

Nonlinear optics

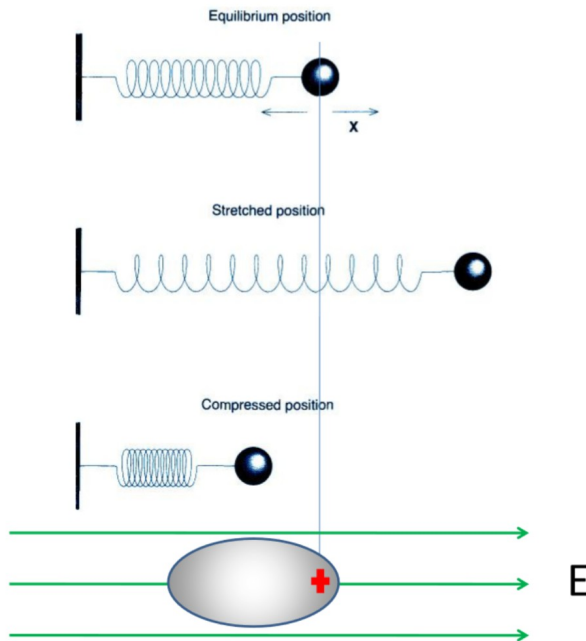
Nonlinear optics (NLO)

- Laser → quan sát hiện tượng của NLO



- Ánh sáng bước sóng 1 “biến đổi” thành ánh sáng bước sóng 2!

$$\text{Bước sóng } \lambda_1 \text{ vào} \rightarrow \text{Ra } \lambda_1; \lambda_2 = \frac{\lambda_1}{2}$$



3

Oscillator model

- PT chuyển động Abraham-Lorentz

$$\ddot{x}(t) + 2\gamma\dot{x}(t) + \omega_0^2x(t) = \frac{e}{m}E(t)$$

Đại lượng
VL
cần quan
tâm

- Hàm phân cực:
“dipole moment” trên đ/v thể tích (Tương tác ánh sáng - vật chất
thông qua Dipole)

$$P = n_0d = n_0ex$$

- Điện trường

$$E(t) = E_0 \cos \omega t \rightarrow E(\omega)e^{-i\omega t} \left(\begin{array}{l} \text{Biểu diễn sóng điện từ} \\ \text{biến đổi theo thời gian} \end{array} \right)$$

- Độ dời $x(t)$ được xác định dưới dạng

$$x(t) = x(\omega)e^{-i\omega t}$$

4

Oscillator model

$$\ddot{x}(t) + 2\gamma\dot{x}(t) + \omega_0^2 x(t) = \frac{e}{m} E(t)$$

- Phân cực $P(\omega) = \frac{n_0 e^2}{m} \frac{1}{\omega^2 + i2\gamma\omega - \omega_0^2} E(\omega)$ \rightarrow SBE: lq phổ hấp thụ
- Độ nhạy quang/ optical susceptibility $= \frac{P(\omega)}{E(\omega)} = \chi(\omega)$: độ cảm quang

$$\chi(\omega) = \frac{n_0 e^2}{2m\omega'} \left(\frac{1}{\omega - \omega'_0 + i\gamma} - \frac{1}{\omega + \omega'_0 + i\gamma} \right)$$

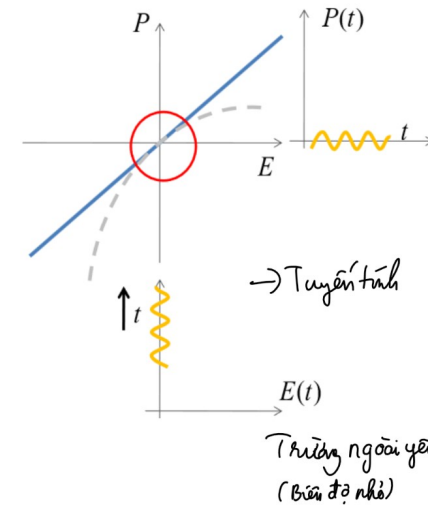
$$\omega'_0 = \sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2}$$

$$P(\omega) \propto E(\omega) \rightarrow P(\omega) \sim \chi(\omega) E(\omega)$$

$\text{Im}(\chi(\omega)) \rightarrow$ cho cái hấp thụ
(TN: cho as đi qua mồi cl; từ hấp thụ biết được chất)

5

Trục giờ ta nghĩ P ; E tương quan tuyến tính
Giờ: tương quan phức tạp (E chất; mtrg)



6

Oscillator model

PT chuyển động Abraham-Lorentz

$$\ddot{x}(t) + 2\gamma\dot{x}(t) + \omega_0^2 x(t) = \frac{e}{m} E(t)$$

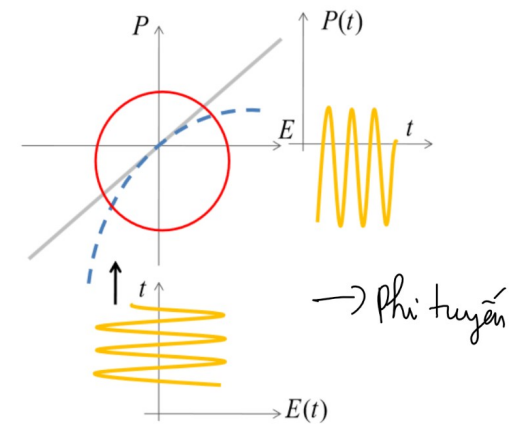
Biên độ dao động lớn (cường độ ánh sáng lớn):

$$\ddot{x}(t) + 2\gamma\dot{x}(t) + \omega_0^2 x(t) - (\xi^{(2)}x^2 + \xi^{(3)}x^3 + \dots) = \frac{e}{m} E(t)$$

Hiệu ứng phi tuyến (biên độ lớn):

- Khi cường độ ánh sáng lớn, dao động không còn tuyến tính do sự xuất hiện của các hiệu ứng phi tuyến. Phương trình trở thành:

$$\ddot{x}(t) + 2\gamma\dot{x}(t) + \omega_0^2 x(t) - (\xi^{(2)}x^2 + \xi^{(3)}x^3 + \dots) = \frac{e}{m} E(t).$$
- $\xi^{(2)}, \xi^{(3)}, \dots$: các hệ số phi tuyến, phụ thuộc vào các đặc tính vật lý của hệ.
- Các hạng tử $-\xi^{(2)}x^2, -\xi^{(3)}x^3, \dots$ thể hiện lực phi tuyến, gây ra bởi sự phụ thuộc phi tuyến của hệ vào vị trí x .



Laser có cường độ mạnh \rightarrow làm cho biên độ mạnh hơn lên

Quang phi tuyến

- Cường độ mạnh:

$$\ddot{x}(t) + 2\gamma\dot{x}(t) + \omega_0^2 x(t) - (\xi^{(2)}x^2 + \xi^{(3)}x^3 + \dots) = \frac{e}{m}E(t)$$

- Khai triển của phân cực P có dạng

$$P = \varepsilon_0(\chi^{(1)}E + \chi^{(2)}E^2 + \chi^{(3)}E^3 + \dots)$$

→ hàm tuần hoàn bậc cao

$P \sim E \times n\omega \times$ có số hạng bậc cao

→ P có số hạng bậc
cao

Hiệu ứng từ $P^{(2)}$

- $P^{(2)} = \varepsilon_0\chi^{(2)}E^2$ cho những hiệu ứng căn bản của các hiện tượng trộn (sóng)
- Bao gồm việc tạo tổng và hiệu các tần số

$$P^{(2)} = 2\varepsilon_0\chi^{(2)}EE^* + (\varepsilon_0\chi^{(2)}E^2e^{-i2\omega t} + \text{c.c.})$$

Hiệu ứng từ $P^{(2)}$

$$P^{(2)} = 2\varepsilon_0\chi^{(2)}EE^* + (\varepsilon_0\chi^{(2)}E^2e^{-i2\omega t} + \text{c.c.})$$

- Hàm phân cực bậc 2 bao gồm thành phần I có tần số zero và thành phần II có tần số 2ω .
- II \rightarrow phát sinh phát xạ ở tần số điều hoà [hài hoà] bậc 2 (như ở hiện tượng đã quan sát).

$$\lambda_1 \rightarrow \omega$$

$$\lambda_2 \rightarrow 2\omega \Rightarrow \frac{\lambda_1}{2}$$

11

Hiệu ứng từ $P^{(2)}$

- Nếu laser đến bao gồm 2 tần số riêng biệt:

$$E(t) = E_1e^{-i\omega_1 t} + E_2e^{-i\omega_2 t} + \text{c.c.}$$

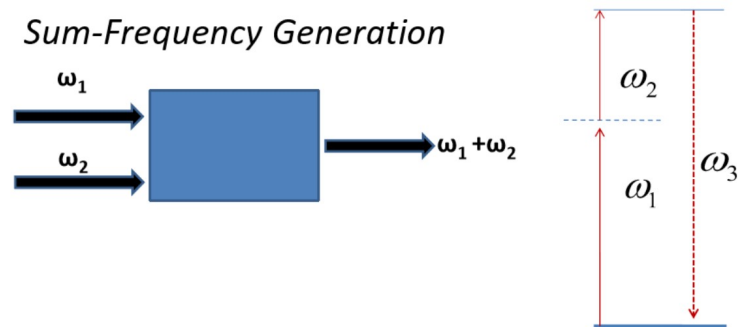
- Hàm phân cực phi tuyến bậc 2 có dạng

$$P^{(2)} = \varepsilon_0\chi^{(2)}[E_1^2e^{-i2\omega_1 t} + E_2^2e^{-i2\omega_2 t} + \underbrace{2E_1E_2e^{-i(\omega_1+\omega_2)t}}_{\text{trộn sóng}} + 2E_1E_2^*e^{-i(\omega_1-\omega_2)t} + \text{c.c.}] + 2\varepsilon_0\chi^{(2)}[E_1E_1^* + E_2E_2^*]$$

12

Hiệu ứng từ $P^{(2)}$

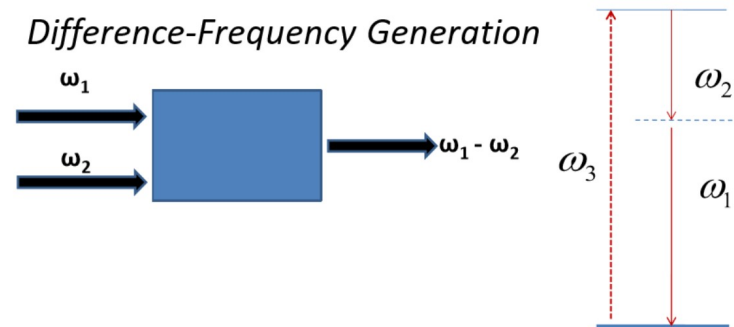
- *Sum-Frequency Generation*



13

Hiệu ứng từ $P^{(2)}$

- *Difference-Frequency Generation*



14