

The background features a light gray gradient with several realistic water droplets of various sizes scattered across the surface. The droplets have highlights and shadows, giving them a three-dimensional appearance. They are primarily located in the top-left and bottom-right corners, with a few smaller ones in the center and bottom-left.

ЛЕКЦИЯ 9

ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

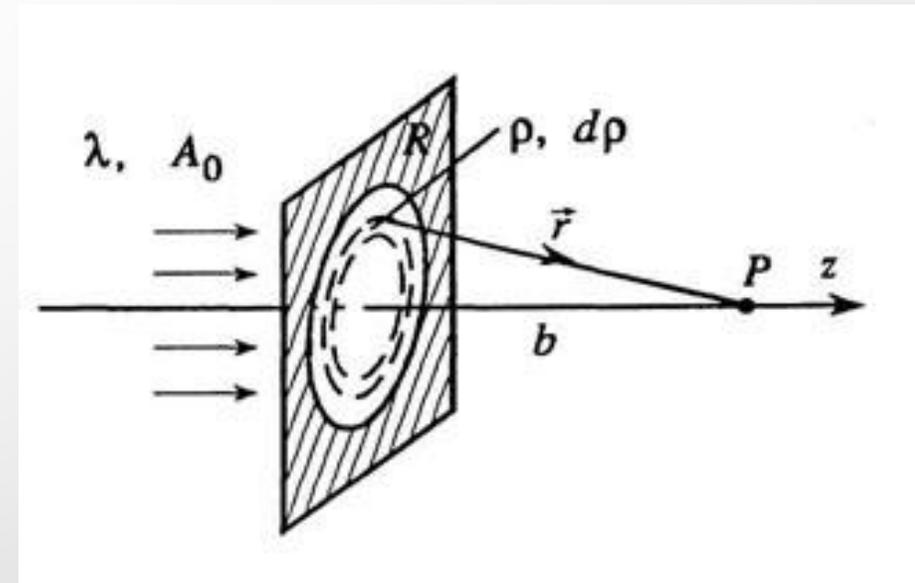
ПРИНЦИП ГЮЙГЕНСА-ФРЕНЕЛЯ

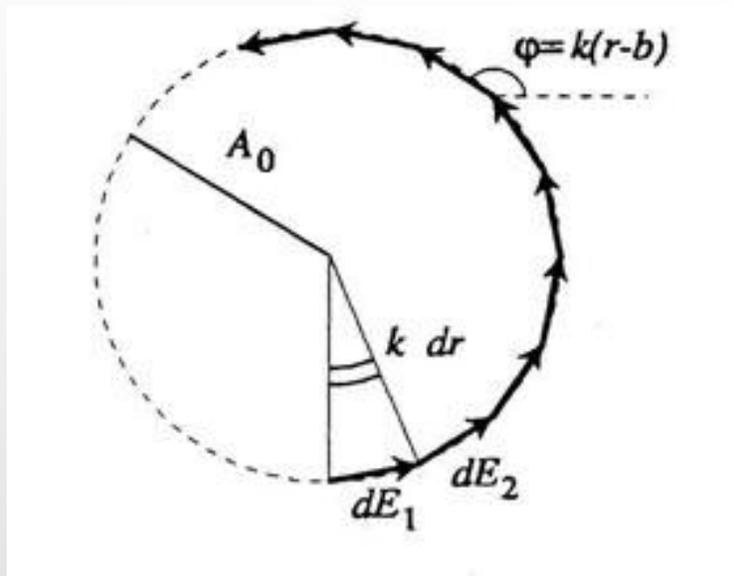
Дифракцией любое отклонение распространения волн вблизи препятствий от законов геометрической оптики

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.

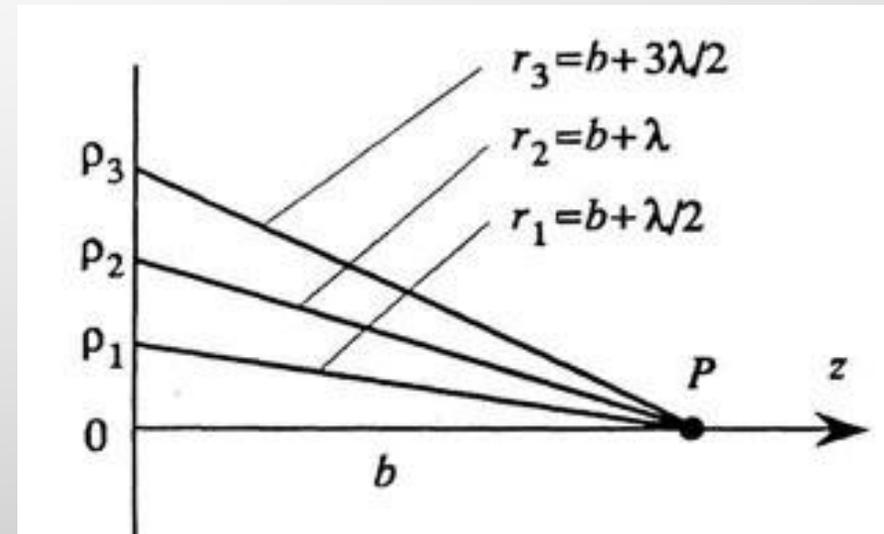
Принцип Гюйгенса-Френеля позволяет приближенно решать дифракционные задачи. В соответствии с этим принципом вторичные волны когерентны, так как они возбуждены одной и той же первичной волной. Результирующее поле в точке наблюдения P может быть найдено как результат интерференции вторичных волн.





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:

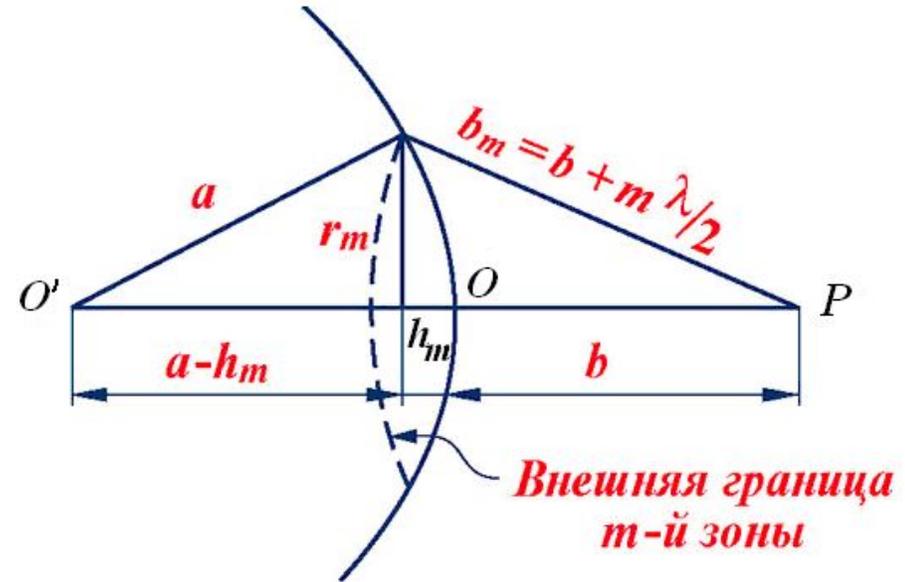
$$\begin{aligned} r_m^2 &= a^2 - (a - h_m)^2 \\ &= \left(b + \frac{m\lambda}{2}\right)^2 - (b + h_m)^2 \end{aligned}$$

Пренебрегая λ^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 $a \rightarrow \infty$

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

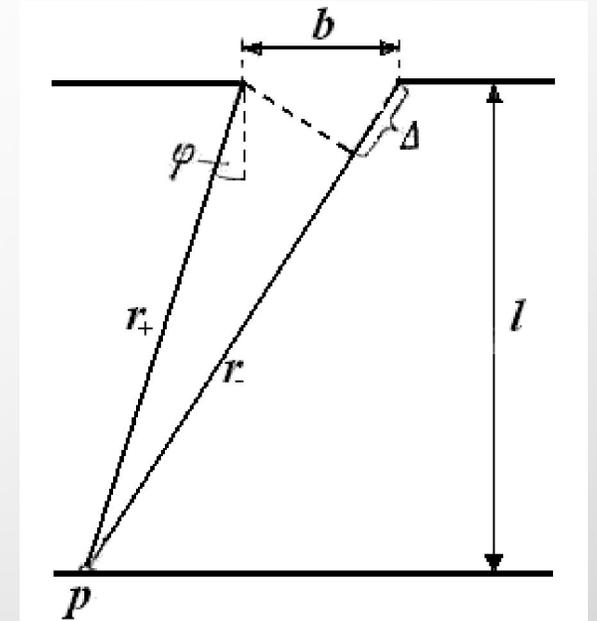
то площадь первой зоны Френеля, открываемой из точки наблюдения на расстоянии b от экрана, равна $\pi\lambda b$, а $\frac{\pi b^2}{4}$ площадь отверстия, то можно найти число открытых зон Френеля

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

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. $m \gg 1$



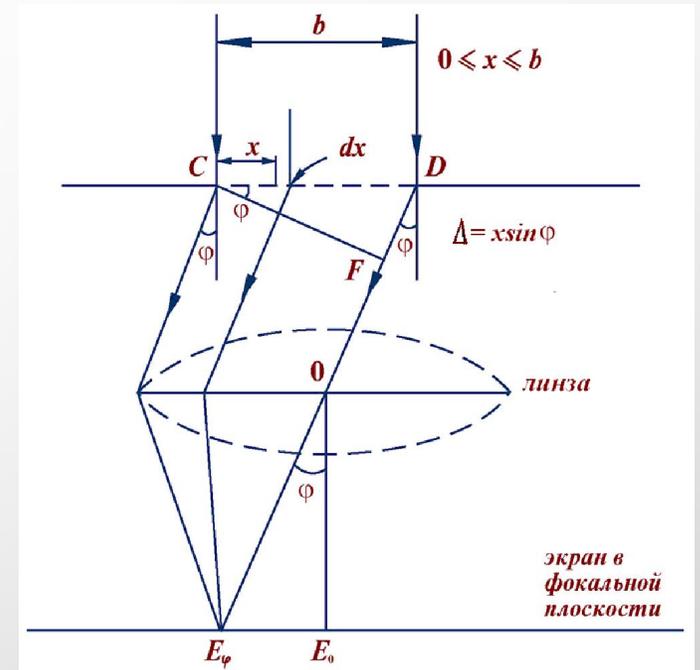
ДИФРАКЦИЯ ФРАУНГОФЕРА НА ЩЕЛИ

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

$$DF = b \sin \varphi$$

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

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



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

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

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

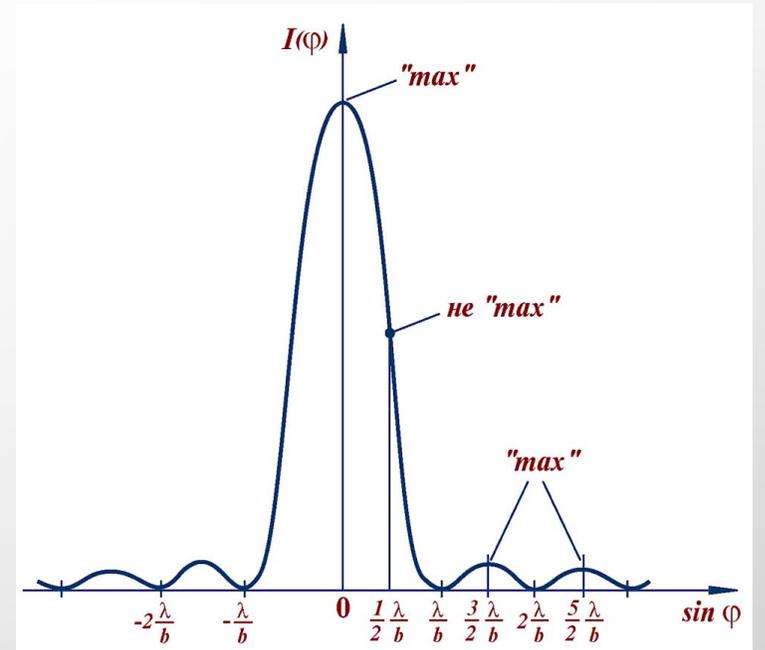
$$\text{min: } b \sin\varphi = 2m \frac{\lambda}{2}$$

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

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.