

1. Hiện tượng giao thoa ánh sáng

Giao thoa ánh sáng là hiện tượng hai sóng ánh sáng kết hợp, khi gặp nhau ở một số điểm, chúng tăng cường lẫn nhau tạo ra vân sáng; ở một số điểm khác, chúng triệt tiêu lẫn nhau tạo ra vân tối. Các vân sáng và vân tối xen kẽ nhau tạo thành một hệ vân giao thoa.

Điều kiện để có giao thoa ánh sáng

Để hiện tượng giao thoa xảy ra, hai nguồn sáng phải là hai nguồn kết hợp. Điều đó có nghĩa là chúng phải thỏa mãn các điều kiện sau:

- Hai nguồn phải dao động cùng tần số (ánh sáng đơn sắc).
- Hai nguồn phải có hiệu số pha không đổi theo thời gian.

2. Thí nghiệm Y-âng (Young) về giao thoa ánh sáng

Thí nghiệm Y-âng là một thí nghiệm kinh điển để chứng minh tính chất sóng của ánh sáng và tạo ra hiện tượng giao thoa.

Sơ đồ thí nghiệm

Ánh sáng từ một nguồn đơn sắc S chiếu vào một màn chắn P có hai khe hẹp S_1 , S_2 song song và gần nhau. S_1 và S_2 đóng vai trò là hai nguồn sáng kết hợp. Phía sau màn P đặt một màn quan sát E song song và cách P một khoảng D. Trên màn E, ta quan sát được hệ vân giao thoa.

Sơ đồ thí nghiệm Y-âng

Các đại lượng trong thí nghiệm

- **a**: khoảng cách giữa hai khe S_1 và S_2 (tính bằng mm).
- **D**: khoảng cách từ mặt phẳng chứa hai khe đến màn quan sát E (tính bằng m).
- **λ (lambda)**: bước sóng của ánh sáng đơn sắc (tính bằng μm hoặc nm).
- **x**: tọa độ của một điểm M trên màn quan sát so với vân trung tâm O.

3. Vị trí các vân giao thoa

Hiệu quang trình

Hiệu quang trình (hiệu đường đi của ánh sáng) từ hai nguồn S_1, S_2 đến điểm M trên màn được tính bằng công thức gần đúng:

$$\Delta d = d_2 - d_1 \approx (a * x) / D$$

Trong đó d_1 và d_2 là khoảng cách từ S_1 và S_2 đến M.

Vị trí vân sáng (Cực đại giao thoa)

Vân sáng xuất hiện tại các vị trí mà hai sóng ánh sáng tăng cường lẫn nhau, khi hiệu quang trình bằng một số nguyên lần bước sóng.

- **Điều kiện:** $\Delta d = k\lambda$
- **Công thức vị trí vân sáng:** $x_{\text{sáng}} = k * (\lambda D) / a$
- **Trong đó:** k là bậc giao thoa ($k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$).
 - $k = 0$: Vân sáng trung tâm.

◦ $k = \pm 1$: Vân sáng bậc 1.

◦ $k = \pm 2$: Vân sáng bậc 2.

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

Giải: Áp dụng công thức, với $k = 3$, ta có: $x_3 = 3 * (0,5 * 10^{-6} * 2) / (1 * 10^{-3}) = 3 * 10^{-3} \text{ m} = 3 \text{ mm}$. Vậy vân sáng bậc 3 cách vân trung tâm 3 mm.

Ví dụ 2: Trong thí nghiệm trên, tìm vị trí vân sáng bậc 5.

Giải: Với $k = 5$, ta có: $x_5 = 5 * (\lambda D) / a = 5 * (0,5 * 10^{-6} * 2) / (1 * 10^{-3}) = 5 \text{ mm}$.

Vị trí vân tối (Cực tiểu giao thoa)

Vân tối xuất hiện tại các vị trí mà hai sóng ánh sáng triệt tiêu lẫn nhau, khi hiệu quang trình bằng một số bán nguyên lần bước sóng.

• **Điều kiện:** $\Delta d = (k + 1/2)\lambda$

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

• **Trong đó:** $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

◦ $k = 0$ và $k = -1$: Vân tối thứ nhất.

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

Ví dụ 1: Vẫn với các thông số $a = 1 \text{ mm}$, $D = 2 \text{ m}$, $\lambda = 0,5 \text{ }\mu\text{m}$. Tìm vị trí vân tối thứ nhất.

Giải: Vân tối thứ nhất ứng với $k = 0$. Ta có: $x_{\text{tối } 1} = (0 + 1/2) * (\lambda D) / a = 0,5 * (0,5 * 10^{-6} * 2) / (1 * 10^{-3}) = 0,5 * 10^{-3} \text{ m} = 0,5 \text{ mm}$.

Ví dụ 2: Tìm vị trí vân tối thứ 4 trong thí nghiệm trên.

Giải: Vân tối thứ 4 ứng với $k = 3$. Ta có: $x_{\text{tối } 4} = (3 + 1/2) * (\lambda D) / a = 3,5 * (0,5 * 10^{-6} * 2) / (1 * 10^{-3}) = 3,5 \text{ mm}$.

4. Khoảng vân (i)

Định nghĩa

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

Công thức tính khoảng vân

$$i = (\lambda D) / a$$

Khoảng vân là một đại lượng không đổi trong một thí nghiệm giao thoa nhất định. Đơn vị của khoảng vân thường là mm.

Mối liên hệ với vị trí vân

Từ công thức khoảng vân, ta có thể viết lại công thức vị trí các vân như sau:

- **Vị trí vân sáng:** $x_{\text{sáng}} = k * i$
- **Vị trí vân tối:** $x_{\text{tối}} = (k + 1/2) * i$

Ví dụ 1: Trong thí nghiệm Y-âng, $a = 0,5 \text{ mm}$, $D = 2 \text{ m}$. Người ta đo được khoảng cách giữa 6 vân sáng liên tiếp là 12 mm. Tính bước sóng ánh sáng.

Giải: Khoảng cách giữa 6 vân sáng liên tiếp là 5 khoảng vân ($5i$). Vậy $5i = 12 \text{ mm} \Rightarrow i = 2,4 \text{ mm} = 2,4 * 10^{-3} \text{ m}$. Từ công thức $i = (\lambda D)/a$, suy ra $\lambda = (i * a) / D = (2,4 * 10^{-3} * 0,5 * 10^{-3}) / 2 = 0,6 * 10^{-6} \text{ m} = 0,6 \mu\text{m}$.

Ví dụ 2: Tính khoảng vân trong thí nghiệm có $a = 1 \text{ mm}$, $D = 2 \text{ m}$, $\lambda = 0,5 \text{ }\mu\text{m}$.

Giải: $i = (\lambda D) / a = (0,5 * 10^{-6} * 2) / (1 * 10^{-3}) = 1 * 10^{-3} \text{ m} = 1 \text{ mm}$.

5. Giao thoa với ánh sáng trắng

Ánh sáng trắng là hỗn hợp của nhiều ánh sáng đơn sắc có màu biến thiên liên tục từ đỏ đến tím (bước sóng từ khoảng $0,38 \text{ }\mu\text{m}$ đến $0,76 \text{ }\mu\text{m}$).

Đặc điểm hệ vân

- **Vân trung tâm:** Tại vị trí trung tâm ($k=0$), tất cả các bức xạ đều cho vân sáng. Do đó, vân sáng trung tâm là vân sáng trắng.
- **Các vân hai bên:** Hai bên vân trung tâm là các dải màu quang phổ. Do khoảng vân i tỉ lệ thuận với bước sóng λ ($i = \lambda D/a$), ánh sáng tím (λ nhỏ) có khoảng vân nhỏ nhất và ánh sáng đỏ (λ lớn) có khoảng vân lớn nhất. Vì vậy, trong mỗi dải màu, phía trong là màu tím, phía ngoài là màu đỏ.
- Các dải màu này chồng chéo lên nhau, càng xa vân trung tâm thì độ chồng chéo càng lớn.

6. Ứng dụng của hiện tượng giao thoa ánh sáng

Hiện tượng giao thoa ánh sáng có nhiều ứng dụng quan trọng trong khoa học và kỹ thuật:

1. **Đo bước sóng ánh sáng:** Đây là ứng dụng quan trọng nhất. Từ công thức $i = (\lambda D)/a$, nếu đo được a , D và i , ta có thể xác định chính xác bước sóng λ của ánh sáng.

2. **Đo khoảng cách rất nhỏ:** Dùng để kiểm tra độ phẳng của các bề mặt (giao thoa kế), đo chiết suất chất khí, đo các khoảng cách cực nhỏ với độ chính xác cao.
3. **Công nghệ màng mỏng:** Chế tạo các lớp phủ chống phản xạ cho ống kính máy ảnh, mắt kính.

Bảng tóm tắt công thức

Đại lượng	Công thức	Chú thích
Hiệu quang trình	$\Delta d \approx (a * x) / D$	x là tọa độ điểm trên màn
Vị trí vân sáng	$x_{\text{sáng}} = k * (\lambda D) / a = k * i$	$k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ (bậc giao thoa)
Vị trí vân tối	$x_{\text{tối}} = (k + 1/2) * (\lambda D) / a = (k + 1/2) * i$	$k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ (vân tối thứ k+1)
Khoảng vân	$i = (\lambda D) / a$	Khoảng cách giữa 2 vân sáng/tối liên tiếp