HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG

o0o

CHƯƠNG III: NHIỄU XẠ ÁNH SÁNG

Bài giảng môn Vật lý 3 và thí nghiệm

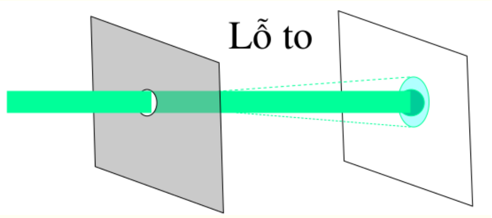
Giảng viên: Tô Thị Thảo

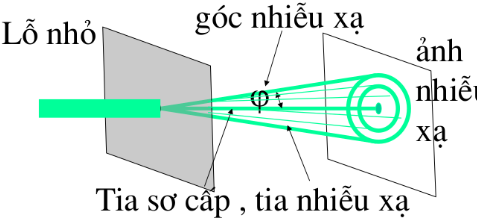
Ngày 6 tháng 9 năm 2023

Nội dung

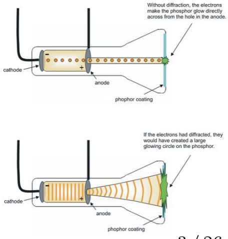
1. Hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng
   - 1. Thí nghiệm và thực tế ứng dụng
   - 2. Nguyên lí Huygens - Fresnel
2. Nhiễu xạ ánh sáng của sóng cầu
   - 1. Phương pháp đới cầu Fresnel
   - 2. Nhiễu xạ qua lỗ tròn
   - 3. Nhiễu xạ qua một đĩa tròn
3. Nhiễu xạ gây bởi sóng phẳng - Cách tử nhiễu xạ
   - 1. Nhiễu xạ ánh sáng của sóng phẳng qua một khe hẹp
   - 2. Nhiễu xạ của sóng phẳng qua nhiều khe hẹp - cách tử nhiễu xạ

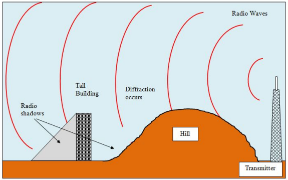
Hiện tượng nhiễu xạ





Hiện tượng nhiễu xạ: là hiện tượng tia sángbịlệch khỏi phương truyền thẳng khi truyền qua các vật chắn sáng có kích thước nhỏ → thể hiện tính chất sóng.

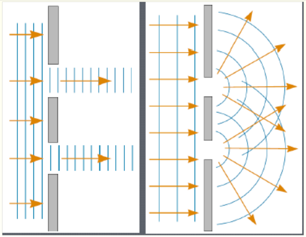


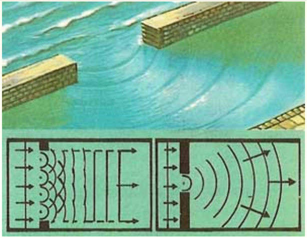


2. Nguyên lí Huygens - Fresnel

Phát biểu của Huygens:

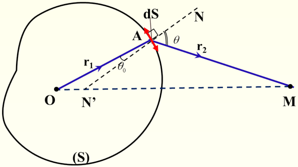
Bất kỳ một điểm nào mà ánh sáng truyền đến đều trở thành nguồn sáng thứ cấp phát ra ánh sáng về phía trước.





Phát biểu của Fresnel:

Biên độ và pha của nguồn thứ cấp là biên độ và pha do nguồn thực gây ra tại vị trí của nguồn thứ cấp.



- Biên độ từ dS chiếu đến M:

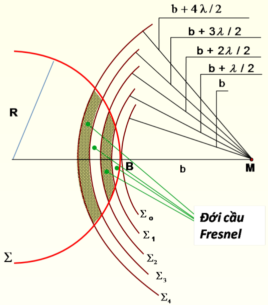
$$a(M) = \frac{A(\theta_0, \theta)dS}{r_1 r_2}$$

- θ_0, θ càng nhỏ $\rightarrow A$ càng lớn!

Dao động sáng từ O gửi tới M:

$$\boxed{x(M) = \oint_S \frac{A(\theta_0, \theta)dS}{r_1 r_2} \cos\omega(t - \frac{r_1 + r_2}{v})}$$

Đới cầu Fresnel và tính chất



- Nguồn điểm S phát ánh sáng bước sóng λ; Điểm được chiếu sáng M.
- Mặt cầu Σ tâm S bán kính R < SM, BM = b.
- Dựng các mặt cầu Σ_0; Σ_1; Σ_2...; Σ_n có bán kính tương ứng là $b, b+\lambda/2, b+2\lambda/2, \ldots b+n\lambda/2$. Các mặt Σ_i cắt và chia mặt cầu Σ thành các đới cầu ⇒ các đới cầu Fresnel.

– diện tích bằng nhau:

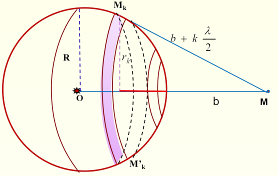
$$\Delta S_k = \frac{\pi R b}{R+b}\lambda \qquad (1)$$

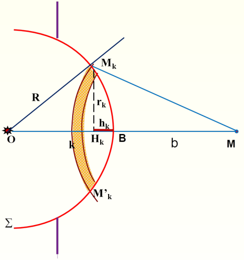
– bán kính:

$$r_k = \sqrt{k}\sqrt{\frac{Rb\lambda}{R+b}} \qquad (2)$$

⇒ Coi mỗi đới là một nguồn thứ cấp phát ánh sáng đến M.

1. Phương pháp đới cầu Fresnel





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

$$\Leftrightarrow 2Rh_k - h_k^2 = kb\lambda + \frac{(k\lambda)^2}{4} - 2bh_k - h_k^2$$

$$\Rightarrow h_k = \frac{kb\lambda}{2(R+b)}$$

Diện tích chỏm cầu thứ k BM$_k$M'$_k$:

$$S_k = h_k.2\pi R = k\frac{\pi R b\lambda}{R+b}$$

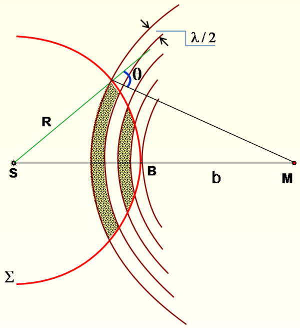
- Diện tích của đới cầu thứ k:

$$\Delta S_k = S_{k+1} - S_k = \frac{\pi R b}{R+b}\lambda$$

- Bán kính:

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

Tính chất đới cầu Fresnel



- Gọi a_k: biên độ dao động sáng do đới thứ k gây ra tại M:

$$a_k \sim \begin{cases} 1/k, \\ 1/\theta. \end{cases} \Rightarrow a_1 > a_2 > ...a_n.$$

- θ tăng chậm $\Rightarrow a_k$ giảm chậm
$\Rightarrow a_k = \frac{1}{2}(a_{k+1} + a_{k-1})$; k lớn $\Rightarrow a_k \approx 0$
- Các đới cầu thuộc mặt sóng $\Sigma \Rightarrow$ các điểm trên mọi đới cùng pha.

– Hiệu quang lộ của 2 đới kế tiếp bằng $\lambda/2$

$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(L_1 - L_2) = \frac{2\pi}{\lambda}\frac{\lambda}{2} = \pi$: 2 đới kế tiếp dao động ngược pha. Do đó: $a_M = a_1 - a_2 + a_3 - ... \pm a_n$

$$\Rightarrow a_M = \frac{a_1}{2} + (\frac{a_1}{2} - a_2 + \frac{a_3}{2}) + (\frac{a_3}{2} - a_4 + \frac{a_5}{2}) + ... \pm \frac{a_n}{2}$$

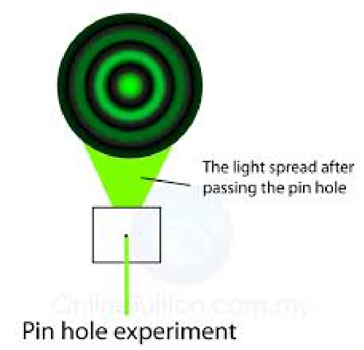
Tính chất đới cầu Fresnel

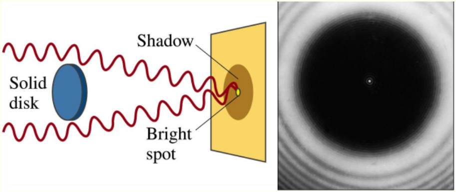
$$a_M = \frac{a_1}{2} + \left(\frac{a_1}{2} - a_2 + \frac{a_3}{2}\right) + \left(\frac{a_3}{2} - a_4 + \frac{a_5}{2}\right) + \ldots \pm \frac{a_n}{2}$$

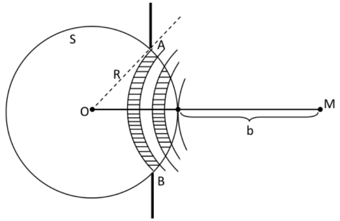
$$\Rightarrow a_M = \frac{a_1}{2} \pm \frac{a_n}{2} \text{lấy dấu} \begin{cases} + \text{ Nếu n lẻ} \\ \text{- Nếu n chẵn} \end{cases}$$

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

Ảnh nhiễu xạ qua lỗ tròn và qua đĩa tròn







Nguồn O phát ánh sáng → M. Giữa màn P (⊥ OM) không có màn chắn hoặc có lỗ lớn ($n \to \infty : a_n = 0$):

$$I = \left(\frac{a_1}{2} \pm \frac{a_n}{2}\right)^2 \approx \frac{a_1^2}{4} = I_o$$

- Nếu lỗ tròn chứa một số chẵn đới cầu

$$I = \left(\frac{a_1}{2} - \frac{a_n}{2}\right)^2 < \frac{a_1^2}{4} = I_0,$$ M tối hơn khi không có màn chắn!

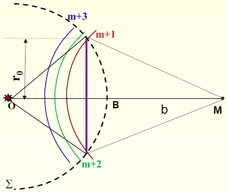
- lỗ tròn chứa hai đới cầu: $I = \left(\frac{a_1}{2} - \frac{a_2}{2}\right)^2 \approx 0$ M tối nhất

- Nếu lỗ tròn chứa một số lẻ đới cầu:

$$I = \left(\frac{a_1}{2} + \frac{a_n}{2}\right)^2 > \frac{a_1^2}{4} = I_0,$$ M sáng hơn khi không có màn chắn!

- lỗ tròn chứa một đới cầu: $I = (a_1)^2 = 4\frac{a_1^2}{4} = 4I_0$

M sáng gấp 4 lần khi không có màn chắn



- Đặt giữa O và M đĩa tròn bán kính r_0
- Đĩa r_0 che m đới cầu đầu tiên. Ánh sáng từ đới cầu $m+1$ chiếu tới M:

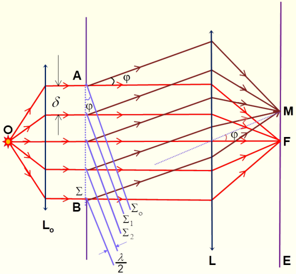
$$a = a_{m+1} - a_{m+2} + a_{m+3} \cdots$$

$$a = \frac{a_{m+1}}{2} + \left(\frac{a_{m+1}}{2} - a_{m+2} + \frac{a_{m+3}}{2}\right) + \left(\frac{a_{m+3}}{2} - a_{m+4} + \frac{a_{m+5}}{2}\right) + \cdots$$

$$a = \frac{a_{m+1}}{2} \tag{3}$$

- Che ít $\Rightarrow a_{m+1}$ không khác $a_1 \Rightarrow$ cường độ sáng tại M giống như không có chướng ngại vật giữa O và M.
- Che nhiều $\Rightarrow a_{m+1} \approx 0 \Rightarrow I_M = 0$

Nhiễu xạ gây bởi sóng phẳng



- Rọi một chùm sáng // vuông góc với một khe hẹp bề rộng b = AB.
- Sau khe, các tia nhiễu xạ theo nhiều phương.
- $\varphi = 0$: các tia đều cùng pha và hội tụ tại F $\Rightarrow$ F rất sáng gọi là cực đại giữa.
- $\varphi \neq 0$: các tia nhiễu xạ hội tụ tại M.

Chia mặt phẳng khe thành các dải sáng Fresnel bởi các mặt $\Sigma_0, \Sigma_1, \Sigma_2 ...$ vuông góc với chùm nhiễu xạ, cách nhau từng $\lambda/2$.

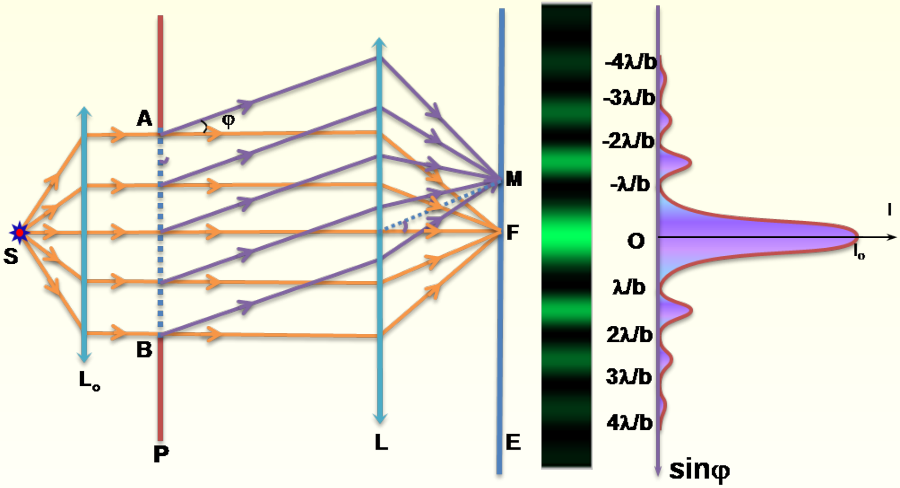
- Bề rộng của mỗi dải: $\delta = \dfrac{\lambda/2}{\sin\varphi}$

$\Rightarrow$ Số dải trên khe:

$$\boxed{n = \frac{b}{\delta} = \frac{b}{\lambda/2\sin\varphi} = \frac{2b\sin\varphi}{\lambda}} \quad (4)$$

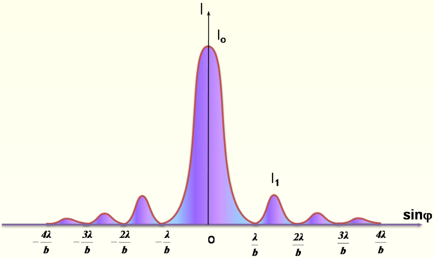
Hiệu quang lộ:

- Theo Huyghen, mỗi dải có thể coi như là một nguồn phát thứ cấp gửi ánh sáng tới M.
  Hiệu quang lộ giữa hai tia từ 2 dải liên tiếp $\Delta L = \lambda/2 \Rightarrow$ chúng dập tắt từng đôi một.
- Nếu khe chứa số chẵn dải (n=2m) $\Rightarrow$ M tối.
  $$n = \frac{2b\sin\varphi}{\lambda} = 2m$$
  $$\Rightarrow \boxed{\sin\varphi = \frac{m\lambda}{b}}; m = \pm 1, \pm 2..., \text{loại m=0} \leftrightarrow \varphi = 0 \qquad (5)$$
- Nếu khe chứa số lẻ dải (n=2k+1) $\leftrightarrow$ M sáng
  $$n = \frac{2b\sin\varphi}{\lambda} = 2m + 1$$
  $$\Rightarrow \boxed{\sin\varphi = (2m+1)\frac{\lambda}{2b}}; m = 1, \pm 2, \pm 3..., \text{loại m=0 và m=-1.} \qquad (6)$$



- m=0 ứng với cực đại giữa
- m=-1 $\leftrightarrow \sin\varphi = \pm\dfrac{\lambda}{2b} \Rightarrow$ vô lý vì không thể có cực đại đầu tiên ứng với m =-1 vì cực tiểu đầu tiên tại $\sin\varphi = \pm\dfrac{\lambda}{b}$

Đồ thị phân bố cường độ sáng



- $\sin\varphi = 0$: cực đại giữa
- $\sin\varphi = m\frac{\lambda}{b} = \pm\frac{\lambda}{b}, \pm 2\frac{\lambda}{b}, \pm 3\frac{\lambda}{b}$: cực tiểu nhiễu xạ.
- $\sin\varphi = (2m+1)\frac{\lambda}{2b} = \pm 3\frac{\lambda}{2b}, \pm 5\frac{\lambda}{2b}$: cực đại nhiễu xạ.

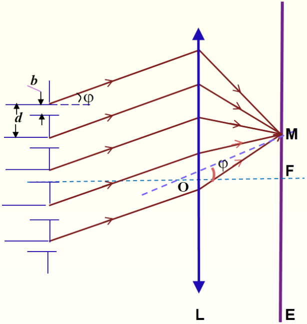
Tỷ lệ: $I_o : I_1 : I_2 : I_3 ... = 1 : 0,045 : 0,016 : 0,0008...$

Nhận xét:

- Cường độ sáng tập trung chủ yếu ở cực đại giữa: $I_o/I_1 = 1/0,045$
- Bề rộng cực đại giữa rộng gấp 2 lần cực đại khác.
- Vị trí cực đại, cực tiểu không thay đổi khi di chuyển khe đi song song với chính nó.

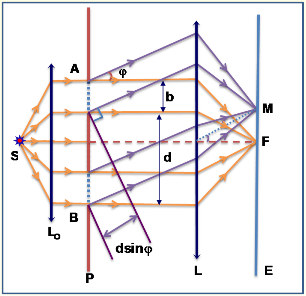
Nhiễu xạ qua cách tử

là một hệ nhiều khe hẹp giống nhau có độ rộng b, nằm song song cách đều trên cùng một mặt phẳng.
Rọi một chùm sáng // vuông góc với nhiều khe hẹp giống nhau bề rộng b, khoảng cách giữa 2 khe liên kế tiếp là d



- Nhiễu xạ qua từng khe hẹp
- Giao thoa giữa các khe.

Ảnh nhiễu xạ là sự chồng chất ảnh nhiễu xạ qua từng khe.



- Tất cả các khe đều cho cực tiểu tại vị trí:

$$\boxed{\sin\varphi = m\frac{\lambda}{b}};\text{ với m} = \pm1, \pm2, \pm3... \quad (7)$$

$\rightarrow$ cực tiểu chính.

- Xét hai tia sáng xuất phát từ 2 khe kế tiếp. Đến M, hiệu quang lộ: $\Delta L = d\sin\varphi$
- Giữa hai cực tiểu chính, các điểm thỏa mãn $d\sin\varphi = m\lambda$

$$\Rightarrow \boxed{\sin\varphi = m\frac{\lambda}{d}};\text{ với m} = \pm1, \pm2, \pm3... \quad (8)$$

cực đại giao thoa gây bởi hai khe kế tiếp bất kỳ $\Rightarrow$ cực đại chính

- Do $d > b \Rightarrow$ giữa 2 cực tiểu chính có thể có nhiều cực đại chính. Số cực đại chính thỏa mãn điều kiện:

$$m\frac{\lambda}{d} = |\sin\varphi| \leq 1 \rightarrow \boxed{m \leq \frac{d}{\lambda}}$$

- Do $d > b \Rightarrow$ Số cực đại chính nằm giữa 2 cực tiểu chính thỏa mãn:

$$m\frac{\lambda}{d} < k\frac{\lambda}{b} \rightarrow \boxed{m < k\frac{d}{b}}$$

Ví dụ: $k = 1, d/b = 3$ số cực đại chính nằm giữa hai cực tiểu là: $m < 3 \rightarrow m = 0, 1, 2 \rightarrow 5$ cực đại chính.

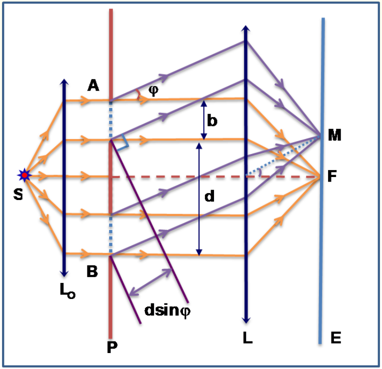
- Giữa hai cực đại chính kế tiếp, các điểm thỏa mãn:

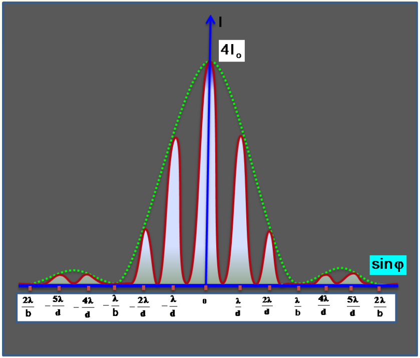
$$d\sin\varphi = (2m+1)\frac{\lambda}{2} \rightarrow \boxed{\sin\varphi = (2m+1)\frac{\lambda}{2d}}, m = 0; \pm1; \pm2...$$

dao động từ 2 khe kế tiếp sẽ khử nhau: điểm tối (cực tiểu phụ), điểm sáng (cực đại phụ) $\in$ số lượng khe chẵn hay lẻ.

Nếu có N khe, giữa 2 cực đại chính kế tiếp có (N-1) cực tiểu phụ và (N-2) cực đại phụ.

N = 2: Sự phân bố cường độ sáng theo góc nhiễu xạ φ trong trường hợp $d/b = 3$

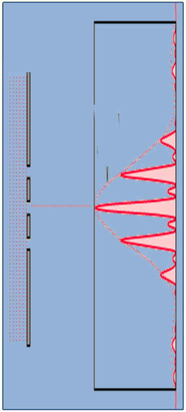


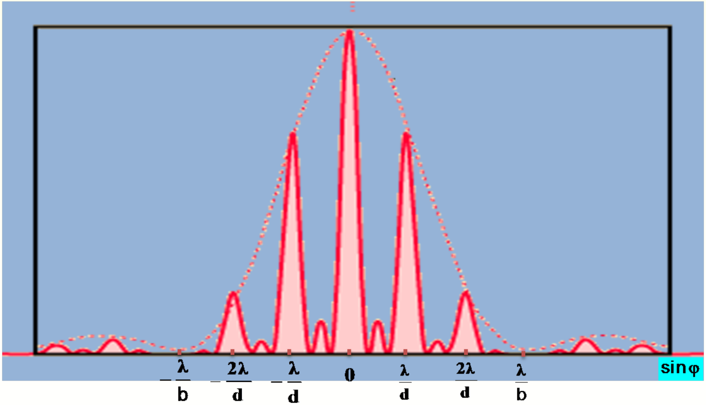


Phân bố cường độ sáng giữa hai cực tiểu chính:

- N= 3: giữa 2 cực đại chính xuất hiện 1 cực đại phụ và 2 cực tiểu phụ

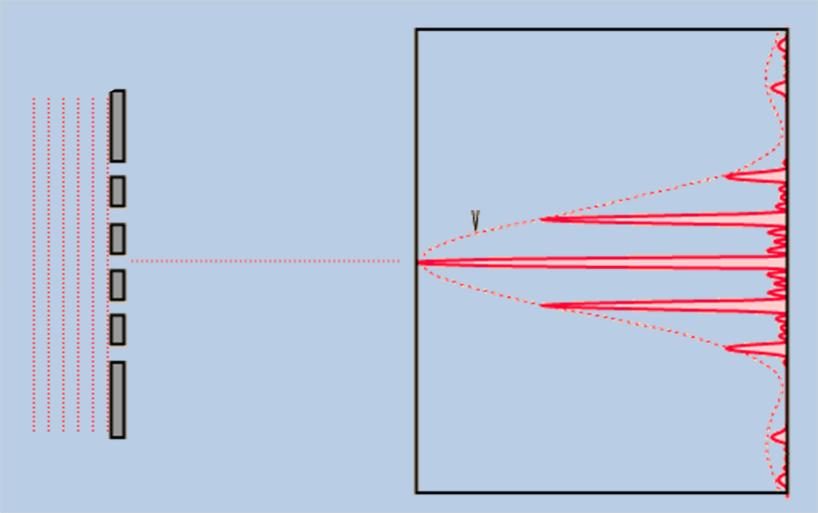
d/b=3

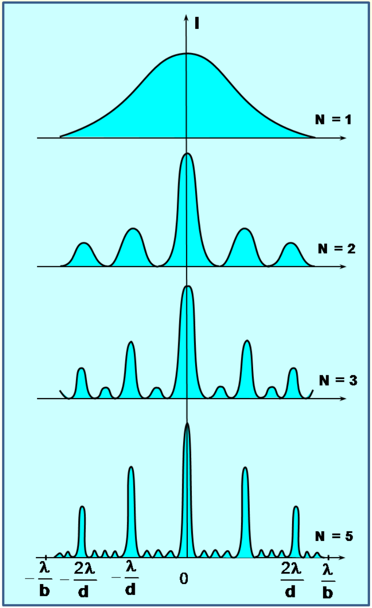


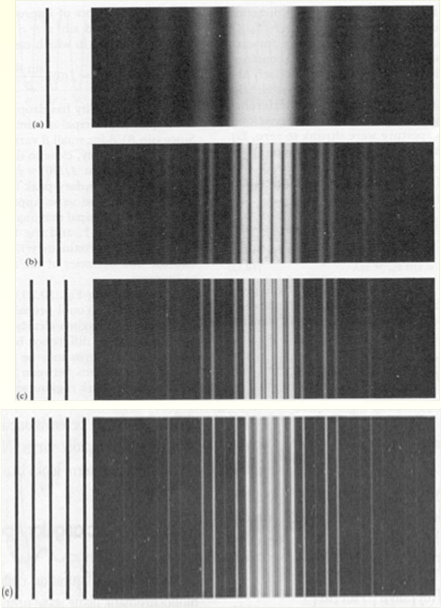


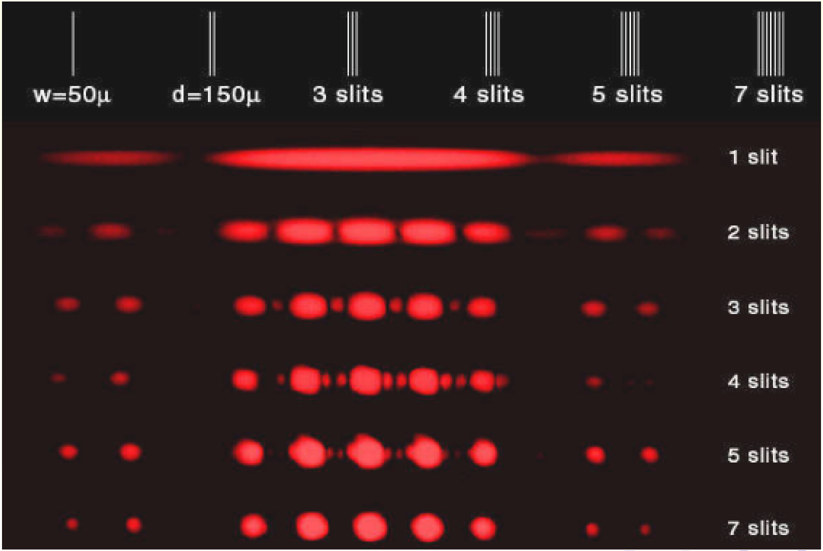
N = 5

- Vị trí của các cực đại chính và cực tiểu chính là không thay đổi so với trường hợp hai khe.
- Giữa 2 cực đại chính xuất hiện 3 cực đại phụ và 4 cực tiểu phụ.




I
N = 1
N = 2
N = 3
N = 5
$-\frac{\lambda}{b}$
$-\frac{2\lambda}{d}$
$-\frac{\lambda}{d}$
0
$\frac{2\lambda}{d}$
$\frac{\lambda}{b}$

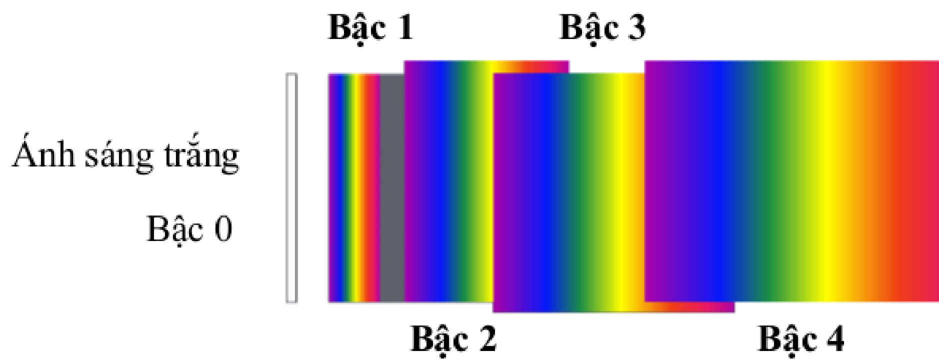

(a)
(b)
(c)


w=50μ
d=150μ
3 slits
4 slits
5 slits
7 slits
1 slit
2 slits
3 slits
4 slits
5 slits
7 slits

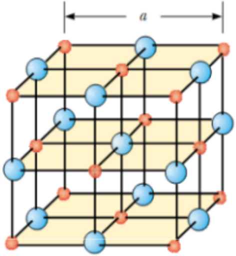
Nhiễu xạ của ánh sáng trắng qua cách tử

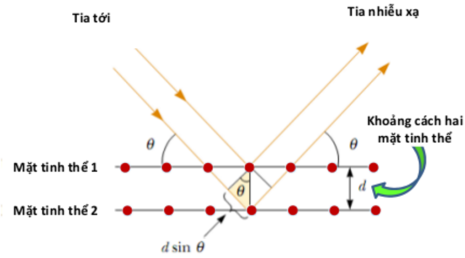
Mỗi đơn sắc của ánh sáng trắng tạo nên một hệ thống các cực đại chính ứng với các giá trị m khác nhau:

$$\sin\varphi = m\frac{\lambda}{d}$$



Nhiễu xạ trên tinh thể - Nhiễu xạ Bragg





Hiệu quang lộ của hai tia: $\Delta L = 2d\sin\theta$

Nhiễu xạ cực đại: $\boxed{2d\sin\theta = k\lambda}$ **với k = 1, 2, 3...**

Công thức Bragg