Chương 9

NHIỄU XẠ ÁNH SÁNG

Nội dung

- Hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng
- Nhiễu xạ qua một khe hẹp
- Nhiễu xạ qua nhiều khe hẹp và cách tử
- Năng suất phân ly của dụng cụ quang học

Chuẩn đầu ra

- Hiểu được các khái niệm cơ bản về nhiễu xạ as.
- Nắm được các định luật cơ bản về nhiễu xạ as.
- Vận dụng giải các bài toán cụ thể về nhiễu xạ: nhiễu xạ sóng phẳng, nhiễu xajh sóng cầu, nhiễu xạ qua tinh thể…

NỘI DUNG

***

I – Khái niệm về hiện tượng nxas

II – Phương pháp đới cầu Fresnel

III – Nhiễu xạ của sóng cầu qua các vật cản

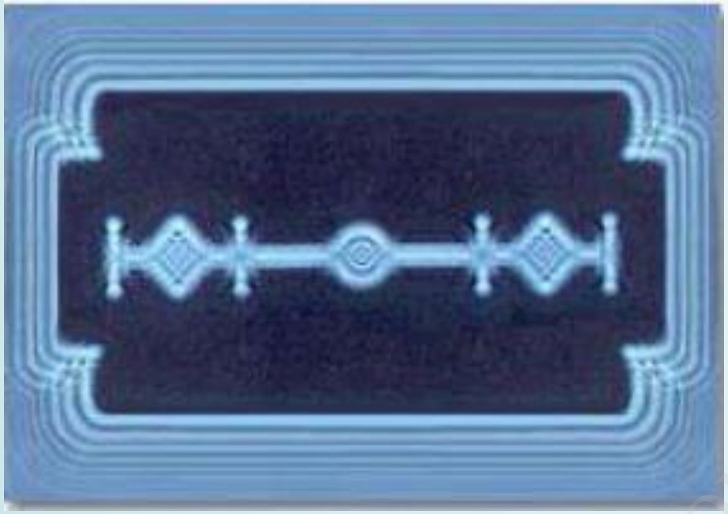
IV – Nhiễu xạ của sóng phẳng (Fraunhofer)

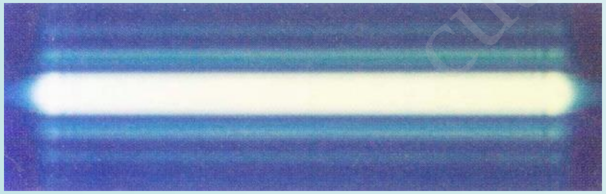
V – Giới hạn nhiễu xạ

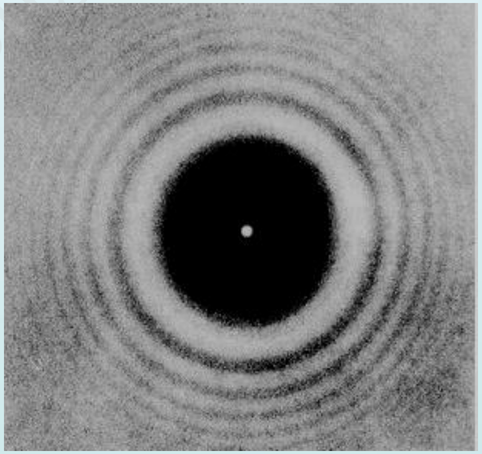
VI – Nhiễu xạ của tia X trên tinh thể

VII - Ứng dụng hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng

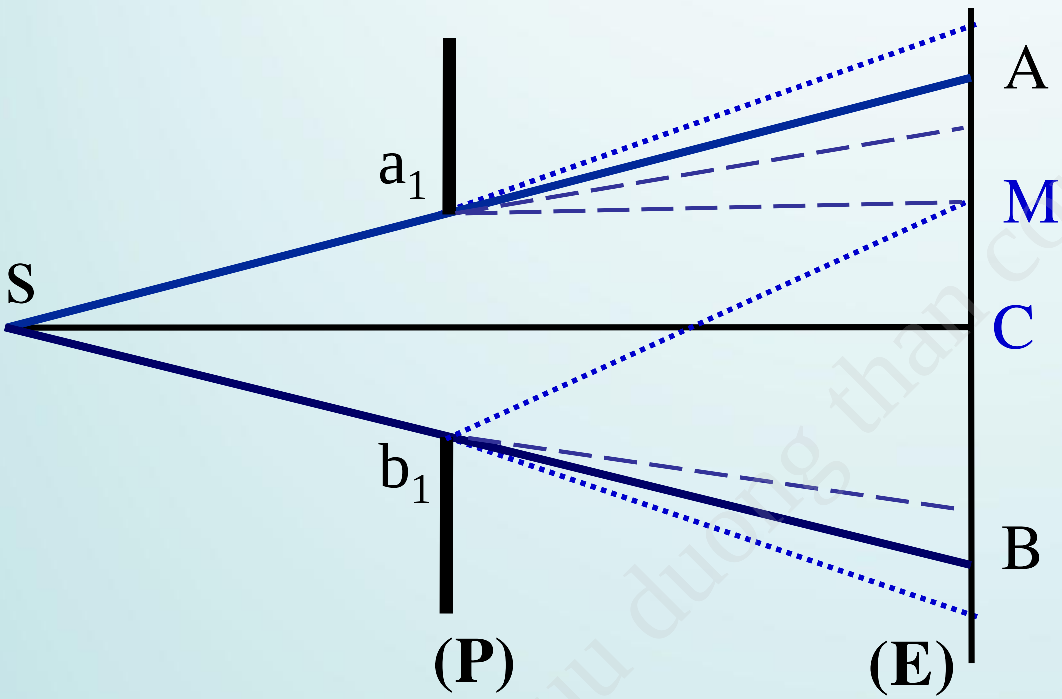
I – KHÁI NIỆM VỀ NXAS

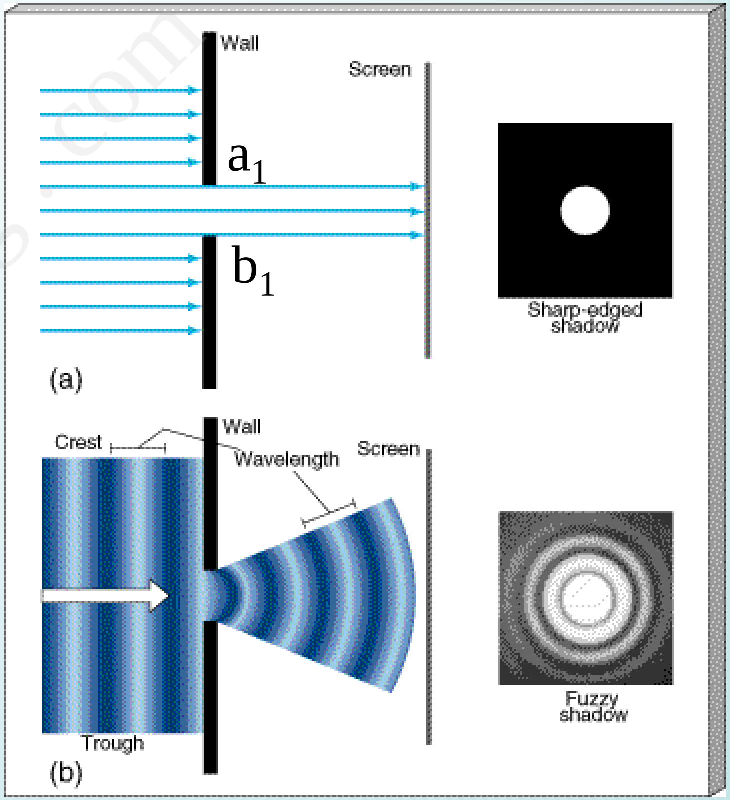






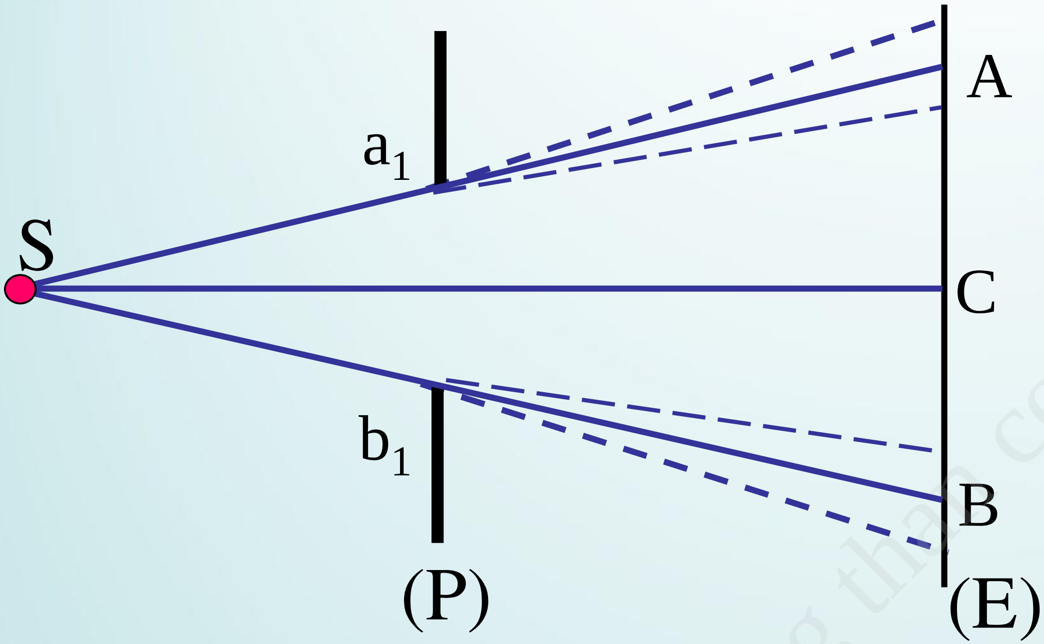
I – KHÁI NIỆM VỀ NXAS

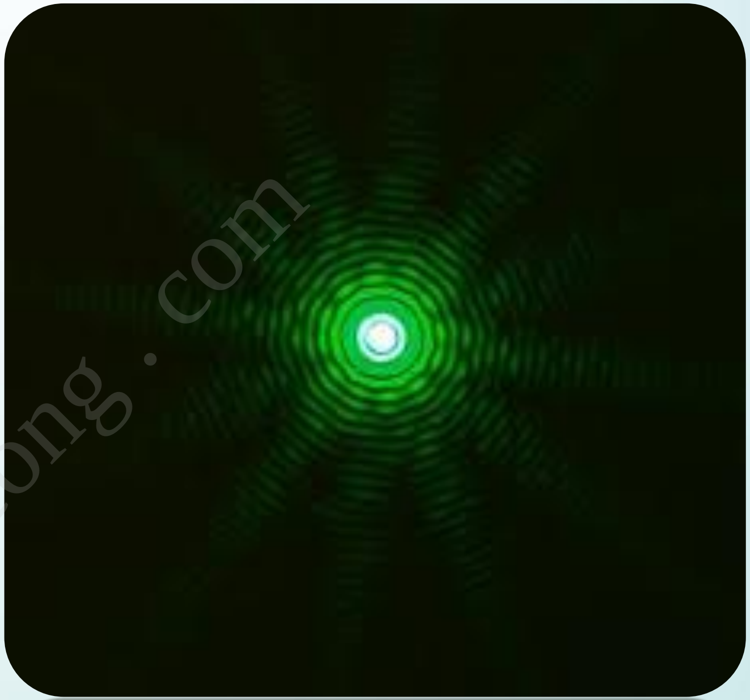




Hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng

I – KHÁI NIỆM VỀ NXAS





(E)

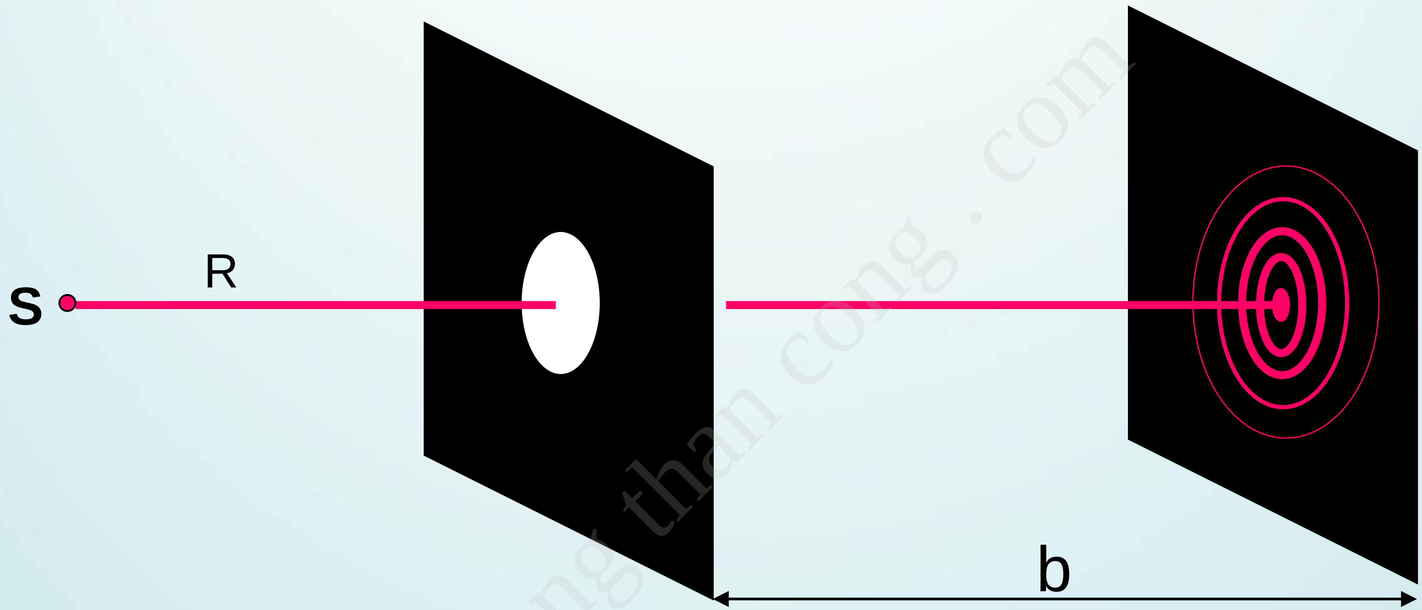
Hiện tượng NXAS là hiện tượng AS bị lệch khỏi phương truyền thẳng khi đi gần các vật cản.

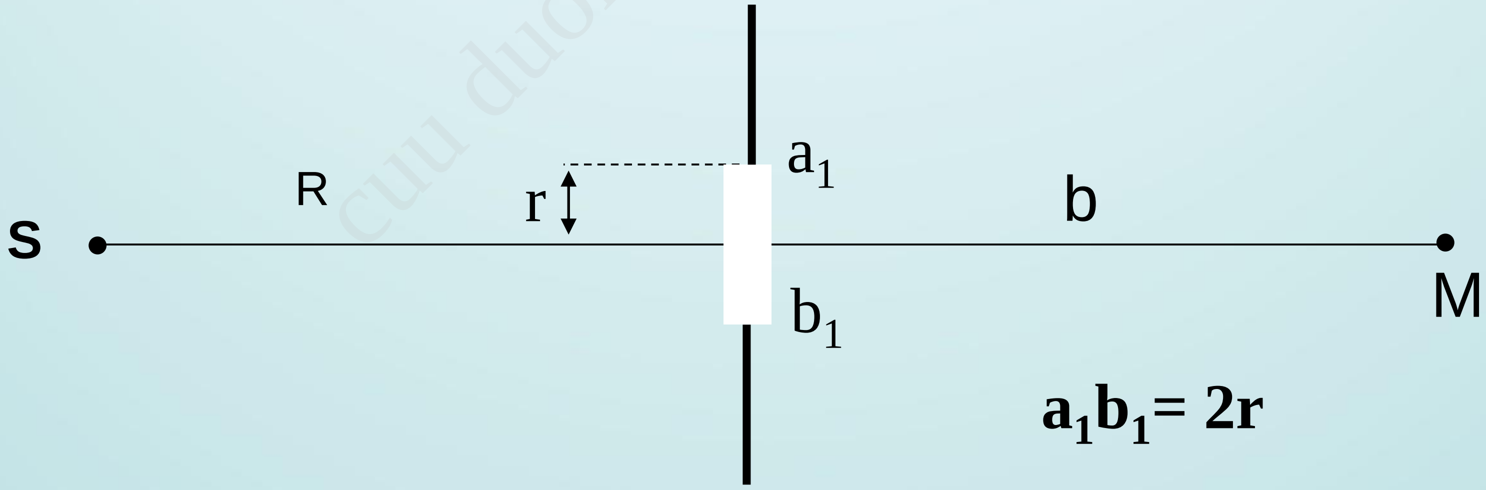
NX gây bởi sóng phẳng gọi là NX Fraunhofer. Trái lại là NX Fresnel. Chúng ta sẽ tìm hiểu NX qua lỗ tròn, màn tròn, khe hẹp và NX trên mạng tinh thể.

Vân NX thực chất là vân GT do những tia NX gây ra.

II – PP ĐỚI CẦU FRESNEL

Bố trí thí nghiệm





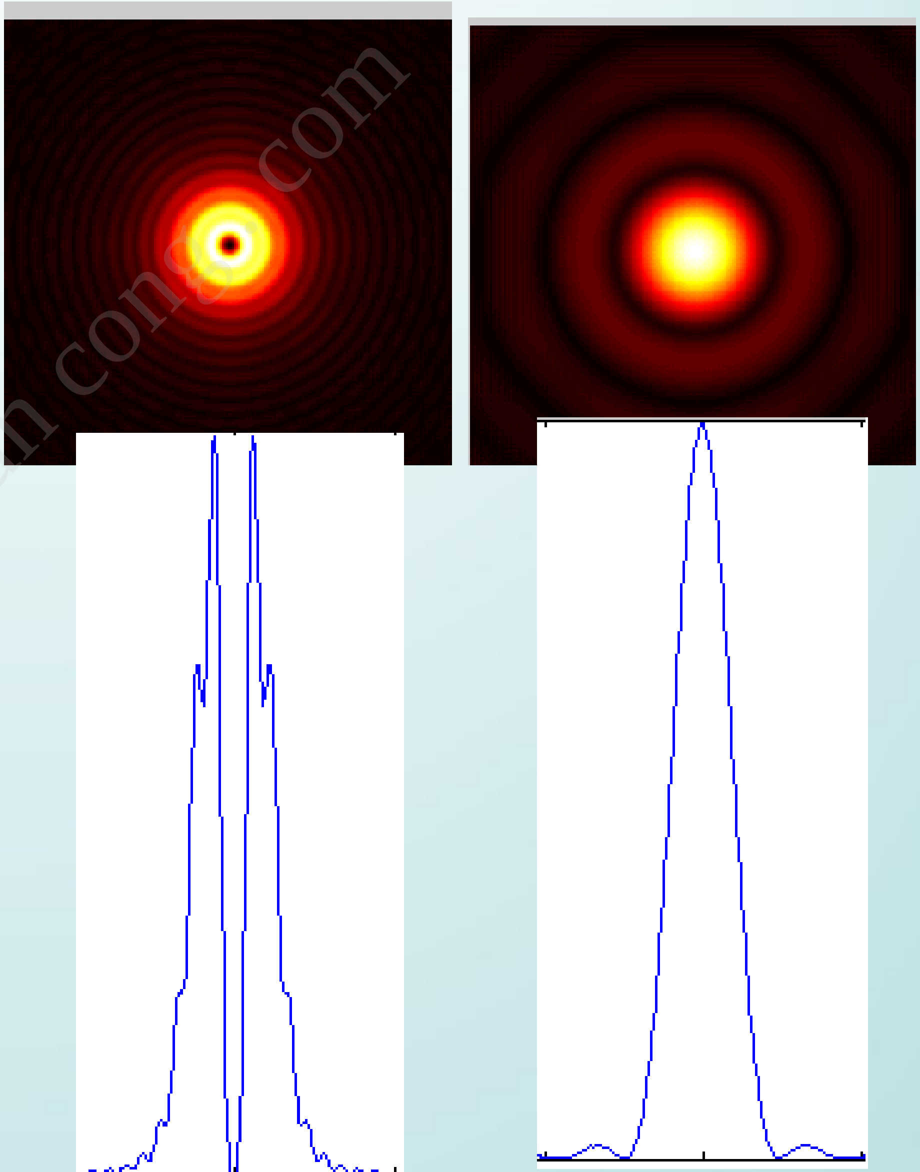
$a_1b_1 = 2r$

II – PP ĐỚI CẦU FRESNEL

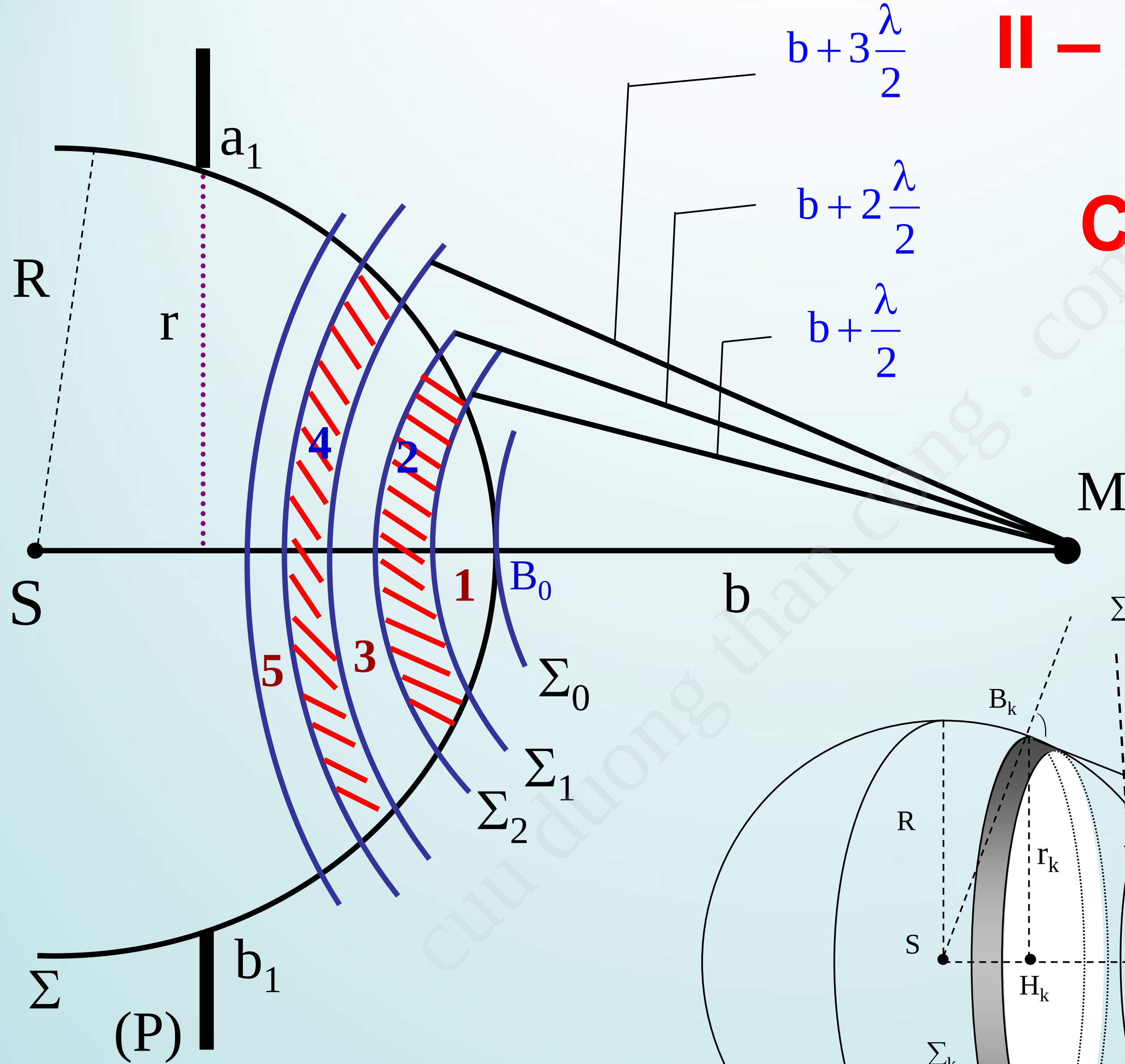
Phân bố cường độ ảnh NX

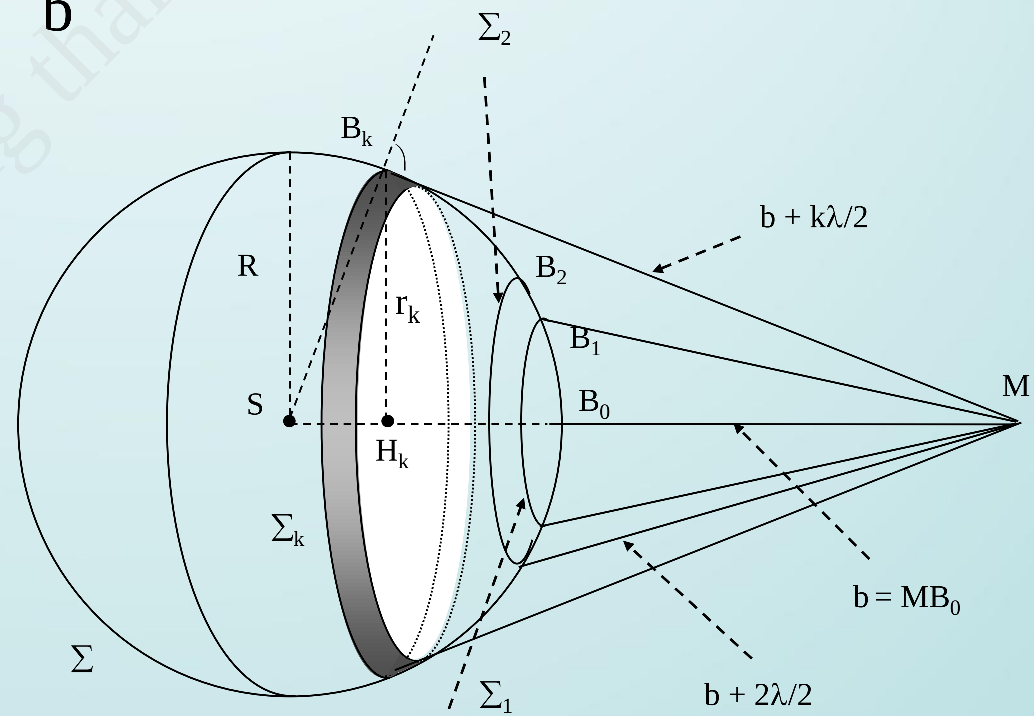
Ảnh NX có tính đối xứng tâm M.

Tâm M có lúc sáng, lúc tối, tùy theo bán kính lỗ tròn và khoảng cách từ lỗ tròn tới màn quan sát.



II – PP ĐỚI CẦU FRESNEL
Cách chia đới

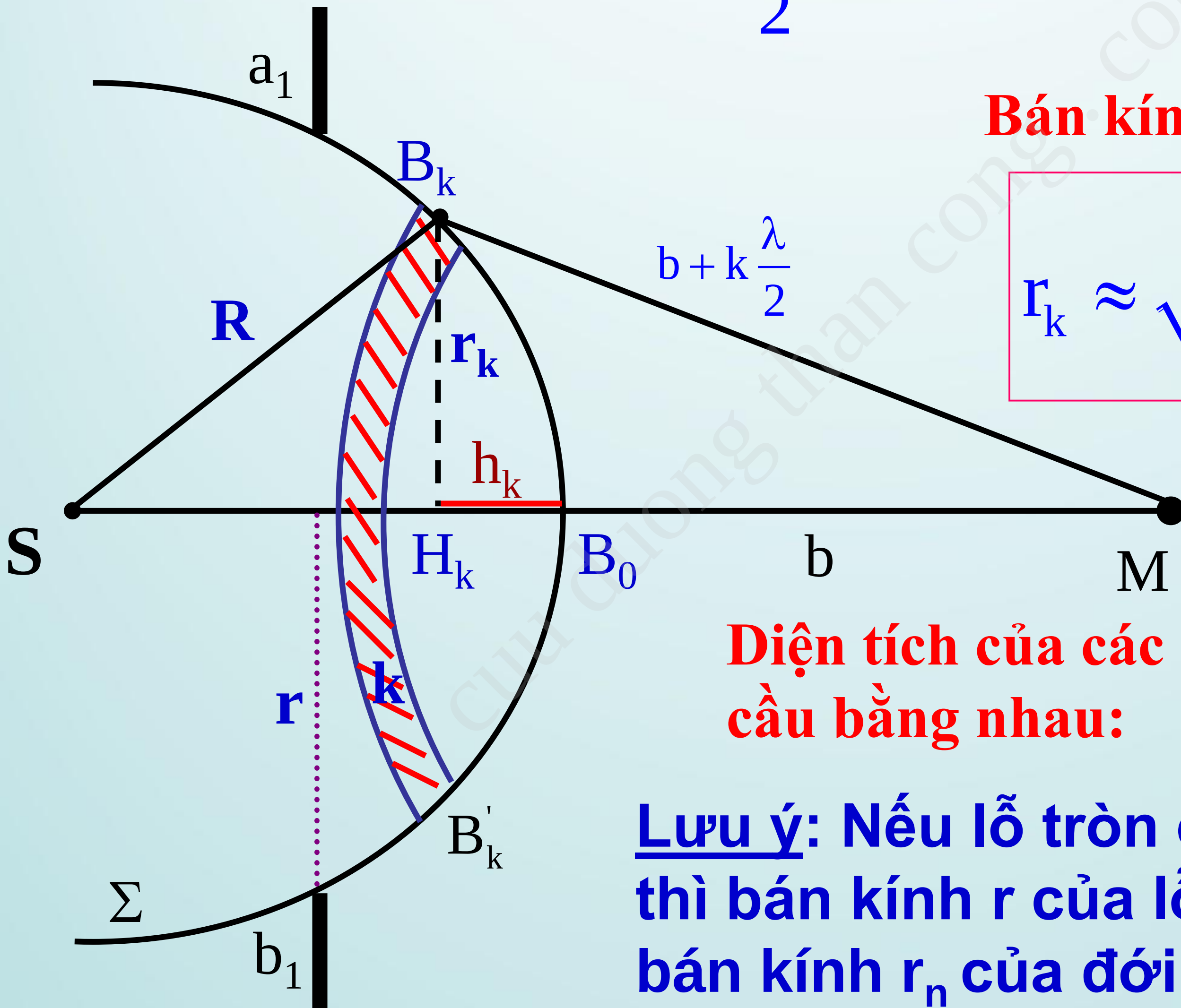




II – PP ĐỚI CẦU FRESNEL

Tính bán kính r_k của đới cầu Fresnel:

$$r_k^2 = R^2 - (R - h_k)^2 = (b + k\frac{\lambda}{2})^2 - (b + h_k)^2 \Rightarrow h_k = \frac{k\lambda b}{2(R+b)}$$



Bán kính của đới cầu thứ k:

$$r_k \approx \sqrt{2Rh_k} = \sqrt{\frac{k\lambda Rb}{R+b}}$$

Diện tích của các đới cầu bằng nhau:

$$\Delta S = \frac{\pi\lambda Rb}{R+b}$$

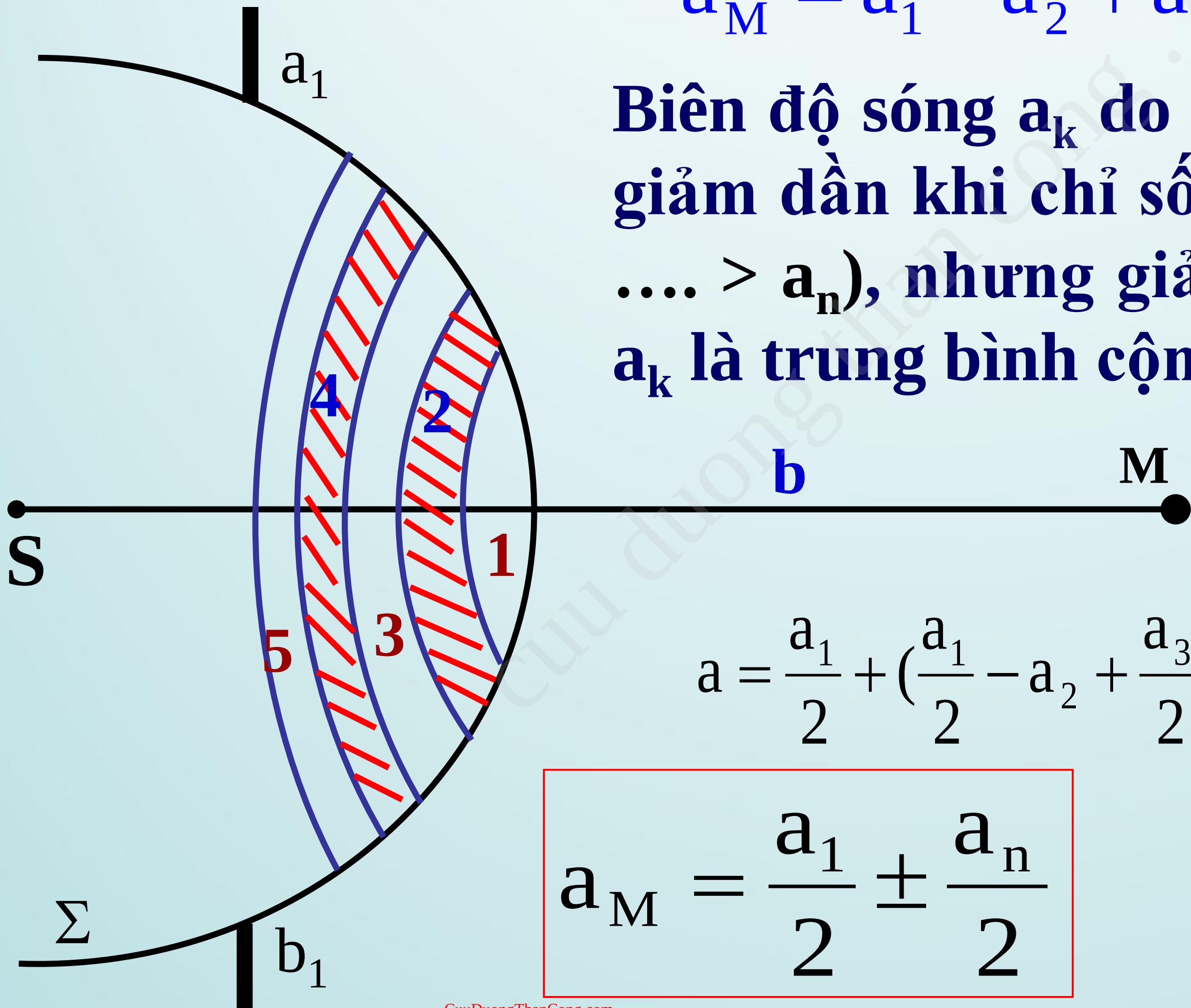
<u>Lưu ý</u>: Nếu lỗ tròn có tất cả là n đới thì bán kính r của lỗ tròn chính là bán kính r_n của đới thứ n: $r = r_n$

II – PP ĐỚI CẦU FRESNEL

Tính biên độ tổng hợp

Dao động sáng tại M do hai đới kề nhau gởi tới sẽ ngược pha nhau. Vì thế, biên độ sóng tại M là:

$$a_M = a_1 - a_2 + a_3 - a_4 + \ldots \pm a_n$$



Biên độ sóng a_k do đới thứ k gởi tới M sẽ giảm dần khi chỉ số k tăng ($a_1 > a_2 > a_3 > \ldots > a_n$), nhưng giảm chậm. Vì thế ta coi a_k là trung bình cộng của a_{k-1} và a_{k+1}.

$$a_k = \frac{a_{k-1} + a_{k+1}}{2}$$

$$a = \frac{a_1}{2} + \left(\frac{a_1}{2} - a_2 + \frac{a_3}{2}\right) + \left(\frac{a_3}{2} - a_4 + \frac{a_5}{2}\right) + \ldots \pm \frac{a_n}{2}$$

$$\boxed{a_M = \frac{a_1}{2} \pm \frac{a_n}{2}}$$

(dấu "+" khi n lẻ; dấu "-" khi n chẵn)

III – NX (FRESNEL) SÓNG CẦU QUA LỖ TRÒN

Biên độ và cường độ sáng tại M

$$a_M = \frac{a_1}{2} \pm \frac{a_n}{2} \Rightarrow I = a_M^2 = \left(\frac{a_1}{2} \pm \frac{a_n}{2}\right)^2$$

Nếu lỗ tròn quá lớn: số đới rất lớn ($a_n << a_1$, như khg che): cường độ sáng tại M chỉ bằng ¼ cường độ sáng của đới thứ nhất gây ra:

$$I = a_M^2 = \frac{a_1^2}{4} = I_0$$

Lỗ tròn chứa số lẻ đới, M là điểm sáng.

$$I = a_M^2 = \left(\frac{a_1}{2} + \frac{a_n}{2}\right)^2 > I_0$$

Khi lỗ tròn chỉ có một đới:

$$I = a_1^2 = I_1 = 4I_0$$

Cường độ sáng tại M gấp 4 lần I_0 (không che)

Lỗ tròn chứa số chẵn đới, M là điểm tối.

Khi lỗ tròn chỉ có hai đới, M là tối nhất:

$$I = \left(\frac{a_1}{2} - \frac{a_2}{2}\right) \approx 0$$

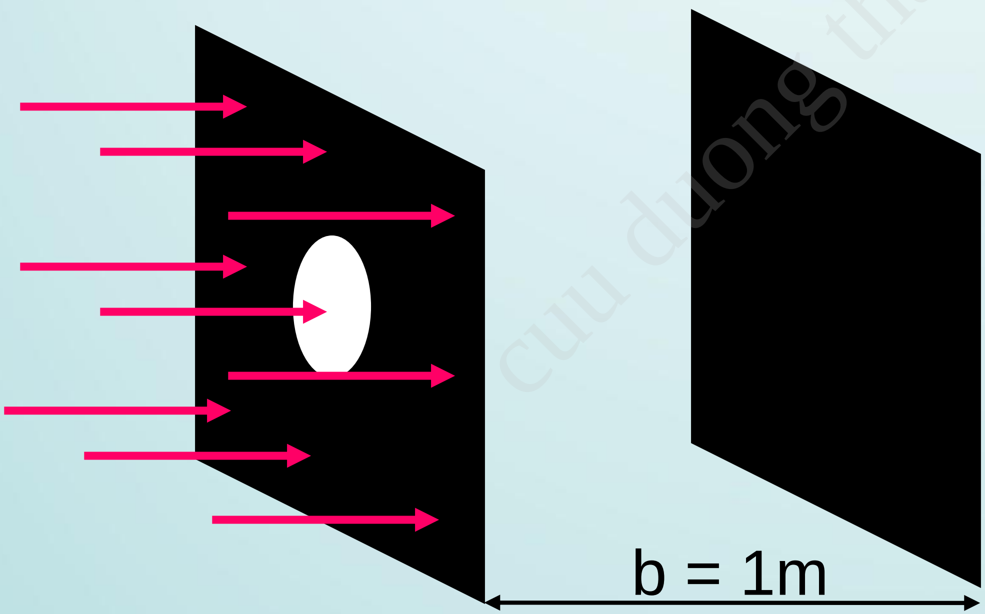
$$I = a_M^2 = \left(\frac{a_1}{2} - \frac{a_n}{2}\right)^2 < I_0$$

III – NX (FRESNEL) SÓNG CẦU QUA LỖ TRÒN

Ví dụ 1: Tính số đới cầu Fresnel chứa trong lỗ tròn có bán kính 2mm trong trường hợp sóng tới là sóng phẳng có bước sóng 0,5μm và màn quan sát cách lỗ tròn 1m. Suy ra tâm ảnh NX là điểm sáng hay tối? Để tâm ảnh NX tối nhất thì bán kính lỗ tròn phải bằng bao nhiêu?

Giải:

Vì sóng phẳng nên $R \approx \infty$ nên



$$r_k = \sqrt{\frac{k\lambda Rb}{R+b}} \approx \sqrt{k\lambda b} = r$$

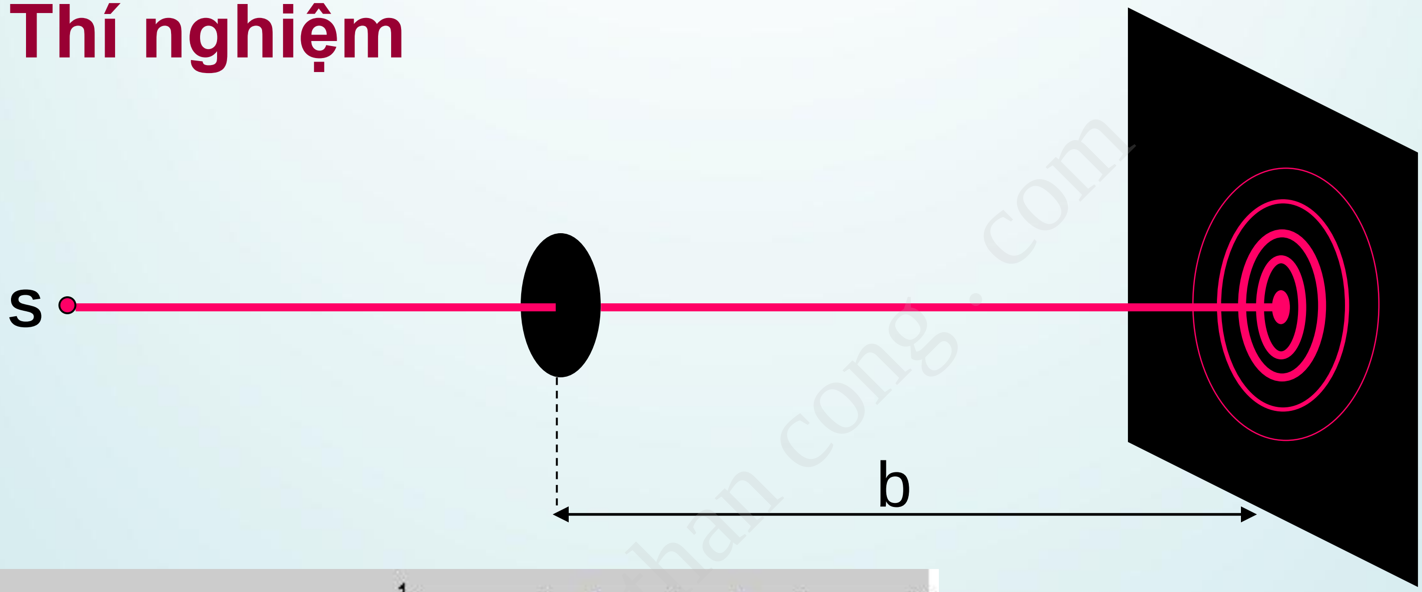
$$\Rightarrow k = \frac{r^2}{\lambda b} = \frac{2^2}{0,5.10^{-3}.10^3} = 8$$

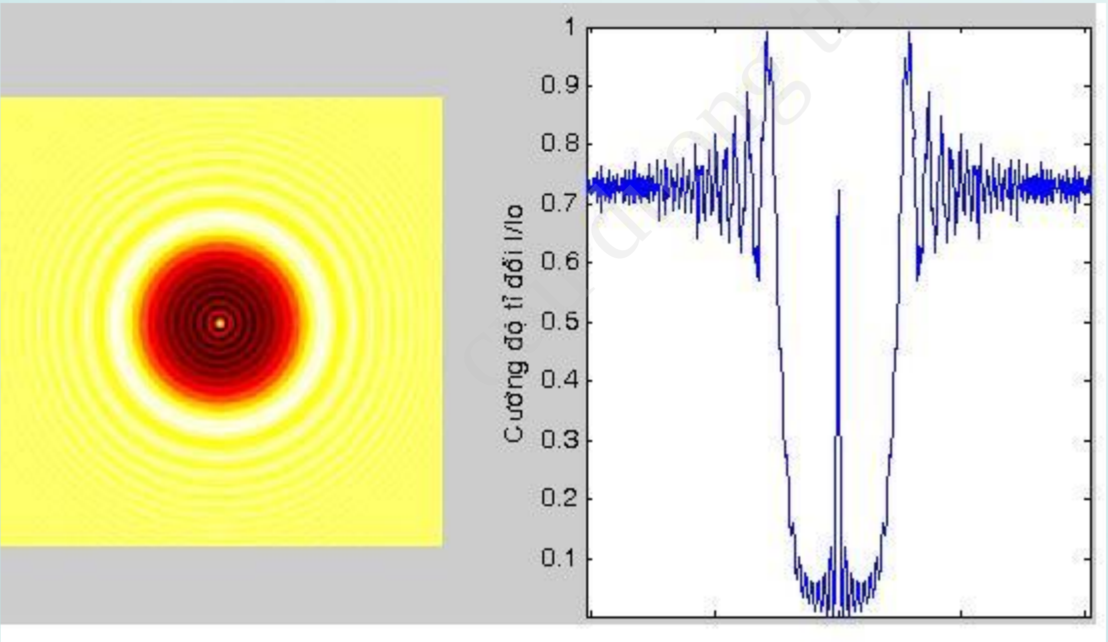
(Điểm tối)

Tối nhất: $k = 2 \Rightarrow r = 1mm$

III – NX FRESNEL QUA ĐĨA (MÀN) TRÒN

1 – Thí nghiệm





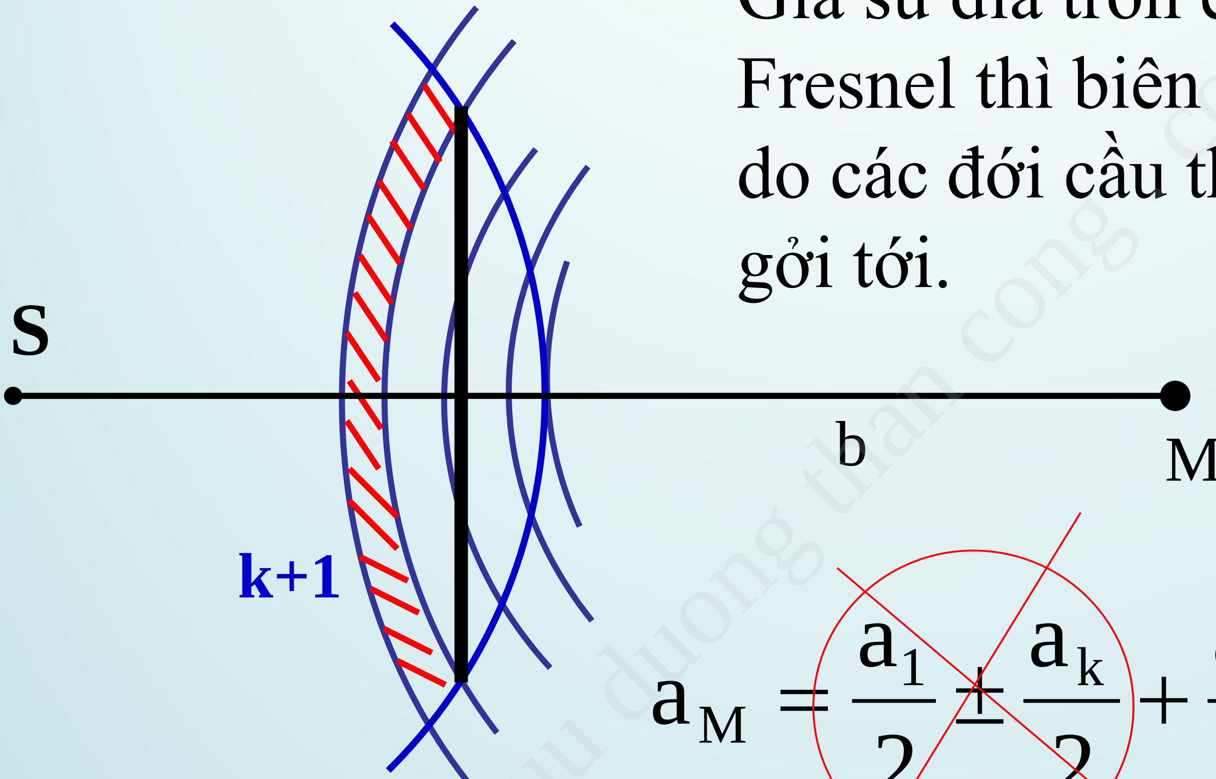
Kết quả

Tâm ảnh NX luôn có một chấm sáng (chấm sáng Fresnel)

III – NX FRESNEL QUA ĐĨA (MÀN) TRÒN

2 – Giải thích kết quả

Giả sử đĩa tròn chắn hết k đới cầu Fresnel thì biên độ sáng tại M chỉ do các đới cầu thứ k +1, k +2, … gởi tới.



$$a_M = \cancel{\frac{a_1}{2} \pm \frac{a_k}{2}} + \frac{a_{k+1}}{2} \pm \frac{a_\infty}{2} \approx \frac{a_{k+1}}{2}$$

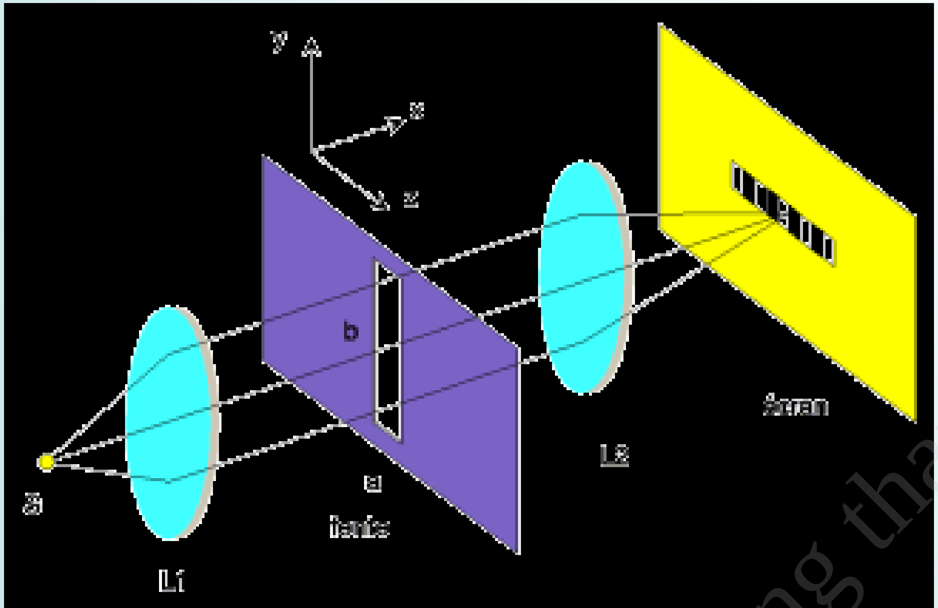
Cường độ sáng

$$\boxed{I = a_M^2 = \left(\frac{a_{k+1}}{2}\right)^2}$$

Vậy tại M luôn là điểm sáng

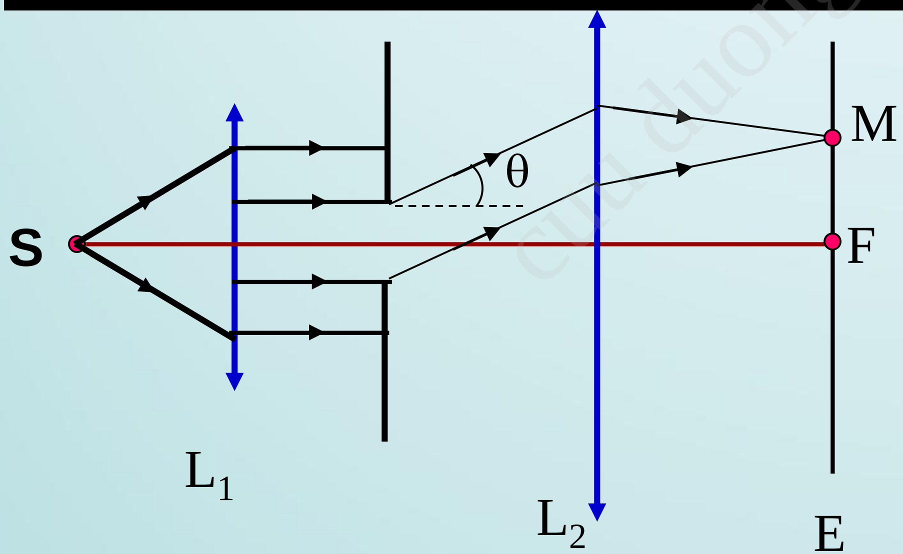
IV – NX FRAUNHOFER (QUA MỘT KHE HẸP)

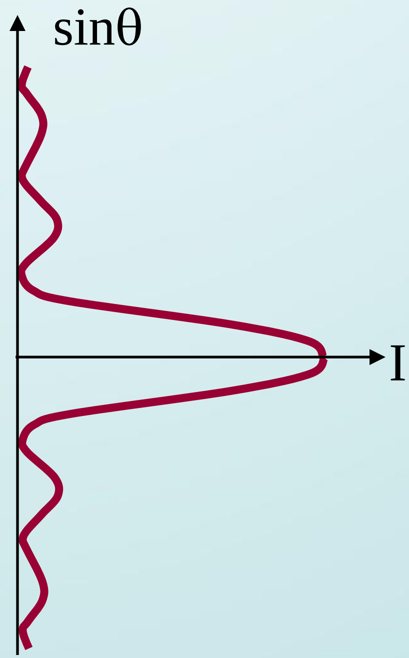
Bố trí thí nghiệm



b: độ rộng khe hẹp

θ: góc nhiễu xạ

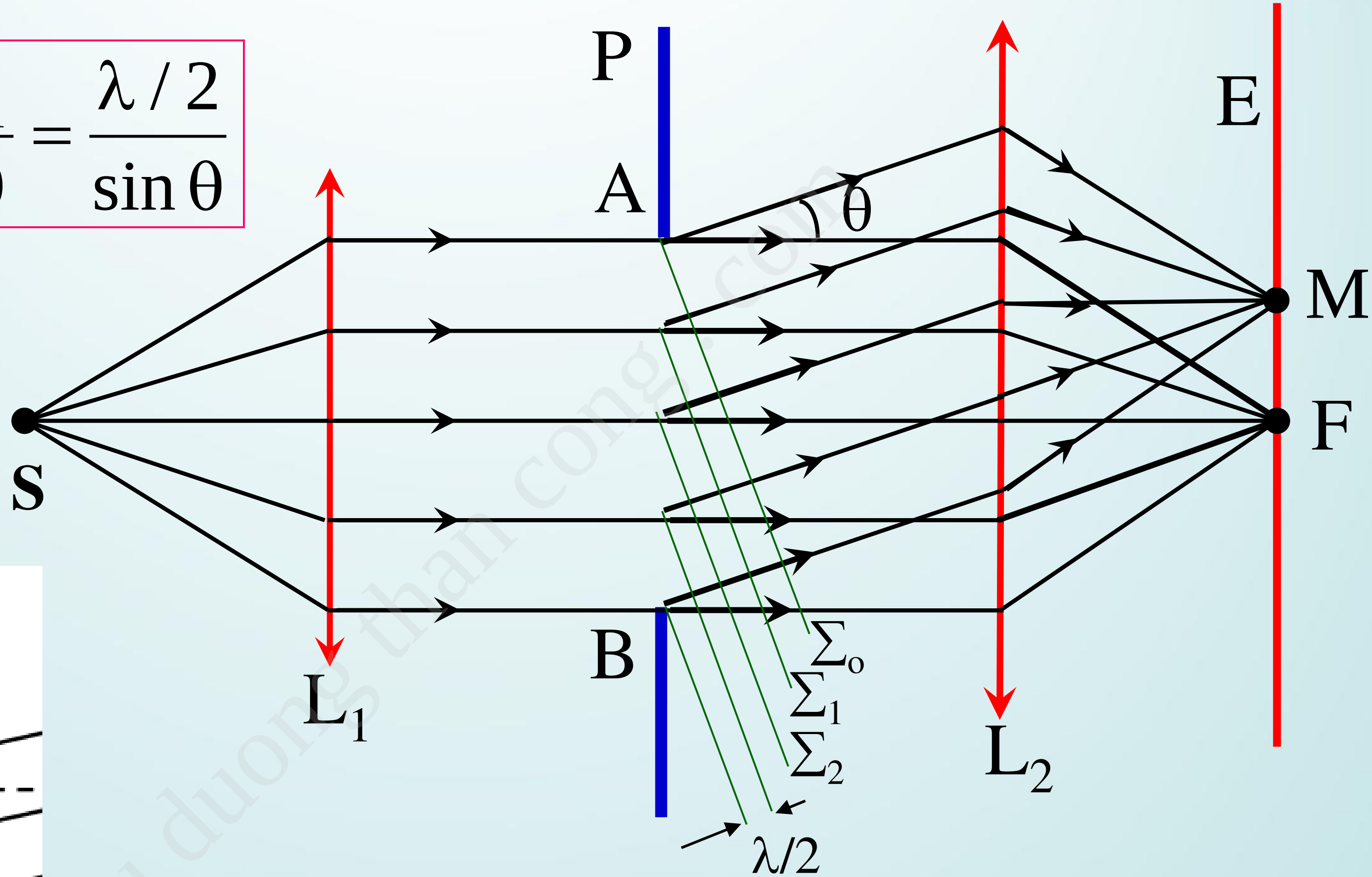


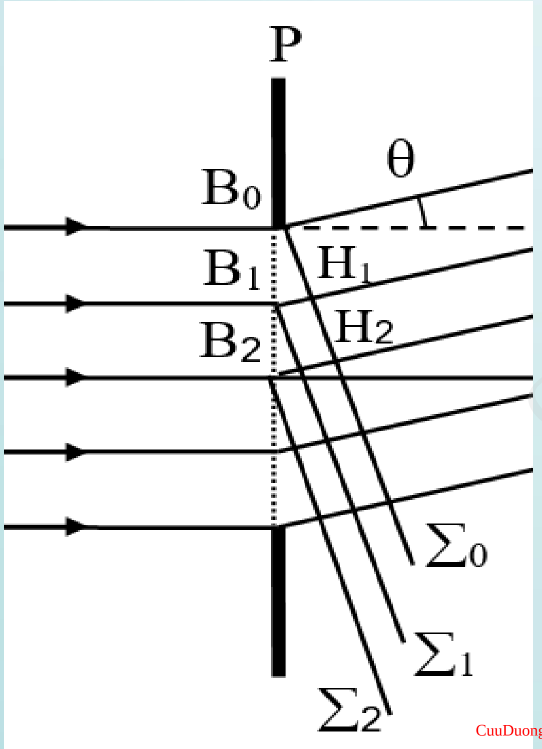


IV – NX FRAUNHOFER (QUA MỘT KHE HẸP)

$$\boxed{\delta = B_0B_1 = \frac{B_1H_1}{\sin\theta} = \frac{\lambda/2}{\sin\theta}}$$

δ là độ rộng dải Fresnel trên khe AB





Số đới phẳng (dải) chứa trong khe AB

$$\boxed{n = \frac{AB}{\delta} = \frac{b}{\delta} = \frac{2b\sin\theta}{\lambda}}$$

n lẻ: M là điểm sáng (cực đại)

n chẵn: M là điểm tối (cực tiểu)

IV – NX FRAUNHOFER (QUA MỘT KHE HẸP)

Giải thích kết quả

Tại F, tất cả sóng do khe AB gởi tới đều đồng pha, nên cường độ sáng mạnh nhất.

Vị trí các cực tiểu nx thỏa mãn điều kiện số dải sáng được chia trong đọan AB là số chẵn: n = 2k

$$\frac{2b\sin\theta}{\lambda} = 2k \Rightarrow \sin\theta = k\frac{\lambda}{b}$$

Với k = ±1, ±2, ±3, …

Vị trí các cực đại NX thỏa mãn điều kiện số dải sáng được chia trong đọan AB là số lẻ: n = 2k + 1

$$\frac{2b\sin\theta}{\lambda} = 2k+1 \Rightarrow \sin\theta = (2k+1)\frac{\lambda}{2b}$$

Với k = 1, ±2, ±3, …

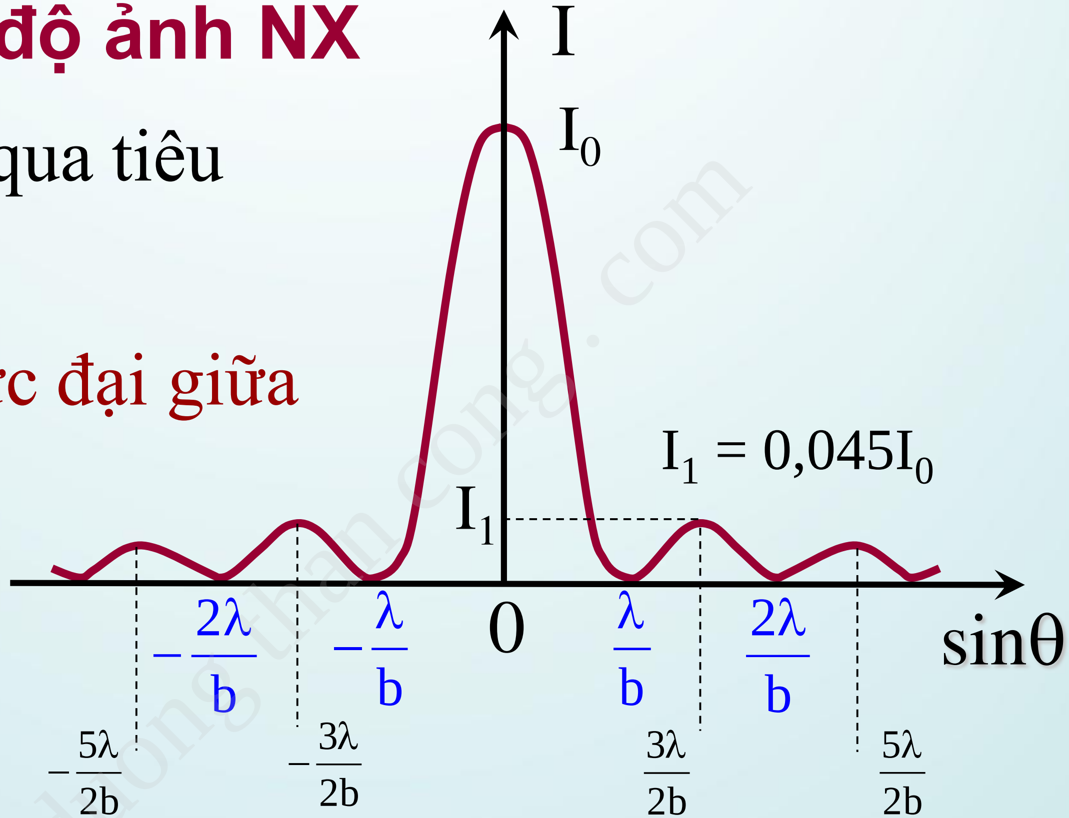
IV – NX FRAUNHOFER (QUA MỘT KHE HẸP)

Phân bố cường độ ảnh NX

•Vân NX đối xứng qua tiêu điểm F của TK L_2

•Tại F sáng nhất: cực đại giữa

•Cực đại khác giảm nhanh.



Vị trí các cực đại thỏa: $\boxed{\sin\theta = (2k+1)\dfrac{\lambda}{2b}}$ $(k = 1; \pm 2; \pm 3)$

Vị trí các cực tiểu thỏa: $\boxed{\sin\theta = \dfrac{k\lambda}{b}}$ $(k = \pm 1; \pm 2; \pm 3)$

IV – NX FRAUNHOFER (QUA MỘT KHE HẸP)

Hình dạng vân nhiễu xạ

Nếu nguồn sáng S là một điểm sáng thì ảnh của nó tại tiêu diện của L_2 phải là một điểm sáng S', nếu S là một khe sáng thì ảnh là một vạch sáng đồng dạng với khe.

Ánh sáng qua khe AB có hiện tượng nhiễu xạ nên ảnh thu được sẽ phức tạp hơn:

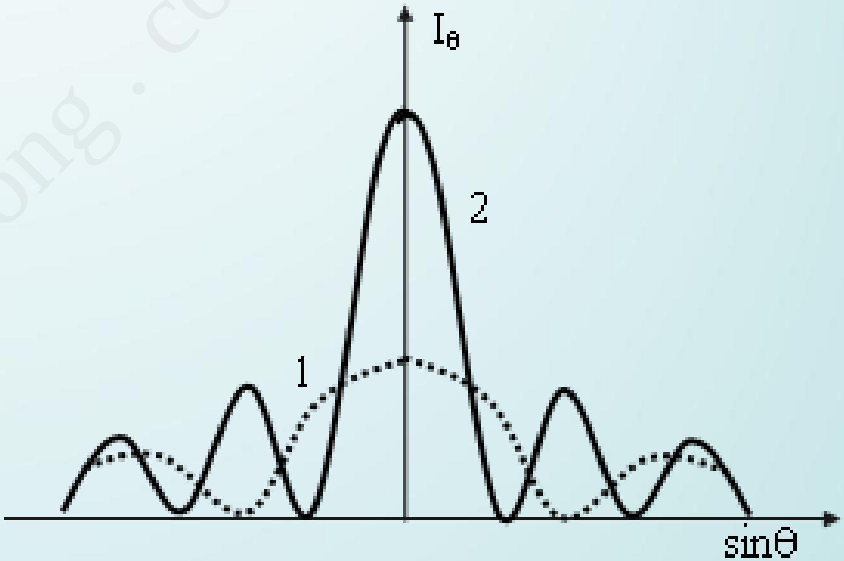
+ Nếu nguồn là một điểm thì ảnh nhiễu xạ do một khe hẹp sẽ là một dãy điểm sáng và tối xen kẽ nhau.

+ Nếu nguồn là một khe hẹp song song với khe nhiễu xạ thì ảnh nhiễu xạ gồm những vạch sáng có cường độ giảm dần, song song và cách nhau bằng những khoảng tối. Vân sáng trung tâm rộng gấp đôi những vân sáng khác

IV – NX FRAUNHOFER (QUA MỘT KHE HẸP)

Ảnh hưởng độ rộng của khe NX

Khi độ rộng b của khe AB giảm thì độ rộng của ảnh NX tăng lên, khi đó, vân trung tâm dần dần trải rộng ra và chiếm toàn bộ màn quan sát. Nếu b = λ, thì sinθ =1, $\theta = 90^0$ cực tiểu thứ nhất sẽ chạy ra tận mép màn quan sát. Độ rộng của vân trung tâm tăng lên vô hạn (đường 1).

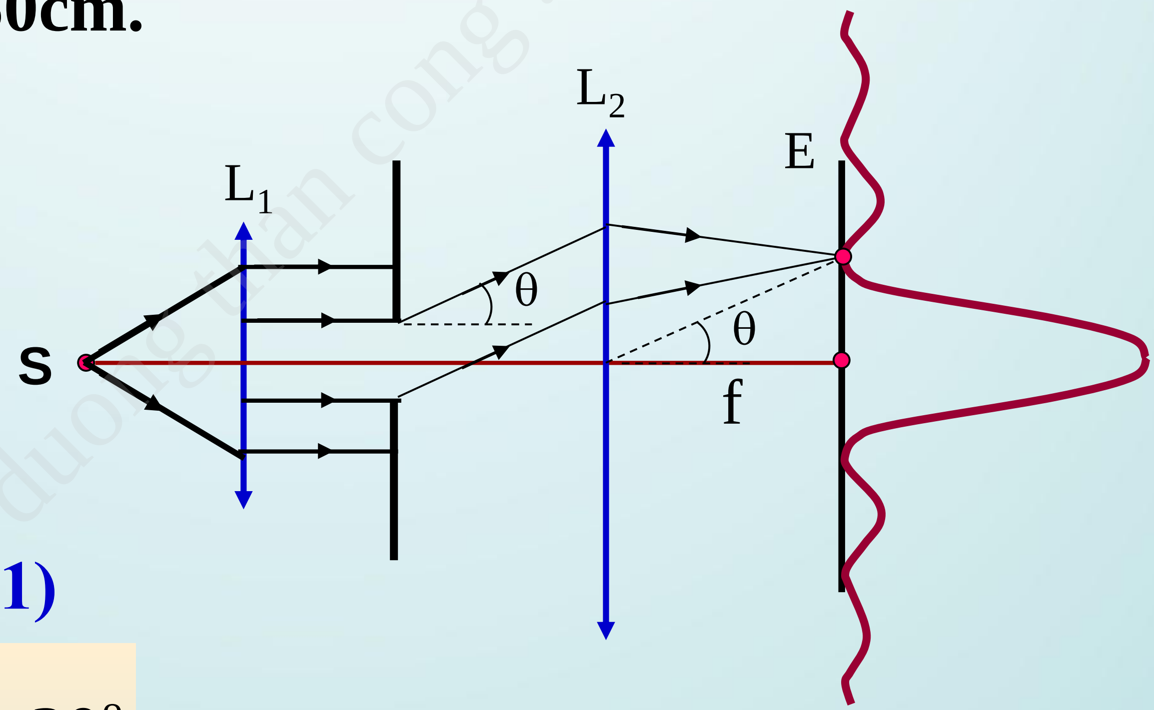


Hình 9.10

Tăng dần độ rộng b của khe thì vị trí các cực tiểu càng dịch lại gần tâm, vân trung tâm hẹp dần và sáng hơn (đường 2)

Ví dụ 2: Một chùm tia sáng đơn sắc song song bước sóng λ = 0,5 μm chiếu thẳng góc với một khe hẹp có bề rộng b = 1 μm. Hỏi cực tiểu nhiễu xạ đầu tiên được quan sát dưới góc nhiễu xạ bằng bao nhiêu? Tính độ rộng của vân sáng chính giữa (khoảng cách giữa 2 cực tiểu bậc nhất), biết thấu kính hội tụ L_2 có tiêu cự 50cm.

Giải



CT NX đầu tiên (k = 1)

$$\sin\theta = k\frac{\lambda}{b} = 0,5 \Rightarrow \theta = 30^o$$

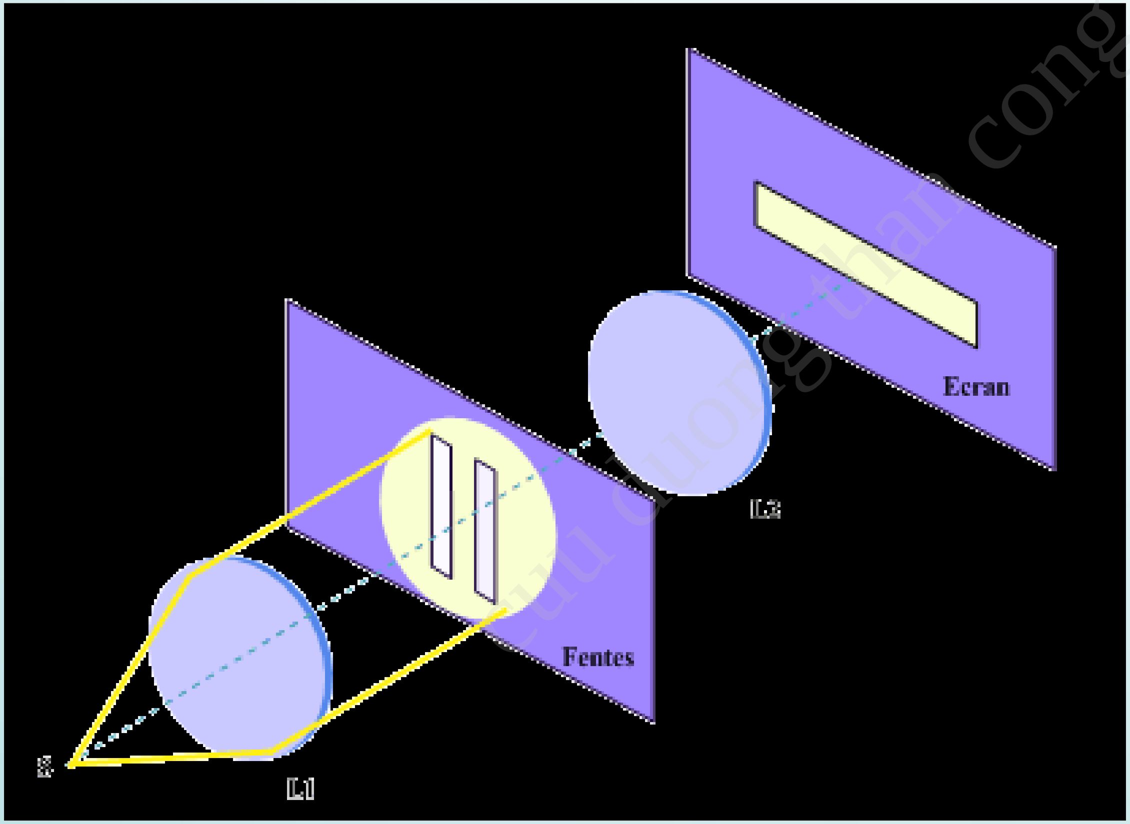
Độ rộng của VS chính giữa:

$$\Delta x = 2f.tg\theta = 57,7cm$$

IV – NX FRAUNHOFER (QUA NHIỀU KHE HẸP)

Nhiễu xạ do nhiều khe – cách tử nhiễu xạ

Bố trí thí nghiệm



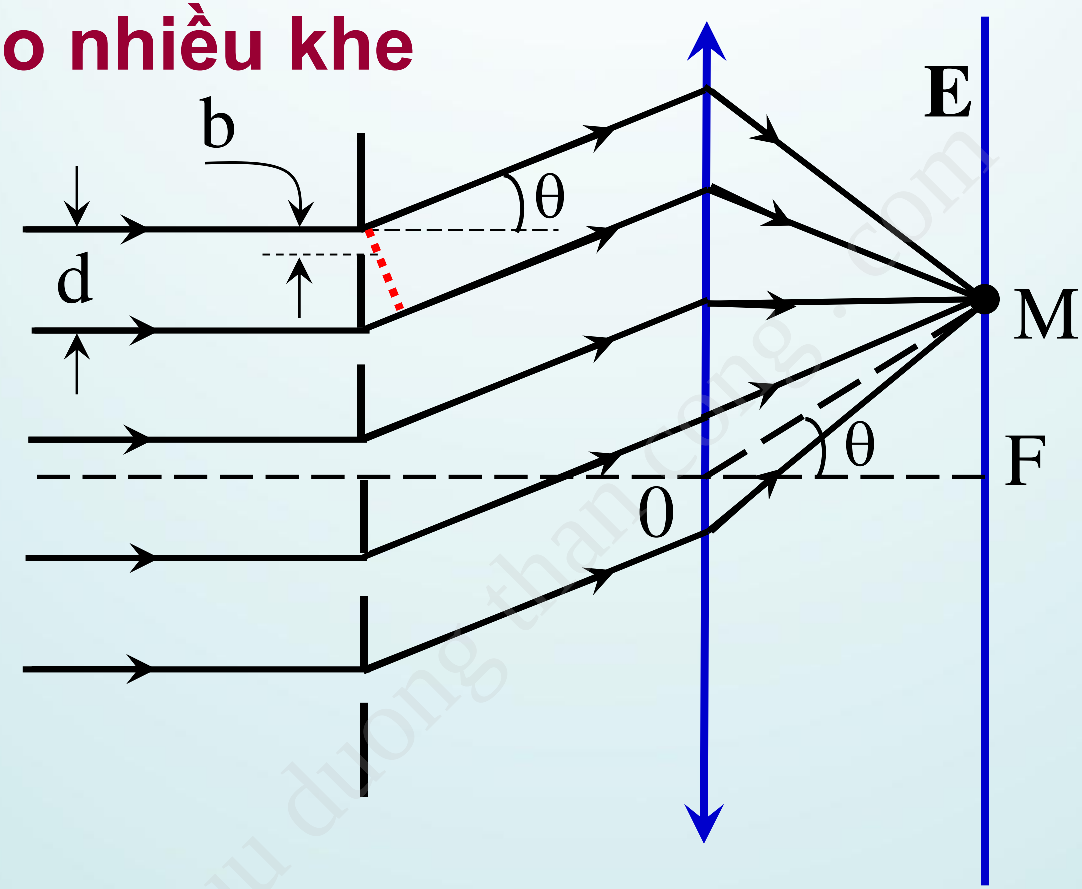
b: độ rộng khe hẹp

d: khoảng cách giữa 2 khe liên tiếp (**chu kì** của cách tử)

θ: góc nhiễu xạ

IV – NX FRAUNHOFER (QUA n KHE HẸP)

1. NX do nhiều khe



M là điểm tối khi:

$$\sin\theta = k\frac{\lambda}{b} \quad k = \pm 1; \pm 2\ldots$$

Là các cực tiểu nhiễu xạ, gọi là cực tiểu chính.

IV – NX FRAUNHOFER (QUA n KHE HẸP)

Xét sự phân bố cường độ sáng giữa hai cực tiểu:

Hiệu quang lộ giữa hai khe:

$$\boxed{\Delta L = d\sin\theta}$$

CĐGT khi $\Delta L = k'\lambda$

$$\Rightarrow \sin\theta = k'\frac{\lambda}{d};\ k' = 0; \pm 1; \pm 2; \ldots$$

Điểm CĐ là những điểm sáng

Các điểm sáng gọi là các cực đại chính. Vì d > b nên k' > k, ta sẽ có nhiều cực đại GT giữa hai cực tiểu chính (Cực đại chính)

CTGT khi $\Delta L = (k' + \frac{1}{2})\lambda$

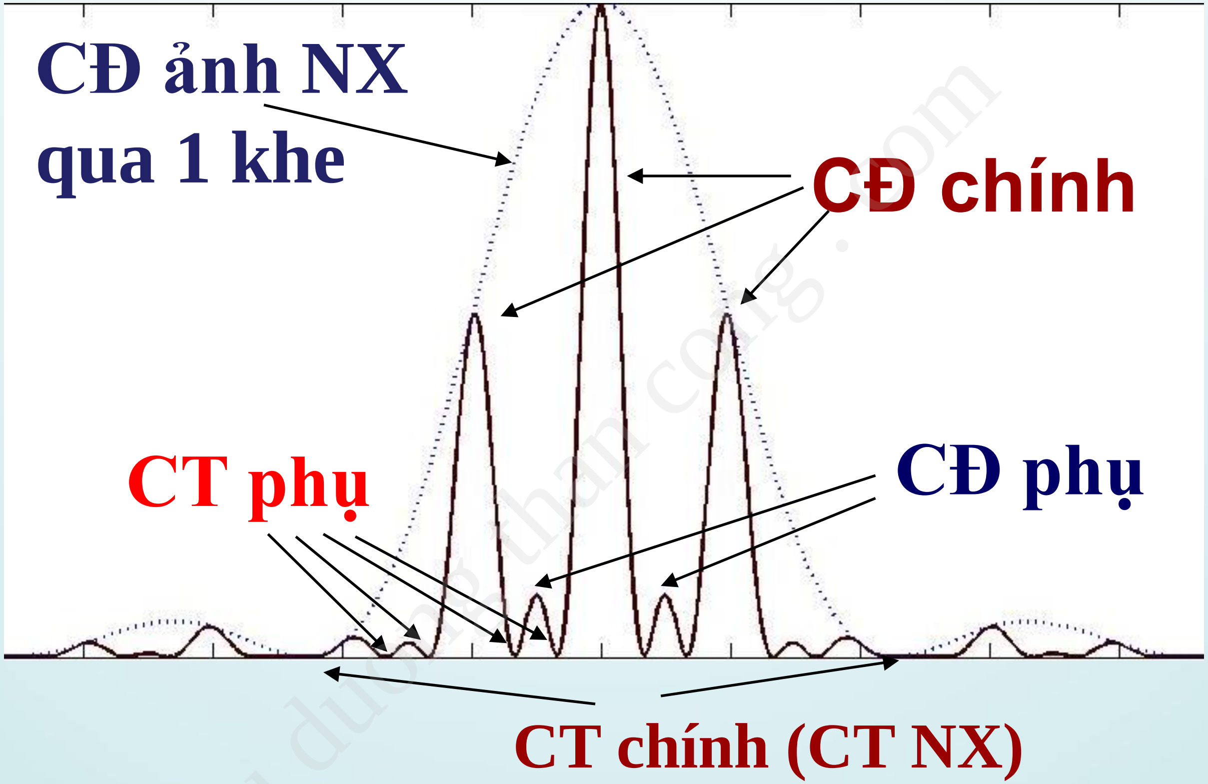
$$\Rightarrow \sin\theta = \left(k' + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{d};\ k' = 0; \pm 1; \pm 2; \ldots$$

Điểm CT chưa chắc là điểm tối

+ Nếu số khe chẵn → các dao động khử nhau → là điểm tối.
+ Nếu số khe lẻ → khe thứ lẻ không bị khử → Có vân sáng cường độ yếu (Cực đại phụ)

IV – NX FRAUNHOFER (QUA n KHE HẸP)

Đồ thị phân bố cường độ sáng qua nhiều khe



+ Nếu có n khe hẹp thì giữa hai CĐ chính liên tiếp có (n – 2) CĐ phụ và (n – 1) CT phụ.

+ Nếu số khe rất lớn và độ rộng khe rất hẹp thì các CĐ phụ mờ dần rồi tắt hẳn, các CĐ chính có cường độ bằng nhau (cách tử NX). Để quan sát được các CĐ chính thì $\lambda < d$.

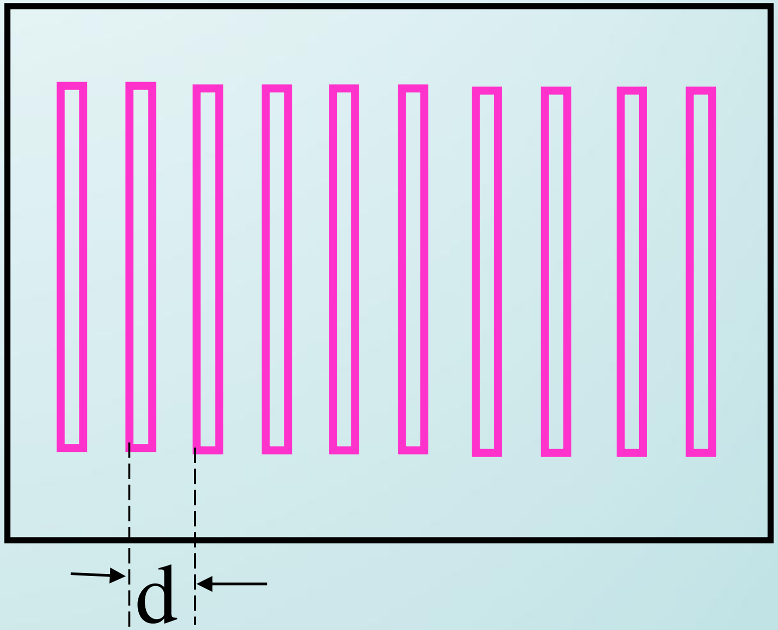
IV – NX FRAUNHOFER (QUA n KHE HẸP)

2. Cách tử NX

+ Cách tử nhiễu xạ là tập hợp các khe hẹp giống nhau, // , cách đều nhau và cùng nằm trên một mặt phẳng.

+ Khoảng cách d giữa hai khe liên tiếp được gọi là chu kì của cách tử, mật độ khe n là số khe của cách tử trên một đơn vị độ dài:

$$\boxed{n = \frac{1}{d}}$$



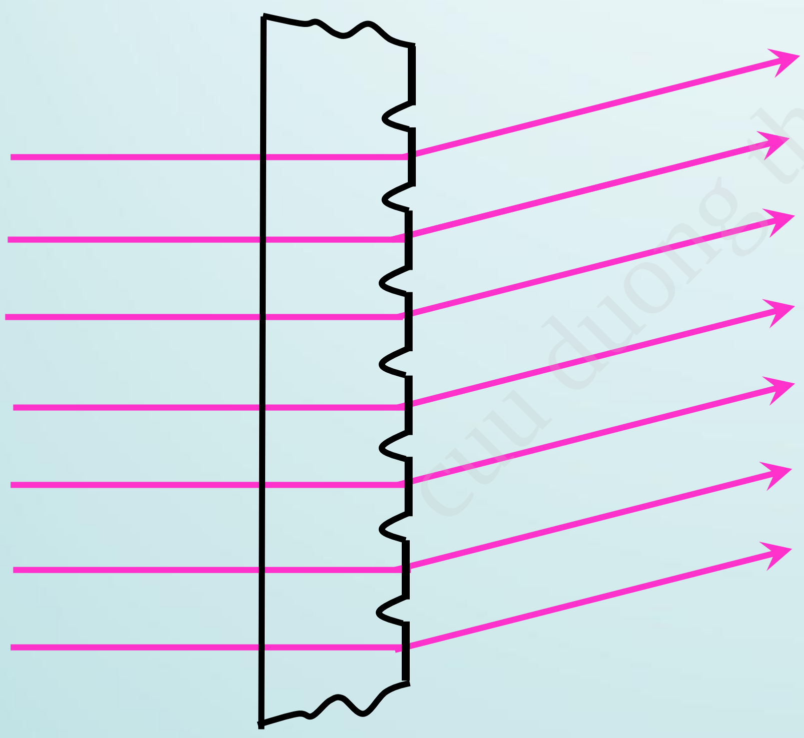
+ Nếu cách tử dài ℓ và mật độ khe n thì số khe cách tử là:

$$\boxed{N = \ell n = \frac{\ell}{d}}$$

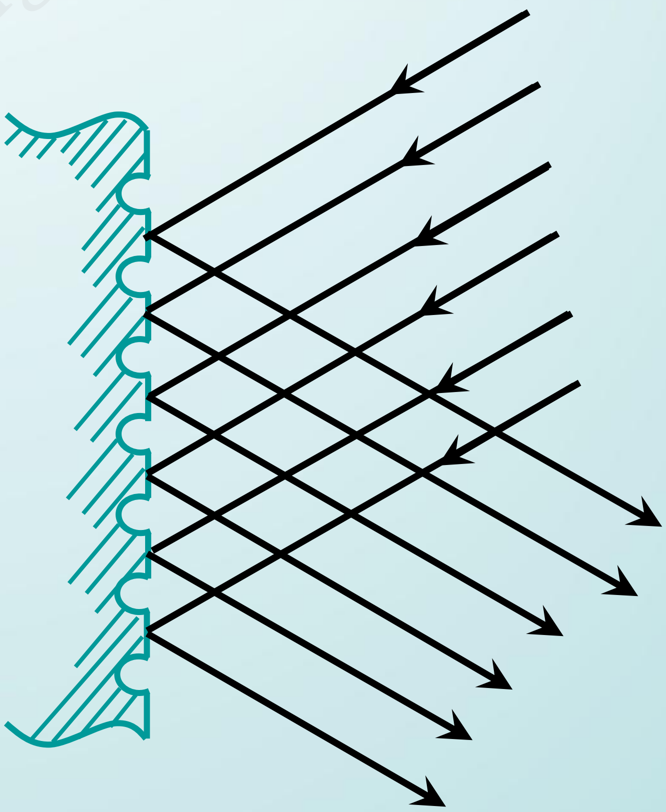
IV – NX FRAUNHOFER (QUA n KHE HẸP)

Có hai loại cách tử

Cách tử truyền qua



Cách tử phản xạ



IV – NX FRAUNHOFER (QUA n KHE HẸP)

Ví dụ 3: **Quan sát ảnh nhiễu xạ Fraunhofer qua 3 khe hẹp có bề rộng mỗi khe là 1,5μm và khoảng cách giữa 2 khe liên tiếp là 4,5μm. Bước sóng ánh sáng là 0,6μm.**

a) **Xác định góc nhiễu xạ ứng với cực đại chính bậc 2.**

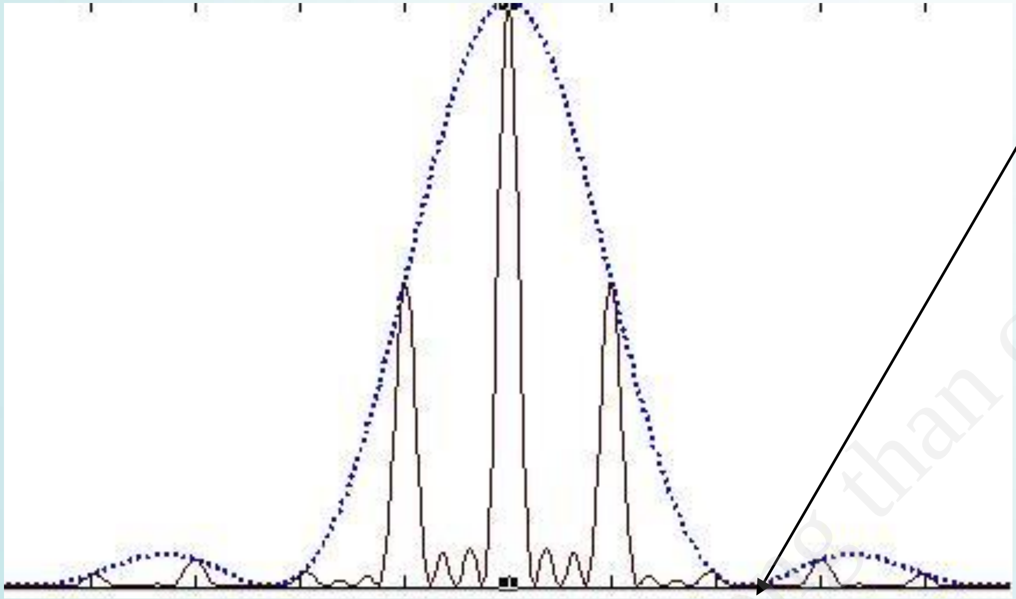
b) **Trong khoảng giữa 2 cực tiểu chính (cực tiểu nhiễu xạ) bậc nhất, có tối đa mấy cực đại chính?**

c) **Giữa hai cực đại chính liên tiếp, có mấy cực đại phụ và mấy cực tiểu phụ?**

Giải

a) Vị trí cực đại bậc 2 thỏa: $\sin\theta = k\dfrac{\lambda}{d} = \dfrac{2.0,6}{4,5} = 0,267$ $\Rightarrow \theta = 15,5^o$

b) Số cực đại chính ở giữa 2 cực tiểu nx đầu tiên:



Vị trí cực tiểu NX đầu tiên:

$$\sin\theta = k\frac{\lambda}{b} = \frac{0,6}{1,5} = 0,4$$

Vị trí các cực đại chính:

$$\sin\theta_1 = k'\frac{\lambda}{d} = k'\frac{0,6}{4,5}$$

Chỉ xét các cực đại chính nằm trong khoảng giữa 2 cực tiểu NX đầu tiên thì:

$$|\sin\theta_1| < |\sin\theta| \Leftrightarrow k' < 3$$

$$\Rightarrow k' = 0; \pm 1; \pm 2$$

Vậy, có 5 cực đại chính.

c) Giữa 2 cực đại chính có (n – 2) = (3 – 2) = 1 cực đại phụ và có (n – 1) = 2 cực tiểu phụ.

IV – NX FRAUNHOFER (QUA n KHE HẸP)

Ví dụ 4: **Một cách tử có chu kì d = 2μm**

a) Tính số khe trên một centimet chiều dài cách tử.

b) Tính bước sóng lớn nhất có thể quan sát được trong quang phổ cho bởi cách tử đó.

c) Nếu bề rộng mỗi khe là b = 0,8μm và ánh sáng đơn sắc có bước sóng λ = 0,6μm chiếu thẳng góc vào mặt cách tử thì trong khoảng giữa 2 cực tiểu NX đầu tiên, có bao nhiêu cực đại chính có thể quan sát được?

Giải

a) Số khe trên mỗi centimet

$$n = \frac{1}{d} = \frac{1}{2.10^{-4}} = 5000 \quad (\text{khe}/\text{cm})$$

b) Bước sóng lớn nhất

$$\sin\theta = k\frac{\lambda}{d} \Rightarrow \lambda = \frac{d\sin\theta}{k} \Rightarrow \lambda_{max} = d = 2\mu m$$

c) Số cực đại chính giữa 2 CT NX đầu tiên

Vtrí CT NX đầu tiên: $\sin\theta = \frac{\lambda}{b}$

Vtrí cực đại chính: $\sin\theta_1 = k'\frac{\lambda}{d}$

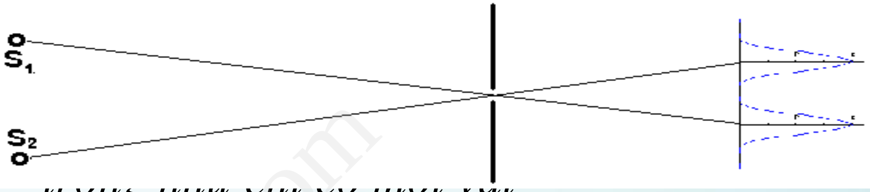
mà: $|\sin\theta_1| < |\sin\theta| \Leftrightarrow \frac{|k'|}{d} < \frac{1}{b}$

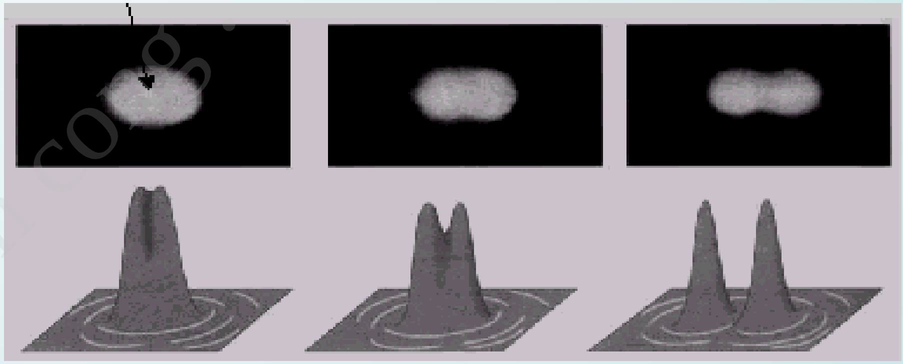
$$\Rightarrow |k'| < \frac{d}{b} = \frac{2}{0,8} = 2,5 \qquad \Rightarrow k' = 0; \pm 1; \pm 2$$

Vậy có 5 cực đại chính có thể quan sát được

V – GIỚI HẠN NHIỄU XẠ

Chuẩn Rayleigh để có thể tách biệt hai nguồn sáng là cực tiểu thứ nhất của một ảnh NX trùng với cực đại trung tâm của ảnh kia





không phân giải được *vừa đủ phân giải* *phân giải*

Hình 9.15a

$$\boxed{\sin\theta_0 = 1{,}22\frac{\lambda}{D}}$$

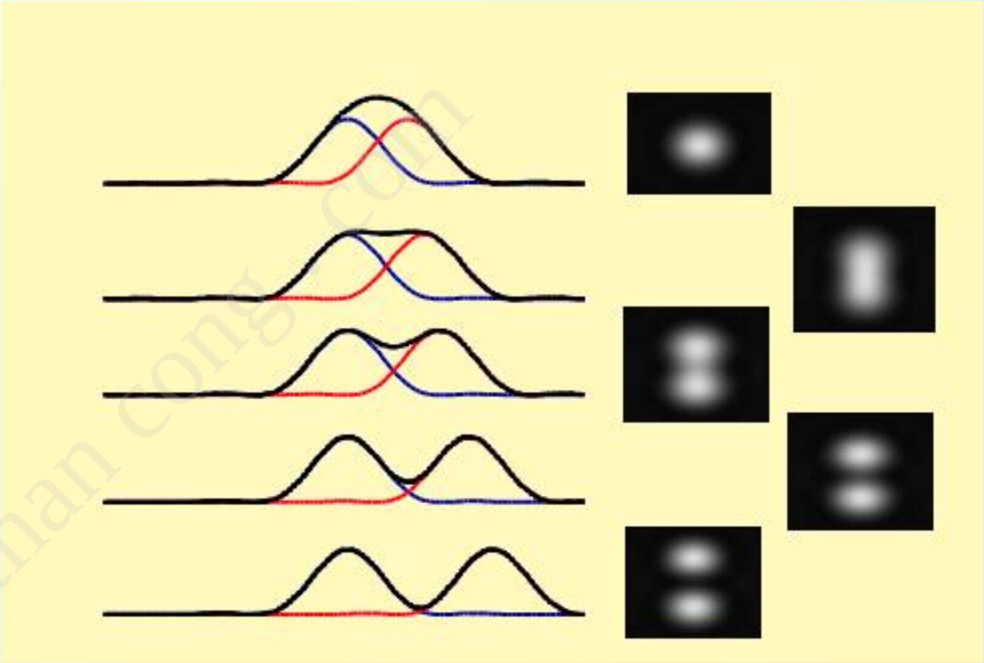
$\sin\theta_o \approx \theta_o$

$$\boxed{\theta_0 = 1{,}22\frac{\lambda}{D}}$$

Hai nguồn sáng cách nhau không quá θ_o sẽ không thể phân biệt được cho dù độ phóng đại lớn đến bao nhiêu

V – GIỚI HẠN NHIỄU XẠ

Nếu hai vật cách nhau một khoảng d và cách người quan sát L thì góc giữa chúng:



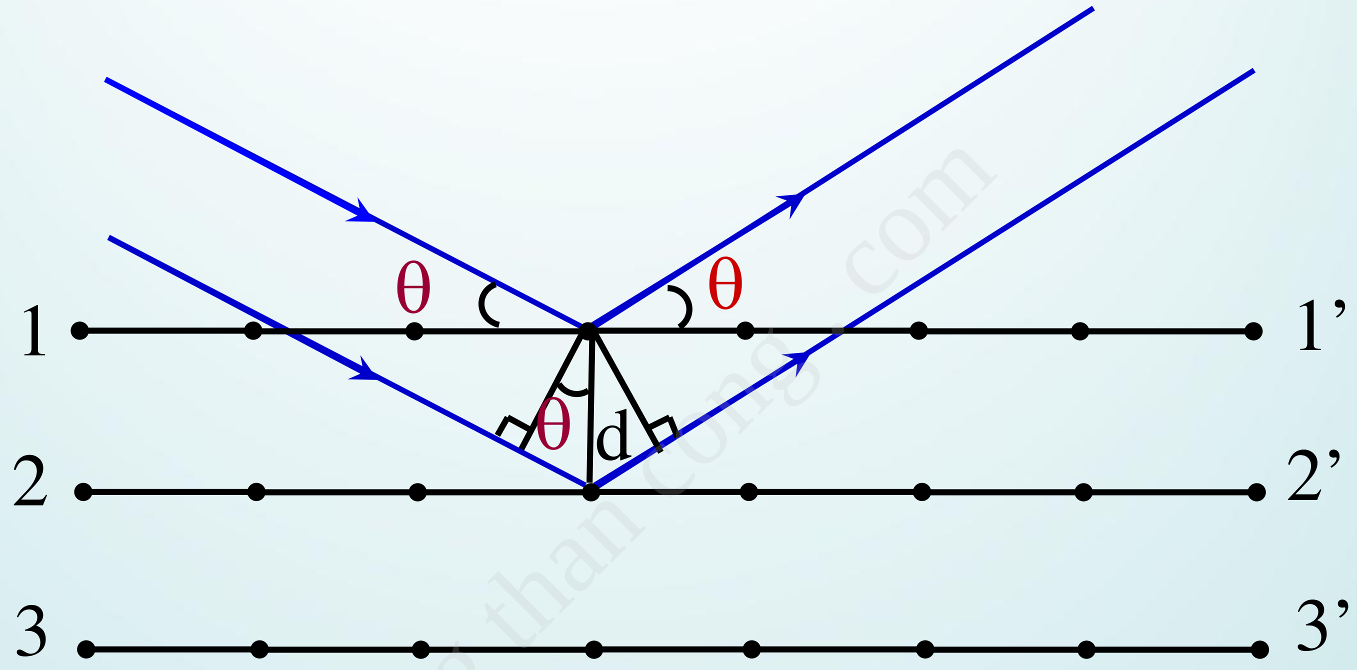
Hình 9.15b

$$\theta = \frac{d}{L}$$

$$d_0 = 1,22\frac{\lambda L}{D}$$

(d_o là độ tách nhỏ nhất của các vật, để có thể phân biệt được)

VI – NHIỄU XẠ TIA X TRÊN TINH THỂ



Hiệu quang lộ

$$L_2 - L_1 = 2d.\sin\theta$$

Vị trí các cực đại thỏa định luật Vulf - Bragg

$$\boxed{L_2 - L_1 = 2d.\sin\theta = k\lambda}$$

VI – NHIỄU XẠ TIA X TRÊN TINH THỂ

Ví dụ 5: Để nghiên cứu cấu trúc của tinh thể hai chiều, người ta chiếu vào tinh thể một chùm tia Rơngen có bước sóng 15pm và quan sát ảnh nhiễu xạ của nó. Kết quả, cực đại NX bậc nhất ứng với góc nhiễu xạ $\theta = 30^0$. Tính hằng số mạng tinh thể?

Giải

Theo định luật Vulf – Bragg:

$$L_2 - L_1 = 2d.\sin\theta = k\lambda$$

$$\Rightarrow d = \frac{k\lambda}{2\sin\theta} = \frac{1.15}{2.\sin 30} = 15\text{pm}$$

VII – ỨNG DỤNG HIỆN TƯỢNG NHIỄU XẠ AS

Phân tích quang phổ bằng cách tử NX

Nghiên cứu cấu trúc mạng tinh thể bằng nhiễu xạ tia X

Nghiên cứu năng suất phân li các dụng cụ quang học