

Tổng hợp kiến thức: Khúc xạ ánh sáng & Phản xạ toàn phần

I. KHÚC XẠ ÁNH SÁNG

1. Hiện tượng khúc xạ ánh sáng

Khúc xạ ánh sáng là hiện tượng chùm tia sáng bị đổi phương (gãy khúc) khi truyền xiên góc qua mặt phân cách giữa hai môi trường trong suốt khác nhau.

- **Tia tới (SI):** Tia sáng đi tới mặt phân cách.
- **Điểm tới (I):** Giao điểm của tia tới và mặt phân cách.
- **Pháp tuyến (NN'):** Đường thẳng vuông góc với mặt phân cách tại điểm tới I.
- **Tia khúc xạ (IR):** Tia sáng bị gãy khúc và tiếp tục đi vào môi trường thứ hai.
- **Góc tới (i):** Góc tạo bởi tia tới SI và pháp tuyến NN'.
- **Góc khúc xạ (r):** Góc tạo bởi tia khúc xạ IR và pháp tuyến NN'.

Ví dụ 1: Cắm một chiếc đũa vào cốc nước trong, ta thấy chiếc đũa như bị gãy tại mặt nước. Đây là do ánh sáng từ phần đũa chìm trong nước truyền ra không khí bị khúc xạ.

Ví dụ 2: Nhìn xuống đáy một bể bơi đầy nước, ta có cảm giác bể bơi nông hơn độ sâu thực tế của nó. Nguyên nhân là do tia sáng từ đáy bể truyền từ nước ra không khí bị khúc xạ và đi vào mắt ta.

2. Định luật khúc xạ ánh sáng (Định luật Snell)

Định luật này mô tả mối quan hệ định lượng giữa góc tới và góc khúc xạ.

a. Nội dung định luật

- Tia khúc xạ nằm trong mặt phẳng tới (mặt phẳng tạo bởi tia tới và pháp tuyến) và ở phía bên kia pháp tuyến so với tia tới.
- Với hai môi trường trong suốt nhất định, tỉ số giữa sin của góc tới ($\sin i$) và sin của góc khúc xạ ($\sin r$) là một hằng số.

b. Biểu thức (Công thức)

$$n_1 \sin(i) = n_2 \sin(r)$$

Trong đó:

- **n_1 :** Chiết suất của môi trường chứa tia tới.
- **n_2 :** Chiết suất của môi trường chứa tia khúc xạ.
- **i :** Góc tới.
- **r :** Góc khúc xạ.

Lưu ý:

- Nếu ánh sáng truyền từ môi trường có chiết suất nhỏ sang môi trường có chiết suất lớn hơn ($n_1 < n_2$), tia khúc xạ sẽ lệch lại gần pháp tuyến hơn ($r < i$).
- Nếu ánh sáng truyền từ môi trường có chiết suất lớn sang môi trường có chiết suất nhỏ hơn ($n_1 > n_2$), tia khúc xạ sẽ lệch ra xa pháp tuyến hơn ($r > i$).

c. Ví dụ minh họa

Ví dụ 1: Một tia sáng truyền từ không khí (coi $n_1 = 1$) vào nước ($n_2 = 1,33$) dưới một góc tới $i = 30^\circ$. Tính góc khúc xạ r .

Giải: Áp dụng định luật khúc xạ ánh sáng: $n_1 \sin(i) = n_2 \sin(r)$

$$\Rightarrow 1 * \sin(30^\circ) = 1,33 * \sin(r)$$

$$\Rightarrow \sin(r) = \sin(30^\circ) / 1,33 = 0,5 / 1,33 \approx 0,3759$$

$$\Rightarrow r \approx 22,08^\circ.$$

Ví dụ 2: Chiếu một tia sáng từ một khối thủy tinh ($n_1 = 1,5$) ra không khí ($n_2 = 1$) với góc tới $i = 40^\circ$. Tìm góc khúc xạ.

Giải: Áp dụng công thức: $n_1 \sin(i) = n_2 \sin(r)$

$$\Rightarrow 1,5 * \sin(40^\circ) = 1 * \sin(r)$$

$$\Rightarrow \sin(r) \approx 1,5 * 0,6428 \approx 0,9642$$

$$\Rightarrow r \approx 74,62^\circ.$$

3. Chiết suất

a. Chiết suất tỉ đối

Chiết suất tỉ đối n_{21} của môi trường 2 so với môi trường 1 là tỉ số giữa chiết suất tuyệt đối của môi trường 2 và môi trường 1.

$$n_{21} = n_2 / n_1$$

Chiết suất tỉ đối cũng bằng tỉ số vận tốc ánh sáng trong môi trường 1 (v_1) và trong môi trường 2 (v_2).

$$n_{21} = v_1 / v_2$$

Ví dụ: Chiết suất tỉ đối của thủy tinh ($n_2 = 1,5$) so với nước ($n_1 = 1,33$) là $n_{21} = 1,5 / 1,33 \approx 1,128$.

b. Chiết suất tuyệt đối

Chiết suất tuyệt đối (thường gọi tắt là chiết suất) của một môi trường là chiết suất tỉ đối của môi trường đó so với chân không.

$$n = c / v$$

Trong đó:

- **c**: Tốc độ ánh sáng trong chân không ($c \approx 3.10^8$ m/s).
- **v**: Tốc độ ánh sáng trong môi trường đang xét.

Vì $v \leq c$ nên chiết suất tuyệt đối của mọi môi trường luôn lớn hơn hoặc bằng 1 ($n \geq 1$). Chiết suất của chân không là 1, của không khí xấp xỉ 1.

Ví dụ: Tốc độ ánh sáng trong kim cương là $v \approx 1,24.10^8$ m/s. Chiết suất tuyệt đối của kim cương là $n = (3.10^8) / (1,24.10^8) \approx 2,42$.

II. PHẢN XẠ TOÀN PHẦN

1. Hiện tượng phản xạ toàn phần

Phản xạ toàn phần là hiện tượng phản xạ toàn bộ tia sáng tới, xảy ra ở mặt phân cách giữa hai môi trường trong suốt. Khi đó, không có tia khúc xạ đi vào môi trường thứ hai.

Đây là một trường hợp đặc biệt của khúc xạ ánh sáng, chỉ xảy ra khi ánh sáng truyền từ môi trường chiết quang hơn sang môi trường chiết quang kém.

2. Điều kiện để có phản xạ toàn phần

Để xảy ra hiện tượng phản xạ toàn phần, cần thỏa mãn đồng thời cả hai điều kiện sau:

1. Ánh sáng phải truyền từ một môi trường có chiết suất lớn sang một môi trường có chiết suất nhỏ hơn ($n_1 > n_2$).
2. Góc tới phải lớn hơn hoặc bằng góc giới hạn phản xạ toàn phần ($i \geq i_{gh}$).

3. Góc giới hạn phản xạ toàn phần (i_{gh})

Góc giới hạn phản xạ toàn phần (i_{gh}) là giá trị của góc tới (i) để góc khúc xạ (r) bằng 90° . Khi góc tới lớn hơn giá trị này, toàn bộ tia sáng sẽ bị phản xạ trở lại.

a. Công thức tính

Từ định luật khúc xạ: $n_1 \sin(i) = n_2 \sin(r)$.

Khi $i = i_{gh}$ thì $r = 90^\circ$, do đó $\sin(r) = 1$.

Thay vào ta có: $n_1 \sin(i_{gh}) = n_2 \cdot 1$.

$\sin(i_{gh}) = n_2 / n_1$ (với điều kiện $n_1 > n_2$)

b. Ví dụ minh họa

Ví dụ 1: Tính góc giới hạn phản xạ toàn phần khi chiếu tia sáng từ nước ($n_1 = 1,33$) ra không khí ($n_2 = 1$).

Giải: Áp dụng công thức: $\sin(i_{gh}) = n_2 / n_1 = 1 / 1,33 \approx 0,7518$.

$\Rightarrow i_{gh} \approx 48,75^\circ$.

Điều này có nghĩa là, nếu một tia sáng truyền từ nước ra không khí với góc tới lớn hơn $48,75^\circ$, nó sẽ bị phản xạ hoàn toàn trở lại nước.

Ví dụ 2: Một viên kim cương ($n_1 = 2,42$) được đặt trong không khí ($n_2 = 1$). Tính góc giới hạn phản xạ toàn phần tại mặt phân cách kim cương - không khí.

Giải: Áp dụng công thức: $\sin(i_{gh}) = n_2 / n_1 = 1 / 2,42 \approx 0,4132$.

$\Rightarrow i_{gh} \approx 24,4^\circ$.

Góc giới hạn rất nhỏ này là một trong những lý do khiến kim cương lấp lánh. Ánh sáng đi vào viên kim cương dễ dàng bị phản xạ toàn phần nhiều lần bên trong trước khi thoát ra ngoài.

III. ỨNG DỤNG CỦA HIỆN TƯỢNG PHẢN XẠ TOÀN PHẦN

1. Lăng kính phản xạ toàn phần

Lăng kính phản xạ toàn phần là một khối thủy tinh có tiết diện thẳng là một tam giác vuông cân. Nó được sử dụng để làm đổi phương tia sáng mà không làm mất mát năng lượng như gương phẳng.

- **Nguyên tắc:** Thủy tinh có chiết suất khoảng 1,5, nên góc giới hạn khi tiếp xúc với không khí là $i_{gh} \approx 42^\circ$. Khi chiếu tia sáng vuông góc vào một mặt bên của lăng kính, tia sáng sẽ truyền thẳng đến mặt huyền và đập vào mặt huyền với góc tới $45^\circ (> 42^\circ)$, do đó xảy ra phản xạ toàn phần.
- **Ứng dụng:** Dùng trong ống nhòm, kính tiềm vọng (tàu ngầm), máy ảnh để đổi hướng tia sáng 90° hoặc 180° .

2. Sợi quang (Cáp quang)

Sợi quang là một ứng dụng quan trọng nhất của hiện tượng phản xạ toàn phần.

- **Cấu tạo:** Gồm hai phần chính:

- **Lõi (Core):** Là phần trung tâm của sợi quang, làm bằng thủy tinh siêu sạch có chiết suất lớn (n_1).
- **Vỏ bọc (Cladding):** Là lớp vật chất bao quanh lõi, cũng trong suốt nhưng có chiết suất nhỏ hơn của lõi ($n_2 < n_1$).
- **Nguyên tắc hoạt động:** Ánh sáng (tín hiệu) được truyền vào lõi dưới một góc lớn. Khi tia sáng đi trong lõi và đập vào mặt phân cách giữa lõi và vỏ, nó luôn có góc tới lớn hơn góc giới hạn ($i > i_{gh}$) và bị phản xạ toàn phần. Quá trình này lặp đi lặp lại liên tục, giúp truyền tia sáng đi xa hàng nghìn km trong sợi quang mà ít bị suy hao năng lượng.
- **Ứng dụng:**
 - **Viễn thông:** Truyền tín hiệu Internet, điện thoại, truyền hình cáp với tốc độ cao và dung lượng lớn.
 - **Y học:** Dùng trong các thiết bị nội soi để quan sát các cơ quan bên trong cơ thể mà không cần phẫu thuật.
 - **Trang trí:** Dùng làm đèn trang trí, các vật dụng phát sáng.