

Tổng hợp kiến thức Giao thoa ánh sáng Y-âng

Phần 1: Lý thuyết cơ bản

1. Hiện tượng giao thoa ánh sáng

Giao thoa ánh sáng là hiện tượng hai sóng ánh sáng kết hợp khi gặp nhau, tạo ra những vùng sáng và tối xen kẽ nhau. Những vùng sáng gọi là vân sáng (cực đại giao thoa), những vùng tối gọi là vân tối (cực tiểu giao thoa).

Điều kiện để có giao thoa: Hai nguồn sáng phải là hai nguồn **kết hợp**, tức là:

- Cùng tần số (cùng màu sắc).
- Có độ lệch pha không đổi theo thời gian.

2. Thí nghiệm Y-âng (Young)

Thí nghiệm Y-âng là thí nghiệm kinh điển để quan sát hiện tượng giao thoa ánh sáng. Bố trí thí nghiệm gồm:

- Một nguồn sáng đơn sắc S có bước sóng λ .
- Một màn chắn P có hai khe hẹp S_1, S_2 song song, cách nhau một khoảng **a**.
- Một màn quan sát E đặt song song với màn P và cách P một khoảng **D**.

Ánh sáng từ S chiếu tới hai khe S_1, S_2 sẽ tạo ra hai nguồn sáng kết hợp. Miền ánh sáng từ hai nguồn này giao nhau trên màn E tạo thành hệ vân giao thoa.

3. Hiệu quang trình (Hiệu đường đi)

Xét một điểm M bất kỳ trên màn quan sát, có tọa độ là x (với gốc O là vị trí vân sáng trung tâm). Hiệu đường đi của ánh sáng từ hai nguồn S_1, S_2 đến M là:

$$\Delta d = d_2 - d_1 \approx (ax)/D$$

Trong đó:

- **a**: khoảng cách giữa hai khe S_1S_2 (đơn vị: mm).
- **D**: khoảng cách từ mặt phẳng chứa hai khe đến màn quan sát (đơn vị: m).
- **x**: tọa độ của điểm M trên màn (đơn vị: mm).
- **λ** : bước sóng của ánh sáng đơn sắc (đơn vị: μm).

Phần 2: Vị trí các vân giao thoa

2.1. Vị trí vân sáng (Cực đại giao thoa)

Vân sáng xuất hiện tại những điểm mà hai sóng ánh sáng tăng cường lẫn nhau. Điều này xảy ra khi hiệu quang trình bằng một số nguyên lần bước sóng.

Công thức điều kiện: $\Delta d = k\lambda$

Công thức vị trí: $x_{\text{sáng}} = k * (\lambda D)/a$

Trong đó:

- **k** là một số nguyên ($k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$), được gọi là **bậc giao thoa**.
- $k = 0$: Vân sáng trung tâm (tại gốc O).
- $k = \pm 1$: Vân sáng bậc 1.
- $k = \pm 2$: Vân sáng bậc 2.

Ví dụ 1: Trong thí nghiệm Y-âng, $a = 1 \text{ mm}$, $D = 2 \text{ m}$. Nguồn sáng có bước sóng $\lambda = 0,5 \text{ }\mu\text{m}$. Xác định vị trí vân sáng bậc 3.

Giải:

Vân sáng bậc 3 ứng với $k = 3$. Áp dụng công thức: $x_{\text{sáng}} = 3 * (0,5.10^{-6} * 2) / (1.10^{-3}) = 3 * 10^{-3} \text{ m} = 3 \text{ mm}$. Vậy vân sáng bậc 3 cách vân trung tâm 3 mm.

Ví dụ 2: Trong một thí nghiệm, khoảng cách hai khe là 0,5 mm, khoảng cách đến màn là 1,5 m. Người ta đo được vân sáng bậc 4 cách vân trung tâm 6 mm. Tìm bước sóng của ánh sáng.

Giải:

Vân sáng bậc 4 ứng với $k = 4$, có tọa độ $x = 6 \text{ mm} = 6.10^{-3} \text{ m}$. Từ công thức $x_{\text{sáng}} = k * (\lambda D)/a$, suy ra $\lambda = (x_{\text{sáng}} * a) / (k * D)$. $\lambda = (6.10^{-3} * 0,5.10^{-3}) / (4 * 1,5) = 0,5.10^{-6} \text{ m} = 0,5 \text{ }\mu\text{m}$.

2.2. Vị trí vân tối (Cực tiểu giao thoa)

Vân tối xuất hiện tại những điểm mà hai sóng ánh sáng triệt tiêu lẫn nhau. Điều này xảy ra khi hiệu quang trình bằng một số bán nguyên lần bước sóng.

Công thức điều kiện: $\Delta d = (k + 1/2)\lambda$

Công thức vị trí: $x_{\text{tối}} = (k + 1/2) * (\lambda D)/a$

Trong đó:

- k là một số nguyên ($k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$).
- $k = 0$ và $k = -1$: Vân tối thứ nhất.

- $k = 1$ và $k = -2$: Vân tối thứ hai.
- $k = n-1$ và $k = -n$: Vân tối thứ n .

Ví dụ 1: Với các thông số từ Ví dụ 1 của vân sáng ($a = 1 \text{ mm}$, $D = 2 \text{ m}$, $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$), hãy xác định vị trí vân tối thứ 2.

Giải:

Vân tối thứ 2 ứng với $k = 1$ (hoặc $k = -2$). Ta lấy $k=1$. Áp dụng công thức: $x_{\text{tối}} = (1 + 1/2) * (0,5 \cdot 10^{-6} * 2) / (1 \cdot 10^{-3}) = 1,5 * 10^{-3} \text{ m} = 1,5 \text{ mm}$. Vậy vân tối thứ 2 cách vân trung tâm 1,5 mm.

Ví dụ 2: Trong một thí nghiệm, tại điểm M cách vân trung tâm 4,5 mm là vân tối thứ 3. Biết $D = 2\text{m}$ và $a = 1\text{mm}$. Tính bước sóng ánh sáng.

Giải:

Vân tối thứ 3 ứng với $k = 2$. Tọa độ $x = 4,5 \text{ mm} = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$. Từ công thức $x_{\text{tối}} = (k + 1/2) * (\lambda D)/a$, suy ra $\lambda = (x_{\text{tối}} * a) / ((k + 1/2) * D)$. $\lambda = (4,5 \cdot 10^{-3} * 1 \cdot 10^{-3}) / ((2 + 0,5) * 2) = 0,9 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 0,9 \mu\text{m}$.

Phần 3: Khoảng vân (i)

Khoảng vân là khoảng cách giữa hai vân sáng liên tiếp hoặc hai vân tối liên tiếp.

Công thức: $i = (\lambda D)/a$

Khoảng vân là một đại lượng quan trọng, giúp đơn giản hóa các công thức tính vị trí vân:

- Vị trí vân sáng: $x_{\text{sáng}} = k \cdot i$
- Vị trí vân tối: $x_{\text{tối}} = (k + 0.5) \cdot i$

Khoảng cách giữa một vân sáng và một vân tối liền kề là $i/2$.

Ví dụ: Trong thí nghiệm Y-âng, $a = 2 \text{ mm}$, $D = 2 \text{ m}$, $\lambda = 0,6 \text{ }\mu\text{m}$. Tính khoảng vân.

Giải:

Áp dụng công thức: $i = (\lambda D)/a = (0,6 \cdot 10^{-6} \cdot 2) / (2 \cdot 10^{-3}) = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 0,6 \text{ mm}$.

Phần 4: Các dạng bài toán thường gặp

Dạng 1: Xác định bản chất của vân tại điểm M cho trước

Phương pháp:

1. Tính khoảng vân $i = (\lambda D)/a$.
2. Lập tỉ số $T = x_M / i$, với x_M là tọa độ của điểm M.
3. Biện luận:
 - Nếu $T = k$ (số nguyên): M là vân sáng bậc $|k|$.
 - Nếu $T = k + 0.5$ (số bán nguyên): M là vân tối thứ $|k|+1$ (nếu $k \geq 0$) hoặc $|k|$ (nếu $k < 0$).
 - Nếu T không phải số nguyên hay bán nguyên: M không phải là vân sáng hay vân tối.

Ví dụ: Thí nghiệm Y-âng có $a = 1 \text{ mm}$, $D = 2\text{m}$, $\lambda = 0.5 \text{ }\mu\text{m}$. Tại điểm M trên màn cách vân trung tâm 4 mm là vân gì, bậc mấy?

Giải:

1. Tính khoảng vân: $i = (\lambda D)/a = (0.5 * 2) / 1 = 1 \text{ mm}$. 2. Lập tỉ số: $T = x_M / i = 4 / 1 = 4$. 3. Kết luận: Vì $T = 4$ là một số nguyên, nên tại M là vân sáng bậc 4.

Dạng 2: Xác định số vân sáng, vân tối trên một miền giao thoa

Phương pháp 1: Miền giao thoa đối xứng qua vân trung tâm, có bề rộng L.

Tọa độ các điểm trên miền này thỏa mãn: $-L/2 \leq x \leq L/2$.

- **Số vân sáng:** $-L/2 \leq k*i \leq L/2 \Rightarrow -L/(2i) \leq k \leq L/(2i)$. Đếm số giá trị nguyên của k trong khoảng này.
- **Số vân tối:** $-L/2 \leq (k+0.5)*i \leq L/2 \Rightarrow -L/(2i) - 0.5 \leq k \leq L/(2i) - 0.5$. Đếm số giá trị nguyên của k.

Ví dụ: Thí nghiệm Y-âng có $i = 1,2 \text{ mm}$. Tìm số vân sáng và vân tối trên một miền giao thoa rộng 15 mm .

Giải:

Bề rộng $L = 15 \text{ mm}$. Tọa độ xét trong khoảng $[-7.5 \text{ mm}, 7.5 \text{ mm}]$.

- **Số vân sáng:** $-7.5 \leq k * 1.2 \leq 7.5 \Rightarrow -6.25 \leq k \leq 6.25$. Các giá trị k nguyên là: $-6, -5, \dots, 0, \dots, 5, 6$. Có $6 - (-6) + 1 = 13$ vân sáng.
- **Số vân tối:** $-7.5 \leq (k+0.5) * 1.2 \leq 7.5 \Rightarrow -6.25 \leq k+0.5 \leq 6.25 \Rightarrow -6.75 \leq k \leq 5.75$. Các giá trị k nguyên là: $-6, -5, \dots, 0, \dots, 5$. Có $5 - (-6) + 1 = 12$ vân tối.

Phương pháp 2: Miền giao thoa bất đối xứng, giữa hai điểm M và N có tọa độ x_M, x_N .

Giả sử x_M, x_N . Tọa độ các điểm trên miền này thỏa mãn: $x_M \leq x \leq x_N$.

- **Số vân sáng:** $x_M \leq k \cdot i \leq x_N \Rightarrow x_M/i \leq k \leq x_N/i$. Đếm số giá trị nguyên của k .
- **Số vân tối:** $x_M \leq (k+0.5) \cdot i \leq x_N \Rightarrow x_M/i - 0.5 \leq k \leq x_N/i - 0.5$. Đếm số giá trị nguyên của k .

Dạng 3: Giao thoa với ánh sáng trắng

Ánh sáng trắng là tập hợp vô số ánh sáng đơn sắc có bước sóng biến thiên liên tục từ tím ($\approx 0,38 \mu\text{m}$) đến đỏ ($\approx 0,76 \mu\text{m}$).

- **Vân trung tâm ($k=0$):** Mọi bức xạ đều cho vân sáng tại O, nên vân trung tâm là vân sáng trắng.
- **Các vân khác:** Từ $k=1$ trở đi, các vân sáng của các màu khác nhau không còn trùng nhau, tạo thành các dải màu quang phổ. Mỗi dải màu có tím ở trong (gần vân trung tâm hơn) và đỏ ở ngoài.
- **Bề rộng quang phổ bậc k :** Là khoảng cách từ vân sáng tím bậc k đến vân sáng đỏ bậc k . $\Delta x_k = x_{\text{đỏ}, k} - x_{\text{tím}, k} = k \cdot (\lambda_{\text{đỏ}} - \lambda_{\text{tím}}) D / a$
- **Sự trùng nhau của các vân sáng:** Hai vân sáng của hai bức xạ λ_1 và λ_2 trùng nhau khi: $x_{\text{sáng}1} = x_{\text{sáng}2} \Rightarrow k_1 \lambda_1 = k_2 \lambda_2$

Ví dụ: Giao thoa với ánh sáng trắng có $0,4 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 0,75 \mu\text{m}$. Cho $a = 1 \text{ mm}$, $D = 2 \text{ m}$. Tính bề rộng quang phổ bậc 2.

Giải:

Bề rộng quang phổ bậc 2 ($k=2$) là: $\Delta x_2 = 2 * (\lambda_{\text{đỏ}} - \lambda_{\text{tím}})D / a = 2 * (0,75 - 0,4) * 10^{-6} * 2 / (1 * 10^{-3}) = 1,4 * 10^{-3} \text{ m} = 1,4 \text{ mm}.$

Dạng 4: Sự thay đổi các đại lượng a, D, λ

Khoảng vân $i = (\lambda D)/a$ phụ thuộc vào các đại lượng λ, D, a. Sự thay đổi của chúng sẽ làm hệ vân thay đổi (dày hơn hoặc thưa hơn).

Đại lượng thay đổi	Ảnh hưởng đến khoảng vân i	Hiện tượng quan sát
Tăng bước sóng λ (VD: từ xanh sang đỏ)	i tăng	Hệ vân thưa ra
Giảm bước sóng λ (VD: từ đỏ sang xanh)	i giảm	Hệ vân mau lại (dày hơn)
Tăng khoảng cách D	i tăng	Hệ vân thưa ra
Giảm khoảng cách D	i giảm	Hệ vân mau lại
Tăng khoảng cách a	i giảm	Hệ vân mau lại
Giảm khoảng cách a	i tăng	Hệ vân thưa ra

Dạng 5: Giao thoa trong môi trường có chiết suất n

Khi đặt toàn bộ hệ thống thí nghiệm trong một môi trường trong suốt có chiết suất $n > 1$ (ví dụ: nước), bước sóng của ánh sáng trong môi trường đó sẽ giảm đi.

- Bước sóng trong môi trường mới: $\lambda' = \lambda/n$ (với λ là bước sóng trong chân không/không khí).
- Khoảng vân trong môi trường mới: $i' = (\lambda'D)/a = (\lambda D)/(na) = i/n$.

Kết luận: Khi đặt thí nghiệm vào môi trường có chiết suất n , khoảng vân giảm đi n lần, hệ vân sẽ mau lại.

Ví dụ: Một thí nghiệm Y-âng được thực hiện trong không khí có khoảng vân $i = 1,5$ mm. Nếu nhúng toàn bộ hệ thống vào nước có chiết suất $n = 4/3$, khoảng vân mới là bao nhiêu?

Giải:

Khoảng vân mới là: $i' = i/n = 1,5 / (4/3) = 1,125$ mm.