

BÀI GIẢNG VẬT LÝ ĐẠI CƯỜNG

Tác giả: PGS. TS Đỗ Ngọc Uẩn

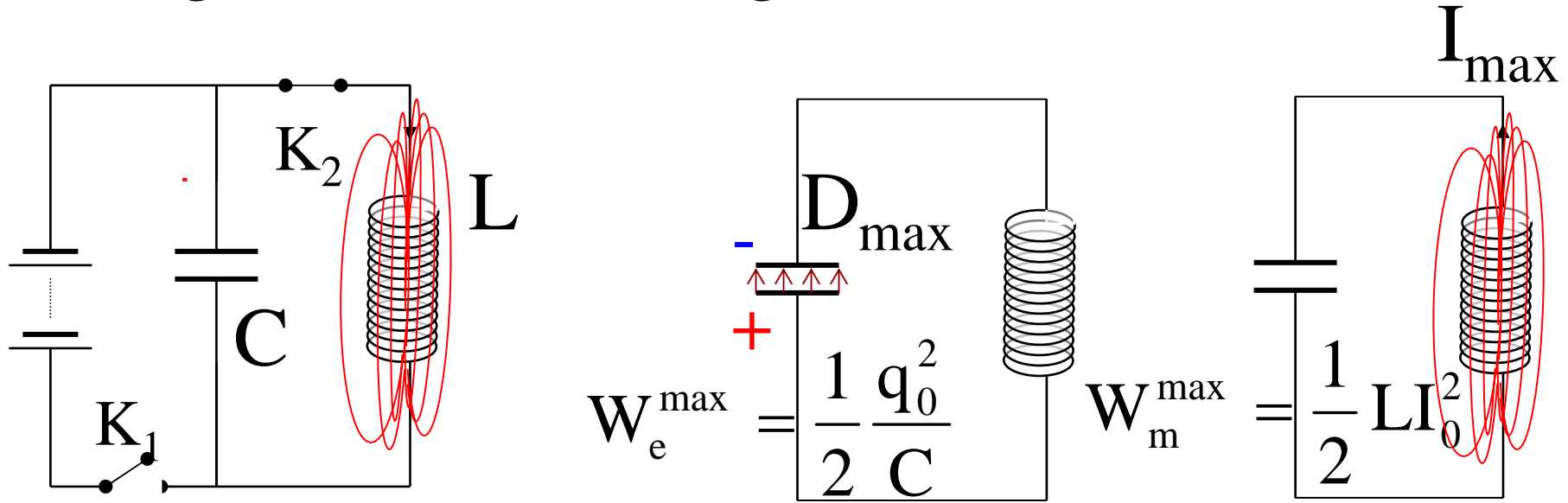
Viện Vật lý kỹ thuật

Trường ĐH Bách khoa Hà nội

DAO ĐỘNG & SÓNG ĐIỆN TỪ

(Chương 8, 10)

1. Dao động điện từ điều hoà: Biến đổi tuần hoàn giữa các đại lượng điện và từ



- Mạch **không có điện trở thuần**, không bị mất mát năng lượng

$$W_e + W_m = \text{const}$$

lượng

$$\frac{1}{2} \frac{q^2}{C} + \frac{1}{2} L I^2 = \text{const}$$

$$\frac{q}{C} \frac{dq}{dt} + L I \frac{dI}{dt} = 0$$

$$\frac{q}{C} + L \frac{dI}{dt} = 0 \quad \text{Lấy đạo hàm hai vế theo thời gian}$$

$$\frac{d^2 I}{dt^2} + \omega_0^2 I = 0$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$$

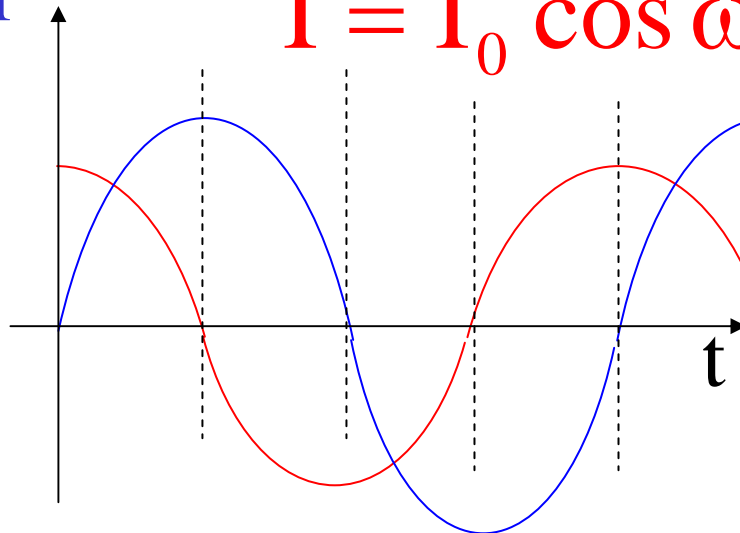
/ Dao động điện từ trong mạch LC là dao động điều hoà

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}$$

$$I = I_0 \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

I, q

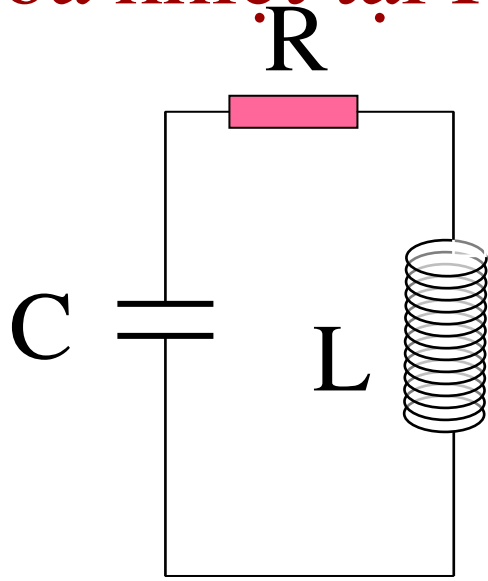
$$I = I_0 \cos \omega_0 t$$



$$q = q_0 \sin \omega_0 t$$

2. Dao động điện từ tắt dần

Toả nhiệt tại R



Biên độ dòng (điện tích) giảm dần \rightarrow tắt hẳn

6.1 f/t Dao động điện từ tắt dần

Toả nhiệt tại R, mất năng lượng trong dt:

$$-dW = RI^2 dt$$

$$\frac{q}{C} + L \frac{dI}{dt} = -RI$$

$$-d\left(\frac{1}{2} \frac{q^2}{C} + \frac{1}{2} LI^2\right) = RI^2 dt$$

$$\frac{d^2 I}{dt^2} + 2\beta \frac{dI}{dt} + \omega_0^2 I = 0$$

$$\frac{q}{C} \frac{dq}{dt} + LI \frac{dI}{dt} = -RI^2$$

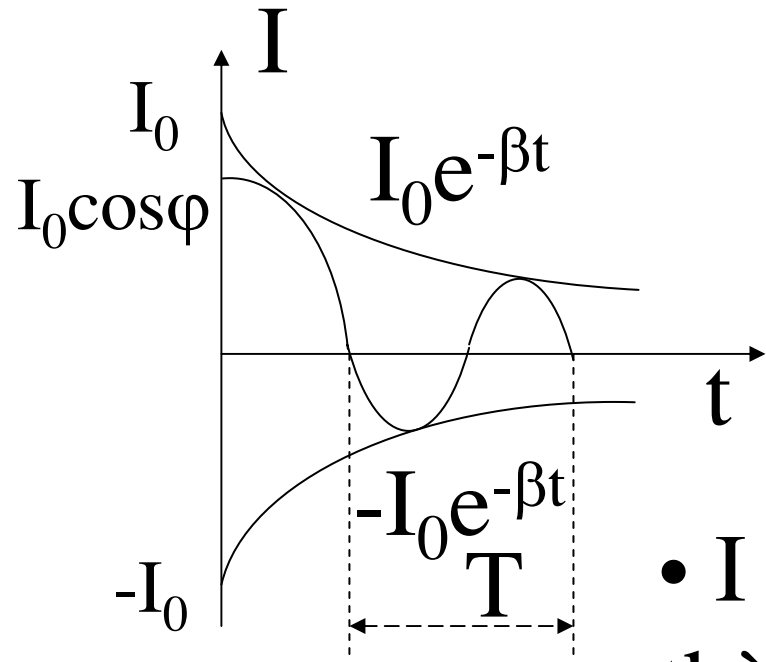
$$2\beta = \frac{R}{L} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Điều kiện để có dao động $\omega_0 > \beta$

$$I = I_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi)$$

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}$$



$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}}$$

• I giảm dần theo hàm mũ với thời gian

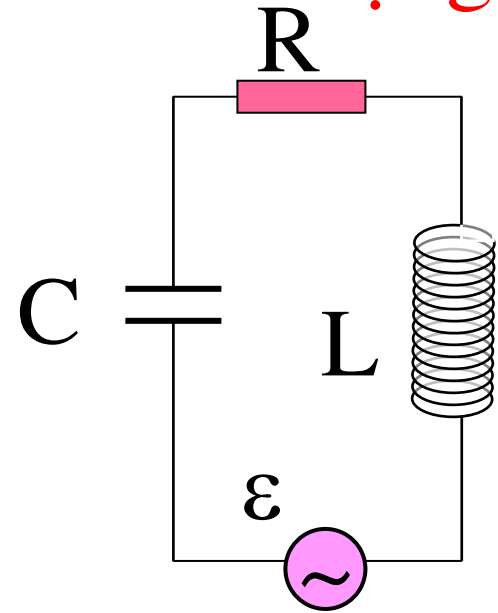
$$\frac{1}{LC} > \left(\frac{R}{2L}\right)^2 \quad R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$

• Điều kiện để có dao động $\omega_0 > \beta$

$$R_0 = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$

• Điện trở tới hạn

3. Dao động điện từ cưỡng bức: $\varepsilon = \varepsilon_0 \sin \Omega t$



Trong thời gian dt mất $RI^2 dt$,
cung cấp thêm $\varepsilon I dt$

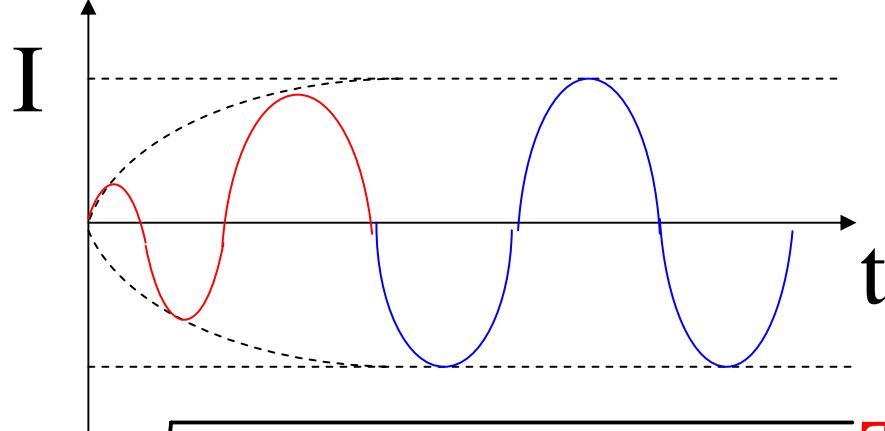
$$d\left(\frac{1}{2} \frac{q^2}{C} + \frac{1}{2} LI^2\right) + RI^2 dt = \varepsilon \cdot I \cdot dt$$

$$\frac{q}{C} \frac{dq}{dt} + LI \frac{dI}{dt} + RI^2 = I \varepsilon_0 \sin \Omega t$$

$$\frac{d^2 I}{dt^2} + 2\beta \frac{dI}{dt} + \omega_0^2 I = \frac{\varepsilon_0 \Omega}{L} \cos \Omega t$$

$I = I_{td} + I_{cb}$ sau một thời gian I_{td} tắt hẳn, chỉ còn I_{cb}

$$I = I_{cb} = I_0 \cos(\Omega t + \Phi)$$



$$I_0 = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{R^2 + \left(\Omega L - \frac{1}{\Omega C}\right)^2}}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\Omega L - \frac{1}{\Omega C}\right)^2} \quad \text{Tổng trở của mạch} \quad \text{tg}\Phi = \frac{\Omega L - \frac{1}{\Omega C}}{R}$$

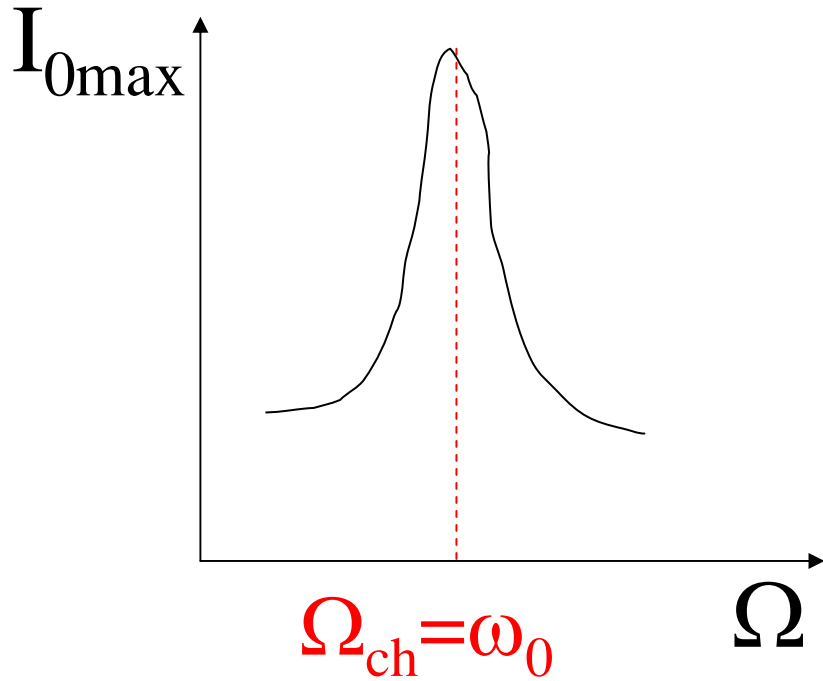
$$Z_L = \Omega L \quad \text{Cảm kháng} \quad Z_C = \frac{1}{\Omega C} \quad \text{Dung kháng}$$

Cộng hưởng I_0 đạt cực đại

$$\Omega L = \frac{1}{\Omega C} \rightarrow \Omega_{\text{ch}} = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0 \quad I_{0\text{max}} = \frac{\varepsilon_0}{R}$$

- Tần số cưỡng bức bằng tần số riêng của mạch \rightarrow Cộng hưởng

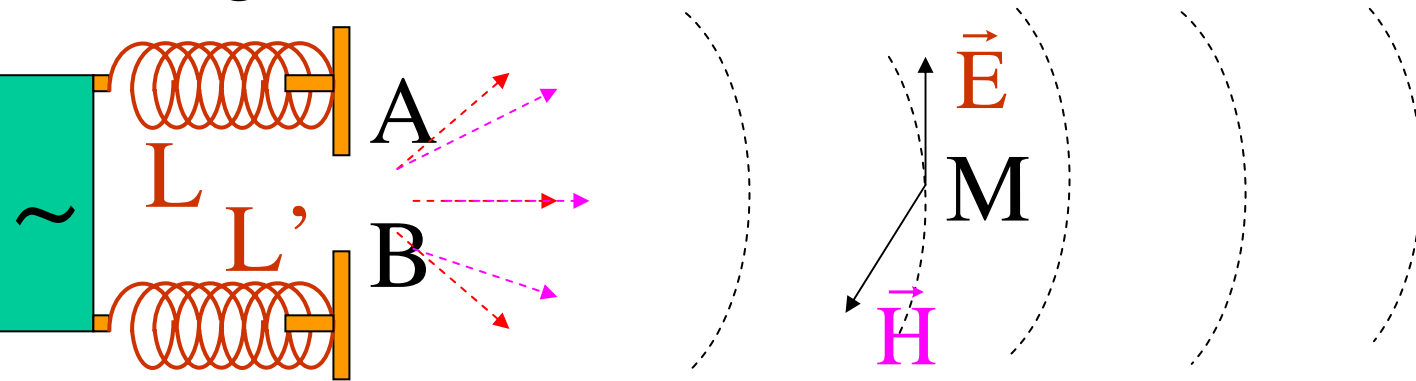
/ Ứng dụng: Hiệu suất cao nhất -> Bù pha



Chương 10: Sóng điện từ

1. Sự tạo thành sóng điện từ

Thí nghiệm của Héc:



. Sóng điện từ là trường điện từ biến thiên truyền đi trong không gian

2. Phương trình Maxwell của sóng điện từ

$$\vec{E} = \vec{E}(x, y, z, t) \quad \vec{H} = \vec{H}(x, y, z, t) \quad \rho = 0$$

$$\vec{D} = \vec{D}(x, y, z, t) \quad \vec{B} = \vec{B}(x, y, z, t) \quad \vec{J} = 0$$

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

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

$$\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E} \quad \text{div} \vec{D} = 0$$

$$\text{div} \vec{B} = 0 \quad \vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}$$

Phương trình sóng

$$\text{rot} \vec{E} = -\mu_0 \mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}$$

$$\frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = -\frac{1}{\mu_0 \mu} \text{rot} \vec{E}$$

$$\text{rot} \vec{H} = \epsilon_0 \epsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$\text{rot} \left(\frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \right) = \epsilon_0 \epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$-\frac{1}{\mu_0\mu} \operatorname{rot}(\operatorname{rot}\vec{E}) = \varepsilon_0\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$\operatorname{rot}(\operatorname{rot}\vec{E}) + \mu_0\mu\varepsilon_0\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$$

$$-\Delta\vec{E} + \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \quad \Delta\vec{E} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\mu\varepsilon_0\varepsilon}} \quad v = \frac{c}{\sqrt{\mu\varepsilon}}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$\operatorname{rot}(\operatorname{rot}\vec{E}) = \nabla \operatorname{div}\vec{E} - \nabla^2 \vec{E} = -\Delta\vec{E}$$

3. Những t/c của sóng điện từ:

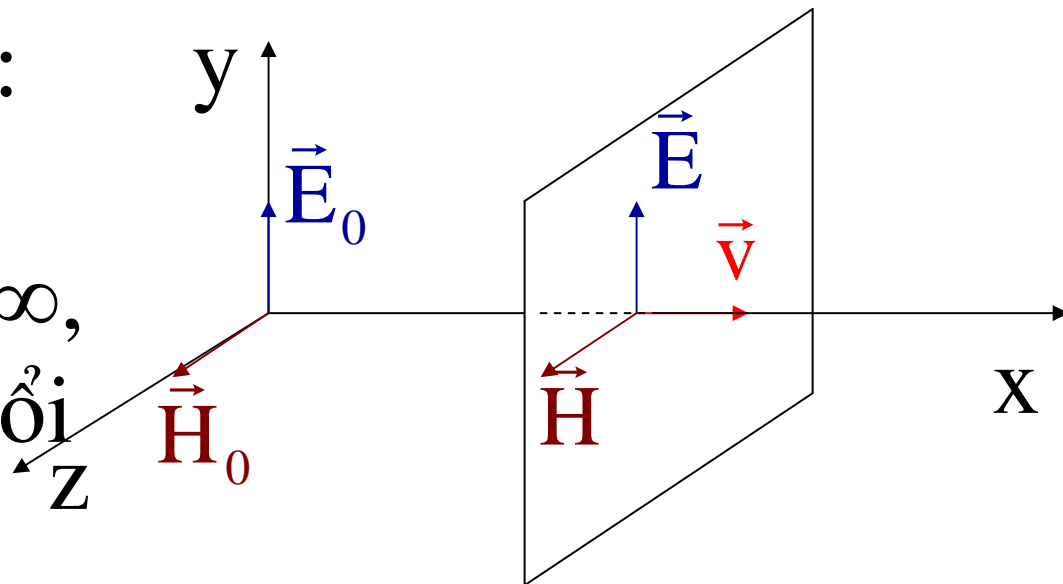
- Tồn tại cả trong chất, chân không
- Sóng ngang: E&H vuông góc với v
- Vận tốc trong môi trường chất

$$v = \frac{C}{\sqrt{\mu\varepsilon}}$$

- Vận tốc trong chân không

$$C = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

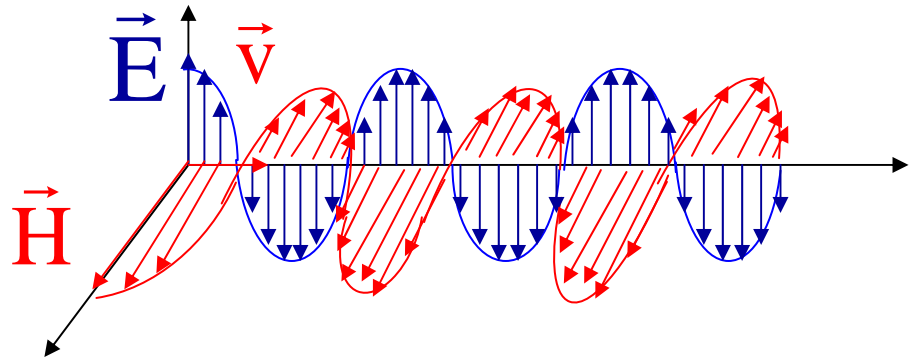
Sóng điện từ đơn sắc:
Mặt sóng là các mặt phẳng song song: từ ∞ , phương E,H không đổi



Hai véc tơ luôn vuông góc $\vec{E} \perp \vec{H}$

$\vec{E}, \vec{H}, \vec{v}$ theo thứ tự đó hợp thành tam diện
thuận 3 mặt vuông

\vec{E}, \vec{H} luôn dao động cùng pha và có tỷ lệ



$$\sqrt{\epsilon_0 \epsilon} |\vec{E}| = \sqrt{\mu_0 \mu} |\vec{H}|$$

$$E = E_m \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right)$$

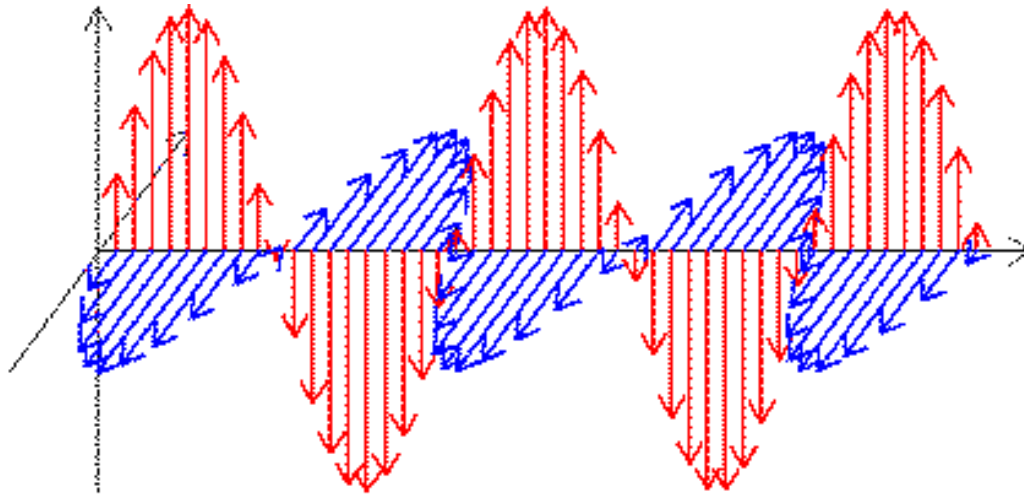
$$H = H_m \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right)$$

4. Năng lượng sóng điện

từ

$$\varpi = \frac{1}{2} \sqrt{\epsilon_0 \epsilon} E^2 + \frac{1}{2} \sqrt{\mu_0 \mu} H^2$$

Sóng điện từ lan truyền:



$$\varpi = \varepsilon_0 \varepsilon E^2 = \mu_0 \mu H^2 = \sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon} E \sqrt{\mu_0 \mu} H$$

- Năng thông của sóng điện từ

$$\Phi = \varpi v$$

$$\Phi = EH$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \mu \varepsilon_0 \varepsilon}}$$

- Véc tơ Umôp-Poynting $\vec{\Phi} = \vec{E} \times \vec{H}$

5. Thang sóng λ 10^{-12} 10^{-10} 10^{-8} 10^{-6} 10^{-4} 10^{-2} 10 10^2

cm

Tia Gamma

Tia rơnghen

Tia tử ngoại

ÁS nhìn thấy

Hồng ngoại

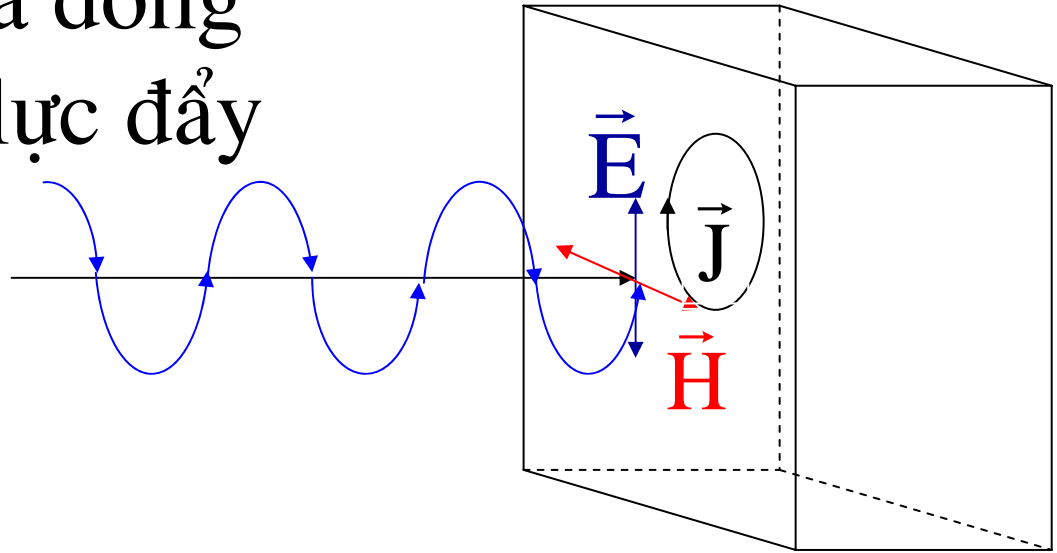
Sóng VLFĐ

6. Áp suất sóng điện từ

Trường điện từ gây ra dòng cảm ứng \vec{J} -> gây ra lực đẩy

áp suất $p=(1+k) \varpi$

$$\varpi \leq p \leq 2\varpi$$



AS mặt trời có năng thông $\Phi \sim 10^3 \text{W/m}^2$

$$\varpi = \Phi/c = 10^3/(3 \cdot 10^8) \text{J/m}^3$$

áp suất AS mặt trời tác dụng lên mặt vật dẫn phản xạ hoàn toàn $k=1$:

$$p=2 \cdot 10^3/(3 \cdot 10^8)=0,7 \cdot 10^{-5} \text{N/m}^2$$