

The background of the slide is a light gray gradient. It is decorated with several realistic water droplets of various sizes and shapes, scattered across the top and right sides. The droplets have highlights and shadows, giving them a three-dimensional appearance.

# ЛЕКЦИЯ 9

## ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

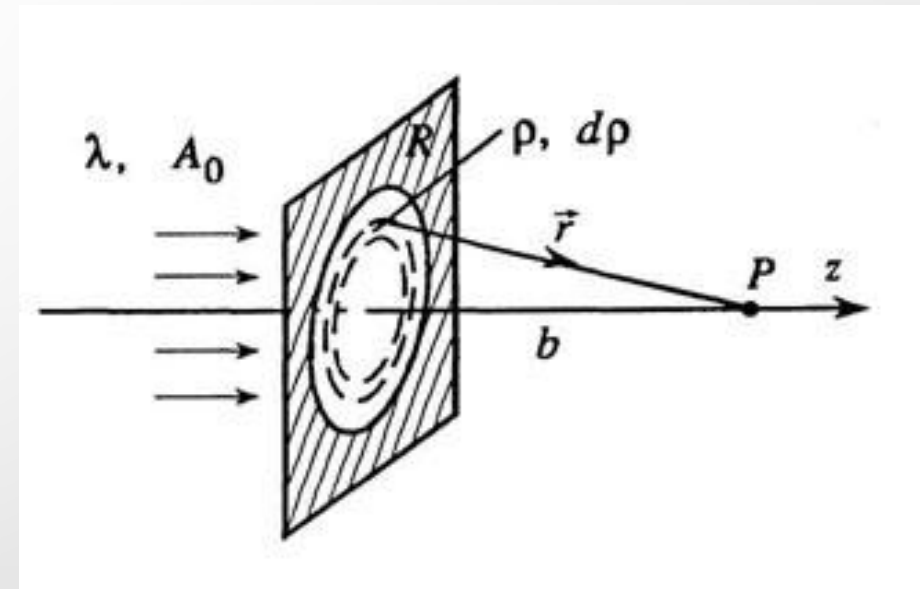
# ПРИНЦИП ГЮЙГЕНСА-ФРЕНЕЛЯ

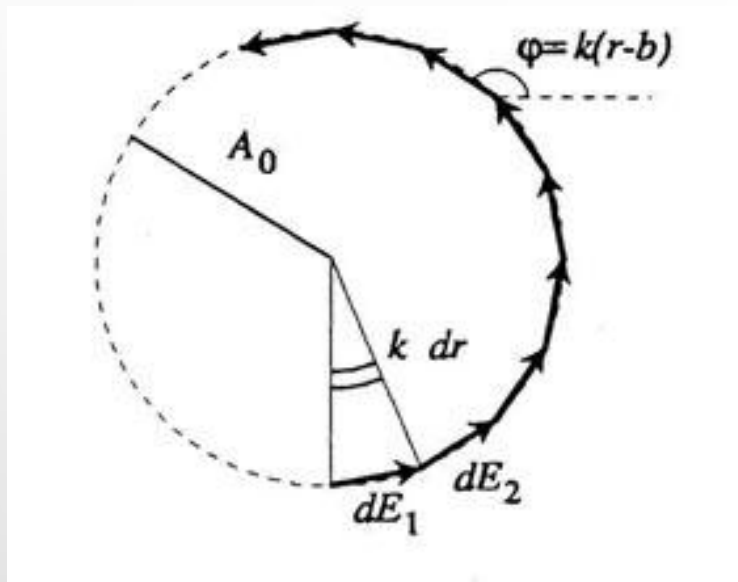
Дифракцией любое отклонение распространения волн вблизи препятствий от законов геометрической оптики

Явление дифракции объясняется с помощью принципа Гюйгенса, согласно которому каждая точка, до которой доходит волна, служит центром вторичных волн, а огибающая этих волн задает положение волнового фронта в следующий момент времени. Т.е. световая волна, возбуждаемая каким-либо источником  $S$ , может быть представлена как результат суперпозиции когерентных вторичных волн. Обычно в качестве этой поверхности выбирают одну из волновых поверхностей, поэтому все фиктивные источники действуют синфазно. Исключается возможность возникновения обратных вторичных волн.

- Если точка наблюдения расположена достаточно далеко от препятствия и в точку наблюдения после взаимодействия с неоднородностью приходит **плоская волна**, то говорят о дифракции Фраунгофера.
- Если точка наблюдения расположена недалеко от препятствия и в точку наблюдения после взаимодействия с неоднородностью приходит **сферическая волна**, в таком случае говорят о дифракции Френеля.

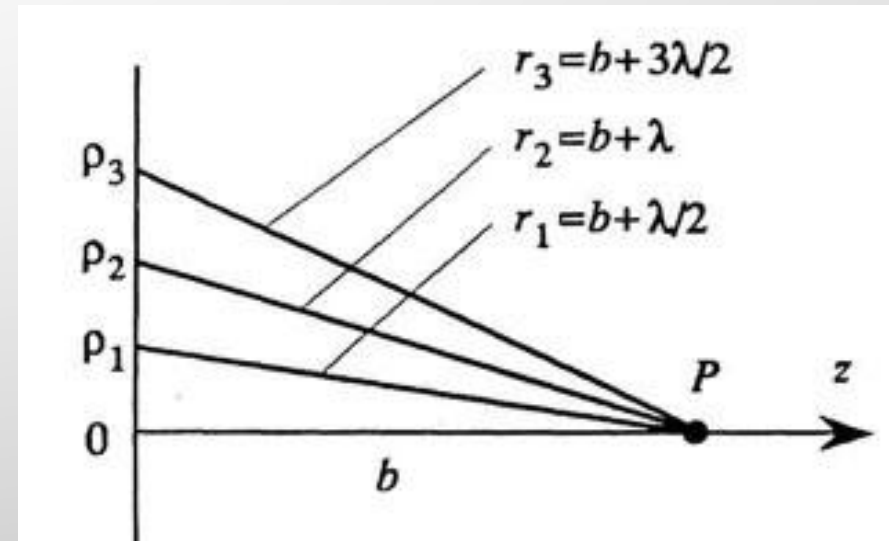
Принцип Гюйгенса-Френеля позволяет приближенно решать дифракционные задачи. В соответствии с этим принципом вторичные волны когерентны, так как они возбуждены одной и той же первичной волной. Результирующее поле в точке наблюдения  $P$  может быть найдено как результат интерференции вторичных волн.





Элементарное колебание можно изобразить на векторной диаграмме с помощью вектора длины  $A$ , ориентированного под углом  $\varphi = k(r - b)$  по отношению к горизонтальной линии

Для значения  $r = b + m\lambda/2$ , где  $m$  — целое число, фаза колебания равна  $\varphi = m\pi$ . Соответствующие различным значениям  $r$  окружности в плоскости экрана принято называть границами зон Френеля, а кольца, заключенные между соседними границами — зонами Френеля



Найдём радиус  $m$ -ой зоны Френеля. Как следует из геометрических соображений:

$$r_m^2 = a^2 - (a - h_m)^2$$

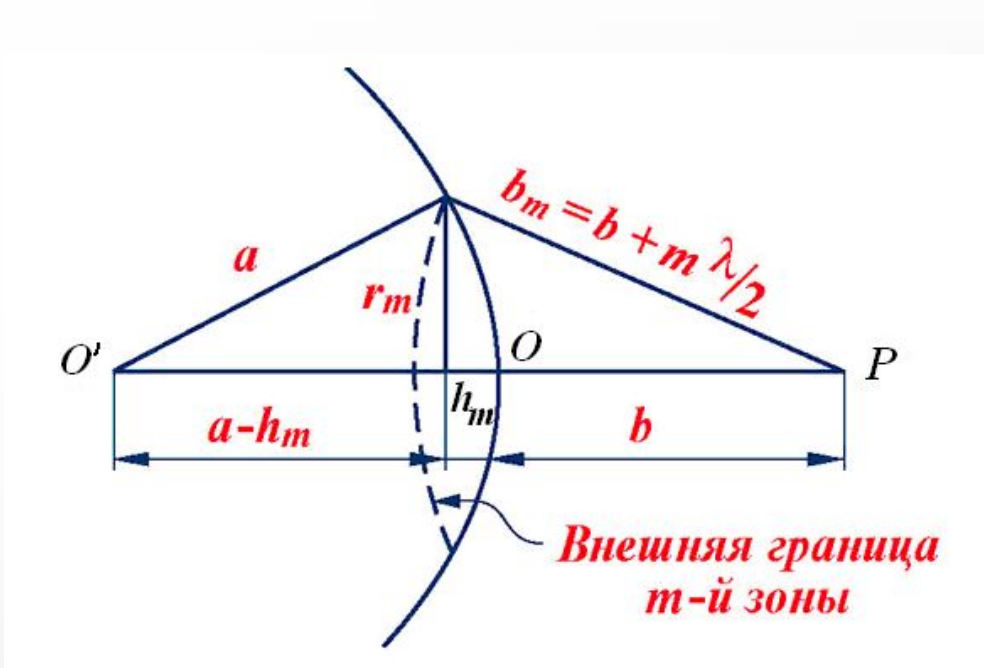
$$= \left(b + \frac{m\lambda}{2}\right)^2 - (b + h_m)^2$$

Пренебрегая  $\lambda^2$ , для не очень больших  $m$  найдём  $h_m$

$$h_m = \frac{bm}{2(a + b)}$$

$$r_m = \sqrt{m\lambda \frac{ab}{a + b}}$$

при  $a \rightarrow \infty$   
 $r_m = \sqrt{m\lambda b}$



# ПРИБЛИЖЕНИЕ КОРОТКИХ ДЛИН ВОЛН ЧИСЛО ФРЕНЕЛЯ

Если учесть, что радиус первой зоны Френеля при  $a \rightarrow \infty$

$$r_1 = \sqrt{\lambda l}$$

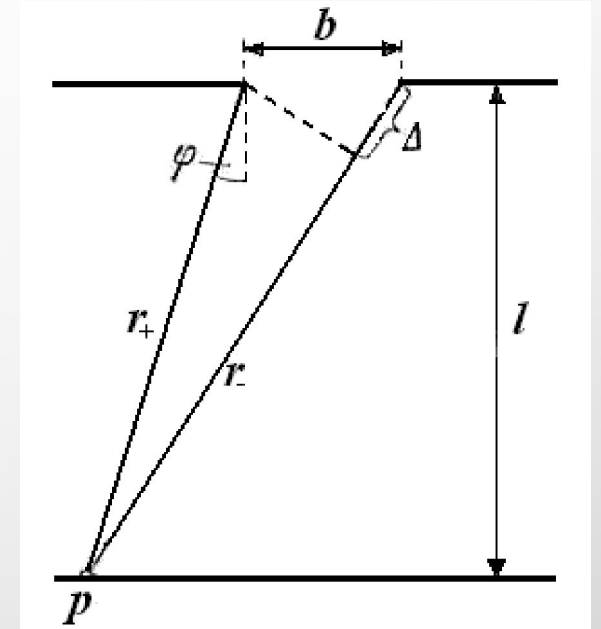
то площадь первой зоны Френеля, открываемой из точки наблюдения на расстоянии  $b$  от экрана, равна  $\pi\lambda b$ , а  $\frac{\pi b^2}{4}$  площадь отверстия, то можно найти число открытых зон Френеля

$$m = \frac{b^2}{4\lambda l}$$

а) для наблюдения дифракции Фраунгофера должна быть открыта меньшая часть первой зоны Френеля, т. е.  $m < 1$

б) для наблюдения дифракции Френеля должно быть открыто несколько зон Френеля, т.е.  $m > 1$

в) для применимости геометрической оптики должно быть открыто большое число зон Френеля, т. е.  $m \gg 1$



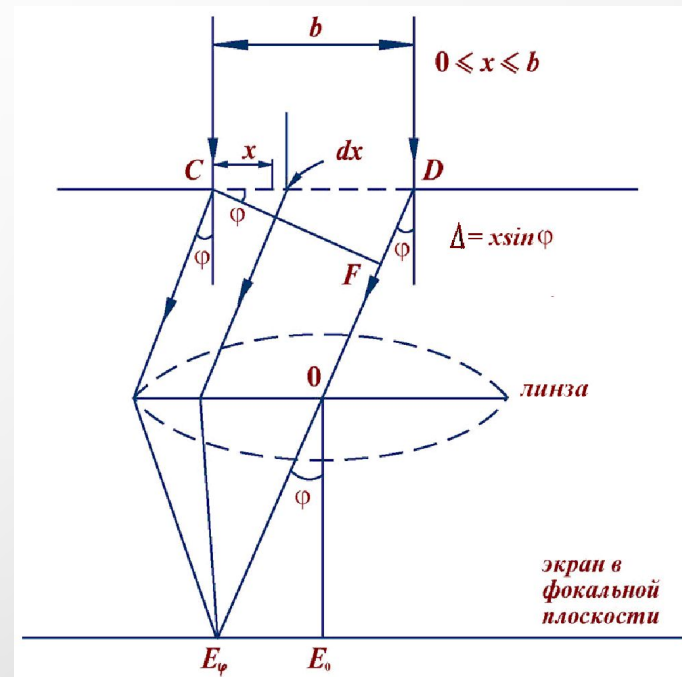
# ДИФРАКЦИЯ ФРАУНГОФЕРА НА ЩЕЛИ

$$dE_{\varphi} = c \cdot dx \cdot \cos(\omega t - kx \sin \varphi)$$

$$DF = b \sin \varphi$$

$$dE_0 = c \cdot dx \cdot \cos \omega t$$

$$E_{\varphi} = \int_0^b \frac{E_0}{b} \cos(\omega t - kx \sin \varphi) dx = E_0 \frac{\sin\left(\frac{b k \sin \varphi}{2}\right)}{\left(\frac{b k \sin \varphi}{2}\right)} \cdot \cos\left(\omega t - \frac{b k \sin \varphi}{2}\right)$$



$$E_0 \cdot \frac{\sin\left(\frac{b k \sin\varphi}{2}\right)}{\frac{b k \sin\varphi}{2}} = E_0 \cdot \frac{\sin\left(\frac{b \pi \sin\varphi}{\lambda}\right)}{\frac{b \pi \sin\varphi}{\lambda}}$$

$$I_\varphi = I_0 \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{b \pi \sin\varphi}{\lambda}\right)}{\left(\frac{b \pi \sin\varphi}{\lambda}\right)^2}$$

$$\text{max: } b \sin\varphi = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}$$

$$\text{min: } b \sin\varphi = 2m \frac{\lambda}{2}$$

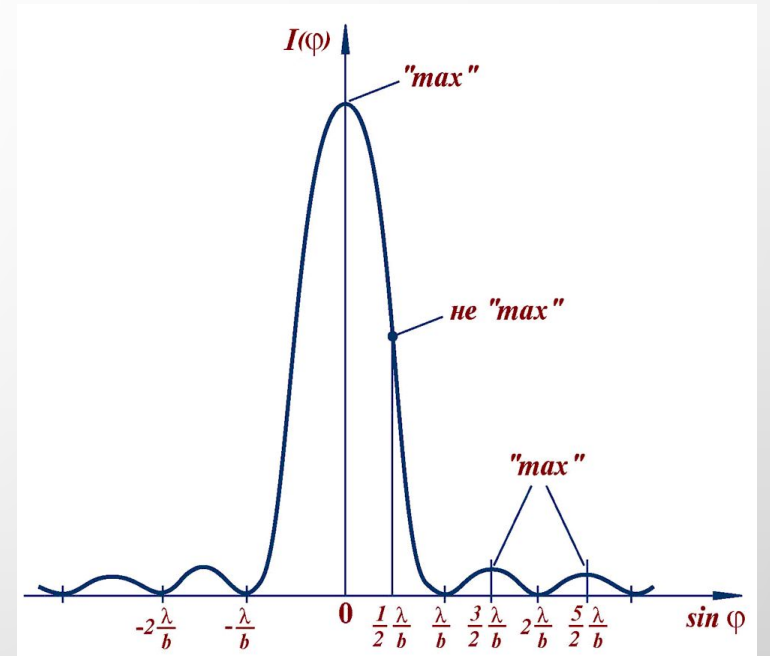
$$I_0 : I_1 : I_2 : I_3 : \dots = 1 : 0,045 : 0,016 : 0,008 : \dots$$



Главному максимуму соответствует освещённая область, а побочным – убывающие по интенсивности светлые полосы равной ширины, параллельные краям щели. Величина главного максимума  $I_c$  распределения интенсивности дифракционной волны пропорциональна квадрату ширины щели  $b^2$ .

Угловой размер наблюдаемого главного дифракционного максимума  $\Delta\varphi_m$  можно оценить по расстоянию между первыми нулями функции  $I(\varphi)$  при смещении из центра картины в зону тени. Это не единственный способ определить угловую ширину наблюдаемого дифракционного пятна. Согласно Рэлею ширина пятна определяется разностью угловых координат, соответствующих уменьшению максимального значения интенсивности в два раза.

Для щелей, освещаемых световыми волнами, практически всегда выполняется условие  $\lambda/b \ll 1$ . В соответствии с этим условием получаем, что угловой размер наблюдаемой дифракционной полосы  $\Delta\varphi_m = \arcsin(\lambda/b) \approx \lambda/b$  обратно пропорционален ширине щели, выраженной в длинах волн.



# ДИФРАКЦИОННЫЙ ПРЕДЕЛ РАЗРЕШЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Никакая оптическая система не может дать точечного изображения. На самом деле изображение точечного предмета оказывается размытым из-за дифракции. В этом проявляется волновая природа света. В случае дифракции Фраунгофера на круглом отверстии диаметра  $D$  дифракционное изображение состоит из центрального светлого пятна, и окружающих его светлых и темных колец.

Это дифракционное пятно и принимается за изображение точечного источника. Радиус центрального пятна в фокальной плоскости линзы равен

$$r = 1,22 \frac{\lambda}{D} F$$

Размер дифракционных изображений очень мал. Например, радиус центрального светлого пятна в фокальной плоскости линзы диаметром  $D = 5$  см с фокусным расстоянием  $F = 50$  см в монохроматическом свете с длиной волны  $\lambda = 500$  нм приблизительно равен  $0,006$  мм. Таким образом существует дифракционный предел качества изображений. Вследствие дифракционного размытия изображения двух близких точек объекта могут оказаться неотличимы от изображения одной точки.