

Chủ đề 2. GIAO THOA ÁNH SÁNG

I. TÓM TẮT LÝ THUYẾT:

1. Định nghĩa:

- Là sự tổng hợp của hai hay nhiều sóng ánh sáng kết hợp trong không gian trong đó xuất hiện những vạch sáng và những vạch tối xen kẽ nhau.
- Các vạch sáng (vân sáng) và các vạch tối (vân tối) gọi là vân giao thoa.
- Trong thí nghiệm Y-âng về giao thoa ánh sáng, hai nguồn phát sáng (hai khe) là hai nguồn đồng bộ.

2. Hiệu đường đi của ánh sáng (hiệu quang trình):

Ta có: $\Delta d = (SS_2 + d_2) - (SS_1 + d_1)$

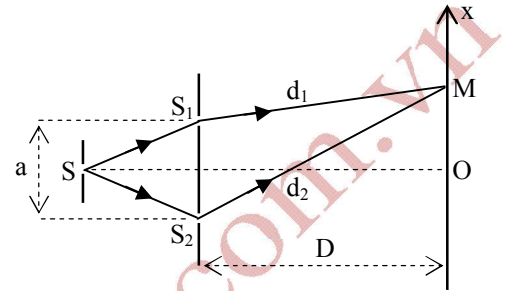
$$\Leftrightarrow \Delta d = d_2 - d_1 = \frac{ax}{D}$$

3. Khoảng vân:

Là khoảng cách giữa hai vân sáng hoặc hai vân tối liên tiếp

$$i = \frac{\lambda D}{a}$$

Nếu $\begin{cases} \lambda - (\mu\text{m}) \\ D - (\text{m}) \end{cases} \Rightarrow a - (\text{mm})$ không cần đổi đơn vị.



Nếu thí nghiệm tiến hành trong môi trường trong suốt chiết suất n:

$$\lambda_n = \frac{\lambda}{n} \Rightarrow i_n = \frac{\lambda_n D}{a} = \frac{i}{n}$$

4. Vị trí vân sáng, vân tối:

▪ **Vị trí vân sáng:** Tại M là vân sáng khi: $\Delta d = k\lambda \Rightarrow x_s = k \frac{\lambda D}{a} = ki \quad (k \in \mathbb{Z})$

$k = 0$: Vân sáng trung tâm ($\Delta d = 0$)

$k = \pm 1$: Vân sáng bậc 1 ($\Delta d = \pm \lambda$)

$k = \pm 2$: Vân sáng bậc 2 ($\Delta d = \pm 2\lambda$)

▪ **Vị trí vân tối:** Tại M là vân tối khi: $\Delta d = (k + 0,5)\lambda \Rightarrow x_t = (k + 0,5) \frac{\lambda D}{a} = (k + 0,5)i \quad (k \in \mathbb{Z})$

$k = 0, k = -1$: Vân tối thứ nhất ($\Delta d = \pm 0,5\lambda$)

$k = 1, k = -2$: Vân tối thứ hai ($\Delta d = \pm 1,5\lambda$)

$k = 2, k = -3$: Vân tối thứ ba ($\Delta d = \pm 2,5\lambda$)

II. CÁC DẠNG BÀI TẬP:

1. Xác định tại M là vân sáng hay vân tối:

$$\text{Xét: } n = \frac{d_{2M} - d_{1M}}{\lambda} = \frac{x_M}{i} = \frac{a \cdot x_M}{\lambda D}$$

Nếu n nguyên \rightarrow M là vân sáng. VD: $n = 3$ thì M là vân sáng bậc 3.

Nếu n bán nguyên \rightarrow M là vân tối. VD: $n = 4,5$ thì M là vân tối thứ 5.

2. Xác định khoảng cách giữa hai vân m, n bất kì:

$$\Delta x = |x_m - x_n|$$

Nếu m và n nằm cùng phía với vân trung tâm thì x_m, x_n cùng dấu.

Nếu m và n nằm khác phía với vân trung tâm thì x_m, x_n trái dấu.

3. Xác định số vân sáng, vân tối:

a. Trong trường giao thoa có bề rộng L:

▪ **Số vân sáng:** $N_s = 2 \left[\frac{L}{2i} \right] + 1$ Hoặc giải bpt: $\frac{L}{2} \geq ki \geq -\frac{L}{2}$ số giá trị nguyên của k là số vân sáng.

▪ **Số vân tối:** $N_t = 2 \left[\frac{L}{2i} + 0,5 \right]$ Hoặc giải bpt: $\frac{L}{2} \geq ki \geq -\frac{L}{2}$ số giá trị nguyên của k là số vân tối.

b. Trong đoạn MN có tọa độ x_M, x_N ($x_N < x_M$):

▪ **Số vân sáng:** $x_N \leq ki \leq x_M$ số giá trị nguyên của k là số vân sáng.

- **Số vân tối:** $x_N \leq (k + 0,5)\lambda \leq x_M$ số giá trị nguyên của k là số vân tối.

4. Thay đổi khoảng cách từ màn đến hai khe (thay đổi D):

a. Di chuyển màn lại gần 2 khe đoạn d (D↓):

- Khoảng vân: $i = \frac{\lambda(D-d)}{a}$ giảm

• Tại M ban đầu là vân sáng bậc k, sau khi di chuyển màn, M trở thành vân tối lần thứ n → Lúc sau M là vân tối thứ (k + n). Ta có:

$$x_M = k \frac{\lambda D}{a} = (k + n - 0,5) \frac{\lambda(D-d)}{a} \rightarrow d = \frac{n - 0,5}{k + n - 0,5} D$$

• Tại M ban đầu là vân tối thứ k, sau khi di chuyển màn, M trở thành vân sáng lần thứ n → Lúc sau M là vân sáng bậc (k + n - 1). Ta có:

$$x_M = (k - 0,5) \frac{\lambda D}{a} = (k + n - 1) \frac{\lambda(D-d)}{a} \rightarrow d = \frac{n - 0,5}{k + n - 1} D$$

b. Di chuyển màn ra xa 2 khe đoạn d (D↑):

- Khoảng vân: $i = \frac{\lambda(D+d)}{a}$ tăng

• Tại M ban đầu là vân sáng bậc k, sau khi di chuyển màn, M trở thành vân tối lần thứ n → Lúc sau M là vân tối thứ (k - n + 1). Ta có:

$$x_M = k \frac{\lambda D}{a} = (k - n + 0,5) \frac{\lambda(D+d)}{a} \rightarrow d = \frac{n - 0,5}{k - n + 0,5} D$$

• Tại M ban đầu là vân tối thứ k, sau khi di chuyển màn, M trở thành vân sáng lần thứ n → Lúc sau M là vân sáng bậc (k - n). Ta có:

$$x_M = (k - 0,5) \frac{\lambda D}{a} = (k - n) \frac{\lambda(D+d)}{a} \rightarrow d = \frac{n - 0,5}{k - n} D$$

5. Di chuyển khe S theo phương song song với S₁S₂ đoạn y:

Xét hiệu quang trình tại M có tọa độ x:

$$\Delta d = (SS_2 + d_2) - (SS_1 + d_1) = (SS_2 - SS_1) + (d_2 - d_1)$$

Ta có: $d_2 - d_1 \approx \frac{ax}{D}$

Tương tự ta có: $SS_2 - SS_1 \approx -\frac{ya}{D'}$

Suy ra: $\Delta d = -\frac{ay}{D'} + \frac{ax}{D}$

Tại M là vân trung tâm khi $\Delta d = -\frac{ay}{D'} + \frac{ax_0}{D} = 0 \Rightarrow x_0 = \frac{D}{D'} y$

Vậy hệ vân giao thoa dịch chuyển theo chiều ngược lại một đoạn x_0 .

Chú ý:

- Nếu giữ yên khe S, dịch chuyển màn chứa hai khe S₁, S₂ lên một khoảng y thì ta có thể coi:
 - + Lúc đầu cả màn chứa khe S và khe S₁, S₂ cùng dịch chuyển lên trên một đoạn y → Hệ vân giao thoa dịch chuyển lên trên một đoạn y.
 - + Sau đó dịch chuyển khe S xuống dưới một khoảng y → Hệ vân giao thoa tiếp tục dịch chuyển lên trên một đoạn $\frac{D}{D'} y$.

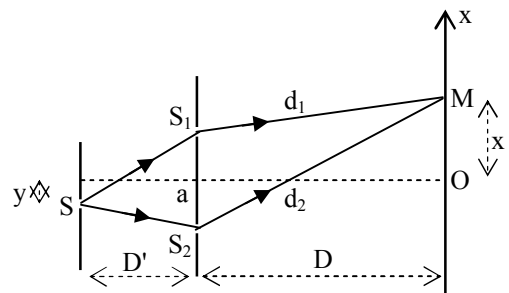
Suy ra hệ vân giao thoa dịch chuyển cùng chiều một khoảng: $x_0 = \frac{D}{D'} y + y$

- Độ dịch chuyển nhỏ nhất để tại O là vân sáng chuyển thành vân tối:

$$\Delta d = -\frac{ay}{D'} = -\frac{\lambda}{2} \rightarrow y_{\min} = \frac{\lambda D'}{2a} = \frac{D' i}{D 2}$$

6. Mở rộng khe S:

Mở rộng khe S về hai phía. Tìm độ rộng nhỏ nhất của khe S để hệ vân trên màn biến mất?



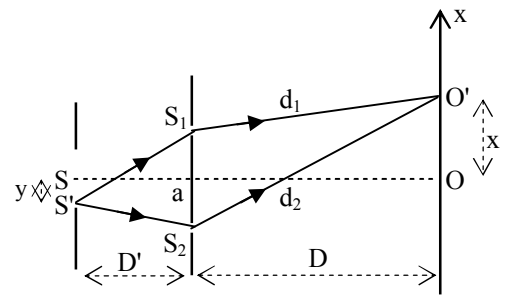
LG:

Khi mở rộng khe S ta coi khe này được tạo bởi vô số các khe rất hẹp kế tiếp nhau. Mỗi khe S' cho một hệ vân giao thoa nằm ở O' cách O đoạn $x_0 = \frac{D}{D'}y$. Để hệ vân giao thoa biến mất thì vân trung tâm của khe S' cuối cùng phải trùng với vân tối đầu tiên của khe S:

$$x_0 = \frac{i}{2} \leftrightarrow \frac{D}{D'}y = \frac{\lambda D}{2a} \rightarrow y = \frac{\lambda D'}{2a}$$

Do khe S mở rộng về hai phía nên độ rộng của khe S là:

$$2y = \frac{\lambda D'}{a}$$



7. Khe S dao động điều hòa theo phương S1S2:

Cho khe S dao động điều hòa theo phương trình:

$$y = A \cos(\omega t + \varphi)$$

Viết phương trình dao động của vân sáng trung tâm.

LG:

Xét hiệu đường đi tại M có tọa độ x khi khe S có li độ y:

$$\Delta d = (SS_2 + d_2) - (SS_1 + d_1) = (SS_2 - SS_1) + (d_2 - d_1)$$

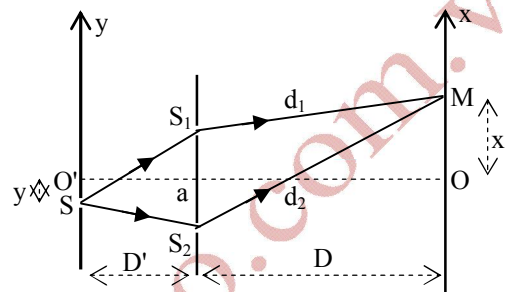
Ta có: $d_2 - d_1 \approx \frac{ax}{D}$

Tương tự ta có: $SS_2 - SS_1 \approx \frac{ya}{D'}$

Suy ra: $\Delta d = \frac{ay}{D'} + \frac{ax}{D}$

Tại M là vân trung tâm khi $\Delta d = \frac{ay}{D'} + \frac{ax}{D} = 0 \Rightarrow x = -\frac{D}{D'}y \leftrightarrow x = \frac{D}{D'}A \cos(\omega t + \varphi + \pi)$

Vậy vân trung tâm dao động quanh O ngược pha với S



8. Đặt trước khe S1 một bản mỏng:

Xét hiệu quang trình tại M có tọa độ x:

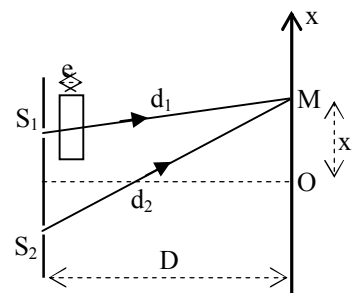
Khi chưa có bản mỏng: $\Delta d = d_2 - d_1 \approx \frac{ax}{D}$

Khi có đặt trước S1 bản mỏng vận tốc ánh sáng truyền qua bản mỏng nhỏ hơn n lần \rightarrow thời gian ánh sáng truyền qua bản mỏng kéo dài hơn có thể coi như vận tốc ánh sáng không đổi và quãng đường d1 kéo dài hơn đoạn: $\Delta d_1 = (n-1)e$. Suy ra hiệu quang trình khi có bản mỏng là:

$$\Delta d = d_2 - (d_1 + \Delta d_1) = (d_2 - d_1) - \Delta d_1 \approx \frac{ax}{D} - (n-1)e$$

Tại M là vân trung tâm khi: $\Delta d = \frac{ax_0}{D} - (n-1)e = 0 \Rightarrow x_0 = \frac{(n-1)eD}{a}$

Vậy hệ vân dịch chuyển về phía khe có bản mỏng đoạn x0.



9. Thí nghiệm với ánh sáng trắng (0,38μm ≤ λ ≤ 0,76μm):

a. Bề rộng quang phổ:

▪ **Định nghĩa:** Bề rộng quang phổ là khoảng cách từ vân sáng đỏ đến vân sáng tím cùng bậc và nằm cùng bên so với vân sáng trung tâm.

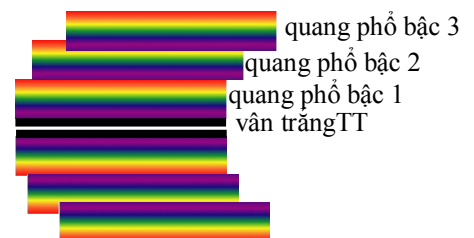
▪ **Bề rộng quang phổ bậc k:** $\Delta x_k = k \frac{(\lambda_d - \lambda_t)D}{a} = k(i_d - i_t)$

b. Bề rộng vùng xen phủ giữa quang phổ bậc 2 và bậc 3:

$$\Delta x_{23} = x_{d2} - x_{t3}$$

c. Xác định các bức xạ cho vân sáng tại M:

Giả sử tại M có vân sáng bậc k của bức xạ λ: $x_M = k \frac{\lambda D}{a} \rightarrow \lambda = \frac{a x_M}{k D} \quad (k \in \mathbb{Z})$



$$\rightarrow 0,38\mu\text{m} \leq \frac{a \cdot x_M}{kD} \leq 0,76\mu\text{m} \rightarrow k \rightarrow \lambda$$

d. Xác định các bức xạ cho vân tối tại M:

Giả sử tại M có vân tối của bức xạ λ : $x_M = (k + 0,5) \frac{\lambda D}{a} \rightarrow \lambda = \frac{a \cdot x_M}{(k + 0,5)D}$ ($k \in \mathbb{Z}$)

$$\rightarrow 0,38\mu\text{m} \leq \frac{a \cdot x_M}{(k + 0,5)D} \leq 0,76\mu\text{m} \rightarrow k \rightarrow \lambda$$

10. Giao thoa hai bức xạ:

a. Hai bức xạ cho vân sáng trùng nhau:

Hai vân sáng của hai bức xạ trùng nhau: $k_1 \frac{\lambda_1 D}{a} = k_2 \frac{\lambda_2 D}{a} \rightarrow \frac{k_1}{k_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{a}{b}$ (pstg) $\rightarrow \begin{cases} k_1 = n \cdot a \\ k_2 = n \cdot b \end{cases}$ ($n \in \mathbb{Z}$)

• **Tọa độ vân trùng:** $x_{12} = n \cdot a \cdot i_1 = n \cdot b \cdot i_2$ ($n \in \mathbb{Z}$)

• **Khoảng vân trùng** (khoảng cách nhỏ nhất giữa hai vân sáng cùng màu với vân trung tâm):

$$i_{12} = a \cdot i_1 = b \cdot i_2$$

• **Xác định số vân sáng cùng màu với vân trung tâm:**

+ Trong trường giao thoa có bề rộng L: $N_{12} = 2 \left[\frac{L}{2i_{12}} \right] + 1$ hoặc $-\frac{L}{2} \leq n \cdot i_{12} \leq \frac{L}{2}$ ($n \in \mathbb{Z}$)

+ Trên đoạn MN ($x_M > x_N$): $x_N \leq n \cdot i_{12} \leq x_M$ ($n \in \mathbb{Z}$)

• **Xác định tổng số vân sáng quan sát được trên màn:**

$$N = N_1 + N_2 - N_{12}$$

• **Xác định số vân sáng cùng màu với λ_1 :**

$$N_1' = N_1 - N_{12}$$

b. Hai bức xạ cho vân tối trùng nhau:

Ta có: $(k_1 + 0,5) \frac{\lambda_1 D}{a} = (k_2 + 0,5) \frac{\lambda_2 D}{a} \rightarrow \frac{k_1 + 0,5}{k_2 + 0,5} = \frac{2k_1 + 1}{2k_2 + 1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{a}{b} = \frac{(n + 0,5)a}{(n + 0,5)b}$

Bài toán **chỉ có nghiệm khi a, b là các số lẻ**. Khi đó: $\begin{cases} k_1 + 0,5 = (n + 0,5)a \\ k_2 + 0,5 = (n + 0,5)b \end{cases}$ ($n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$)

• **Tọa độ vân tối trùng (vị trí tối nhất):** $x_{12} = (n + 0,5) \cdot a \cdot i_1 = (n + 0,5) \cdot b \cdot i_2$

• **Khoảng vân trùng:** $i_{12} = a \cdot i_1 = b \cdot i_2$

• **Số vân tối trùng trên đoạn MN:** $x_N < (n + 0,5) i_{12} < x_M$ ($n \in \mathbb{Z}$)

c. Vân sáng λ_1 trùng với vân tối λ_2 :

Ta có: $k_1 \frac{\lambda_1 D}{a} = (k_2 + 0,5) \frac{\lambda_2 D}{a} \rightarrow \frac{k_1}{k_2 + 0,5} = \frac{2k_1}{2k_2 + 1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{a}{b} = \frac{a(n + 0,5)}{b(n + 0,5)}$

Bài toán **chỉ có nghiệm khi a - chẵn, b - lẻ**. Khi đó: $\begin{cases} k_1 = (n + 0,5)a \\ k_2 + 0,5 = (n + 0,5)b \end{cases}$ ($n \in \mathbb{Z}$)

Lưu ý: Khi vân sáng trùng với vân tối thì tại đó là vân sáng.

d. Xác định số vân tối trên màn quan sát:

B1: Xác định số vân tối của 2 bức xạ: N_1, N_2

B2: Xác định số vân tối 2 bức xạ trùng nhau: N_{12}

B3: Xác định số vân tối của λ_1 trùng với vân sáng λ_2 : N_1'

B4: Xác định số vân tối của λ_2 trùng với vân sáng λ_1 : N_2'

\rightarrow Tổng số vân tối trên màn: $N = N_1 + N_2 - N_{12} - N_1' - N_2'$

12. Giao thoa 3 bức xạ:

Ba bức xạ cho vân sáng trùng nhau: $k_1 i_1 = k_2 i_2 = k_3 i_3 \leftrightarrow a k_1 = b k_2 = c k_3$

Đặt bội số chung nhỏ nhất của (a, b, c) là A . Khi đó ta có:

$$\begin{cases} k_1 = n \frac{A}{a} \\ k_2 = n \frac{A}{b} \\ k_3 = n \frac{A}{c} \end{cases} \quad (n \in \mathbb{Z})$$

• **Tọa độ vân trùng:** $x_{123} = n \cdot \frac{A}{a} i_1 = n \cdot \frac{A}{b} i_2 = n \cdot \frac{A}{c} i_3 \quad (n \in \mathbb{Z})$

• **Khoảng vân trùng:** $i_{123} = \frac{A}{a} i_1 = \frac{A}{b} i_2 = \frac{A}{c} i_3$

• **Xác định số vân cùng màu với vân trung tâm trong trường giao thoa:** $-\frac{L}{2} \leq n \cdot i_{123} \leq \frac{L}{2}$

• **Xác định số vân sáng quan sát được trên màn:**

B1: Xác định số vân sáng của từng bức xạ: N_1, N_2, N_3

B1: Xác định số vân sáng hai bức xạ trùng nhau: N_{12}, N_{13}, N_{23}

B3: Xác định số vân sáng ba bức xạ trùng nhau: N_{123}

→ Tổng số vân sáng quan sát được:

$$N = N_1 + N_2 + N_3 - N_{12} - N_{13} - N_{23} + N_{123}$$

Để giải nhanh có thể kết hợp với việc lập bảng

