HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG

VẬT LÝ 2/3 VÀ THÍ NGHIỆM

TS. Nguyễn Thị Thúy Liễu
Tel: 0939249960
Email: lieuntt@ptit.edu.vn

NỘI DUNG

Chương 3: Nhiễu xạ ánh sáng

Chương 3: Nhiễu xạ ánh sáng

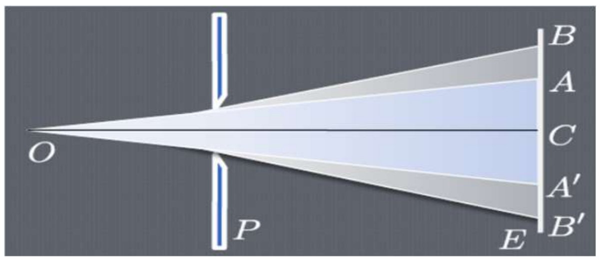
3.1 Hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng

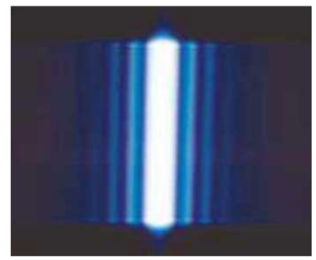
3.2 Khảo sát hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng

3.3 Ứng dụng hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng

1. Hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng

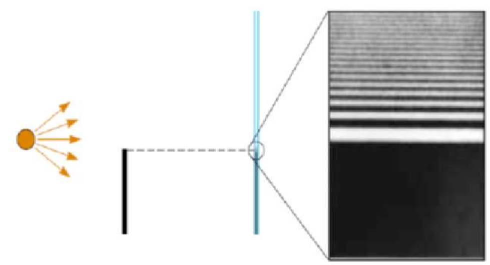
➢ **Thí nghiệm:**





➢ **Định nghĩa**:

Hiện tượng tia sáng bị lệch khỏi phương truyền thẳng khi đi gần các chướng ngại vật có kích thước nhỏ.



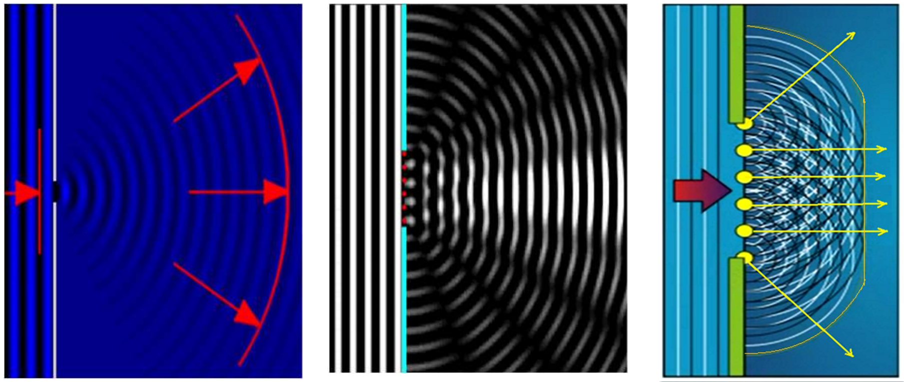
1. Hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng

❖ **Nguyên lí Huygens - Fresnel**

- Mỗi điểm trong không gian được sóng ánh sáng từ nguồn thực gửi đến đều trở thành nguồn sáng thứ cấp phát sóng ánh sáng về phía trước.

- 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.

Từ nguyên lí Huygens-Fresnel, có thể giải thích hiện tượng nhiễu xạ



2. Khảo sát hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng

2.1. Phương pháp đới cầu Fresnel

2.2. Nhiễu xạ gây bởi sóng cầu

2.3. Nhiễu xạ gây bởi sóng phẳng

2. Khảo sát hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng

❖ Phương pháp đới cầu Fresnel

- ***Định nghĩa:***
- ***Tính chất:***

***1. Diện tích các đới cầu:** $\Delta S = \dfrac{\pi Rb}{R+b}\lambda$

*** 2. Bán kính của đới cầu thứ k:** $r_k = \sqrt{\dfrac{Rb\lambda}{R+b}}\sqrt{k}$ ***k=1,2,3***

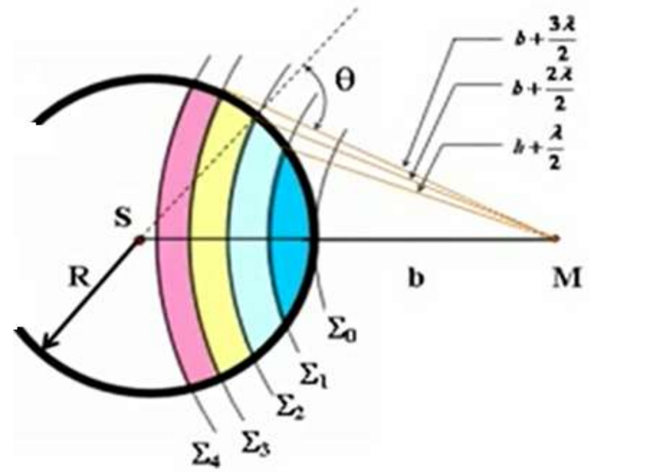
***3. Khi $k \uparrow$, $a_k \downarrow$, k đủ lớn thì $a_k \to 0$**, và: $a_k = \dfrac{1}{2}(a_{k-1} + a_{k+1})$

***4. Hiệu pha của hai dao động sáng do hai đới cầu kế tiếp gây ra tại M:** $\Delta\varphi = \dfrac{2\pi}{\lambda}\Delta L = \dfrac{2\pi}{\lambda}.\dfrac{\lambda}{2} = \pi$

→ biên độ dao động tổng hợp tại M : $a = a_1 - a_2 + a_3 - a_4 + ... \pm a_n$

⇨ $a = \dfrac{a_1}{2} \pm \dfrac{a_n}{2}$ ***dấu + nếu n là lẻ***

dấu - nếu n là chẵn

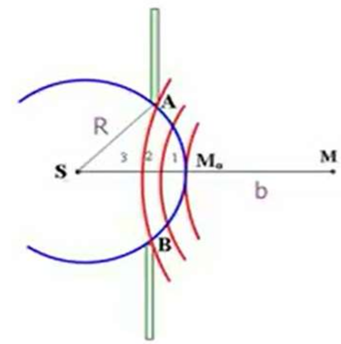


Nếu sóng phẳng

$R \to \infty : r_k = \sqrt{b\lambda}\sqrt{k}$

Nhiễu xạ gây bởi sóng cầu

❖ **Nhiễu xạ qua lỗ tròn**



Gọi *n* là số đới cầu Fresnel lỗ chứa được:

Biên độ dao động sáng tổng hợp tại M: $a = \frac{a_1}{2} \pm \frac{a_n}{2}$ ***dấu + nếu n lẻ***
dấu - nếu n chẵn

Các trường hợp đặc biệt:

*** Khi không có màn chắn hoặc kích thước lỗ tròn rất lớn:** $n \to \infty; a_n \approx 0$ ⇒ **Cường độ sáng tại M:** $I_0 = a^2 = \frac{a_1^2}{4}$

**** Nếu n lẻ :*** $a = \frac{a_1}{2} + \frac{a_n}{2}$ → $I = \left(\frac{a_1}{2} + \frac{a_n}{2}\right)^2 > \frac{a_1^2}{4} = I_0$ → **điểm M sáng hơn khi không có màn chắn.**

***n=1*:** $a = \frac{a_1}{2} + \frac{a_1}{2} = a_1$ → $I = a_1^2 = 4I_0$ → **Điểm M sáng nhất.**

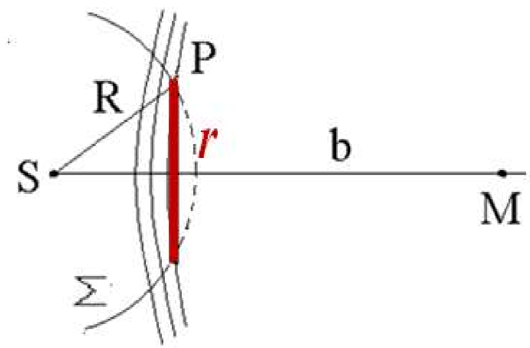
**** Nếu chẵn:*** $a = \frac{a_1}{2} - \frac{a_n}{2}$ → $I = \left(\frac{a_1}{2} - \frac{a_n}{2}\right)^2 < \frac{a_1^2}{4} = I_0$ ⇒ **điểm M tối hơn khi không có lỗ tròn.**

n=2: $a = \frac{a_1}{2} - \frac{a_2}{2} \approx 0$ ⇒ ***I = 0*** → **Điểm M tối nhất.**

Nhiễu xạ gây bởi sóng cầu

❖ Nhiễu xạ qua một đĩa tròn

Giữa nguồn sáng S và điểm M có một đĩa chắn sáng bán kính



Nếu đĩa che khuất m đới cầu đầu tiên

⟹ Biên độ dao động tại M: $a = a_{m+1} - a_{m+2} + a_{m+3} - .... \pm a_{m+n}$

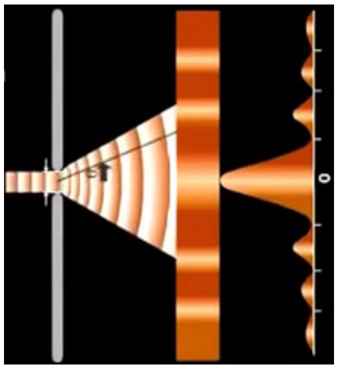
$$\Longrightarrow \quad a = \frac{\left(a_{m+1} \pm a_{m+n}\right)}{2} \rightarrow \boxed{a = \frac{a_{m+1}}{2}}$$

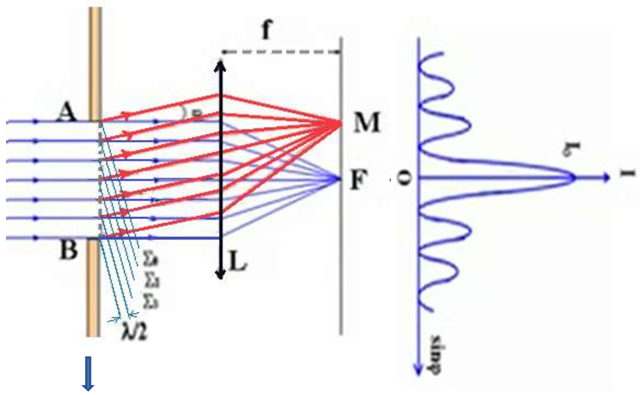
+ Nếu đĩa che ít đới cầu thì $a_{m+1} \cong a_1$ → cường độ sáng tại M cũng giống như trường hợp không có chướng ngại vật giữa S và M.

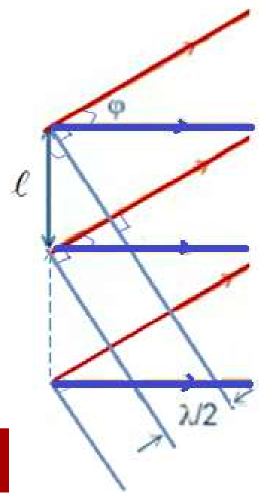
+ Nếu đĩa che nhiều đới cầu thì $a_{m+1} \cong 0$ →cường độ sáng tại $\boxed{I_M = 0}$

Nhiễu xạ gây bởi sóng phẳng

❖ Nhiễu xạ qua một khe hẹp







** Xét trường hợp φ=0, Các tia nhiễu xạ* hội tụ tại điểm *F*→tại *F* rất sáng và được gọi là *cực đại giữa.*

** Xét trường hợp $\varphi \neq 0$*

Dùng ý tưởng của phương pháp đới cầu Fresnel, chia khe thành các dãi:

- Độ rộng của mỗi dải: $\boxed{\ell = \dfrac{\lambda}{2\sin\varphi}}$

- Số dải trên khe: $\boxed{N = \dfrac{b}{\ell} = \dfrac{2b\sin\varphi}{\lambda}}$

* Nếu khe chứa số chẵn dải ($N = 2k$)

→ điểm M sẽ tối gọi là *cực tiểu nhiễu xạ*.

* Nếu khe chứa một số lẻ dải ($N = 2k+1$)

→ điểm M sẽ sáng gọi là *cực đại nhiễu xạ*.

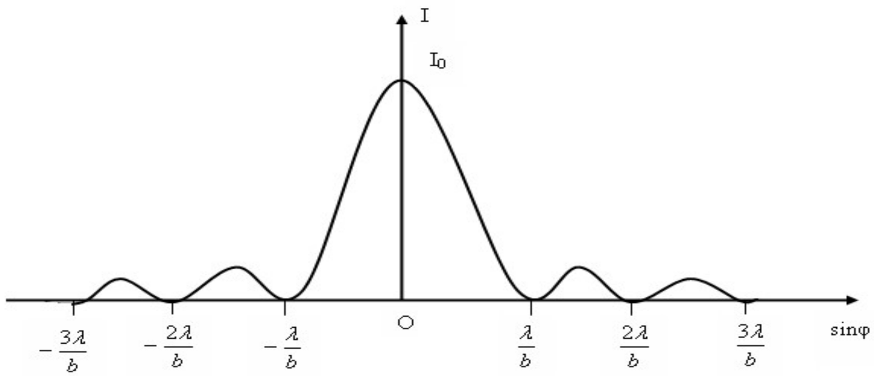
Nhiễu xạ gây bởi sóng phẳng

Các điều kiện cực đại, cực tiểu nhiễu xạ qua một khe hẹp:

- **Điều kiện cực đại giữa:** $\varphi=0$: $\Rightarrow$ $\boxed{\sin\varphi = 0}$
- **Điều kiện cực tiểu nhiễu xạ :** $N = \dfrac{2b\sin\varphi}{\lambda} = 2k$ $\Rightarrow$ $\boxed{\sin\varphi = k\dfrac{\lambda}{b}}$ **với** $k = \pm 1, \pm 2, \pm 3..$
- **Điều kiện cực đại nhiễu xạ :** $N = \dfrac{2b\sin\varphi}{\lambda} = 2k+1$ $\Rightarrow$ $\boxed{\sin\varphi = (k+\dfrac{1}{2})\dfrac{\lambda}{b}}$ **với** $k = 1, \pm 2, \pm 3...$

Đồ thị phân bố cường độ sáng trên màn

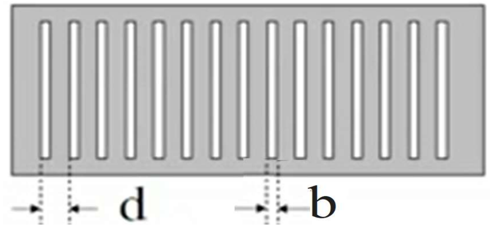
$$I_0 : I_1 : I_2 : I_3 :... = 1 : 0,045 : 0,016 : 0,008 :...$$

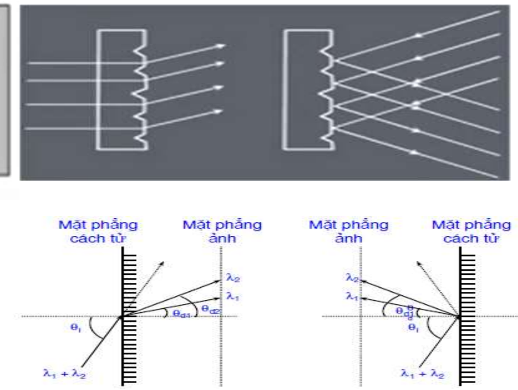


Nhiễu xạ gây bởi sóng phẳng

2. Nhiễu xạ qua cách tử phẳng

➢ ***Định nghĩa cách tử phẳng:***





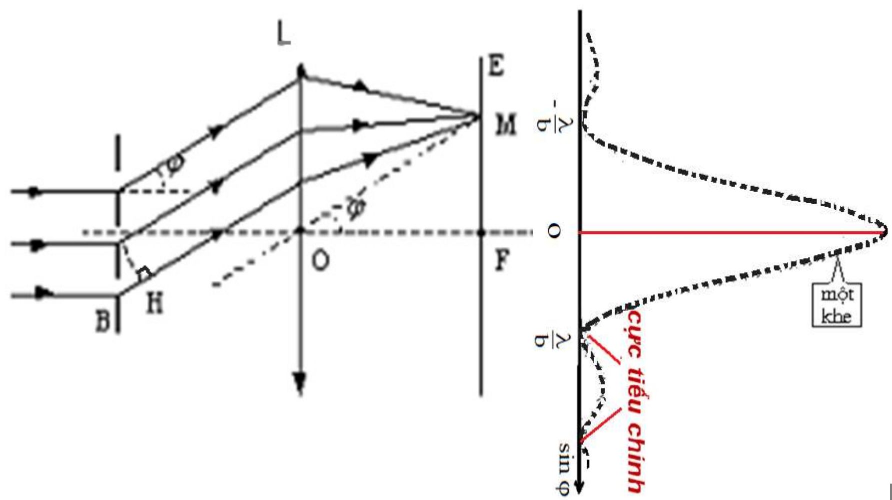
b: độ rộng khe, d: chu kỳ cách tử.

Hằng số cách tử: $n = \dfrac{1}{d}$

➢ ***Khảo sát ảnh nhiễu xạ qua cách tử:***

- Các khe hẹp đều có cùng độ rộng b cho cực tiểu nhiễu xạ tại những điểm trên màn ảnh thỏa mãn điều kiện:

$$\sin\varphi = k\frac{\lambda}{b} \quad \text{với } k = \pm 1, \pm 2, \pm 3...$$



➡ ***Tại những điểm này gọi là cực tiểu chính.***

Nhiễu xạ gây bởi sóng phẳng

Khảo sát phân bố cường độ sáng giữa hai cực tiểu chính:

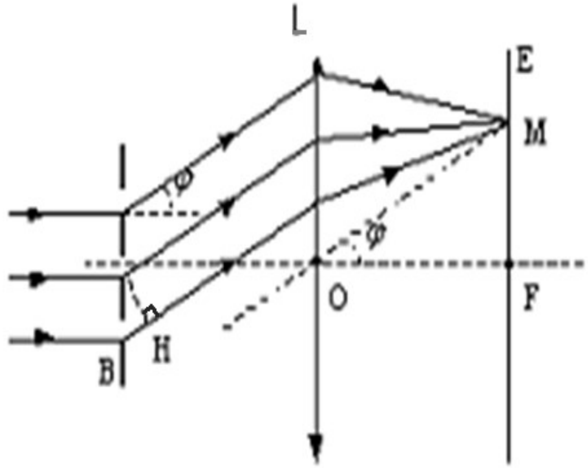
Hiệu quang lộ từ 2 khe kế tiếp đến M: $\Delta L = L_{k+1} - L_k = d\sin\varphi$

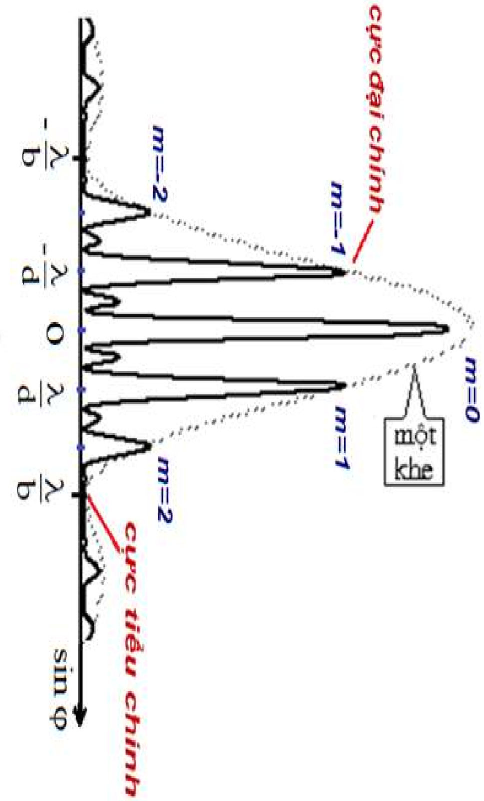
$\Delta L = d\sin\varphi = m\lambda$ $\rightarrow$ **M sáng** $\rightarrow$ ***cực đại chính*.**

➡ **Điều kiện cực đại chính:** $\boxed{\sin\varphi = m\frac{\lambda}{d}}$

$m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3....$ **: bậc của cực đại chính.**

Cực đại chính giữa ($m = 0$) ở tiêu điểm *F* của thấu kính.





Điều kiện: $\sin\varphi = \left|m\frac{\lambda}{d}\right| < \left|k\frac{\lambda}{b}\right| \le 1$

Do *d* > *b* nên giữa hai cực tiểu chính có thể có nhiều cực đại chính.

Số cực đại chính giữa 2 cực tiểu chính là: $(2m+1)$

Nhiễu xạ gây bởi sóng phẳng

Khảo sát phân bố cường độ sáng giữa hai cực đại chính:

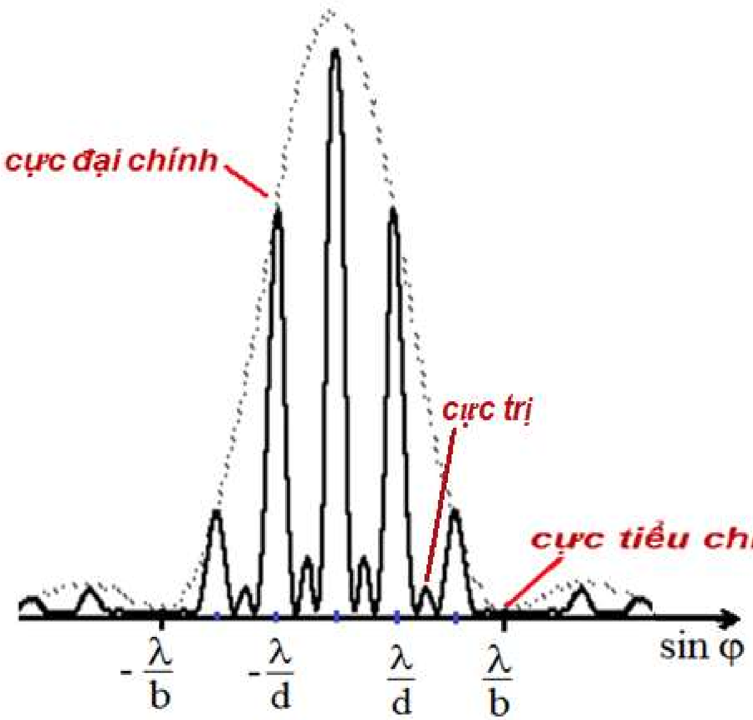
Tại điểm chính giữa hai cực đại chính kế tiếp có:

$$\Delta L = L_{k+1} - L_k = d\sin\varphi = (m+\frac{1}{2})\lambda \Longleftrightarrow \sin\varphi = (m+\frac{1}{2})\frac{\lambda}{d}$$

với $m = 0, \pm 1, \pm 2...$

➡ **hai tia đó sẽ khử lẫn nhau.**

Nếu cách tử có N khe hẹp thì giữa hai cực đại chính sẽ có (N-1) cực tiểu phụ và (N-2) cực đại phụ.



Nhiễu xạ gây bởi sóng phẳng

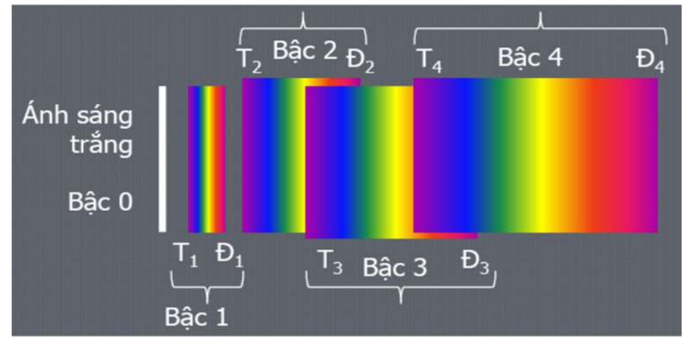
❖ ***Nhiễu xạ của ánh sáng trắng qua cách tử***

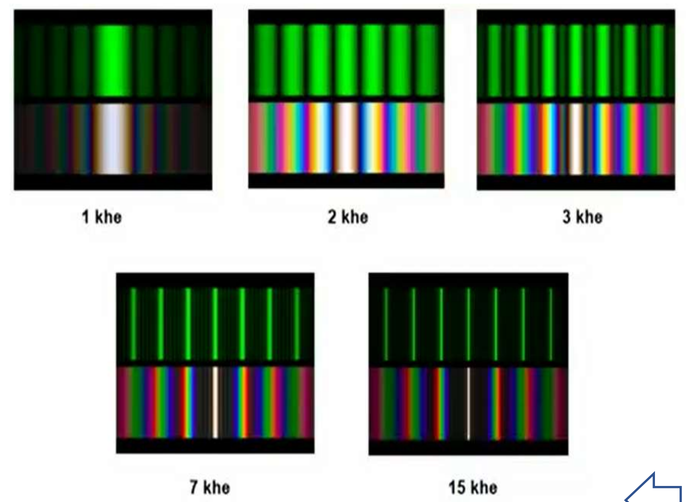
Mỗi đơn sắc của ánh sáng trắng tạo nên một hệ thống các cực đại chính ứng với các giá trị *m* khác nhau:

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

với $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3....$

Tập hợp các cực đại chính có cùng giá trị *m* tạo nên một quang phổ bậc *m*.

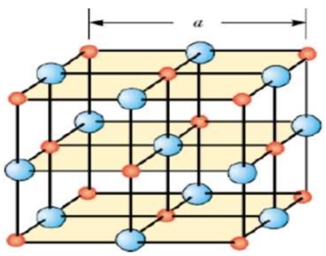


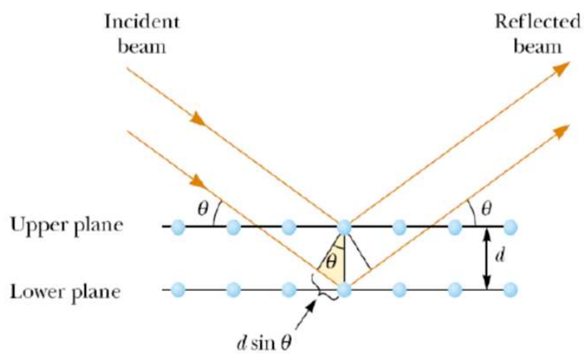


3. Ứng dụng hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng

✓ ***Nhiễu xạ trên tinh thể:***

Dùng xác định thành phần, hàm lượng các chất trong tinh thể, …





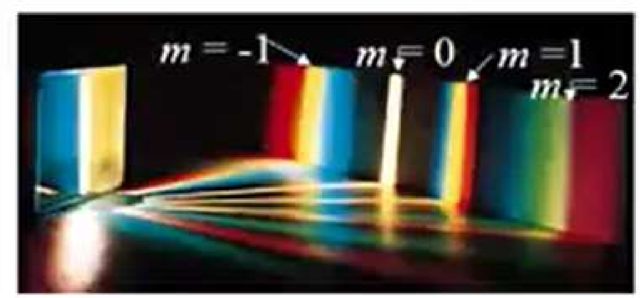
(*d*: chu kì mạng tinh thể) Nếu hai tia nhiễu xạ kế tiếp có

$$\Delta L = 2d\sin\varphi = k\lambda \Leftrightarrow \sin\varphi = k\frac{\lambda}{2d}$$ → ***công thức Vulf-Bragg***

⇒ Nếu biết λ của tia Rơnghen và đo φ

⇒ xác định được *d* của mạng tinh thể.

✓ ***Dùng cách tử phẳng:*** **để đo bước sóng ánh sáng ⇒ ứng dụng trong máy đơn sắc...**

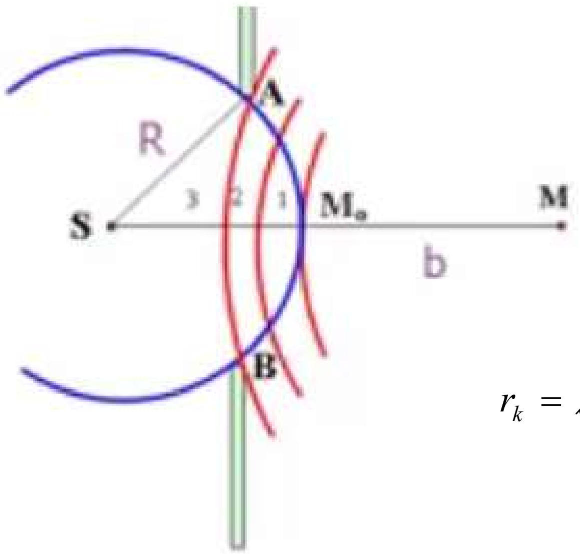


✓ ***Ứng dụng khác:***

Biến điệu quang dùng cách tử phản xạ Bragg (bộ lọc)

Bài tập ví dụ

Bài 1 **Một nguồn sáng điểm chiếu ánh sáng đơn sắc bước sóng λ = 0,5μm vào một lỗ tròn có bán kính r = 0,5mm. Khoảng cách từ nguồn sáng đến lỗ tròn R = 1m.Tìm khoảng cách từ lỗ tròn đến màn quan sát để tâm nhiễu xạ là tối nhất.**



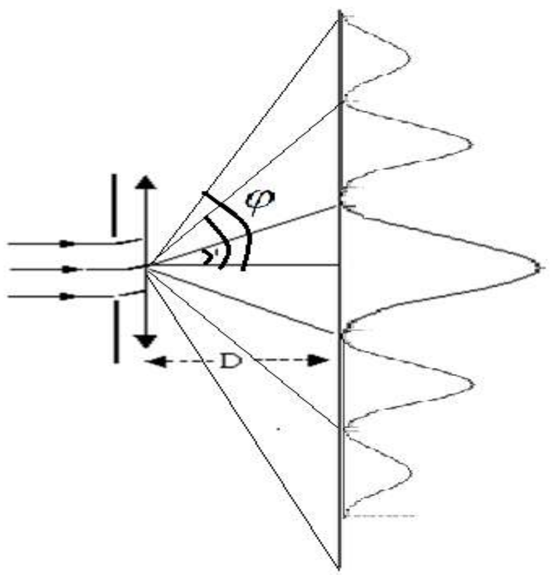
Để tâm của hình nhiễu xạ là tối nhất thì lỗ tròn chỉ chứa 2 đới cầu Fresnel, bán kính của lỗ tròn bằng bán kính của đới cầu thứ 2

$$r_k = \sqrt{\frac{Rb\lambda}{R+b}}\sqrt{k} \qquad r_2 = \sqrt{\frac{2Rb\lambda}{R+b}} = r \Rightarrow b = \frac{Rr_2^2}{2R\lambda - r_2^2} = \frac{0,25.10^{-6}}{2.0,5.10^{-6} - 0,25.10^{-6}} = \frac{1}{3}m$$

TS. Nguyễn Thị Thúy Liễu

Bài tập ví dụ

2 **Một chùm tia sáng đơn sắc song song bước sóng λ = 0,589μm chiếu thẳng góc với một khe hẹp có bề rộng b = 2μm. Hỏi những cực tiểu nhiễu xạ được quan sát dưới những góc nhiễu xạ (so với phương ban đầu) bằng bao nhiêu?**



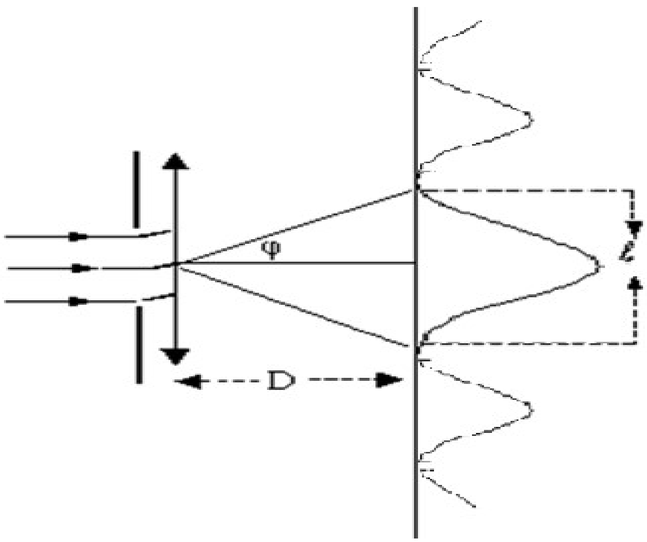
Độ lớn của góc nhiễu xạ φ ứng với các cực tiểu nhiễu xạ:

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

$$\sin\varphi \langle 1 \qquad \rightarrow \varphi_1 = ..., \ \varphi_2 = ..., \ \varphi_3 = ...$$

Bài tập ví dụ

3 **Một chùm tia sáng đơn sắc có bước sóng λ = 0,5μm được chiếu vuông góc với một khe hẹp chữ nhật có bề rộng b = 0,1mm, ngay sau khe hẹp đặt một thấu kính hội tụ. Tìm bề rộng của vân cực đại giữa trên màn quan sát đặt tại mặt phẳng tiêu của thấu kính và cách thấu kính D = 1m.**



Bề rộng của vân cực đại giữa là khoảng cách giữa hai cực tiểu nhiễu xạ đầu tiên ở hai bên cực đại giữa.
Độ lớn của góc nhiễu xạ φ ứng với các cực tiểu nhiễu xạ:

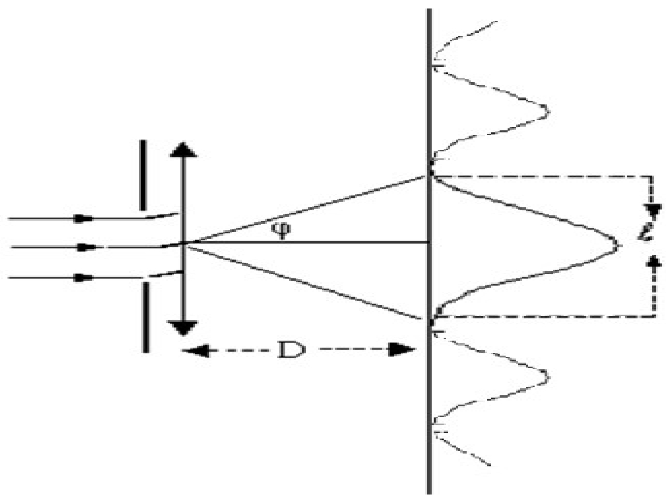
$$\sin\varphi = \frac{\lambda}{b}$$

$$\ell = 2Dtg\varphi \approx 2D\sin\varphi \qquad \rightarrow \ell = \frac{2D\lambda}{b} = \frac{2.1.0{,}5.10^{-6}}{0{,}1.10^{-3}} = 1cm$$

TS. Nguyễn Thị Thúy Liễu

Bài tập ví dụ

4 **Một chùm tia sáng đơn sắc song song chiếu vuông góc với mặt khe chữ nhật hẹp. Độ rộng của khe hẹp là b = 0,12 mm. Sát phía sau khe hẹp có đặt một thấu kính hội tụ tiêu cự f =150 cm. Người ta đo được độ rộng của cực đại trung tâm trên màn quan sát là 12 mm. Hãy xác định bước sóng của ánh sáng chiếu vào.**



Bề rộng của vân cực đại giữa là khoảng cách giữa hai cực tiểu nhiễu xạ đầu tiên ở hai bên cực đại giữa.
Độ lớn của góc nhiễu xạ φ ứng với cực tiểu nhiễu xạ bậc 1:

$$\sin\varphi = \frac{\lambda}{b}$$

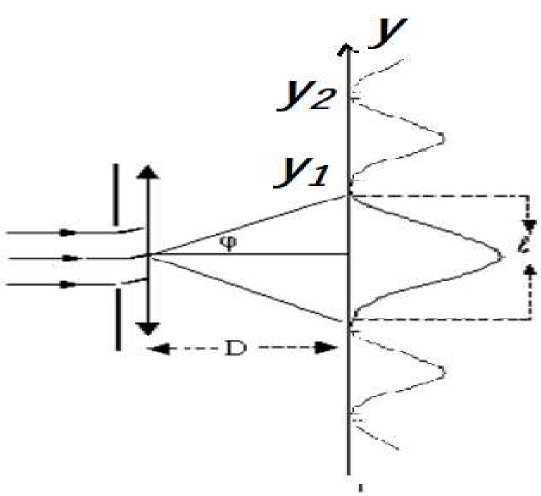
$$\ell = 2Dtg\varphi \approx 2D\sin\varphi \rightarrow \ell = \frac{2D\lambda}{b} \rightarrow \lambda = \frac{\ell b}{2D} = \frac{\ell b}{2f} = ...(m)$$

Bài tập ví dụ

5 **Một chùm tia sáng đơn sắc song song có bước sóng λ_1 = 700 nm, chiếu vuông góc với mặt khe chữ nhật hẹp. Độ rộng của khe hẹp là b = 0,15 mm. Phía sau khe hẹp và cách nó một khoảng D = 2 m có đặt một màn quan sát song song với khe hẹp. Hãy xác định:**

a. Vị trí các cực tiểu nhiễu xạ bậc một và bậc hai trên màn quan sát.

b. Độ rộng của cực đại nhiễu xạ trung tâm trên màn quan sát.



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

$$\sin\varphi \approx \tan\varphi$$

$$y_k = Dtg\varphi \approx D\sin\varphi = k\frac{\lambda D}{b}$$

Bề rộng của vân cực đại giữa là khoảng cách giữa hai cực tiểu nhiễu xạ đầu tiên ở hai bên cực đại giữa.

Độ lớn của góc nhiễu xạ φ ứng với cực tiểu nhiễu xạ bậc 1:

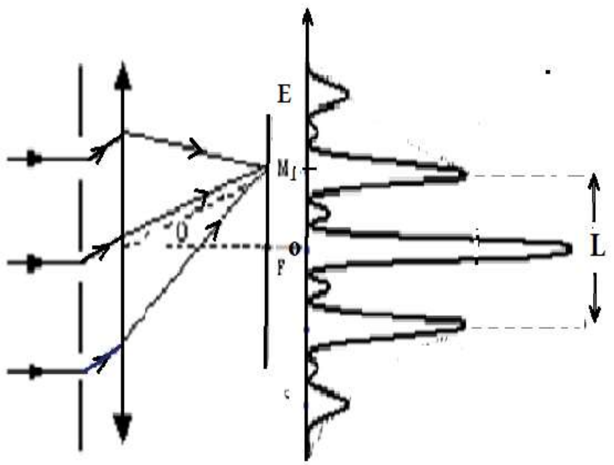
$$\rightarrow \ell = 2.y_1 = 2\frac{\lambda D}{b} = ...(m)$$

Bài tập ví dụ

6 **Cho một chùm tia sáng đơn sắc song song có bước sóng λ = 0,5μm, chiếu vông góc với mặt của một cách tử phẳng truyền qua. Ở sát phía sau của cách tử người ta đặt một thấu kính hội tụ có tiêu cự f = 50cm. Khi đó trên màn quan sát đặt tại mặt phẳng tiêu của thấu kính, hai vạch quang phổ bậc nhất cách nhau một khoảng L = 10,1cm. Xác định:**

- Chu kỳ cách tử và số khe trên 1cm chiều dài của cách tử.

- Số vạch cực đại chính trong quang phổ nhiễu xạ.



$$\sin\varphi = \frac{m\lambda}{d},\ m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3...\qquad \sin\varphi_1 = \frac{\lambda}{d}\qquad tg\varphi_1 \approx \sin\varphi_1$$

$$|tg\,\varphi_1| = \frac{M_1F}{OF} = \frac{L}{2f}\qquad d = \frac{2f\lambda}{L} = \frac{2.50.10^{-2}.0,5.10^{-6}}{10,1.10^{-2}} = 4,95\mu m$$

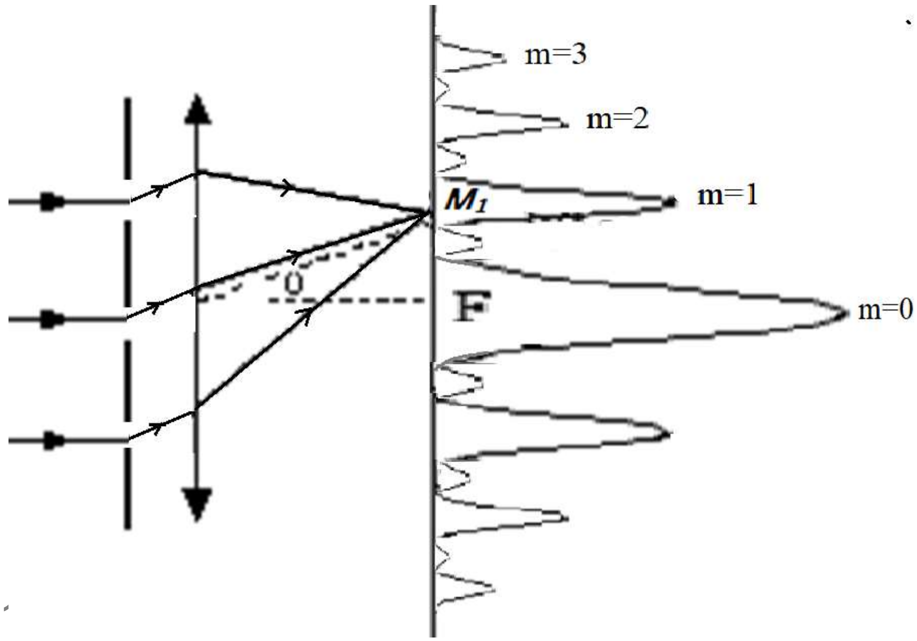
$$\sin\varphi \langle 1 \to m \langle \frac{d}{\lambda} = \frac{4,95.10^{-6}}{0,5.10^{-6}} = 9,9\qquad n = \frac{1}{d} = 2020\,khe/cm$$

$$N_{max} = 2.9 + 1 = 19\ \text{vạch}.$$

Bài tập ví dụ

7

Một chùm tia sáng song song chiếu vuông góc vào một cách tử phẳng truyền qua. Sát phía sau cách tử đặt một thấu kính hội tụ. Hãy xác định trong quang phổ bậc ba của bước sóng λ_2 nào sẽ trùng với vạch sáng màu đỏ ứng với bước sóng λ_1 = 670 nm trong quang phổ bậc hai trên màn quan sát.



$$\sin\varphi = \frac{m\lambda}{d}, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \ldots$$

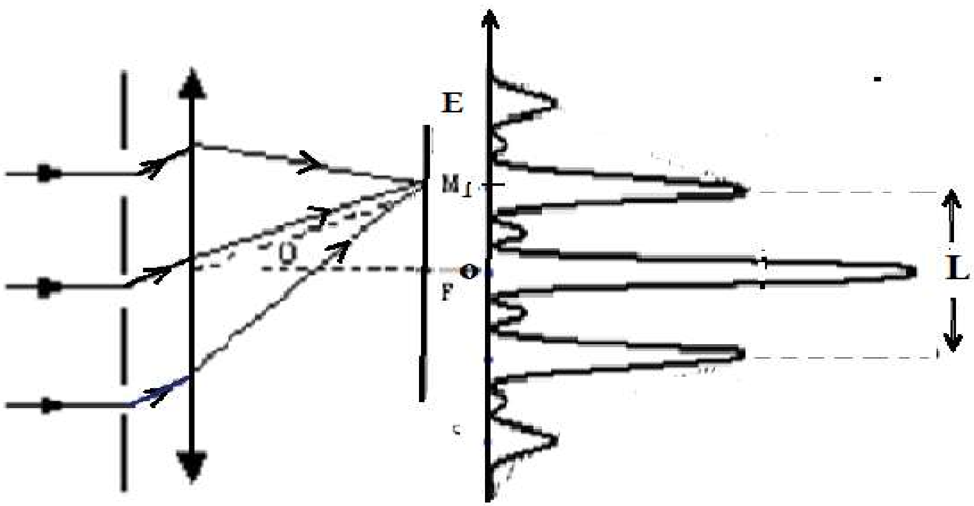
Do vạch trong quang phổ nhiễu xạ trùng nhau nên các góc nhiễu xạ tương ứng với các vạch sáng đó phải bằng nhau:

$$\sin\varphi = m_1 \frac{\lambda_1}{d} = m_2 \frac{\lambda_2}{d} \quad \rightarrow 2\lambda_1 = 3\lambda_2$$

$$\lambda_2 = \frac{2\lambda_1}{3} = \ldots.\mu m$$

Bài tập ví dụ

8 **Cho một chùm tia sáng đơn sắc song song có bước sóng λ = 0,6μm, chiếu vuông góc với mặt của một cách tử phẳng truyền qua. Ở sát phía sau của cách tử người ta đặt một thấu kính hội tụ có tiêu cự f = 67cm. Khi đó trên màn quan sát đặt tại mặt phẳng tiêu của thấu kính, hai vạch quang phổ bậc nhất cách nhau một khoảng L = 130mm. Xác định chu kỳ cách tử và số khe trên 1cm chiều dài của cách tử.**



$$\sin\varphi = \frac{m\lambda}{d}, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \ldots$$

$$\sin\varphi_1 = \frac{\lambda}{d} \qquad |\mathrm{tg}\,\varphi_1| = \frac{M_1F}{OF} = \frac{L}{2f}$$

$$\mathrm{tg}\,\varphi_1 \approx \sin\varphi_1 \quad \to d = \frac{2f\lambda}{L} = \ldots.(m)$$

$$n = \frac{1}{d} = \ldots(khe/cm)$$

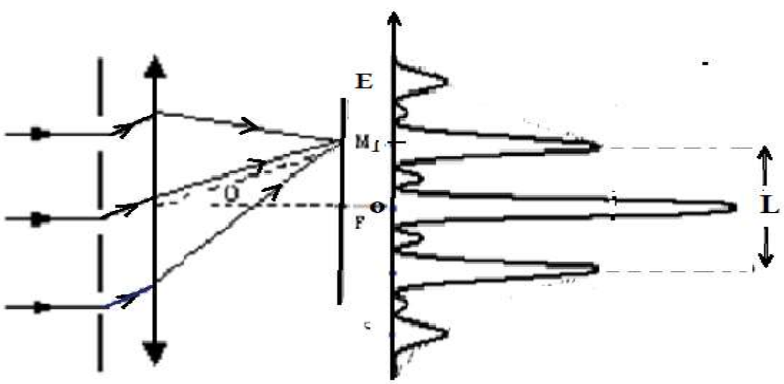
Bài tập ví dụ

9

Cho một chùm tia sáng đơn sắc song song có bước sóng λ = 0,5μm, chiếu vông góc với mặt của một cách tử phẳng truyền qua. Ở sát phía sau của cách tử người ta đặt một thấu kính hội tụ có tiêu cự f = 50cm. Khi đó trên màn quan sát đặt tại mặt phẳng tiêu của thấu kính, hai vạch quang phổ bậc nhất cách nhau một khoảng L = 10,1cm. Xác định:

- Chu kỳ cách tử và số khe trên 1cm chiều dài của cách tử.

- Số vạch cực đại chính trong quang phổ nhiễu xạ.



$$\sin\varphi = \frac{m\lambda}{d},\ m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3\ldots \qquad \sin\varphi_1 = \frac{\lambda}{d} \qquad tg\varphi_1 \approx \sin\varphi_1$$

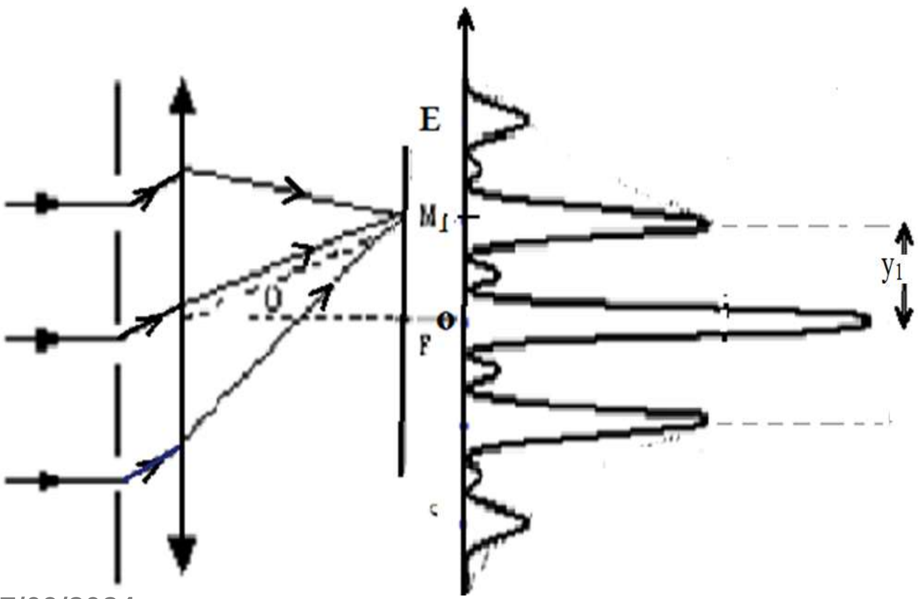
$$|tg\varphi_1| = \frac{M_1F}{OF} = \frac{L}{2f} \qquad d = \frac{2f\lambda}{L} = \ldots.\mu m$$

$$\sin\varphi < 1 \rightarrow m < \frac{d}{\lambda} = \ldots.$$

$$n = \frac{1}{d} = \ldots..khe/cm \qquad N_{max} = 2.m + 1 = \ldots\ldots \text{ vạch.}$$

Bài tập ví dụ

10 **Cho một cách tử phẳng có chu kỳ cách tử d = 2µm. Ngay sát sau cách tử đặt một thấu kính hội tụ, trên màn quan sát đặt tại mặt phẳng tiêu của thấu kính người ta quan sát thấy khoảng cách giữa hai quang phổ bậc nhất ứng với bước sóng λ_1 = 0,4044µm và λ_2 = 0,4047µm bằng 0,1mm. Xác định tiêu cự của thấu kính.**



$$\sin\varphi = \frac{m\lambda}{d},\ m = 0, \pm1, \pm2, \pm3\ldots \qquad \sin\varphi_1 = \frac{\lambda}{d} \qquad tg\varphi_1 \approx \sin\varphi_1$$

$$|tg\varphi_1| = \frac{M_1F}{OF} = \sin\varphi_1 = \frac{\lambda}{d} \rightarrow y_1 = M_1F = \frac{\lambda f}{d}$$

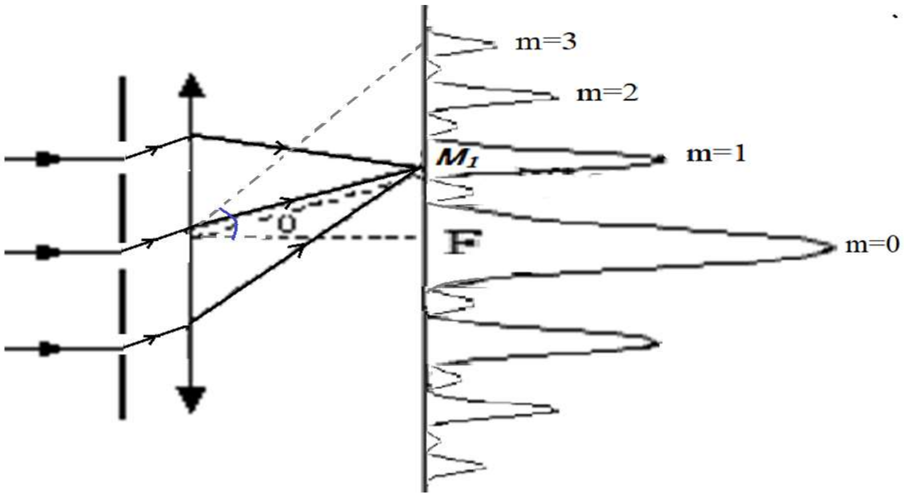
$$\Delta y = \frac{(\lambda_2 - \lambda_1)f}{d} \rightarrow f = \frac{d.\Delta y}{(\lambda_2 - \lambda_1)} = \ldots\ldots(m)$$

Bài tập ví dụ

11 Cho một chùm tia sáng đơn sắc song song có bước sóng λ = 0,7μm chiếu vuông góc với mặt của một cách tử truyền qua. Trên mặt phẳng tiêu của thấu kính hội tụ đặt ở sát phía sau cách tử, người ta quan sát thấy vạch quang phổ bậc ba lệch góc $\varphi = 48^0 36'$

a. Tìm chu kỳ cách tử và số khe trên 1cm chiều dài của cách tử.

b. Tính số cực đại chính nằm trong khoảng giữa hai cực tiểu chính bậc nhất trong ảnh nhiễu xạ. Cho biết mỗi khe của cách tử có độ rộng b = 0,7μm, $\sin 48^0 36' = 0,75$



$$\sin\varphi = \frac{m\lambda}{d},\ m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3...$$

$$\sin\varphi_3 = 3\frac{\lambda}{d} = 0.75 \rightarrow d = ...$$

$$n = \frac{1}{d} = ...khe/cm$$

$$\sin\varphi = \left|m\frac{\lambda}{d}\right| \langle \sin\varphi' = \left|\frac{\lambda}{b}\right| \rightarrow m \ \langle \ \frac{d}{b} = ...$$

$$N_{max} = 2.m + 1 = \text{.... vạch.}$$