

CHƯƠNG IV :

SÓNG ĐIỆN TỪ TRONG VẬT CHẤT

I. SỰ LAN TRUYỀN TRONG VẬT CHẤT

1. Các phương trình Maxwell

✓ Hiện tượng phân cực trong môi trường: do sự dịch chuyển của các điện tích trong phạm vi giới hạn của nguyên tử, phân tử hoặc ion của môi trường. Phạm vi của mô hình nguyên tử mô hình hóa bằng sự phân cực của môi trường với vectơ mômen lưỡng cực điện trong một đơn vị thể tích \vec{P} . Sự không đồng nhất của phân cực gây ra sự xuất hiện các điện tích phân cực cảm ứng, số biến thiên theo thời gian của phân cực tạo thành dòng điện phân cực.

$$\vec{j}_{pol} = \frac{\partial \vec{P}}{\partial t}$$

mật độ điện tích phân cực

$$\rho_{pol} = -\text{div} \vec{P}$$

✓ Hiện tượng từ hóa: các mômen từ nguyên tử biểu diễn bằng mômen từ trong một đơn vị thể tích \vec{M}

$$\vec{j}_m = \text{rot} \vec{M}$$

Các điện tích và dòng điện: nguồn liên tục dịch chuyển trong phạm vi giới hạn của các điện tích; các nguồn là các điện tích và dòng điện liên kết.

Các phương trình Maxwell

$$\text{div} \vec{B} = 0$$

$$\text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

Các phương trình không phụ thuộc vào nguồn

Ngoài các điện tích và dòng điện dẫn, còn cần đưa vào mật độ phân cực điện tích và dòng điện cảm ứng do sự phân cực và từ hóa của môi trường.

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$$

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$$

$$\text{div} \vec{D} = \rho$$

$$\text{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

2. Môi trường tuyến tính, đồng nhất và đẳng hướng (lhi)

✓ Trong môi trường đồng nhất, tính chất của môi trường không đẳng hướng ($\vec{M} \approx 0$) $\Rightarrow \vec{B} = \mu_0 \vec{H}$. Khi xét vật liệu cách điện: $\rho = 0$ & $\vec{j} = 0$

Các phương trình Maxwell:

$$\text{div} \vec{D} = 0$$

$$\text{div} \vec{B} = 0$$

$$\text{rot}\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}$$

$$\text{rot}\vec{B} = \mu_0 \frac{\partial\vec{D}}{\partial t}$$

✓ Môi trường tuyến tính

Nuôi trường điện từ không quá lớn, mối quan hệ giữa phân cực và điện trường là tuyến tính.

chỉ số khúc xạ và biên độ điện trường:

$$\vec{P} = \epsilon_0 [\chi_e] \vec{E} \quad \vec{D} = [\epsilon] \vec{E} \quad \text{với } [\epsilon] = \epsilon_0 (1 + [\chi_e])$$

$[\chi_e]$: Hằng số phân cực / đơn vị thứ ba

$[\epsilon]$: điện môi

(Toán tensor)

điện môi môi trường tuyến tính, đồng nhất và đẳng hướng

$[\chi_e]$ và $[\epsilon]$ là các vô hướng

$$\Rightarrow \vec{P} = \epsilon_0 \chi_e \vec{E}, \quad \vec{D} = \epsilon \vec{E}, \quad \epsilon = \epsilon_0 (1 + \chi_e)$$

điện môi môi trường đẳng hướng là ϵ_r , chỉ số khúc xạ $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$

3. Sự truyền sóng điện từ trong môi trường đồng nhất

$$\text{div}\vec{E} = 0$$

$$\text{div}\vec{B} = 0$$

$$\text{rot}\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}$$

$$\text{rot}\vec{B} = \mu_0 \epsilon \frac{\partial\vec{E}}{\partial t}$$

Tương tự như các phương trình trong trường hợp truyền sóng điện từ trong chân không: thay ϵ_0 bằng $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$

$$\Delta\vec{E} - \frac{\epsilon_r}{c^2} \frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2} = 0$$

$$\Delta\vec{B} - \frac{\epsilon_r}{c^2} \frac{\partial^2\vec{B}}{\partial t^2} = 0$$

✓ Quan hệ tán sắc - chiết suất của môi trường

điện môi sóng OPPM có tần số ω và vectơ sóng \vec{k}

$$\underline{k}^2 = \underline{\epsilon} \mu_0 \omega^2 = \epsilon_r \frac{\omega^2}{c^2}$$

$$\underline{k} = \pm \underline{n} \frac{\omega}{c} \quad (\underline{n}^2 = \underline{\epsilon}_r)$$

\underline{n} : chiết suất của môi trường (phức)

✓ Cấu trúc của trường điện từ

$\epsilon_0 \Rightarrow \underline{\epsilon} = \epsilon_0 \epsilon_r$ trong môi trường đồng nhất

$$\vec{B} = \frac{\vec{k} \wedge \vec{E}}{\omega} = \underline{n} \frac{\vec{u} \wedge \vec{E}}{c}$$

\vec{E} , \vec{B} , \vec{u} tạo thành tam diện thuận.

(\vec{E} và \vec{B} không đồng pha, do \underline{k} phức)

II. S PHÂN C C, TÁNS C VÀ H P THU

1. Mô hình c a s phân c c

a) Mô hình i n tích liên k t àn h i Lorentz

Tr ãng c a sóng i n t làm chuy ãng các i n tích liên k t c a môi tr ãng ch t. N u áp ãng là tuy ãn tính, m t sóng ãn s c s gây ra các dao ãng v i cùng t ãn s ω c a nó

Trong mô hình này, i n tích liên k t (có kh i l ãng m và i n tích q) ch u tác d ãng c a các l c :

$$- \text{L c àn h i : } \vec{f} = -k\vec{r}$$

$$- \text{L c tiêu tán : } \vec{f} = -\frac{m}{\tau}\vec{v} \quad (\tau : \text{th i gian h i t nh})$$

- L c Lorentz do tr ãng i n t. i v i i n tích không t ãng i tính ta có th b qua nh h ãng c a t tr ãng

$$\vec{f} = q\vec{E}$$

Ph ãng trình chuy ãng :

$$m\vec{a} = -k\vec{r} - m\frac{\vec{v}}{\tau} + q\vec{E} \quad \Rightarrow \ddot{\vec{r}} + \frac{\omega_o}{Q}\dot{\vec{r}} + \omega_o^2\vec{r} = \frac{q\vec{E}}{m}$$

v i $\omega_o = \sqrt{\frac{k}{m}}$: T ãn s riêng c a dao ãng t t d ãn

$Q = \omega_o\tau$: Y u t ch t l ãng ch ãnnusoidal

$$\vec{r} = \frac{\frac{q}{m\omega_o^2}}{1 + j\frac{\omega}{Q\omega_o} - \frac{\omega^2}{\omega_o^2}}\vec{E}$$

b) Phân c c ch ãnnusoidal

Môi tr ãng v t ãng th trung hòa i n. S d ch chuy ãn c a i n tích g ãn l i n v i vect mômen l ãng c c i n $\vec{p} = q\vec{r}$; d ãng ph c $\vec{p} = \alpha\vec{E}$, v i α c g i là phân c c.

Vect phân c c c a môi tr ãng l.h.i, ch a N i n tích liên k t ãng v i m t ãn v th tích

$$\vec{P} = N\vec{p}$$

$$\vec{P} = \epsilon_o\chi_e\vec{E} \quad \text{v i} \quad \chi_e = \frac{\chi_o}{1 + j\frac{\omega}{Q\omega_o} - \frac{\omega^2}{\omega_o^2}}$$

$$\chi_o = \frac{Nq^2}{m\epsilon_o\omega_o^2} \quad : \text{ h s phân c c t nh } (\omega \approx 0)$$

$$\text{t } \chi_e = \chi_1 - j\chi_2$$

$$\chi_1 = \chi_1(\omega) = \chi_o \frac{1 - \frac{\omega^2}{\omega_o^2}}{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_o^2}\right)^2 + \left(\frac{\omega}{Q\omega_o}\right)^2}$$

$$\chi_2 = \chi_2(\omega) = \chi_o \frac{\frac{\omega}{Q\omega_o}}{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_o^2}\right)^2 + \left(\frac{\omega}{Q\omega_o}\right)^2}$$

Kh o sát các hàm χ_1 và χ_2 theo ω khi $Q \ll 1$ ($10^3 - 10^4$). Ta nh n th y $\chi_1=0$ khi $\omega=0$, trong khi ó χ_2 c c i ω r t g n ω_o . lân c n ω_o , χ_1 và χ_2 bi n thiên áng k

$$\Delta\omega = \omega_m - \omega_M \approx \frac{\omega_o}{Q}$$

χ_2 liên quan t i s tiêu tán n ng l ng c a tr ng i n t trong môi tr ng

c) Phân c c toàn ph n c a môi tr ng

M t môi tr ng có th ch a nhi u lo i i n tích liên k t

- Các i n t c a nguyên t hay các phân t c a môi tr ng
- Các h t nhân
- Các ion

Các i n tích liên k t q_i , kh i l ng m_i , dao ng v i t n s riêng ω_{oi} , y u t ch t l ng Q_i

$$\vec{r}_i = \frac{\frac{q_i}{m_i \omega_{oi}^2}}{1 + j \frac{\omega}{Q_i \omega_{oi}} - \frac{\omega^2}{\omega_{oi}^2}} \vec{E}$$

Gi s m t h t c s có a_i i n tích liên k t v i cùng m_i , cùng q_i , ω_{oi} và Q_i . Và môi tr ng ch a N h t trong m t n v th tích. Vect phân c c a môi tr ng :

$$\vec{P} = N \left(\sum_i \frac{a_i q_i^2}{m_i \omega_{oi}^2} \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{Q_i \omega_{oi}} - \frac{\omega^2}{\omega_{oi}^2}} \right) \vec{E}$$

M i lo i dao ng t t ng ng v i m t vùng h p thu

d) B c c a il ng

- Phân tử cộng tử trong vùng khả kiến và tử ngoại ($10^{14} - 10^{15}$ Hz)
- Phân tử nguyên tử hay ion trong IR ($10^{12} - 10^{14}$ Hz)
- Phân tử phân tử hay phân tử đơn tử trong IR xa. Trong vùng tia X (tần số cao $10^{17} - 10^{20}$ Hz), χ_e là thực

2. Tần số và hằng số

T biểu thức của ϵ trong môi trường χ_e , chúng ta đưa ra hằng số trong môi trường

$$\underline{\epsilon} = \epsilon_0 \underline{\epsilon}_r = \epsilon_1 - j\epsilon_2$$

$$\text{với } \epsilon_1 = \epsilon_0(1 + \chi_1)$$

$$\epsilon_2 = \epsilon_0 \chi_2$$

$$\underline{k}^2 = \underline{\epsilon}_r \frac{\omega^2}{c^2}$$

$$\underline{k} = k_1 - jk_2 = \pm n \frac{\omega}{c}$$

$$\underline{n} = n_1 - jn_2 = (\underline{\epsilon}_r)^{1/2}$$

$$n_1^2 - n_2^2 = \epsilon_1 \quad \text{và} \quad 2n_1 n_2 = \epsilon_2$$

intrinsic (ngang) của sóng OPPM truyền theo phương (Ox):

$$\underline{\vec{E}} = \underline{\vec{E}}_0 e^{-k_2 x} e^{j(\omega t - k_1 x)}$$

$$\left(k_1 = n_1 \frac{\omega}{c} \text{ và } k_2 = n_2 \frac{\omega}{c} \right)$$

Giả sử $\underline{\vec{E}}_0$ thực: $\underline{\vec{E}}_0 = \vec{E}_0$

$$\vec{E} = \vec{E}_0 e^{-k_2 x} \cos(\omega t - k_1 x)$$

n_1 : chiết suất

$$\text{Vận tốc pha} \quad v_\phi = \frac{\omega}{k_1} = \frac{c}{n_1}$$

- n_1 đặc trưng cho tính tán xạ của môi trường
- n_2 đặc trưng cho sự hấp thụ sóng bị môi trường

Khảo sát bằng thực nghiệm, ta thấy các vùng trong suốt trong vùng tử ngoại và tử ngoại gần. Chúng ta chia thành các dải tần số khác nhau mà đó là tán xạ và hấp thụ ánh sáng.

3. Vùng trong suốt

Trong vùng trong suốt, sự tán xạ và hấp thụ yếu

$$\Rightarrow \underline{\epsilon} \approx \epsilon_1 \gg \epsilon_2$$

$$\Rightarrow \underline{n} \approx n_1 \gg n_2$$

Khảo sát môi trường khi chiết suất liên tục

$$\Rightarrow \epsilon_r = 1 + \chi_e \frac{\omega_0^2}{\omega_0^2 - \omega^2} \quad \text{với} \quad \epsilon_r > 0$$

Trong dải tần số mà chiết suất quang học của môi trường là thực, môi trường sóng điện từ lan truyền không suy giảm, môi trường đó gọi là trong suốt đối với sóng điện từ.

Sự tán xạ cộng hưởng.

✓ Sự tán xạ cộng hưởng

Chỉ số khúc xạ biến thiên theo tần số, một bó sóng lan truyền trong môi trường nhớt và y thì ít biến dạng.

$$k = n \frac{\omega}{c}, \quad dk = \frac{d\omega}{c} \left(n + \omega \frac{dn}{d\omega} \right)$$

Vận tốc nhóm

$$v_g = \frac{d\omega}{dk} = \frac{c}{n + \omega \frac{dn}{d\omega}} = \frac{v_\phi}{1 + \frac{\omega}{n} \frac{dn}{d\omega}} \quad (*) \quad ; \quad v_\phi = \frac{c}{n}$$

$$n > 1 \Rightarrow v_\phi < c$$

Trong vùng trong suốt này, n là hàm tăng theo tần số, $v_g < c$

Trong những vùng (tần số) mà vận tốc pha và vận tốc nhóm nhớt, tán sắc cấp I là "thường".

4. Vùng hấp thụ: Xét lân cận ω_0

✓ Chỉ số khúc xạ

Biên độ của sóng giảm theo hàm exp với khoảng cách lan truyền vào môi trường

$$e^{-k_2 x} = e^{-n_2 \frac{\omega x}{c}}$$

\Rightarrow môi trường hấp thụ sóng điện từ.

✓ S tán sắc dị thường

Trong vùng hấp thụ n_1 có thể nghịch biến, và vận tốc pha:

$$v_\phi = \frac{\omega}{k_1} = \frac{c}{n_1} \quad \text{có thể nghịch biến}$$

Một khác $\frac{dn_1}{d\omega}$ có thể nhận các giá trị âm, (*) \Rightarrow vận tốc nhóm trở nên nghịch biến. Đó là tán sắc dị thường.

Vận tốc nhóm trong trường hấp thụ này không còn ý nghĩa vật lý. v_g cũng có khả năng nghịch biến, tán sắc trở nên "ngược".

- 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