

Chương VI:

SÓNG ÁNH SÁNG

I. Bản chất của ánh sáng:

Các sóng điện từ truyền trong chân không với vận tốc $c = 3 \cdot 10^8$ m/s. Trong số đó, các sóng ánh sáng khả kiến có vận tốc nằm trong khoảng $4 \cdot 10^{14}$ Hz đến $8 \cdot 10^{14}$ Hz, bước sóng từ $0,4 \mu\text{m}$ (màu tím) đến $0,8 \mu\text{m}$ (đỏ). Sự phát xạ của sóng ánh sáng gắn liền với sự chuyển động của điện tích trong các nguyên tử hay phân tử.

Trong môi trường trong suốt có chiết suất n , vận tốc truyền ánh sáng $v = \frac{c}{n}$

II. Các nguyên lý:

I. Phát xạ của nguyên tử:

Năng lượng của nguyên tử bị lượng tử hóa, có nghĩa là nó có thể nhận các giá trị chính xác, các giá trị là các mức năng lượng. Mỗi chuyển động năng lượng từ mức năng lượng thấp hơn lên mức năng lượng cao hơn là một quá trình kích thích.

Nhật thực, các nguyên tử chuyển động trên các mức năng lượng của nó.

Khi có sự chuyển động từ mức trên xuống mức dưới sẽ phát ra photon có năng lượng $\Delta E = h\nu$. Trong vùng khả kiến, ΔE vào khoảng 1eV.

❖ Sóng:

Một sóng phẳng đơn sắc, truyền theo phương Oz có dạng:

$$\vec{E} = E_{xm} \cos\left[\omega\left(t - \frac{z}{c}\right) + \varphi\right] \vec{e}_x + E_{ym} \cos\left[\omega\left(t - \frac{z}{c}\right) + \varphi\right] \vec{e}_y$$

Mỗi nguyên tử riêng biệt phát xạ trong khoảng thời gian ngắn $\tau_0 \approx 10^{-11}$ s. Giá trị trung bình của τ_0 phụ thuộc vào nhiệt độ, và nói riêng nó phụ thuộc vào nhiệt độ của các nguyên tử nóng hơn nhiệt độ cao làm giảm số phát xạ, và do đó làm giảm τ_0 .

Chúng ta có thể biểu diễn $\vec{E}_A(M, t)$ trong trường điểm M của sóng phát ra từ nguyên tử tại A theo phương Oz bằng một hàm sóng:

$$\text{Nếu } t - \frac{z}{c} \in [t_1, t_1 + \tau_0]: \quad \vec{E}_A(M, t) = E_{xm} \cos\left[\omega\left(t - \frac{z}{c}\right) + \varphi_A\right] \vec{e}_x + E_{ym} \cos\left[\omega\left(t - \frac{z}{c}\right) + \varphi_A\right] \vec{e}_y$$

$$\text{Nếu } t - \frac{z}{c} \notin [t_1, t_1 + \tau_0] \quad \vec{E}_A(M, t) = 0$$

Thời gian cho truyền, thời gian ghi nhận sóng là τ_0 .

Vào một thời điểm xác định, chiều dài của sóng là $l_0 = c\tau_0$

Sóng ánh sáng nh n c t i M là t ng c a nh ng oàn sóng phát ra b i m t s l n nguyên t . C u trúc c a nó ph thu c vào b n ch t c a ngu n.

1. C u trúc th i gian c a sóng ánh sáng phát ra b i ngu n c i n (t nhiên):

Trong m t ngu n c i n, còn c g i là ngu n không k t h p, các nguyên t phát x m t cách h n lo n nh ng oàn sóng v i th i gian τ_0 và pha ng u nhiên.

Sóng phát x b i ngu n là sóng quasi-sinusoidale, nh ng pha vào 2 th i i m khác nhau, cách nhau m t kho ng th i gian l n h n τ_0 , thì hoàn toàn c l p v i nhau. Có ngh a là không có m i quan h nào v pha c a các oàn sóng phát x sau kho ng th i gian τ_0 .

❖ Th i gian k t h p và chi u dài k t h p :

- Th i gian k t h p τ_c là th i gian trung bình c a nh ng oàn sóng t i m t i m cho tr c. i v i ngu n c i n, τ_c trùng v i th i gian phát x τ_0 c a nguyên t .
- Chi u dài k t h p $l_c = c\tau_c$ là chi u dài trung bình c a các oàn sóng (còn c g i là chi u dài c a s k t h p th i gian), i v i ngu n c i n v i $\tau_c \approx 10^{-11} s$, $l_c \approx$ vài mm.

2. C u trúc th i gian c a m t sóng ánh sáng phát ra b i m t laser :

❖ Mô t m t laser :

Phát x c ng b c : khi m t nguyên t m t tr ng thái kích thích c t trong tr ng sóng i n t có t n s v sao cho $E_2 - E_1 = h\nu$, v i E_2 và E_1 là 2 m c n ng l ng c a nguyên t , lúc ó xác su t tái h p có b c x photon s t ng lên áng k . Ngoài ra, sóng c b c x có cùng t n s và ng pha v i sóng t i.

Laser khí bao g m ng ch a khí t gi a 2 g ng, m t trong 2 g ng (g ng ra) cho m t ph n nh n ng l ng c a sóng t i i qua. Khí c kích thích b ng s phóng i n s tr ng thái không cân b ng nhi t. Lúc ó, s nguyên t tr ng thái kích thích v i m c n ng l ng E_2 s nhi u h n m c E_1 , ó là s o lôn m t .

ng khí gi ng nh m t máy khu ch i ánh sáng v i t n s t ng ng v i s chuy n m c $E_2 - E_1$: n u sóng i vào ng khí có t n s này, thì s có nhi u photon phát x b i s phát x c ng b c h n là s photon b h p thu, và sóng i ra kh i môi tr ng có biên l n h n.

Khi l i n ng l ng c a m i l n t i và lui c a chùm tia bù v i nh ng m t mát thì s có phát x laser.

T n s phát x c ng ph thu c vào kho ng cách gi a các g ng. Các sóng ch ng ch t nhau sau m i l n t i và lui trong môi tr ng ph i ng pha v i nhau không đ p t t l n nhau.

❖ Các tính ch t c a sóng phát x b i m t laser :

Các nguyên t phát x m t cách có tr t t , v i pha g n b ng nhau. Hàm sóng có d ng:

$$E_x(z,t) = E_{xm} \cos \left[\omega \left(t - \frac{z}{c} \right) + \varphi(t) \right]$$

$$E_y(z,t) = E_{ym} \cos \left[\omega \left(t - \frac{z}{c} \right) + \psi(t) \right]$$

vì $\varphi(t)$ và $\psi(t)$ thay đổi rất chậm.

Các biên độ E_{xm} và E_{ym} không đổi theo thời gian. Trong khi chu kỳ dao động vào khoảng 10^{-7} s, thì có thể lấy khoảng thời gian cỡ trăm giây làm biến đổi pha vào khoảng 10^{-7} s (ví dụ laser liên tục), thì khoảng vài chục giây là đủ để tính gần đúng.

Tiêu diện của chùm tia chậm rất chậm (nhỏ hơn 1m trên km): các tia sóng gần song song.

Các tia laser khi đi ra ngoài có các tính chất gần với sóng phẳng.

III. Sự phân cực của sóng ánh sáng:

Một sóng ánh sáng phân cực thì vận tốc dao động của điện trường $\vec{E}(z,t)$ không đổi, chỉ phụ thuộc vào t .

Vectơ \vec{E} của một sóng điện từ lan truyền theo phương Oz có thể phân tích trong mặt phẳng (x,y) thành các thành phần:

$$\vec{E}(z,t) = E_x(z,t)\vec{e}_x + E_y(z,t)\vec{e}_y$$

Như vậy, sóng $\vec{E}(z,t)$ có thể xem như tổng hợp của hai sóng phân cực thẳng theo các phương của \vec{e}_x và \vec{e}_y .

Sự phân tích này không phải là duy nhất, các trục (\vec{e}_x, \vec{e}_y) có thể quay quanh trục Oz .

Trên thực tế, sự phân tích này có thể chỉ ra bản chất phân cực.

Ánh sáng tự nhiên không phân cực: sóng là sự chồng chập của nhiều sóng phát ra bởi các nguyên tử khác nhau. Mỗi sóng có tính phân cực, nhưng ngẫu nhiên, vì thời gian cỡ trăm giây. Một cách trung bình, mọi phương phân cực đều như nhau. Trong trường hợp này, ánh sáng tự nhiên không phân cực.

IV. Công suất ánh sáng:

Trong dòng của sóng ánh sáng, các máy thu chuyển đổi năng lượng của sóng điện từ.

Công suất này tỷ lệ với bình phương của điện trường và tỷ lệ với diện tích hiệu dụng của máy thu.

Các máy thu có một thời gian đáp ứng τ_R nào đó, trong khoảng thời gian đó chúng lấy tích phân giá trị của \vec{E}^2 .

Thời gian các máy thu hoạt động với giá trị trung bình của công suất nhận được, trên một số rất lớn chu kỳ.

M t máy thu có di n tích h u d ng S cung c p tín hi u t l v i $S < E^2 >$, v i $< E^2 >$ là giá tr trung bình c a \vec{E}^2 trên th i gian áp ng c a máy thu.

Ta nh ngh a c ng *sáng* là công su t b m t trung bình phát x b i sóng :

$$I = K < \vec{E}^2 >, \text{ v i } K \text{ là h s t l .}$$

$$\vec{E} = E_x \vec{e}_x + E_y \vec{e}_y$$

$$I = K < E^2 > = K < E_x^2 + E_y^2 > = K < E_x^2 > + K < E_y^2 >$$

$$I_x \text{ và } I_y \text{ là c ng c a m i sóng phân c c : } I = I_x + I_y .$$

C ng c a m t sóng b ng t ng c ng c a 2 sóng phân c c thành ph n theo 2 ph ng vuông góc nhau.

Tr ng h p c a sóng n s c:

$$E = \text{Re}(\underline{E}) \text{ v i } E = E_m \cos(\omega t + \varphi(M))$$

$$\underline{E} = \underline{E}_0 \exp(i\omega t)$$

$$< E^2 > = E_m^2 < \cos^2(\omega t) > \text{ n u c tính trên m t s l n chu k}$$

$$< \cos^2(\omega t) > = \frac{1}{2} \Rightarrow I = \frac{1}{2} K E_m^2$$

$$E_m^2 = |\underline{E}|^2 = \underline{E} \cdot \underline{E}^* \Rightarrow I = \frac{1}{2} K \underline{E} \cdot \underline{E}^*$$

V. Bi u di n vô h ng c a sóng ánh sáng :

1. Sóng phân c c th ng :

M t sóng phân c c th ng d c theo ph ng Ox c mô t b i m t hàm vô h ng $s(M,t)$:

$$\vec{E}(M,t) = s(M,t) \vec{e}_x \text{ và } I = K < s^2 >$$

Kh o sát tr c tiên tr ng h p hai sóng phân c c theo cùng m t ph ng \vec{e}_y .

$$\vec{E}_1 = s_1(M,t) \vec{e}_y \text{ và } \vec{E}_2 = s_2(M,t) \vec{e}_y$$

có th vi t t ng $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$ v i hàm vô h ng $s(M,t)$:

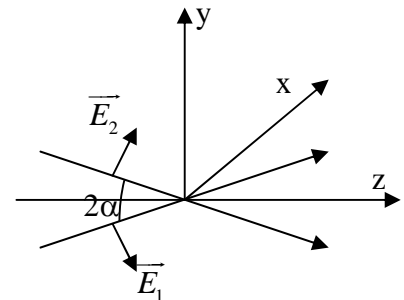
$$\vec{E} = s(M,t) \vec{e}_y \text{ v i } s(M,t) = s_1(M,t) + s_2(M,t)$$

$$I = K < s^2 > = K < (s_1 + s_2)^2 >$$

Tr ng h p hai sóng phân c c trong m t ph ng xác nh b i các ph ng truy n c a chúng (trong m t ph ng c xác nh b i các vect n v \vec{u}_1, \vec{u}_2):

$$\vec{E}(M,t) = s_1(M,t) \vec{u}_1 + s_2(M,t) \vec{u}_2$$

$$= [s_1(M,t) + s_2(M,t)] \cos \alpha \vec{e}_x + [s_1(M,t) - s_2(M,t)] \sin \alpha \vec{e}_z$$



Nếu α nhỏ: $\vec{E}_1 \approx s_1(M,t)\vec{e}_x$ và $\vec{E}_2 \approx s_2(M,t)\vec{e}_x$
 $\Rightarrow \vec{E} \approx s(M,t)\vec{e}_x$ với $s(M,t) = s_1(M,t) + s_2(M,t)$

và $I \approx K \langle s^2 \rangle \approx K \langle (s_1 + s_2)^2 \rangle$

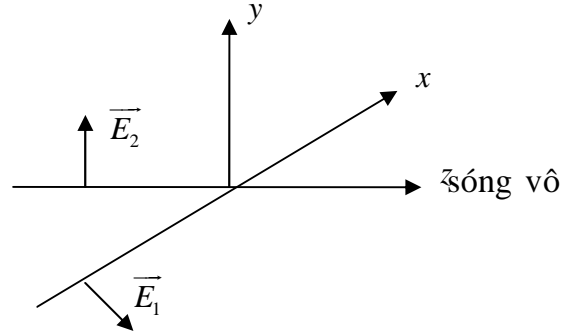
Trường hợp hai sóng phân cực theo hai phương vuông góc nhau:

$$\vec{E}(M,t) = s_1(M,t)\vec{u}_1 + s_2(M,t)\vec{u}_2$$

$$\langle E^2 \rangle = \langle s_1^2 \rangle + \langle s_2^2 \rangle \neq \langle (s_1 + s_2)^2 \rangle$$

Ta không thể chuyển sự phân cực của các sóng $\vec{E}_1(M,t)$ và $\vec{E}_2(M,t)$ thành biểu diễn của tổng các phân cực.

Điều này chỉ có thể khi 2 sóng có các phương phân cực song song.



2. Sóng ánh sáng tự nhiên không phân cực:

Mọi sóng là một ánh sáng tự nhiên, ngẫu nhiên, bao gồm nhiều sóng có sự phân cực và pha ngẫu nhiên.

Nếu các phương truyền sóng gặp nhau (α nhỏ), ta có thể tổng hợp các vectơ \vec{u}_1 và \vec{u}_2 với \vec{e}_x .

$$\vec{E} = (E_{x1} + E_{x2})\vec{e}_x + (E_{y1} + E_{y2})\vec{e}_y$$

Tính $\langle E^2 \rangle$ trên thời gian áp dụng τ_R của máy thu, giả sử τ_R lớn với thời gian kết hợp:

$$\langle E^2 \rangle = \langle (E_{x1} + E_{x2})^2 \rangle + \langle (E_{y1} + E_{y2})^2 \rangle$$

Do sự phân cực của mọi sóng là ngẫu nhiên theo thời gian, các phương của chúng vuông góc với nhau:

$$\langle (E_{x1} + E_{x2})^2 \rangle = \langle (E_{y1} + E_{y2})^2 \rangle$$

$$\Rightarrow \langle E^2 \rangle = 2 \langle (E_{y1} + E_{y2})^2 \rangle$$

Có thể gọi mọi sóng với một sóng vô hướng:

$$s_1(M,t) = \sqrt{2} \cdot E_{y1}(M,t) \text{ và } s_2(M,t) = \sqrt{2} \cdot E_{y2}(M,t)$$

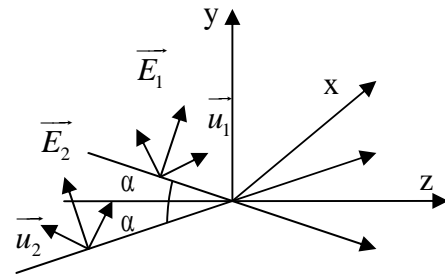
và $I = K \langle E^2 \rangle = K \langle s^2 \rangle$ với $s = s_1 + s_2$

sóng vô hướng ngẫu nhiên với trường $\vec{E}_1(M,t)$ có dạng: $s_1 = s_{1m} \cos[\omega t - \vec{k}\vec{r} + \phi_1(t)]$

có thể không tính đến những thay đổi góc của biên độ và xem như s_{1m} là const.

3. Tín hiệu ánh sáng:

Thông tin hữu ích tính bằng công suất chứa trong hàm vô hướng $s(M,t)$ mà ta gọi là tín hiệu ánh sáng.



Nếu ánh sáng là sóng, ta có thể viết:

$$s(M, t) = s_m(M) \cos(\omega t + \varphi_{A \rightarrow M} + \varphi_0) = s_m(M) \cos(\varphi(M, t))$$

với điểm M bất kỳ nào đó, xem như gốc tọa độ.

$\varphi_{A \rightarrow M} = \varphi(M, t) - \varphi(A, t)$: hiệu pha giữa các điểm A và M vào cùng thời điểm.

$\varphi_{A \rightarrow M}$ phụ thuộc vào vị trí của A và M, cũng như vào môi trường phân cách chúng.

Biểu thức: $\underline{s} = \underline{s}_0(M) e^{i\varphi}$ với $\varphi(M, t) = \omega t + \varphi_{A \rightarrow M}$.

Công suất của sóng ngang: $I = s_m^2 = \underline{s} \cdot \underline{s}^*$

VI. Phản xạ ánh sáng:

Các tia sáng của quang hình học tỉ lệ thuận với cường độ của chùm tia sáng.

1. Hiệu ứng giao thoa trên cùng một tia sáng:

a. Phản xạ trong môi trường đồng nhất (chỉ số khúc xạ đồng nhất):

Tia sáng thẳng góc xác định vị trí điểm O nào đó và vectơ pháp tuyến \vec{u} .

M là một điểm trên tia

$\Rightarrow r = \vec{u} \cdot \vec{OM}$ là chiều dài đoạn thẳng ánh sáng từ O tới M, r đứng trong chiều truyền sóng. Phản xạ sóng tại M:

$$\varphi(M, t) = \omega t - kr + \varphi_0 = \omega t - \frac{2\pi\nu}{v} r + \varphi_0$$

$$\text{Hay } \varphi(M, t) = \omega t - \frac{2\pi n\nu}{c} r + \varphi_0 = \omega t - \frac{2\pi nr}{\lambda_0} + \varphi_0$$

λ_0 : bước sóng trong chân không.

Vào một thời điểm, hiệu pha giữa O và M:

$$\varphi_{O \rightarrow M} = -\frac{2\pi n\nu}{c} r = -\frac{2\pi}{\lambda_0} nr = -\frac{2\pi}{\lambda_0} n \vec{u} \cdot \vec{OM} = -\vec{k} \cdot \vec{OM}$$

$$\text{với } \vec{k} = n \cdot \frac{2\pi}{\lambda_0} \vec{u}$$

b. Tính liên tục pha:

n_1 : chỉ số khúc xạ của môi trường sóng tới.

n_2 : chỉ số khúc xạ của môi trường bên kia.

- Phản xạ sóng khúc xạ bình thường phản xạ sóng tới.

- Phản xạ sóng phản xạ:

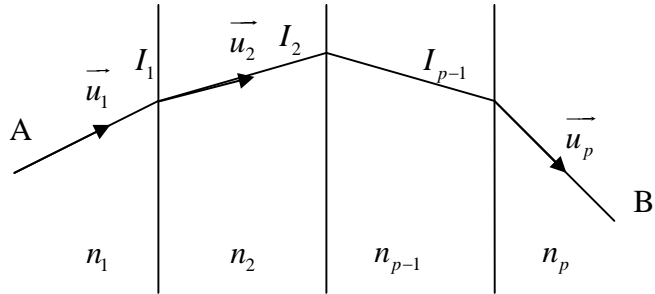
Nếu $n_1 > n_2$: bình thường phản xạ sóng tới.

Nếu $n_1 < n_2$: lệch pha π so với pha của sóng tới.

- Khi một sóng đi qua một bề mặt, cần phải thêm π vào hiệu pha tính.
- Sóng phản xạ trên kim loại có lệch pha π .

c. Lan truyền trong dãy các môi trường trong suốt:

Giả sử chiết suất của các môi trường liên tiếp nhau là n_1, n_2, \dots



Theo tính liên tục của pha:

$$\varphi_{A \rightarrow B} = \varphi_{A \rightarrow I_1} + \varphi_{I_1 \rightarrow I_2} + \dots + \varphi_{I_{p-1} \rightarrow B}$$

$$\varphi_{A \rightarrow B} = -\frac{2\pi}{\lambda_0} (n_1 \vec{u}_1 \cdot \vec{AI}_1 + n_2 \vec{u}_2 \cdot \vec{I_1 I_2} + \dots + n_i \vec{u}_i \cdot \vec{I_{i-1} I_i} + \dots + n_p \vec{u}_p \cdot \vec{I_{p-1} B})$$

Quang lộ: $(AB) = \sum n_i \vec{u}_i \vec{L}_i$

trong đó \vec{L}_i là đoạn thẳng mà tia sáng đi trong môi trường chiết suất n_i .

Ghi chú: quang lộ bình thường mà ánh sáng đi qua trong chân không với cùng thời gian, hoặc có cùng lệch pha.

$$\varphi_{A \rightarrow B} = -\frac{2\pi}{\lambda_0} (AB)$$

Nếu có sự khúc xạ liên tục của pha: $\varphi_{A \rightarrow B} = -\frac{2\pi}{\lambda_0} (AB) + \varphi_{\text{sup}}$.

φ_{sup} do sự phản xạ hoặc khúc xạ qua bề mặt. Tổng quát φ_{sup} có lệch bội số của π .

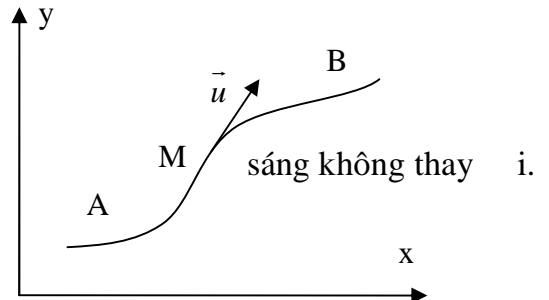
d. Quang lộ và pha:

Trong trường hợp tổng quát, chiết suất có thể biến liên tục và tia sáng là đường cong.

$$(AB) = \int_A^B n \cdot \vec{u} \cdot d\vec{l}$$

\vec{u} : vectơ đơn vị tiếp tuyến với tia.

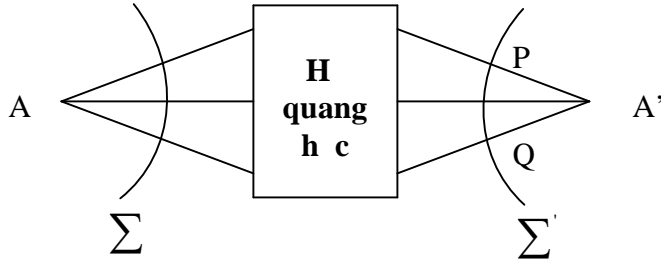
Nếu truyền sóng đồng hướng, các tia



2. Thí nghiệm Malus:

Một sóng là tập hợp những điểm cách nhau cùng quang lộ. Nếu sóng là đơn sắc, một sóng là các mặt phẳng song song.

nh lý Malus : Các mặt sóng vuông góc với các tia sáng,



Tính chất của các điểm liên hệ p:

Ta có A' là nh của A qua h quang h c. Kh o sát 2 tia n i A và A', chúng c t m t sóng Σ' t i P và Q.

Theo nh lý Malus : $(AP) = (AQ)$.

Theo nh lu t ngh ch o : $(A'P) = (A'Q) \Rightarrow (PA') = (QA')$

$\Rightarrow (AP) + (PA') = (AQ) + (QA')$

\Rightarrow Quang lộ của 2 điểm liên hệ p b i m t h quang h c không ph thu c vào tia n i chúng.

www.mientayvn.com

- Chúng tôi đã dịch các m t s ch ng c a m t s khóa h c thu c ch ng trình h c li u m c a hai tr ng i h c n i ti ng th gi i MIT và Yale.
- Chi ti t xin xem t i:
- http://mientayvn.com/OCW/MIT/Vat_li.html
- http://mientayvn.com/OCW/YALE/Ki_thuat_y_sinh.html