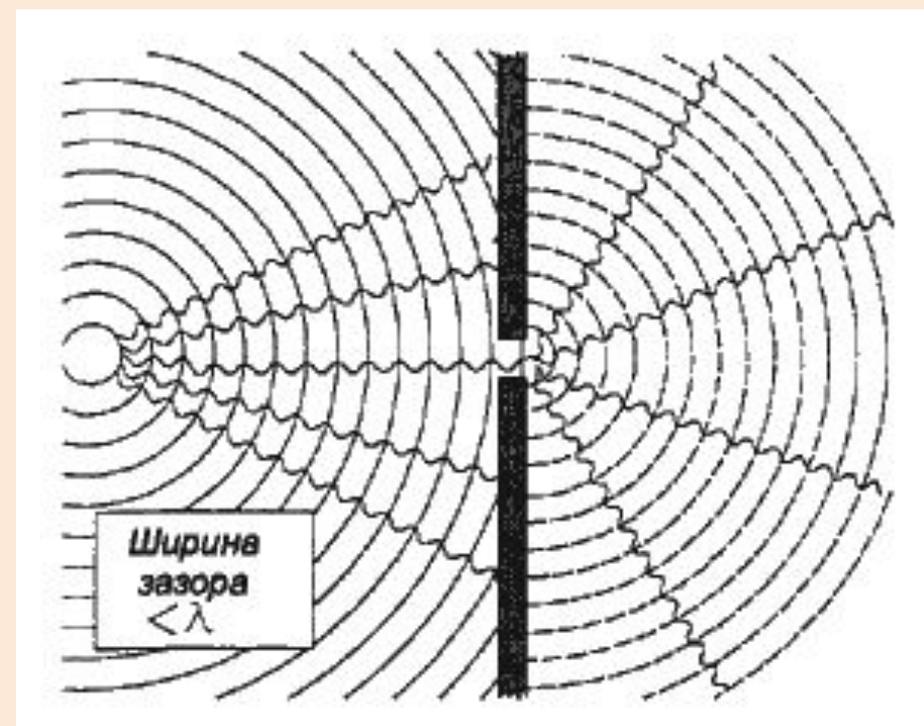
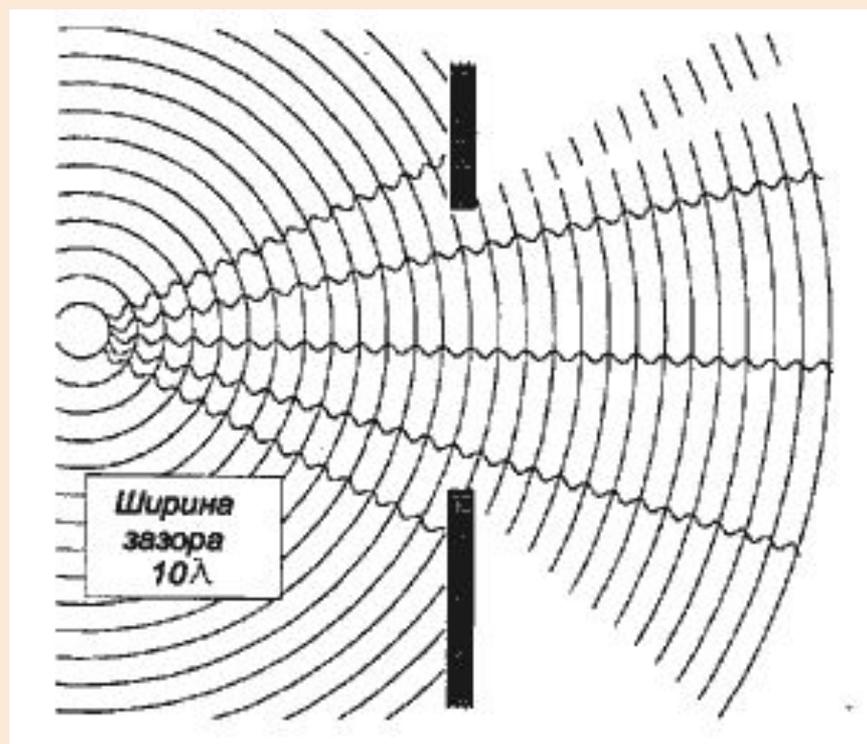
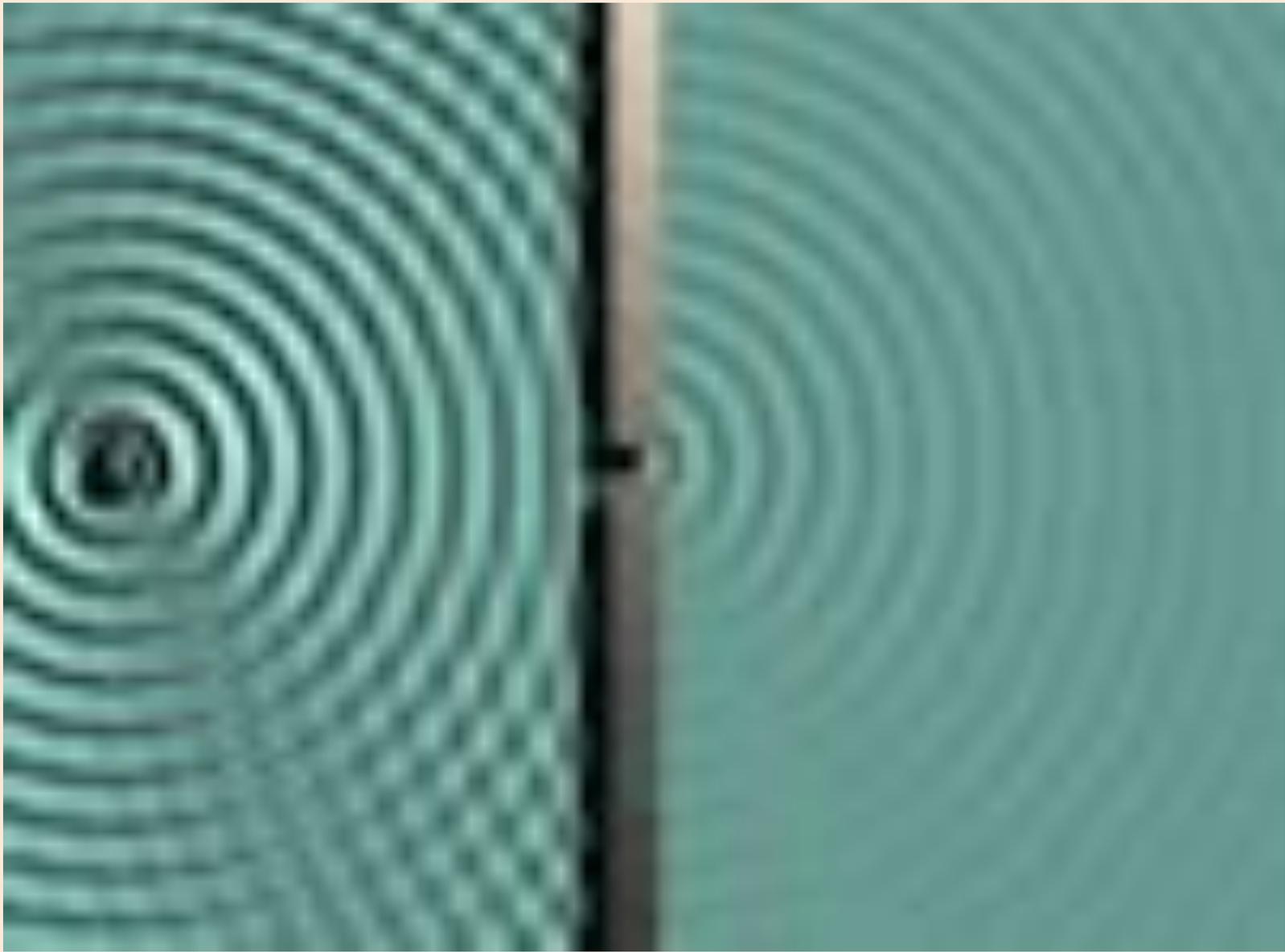


ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

Дифракция - совокупность явлений, наблюдаемых при распространении света в средах, включающих неоднородности, из-за которых наблюдается отклонение от законов геометрической оптики.

Проявление дифракции - огибание светом препятствий и проникновение в область геометрической тени.

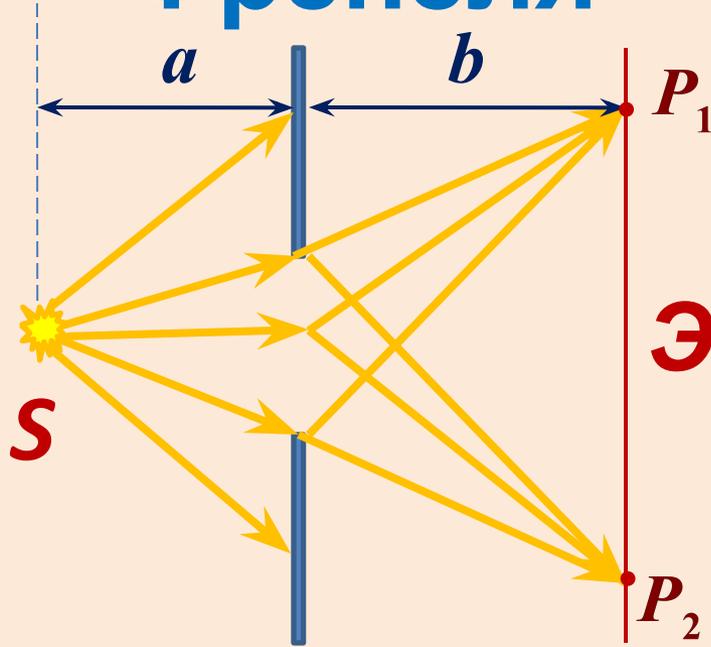




Виды дифракции

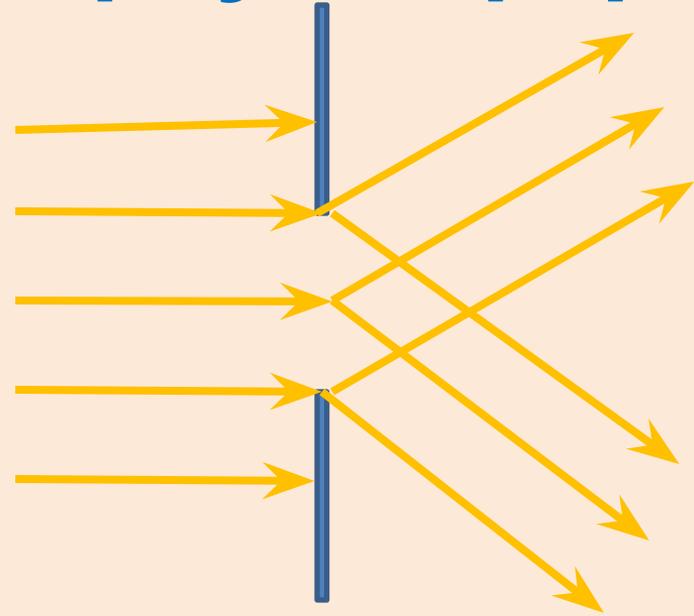


Френеля



сходящиеся и
расходящиеся лучи
(источник и точки
наблюдения близко
к препятствию)

Фраунгофера



параллельные лучи
(источник и точки
наблюдения на
бесконечности)



Френель Огюст Жан
(1788 - 1827)
французский физик, член
Парижской академии наук.



Фраунгофер Йозеф
(1787- 1826)
немецкий физик,
профессор
Мюнхенского
университета.

Критерий вида дифракции:

$$\frac{r^2}{b\lambda} \begin{cases} \ll 1 & \text{Фраунгофера} \\ \approx 1 & \text{дифракция} \\ \gg 1 & \text{Френеля} \\ & \text{- геометрическая} \\ & \text{оптика} \end{cases}$$

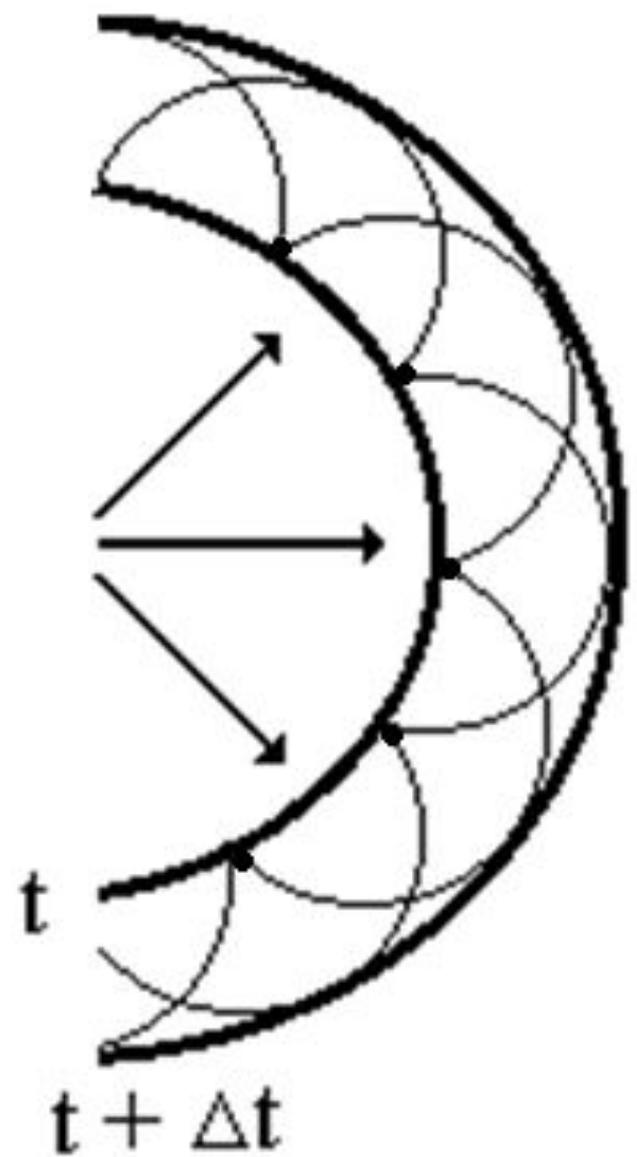
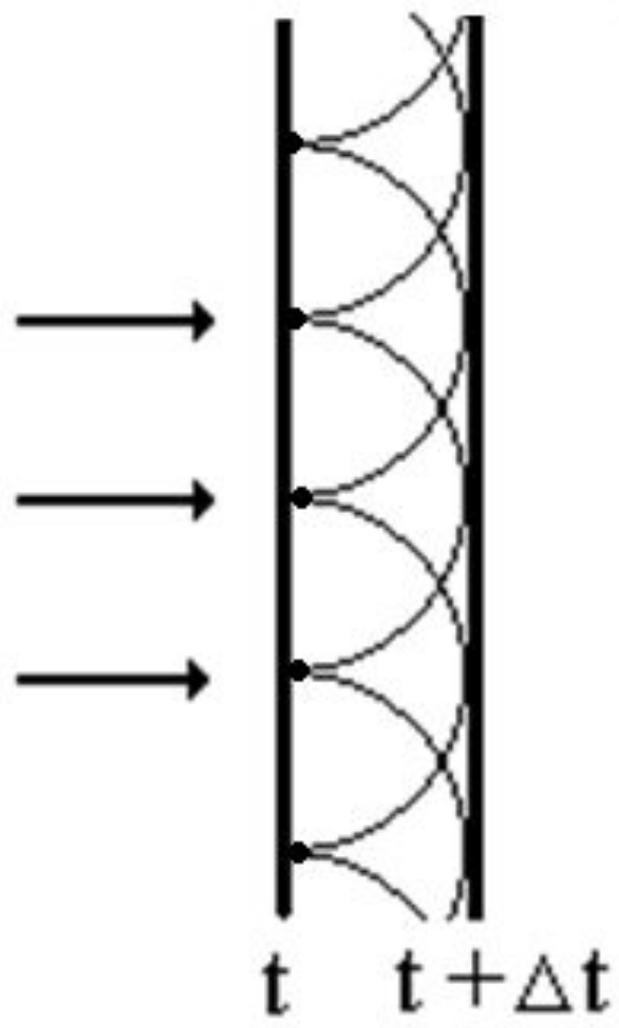
r – линейный размер препятствия,

b – расстояние от препятствия до
экрана

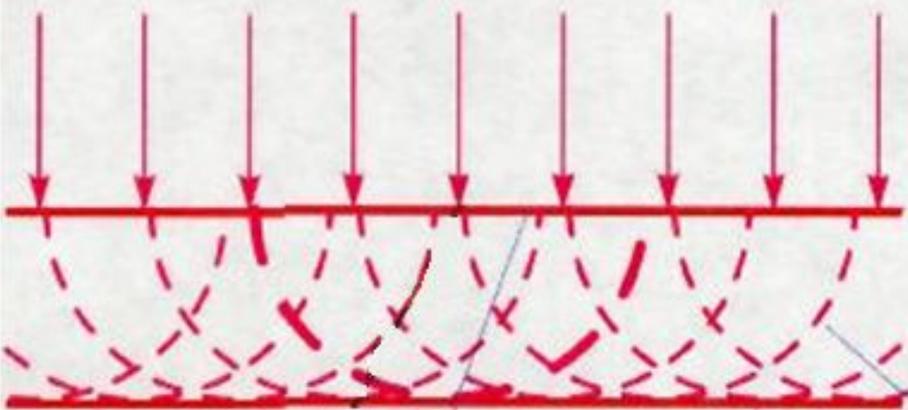
Принцип Гюйгенса

(качественное объяснение
дифракции)

**Каждая точка фронта
волны является
источником вторичных
волн, огибающая которых
образует новый фронт
волны.**



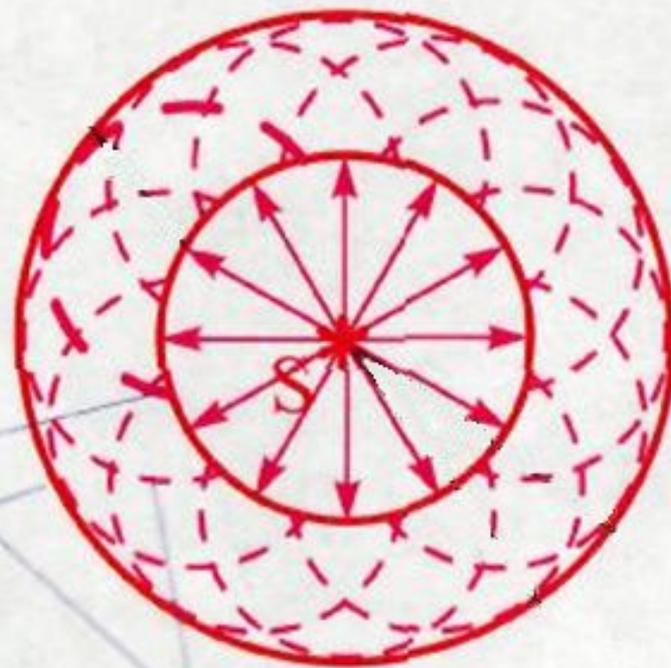
Плоская волна



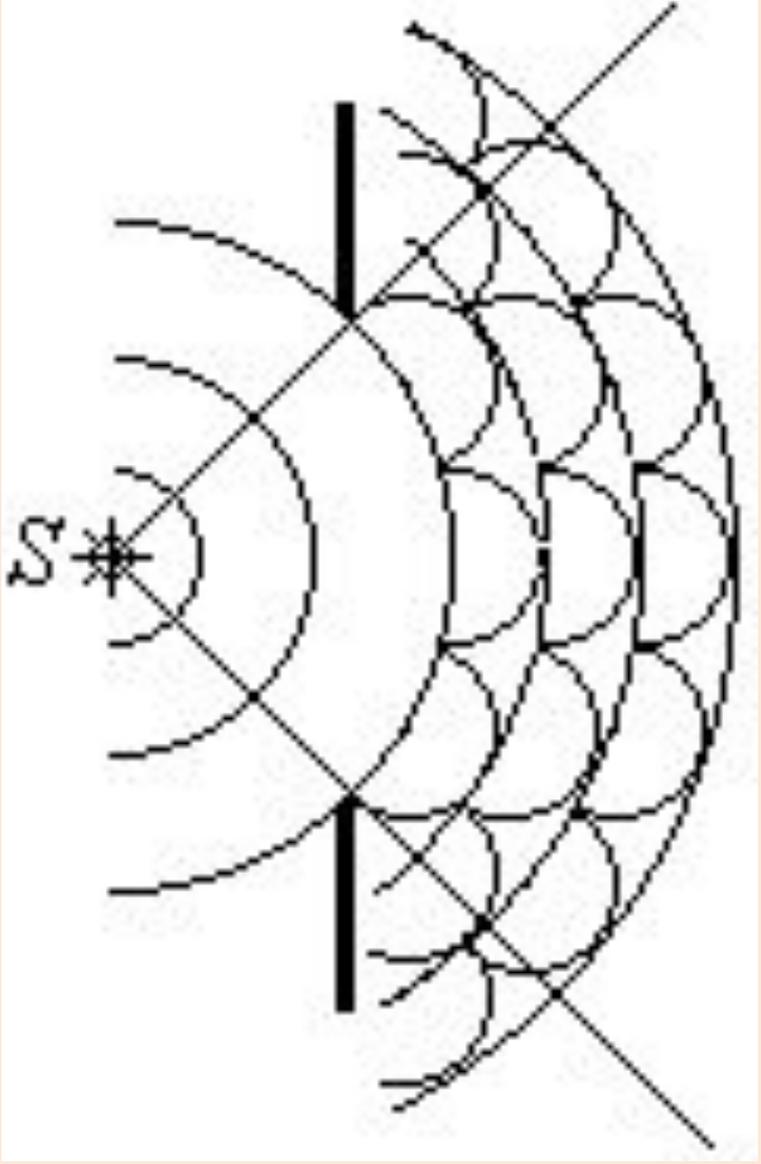
Фронт волны
в момент
времени t

Фронт волны
в момент
времени $t + \Delta t$

Сферическая волна

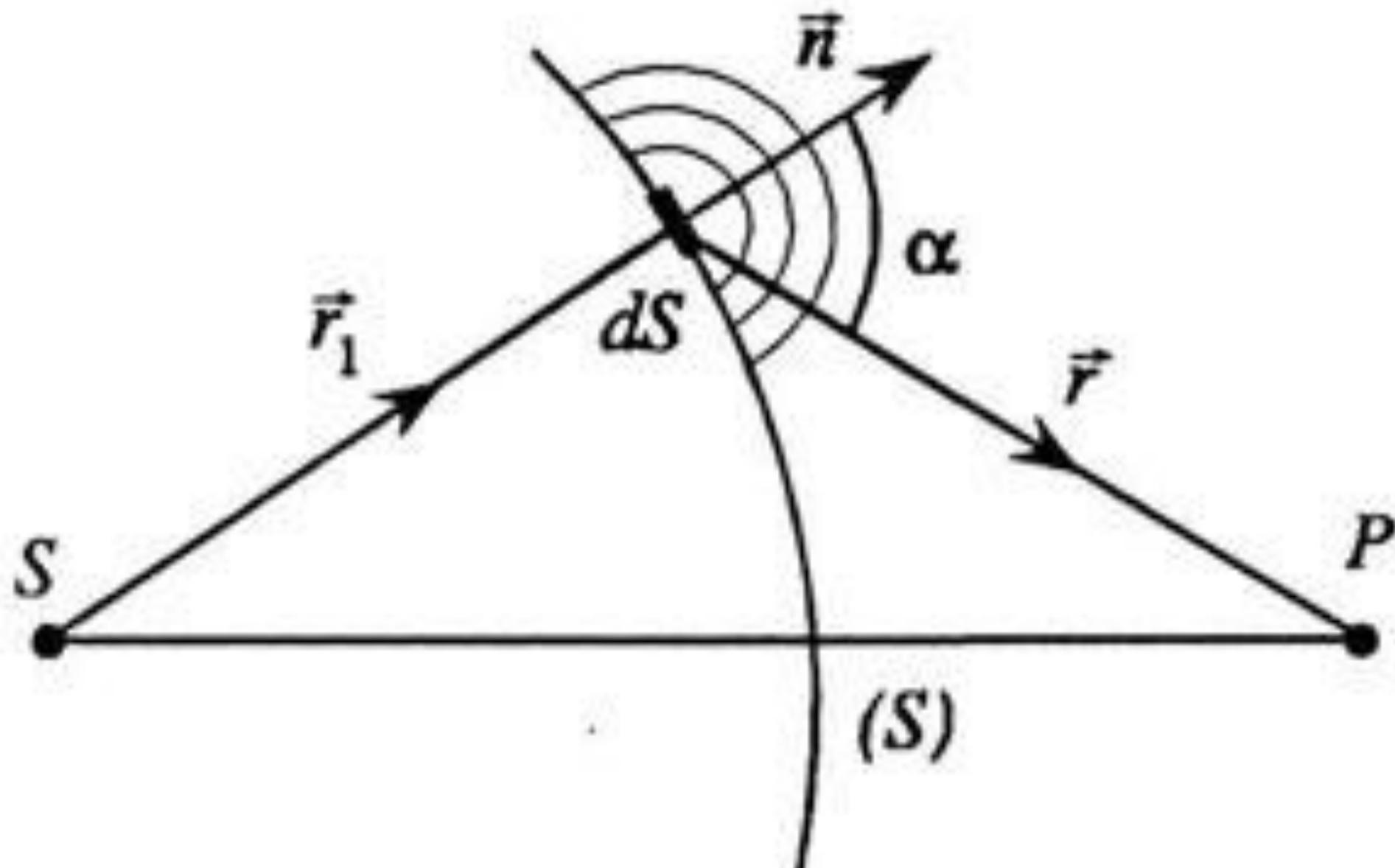


Фронт
вторичной волны



Метод зон Френеля

Амплитуда результирующей волны в любой точке может быть найдена как результат интерференции всех вторичных волн с учетом их фаз и амплитуд.



Пусть от источника света S

распространяется

монохроматическая сферическая

волна, P - точка наблюдения.

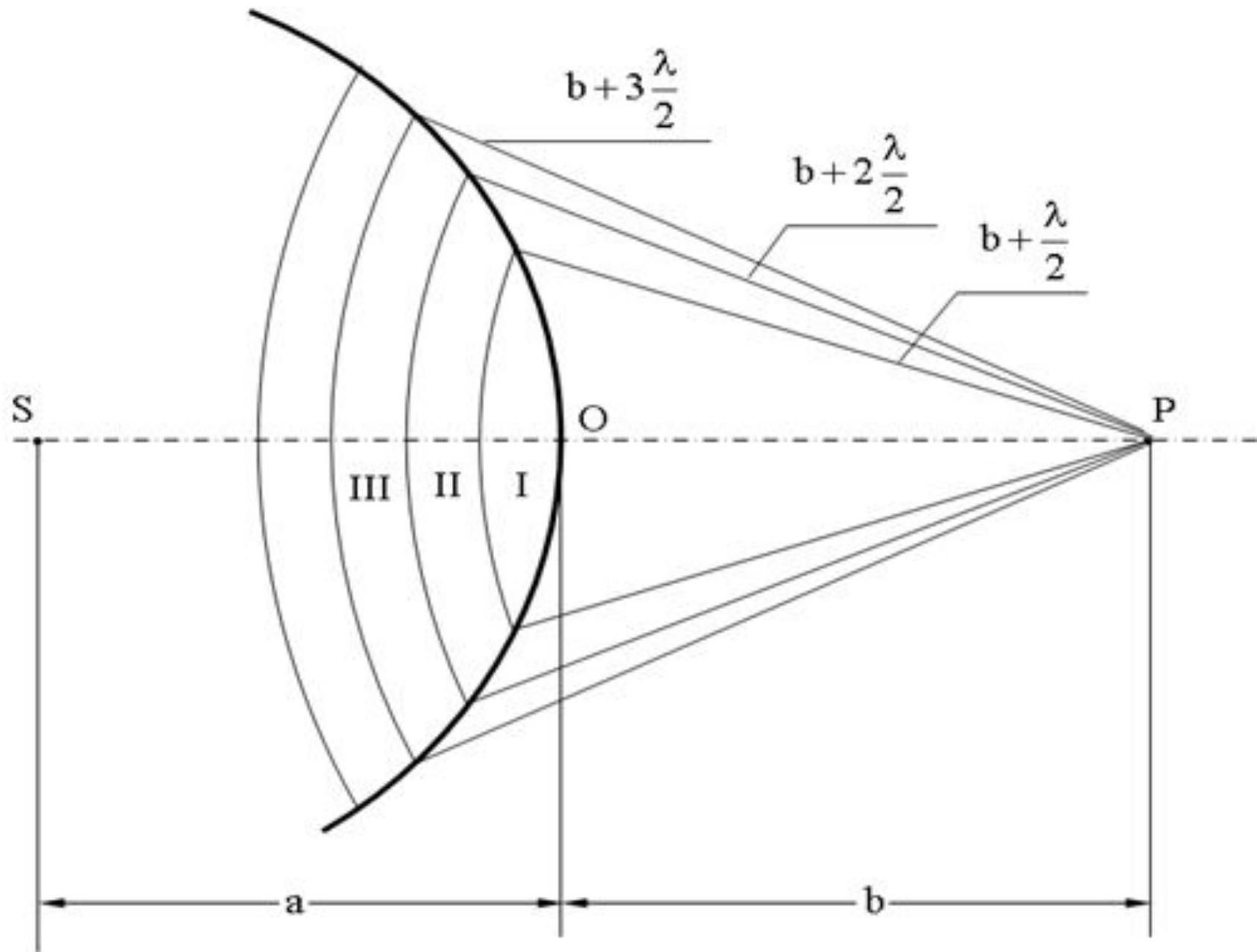
Разобьем сферическую волновую

поверхность на кольцевые зоны I,

II, III и т.д. так, чтобы расстояния от

краев зоны до точки P отличались

на ¹⁴ $\lambda/2$

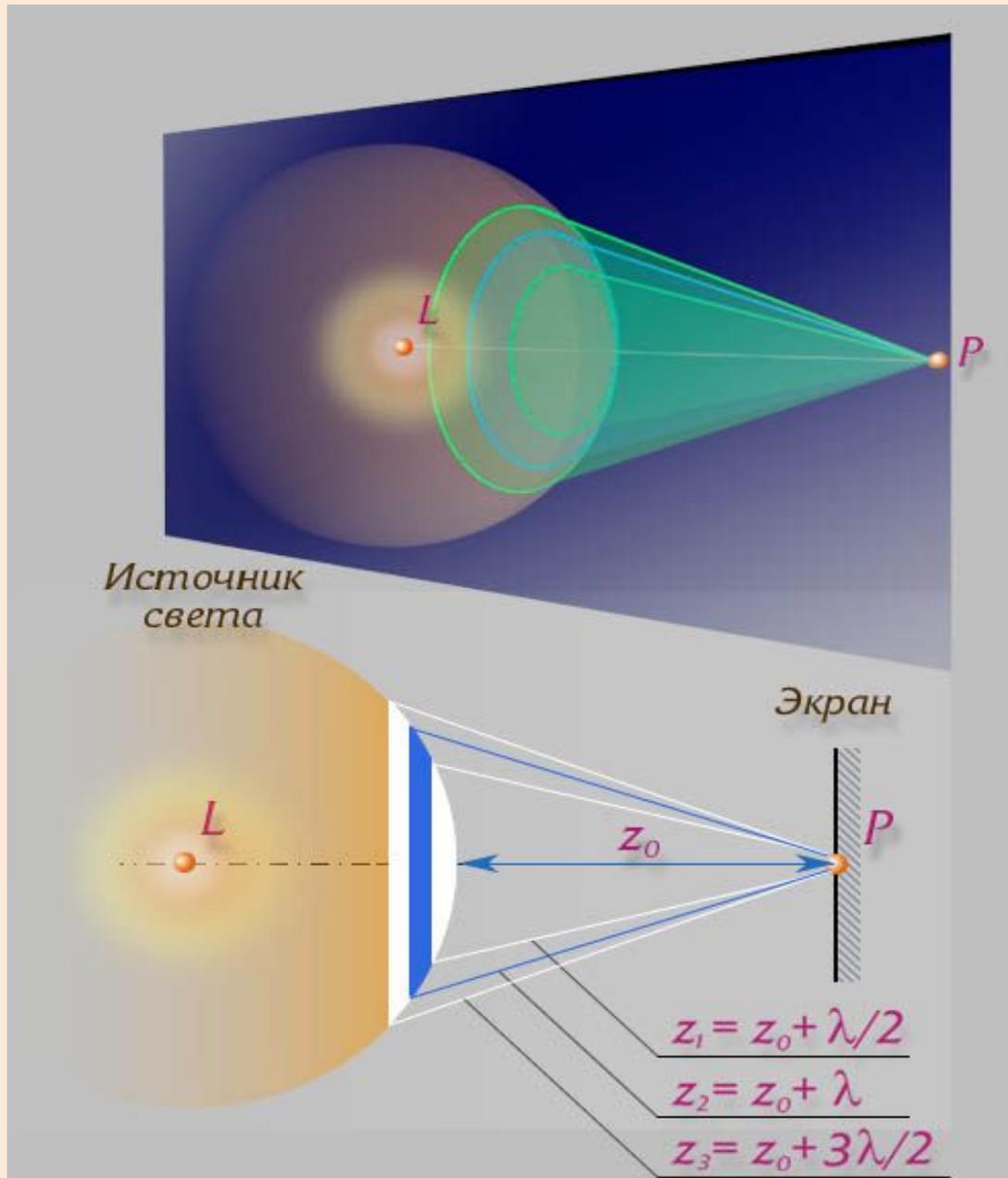


**Колебания,
возбуждаемые в точке P
двумя соседними
зонами,
противоположны по
фазе из-за разности
хода $\lambda/2$. Такие
колебания гасят друг**

Гашение неполное, т.к. каждая следующая зона создает в т. P колебания меньшей амплитуды, чем предыдущая.

$$A_1 > A_2 > A_3 > \dots$$

Зоны Френеля



Видеоклип [«Зоны Френеля»](#)

Метод векторных

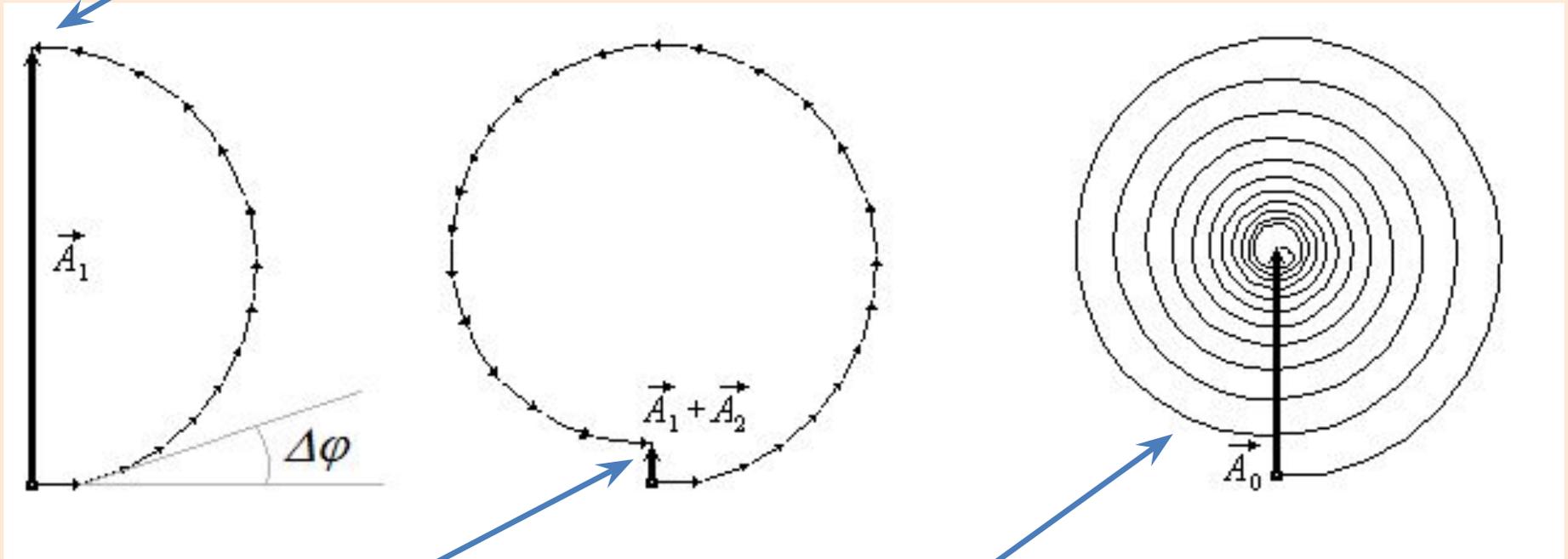
Разобьем **диаграмм** каждую зону на много узких кольцевых подзон.

Изобразим колебание, создаваемое каждой подзоной в т. P , в виде маленькой стрелочки на векторной диаграмме.

Стрелочки повернуты друг относительно друга на угол $\Delta\phi$, соответствующий сдвигу фаз колебаний

**Каждая следующая стрелочка
чуть короче предыдущей.**

конец 1-й зоны



конец 2-й зоны

действие всех зон

Как видно из рисунка,

$$A_0 = \frac{A_1}{2}, \text{ значит } I_0 = \frac{I_1}{4}$$

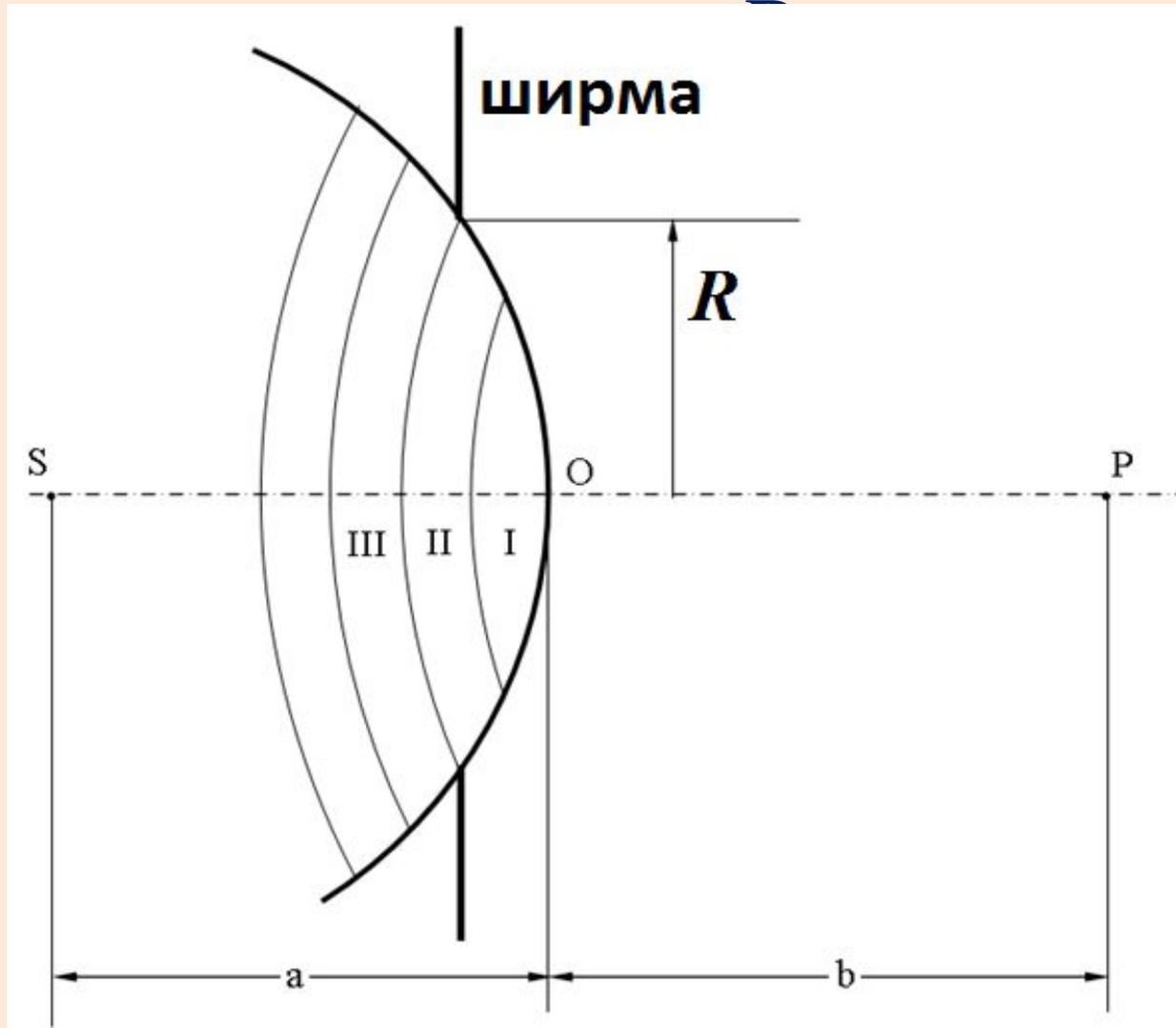
Весь фронт волны создает в т. P интенсивность в 4 раза меньшую, чем одна только 1-я зона.

Волна сама себя частично гасит.

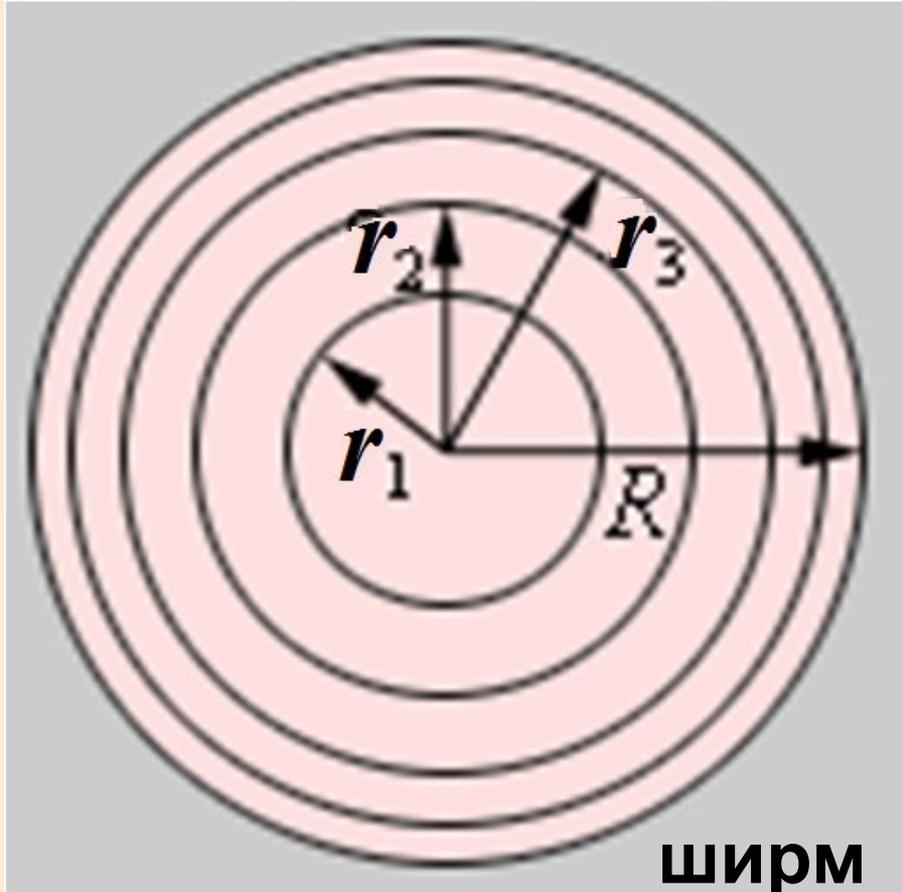
Дифракция Френеля на круглом

отверстии

Поставим на пути световой волны ширму с круглым отверстием



Зоны Френеля в плоскости отверстия радиуса R .



ширм

а

Радиус m -й

зоны:

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

a – от источника
до препятствия,
 b – от

препятствия до

экрана

При $a = \infty$:

$$r_m = \sqrt{b m \lambda}$$

Если открыто четное число зон m ,

ТО

$$A(m) = \frac{A_1}{2} - \frac{A_m}{2}$$

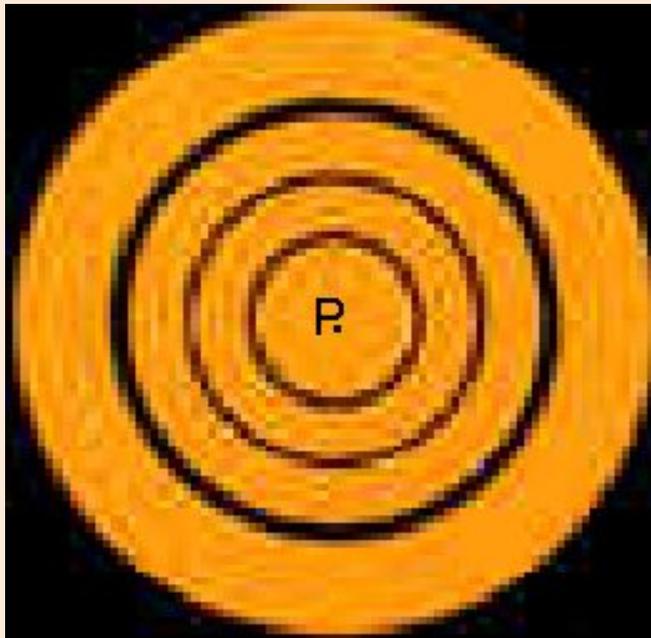
В точке P - темное пятно.



Если открыто нечетное число зон
m, то

$$A(m) = \frac{A_1}{2} + \frac{A_m}{2}$$

В точке Р – светлое пятно.





Нечётное "m"



Чётное "m"

Видеоклип [«Дифракция на круглом отверстии»](#)

Резюме:

- Если отверстие открывает четное число зон Френеля, то в точке Р будет наблюдаться минимум, так как все открытые зоны можно объединить в соседние пары, колебания которых в точке Р приблизительно гасят друг друга.
- При нечетном числе зон в точке Р будет максимум, так как колебания одной зоны останутся

Дифракция света на прямоугольном и круглом отверстиях.



Зонные пластинки



Если на пути световых волн поставить пластинку, которая перекрывает все четные зоны, то интенсивность света в точке Р резко возрастает.

Амплитуда в этой точке равна сумме амплитуд от нечетных зон:

$$A = A_1 + A_3 + A_5 + \dots$$

Такая пластинка называется

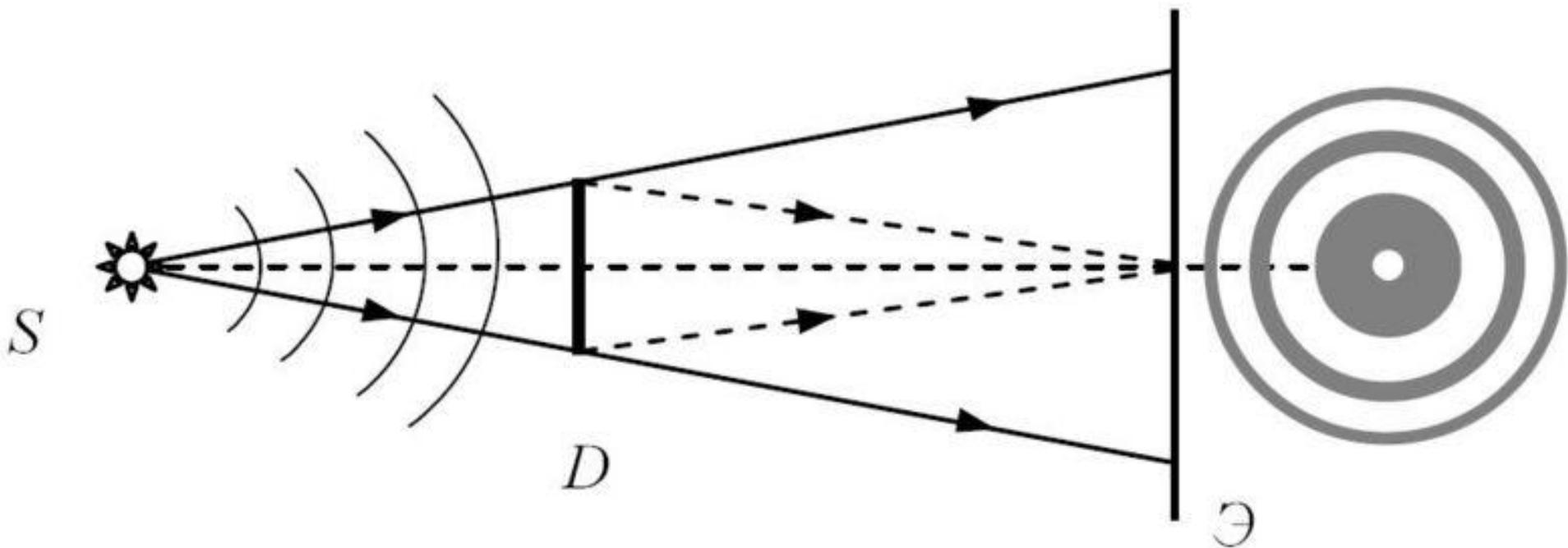
зонной пластинкой

Она действует (видеокалип)

подобно линзе.

Дифракция Френеля на диске

Точечный источник посылает световую волну на круглый непрозрачный диск D .



**Если закрыть m первых зон
Френеля, то**

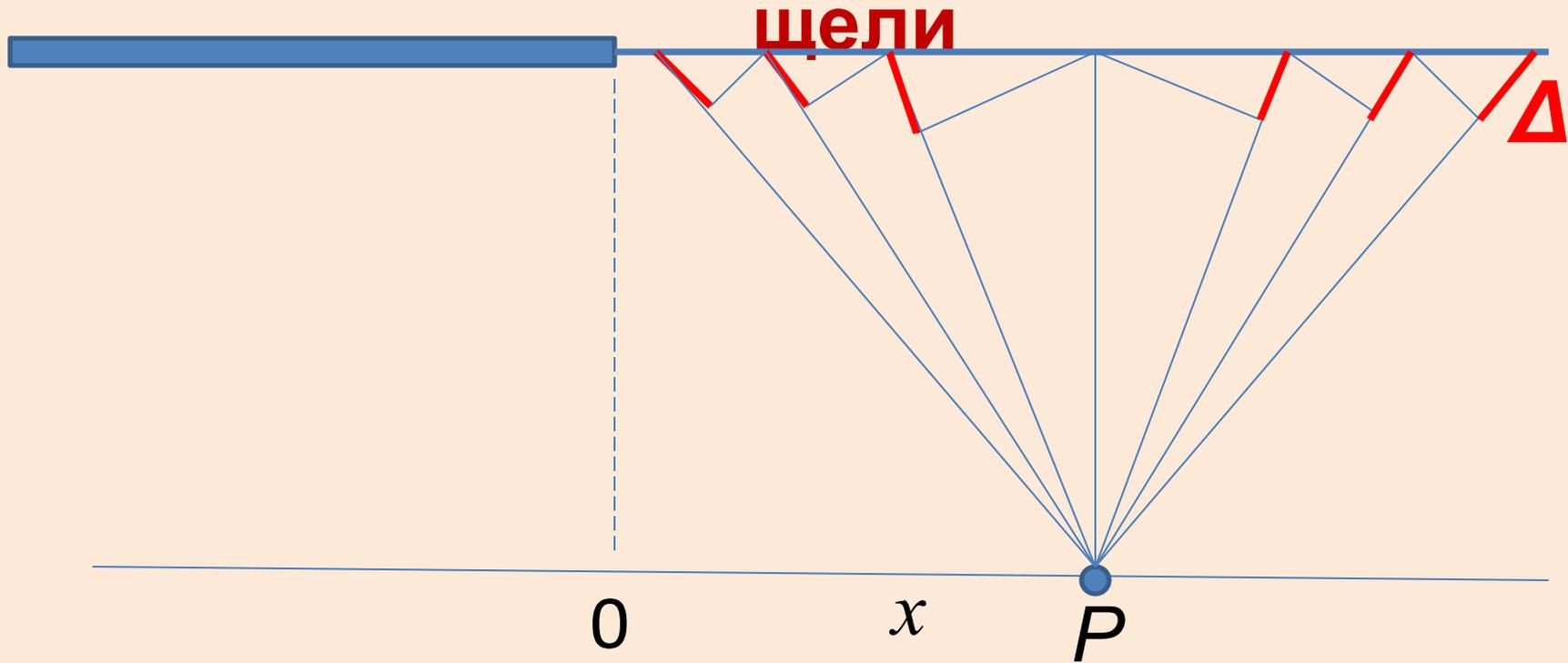
$$A = \frac{A_{m+1}}{2}$$

**В центре экрана всегда будет светлое
пятно от $m+1$ -й зоны.**



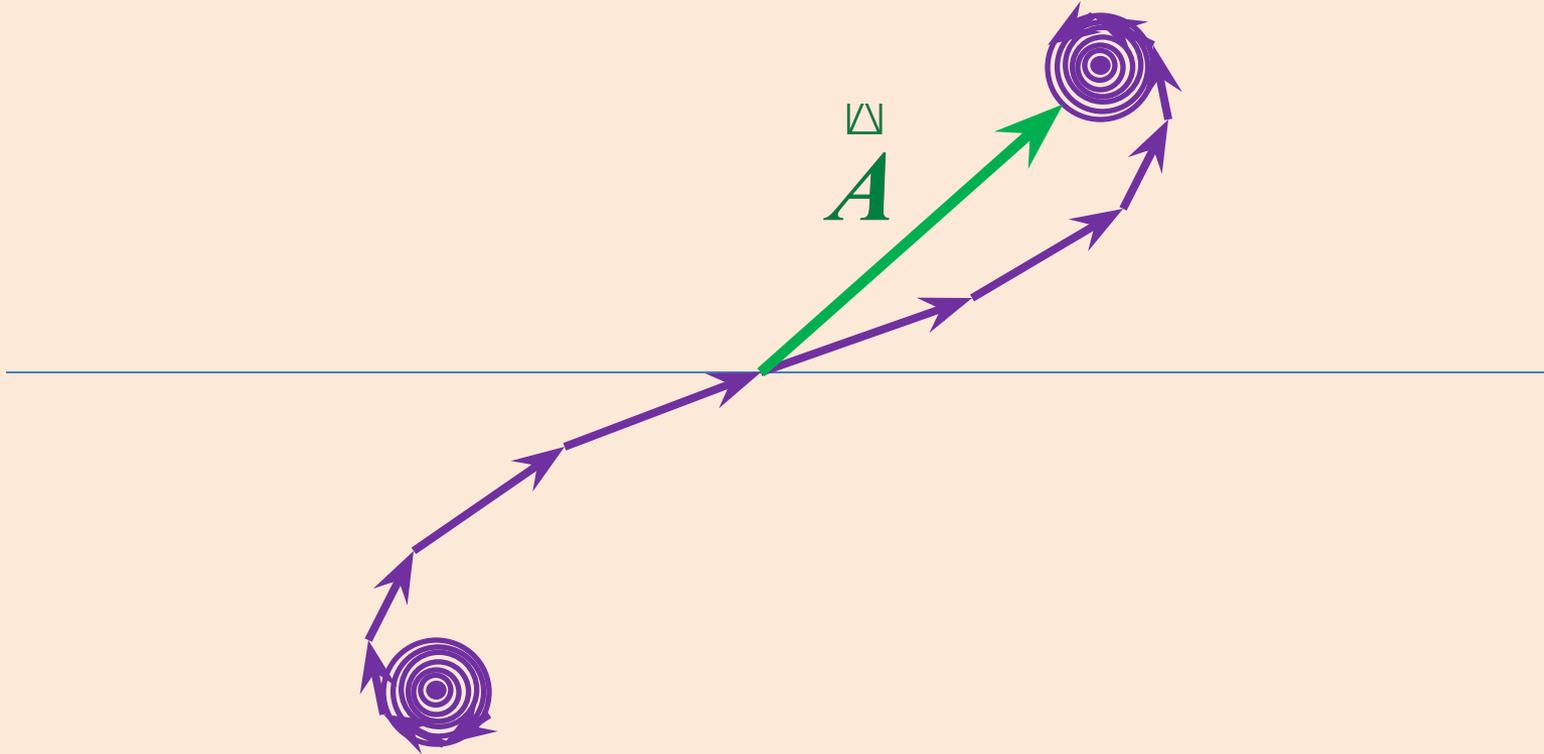
**Это пятно
называют пятном
Пуассона.**

Дифракция Френеля на полуплоскости и щели

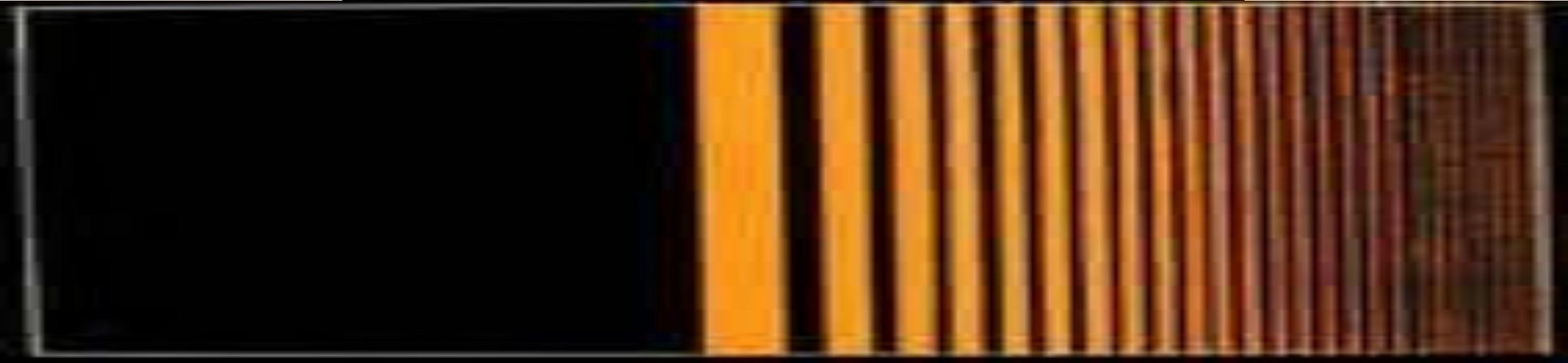
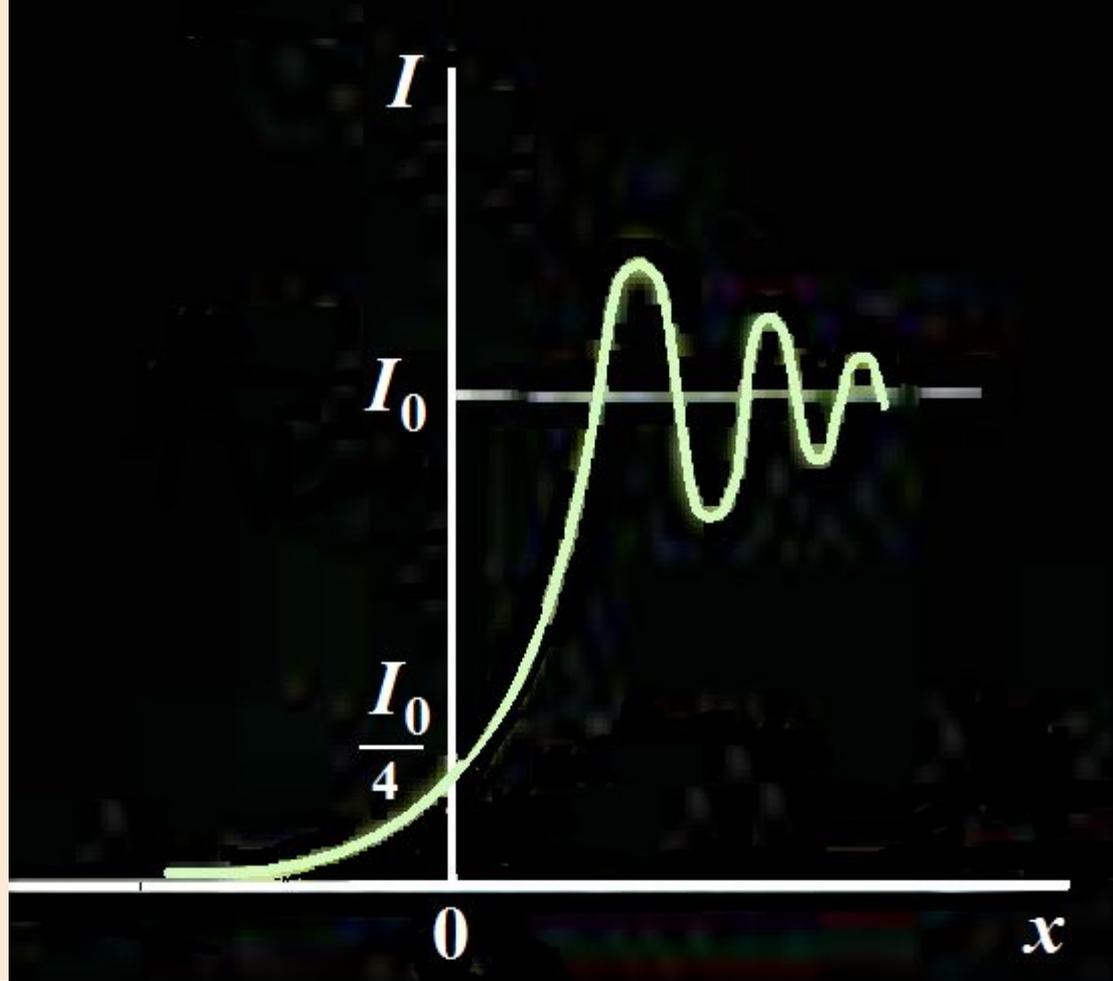


Разобьем волновую поверхность на зоны в виде полосок так, чтобы разность хода Δ была примерно одинакова. Площадь полосок убывает в обе стороны от т. P, убывает и создаваемая ими амплитуда

Спираль Корню



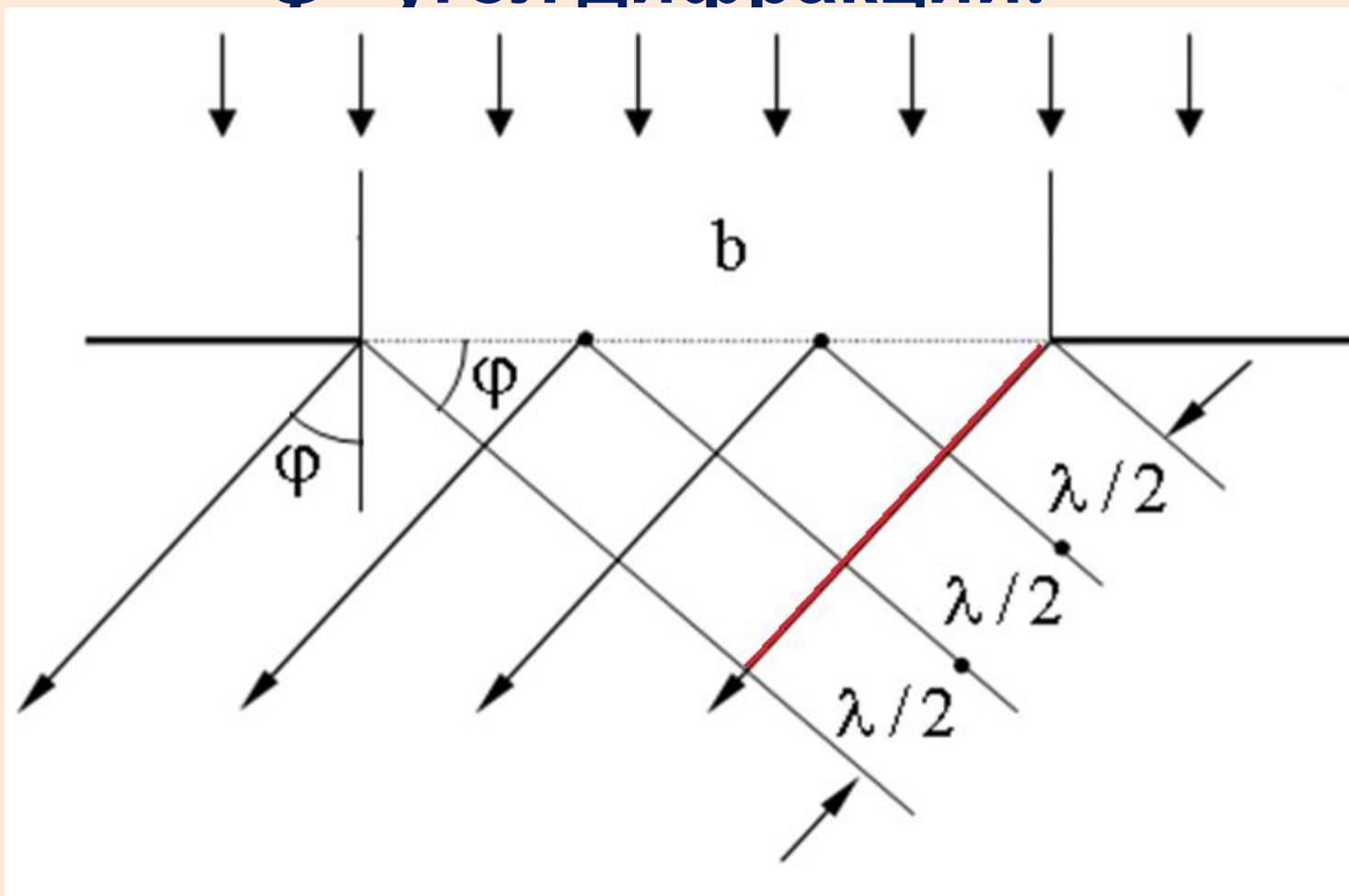
Каждая стрелочка изображает колебание, создаваемое одной полоской. Зеленая стрела – результирующее колебание.



Дифракция Фраунгофера на щели

На щель шириной b падает плоская монохроматическая волна,

ϕ - угол дифракции.



Применим метод Френеля.
Разобьем щель на зоны (на рисунке их три). Разность хода лучей, идущих от краев каждой зоны равна $\lambda/2$. Тогда на отрезке $b \sin \varphi$ (красный) полволны уложится столько раз k , сколько зон открыто.

$$b \sin \varphi = \pm k \frac{\lambda}{2}$$

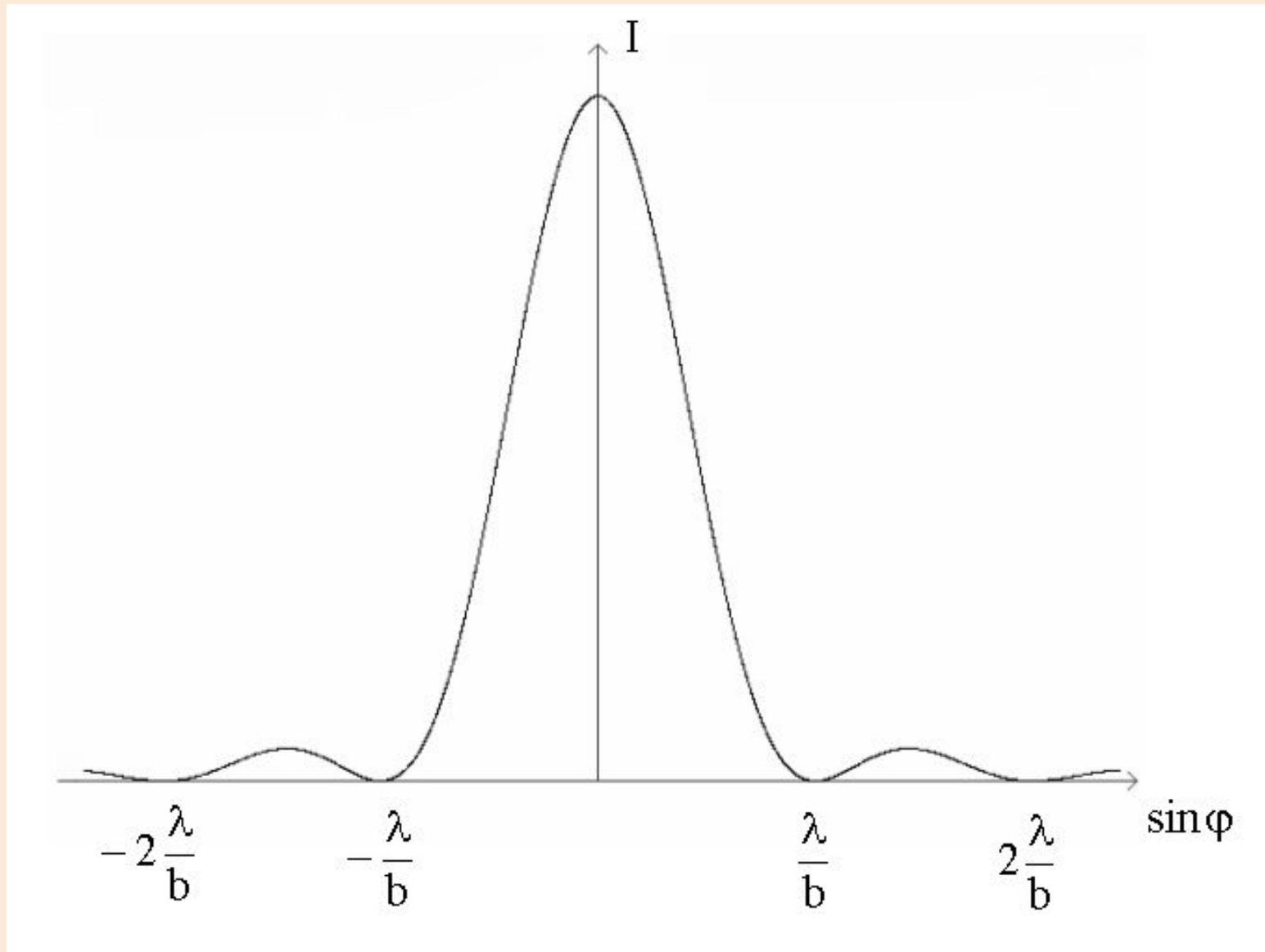
- При четном числе зон ($k=2m$)они попарно гасят друг друга. Получим условие минимума:

$$b \sin \varphi = m\lambda, \quad m = 1, 2, 3...$$

- При нечетном $k = 2m + 1$ колебания одной из зон не будут погашены, получим условие максимума:

$$b \sin \varphi = (2m + 1)\frac{\lambda}{2}, \quad m = 1, 2, 3...$$

Зависимость интенсивности света от угла дифракции

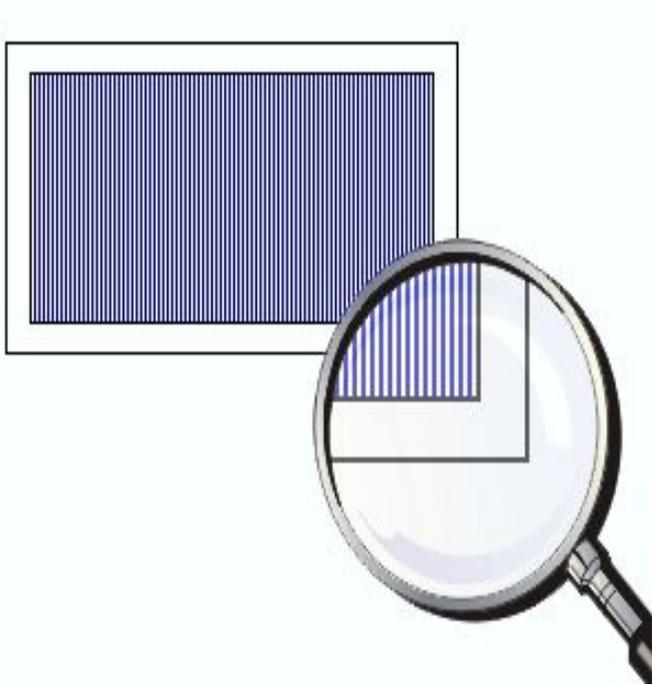


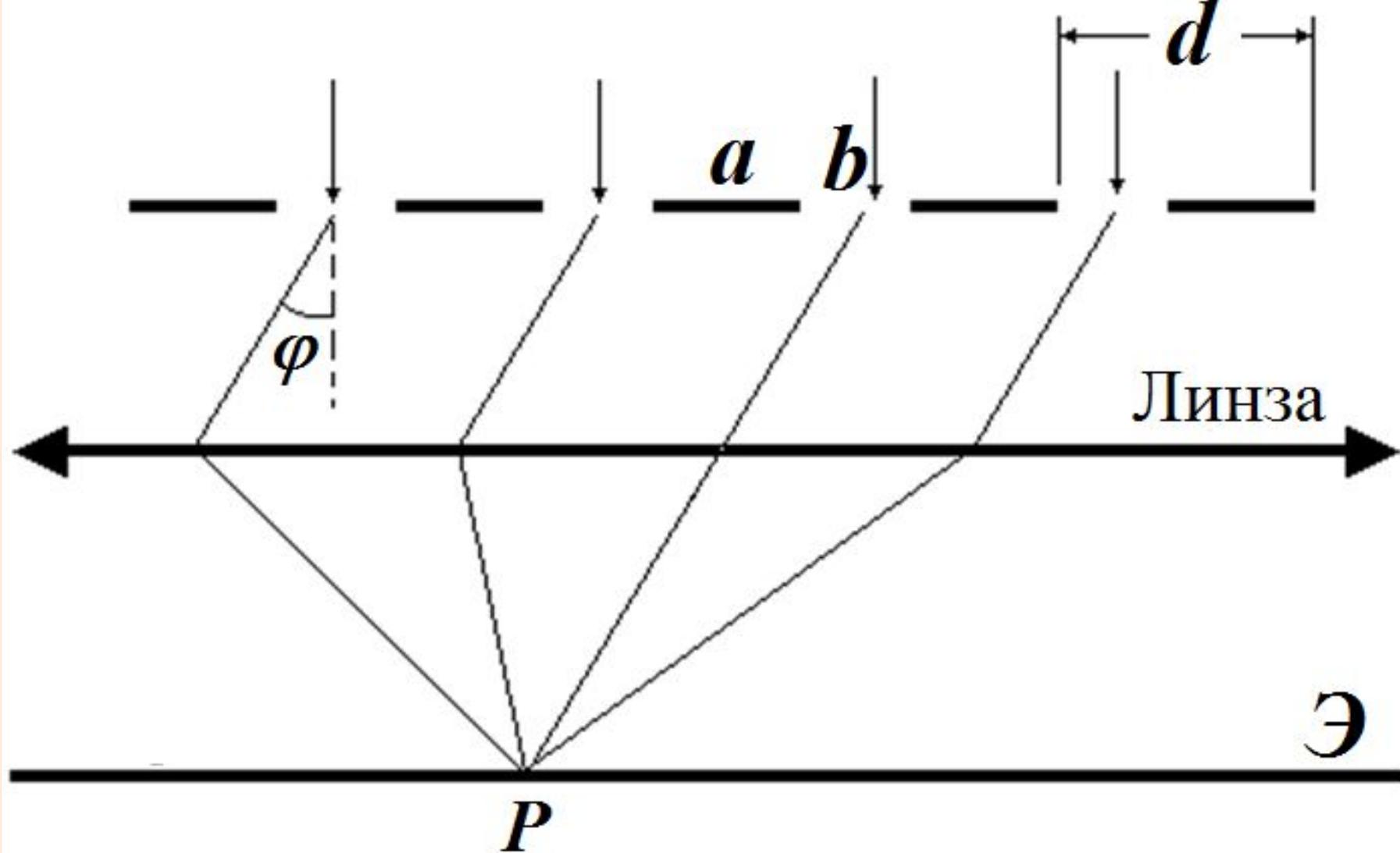
Дифракция лазерного пучка от щели



Дифракционная решетка

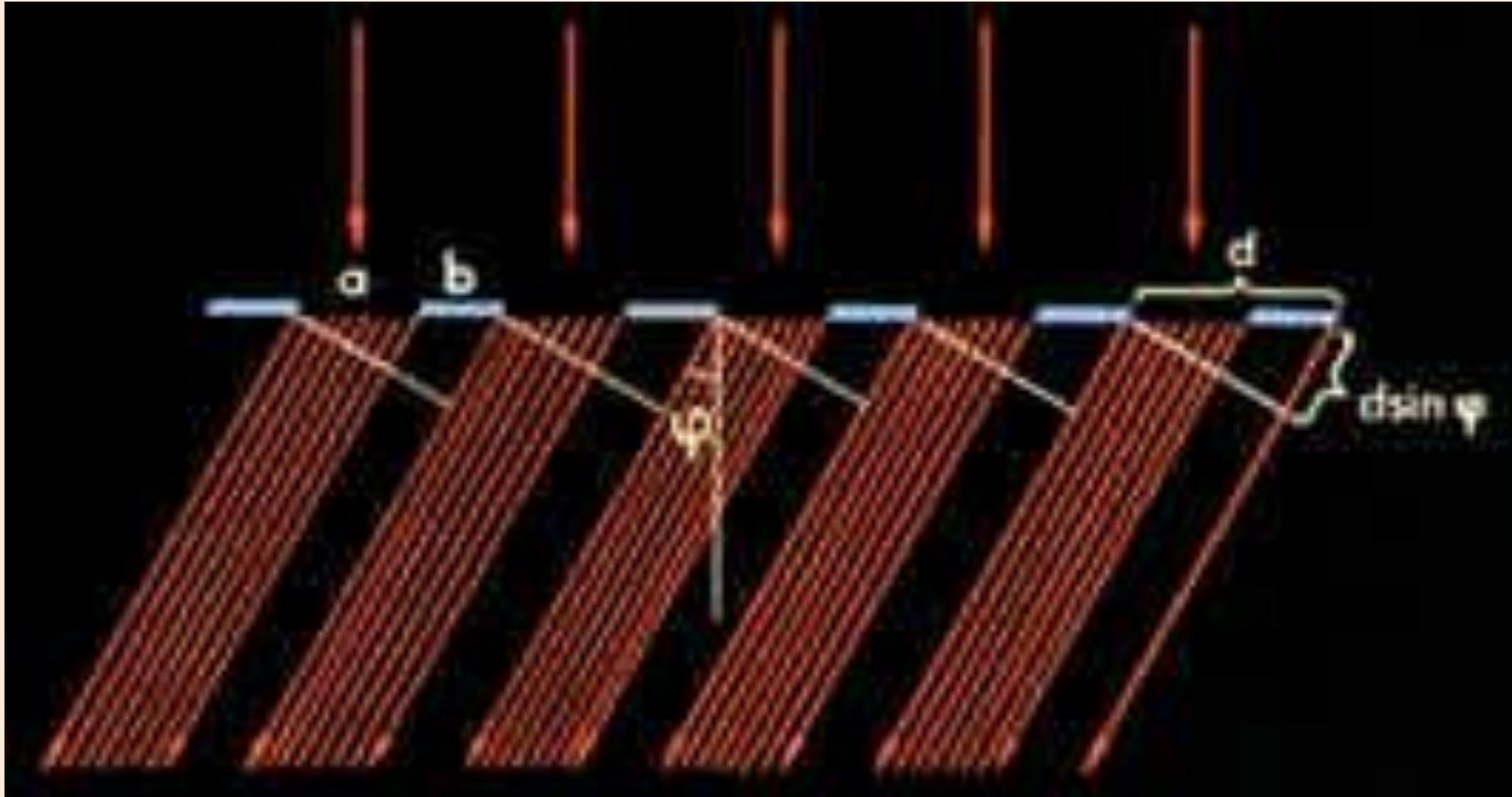
Правильная структура из большого числа щелей называется дифракционной решеткой.





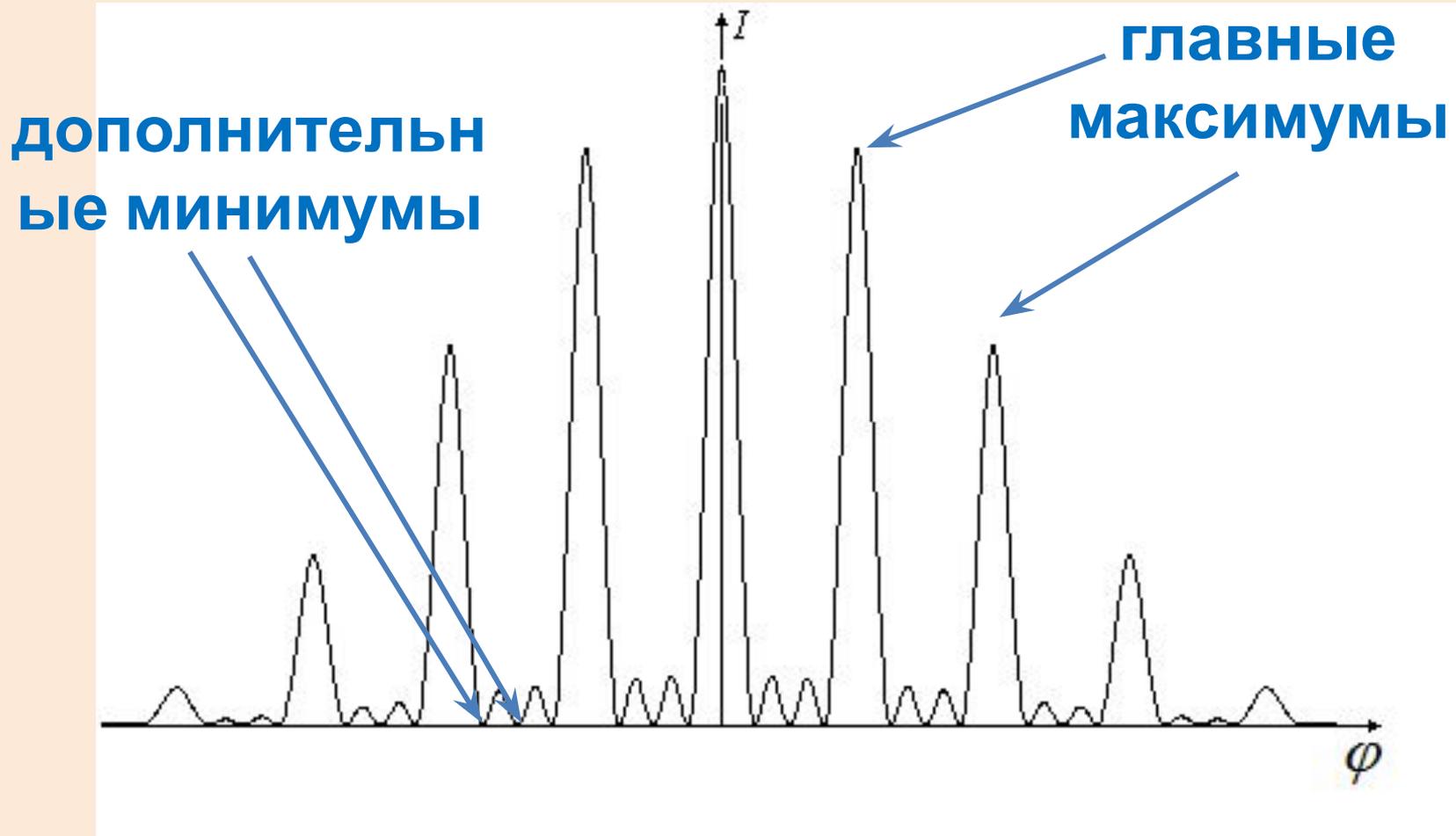
$d = a + b$ – параметр или постоянная дифракционной решетки

Дифракция света на дифракционной решетке



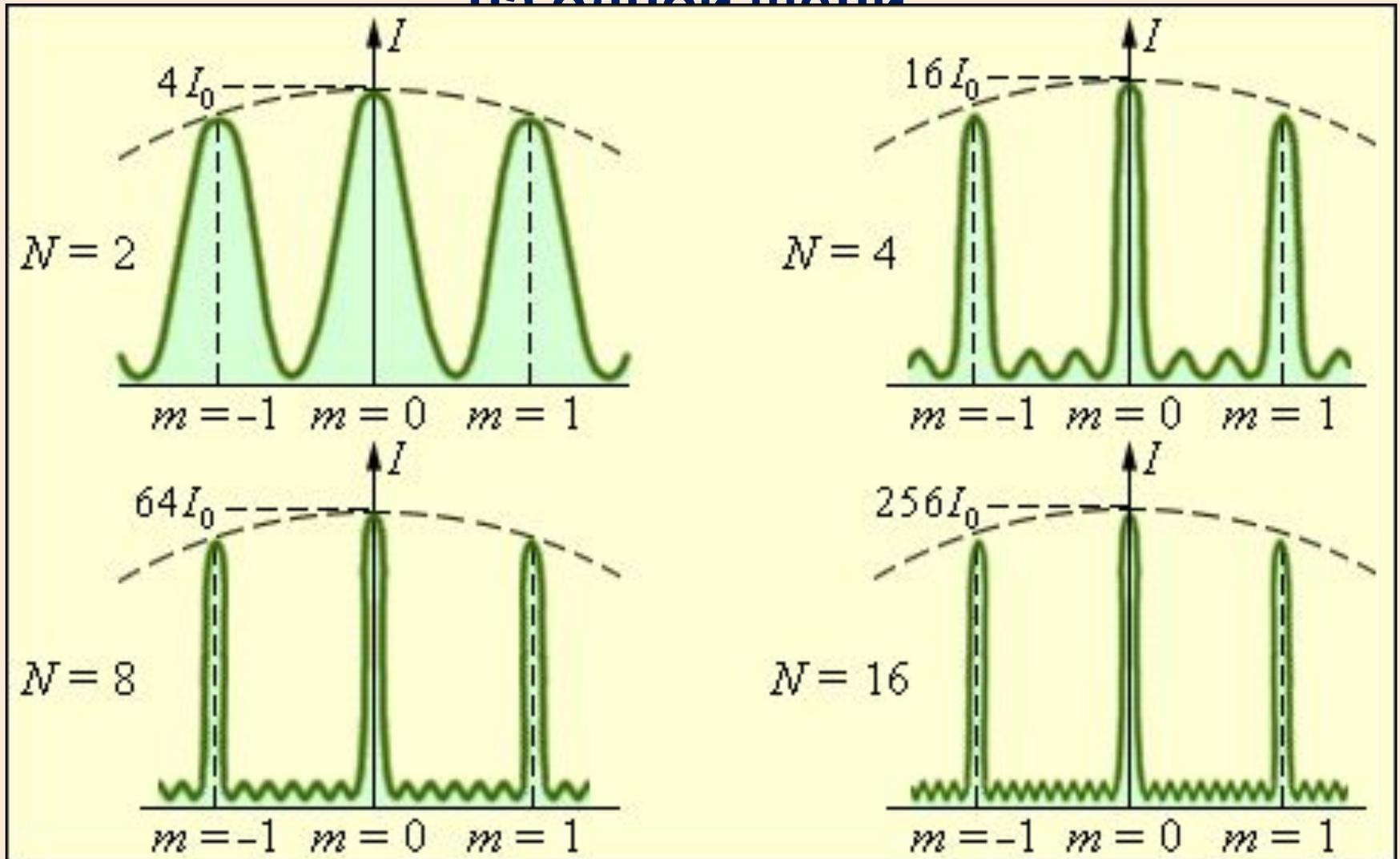
Видеоклип [«Дифракционная решетка»](#)

При дифракции на многих щелях имеет место наложение лучей, идущих как от одной и той же щели, так и от соседних щелей. В одних направлениях щели гасят друг друга, а в других усиливают.



Между двумя соседними главными максимумами $N-1$ дополнительный минимум.

Распределение интенсивности при дифракции на решетках с различным числом щелей N . I_0 – интенсивность при дифракции на одной щели



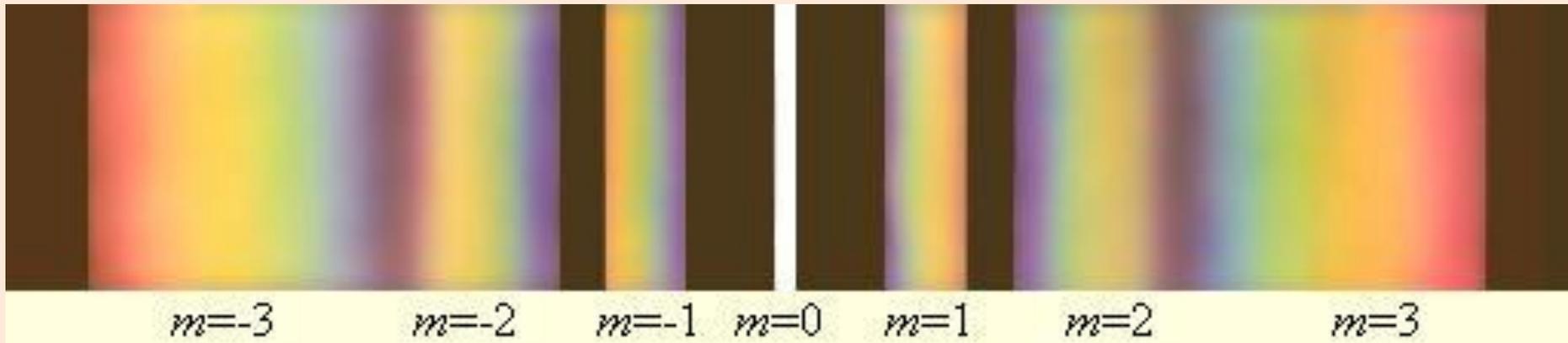
**Число главных максимумов
можно найти, зная , что $\sin \varphi \leq$**

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

$$\sin \varphi = \frac{k \lambda}{d} \leq 1$$

$$k \leq \frac{d}{\lambda}$$

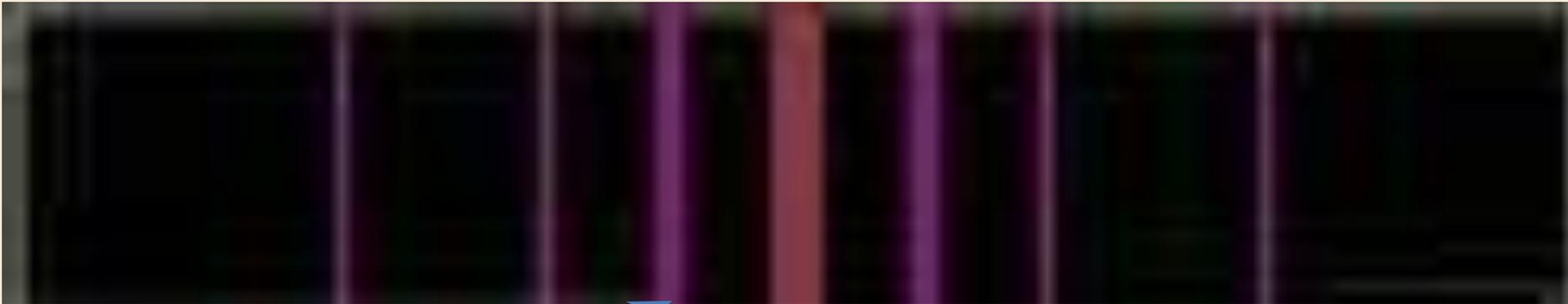
Разложение белого света в спектр с помощью дифракционной решетки



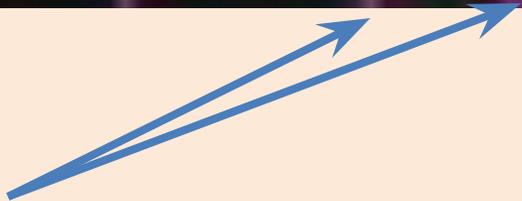
Красный свет



Фиолетовый свет



спектральные линии



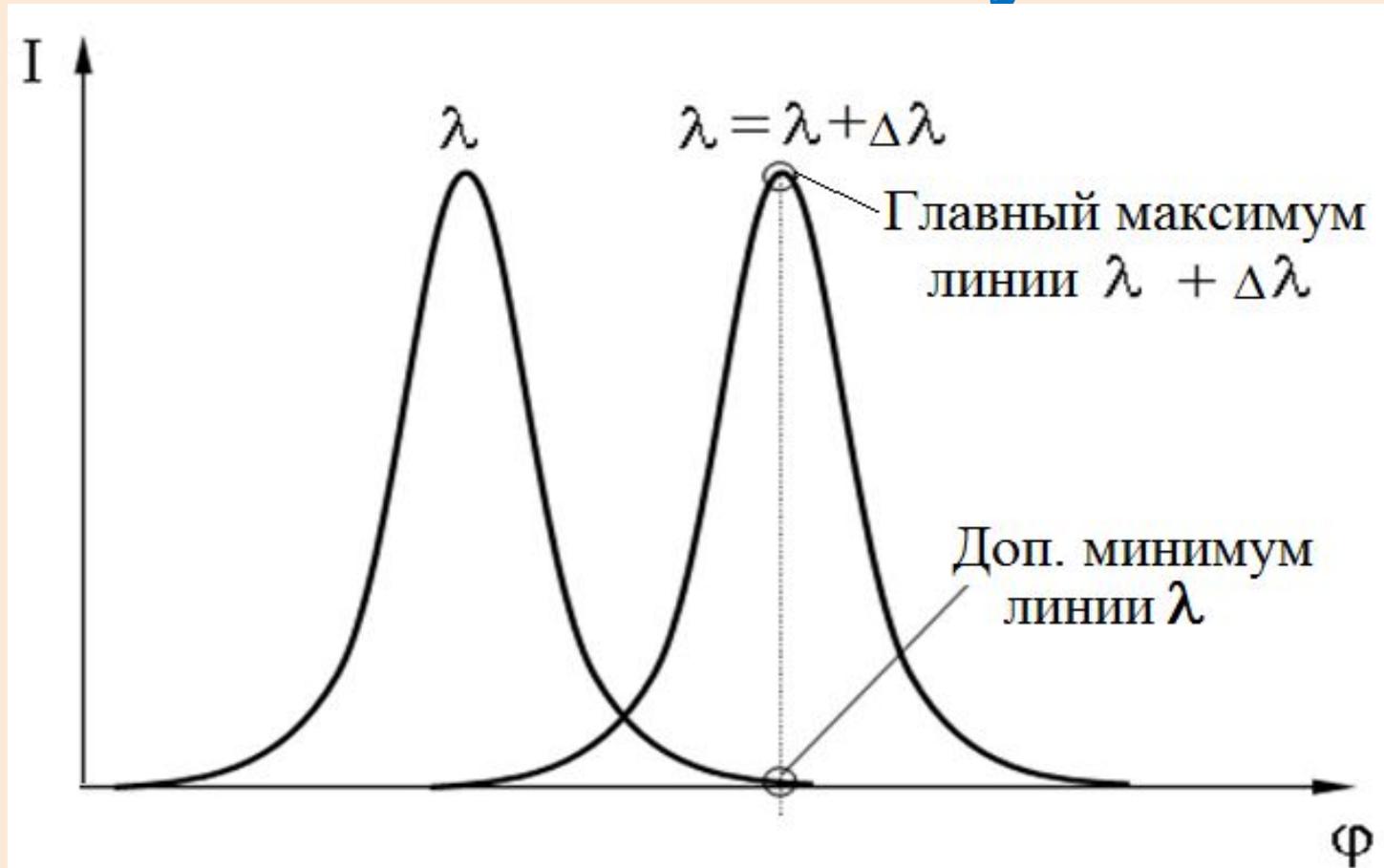
Разрешающая способность оптических приборов

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$$

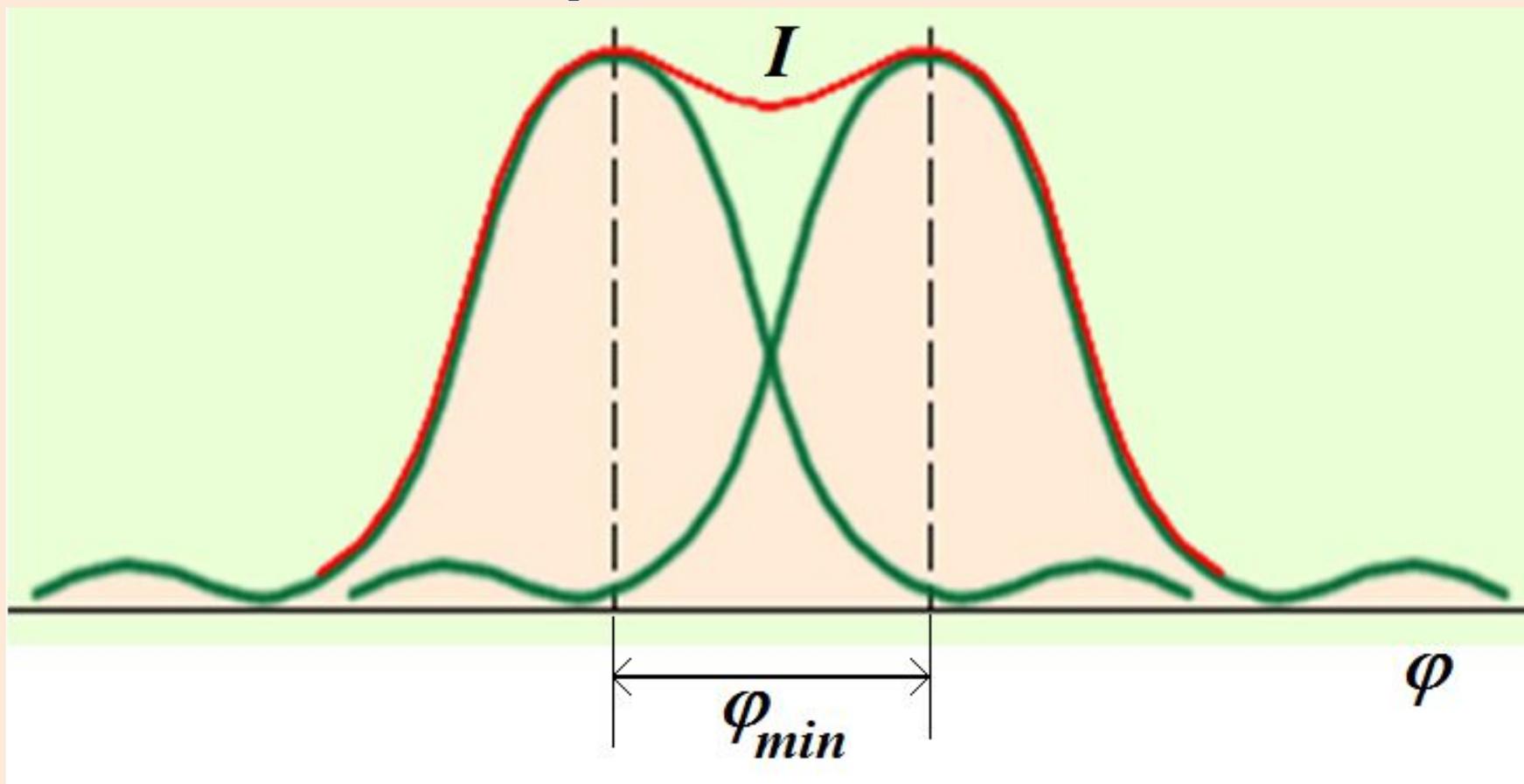
$\Delta\lambda$ - минимальная разность длин волн соседних спектральных линий, воспринимаемых раздельно

Критерий Рэлея

Линии разрешены, если главный максимум линии $\lambda + \Delta\lambda$ совпадает с дополнительным минимумом линии λ



Предел разрешения по Релею – это минимальное угловое расстояние между максимумами, которые еще можно различить:



Разрешающая
способность
дифракционной решетки:
 $R = mN$

m – порядок спектра

N – число щелей

Разрешающая способность объектива:

$$R = \frac{1}{\varphi_{\min}} = \frac{D}{1,22\lambda}$$

D – диаметр объектива

φ_{\min} – минимальное угловое

расстояние между двумя точками,

которые видны раздельно

Глаз действует как объектив. Роль D играет диаметр зрачка глаза $d_{зр}$.

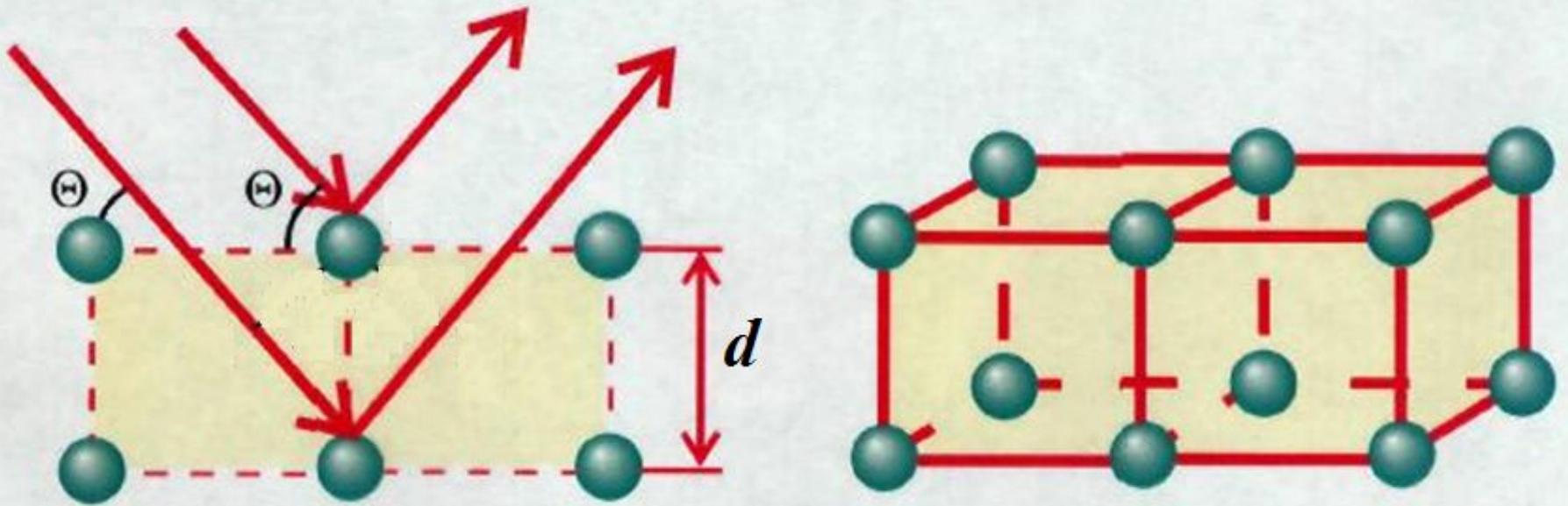
Полагая $d_{зр} = 3$ мм, $\lambda = 550$ нм, получим предельное угловое разрешение глаза:

$$\varphi_{\min} = 1,22 \frac{\lambda}{d_{зр}} = 47'' \approx 1'$$

Дифракция на пространственной решетке

Роль дифракционной
решетки могут играть
кристаллы.

Дифракцию на кристаллах
наблюдают в рентгеновских
лучах, т.к. нужна маленькая λ .



d – межатомное расстояние
 θ – угол скольжения

Формула Вульфа-Брэггов

дает условие дифракционных
максимумов

$$2d \sin \theta = m\lambda$$

$$m = 1, 2, \dots$$

Применение рентгеновской дифракции:

1) Рентгеноструктурный анализ.

По известным λ и θ находят межатомные расстояния и определяют кристаллическую структуру.

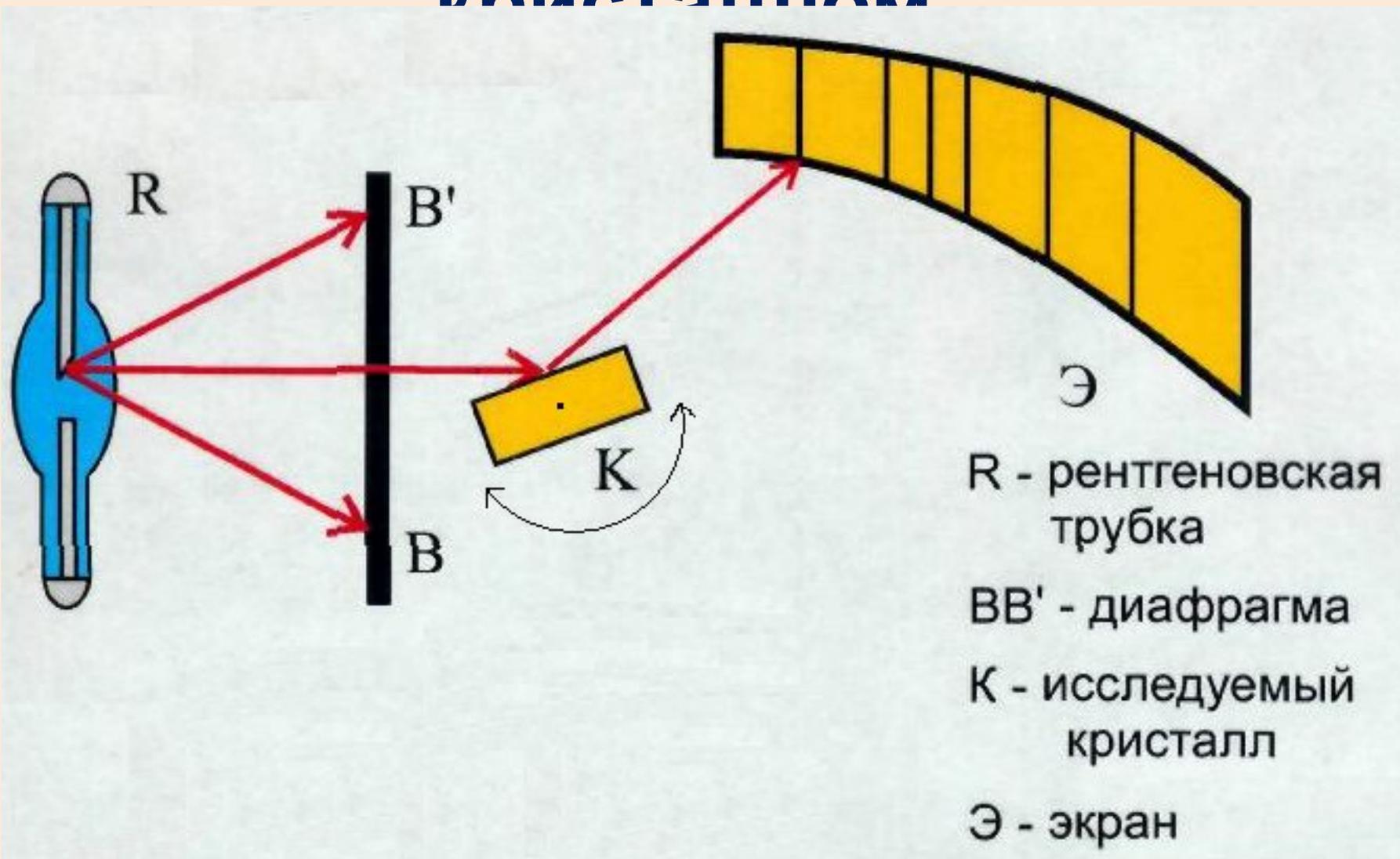
2) Рентгеновская спектроскопия.

По известным d и θ находят длину волны.

3) Электроннография и нейтронография.

Последняя позволяет определить магнитную структуру вещества.

Схема рентгеновского спектрографа с вращающимся кристаллом



Голография

Позволяет по
дифракционной картине
полностью восстановить
объемное изображение
предмета.