

The background of the slide is a light gray gradient with several realistic water droplets of various sizes scattered across it. The droplets have highlights and shadows, giving them a three-dimensional appearance. The text is centered on the slide.

# ЛЕКЦИЯ 9

## ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

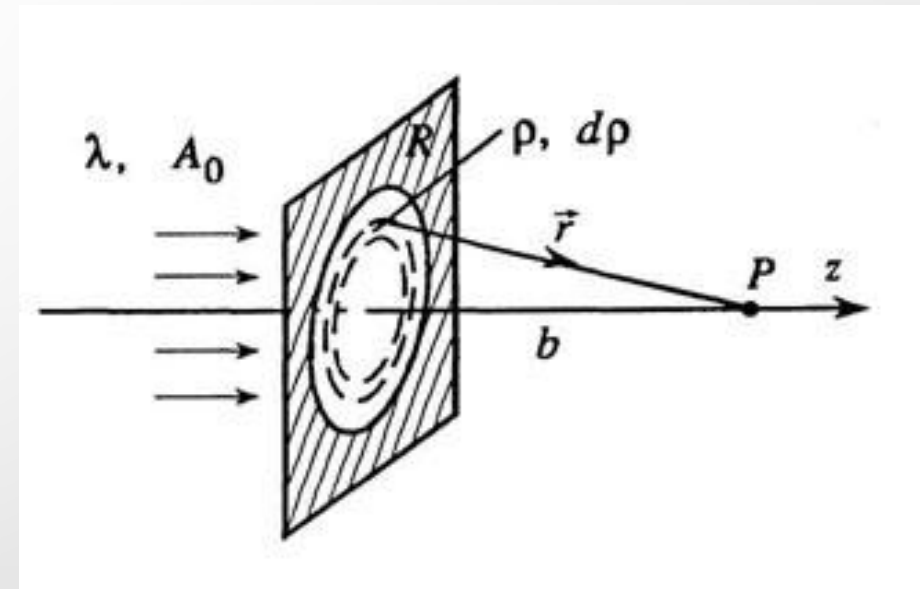
# ПРИНЦИП ГЮЙГЕНСА-ФРЕНЕЛЯ

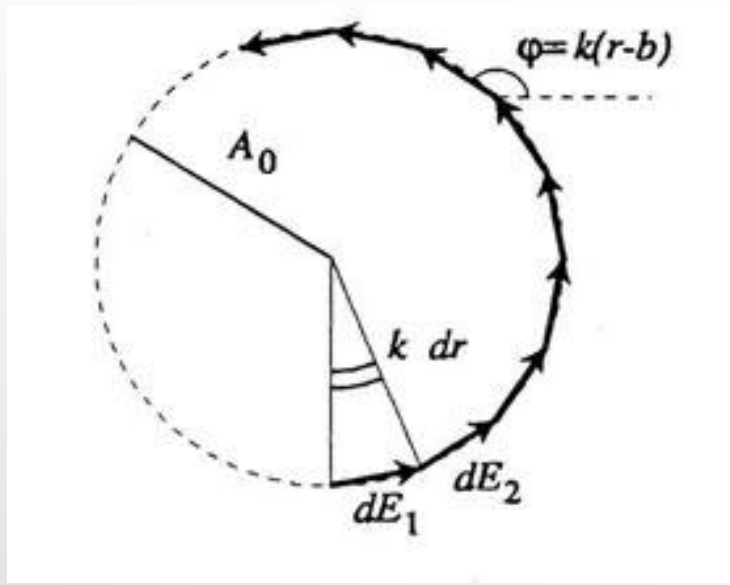
Дифракцией любое отклонение распространения волн вблизи препятствий от законов геометрической оптики

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.

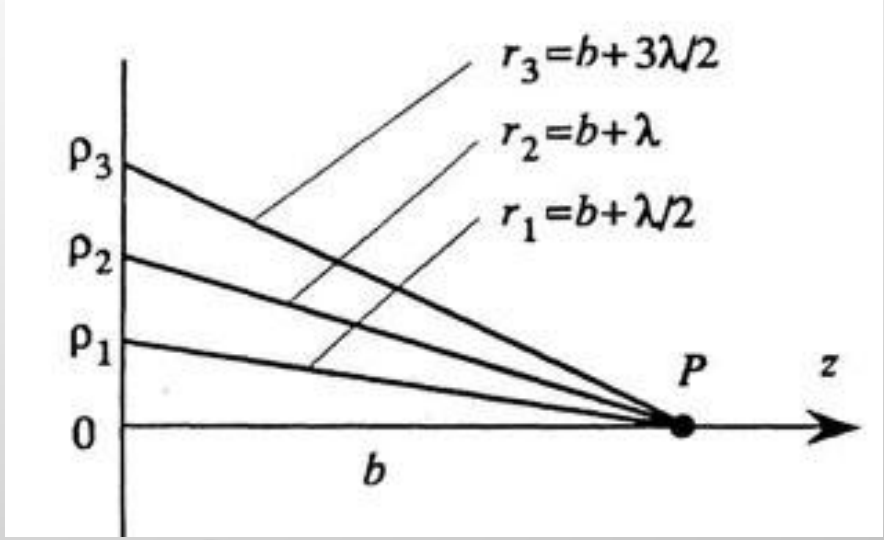
Принцип Гюйгенса-Френеля позволяет приближенно решать дифракционные задачи. В соответствии с этим принципом вторичные волны когерентны, так как они возбуждены одной и той же первичной волной. Результирующее поле в точке наблюдения  $P$  может быть найдено как результат интерференции вторичных волн.





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:

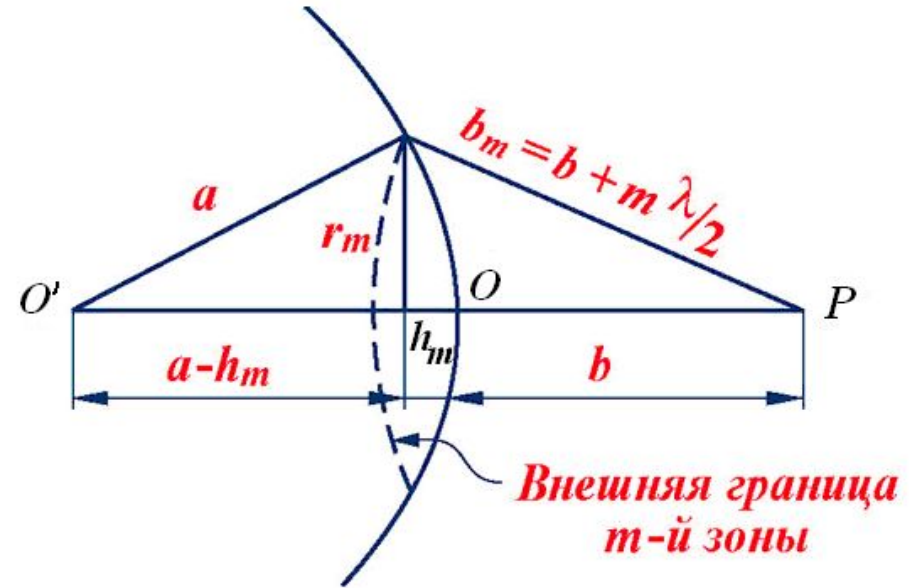
$$\begin{aligned} r_m^2 &= a^2 - (a - h_m)^2 \\ &= \left(b + \frac{m\lambda}{2}\right)^2 - (b + h_m)^2 \end{aligned}$$

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  $a \rightarrow \infty$

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

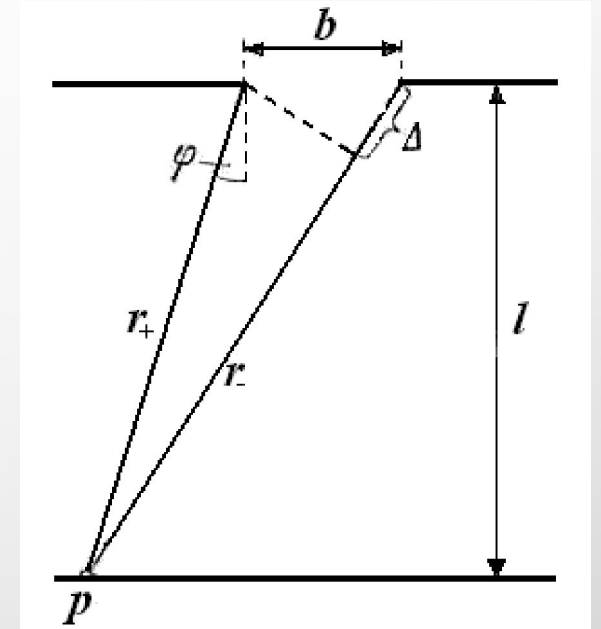
то площадь первой зоны Френеля, открываемой из точки наблюдения на расстоянии  $b$  от экрана, равна  $\pi\lambda b$ , а  $\frac{\pi b^2}{4}$  площадь отверстия, то можно найти число открытых зон Френеля

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

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.  $m \gg 1$



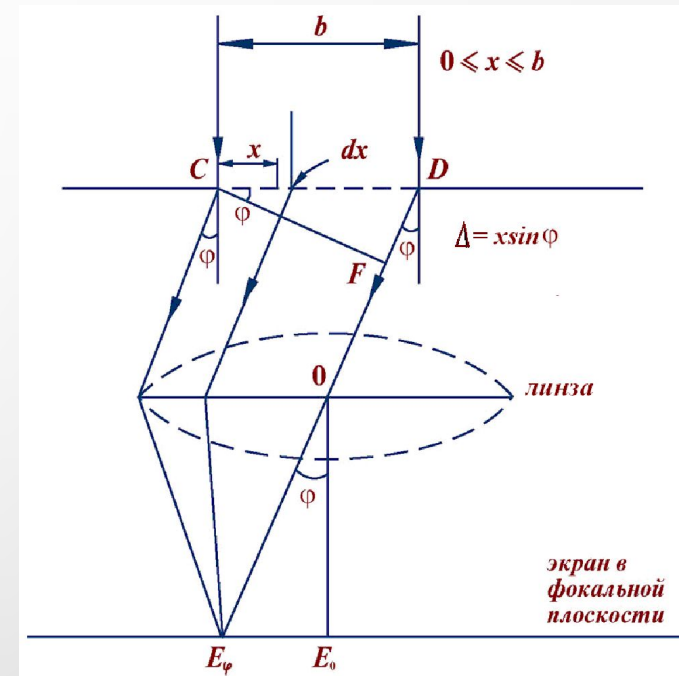
# ДИФРАКЦИЯ ФРАУНГОФЕРА НА ЩЕЛИ

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

$$DF = b \sin \varphi$$

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

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



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

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

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

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

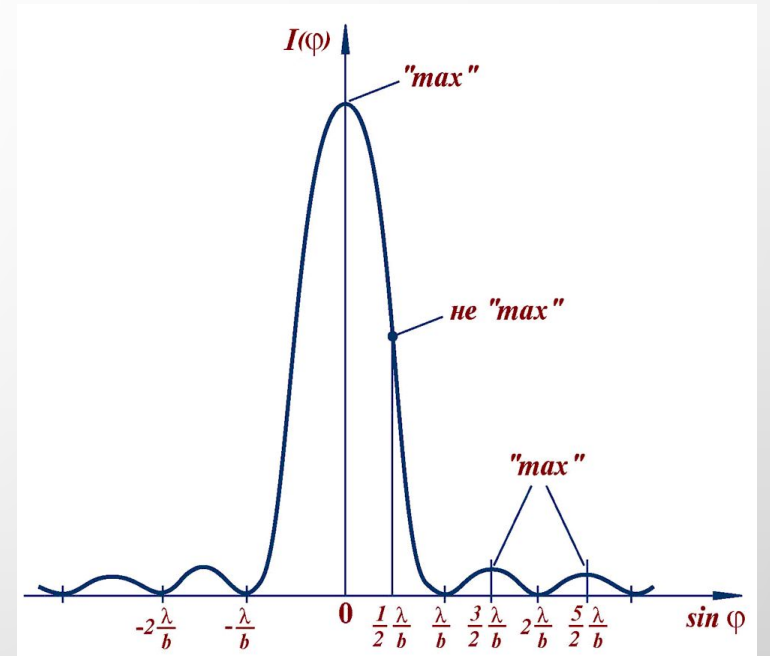
$$I_0 : I_1 : I_2 : I_3 : \dots = 1 : 0,045 : 0,016 : 0,008 : \dots$$



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.