

# VẬT LÝ ĐẠI CƯƠNG 2

TS. Phạm Thị Hải Miên  
Bộ môn Vật lý Ứng dụng  
Đại học Bách Khoa Tp.HCM

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Thị Bé Bảy: Vật lý đại cương A2 – Đại học Bách khoa Tp.HCM (Giáo trình nội bộ), 2009.
- [2] Trần Văn Lượng: Bài tập Vật lý đại cương A2 – Đại học Bách khoa Tp.HCM (Giáo trình nội bộ), 2013.

# NỘI DUNG MÔN HỌC

1. Trường điện từ.
2. Dao động – sóng.
3. Tính chất sóng ánh sáng.
4. Thuyết tương đối hẹp.
5. Quang lượng tử.
6. Cơ học lượng tử.
7. Vật lý nguyên tử.
8. Vật lý hạt nhân.

# **CHƯƠNG 1**

## **TRƯỜNG ĐIỆN TỪ**

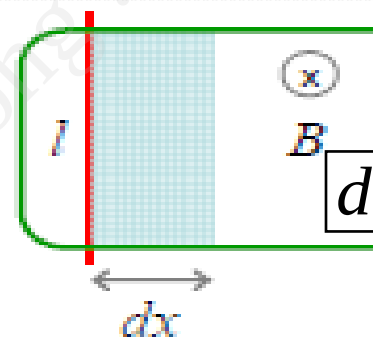
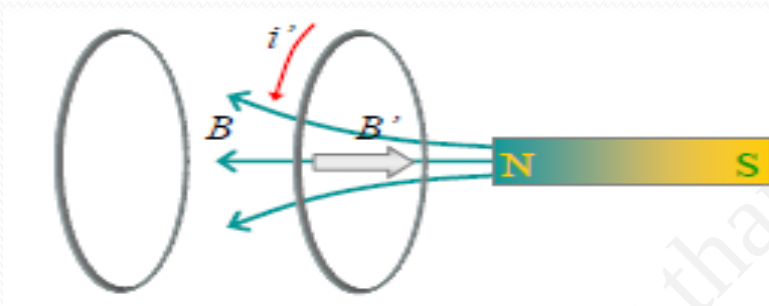
- 1. Nhắc lại về cảm ứng điện từ.**
- 2. Luận điểm Maxwell thứ nhất. Điện trường xoáy.**
- 3. Luận điểm Maxwell thứ hai. Dòng điện dịch.**
- 4. Trường điện từ và hệ phương trình Maxwell.**

# 1. NHẮC LẠI VỀ CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ

# ĐỊNH LUẬT FARADAY

- Từ thông gửi qua một diện tích  $S$ :  $\Phi = \int_S \vec{B} d\vec{S}$

→ Từ thông thay đổi có thể do  $\vec{B}$  hoặc  $S$  thay đổi.



$$d\Phi = B dS = B l dx$$

- Khi từ thông qua một mạch kín thay đổi thì trong mạch xuất hiện một sức điện động cảm ứng:

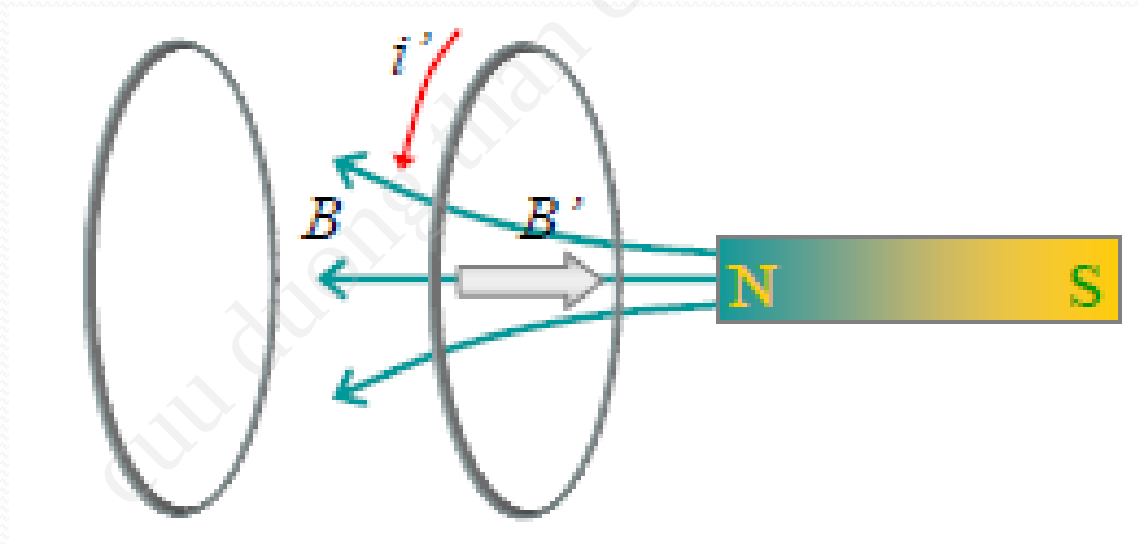
$$\mathcal{E}_C = - \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

- Sức điện động cảm ứng  $\mathcal{E}$  gây ra một dòng điện cảm ứng chạy trong mạch kín:

$$i_C = \frac{\mathcal{E}_C}{R} = - \frac{d\Phi}{R dt}$$

# ĐỊNH LUẬT LENZ

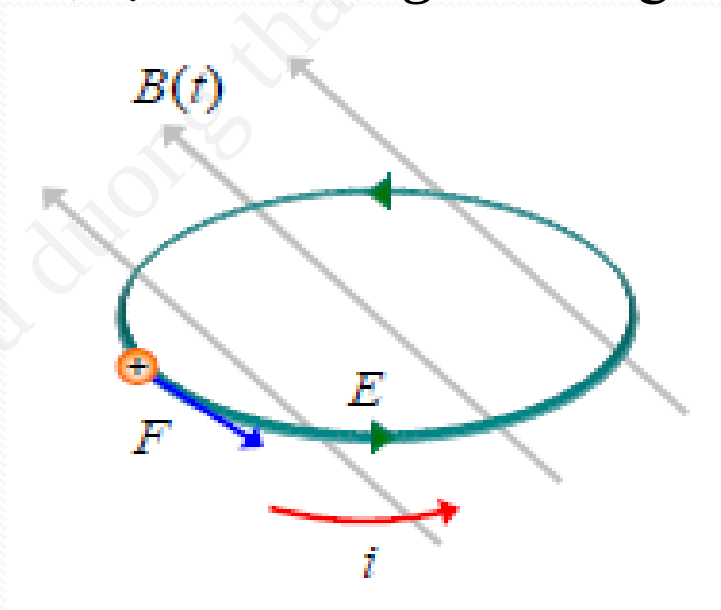
Dòng điện cảm ứng có chiều sao cho từ trường do nó tạo ra (từ trường cảm ứng) có xu hướng chống lại sự biến đổi từ thông.



## **2. LUẬN ĐIỂM MAXWELL THỨ NHẤT. ĐIỆN TRƯỜNG XOÁY.**

**Luận điểm Maxwell I:** Mọi từ trường biến thiên theo thời gian đều làm xuất hiện một điện trường xoáy.

- Điện trường xoáy là điện trường biến thiên theo thời gian (không phải là điện trường tĩnh) và có các đường sức khép kín.
- Điện trường xoáy làm các điện tích trong khung dây chuyển động thành dòng kín, tạo nên dòng cảm ứng.



# PHƯƠNG TRÌNH MAXWELL – FARADAY

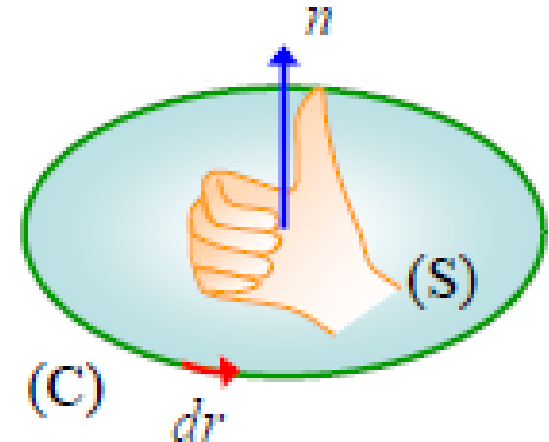
- Từ thông qua mạch kín S biến thiên sinh ra sức điện động cảm ứng:

$$\mathcal{E}_C = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad (1)$$

- Sức điện động cảm ứng trong mạch kín sinh ra điện trường xoáy:

$$\mathcal{E}_C = \oint_{(C)} \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (2)$$

$$(1) \ \& \ (2) \rightarrow \oint_{(C)} \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad (3)$$



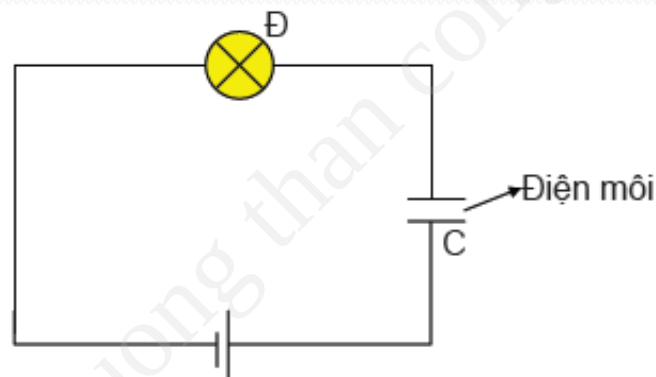
- Vì chỉ từ trường biến thiên theo thời gian mới sinh ra điện trường xoáy nên có thể thay  $d/dt$  ở (3) bằng đạo hàm riêng phần theo  $t$ :

$$\oint_{(C)} \vec{E} d\vec{l} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S} \quad \text{-- PT Maxwell-Faraday}$$

### **3. LUẬN ĐIỂM MAXWELL THỨ HAI. DÒNG ĐIỆN DỊCH.**

**Thí nghiệm:** Xét một mạch điện gồm nguồn điện mắc nối tiếp với một tụ điện và một bóng đèn.

- Nếu là nguồn điện một chiều thì đèn không sáng.
- Nếu là nguồn điện xoay chiều thì đèn sáng. Điều đó chứng tỏ mạch điện đã được khép kín.



**Mạch điện được khép kín như thế nào?**

- Dòng điện xoay chiều làm điện tích ở trên hai bản tụ biến thiên.
- Xuất hiện điện trường biến thiên theo thời gian giữa hai bản tụ.
- Điện trường biến thiên làm xuất hiện dòng điện dịch giữa hai bản tụ.

# BIỂU THỨC DÒNG ĐIỆN DỊCH

- Mật độ dòng điện dịch:  $\vec{j}_{dich} = \frac{d\vec{D}}{dt} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ , trong đó  $\vec{D}$  là vectơ cảm ứng điện của điện trường biến thiên trong chất điện môi giữa hai bản tụ điện.
- Ta có:  $\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}_e$ , trong đó  $\vec{P}_e$  là momen lưỡng cực điện của phân tử điện môi.

$$\rightarrow \vec{j}_{dich} = \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \frac{\partial \vec{P}_e}{\partial t}$$

Số hạng  $\frac{\partial \vec{P}_e}{\partial t}$  biểu thị mật độ dòng điện dịch gây ra bởi sự dịch chuyển và quay định hướng của các lưỡng cực điện trong chất điện môi dưới tác dụng của điện trường biến thiên.

- Trong chân không ( $\vec{P}_e = 0, \epsilon = 1$ ):  $\vec{j}_{dich} = \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$

## ĐẶC ĐIỂM DÒNG ĐIỆN DỊCH

- Không gây hiệu ứng Joule-Lenx.
- Không chịu tác dụng của từ trường ngoài.
- Gây ra từ trường.
- Không phải là dòng chuyển động có hướng của các hạt mang điện.
- Mật độ dòng điện dịch tỉ lệ thuận với tốc độ biến thiên của điện trường.
- Dòng điện dịch giữa hai bản tụ luôn cùng chiều với dòng điện dẫn ở trong dây dẫn.

# DÒNG ĐIỆN TOÀN PHẦN

- Dòng điện xoay chiều chạy trong dây dẫn làm xuất hiện điện trường biến thiên. Do đó, trong dây dẫn có cả dòng điện dẫn và dòng điện dịch, gọi là dòng điện toàn phần:

$$\vec{j}_{\text{toàn phần}} = \vec{j}_{\text{dẫn}} + \vec{j}_{\text{dịch}} = \sigma \vec{E} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

- Trong môi trường dẫn điện tốt (ví dụ kim loại), tần số biến thiên của điện trường nhỏ thì  $|\vec{j}_{\text{dịch}}| \ll |\vec{j}_{\text{dẫn}}|$
- Trong môi trường dẫn điện kém (điện môi), tần số biến thiên của điện trường lớn thì  $|\vec{j}_{\text{dẫn}}| \ll |\vec{j}_{\text{dịch}}|$
- Cường độ dòng điện toàn phần:

$$I_{\text{toàn phần}} = \int_S \vec{j}_{\text{toàn phần}} \cdot d\vec{S} = \int_S \left( \vec{j}_{\text{dẫn}} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S}$$

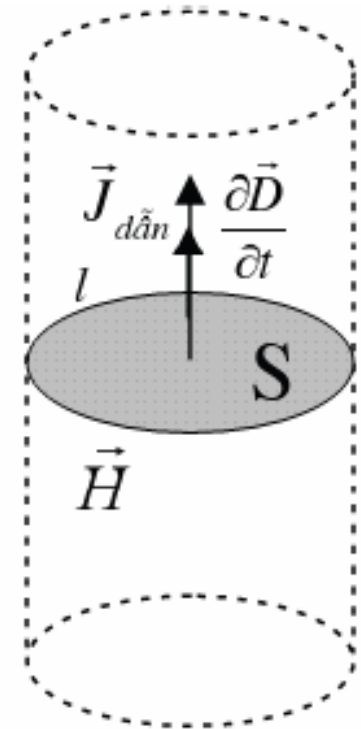
**Luận điểm Maxwell II:** Mọi điện trường biến thiên theo thời gian đều làm xuất hiện một từ trường biến thiên theo thời gian.

### Phương trình Maxwell – Ampere:

Áp dụng định lý Ampere về dòng điện toàn phần:

$$\oint_l \vec{H} \cdot d\vec{l} = I_{\text{toàn phần}}$$

$$\oint_l \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \left( \vec{j}_{\text{dẫn}} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S}$$



## BÀI TẬP VÍ DỤ 1

Một tụ điện phẳng có khoảng cách giữa hai bản là 5 mm, hằng số điện môi  $\epsilon=2$ . Tụ được mắc vào một hiệu điện thế  $u=220\sin 100\pi t$  (V). Tìm biểu thức mật độ dòng điện dịch.

### Hướng dẫn giải

Ta có: 
$$\vec{j}_d = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \epsilon_0 \epsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

Mặt khác: 
$$E = \frac{u}{d}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow j_d &= \frac{\epsilon_0 \epsilon}{d} \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\epsilon_0 \epsilon}{d} 220 \cdot 100\pi \cdot \cos 100\pi t \\ &= 2,4 \cdot 10^{-4} \cos 100\pi t \text{ (A/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

## BÀI TẬP VÍ DỤ 2

Khi phóng dòng điện cao tần vào một thanh natri có điện dẫn suất  $\sigma = 0,23 \cdot 10^8 \Omega^{-1} m^{-1}$  dòng điện dẫn cực đại lớn gấp 40 triệu lần giá trị cực đại của dòng điện dịch. Tìm chu kì biến đổi của dòng điện.

### Hướng dẫn giải

Giả sử dòng điện cao tần có điện trường biến thiên:  $E = E_0 \cos \omega t$

Suy ra: 
$$|\vec{j}_d| = \varepsilon_0 \varepsilon \left| \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right| = \varepsilon_0 \varepsilon |E_0 \omega \sin \omega t|$$

Mặt khác dòng điện dẫn  $|\vec{j}| = \sigma |\vec{E}| = \sigma |E_0 \cos \omega t|$

Do đó: 
$$\frac{|\vec{j}|_{\max}}{|\vec{j}_d|_{\max}} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon \omega} = 40 \cdot 10^6 \rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\frac{\sigma}{40 \cdot 10^6 \varepsilon_0 \varepsilon}} \approx 10^{-10} \text{ s}$$

## **4. TRƯỜNG ĐIỆN TỪ VÀ HỆ PHƯƠNG TRÌNH MAXWELL.**

Theo hai luận điểm của Maxwell, từ trường biến thiên làm xuất hiện điện trường biến thiên và ngược lại  $\rightarrow$  Từ trường biến thiên và điện trường biến thiên không tách biệt nhau mà thống nhất lại thành trường điện từ.

### **Trường điện từ:**

- Là một dạng đặc biệt của vật chất.
- Mang năng lượng, có khối lượng và động lượng.

**Mật độ năng lượng của trường điện từ:**  $w = \frac{1}{2}(\vec{E}\vec{D} + \vec{B}\vec{H})$

**Năng lượng của trường điện từ:**  $W = \int_V w \cdot dv = \int_V \frac{\vec{E}\vec{D} + \vec{B}\vec{H}}{2} dV$

# HỆ PHƯƠNG TRÌNH MAXWELL DƯỚI DẠNG TÍCH PHÂN

| Phương trình                                                                                                                | Ý nghĩa vật lý                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| $\oint_{(C)} \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$                          | Từ trường biến thiên làm xuất hiện điện trường xoáy                                     |
| $\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$                                                                                        | Từ thông có tính bảo toàn (đường sức từ khép kín)                                       |
| $\oint_l \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \left( \vec{j}_{dẫn} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S}$ | Điện trường biến thiên làm xuất hiện từ trường biến thiên                               |
| $\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \sum q = \int_V \rho \cdot dV$                                                            | Thông lượng cảm ứng điện gửi qua mặt kín S bằng tổng đại số các điện tích trong mặt đó. |

# HỆ PHƯƠNG TRÌNH MAXWELL DƯỚI DẠNG VI PHÂN

| Phương trình                                                      | Ý nghĩa vật lý                              |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| $rot\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}$                | Điện trường biến thiên có tính chất xoáy    |
| $div\vec{B} = 0$                                                  | Từ trường không có nguồn, không có từ tích. |
| $rot\vec{H} = \vec{j}_{dẫn} + \frac{\partial\vec{D}}{\partial t}$ | Từ trường có tính chất xoáy                 |
| $div\vec{D} = \rho$                                               | Điện trường có nguồn (điện tích)            |

# SÓNG ĐIỆN TỪ

- $\vec{E}$  và  $\vec{B}$  vuông góc với nhau và vuông góc với phương truyền.
- $\vec{E}$  và  $\vec{B}$  dao động cùng pha, cùng tần số.

$$\sqrt{\epsilon_0 \epsilon} |\vec{E}| = \sqrt{\mu_0 \mu} |\vec{H}| \Leftrightarrow \frac{|\vec{E}|}{|\vec{B}|} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \epsilon_0 \mu \mu_0}}$$

- Bước sóng:  $\lambda' = vT = \frac{v}{f} = \frac{\lambda}{n} \rightarrow \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$

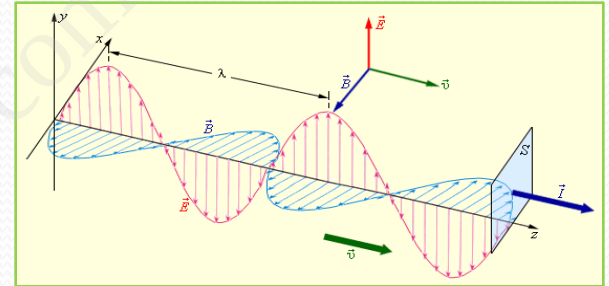
- Tốc độ truyền sóng điện từ:  $v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \epsilon_0 \mu \mu_0}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \mu}} = \frac{c}{n}$

Trong đó:  $c = 3.10^8$  m/s – vận tốc sóng điện từ trong chân không.

$\lambda = cT = c/f$  – bước sóng điện từ trong chân không.

$\lambda'$  – bước sóng điện từ trong môi trường chiết suất  $n$ .

$T$  và  $f$  – chu kỳ và tần số của sóng điện từ



- Bước sóng, vận tốc truyền sóng thay đổi theo chiết suất môi trường. Còn tần số, chu kỳ không phụ thuộc chiết suất môi trường truyền sóng.

Khi sóng điện từ lan truyền trong không gian, năng lượng sóng cũng truyền đi theo sóng. Vectơ Umov-Poynting  $\vec{P}$  biểu diễn năng lượng sóng điện từ truyền qua một đơn vị diện tích đặt vuông góc với phương truyền sóng trong một đơn vị thời gian:

$$\vec{P} = w \cdot \vec{v}$$

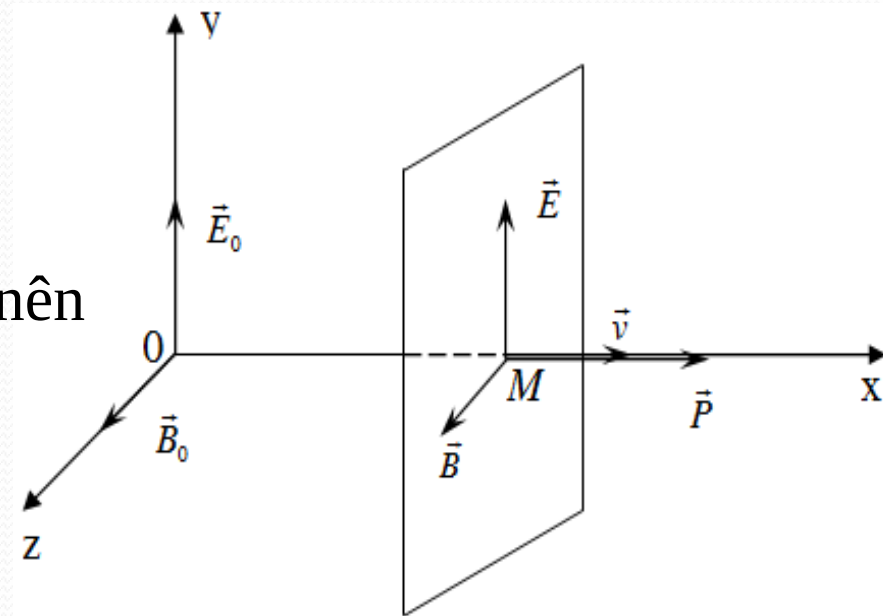
Trong đó:  $w = \frac{1}{2}(\vec{E}\vec{D} + \vec{B}\vec{H}) = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} + \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} = \sqrt{\epsilon_0 \epsilon \mu_0 \mu} \cdot EH$

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \epsilon_0 \mu \mu_0}}$$

Suy ra:  $P = E \cdot H$

Vì  $\vec{E}, \vec{H}, \vec{v}$  lập thành tam diện thuận nên

$$\vec{P} = [\vec{E}, \vec{H}]$$



### BÀI TẬP VÍ DỤ 3

Vecto cường độ điện trường của một trường điện từ có dạng:

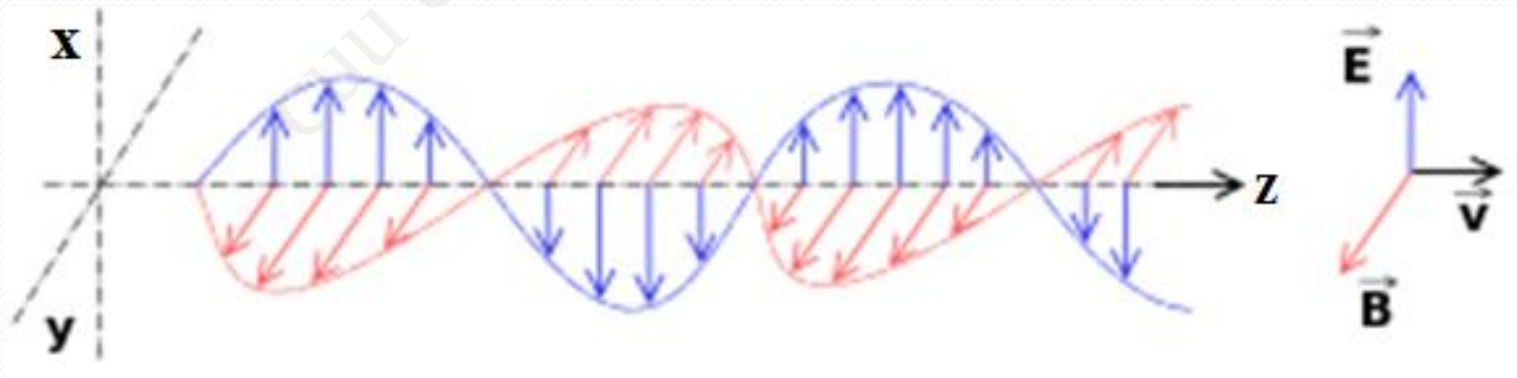
$$\vec{E}(z,t) = 15 \cos(6\pi t - 4\pi z \cdot 10^{-8}) \vec{e}_x$$

Tìm biểu thức của vecto cường độ từ trường của trường điện từ trên.

#### Hướng dẫn giải

Biểu thức  $\vec{E}$  cho ta biết trường điện từ truyền theo trục Oz, điện trường dao động theo phương Ox. Do đó từ trường sẽ dao động theo phương Oy và biểu thức cường độ từ trường sẽ có dạng:

$$\vec{H}(z,t) = H_0 \cos(6\pi t - 4\pi z \cdot 10^{-8}) \vec{e}_y$$



**CÁCH 1: Sử dụng PT**

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

**để tìm H.**

$$rot\vec{E} = \begin{vmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_x & 0 & 0 \end{vmatrix} = \frac{\partial E_x}{\partial z} \vec{e}_y = 4\pi \cdot 10^{-8} \cdot 15 \sin(6\pi t - 4\pi z \cdot 10^{-8}) \vec{e}_y$$

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

$$\vec{B} = -\int rot\vec{E} \cdot dt = -\int 4\pi \cdot 10^{-8} \cdot 15 \sin(6\pi t - 4\pi z \cdot 10^{-8}) \vec{e}_y \cdot dt$$

$$= 4\pi \cdot 10^{-8} \cdot 15 \frac{1}{6\pi} \cos(6\pi t - 4\pi z \cdot 10^{-8}) \vec{e}_y$$

$$\boxed{\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0 \mu} = \frac{10^{-7}}{\mu_0 \mu} \cos(6\pi t - 4\pi z \cdot 10^{-8}) \vec{e}_y}$$

**CÁCH 2: Sử dụng biểu thức**

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

Suy ra: 
$$\sqrt{\epsilon\epsilon_0} |\vec{E}| = \frac{|\vec{B}|}{\sqrt{\mu\mu_0}} \rightarrow \frac{|\vec{E}|}{|\vec{B}|} = \frac{E_0}{B_0} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\epsilon_0\mu\mu_0}} = v$$

Cường độ điện trường có thể được biểu diễn dưới dạng:

$$\vec{E}(z,t) = 15 \cos(6\pi t - 4\pi z \cdot 10^{-8}) \vec{e}_x = E_0 \cos(\omega t - kz) \vec{e}_x$$

Với  $k = \frac{\omega}{v}$  gọi là số sóng. Ở bài này  $k = 4\pi \cdot 10^{-8} (m^{-1})$

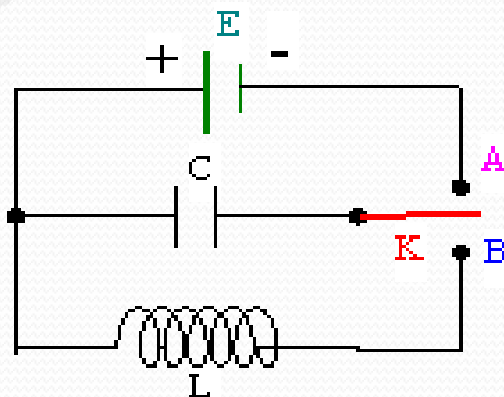
Do đó: 
$$\frac{E_0}{B_0} = v = \frac{\omega}{k} = \frac{6\pi}{4\pi \cdot 10^{-8}} = 15 \cdot 10^7$$

$$\rightarrow B_0 = \frac{E_0}{15 \cdot 10^7} = 10^{-7} \rightarrow \vec{B} = 10^{-7} \cos(6\pi t - 4\pi z \cdot 10^{-8}) \vec{e}_y$$

$$\boxed{H = \frac{B}{\mu\mu_0} = \frac{10^{-7}}{\mu_0\mu} \cos(6\pi t - 4\pi z \cdot 10^{-8}) \vec{e}_y}$$

# MẠCH DAO ĐỘNG ĐIỆN TỪ LC LÝ TƯỞNG

- Mạch dao động điện từ LC lý tưởng gồm một cuộn cảm thuần L mắc với tụ điện C thành mạch kín và điện trở của các dây nối là không đáng kể.
- Hoạt động của mạch dao động điện từ LC:
  - Khóa K ở vị trí A: Tụ điện C được nạp điện.
  - Khóa K ở vị trí B: Tụ điện C phóng điện qua cuộn cảm L
    - Trong cuộn cảm L có một suất điện động tự cảm.
    - Điện tích của tụ điện giảm dần, độ lớn của dòng điện tăng dần.
    - Trong mạch có một dòng điện xoay chiều.
    - Phát ra sóng điện từ có bước sóng  $\lambda = 2\pi c\sqrt{LC}$



## BÀI TẬP VÍ DỤ 4

Mạch dao động của máy thu sóng vô tuyến có tụ điện với điện dung  $C$  và cuộn cảm với độ tự cảm  $L$ , thu được sóng điện từ có bước sóng 20 m. Để thu được sóng điện từ có bước sóng 40 m, ta phải mắc song song với tụ điện của mạch dao động trên một tụ điện có điện dung  $C'$  bằng bao nhiêu?

### Hướng dẫn giải

Ta có:  $\lambda_1 = 2\pi c\sqrt{LC_1}, \lambda_2 = 2\pi c\sqrt{LC_2}$

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{\sqrt{C_2}}{\sqrt{C_1}} = 2 \rightarrow \frac{C_2}{C_1} = 4$$

$$\rightarrow \frac{C + C'}{C} = 4 \rightarrow C' = 3C$$