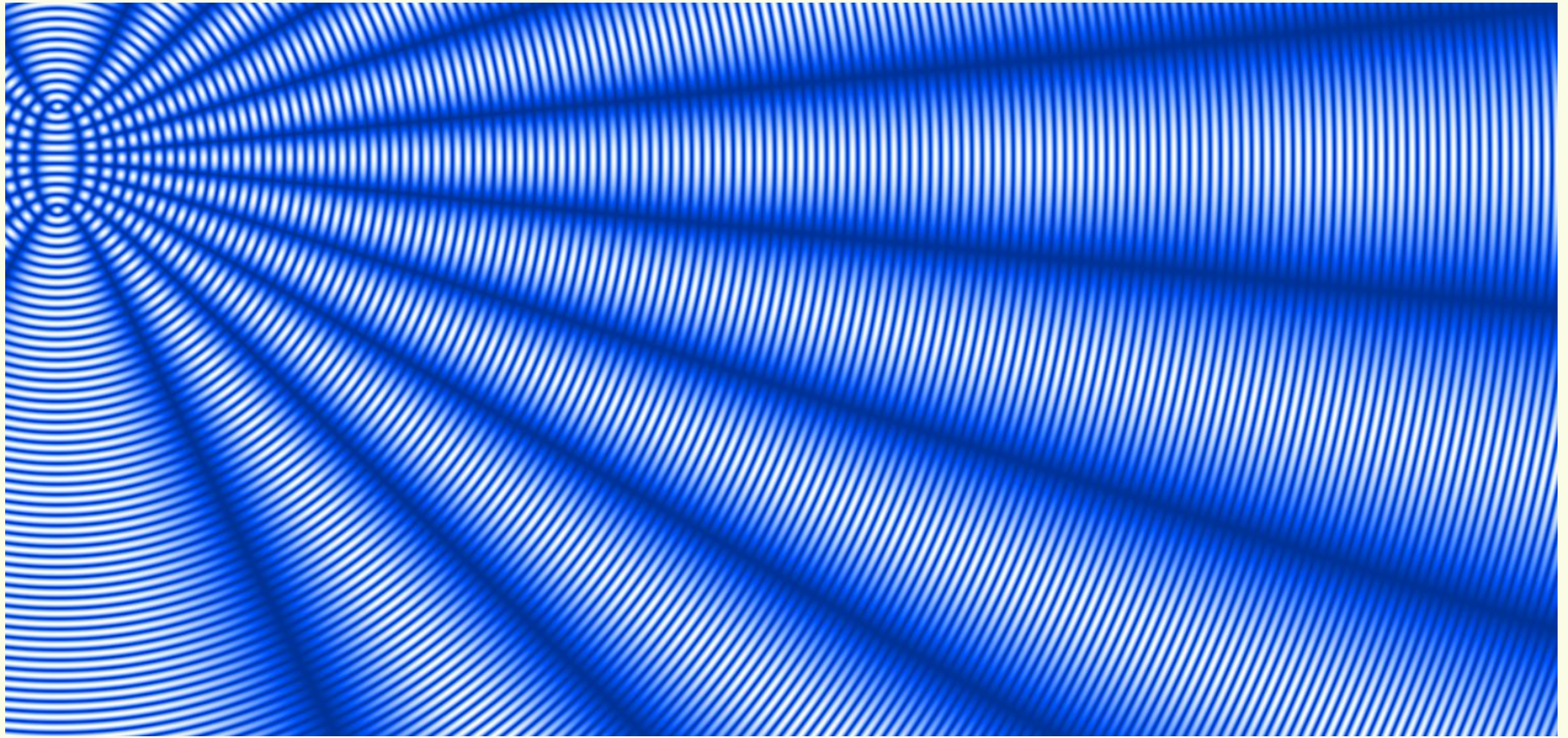


Дифракция света



Лекция №3

§§ Распространение ЭМВ

При колебательном движении зарядов (периодическом изменении токов) происходит перемещение электрической и магнитной энергии от одних участков поля к другим.

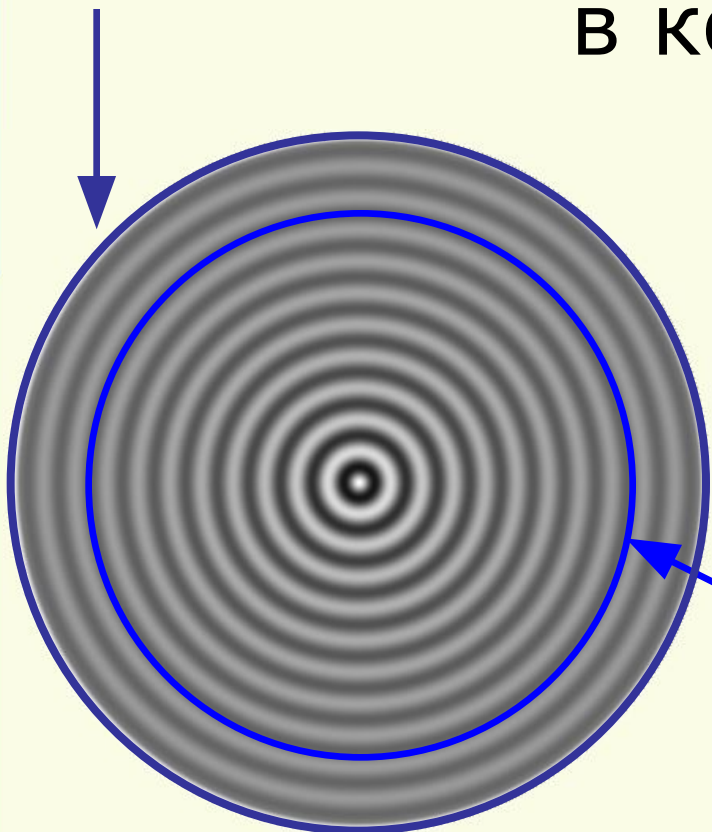
Изменение вихревого ЭП приводит к появлению вихревого МП (и наоборот).

Пульсации энергии приобретают характер волнового процесса.

Возникшая волна, распространяясь от источника колебаний, охватывает все новые и новые области пространства.

Поверхность, разделяющая частицы среды, участвующие и не участвующие в колебательном движении, называется

ВОЛНОВЫМ ФРОНТОМ

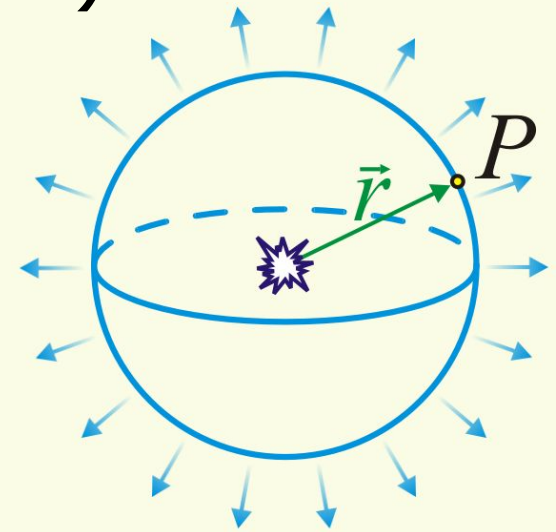


Точки, колеблющиеся в одинаковых фазах, образуют **ВОЛНОВЫЕ ПОВЕРХНОСТИ.**

ТИПЫ ВОЛНОВЫХ ФРОНТОВ (ВФ):

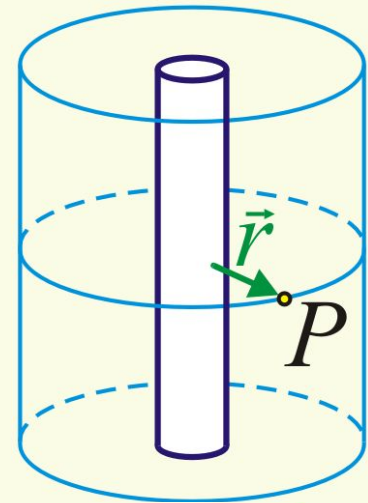
- 1) сферический ВФ
(точечный источник)

$$\xi_p = \frac{A}{r} \cos(\omega t - kr + \varphi)$$



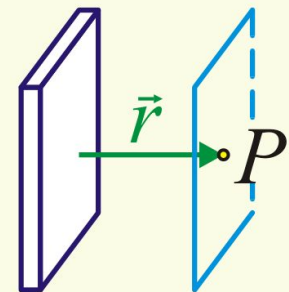
- 2) цилиндрический ВФ
(источник в виде нити)

$$\xi_p = \frac{A}{\sqrt{r}} \cos(\omega t - kr + \varphi)$$

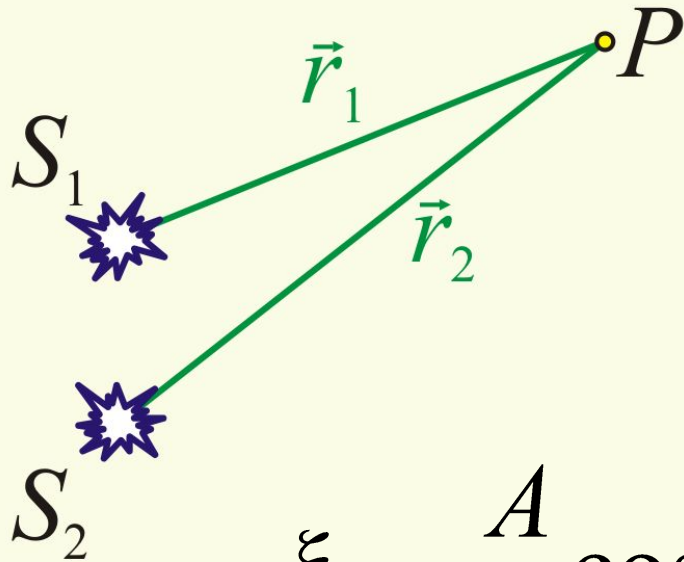


- 3) плоский ВФ

$$\xi_p = A \cos(\omega t - kr + \varphi)$$



§§ Интерференция света от двух точечных источников

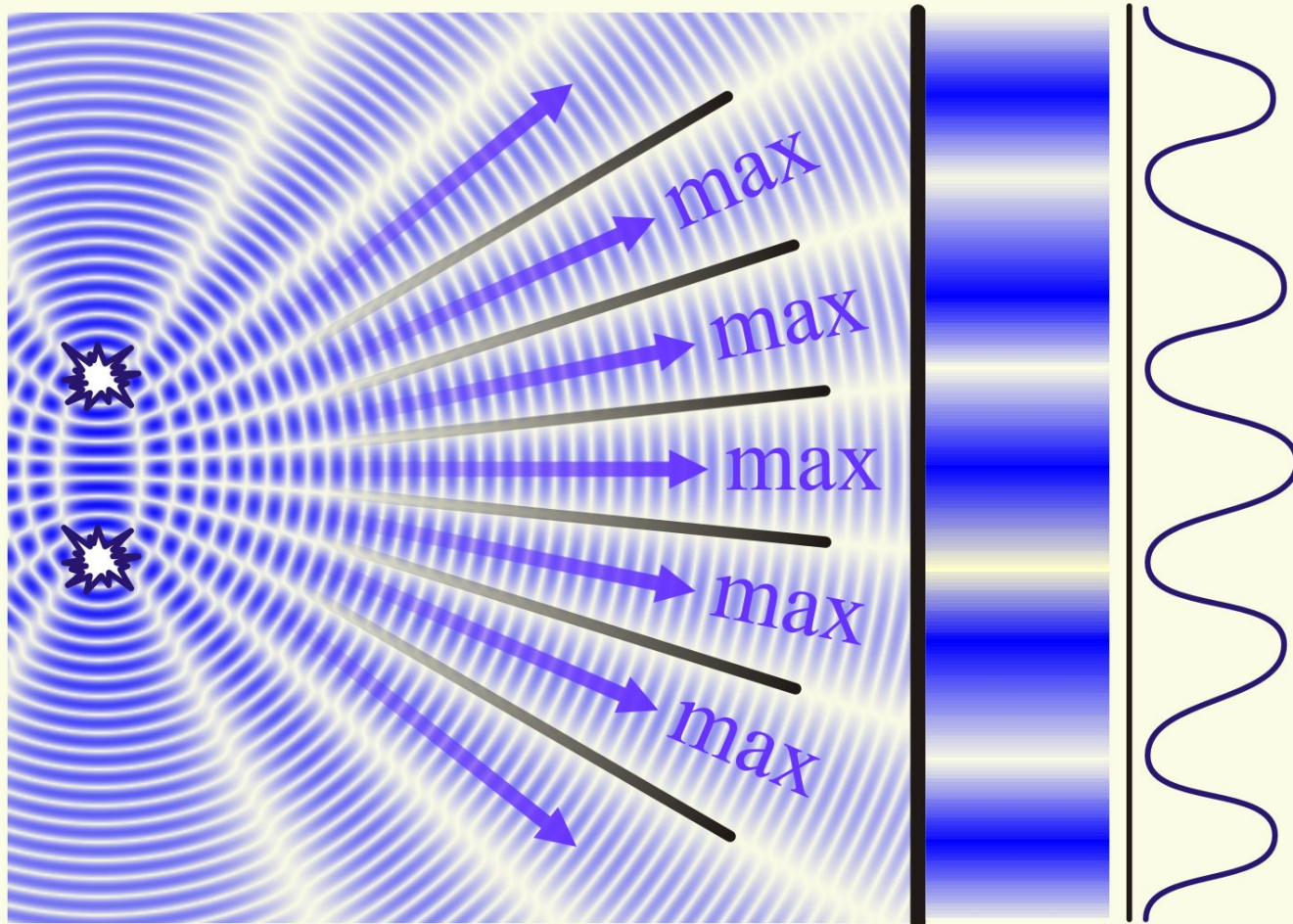


Рассмотрим световое поле от двух когерентных монохроматических источников S_1 и S_2 :

$$\xi_1 = \frac{A}{r_1} \cos \Psi_1, \quad \Psi_1 = \omega t - kr_1 + \varphi_1$$

$$\xi_2 = \frac{A}{r_2} \cos \Psi_2, \quad \Psi_2 = \omega t - kr_2 + \varphi_2$$

$$I = \left(\frac{A_1}{r_1}\right)^2 + \left(\frac{A_2}{r_2}\right)^2 + 2\left(\frac{A_1}{r_1}\right)\left(\frac{A_2}{r_2}\right)\cos(\Psi_2 - \Psi_1)$$



экран

§§ Принцип Гюйгенса-Френеля

дифракция – процесс распространения волн в неоднородной среде.

Явления, которые наблюдаются как отклонения от законов геом.оптики носят название **явлений дифракции**.

Задача теории дифракции – при данном расположении источников и препятствий определить поле во всем пространстве

Распространение света – волновой процесс.

С помощью уравнений Максвелла можно решать задачи распространения света через любую оптическую систему (совокупность поверхностей и диафрагм)

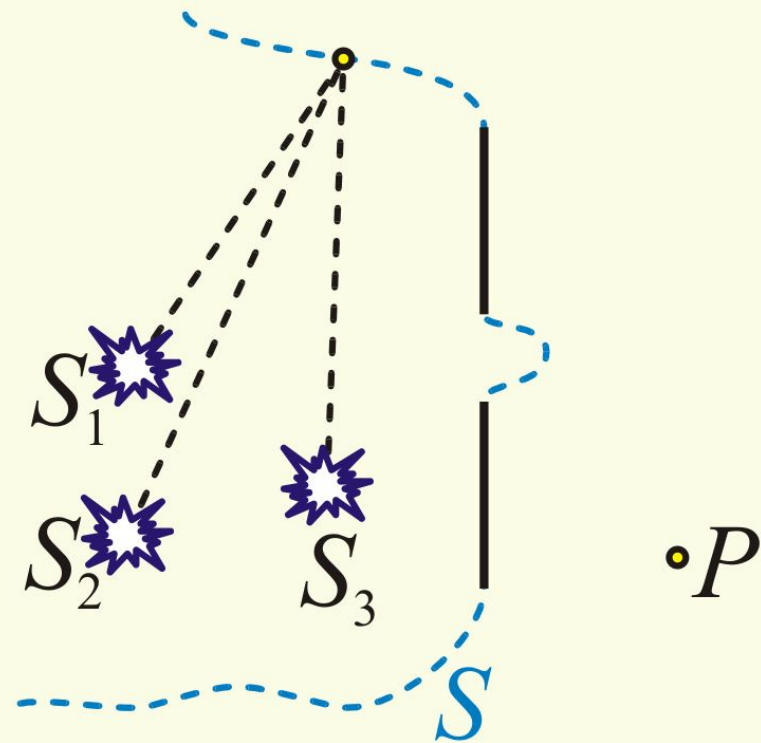
Часто пользуются приближенными методами решения задачи для границы между тенью и светом.

Рассмотрим один из таких методов – **принцип Гюйгенса–Френеля**

Пусть в пространстве
имеются источники

$$S_1, S_2, \dots$$

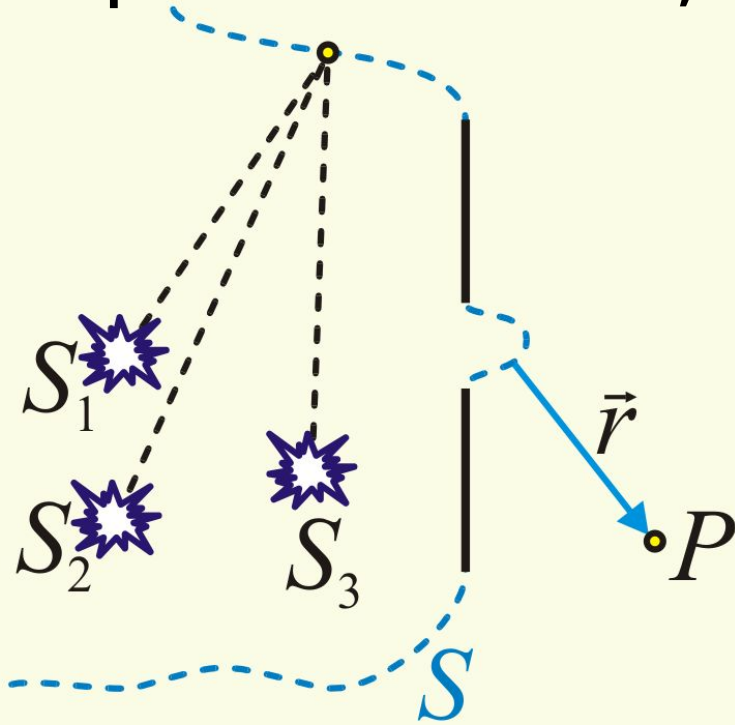
Найдем поле в т. P
за экраном с
отверстием.



1) проведем произвольную поверхность
 S , закрывающую отверстие и
ограниченную краями экрана.

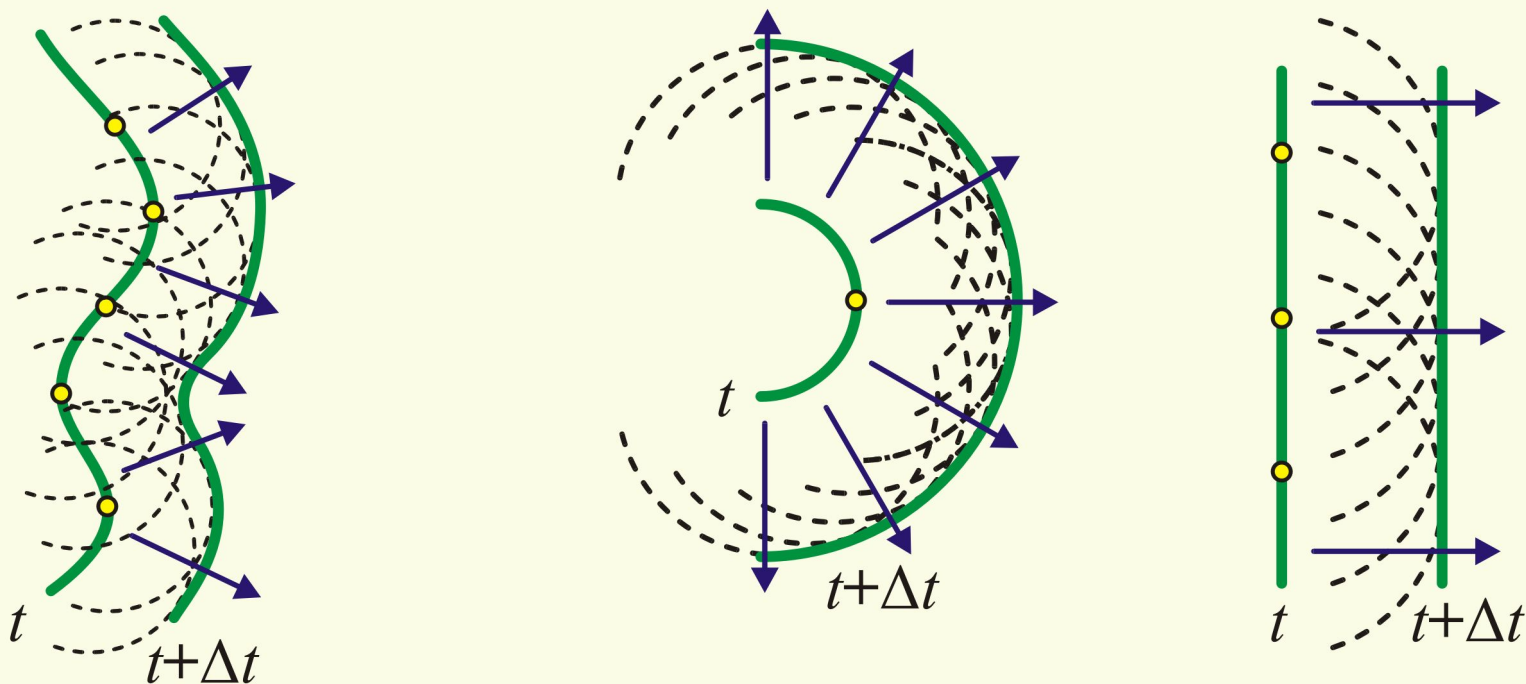
Вычислим световое поле
в каждой точке этой поверхности

2) каждую точку (элемент поверхности) S можно рассматривать как источник вторичных волн, которые когерентны.



3) световое поле от поверхности S в точке P совпадает с полем реальных источников света $S_1, S_2 \dots$

Принцип Г.–Ф. позволяет определять форму волнового фронта в следующий момент времени как **огибающую** вторичных волн



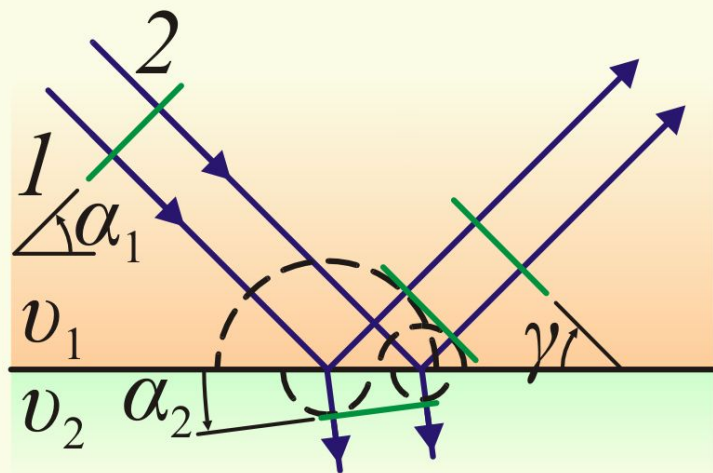
Световой луч – линия, вдоль которой распространяется свет. В изотропной среде лучи направлены по нормали к ВП

Замечание 1:

Волна, отделившаяся от источника, ведет **автономное** существование, не зависящее от наличия источников

Замечание 2:

из принципа Г.-Ф. следует закон отражения и преломления света

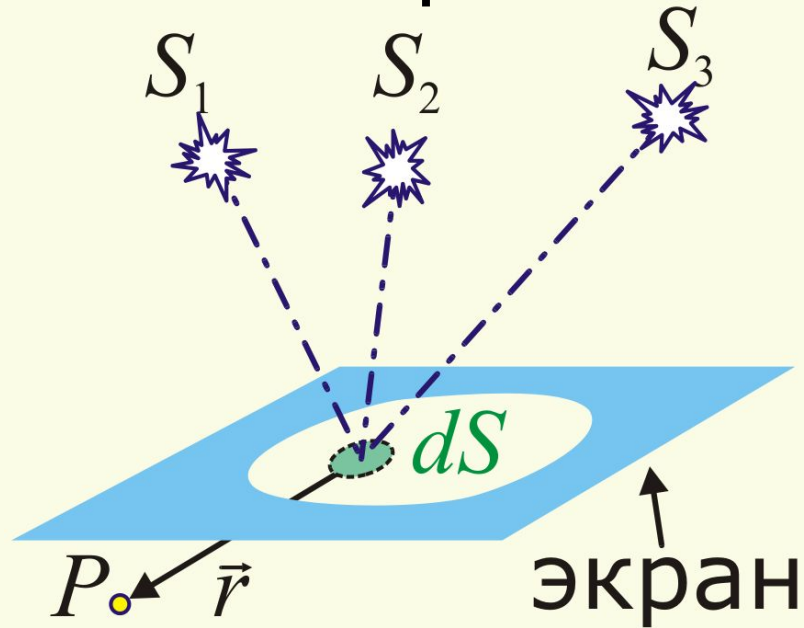


$$\gamma = \alpha_1$$

$$n_1 \frac{\sin \alpha_1}{v_1} \equiv n_2 \frac{\sin \alpha_2}{v_2}$$

Из принципа также следует объяснение прямолинейного распространения света

препятствие на пути света перекрывает часть вторичных волн.



Пусть $A(x, y)$ – амплитуда поля источников S_1, S_2, \dots в точке (x, y) .

Тогда dS является источником вторичных волн с амплитудой $A(x, y) \cdot dS$

Распределение поля за препятствием определяется как результат сложения волн от многих вторичных источников

В точке наблюдения:

$$d\xi_p = K(\alpha) \frac{A(x, y)}{r} \exp(ikr) dx dy$$

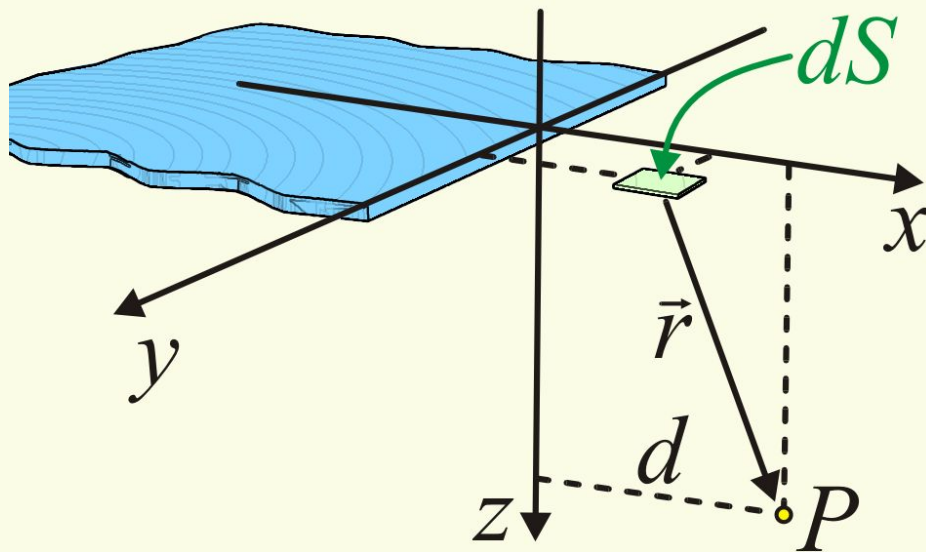
$K(\alpha)$ – нормировочная
убывающая функция

Результирующее поле в т. P :

$$\xi_p = K(\alpha) \int_S \frac{A(x, y)}{r} \exp(ikr) dx dy$$

$K(\alpha) \approx \frac{k}{2\pi i}$ – Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.
«Теория поля», стр. 199

§§ Дифракция света на полубесконечном экране



падает ПЭМВ:

$$A(x, y) = \text{const}$$

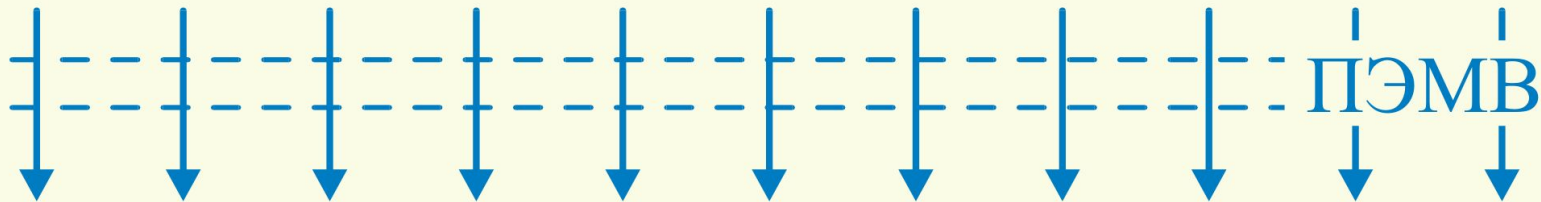
область экрана:

$$x > 0, z = 0$$

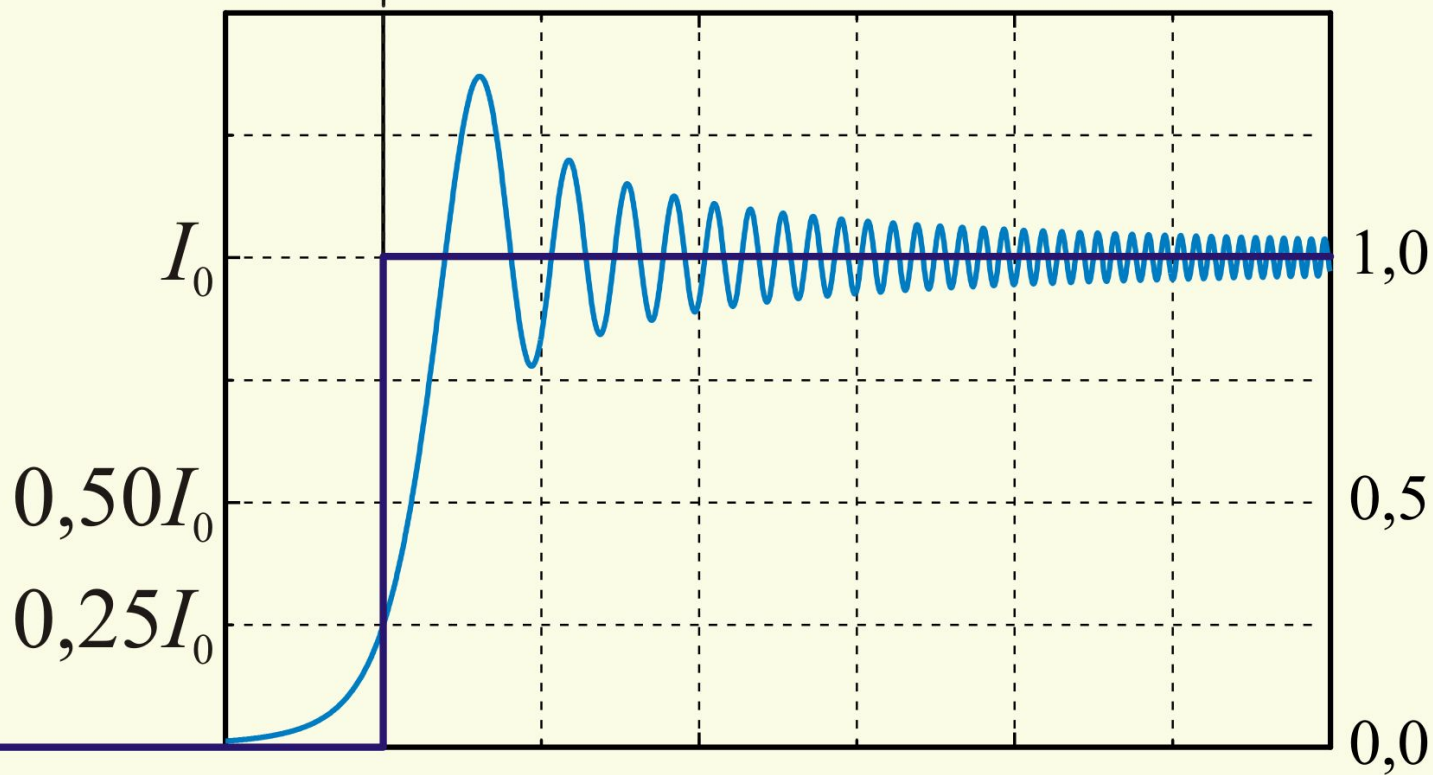
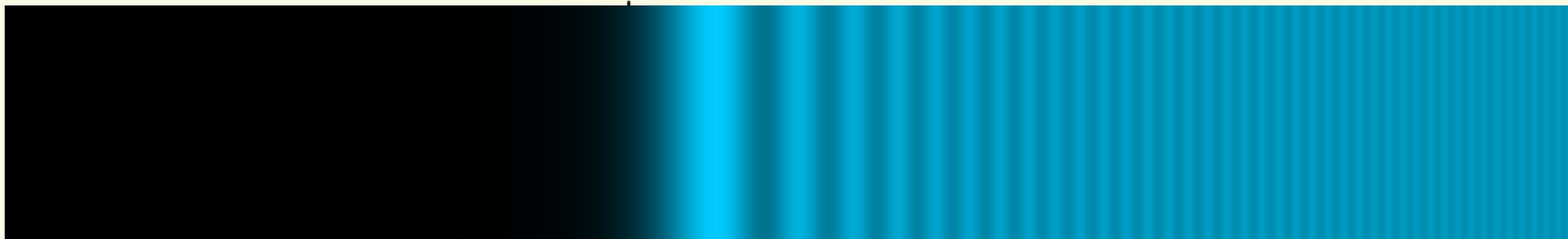
радиус-вектор $- r = \sqrt{(x - d)^2 + y^2 + z^2}$

$$\xi_p = A \int_{-\infty}^{\infty} dy \int_0^{\infty} \left\{ \frac{\exp(ikr)}{r} \right\} dx$$

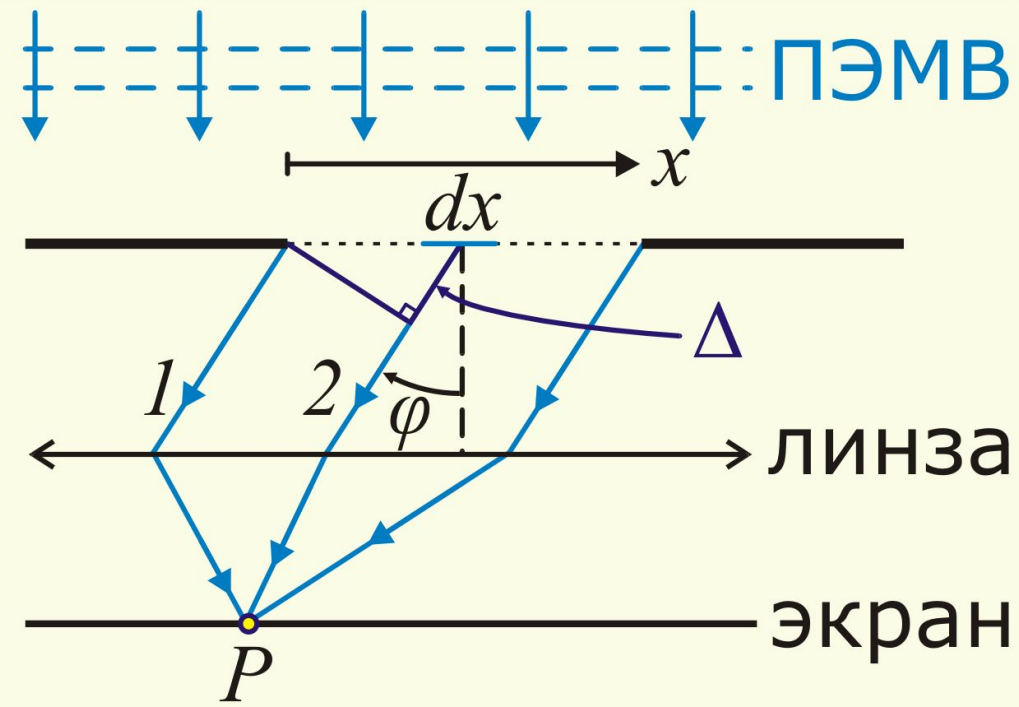
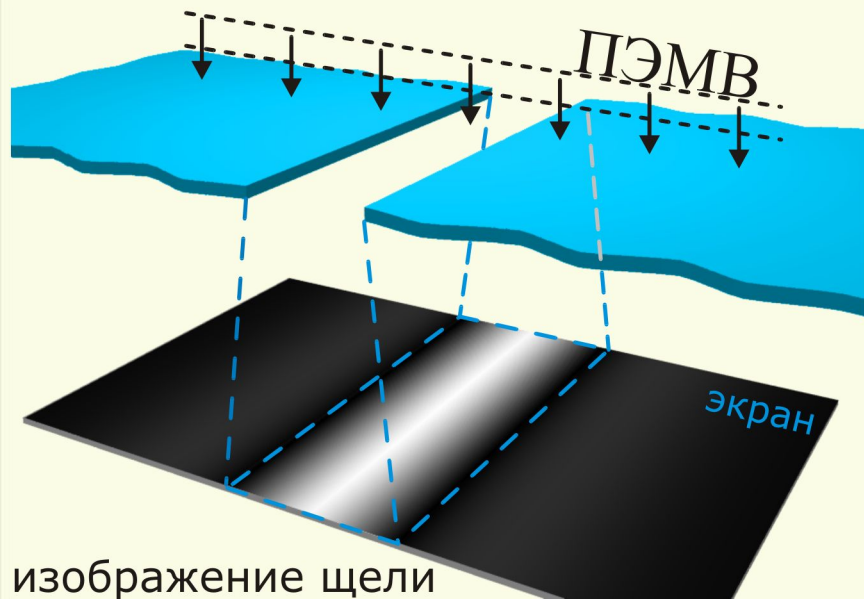
$$I_p = \xi_p \cdot \xi_p^*$$



непрозрачный экран



§§ Дифракция света на бесконечной щели



Пусть

A_0 – амплитуда поля

b – ширина щели

φ – угол дифракции

λ – длина волны

Разность хода: $\Delta = x \sin \varphi$

Поле элемента dx , находящегося на расстоянии x от края щели:

$$d\xi_p = A_0 \frac{dx}{b} \exp(i k \Delta)$$

Суммарное поле от всей щели:

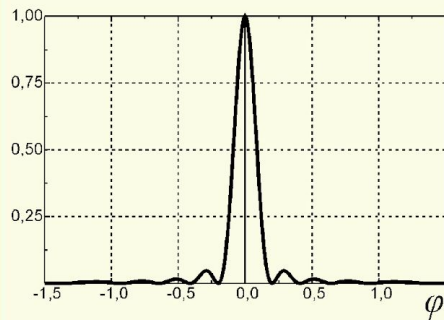
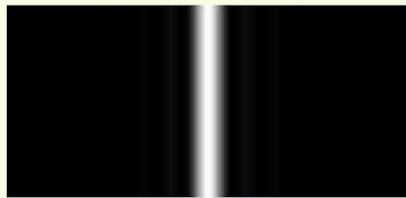
$$\begin{aligned} \xi_p &= \frac{A_0}{b} \int_0^b \exp(i k x \sin \varphi) dx \\ &= A_0 \exp(-i\alpha) \frac{\sin \alpha}{\alpha} \end{aligned}$$

где $\alpha = \frac{\pi}{\lambda} b \sin \varphi$.

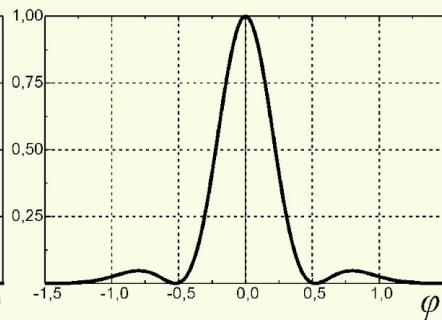
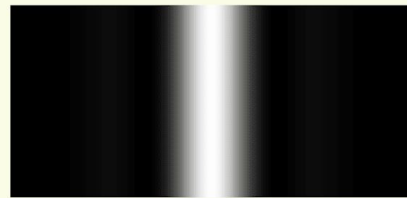
Интенсивность света, дифрагирующего на угол φ :

$$I = \xi \cdot \xi^* = A_0^2 \left[\frac{\sin\left(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \varphi\right)}{\left(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \varphi\right)} \right]^2$$

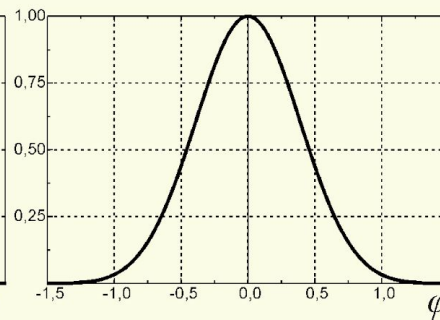
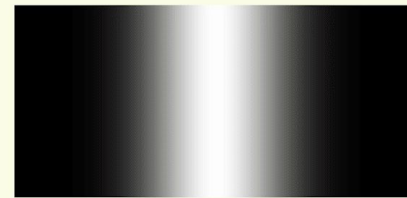
$b = 5\lambda$



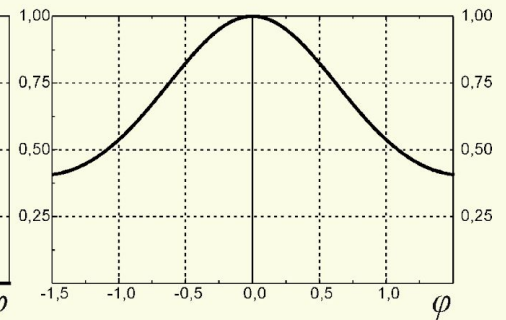
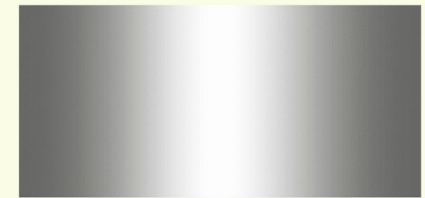
$b = 2\lambda$

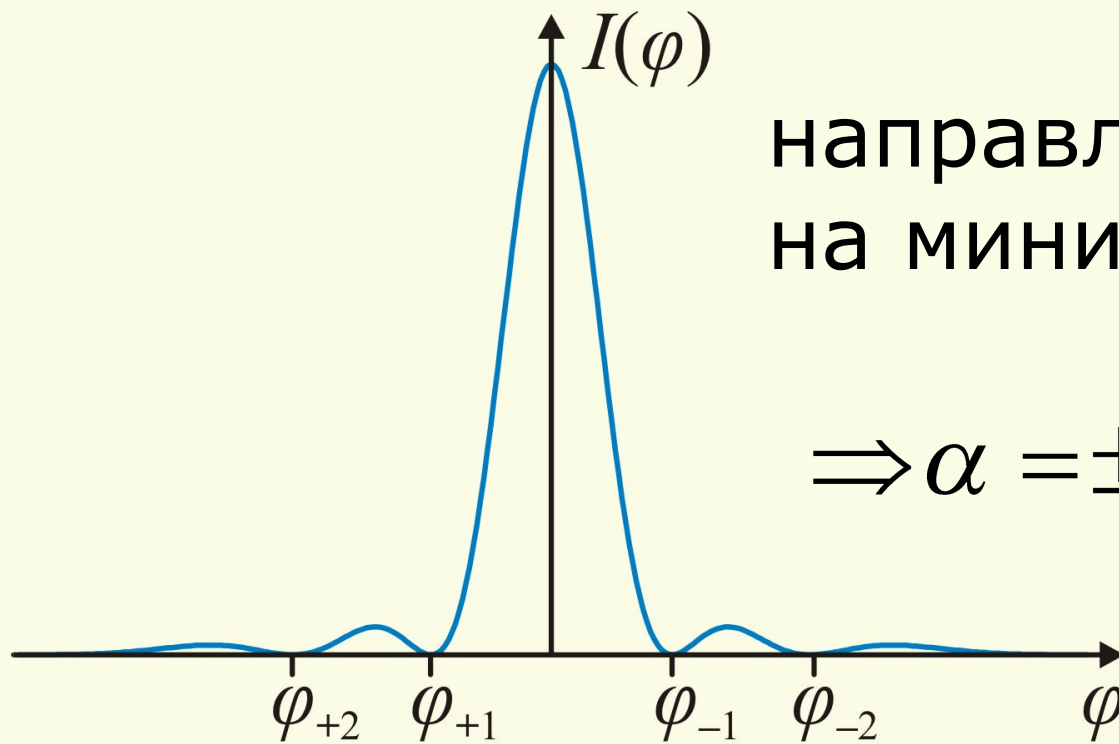


$b = \lambda$



$b = \frac{1}{2}\lambda$





направления
на минимумы: $\frac{\sin \alpha}{\alpha} = 0$

$$\Rightarrow \alpha = \pm \pi, \pm 2\pi, \dots m\pi$$

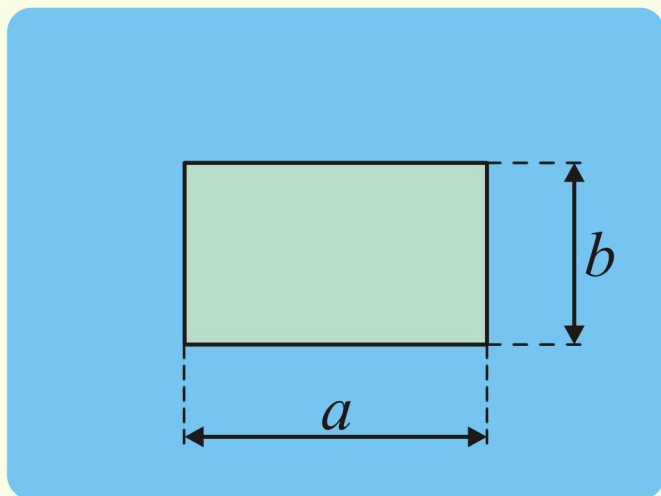
$$\frac{\pi}{\lambda} b \sin \varphi_m = m\pi \quad \text{или}$$

$$b \sin \varphi_m = m\lambda$$

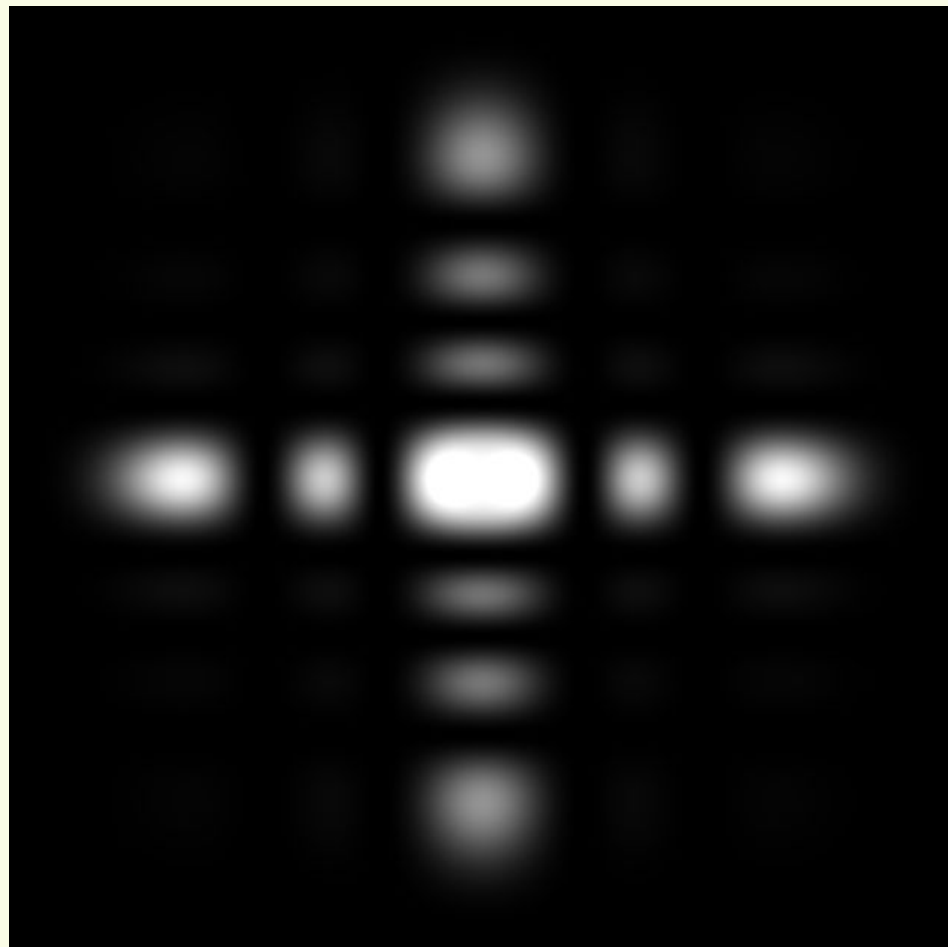
φ_m – угол, под которым наблюдается минимум порядка m ($m = \pm 1, \pm 2 \dots$)



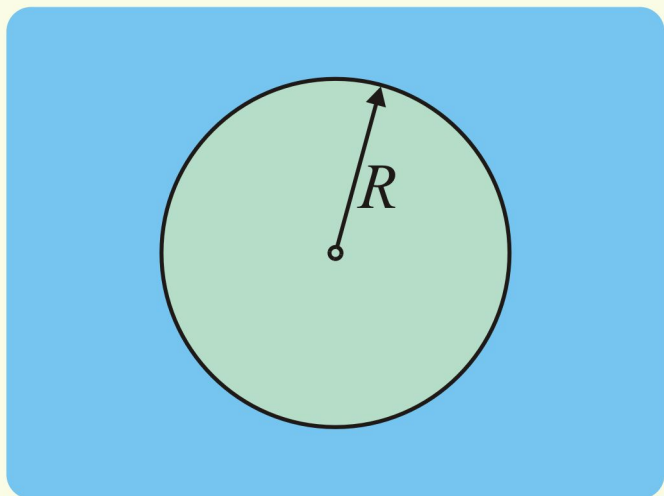
§§ Дифракция на квадратном отверстии



$$I = I_0 \left[\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right]^2 \left[\frac{\sin \beta}{\beta} \right]^2$$



§§ Дифракция на круглом отверстии



$$I = I_0 \left[\frac{J_1(\rho)}{\rho} \right]^2$$

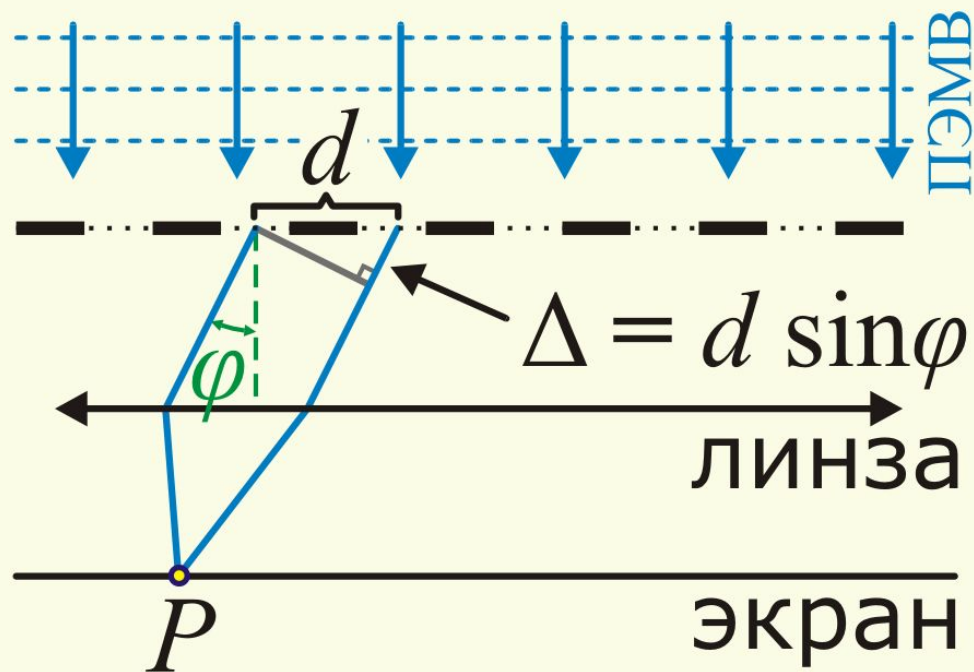


§§ Дифракционная решетка

это совокупность большого числа одинаковых, отстоящих друг от друга на одно и то же расстояние щелей.

Расстояние между щелями d – называется **постоянной** (**периодом**) **решетки**.

Пусть на решетку падает ПЭМВ с длиной волны λ .



Пусть щели – маленькие, тогда они являются источниками вторичных волн с цилиндрическим ВФ.

$\Delta = d \sin \varphi$ – разность хода между вторичными волнами от соседних щелей.

$\Delta = m\lambda$ – условие наблюдения max

$$d \sin \varphi_m = m \lambda$$

условие наблюдения
главных дифракционных
максимумов при
дифракции на решетке

$m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ – номер главного
максимума

Точное распределение интенсивности
в дифракционной картине:

$$I(\varphi) = I_1 \left[\frac{\sin(N\delta)}{\sin(\delta)} \right]^2 \quad \delta = \frac{\pi}{\lambda} d \sin \varphi$$

N – число линий (щелей) на диф. решетке

Распределения интенсивности



$$N = 3$$



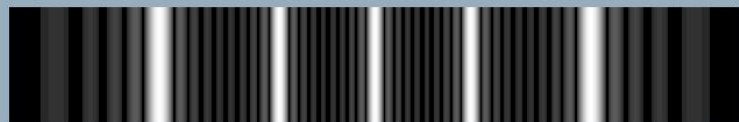
$$N = 4$$



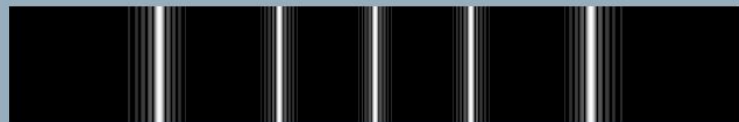
$$N = 5$$



$$N = 6$$



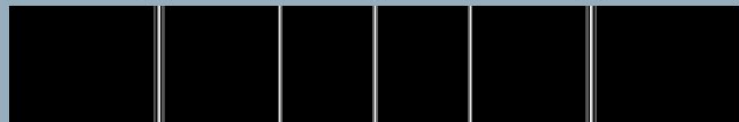
$$N = 10$$



$$N = 25$$

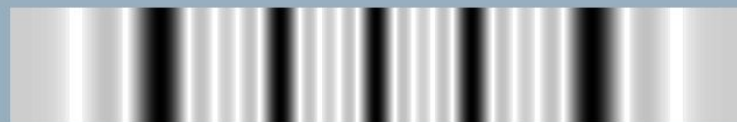


$$N = 50$$



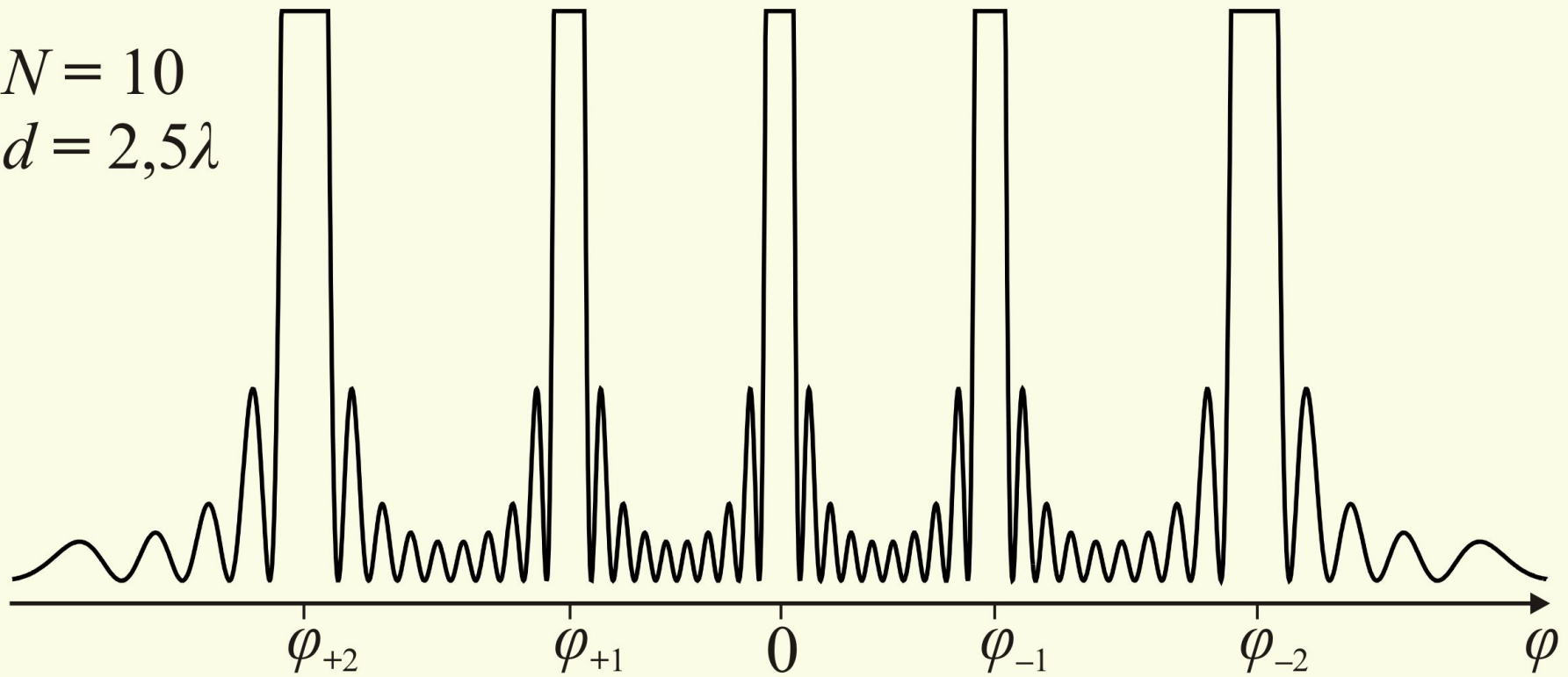
$$N = 100$$

ПОЗИТИВ



негатив

$$N = 10$$
$$d = 2,5\lambda$$



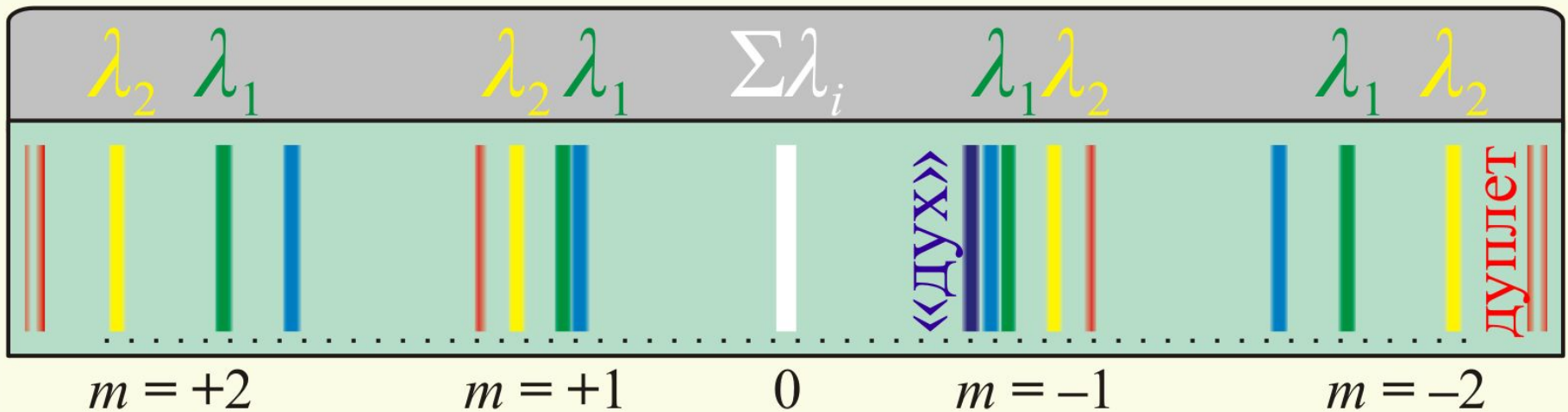
Между главными максимумами
располагаются:

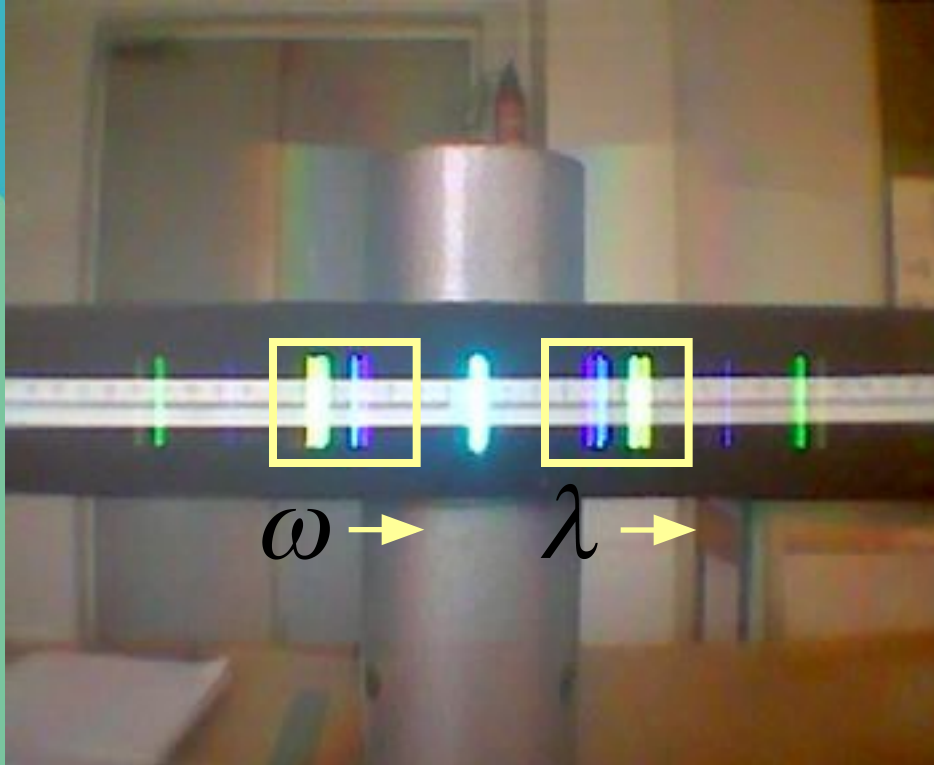
$N-2$ вторичных max

$N-1$ вторичных min

§§ Дифракционная решетка как спектральный прибор

Если в составе падающего излучения присутствуют две спектральные линии λ_1 и λ_2 , то они дифрагируют на разные углы – главные максимумы находятся в разных местах (не перекрываются).

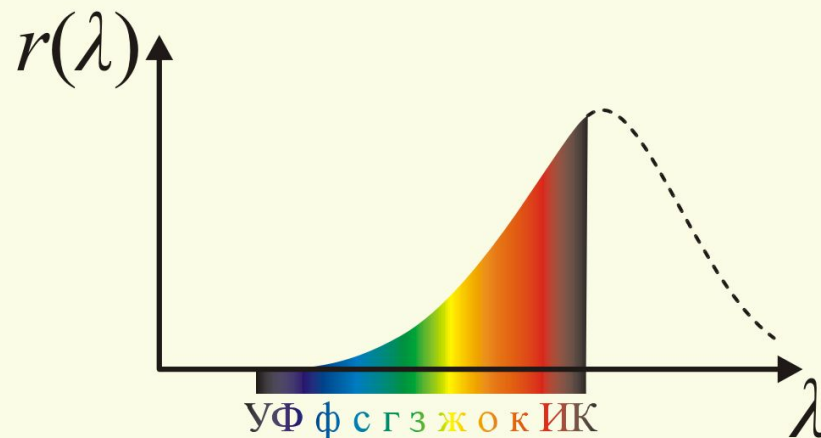




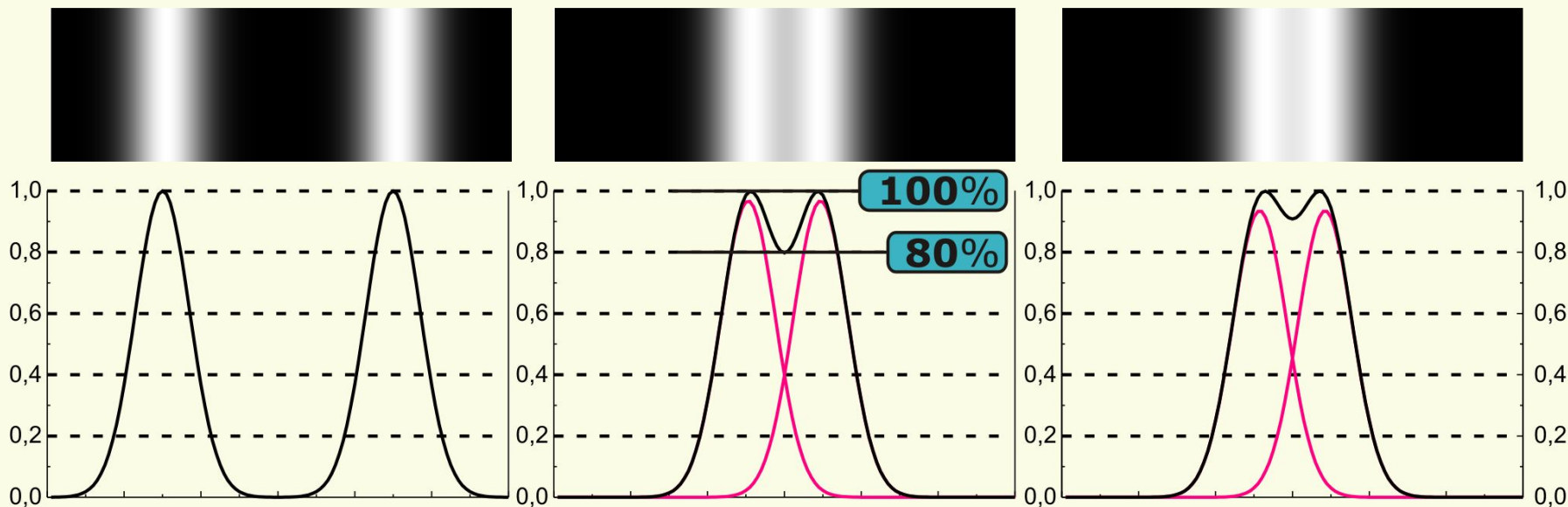
спектр излучения
ртутной лампы



спектр излучения
лампы накаливания



Для $\lambda_1 = \lambda$ и $\lambda_2 = \lambda + \delta\lambda$ ВОЗМОЖНО
 перекрытие:



Пример: тонкая структура линий H:

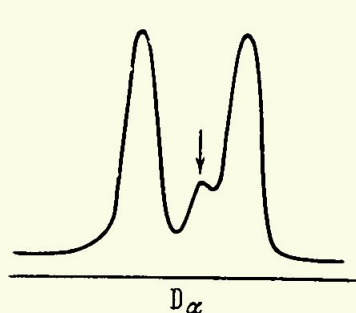


Рис. 64. Микрофотометрическая кривая для линии D α .

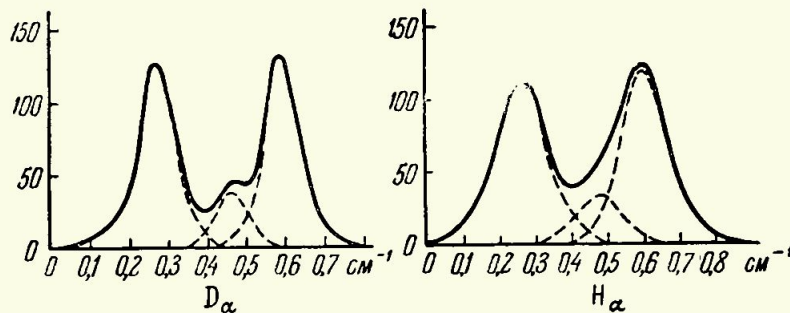


Рис. 65. Разложение микрофотометрических кривых для линий D α и H α .

Критерий Рэля

Спектральные линии считаются **разрешенными**, если середина одного максимума совпадает с краем другого.

В этом случае минимум составляет около 80% от значения в максимуме.

$\delta\lambda$, соответствующее этому критерию, для каждого прибора принимает свое значение.

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

разрешающая сила
(способность)
спектрального прибора

Обычные дифракционные решетки имеют 200-500 штрихов на 1 мм, а лучшие – до 6000.

Для получения более точных результатов используют метод наклонных пучков.

Применение:

для определения λ и анализа спектров