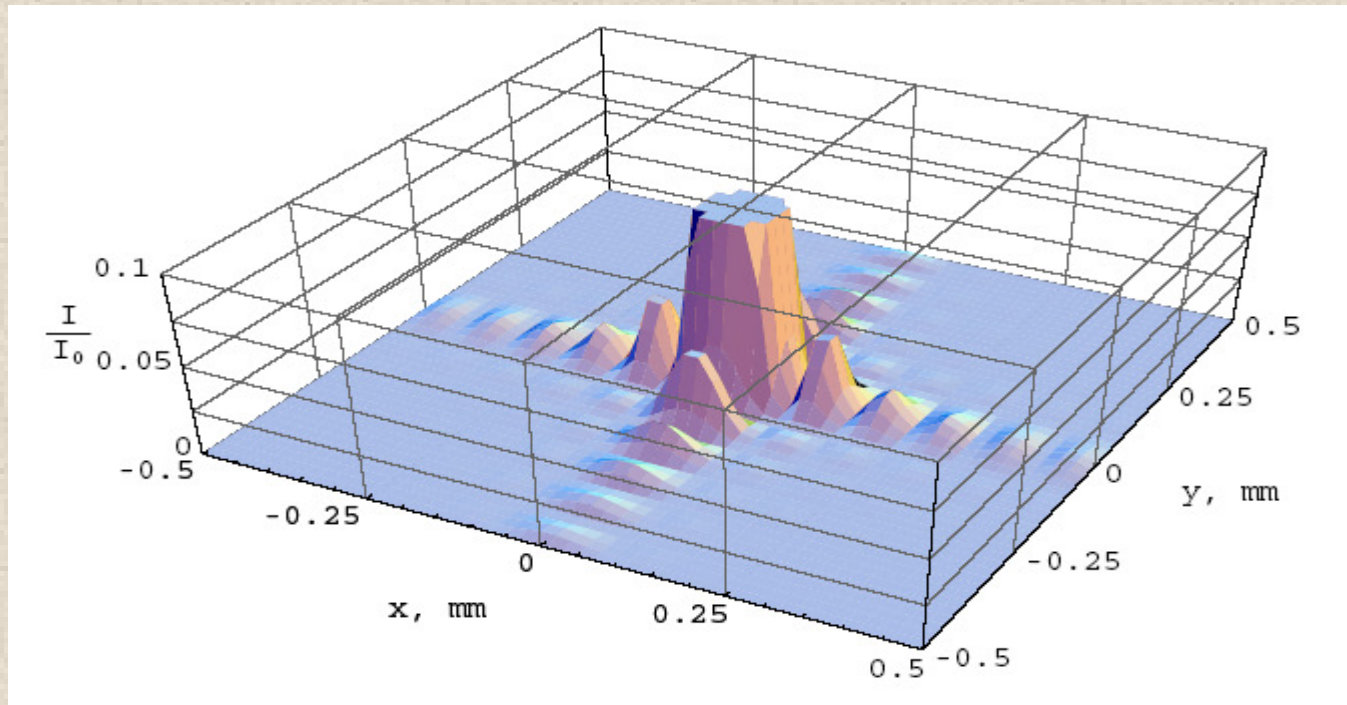


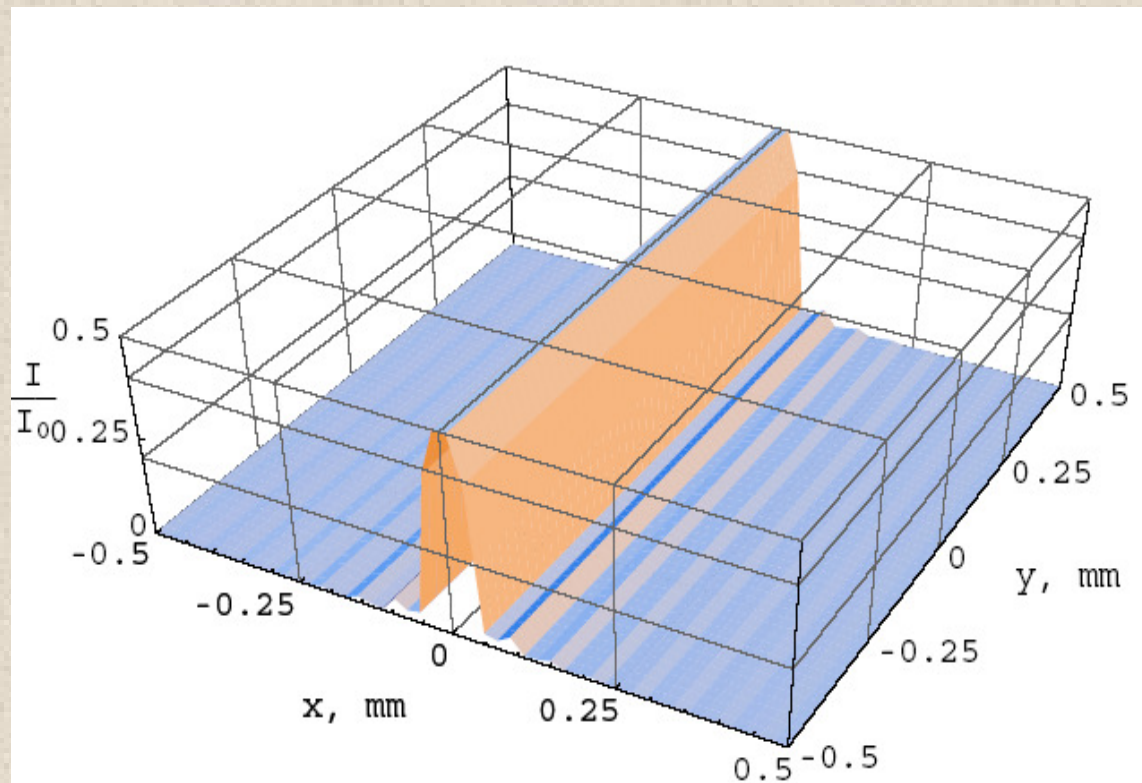
$$I(P) = I(k_x, k_y) = \frac{1}{2} |A(k_x, k_y)|^2 = I_0 \left( \frac{l_x l_y}{\lambda b} \right)^2 \text{sinc}^2 \xi_x^1 \text{sinc}^2 \xi_y^1$$

$$\xi_{x,y}^1 \equiv \frac{k_{x,y} - k_{0x,y}}{2} l_{x,y}$$

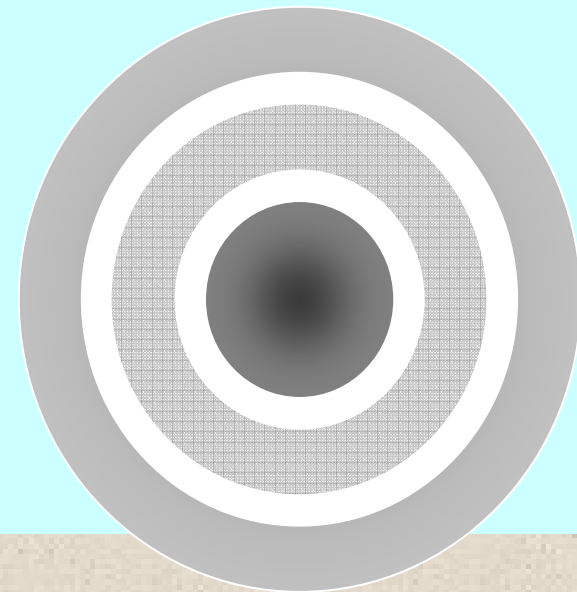
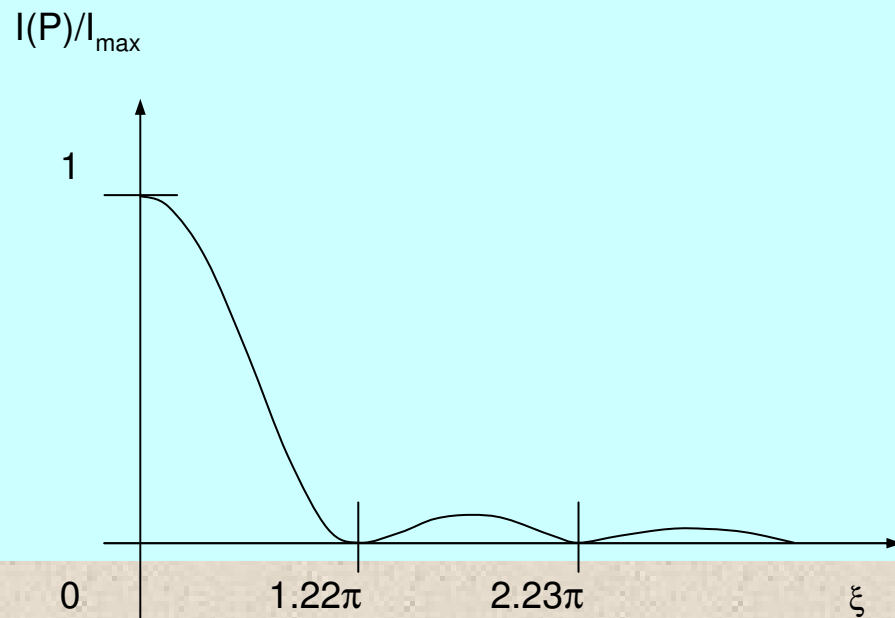


$$I(P) = I(k_x) = \frac{1}{2} |A(k_x)|^2 = I_0 \frac{l_x^2}{2\lambda b} \text{sinc}^2 \xi_x^l$$

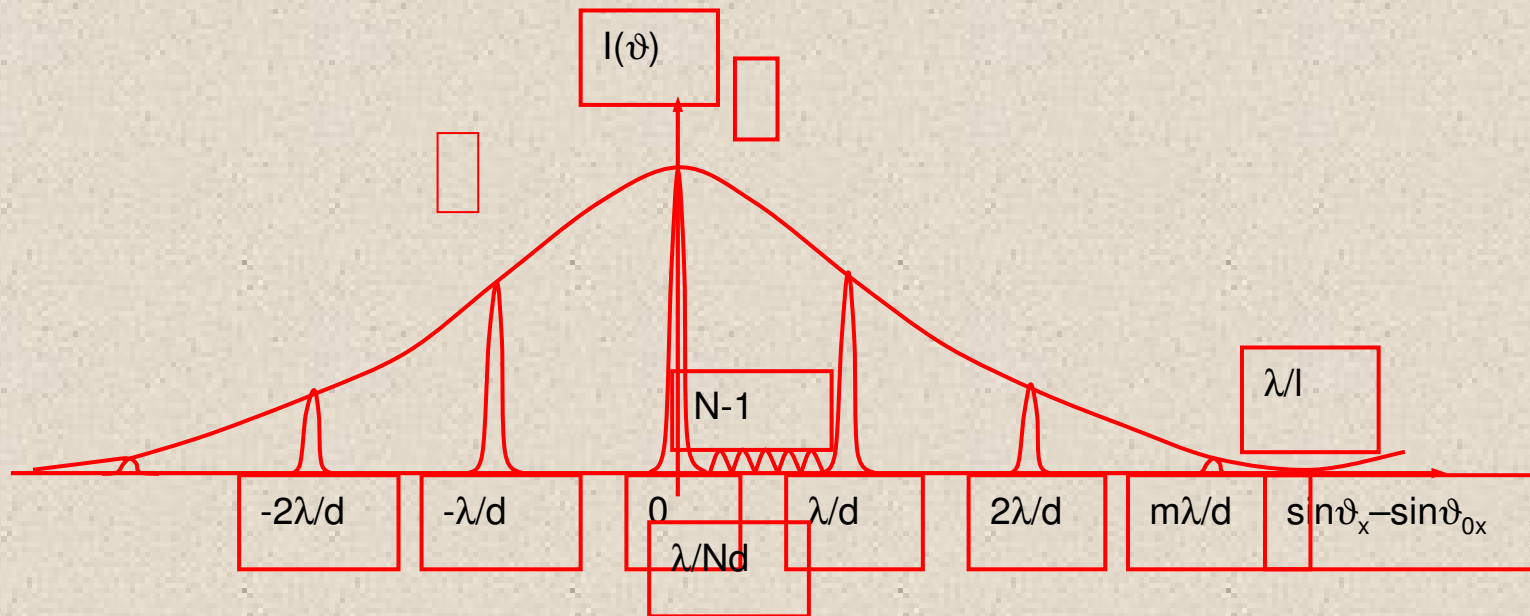
$$\xi_{x,y}^l \equiv \frac{k_{x,y} - k_{0x,y}}{2} l_{x,y}$$



$$I(\xi) = \frac{1}{2} |A(\xi)|^2 = I_0 \left( \frac{\pi R^2}{\lambda b} \right)^2 \left( \frac{2J_1(\xi)}{\xi} \right)^2$$



$$I(k_x) = I_0 \frac{l^2}{\lambda b} \text{sinc}^2(\xi_x^1) \frac{\sin^2(N\xi_x^d)}{\sin^2(\xi_x^d)}$$



$$U(P) = \frac{i}{\lambda} \cdot \frac{e^{-ikb}}{b} \iint_{\Sigma_0} A_{\Sigma_0} e^{ik \frac{xx' + yy'}{b}} dx dy$$

# Глава 4. Дифракция света

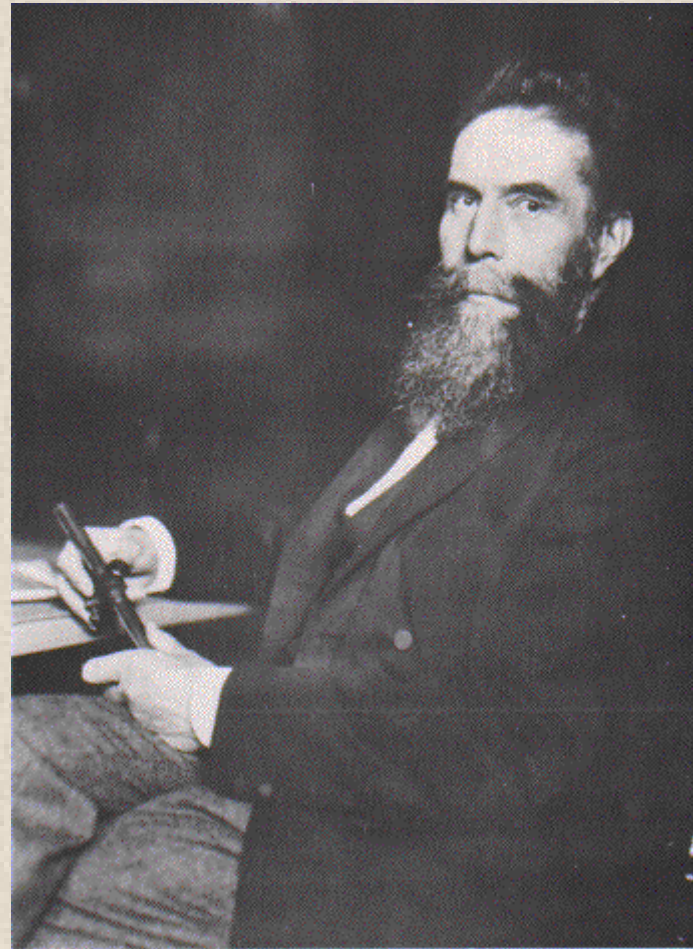
- **4.8. Дифракция на многомерных структурах**

*Двумерная периодическая структура*

*Дифракция рентгеновских лучей в кристаллах*

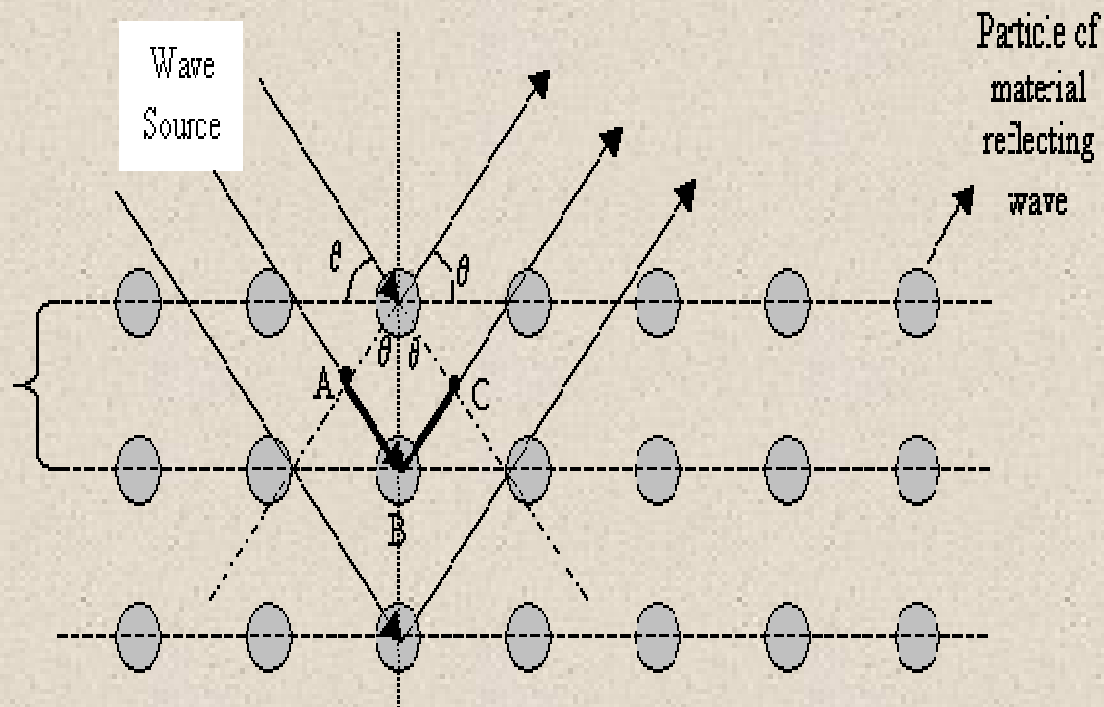
## X-rays

- Открыты Рентгеном 1895
- 



## Теория дифракции

- 1910 Лауэ написал теорию дифракции от решетки

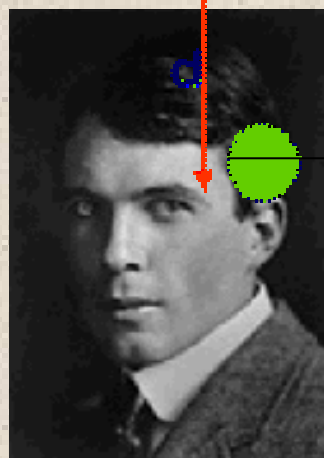
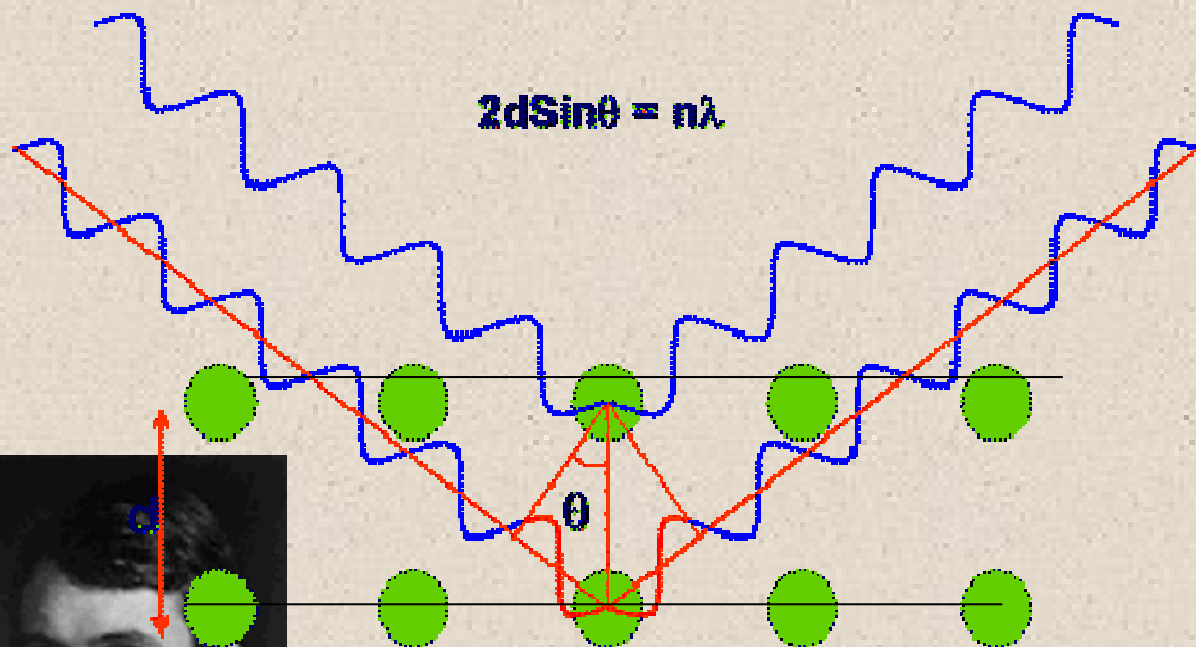




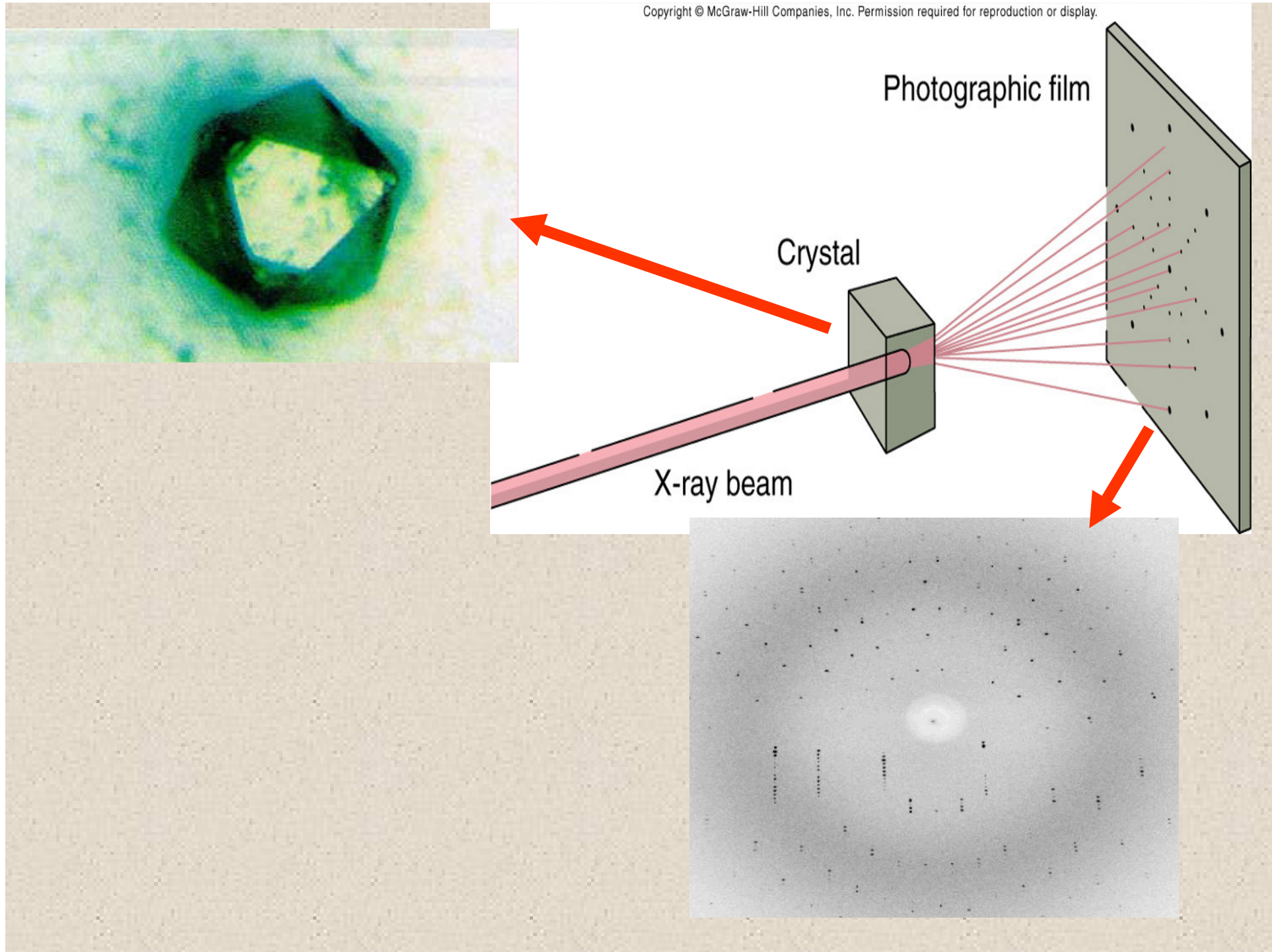
## Закон дифракции Брэгга

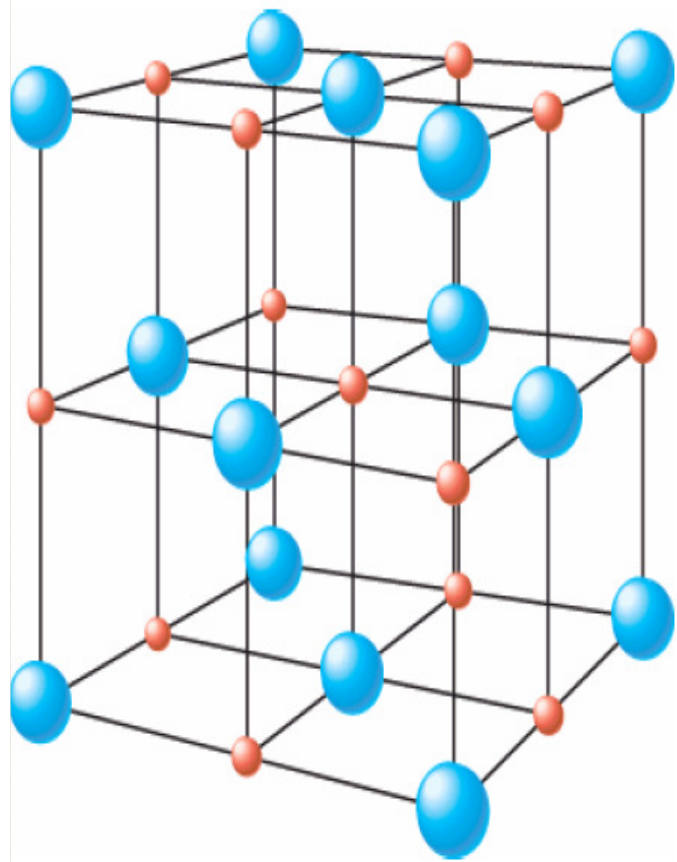
1912

First structure (NaCl) in 1912.

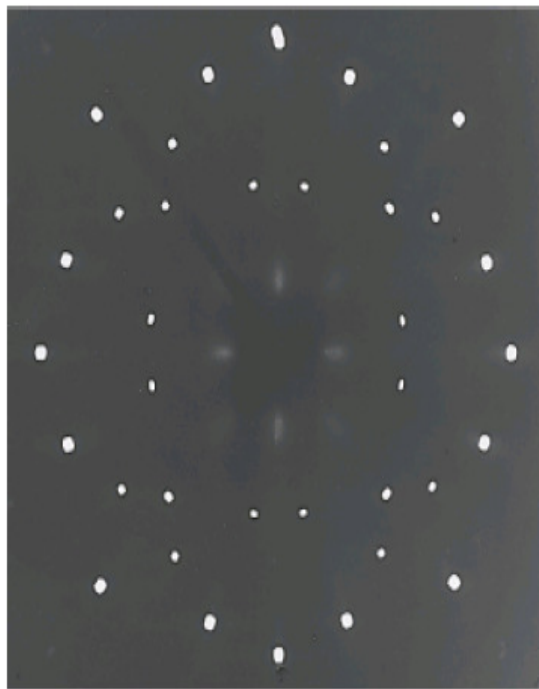


W. H. Bragg & W. L. Bragg



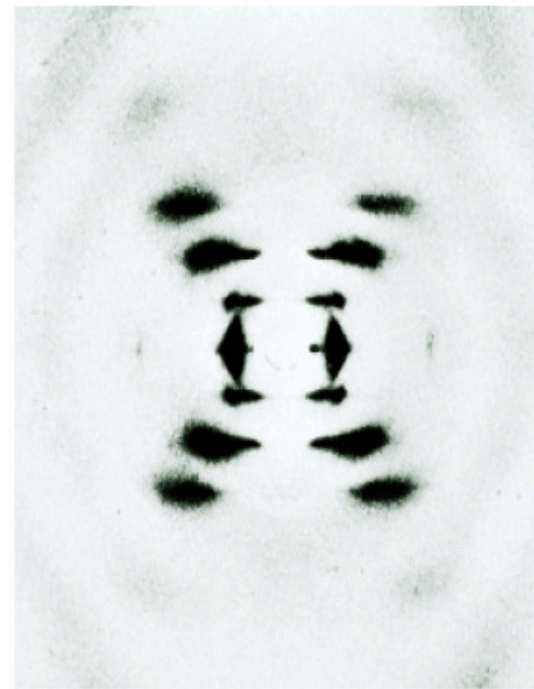


NaCl

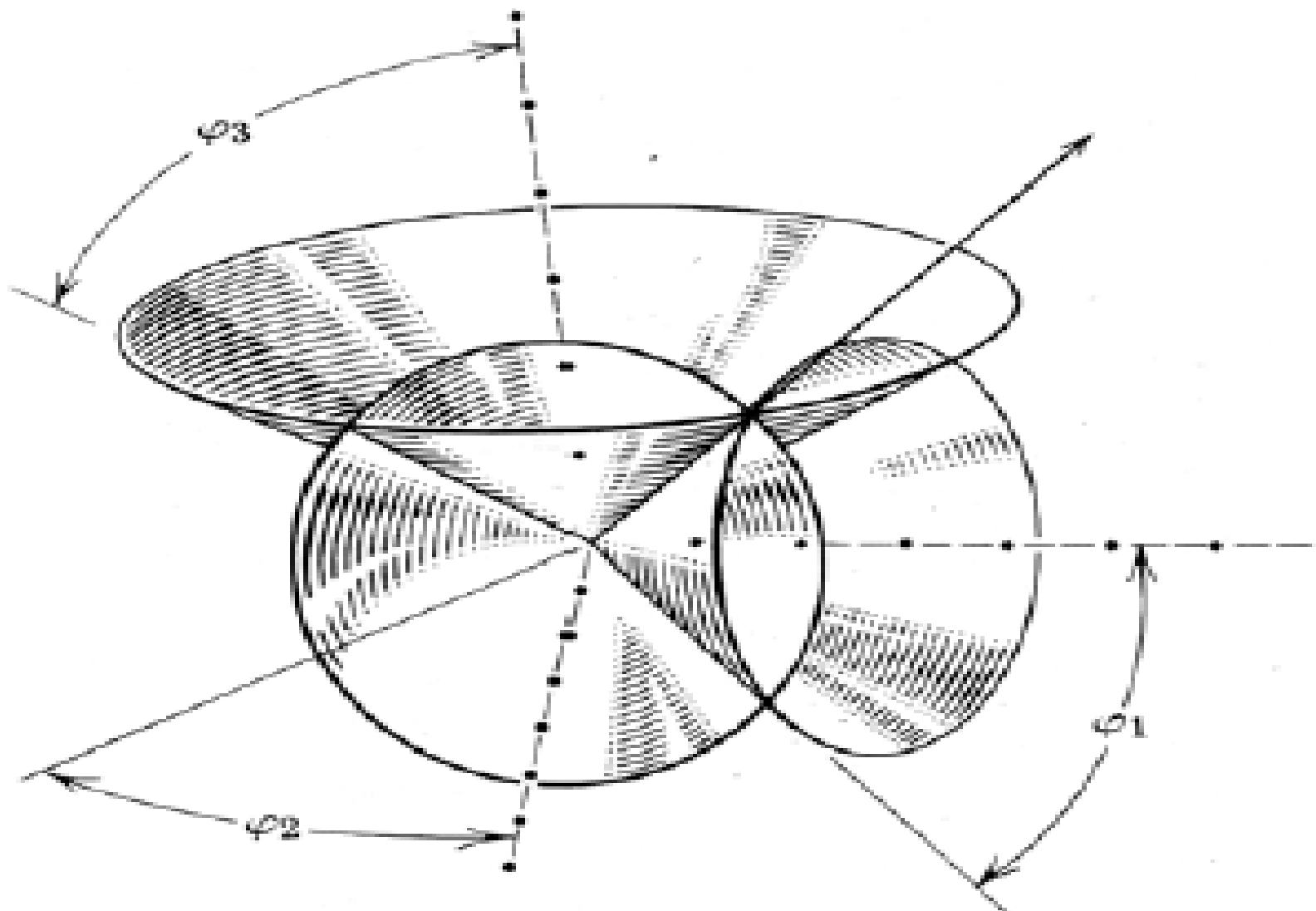


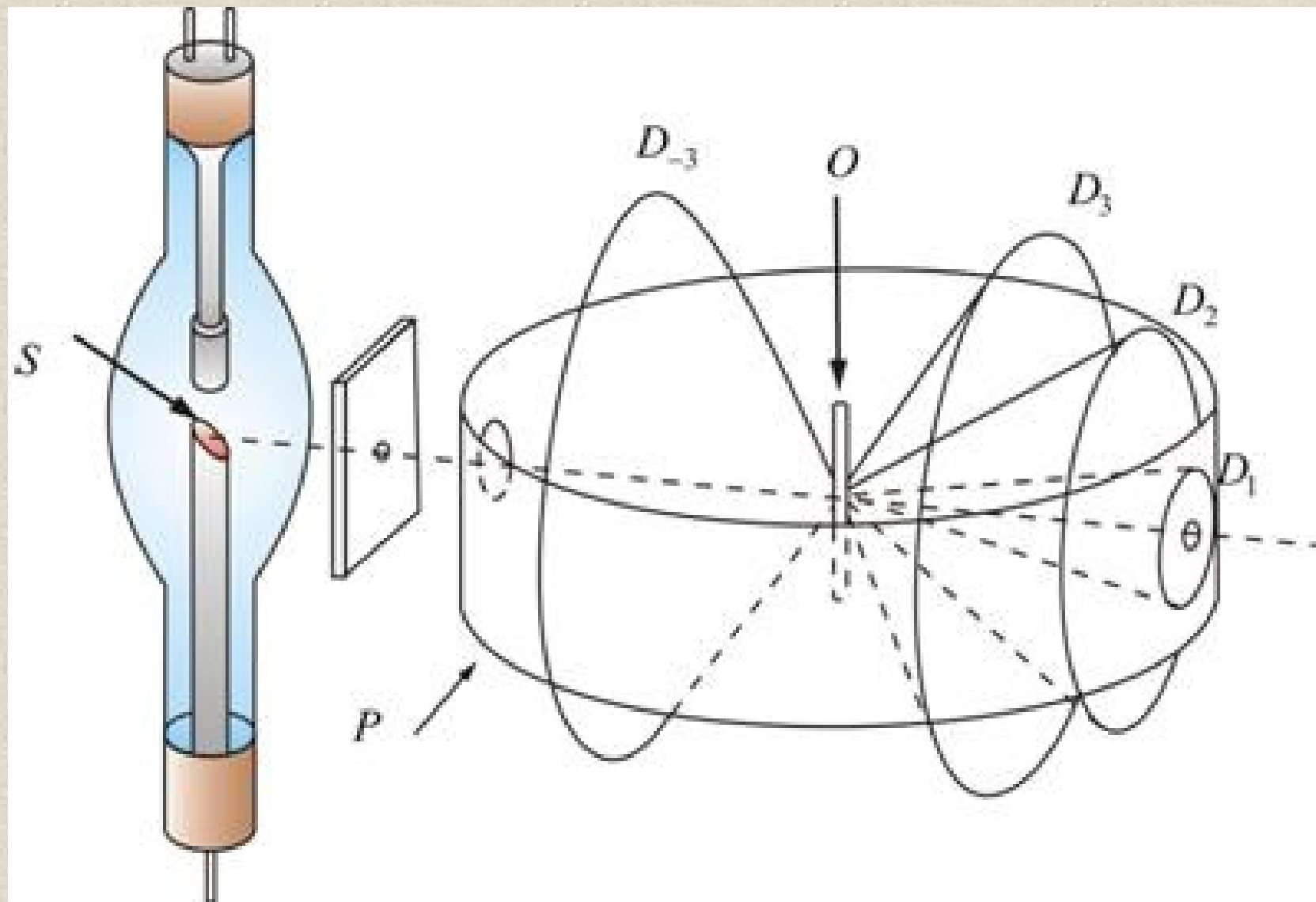
(a)

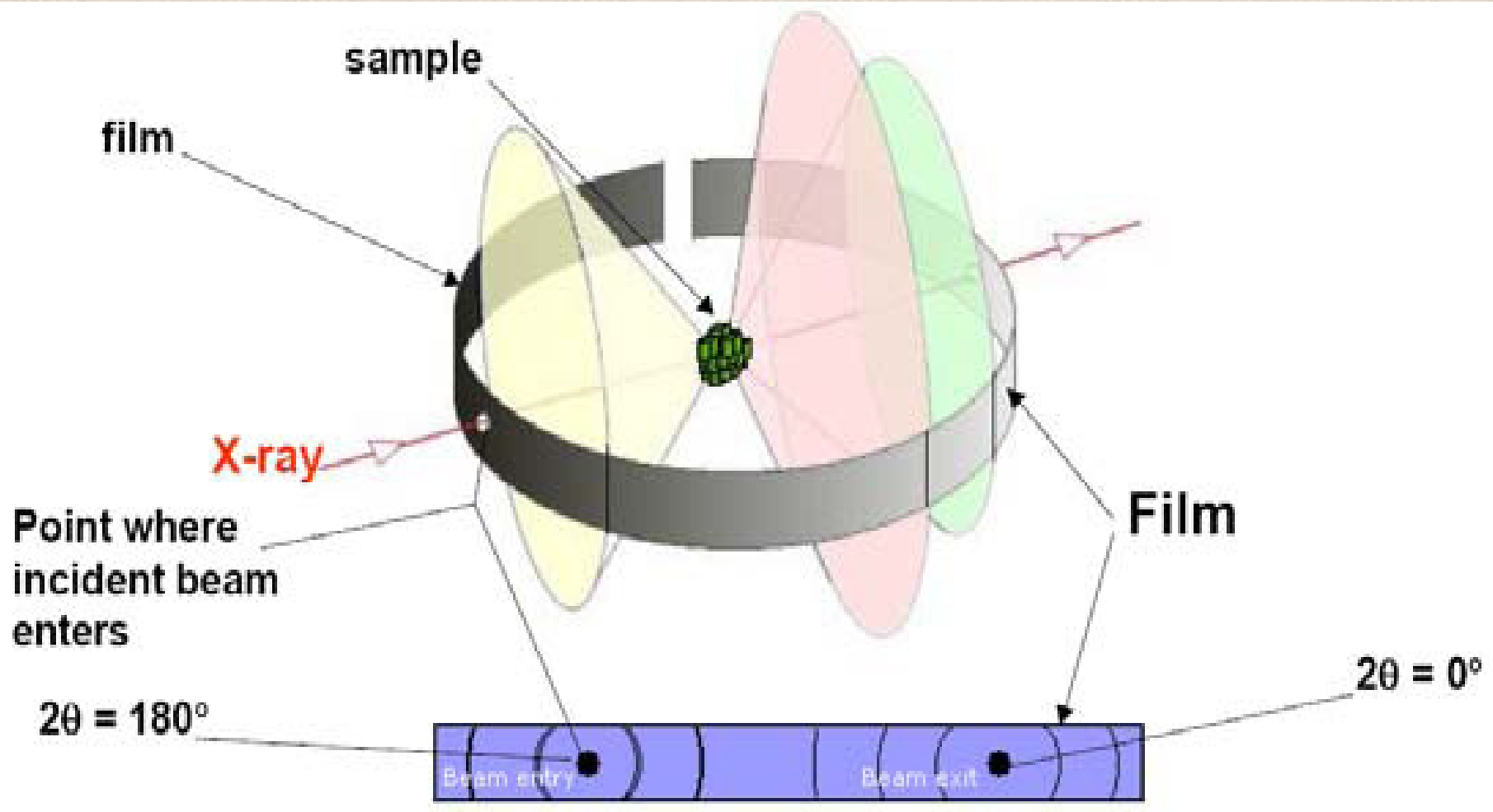
DNA



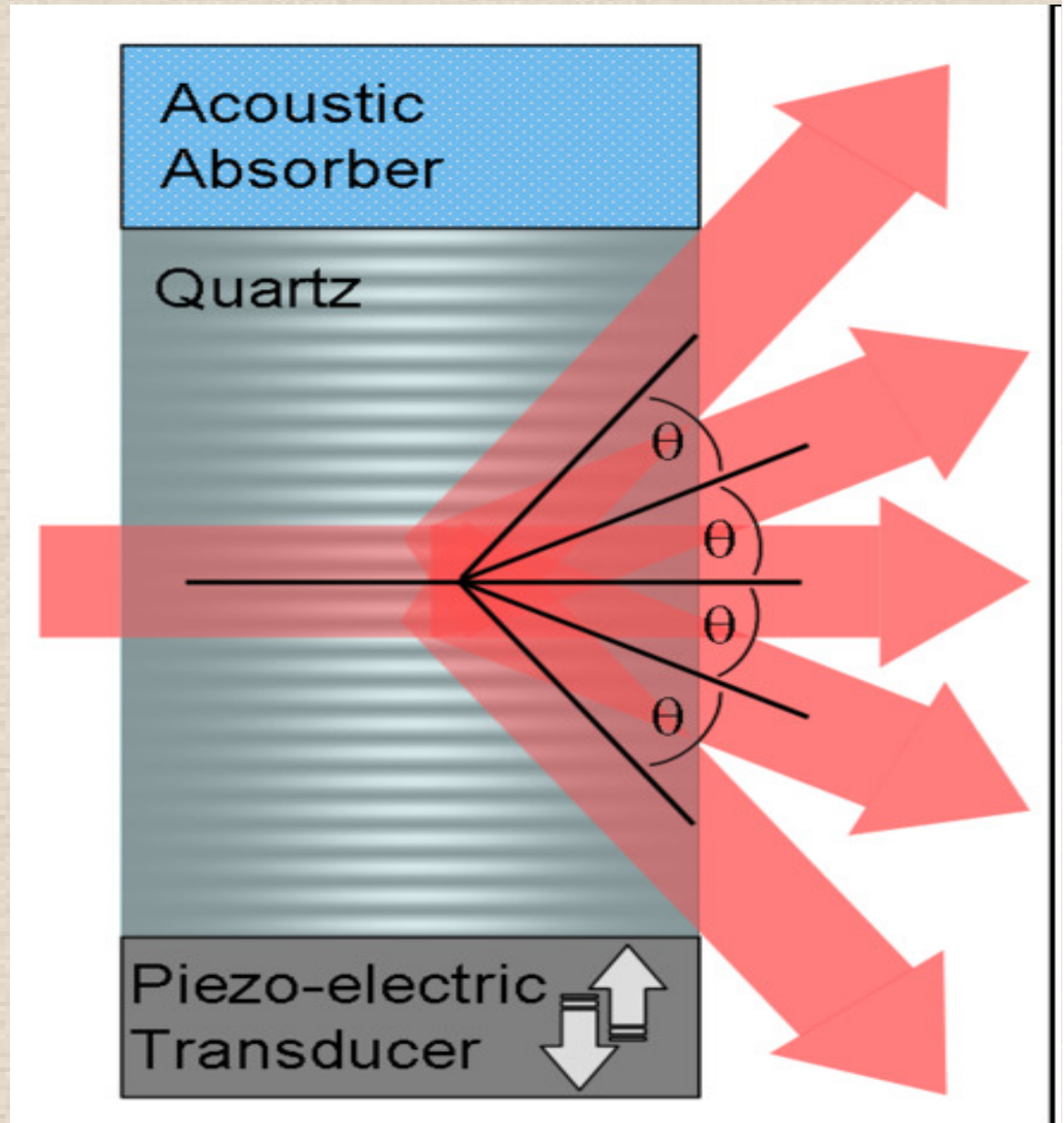
(b)







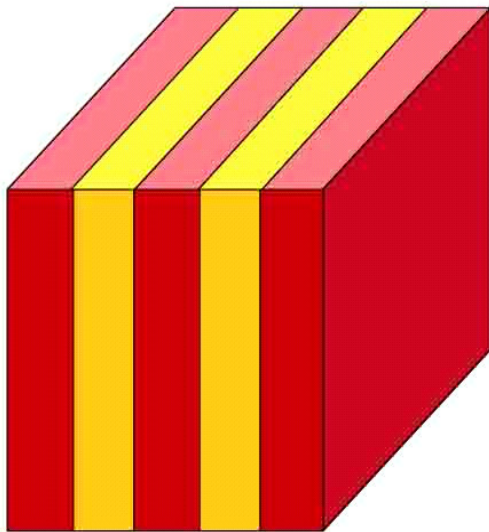
$$d_{peu} = \frac{\pi V}{\Omega}$$





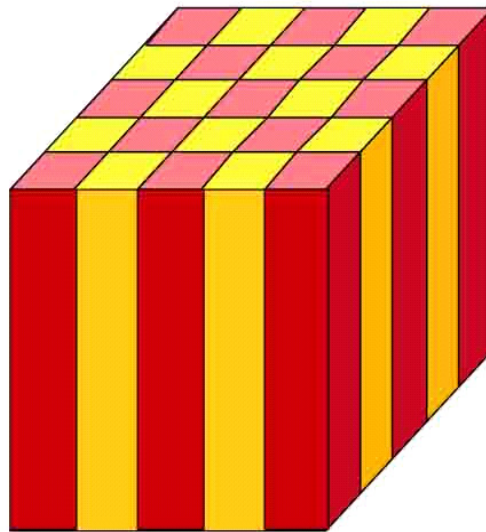
# Периодическая структура с различными показателями преломления

1-D



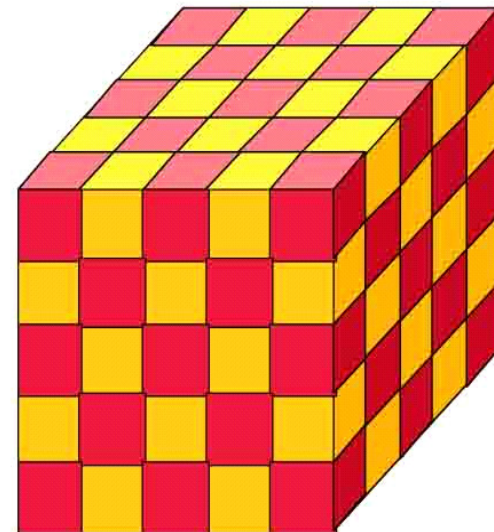
periodic in  
one direction

2-D



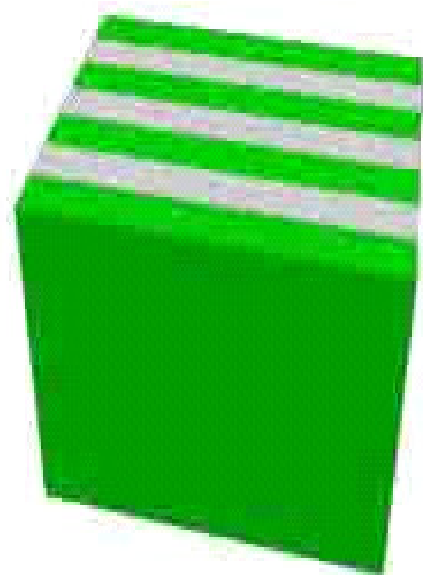
periodic in  
two directions

3-D

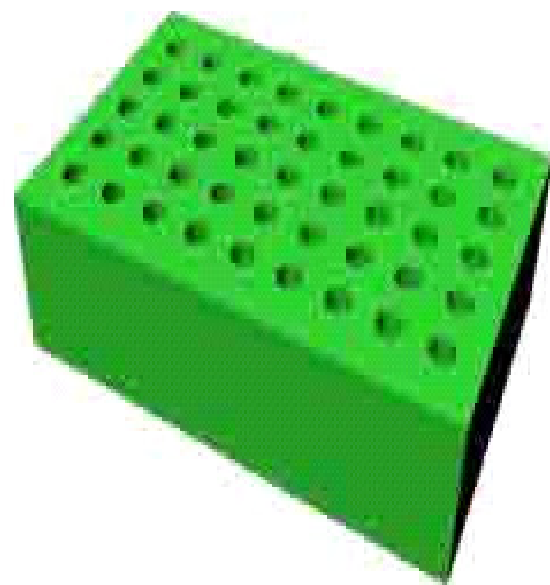


periodic in  
three directions

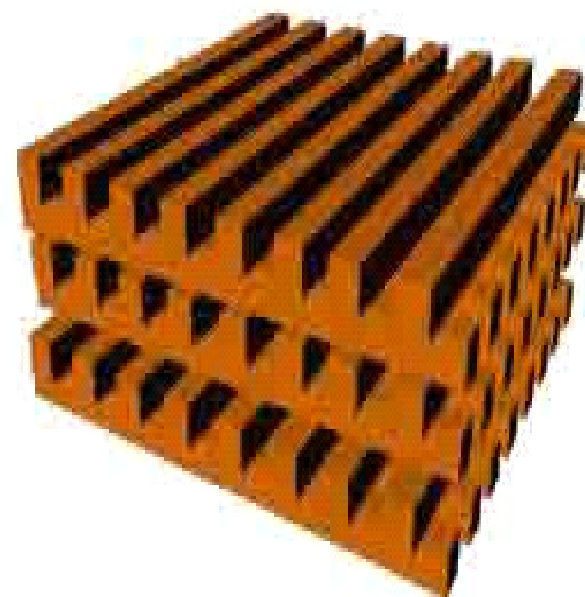




(a)



(b)

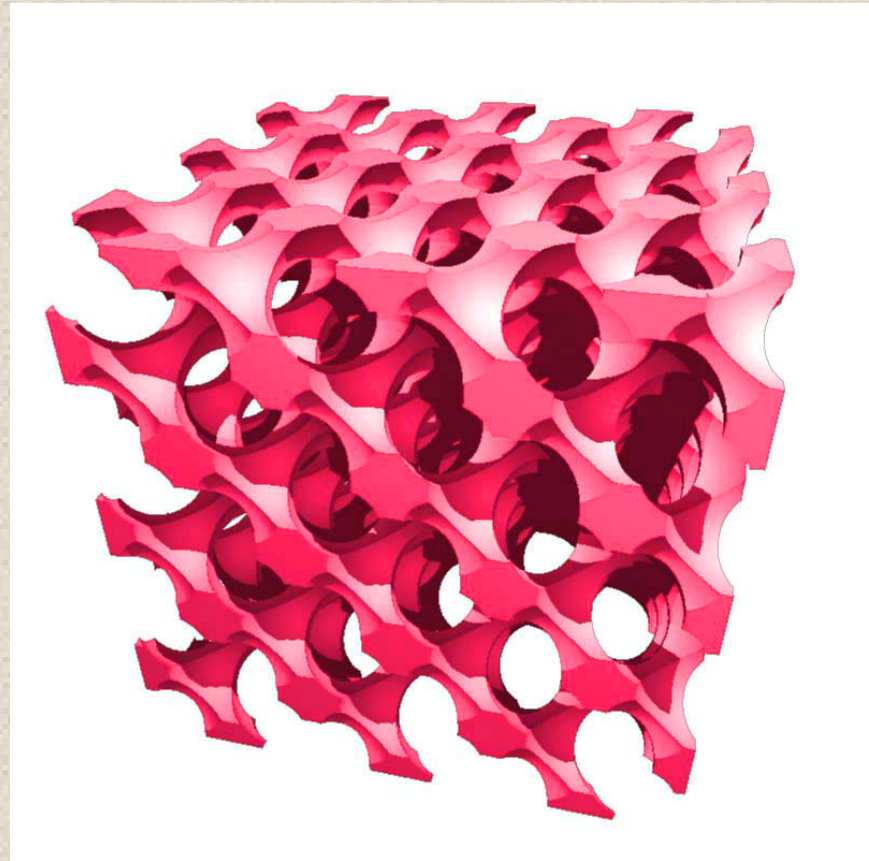
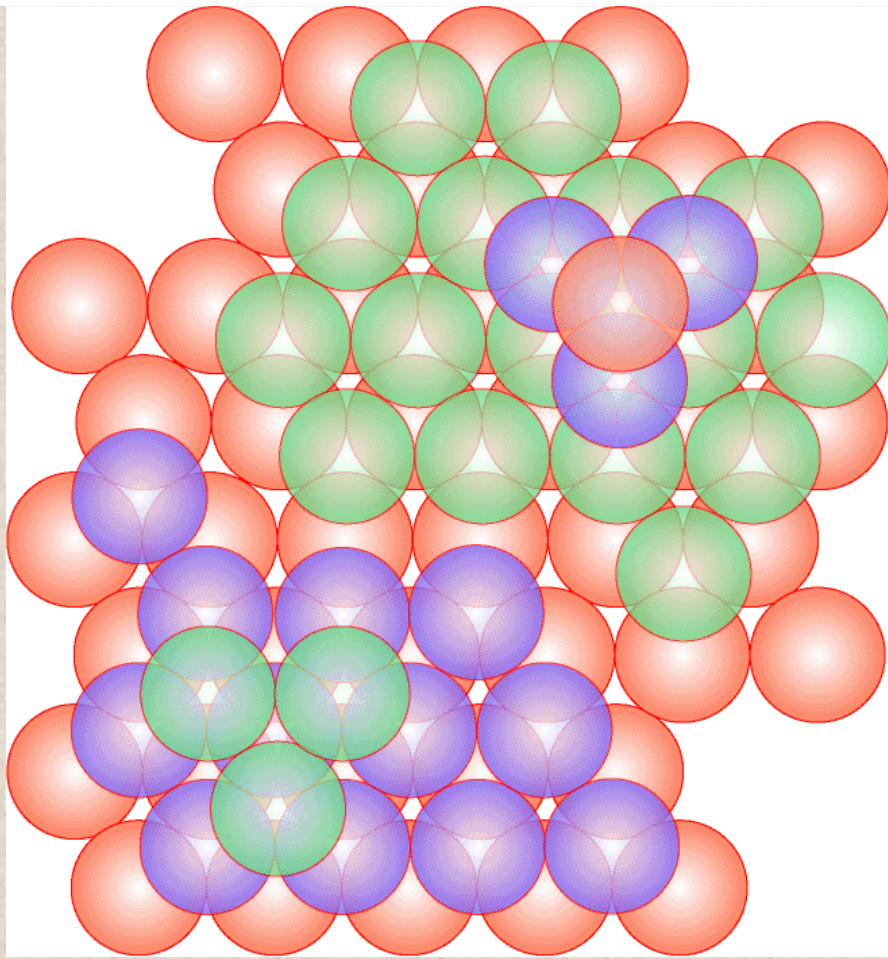


(c)

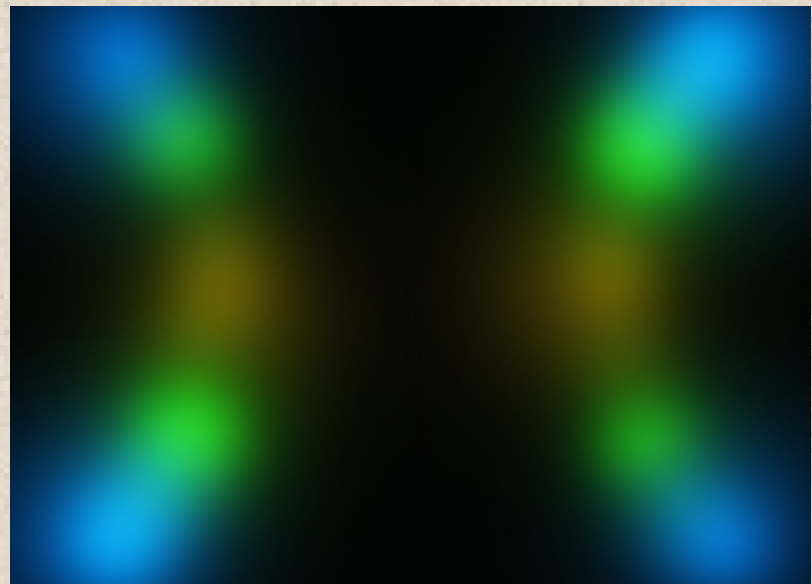
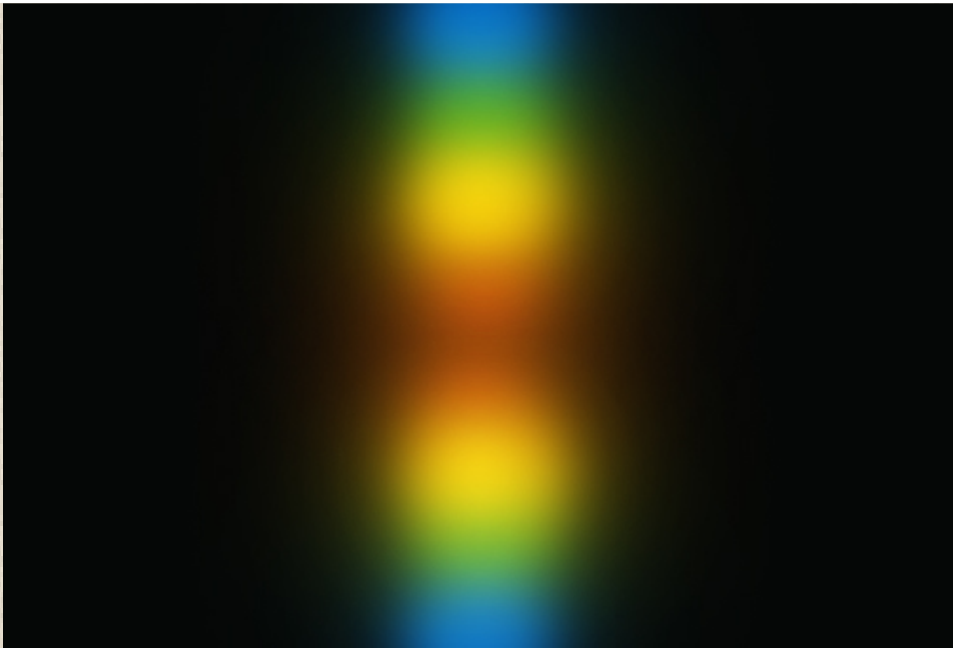




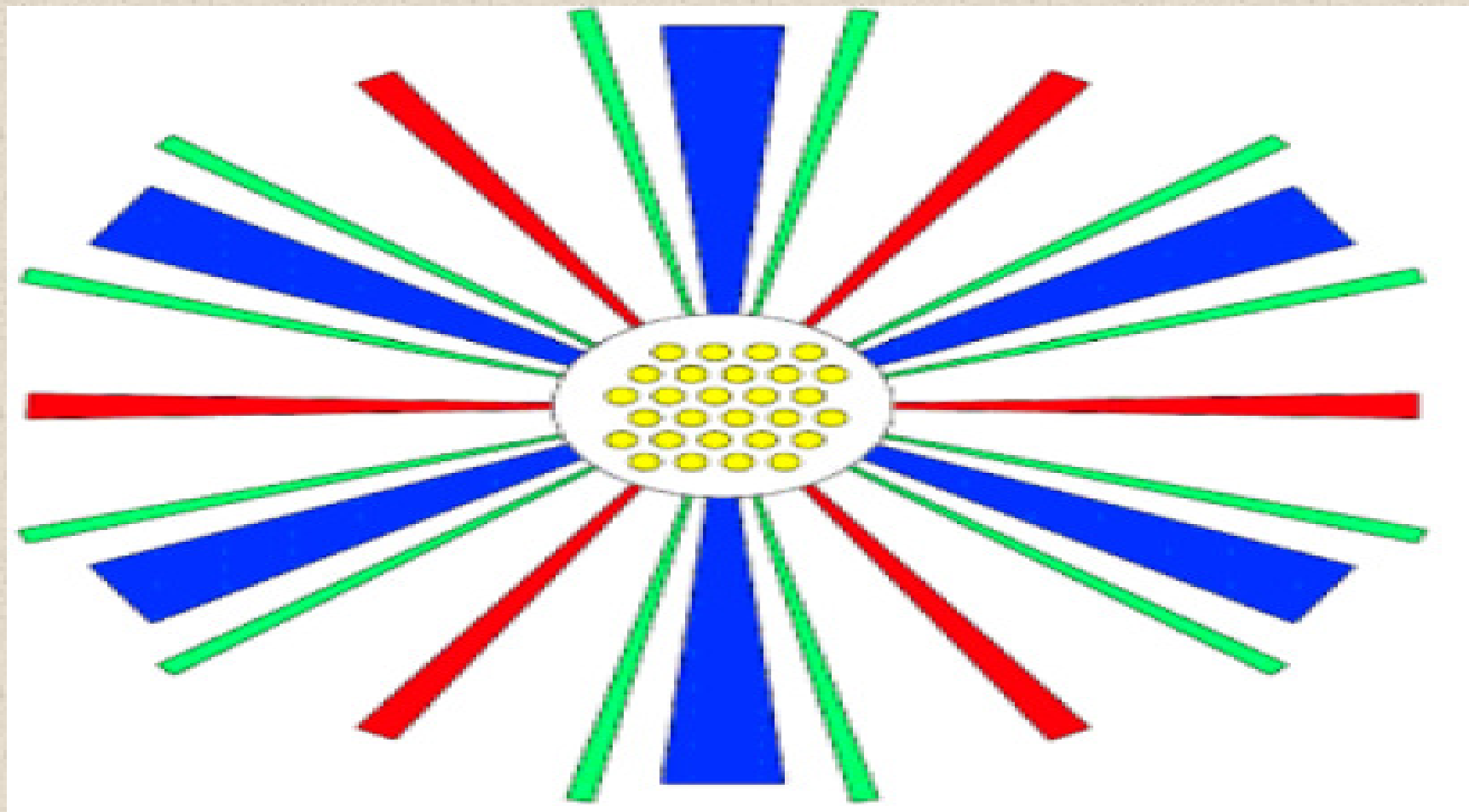




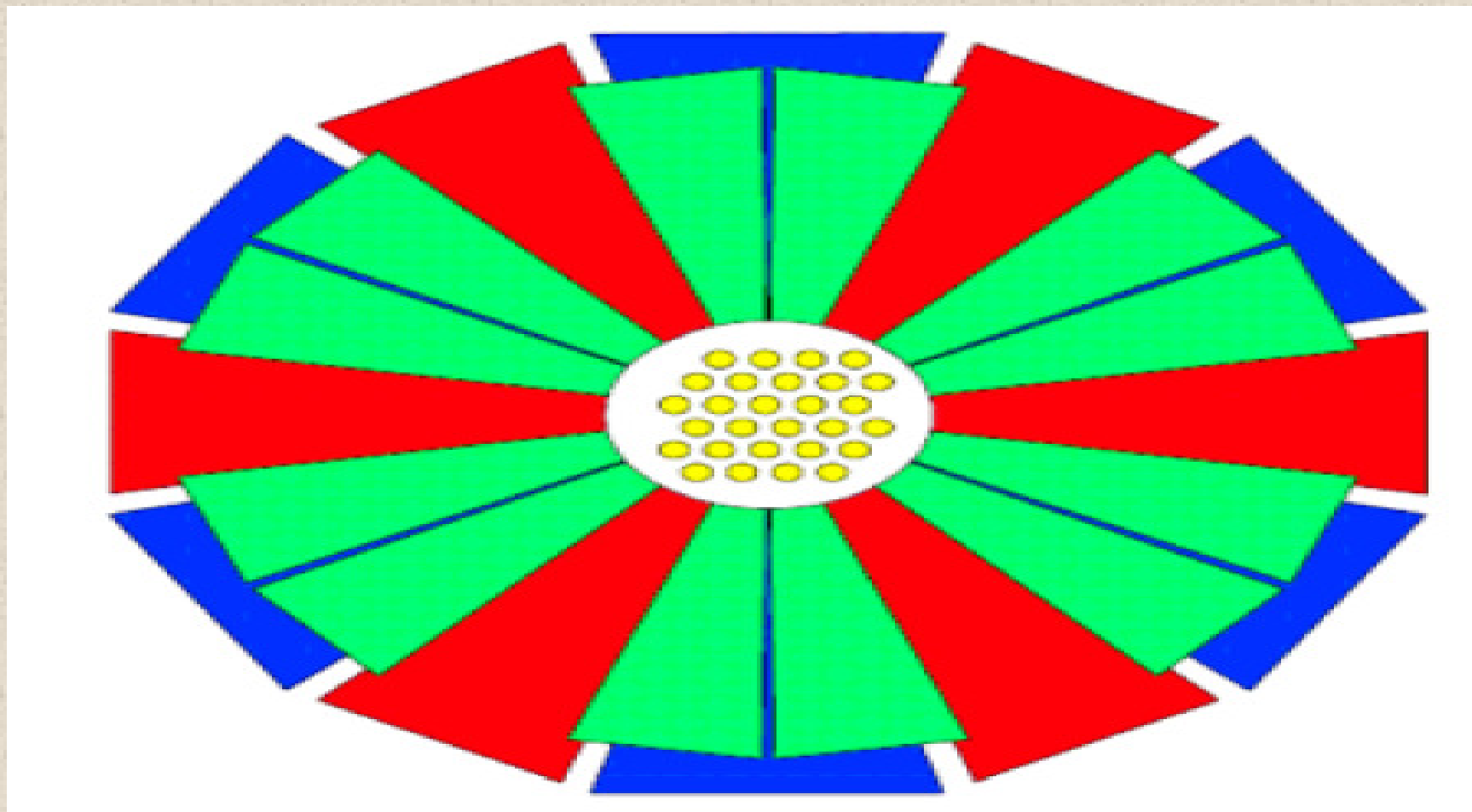




# Брэгговское отражение



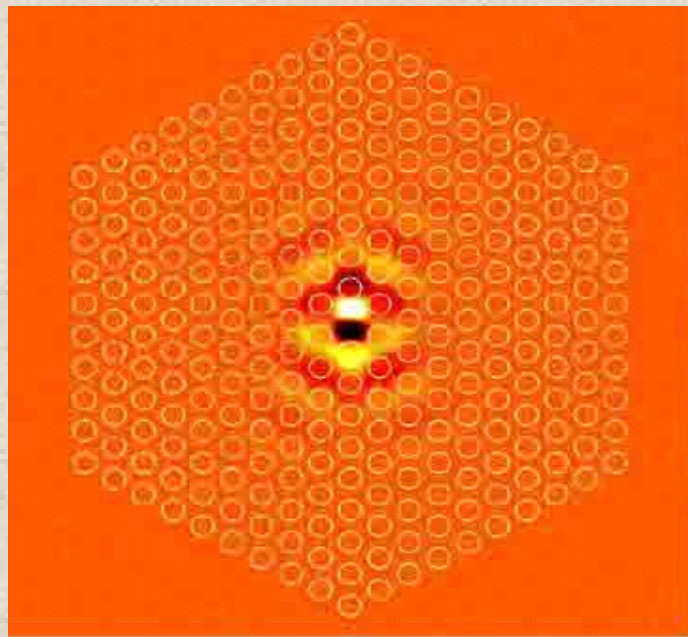
# Отражение в фотонном кристалле



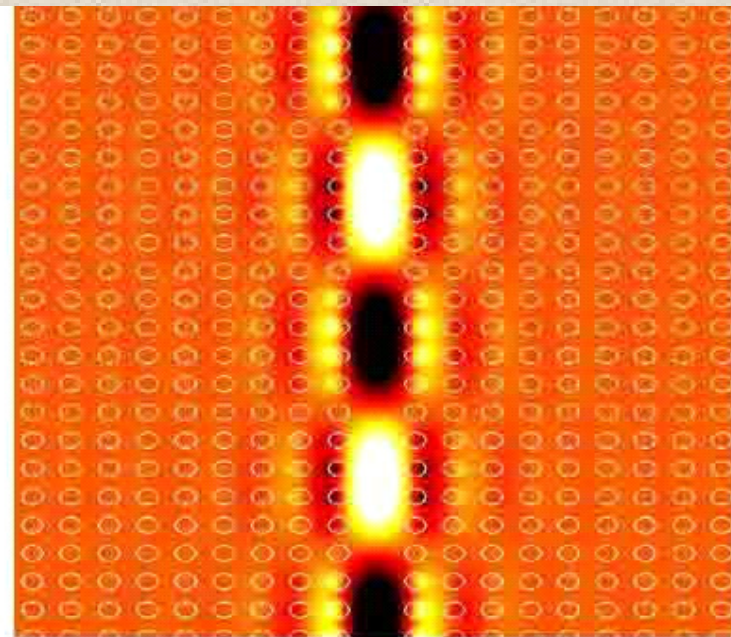


- Каждый набор плоскостей действует как зеркало в большом диапазоне углов, которые накладываются полностью. При этих обстоятельствах никакая радиация не может проникнуть в материал, который является фотонным изолятором.

- Сильная локализация света      Если дефекты введены РС, свет может быть "пойман в ловушку" в пределах дефекта

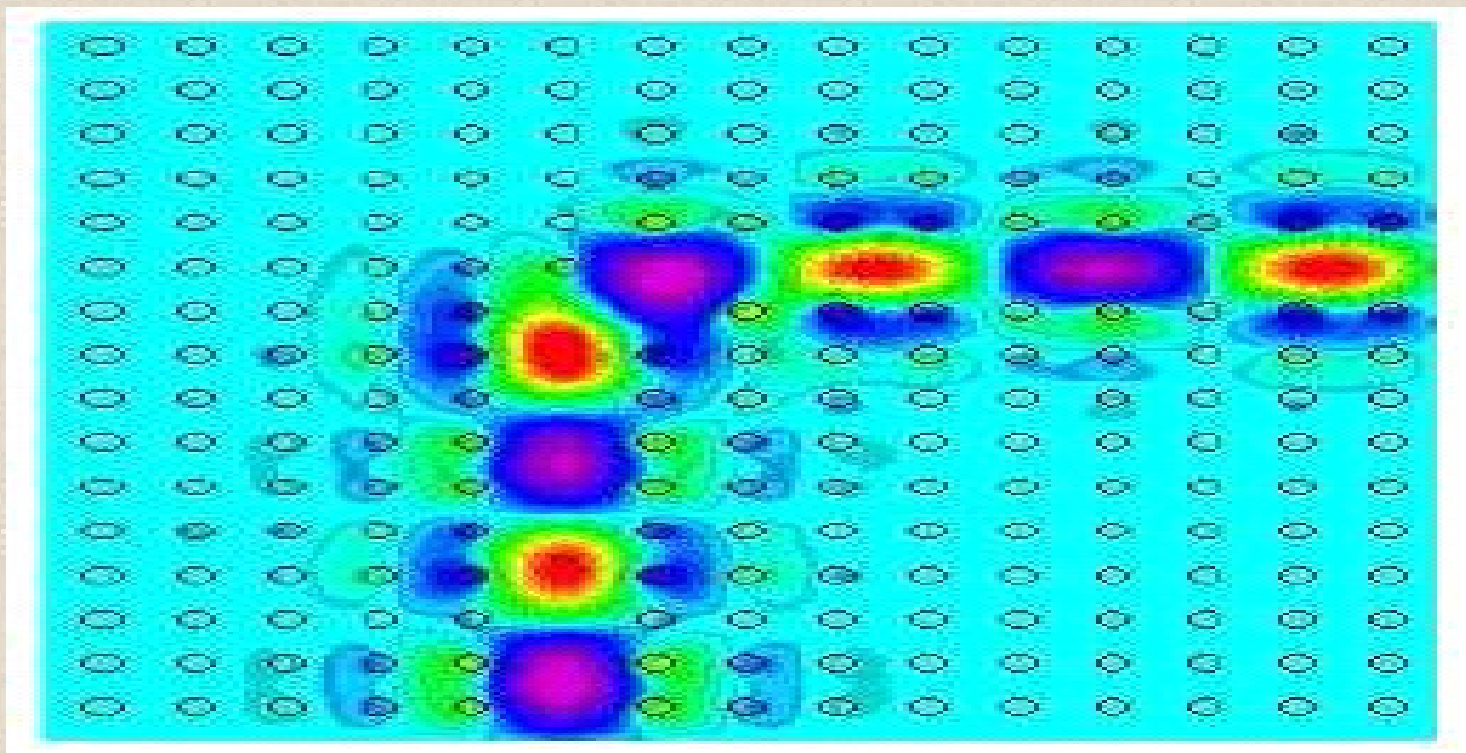


(a)

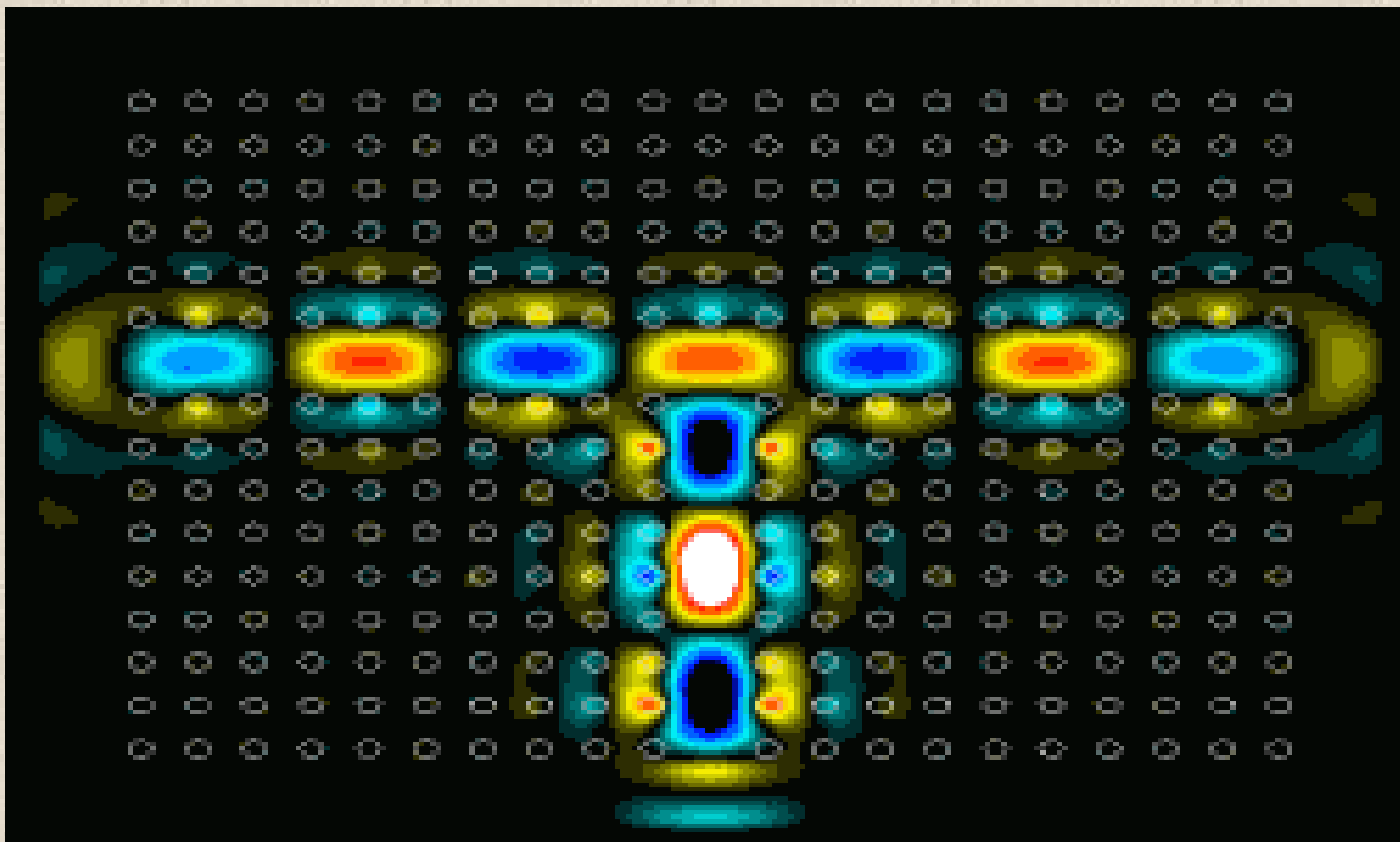


(b)

- Управление волной



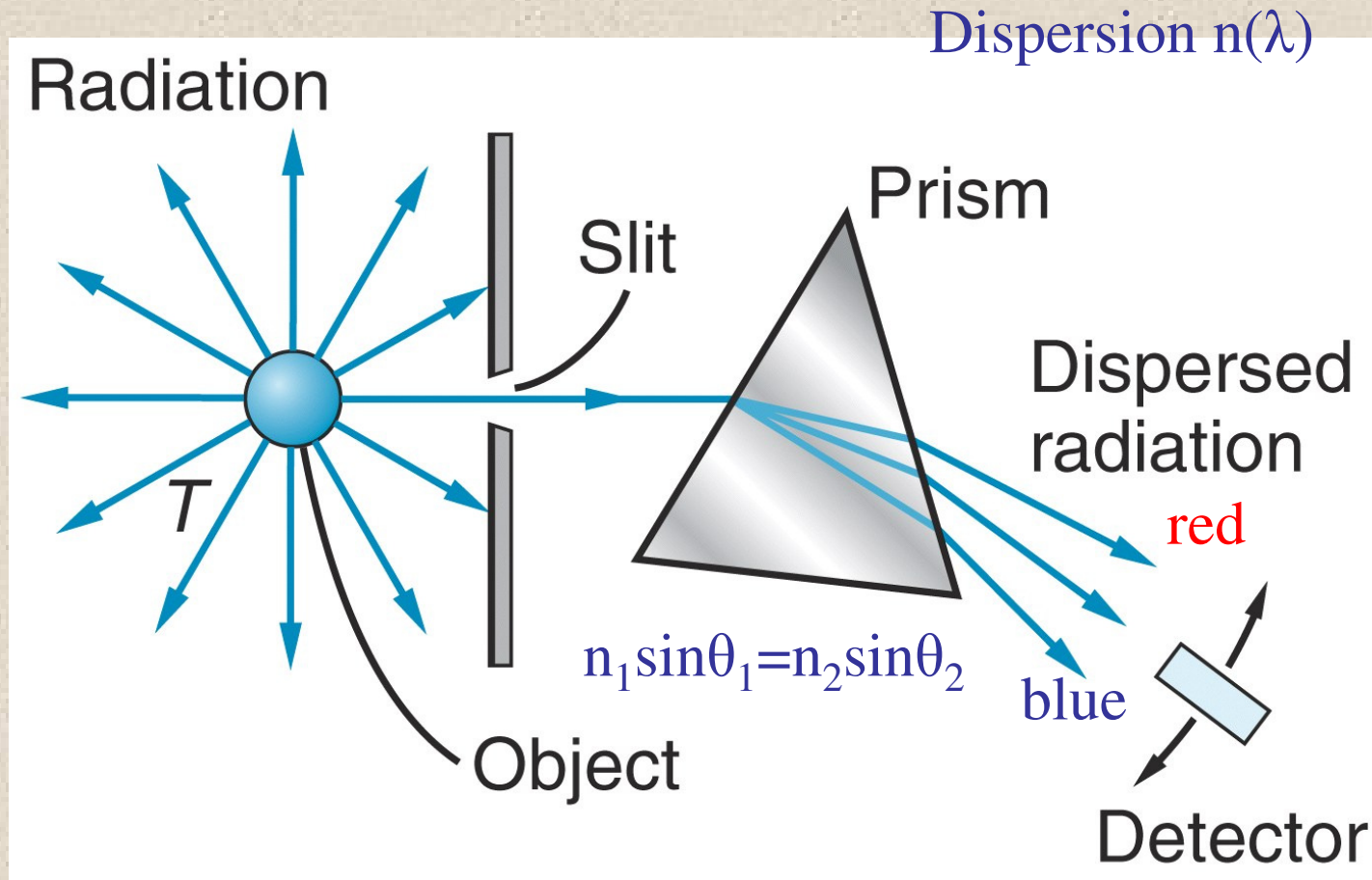
# Разделитель пучка света



# Глава 4. Дифракция света

- 4.9. Спектральный анализ световых полей. Спектроскопия с пространственным разложением спектров

# Optical Spectrum Analyzer



# призма

Оценка. Пусть  $\Delta l = 1 \text{ см}$ ,  $d = 0.5 \text{ см}$ ,  $\frac{dn}{d\lambda} = -10^5 \text{ м}^{-1}$ ,  $\lambda \cong 5000 \text{ \AA}$ ,

тогда:

$$\Delta\lambda \sim \lambda \cong 5000 \text{ \AA}, \delta\lambda = \frac{\lambda}{\Delta l \left| \frac{dn}{d\lambda} \right|} = \frac{5000}{10^{-2} \cdot 10^5} = 5 \text{ \AA},$$

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = \Delta l \left| \frac{dn}{d\lambda} \right| = 10^{-2} \cdot 10^5 = 10^3,$$

$$D_{\vartheta} = \frac{\Delta l}{d} \cdot \frac{dn}{d\lambda} = -\frac{1}{0.5} 10^5 = -2 \cdot 10^5 \text{ рад/м}.$$

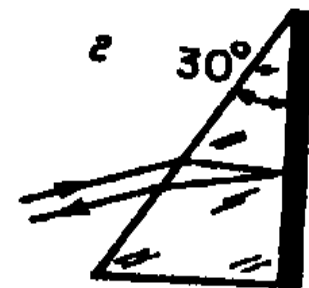
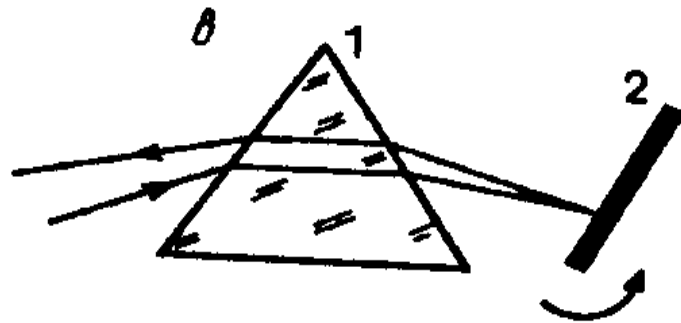
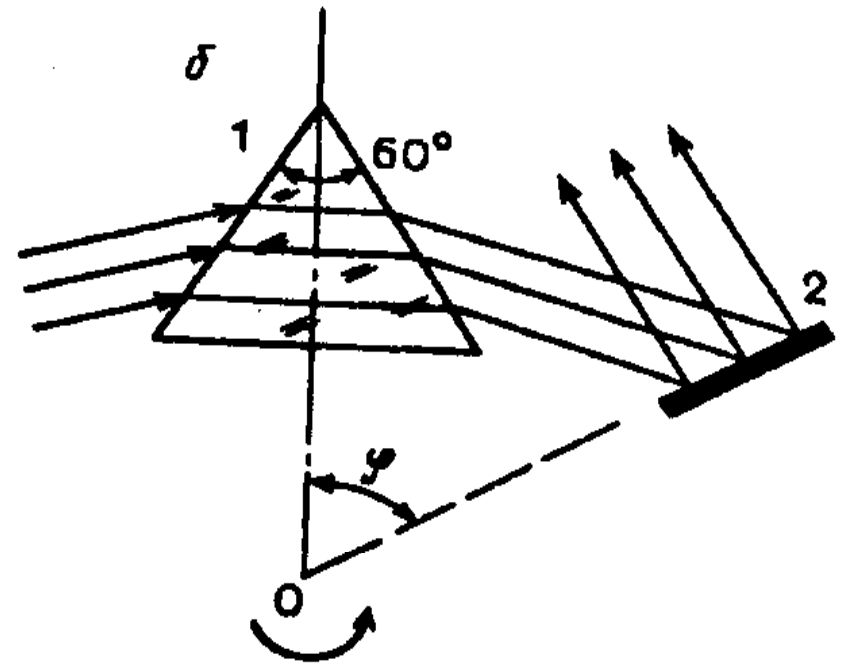
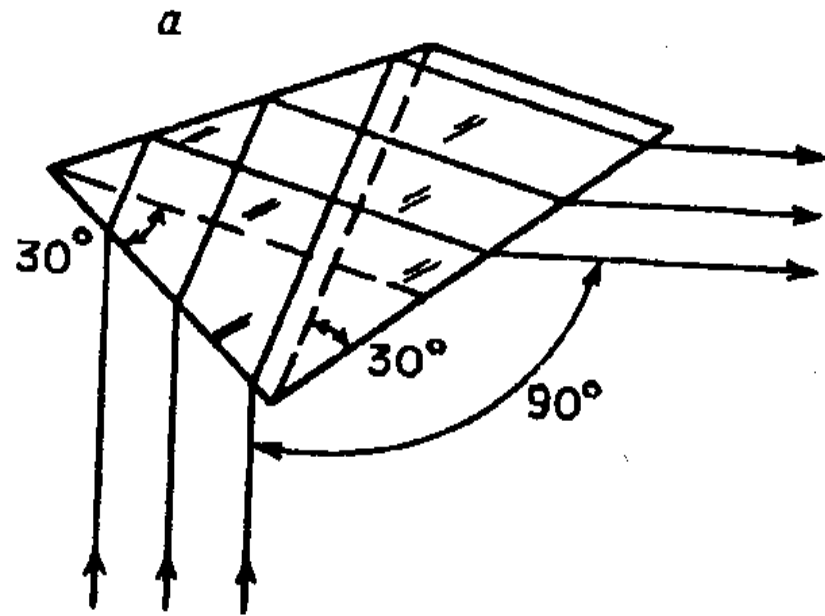
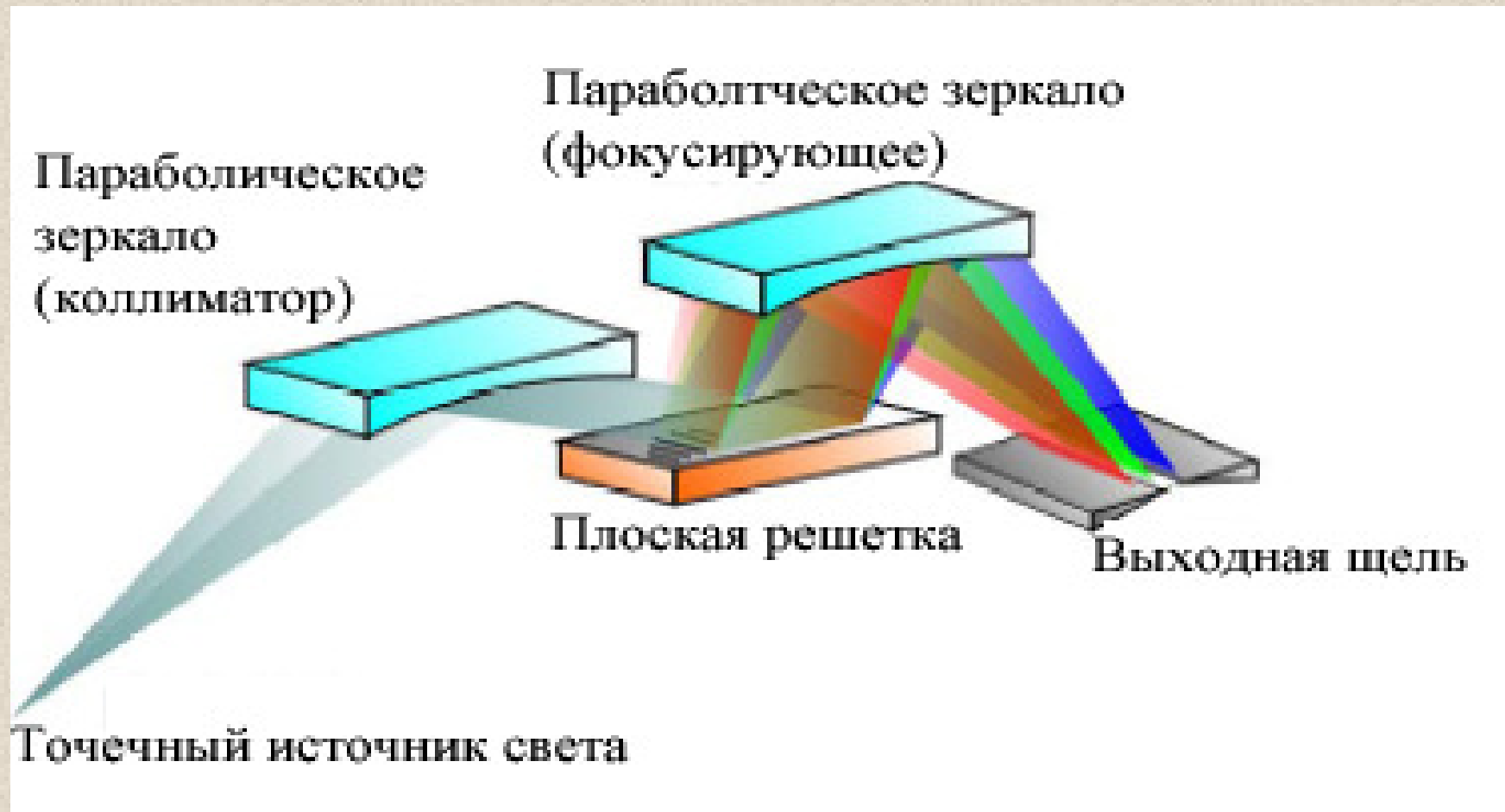
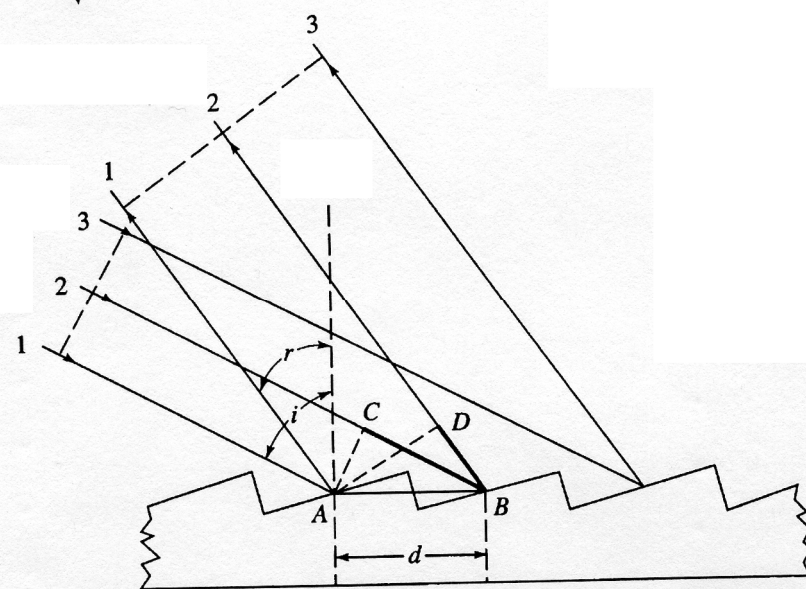
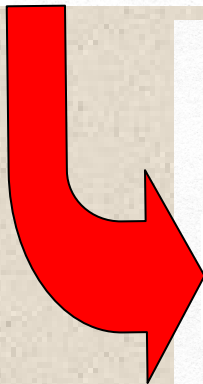
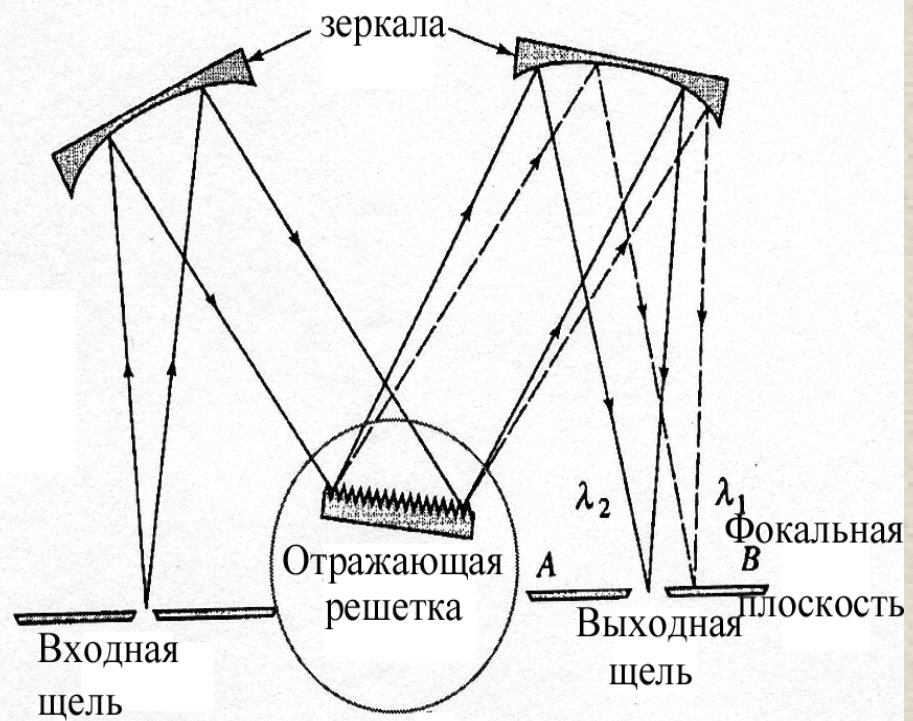


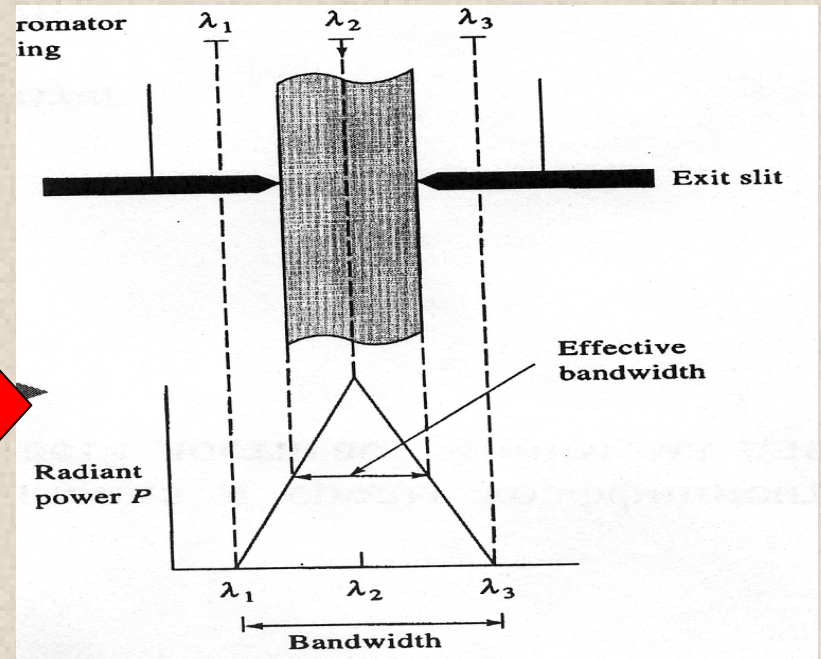
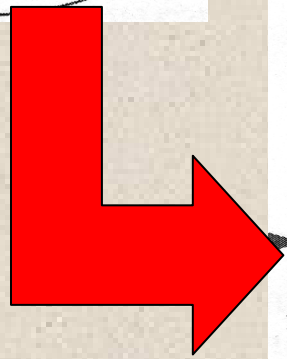
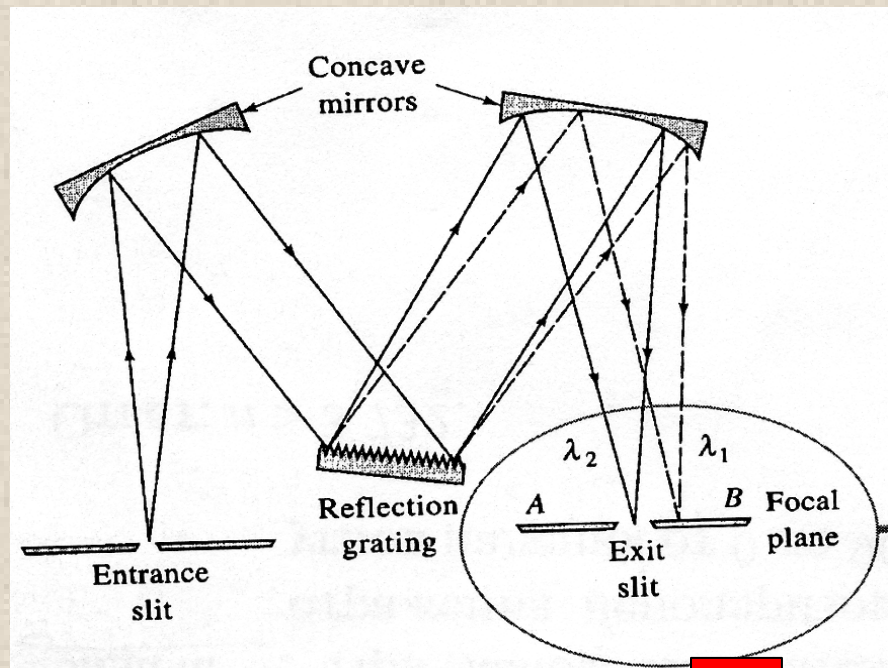
Рис. 2.28. Схемы диспергирующих частей различных призмных монохроматоров



# Решетка







фокусируется в плоскости выходов...

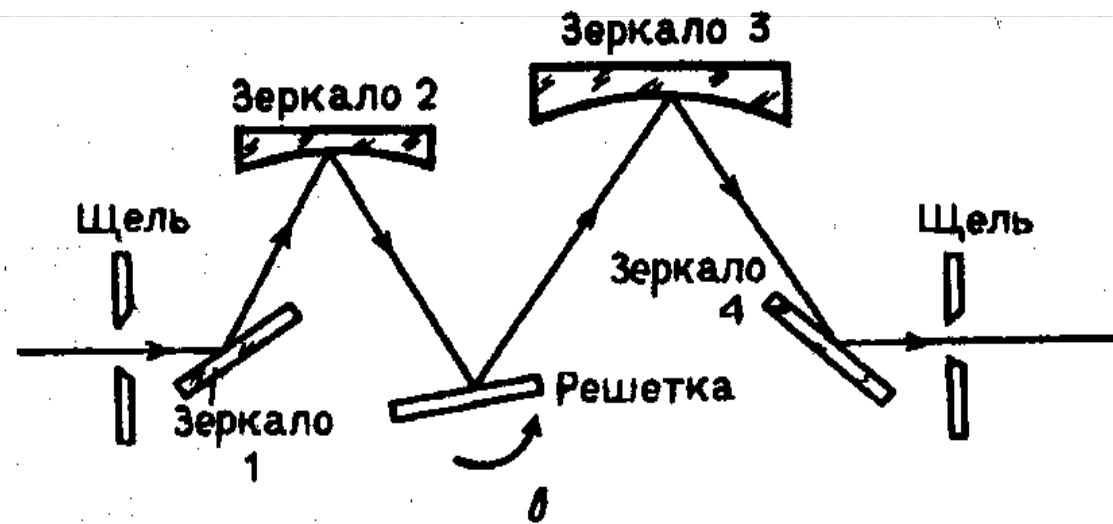
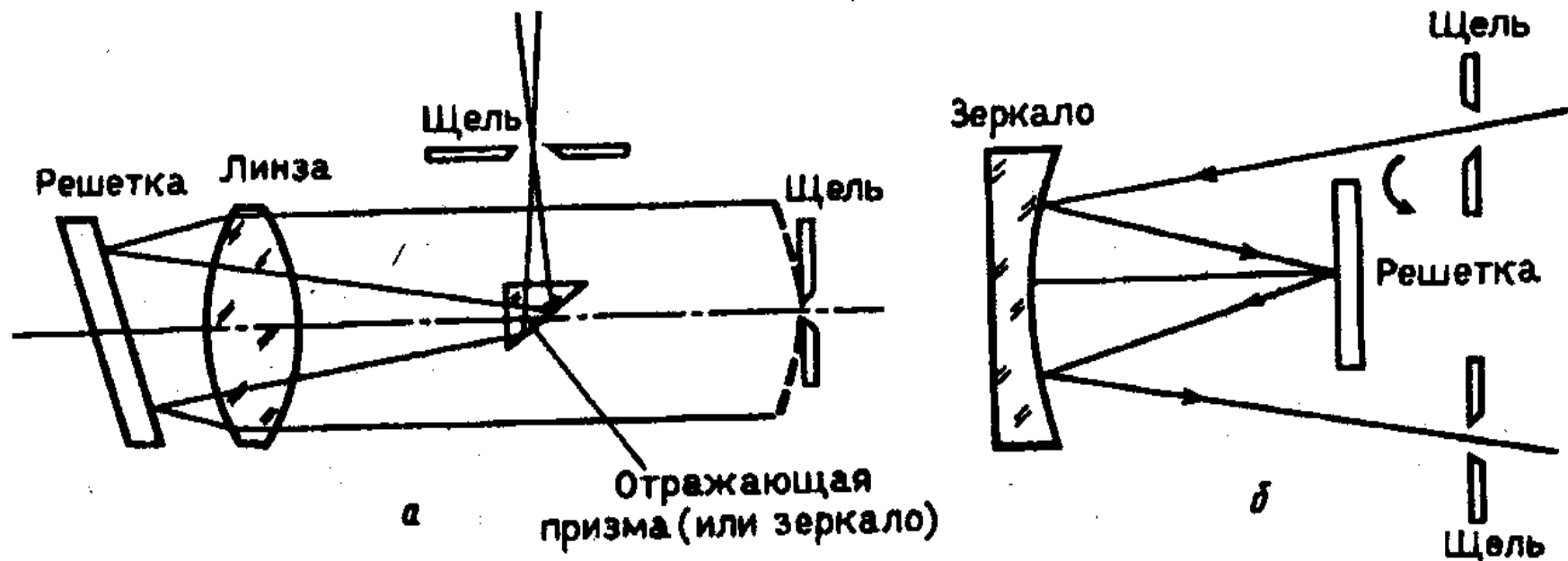
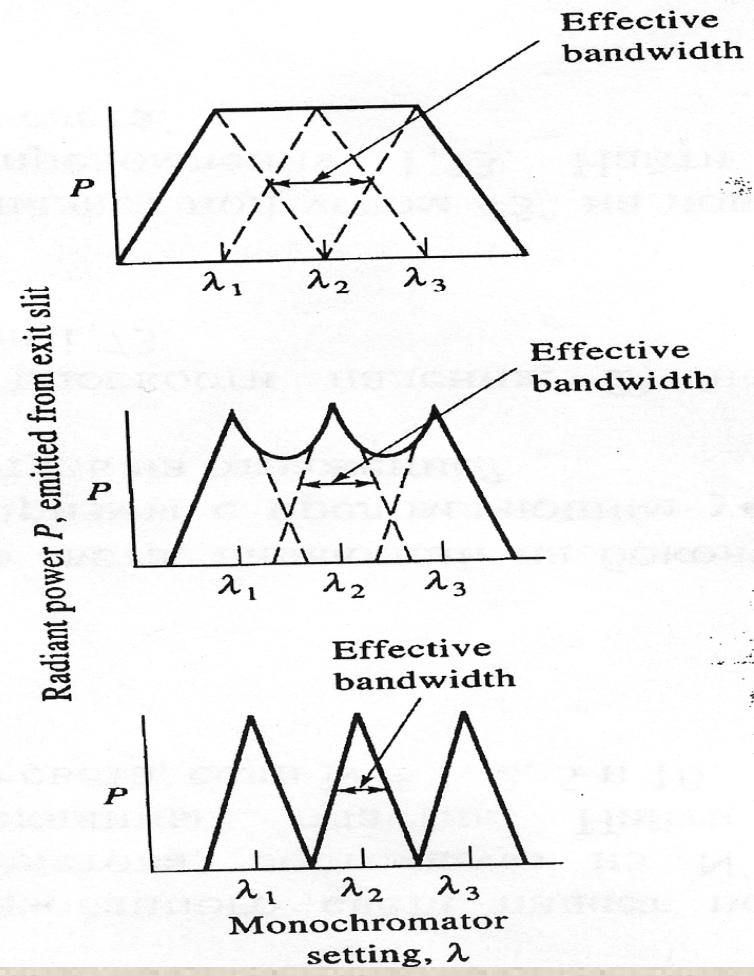
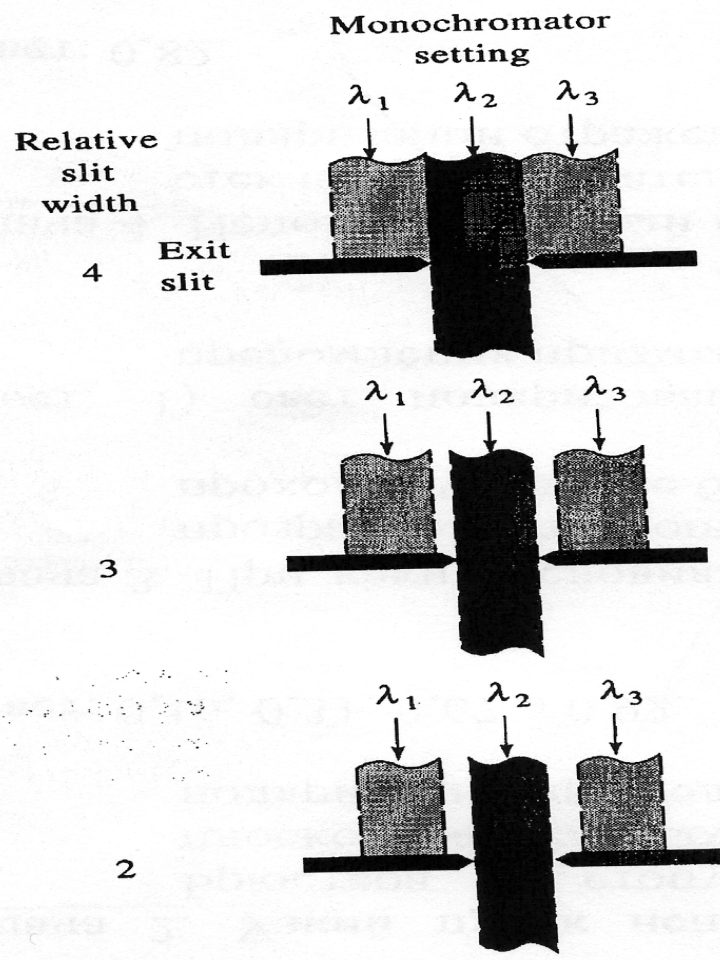
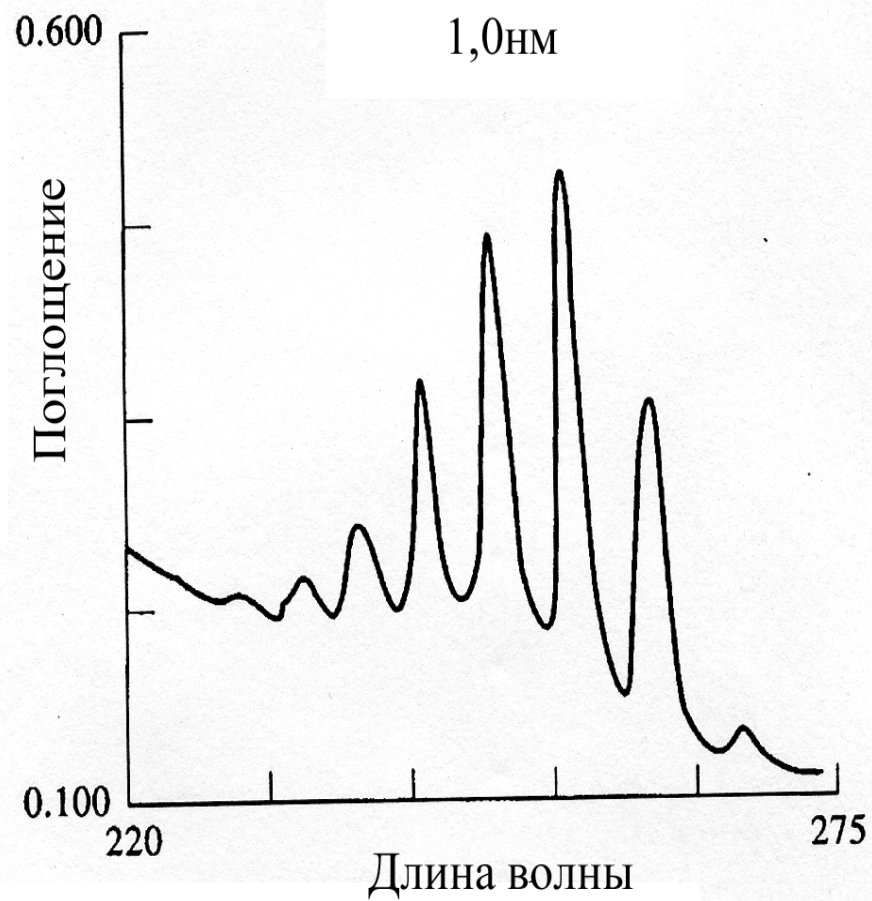
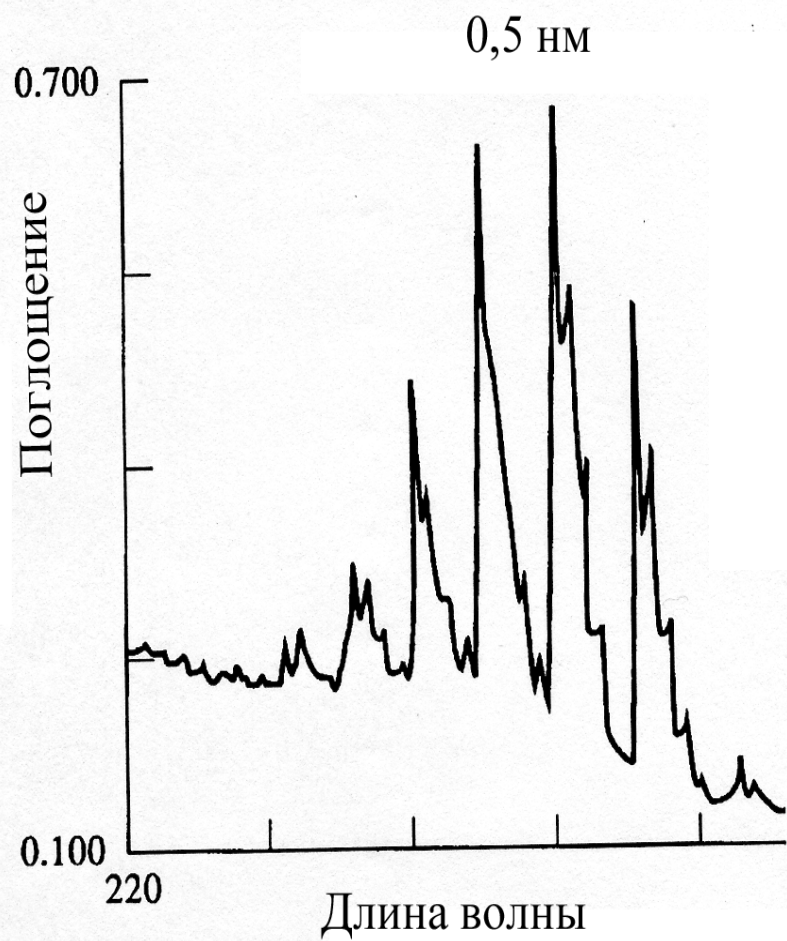


Рис. 2.29. Основные оптические схемы дифракционных монохроматоров: Литтрова (а), Фасти—Эберта (б) и Черни—Турнера (в)







# Дифракционная решетка

Оценка. Пусть ширина дифракционной решетки  $L = 10$  см, плотность штрихов на единицу ширины  $n = 10^4$  см<sup>-1</sup>, используемый порядок дифракции  $m = 3$ , тогда:

$$N = Ln = 10^5, d = \frac{L}{N} = \frac{1}{n} = 10^{-4} \text{ см},$$

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda}{m} \cong \frac{5 \cdot 10^3}{3} \cong 1700 \text{ \AA},$$

$$\delta\lambda = \frac{\lambda}{Nm} \cong \frac{5 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^5} = 0.017 \text{ \AA}, R = Nm = 3 \cdot 10^5,$$

$$D_{\vartheta} = \frac{m}{d \cos \vartheta} \cong \frac{m}{d} \cong \frac{3}{10^{-4} \cdot 10^{-2}} = 3 \cdot 10^6 \text{ рад/м}.$$

# ИФП

Оценка. Пусть  $d = 2.5$  см и  $R = 0.9$ , тогда:

$$m \cong \frac{2d}{\lambda} = \frac{2 \cdot 2.5 \cdot 10^{-2}}{0.5 \cdot 10^{-6}} = 10^5, \quad \Delta\lambda = \frac{\lambda}{m} \cong \frac{5 \cdot 10^3}{10^5} \cong 0.05 \text{ \AA},$$

$$\delta\lambda = \frac{\lambda}{m} \cdot \frac{1-R}{2\pi\sqrt{R}} = \frac{5 \cdot 10^3}{10^5} \cdot \frac{0.1}{6.28 \cdot \sqrt{0.9}} \cong 0.0008 \text{ \AA},$$

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = m \frac{2\pi\sqrt{R}}{1-R} \cong \frac{5 \cdot 10^3}{8 \cdot 10^{-4}} \cong 6 \cdot 10^6, \quad D_{\vartheta} = -\frac{m}{2d \sin \vartheta} \cong -\frac{10^5}{2 \cdot 0.025 \cdot 10^{-1}} \cong -2 \cdot 10^7.$$



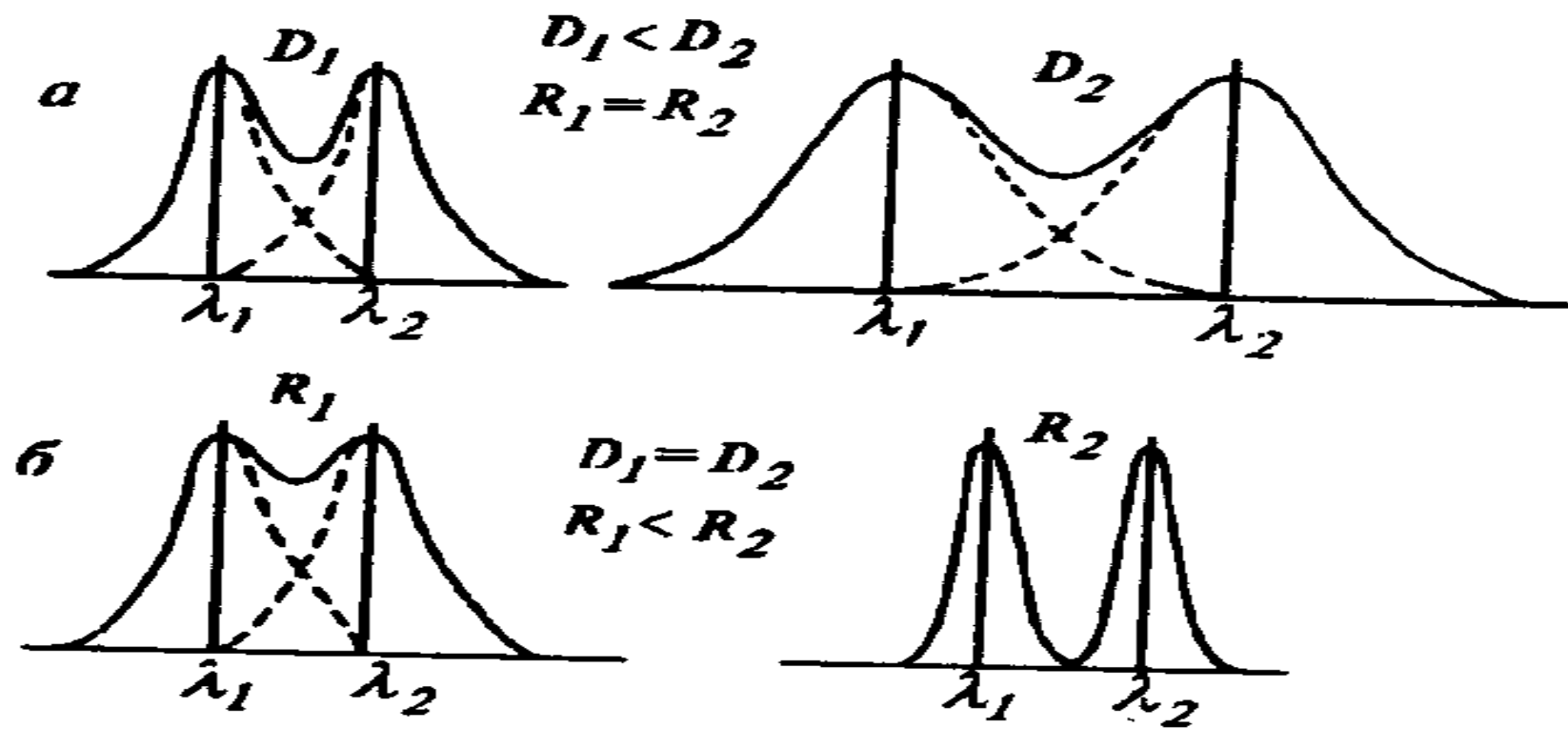
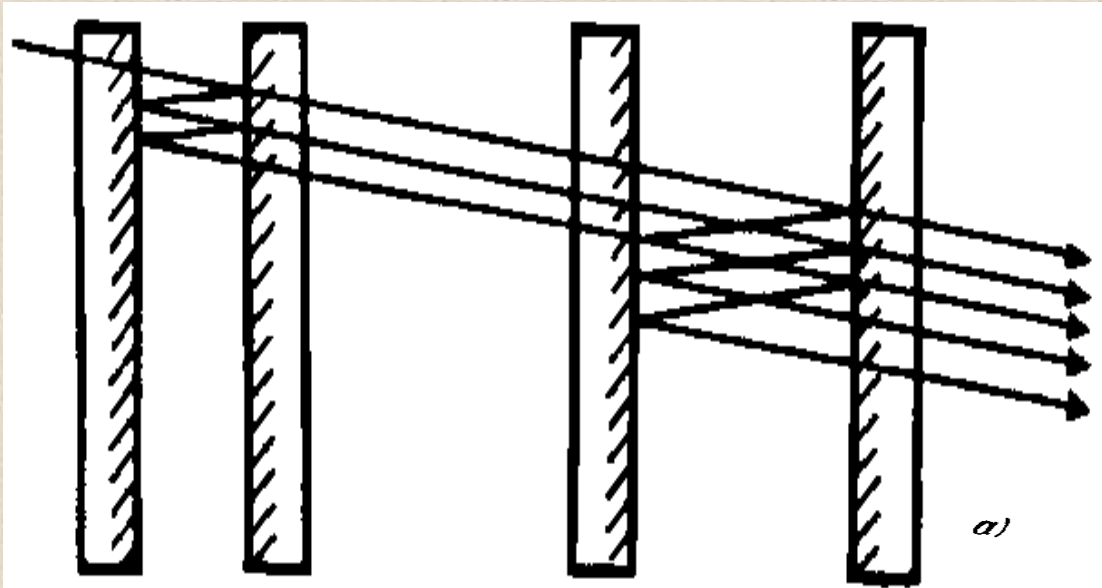


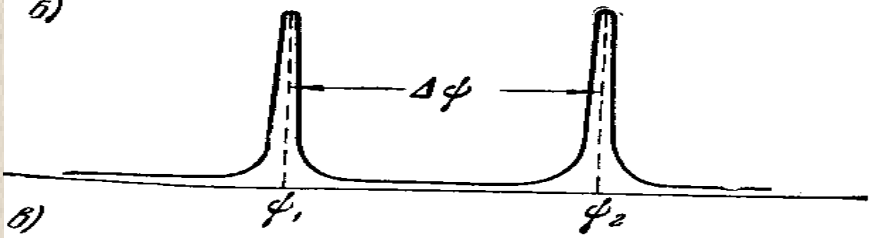
Рис. 2.27. Схематическое изображение двух спектральных линий при одинаковом разрешении  $R_1 = R_2$  ( $D_1 < D_2$ ) (а) и одинаковой дисперсии  $D_1 = D_2$  ( $R_1 < R_2$ ) (б)



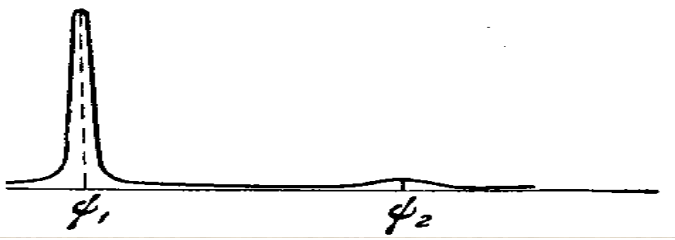
a)

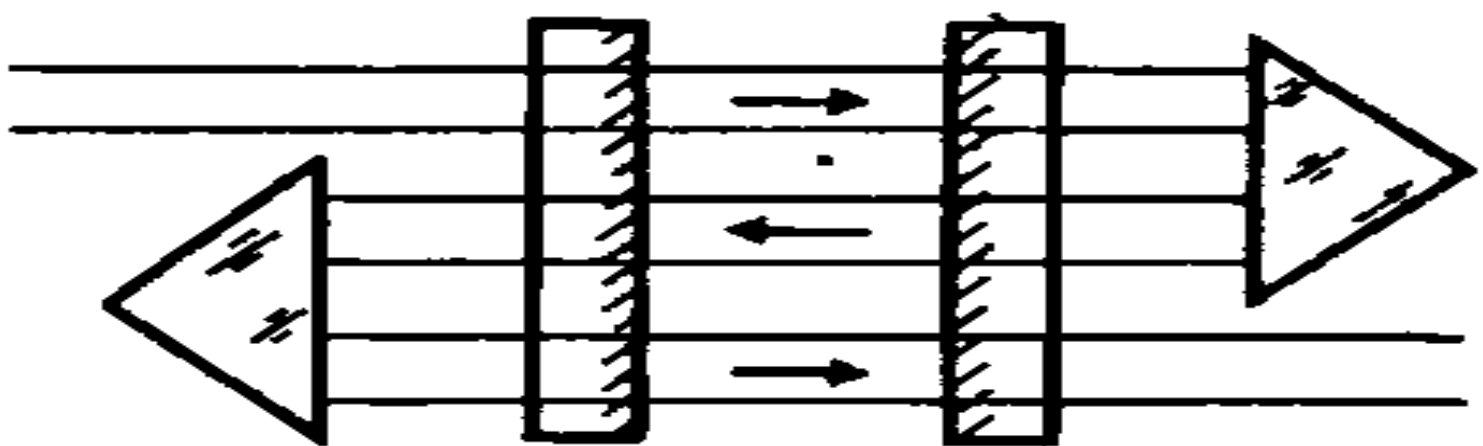


b)

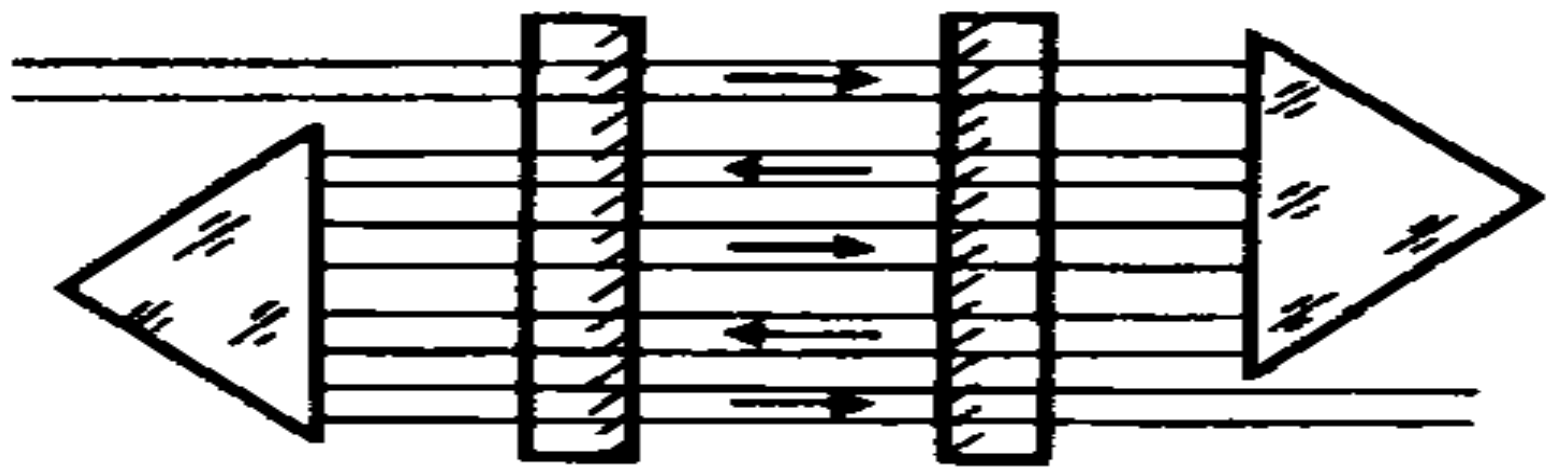


c)

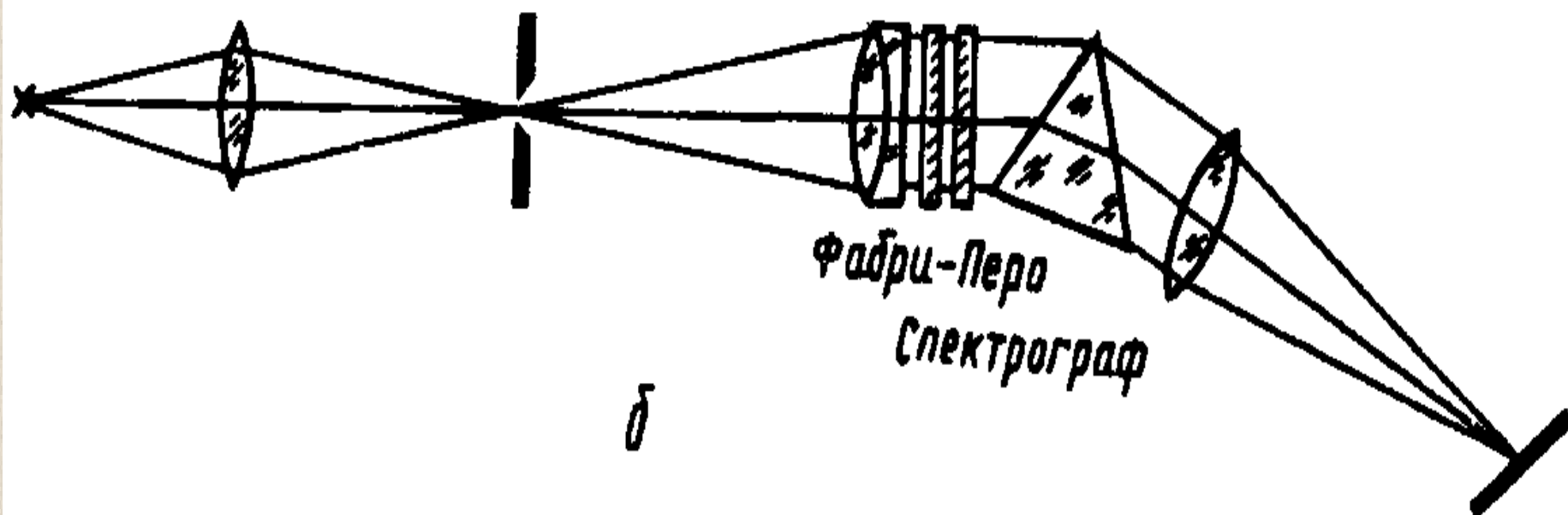
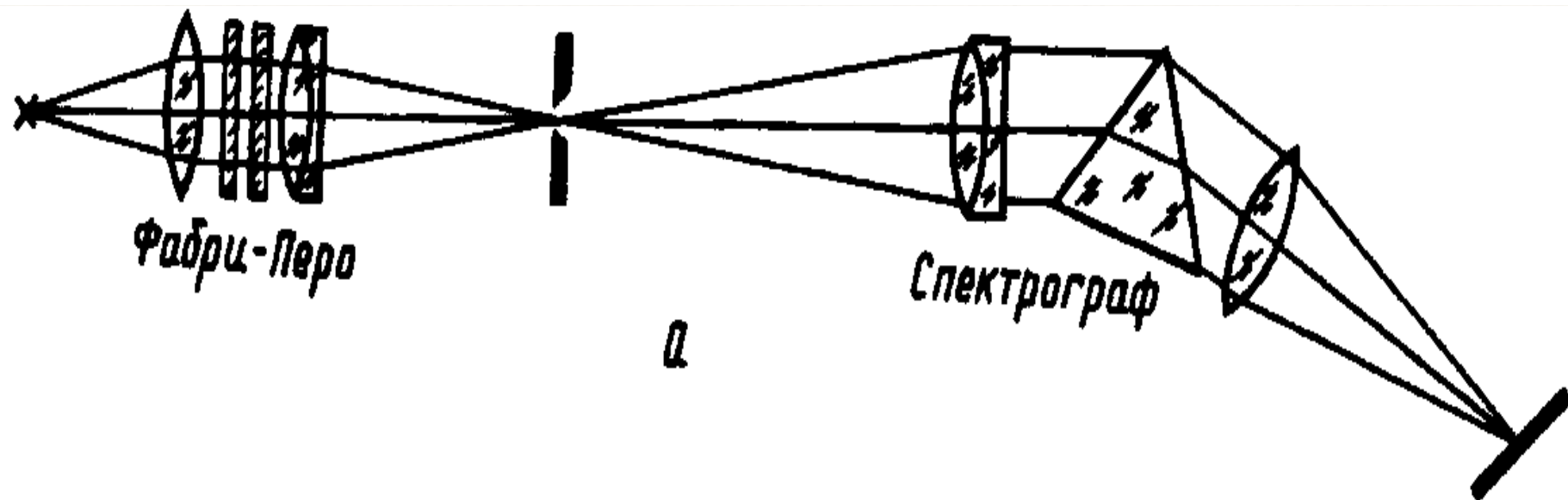




0



2



	<b>m</b>	<b>N</b>	<b>G</b>	<b>R</b>
<b>Призма</b>	<b>0</b>	$\infty$	$\infty$	$10^3$
<b>Диф. решетка</b>	<b>2-3</b>	$10^5$	<b>250- 150нм</b>	$2 \cdot 10^5$
<b>ИФП</b>	$10^3 -$ $10^6$	<b>20-200</b>	<b>0,1- 0,001нм</b>	$2 \cdot 10^4 -$ $2 \cdot 10^8$

# Глава 4. Дифракция света

- 4.10. Преобразование и синтез световых полей. Понятие о дифракционной теории формирования изображений.

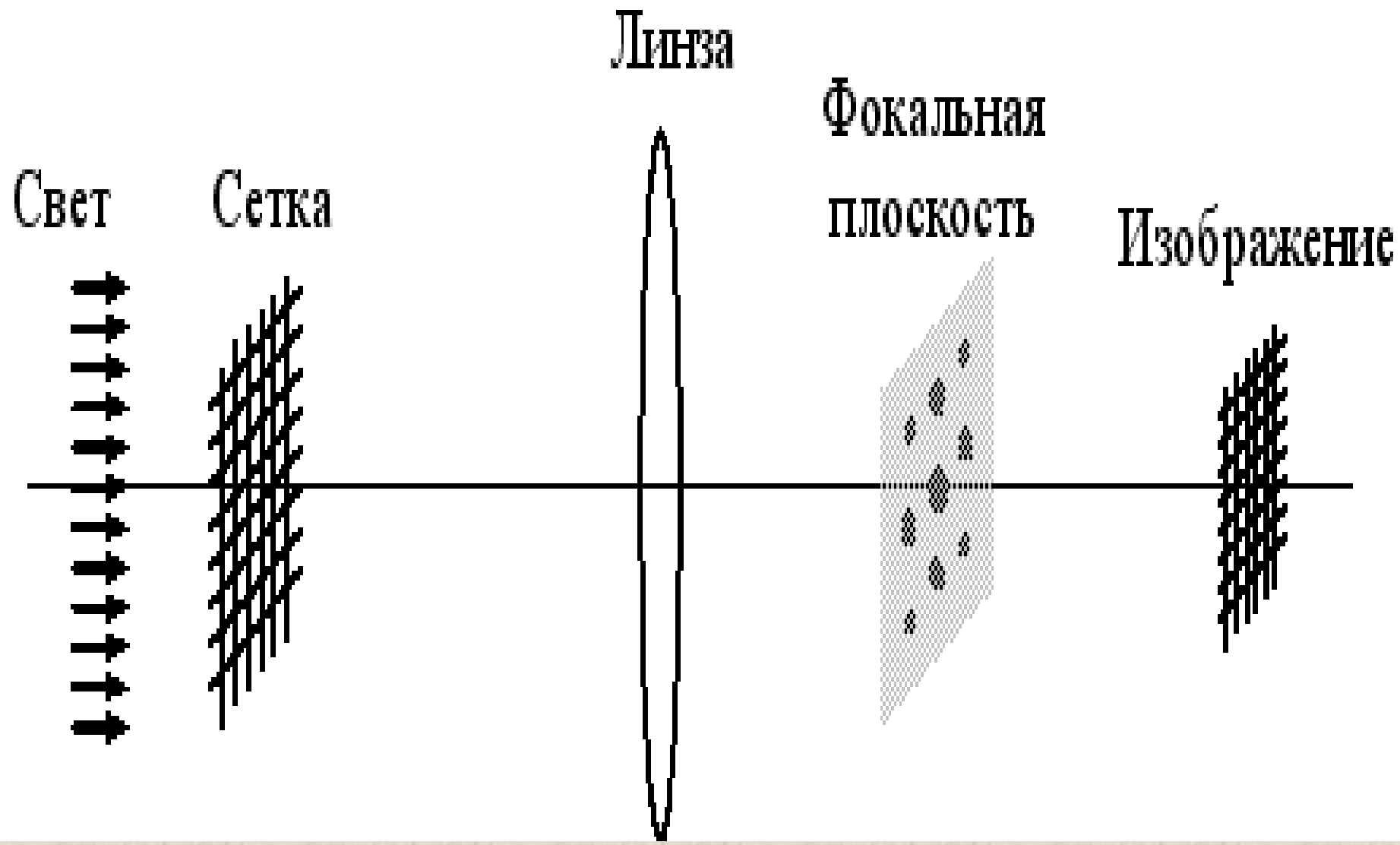


Если модифицировать  
дифракционную картину,  
можно изменить  
изображение  
**Пространственная  
фильтрация**

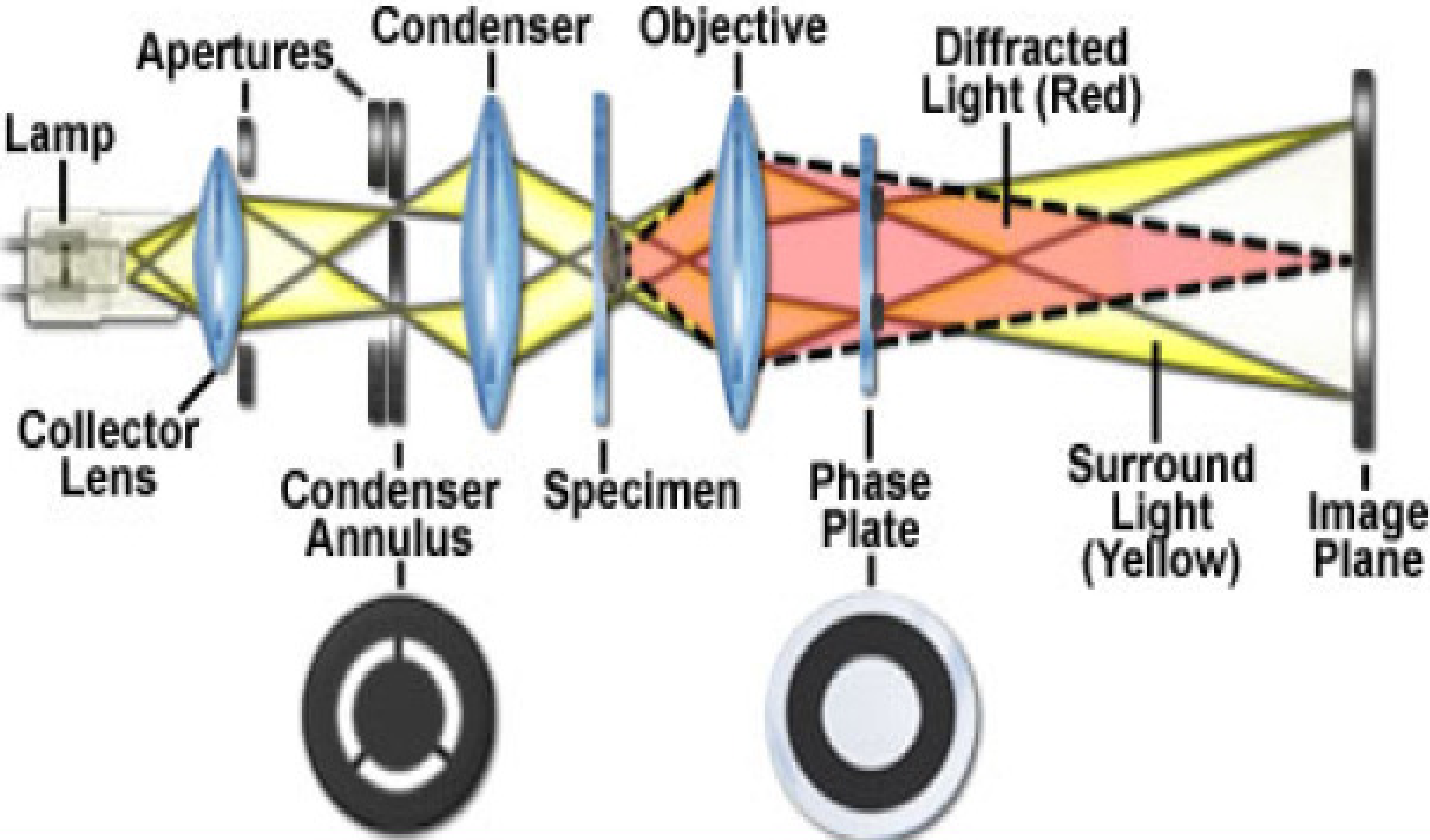
Фурье анализ волнового поля объекта  
(образуется распределение поля,  
пропорциональное фурье образу  
источника – первичное изображение  
или спектр (математически  
преобразование Фурье)

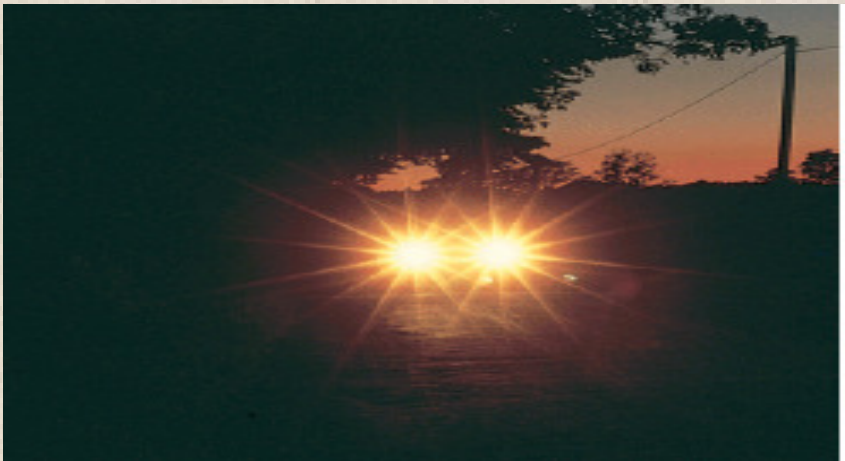


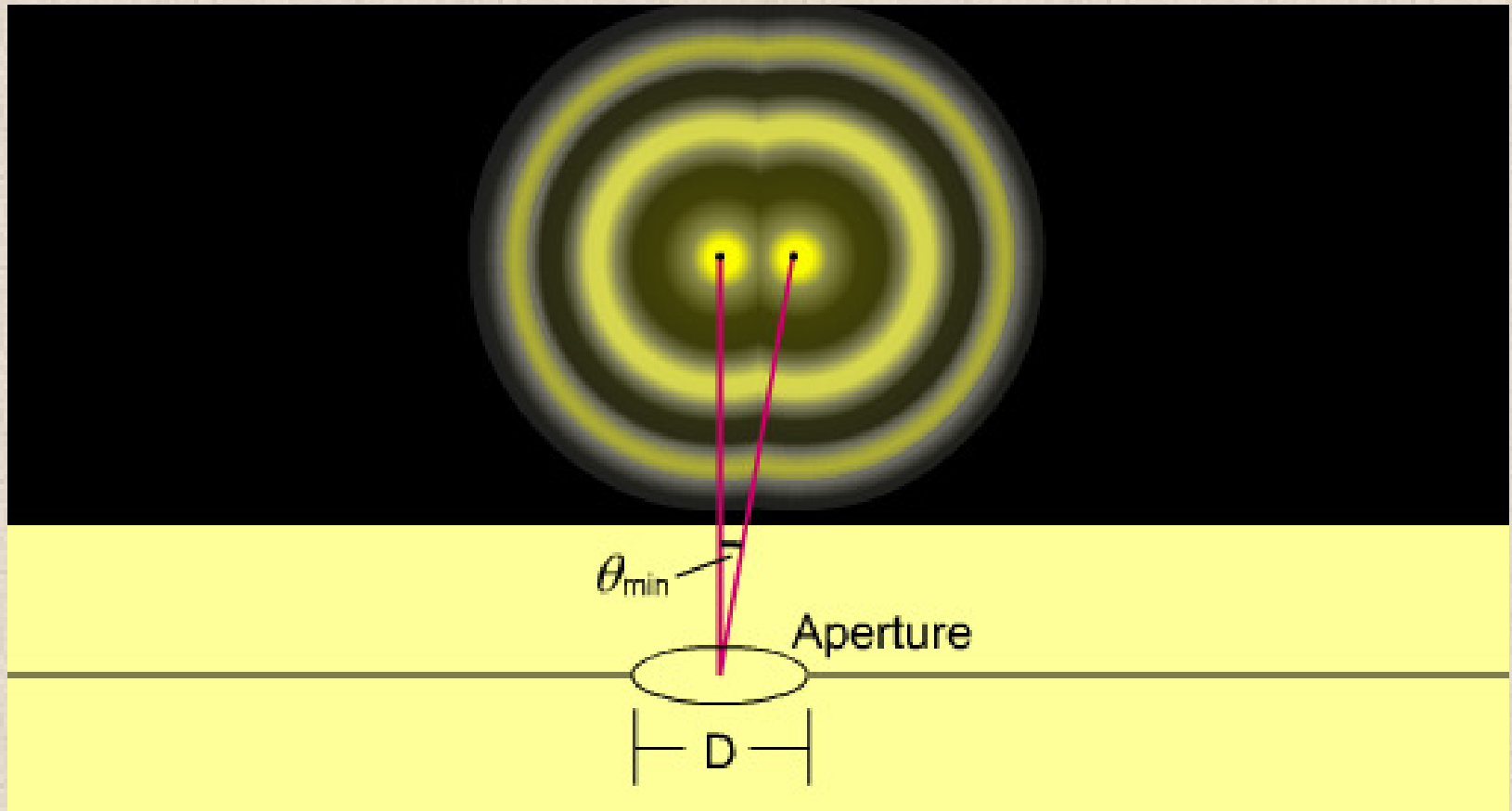
Фурье синтез изображения  
( математически преобразование  
Фурье)

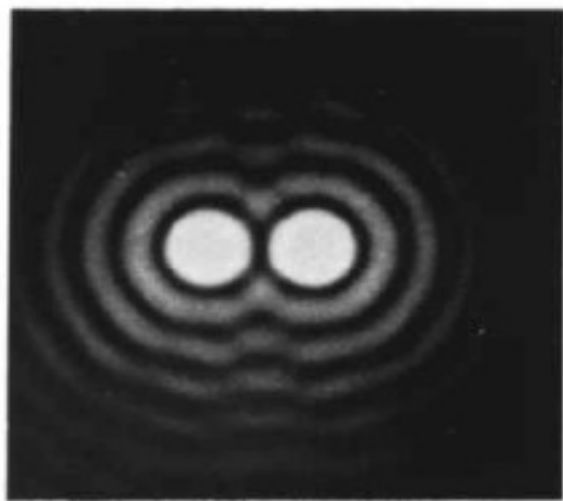
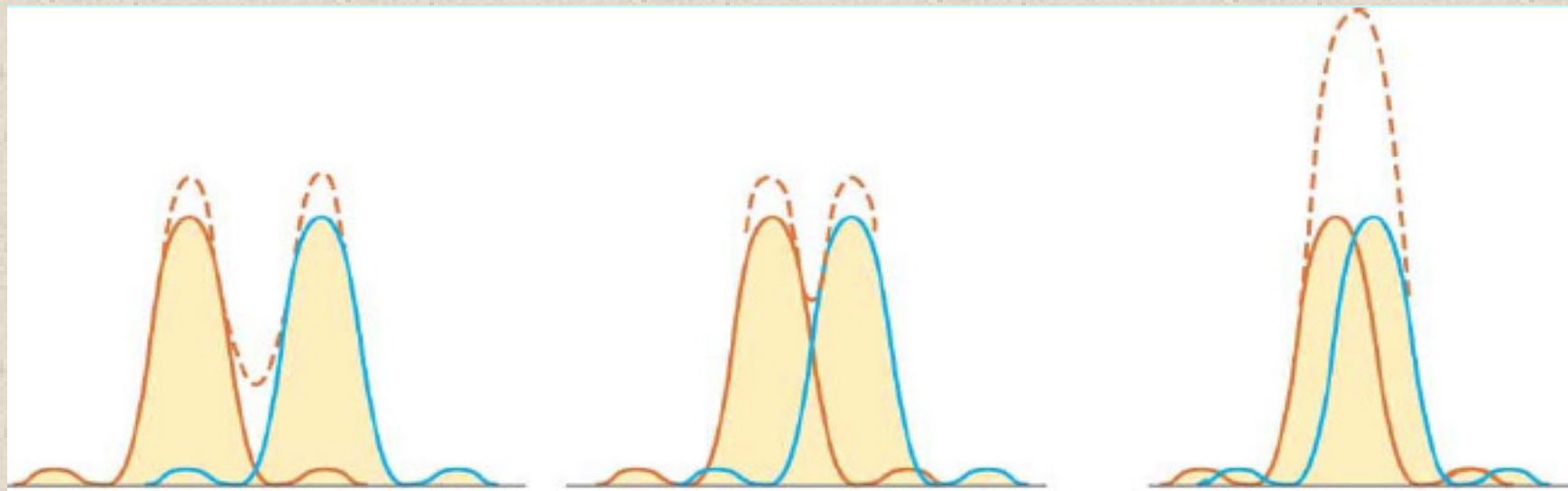


# Phase Contrast Microscope Optical Train

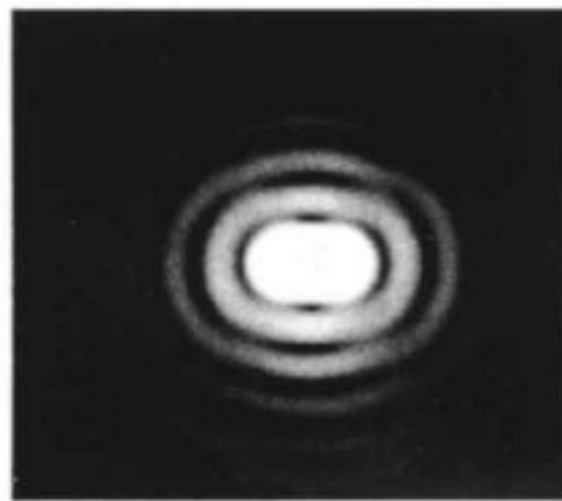








(a)

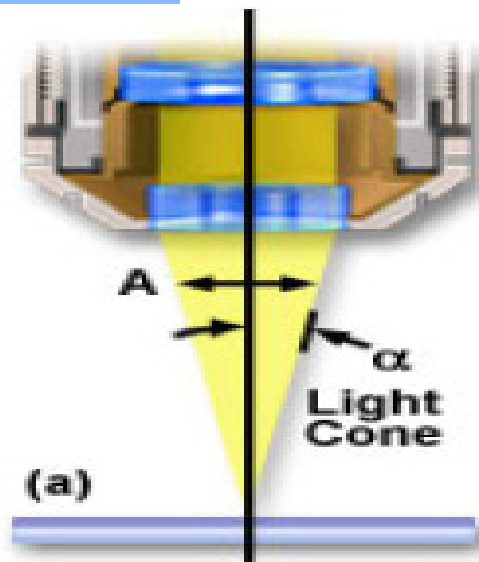
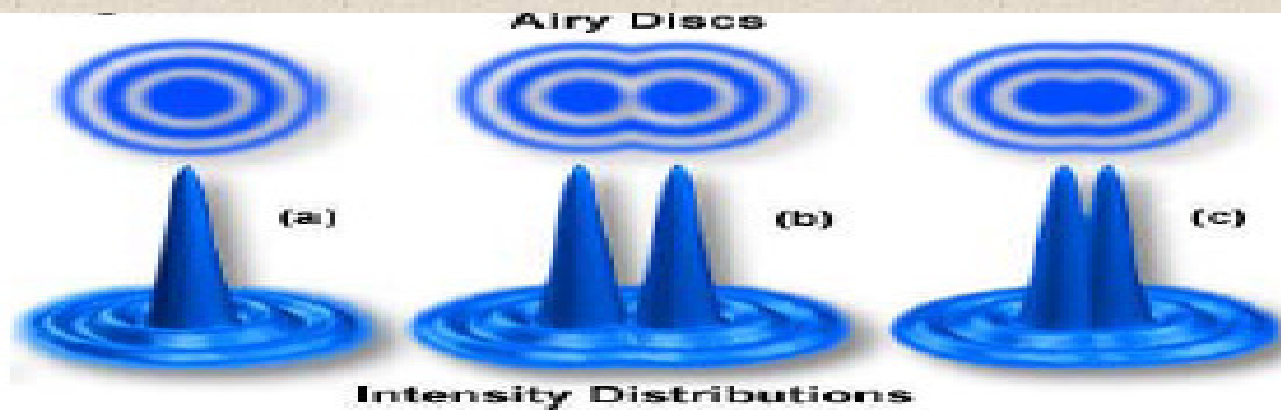


(b)



(c)





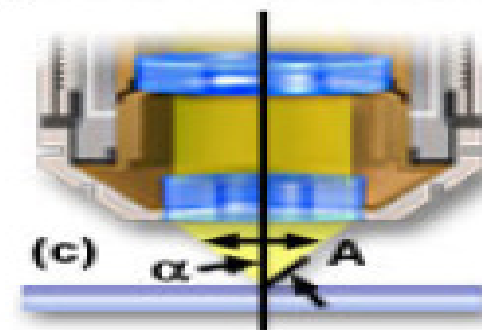
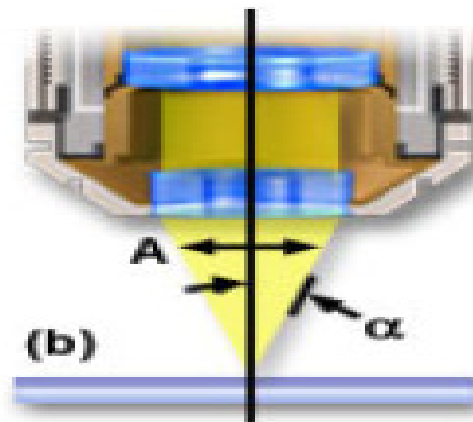
### Numerical Aperture

$$NA = n \cdot \sin(\alpha)$$

(a)  $\alpha = 7^\circ$  NA = 0.12

(b)  $\alpha = 20^\circ$  NA = 0.34

(c)  $\alpha = 60^\circ$  NA = 0.87



**Figure 1**

Дальнее поле

Разрешение  $\lambda/2$



Размер отверстия  $a > \lambda/2$

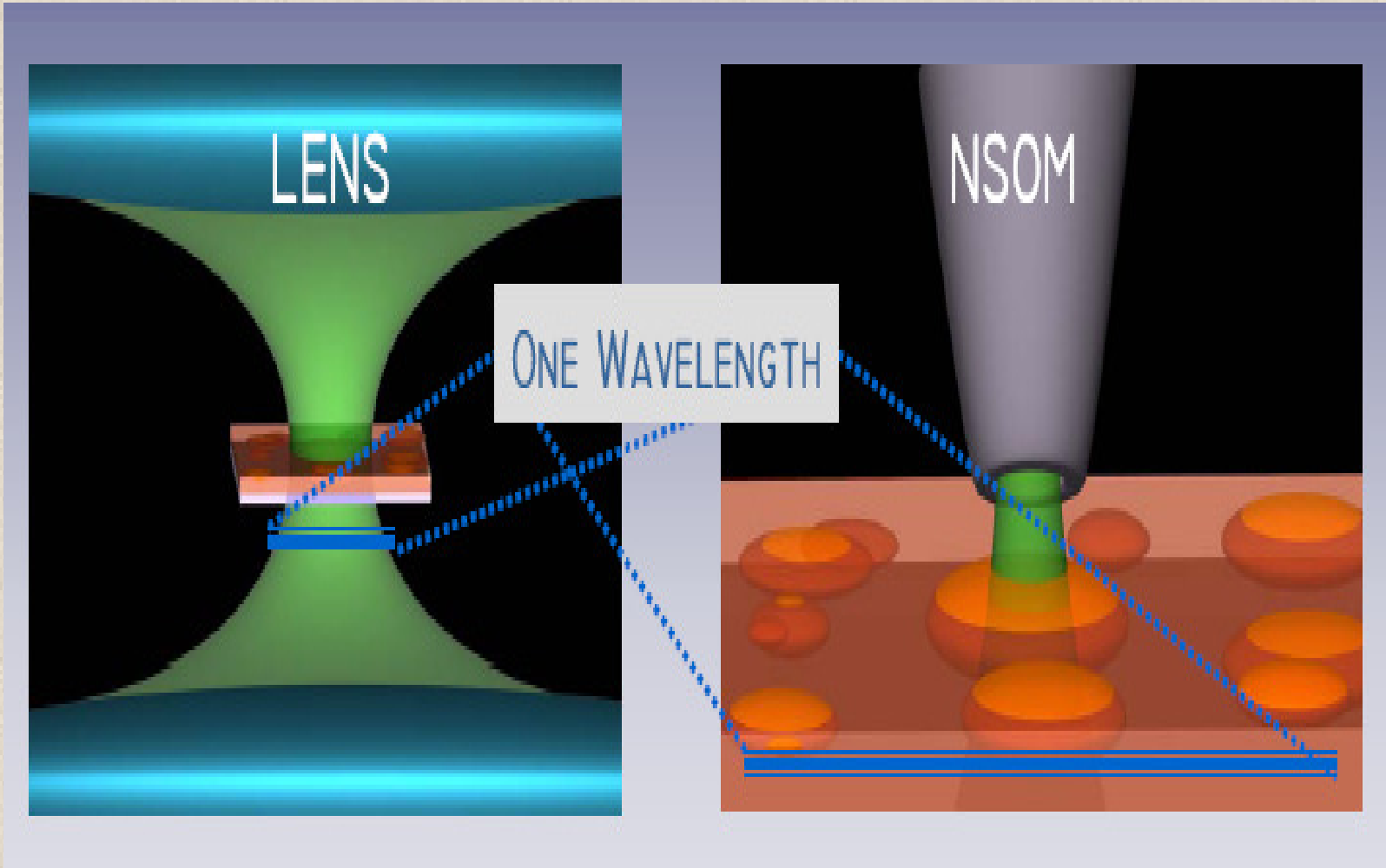
Разрешение  $\sim a$

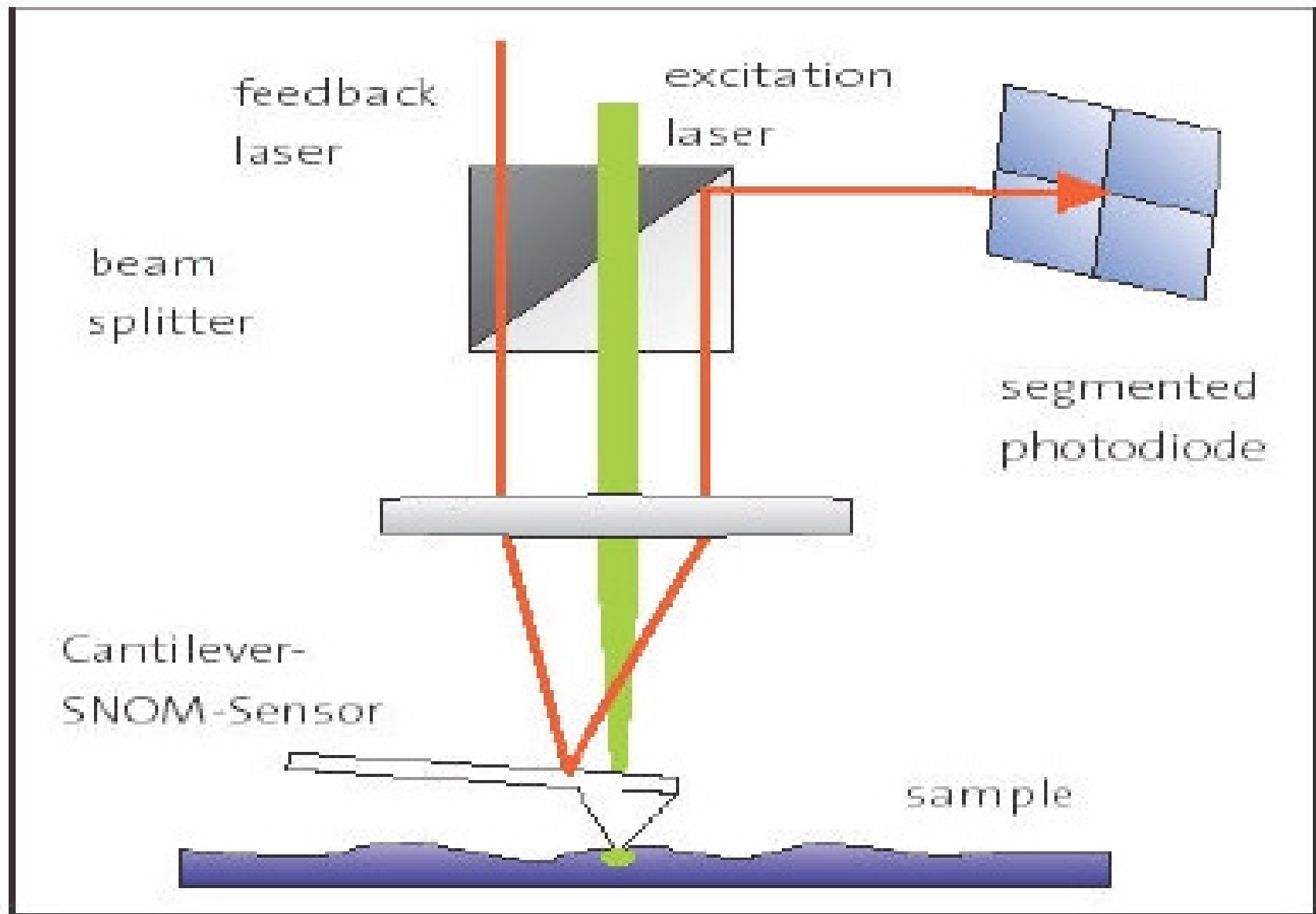
Размер отверстия  $a < \lambda/2$

Ближнее поле

Два фундаментальных различия между ближнепольной и дальнепольной оптической спектроскопии:

- В БП микроскопии область взаимодействия намного меньше чем в ДП микроскопии
- БП микроскопия имеет супермаленькое расстояние между источником возбуждения и образцом



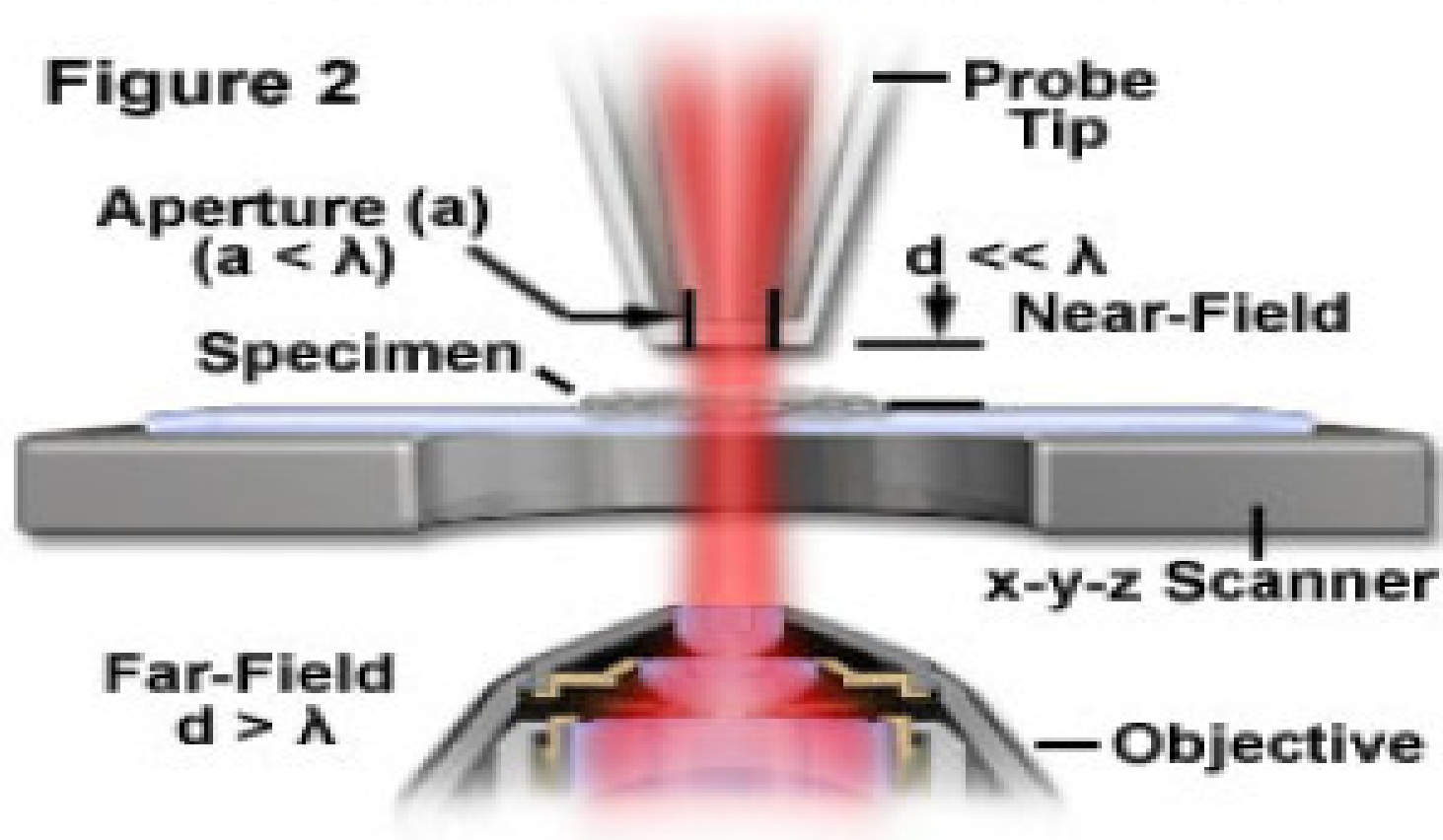


- Вместо «большого» объектива используется оптическое волокно, которое сканируется относительно поверхности
- Свет попадает в световод через его торец, размер которого меньше длины волны света
- Разрешение определяется размером торца световода (порядка 50нм)



## Near-Field Imaging Scheme

Figure 2



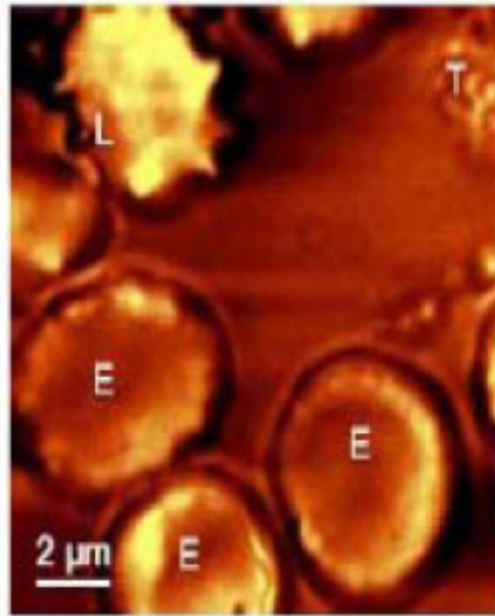


Image Microscopie  
confocale



Image SNOM

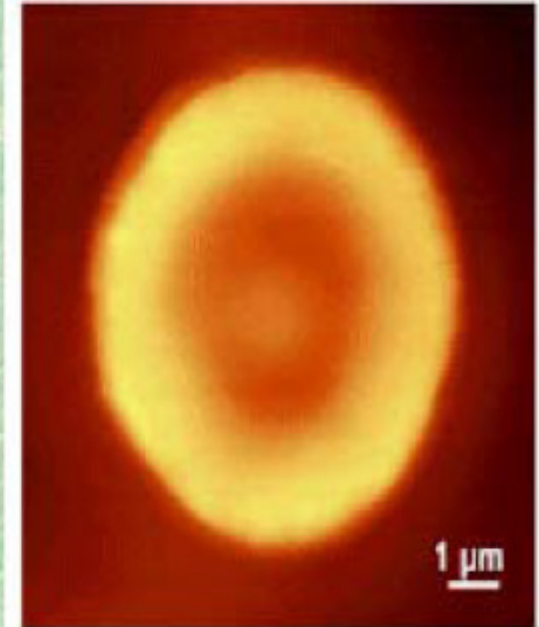


Image AFM