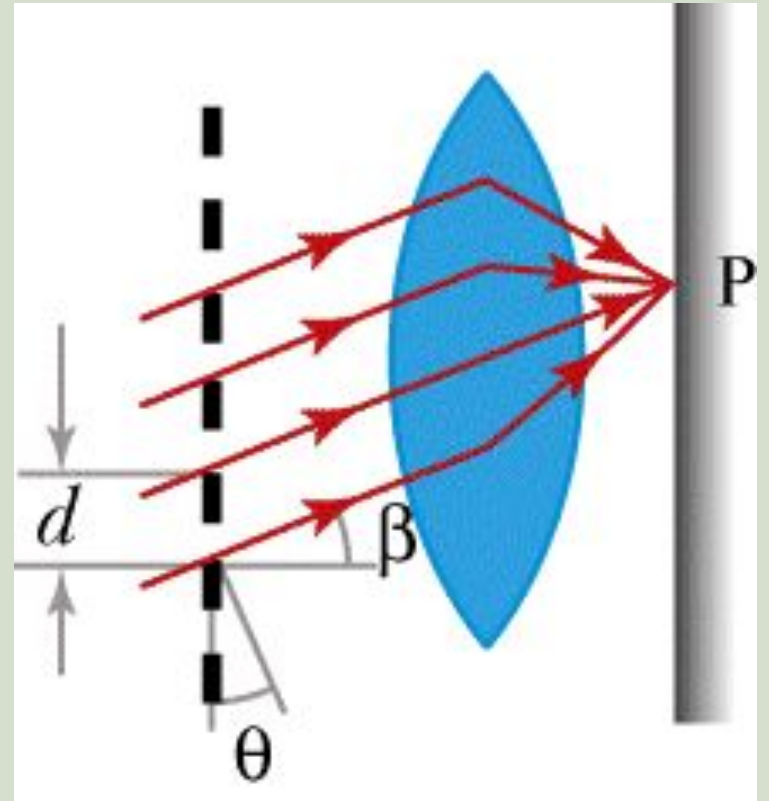
- Следовательно:

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

- формула
дифракционной
решетки.

Величина k — порядок
дифракционного
максимума

(равен $0, \pm 1, \pm 2$ и т.д.)



Определение λ с помощью дифракционной решетки

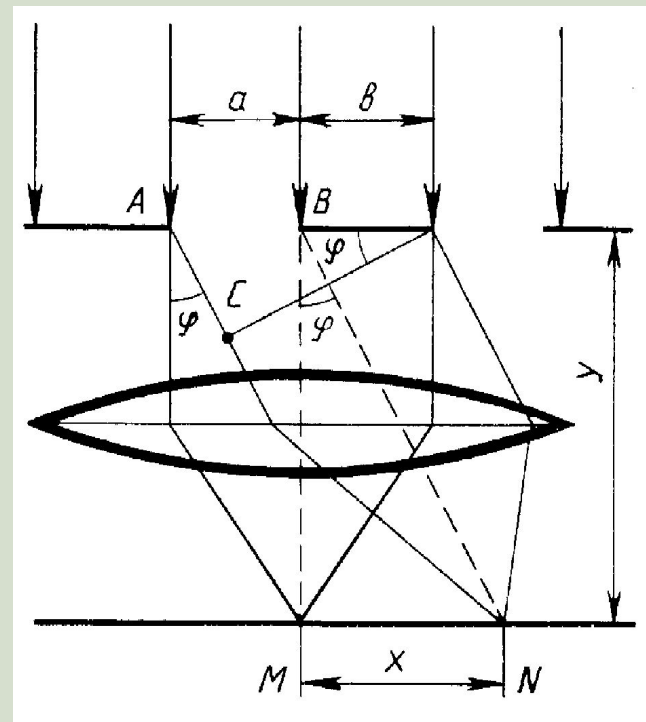
$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{x}{y},$$

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

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

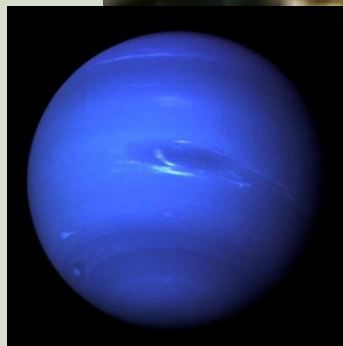
13.IV.1773-10.V.1829

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