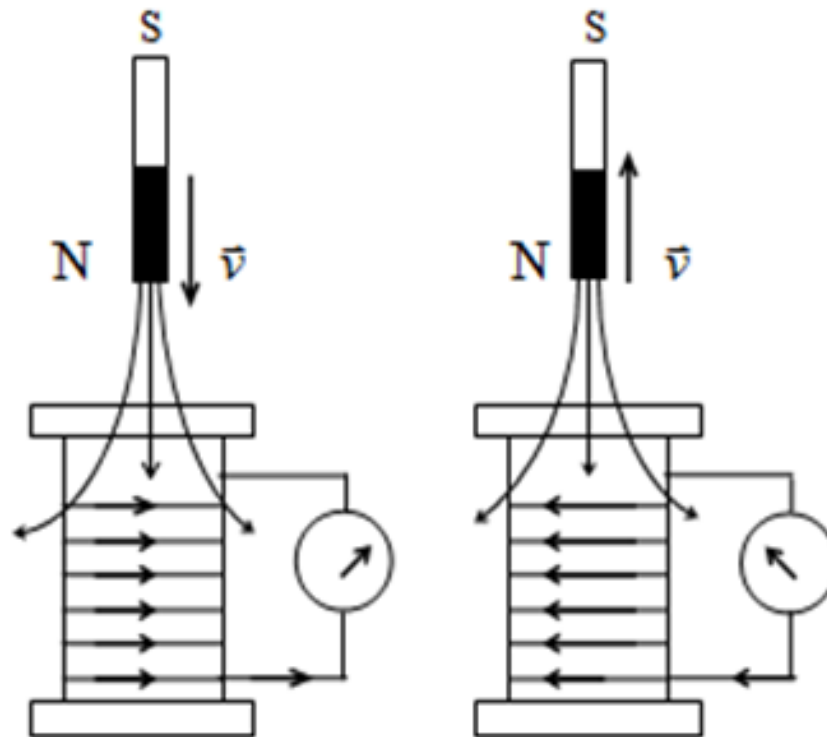


## Chương 4. TRƯỜNG ĐIỆN TỪ VÀ SÓNG ĐIỆN TỪ

# §1 Hiện tượng cảm ứng điện từ

## 1. Hiện tượng cảm ứng điện từ

\* *Thí nghiệm Faraday:*



# §1 Hiện tượng cảm ứng điện từ

⇒ **Kết luận :**

- a. Sự biến đổi của từ thông qua mạch kín là nguyên nhân sinh ra dòng điện cảm ứng trong mạch đó.
- b. Cường độ  $I_c$  tỷ lệ với tốc độ biến đổi của từ thông.
- c. Chiều của  $I_c$  phụ thuộc vào từ thông gửi qua mạch tăng hay giảm.



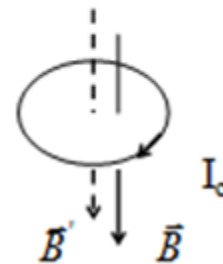
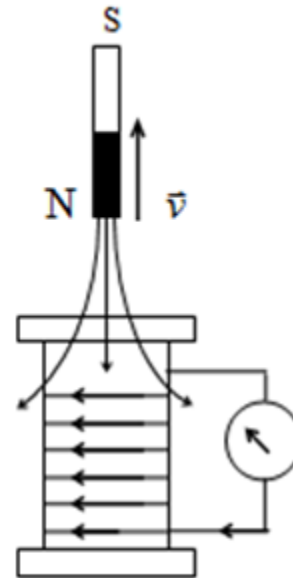
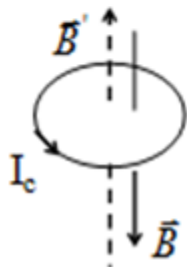
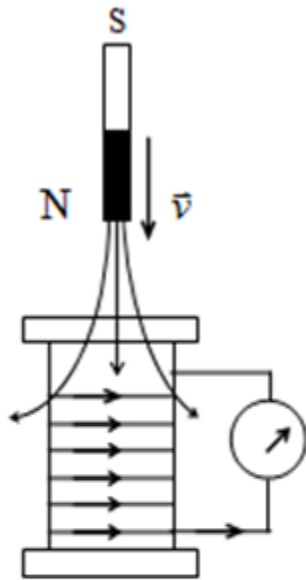
Michael Faraday (1791- 1867)

Michael Faraday là một nhà hóa học và vật lý học người Anh đã có công đóng góp cho lĩnh vực Điện từ học và Điện hóa học. Faraday nghiên cứu về trường điện từ xung quanh một dây dẫn có dòng điện một chiều chạy qua và tìm ra dòng điện cảm ứng năm 1831.

# §1 Hiện tượng cảm ứng điện từ

## 2. Định luật Lentz

Dòng điện cảm ứng có chiều sao cho từ trường do nó gây ra có tác dụng chống lại nguyên nhân đã gây ra nó.

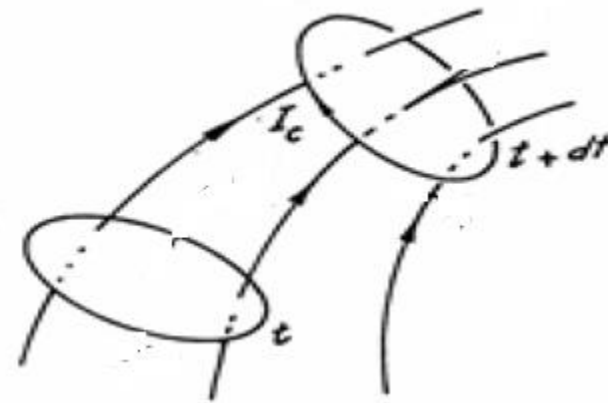


# §1 Hiện tượng cảm ứng điện từ

## 3. Định luật Faraday về hiện tượng cảm ứng điện từ

Giả sử tồn công  $dA'$  dịch chuyển vòng dây dẫn kín (C) trong từ trường.

Trong thời gian  $dt$  từ thông qua vòng dây thay đổi  $d\phi_m$ , trong (C) xuất hiện dòng điện  $I_c$ .



Công của từ lực tác dụng lên dòng điện cảm ứng trong quá trình :

$$dA = I_c d\phi_m, \text{ theo định luật Lentz } dA' = -dA = -I_c d\phi_m$$

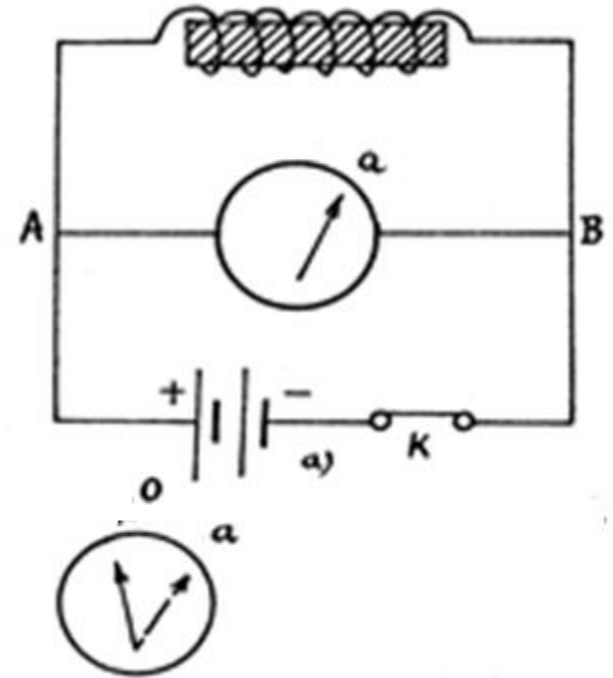
công  $dA'$  chuyển thành năng lượng của dòng điện cảm ứng  $\xi_c I_c dt$ , trong đó  $\xi_c$  là suất điện động cảm ứng, nên ta có:  $\xi_c I_c dt = -I_c d\phi_m$

$$\xi_c = -\frac{d\phi_m}{dt}$$

## §2. Hiện tượng tự cảm

### 1. Hiện tượng

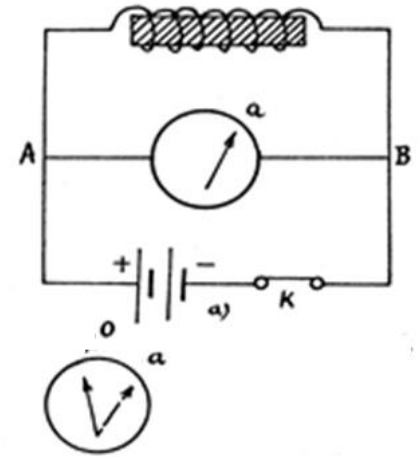
- Giả sử ban đầu mạch điện đã đóng kín, kim của điện kế nằm ở một vị trí "a" nào đó.
- Nếu bắt đầu ngắt K, kim điện kế lệch về quá "0" rồi mới quay trở lại "0" .
- Nếu bắt đầu đóng K, kim điện kế vượt lên quá vị trí "a", rồi mới quay trở lại vị trí "a" .



## §2. Hiện tượng tự cảm

### Giải thích

- Khi ngắt mạch, dòng điện do nguồn cung cấp giảm ngay về không, làm giảm từ thông qua cuộn dây. Kết quả là trong cuộn dây xuất hiện một dòng điện cảm ứng cùng chiều với dòng điện ban đầu, dòng điện cảm ứng chạy qua điện kế theo chiều từ B sang A. Do đó kim điện kế quay quá giá trị số không, sau đó kim điện kế mới về số không.



- Khi K đóng mạch, dòng điện qua điện kế và cuộn dây đều tăng lên từ giá trị không, làm cho từ thông qua ống dây tăng và do đó gây ra trong ống dây một dòng điện cảm ứng ngược chiều với nó. Một phần của dòng điện cảm ứng này rẽ qua điện kế theo chiều từ A sang B, do đó làm cho kim điện kế vượt quá vị trí a sau đó trở về vị trí a.



## §2. Hiện tượng tự cảm

### 2. Suất điện động tự cảm. Hệ số tự cảm

$$\xi_{tc} = - \frac{d\phi_m}{dt}$$

$\Phi_m = Li$ ,  $L$  gọi là hệ số tự cảm

$$L = \frac{\phi_m}{i}$$

$$\xi_{tc} = - \frac{d\phi_m}{dt} = -L \frac{di}{dt}$$

## §2. Hiện tượng tự cảm

### Hệ số tự cảm của ống dây điện thẳng dài vô hạn:

Cảm ứng từ tại mọi điểm bên trong ống dây có:

$$B = \mu_0 \mu n_0 i = \mu_0 \mu \frac{n}{l} i$$

Từ thông gửi qua ống dây:

$$\phi_m = nBS = \mu_0 \mu \frac{n^2 S}{l} i$$

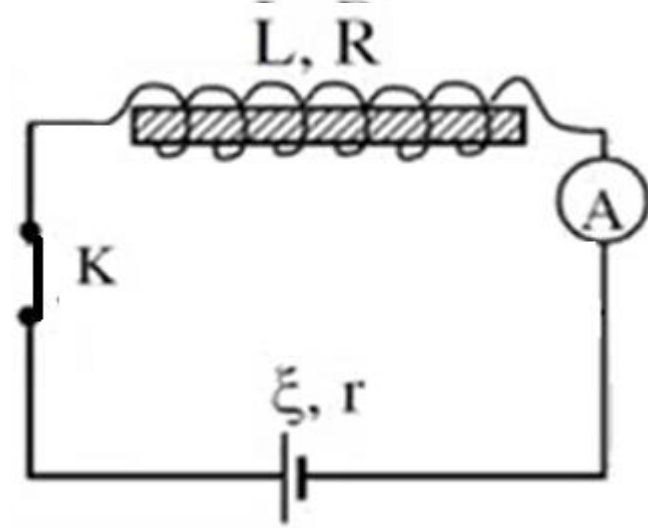
Hệ số tự cảm của ống dây:

$$L = \frac{\phi_m}{i} = \mu_0 \mu \frac{n^2 S}{l}$$

### §3. Năng lượng từ trường

#### 1. Năng lượng từ trường của ống dây điện

Khi khoá K đang đóng toàn bộ năng lượng do nguồn cung cấp đều biến thành nhiệt.

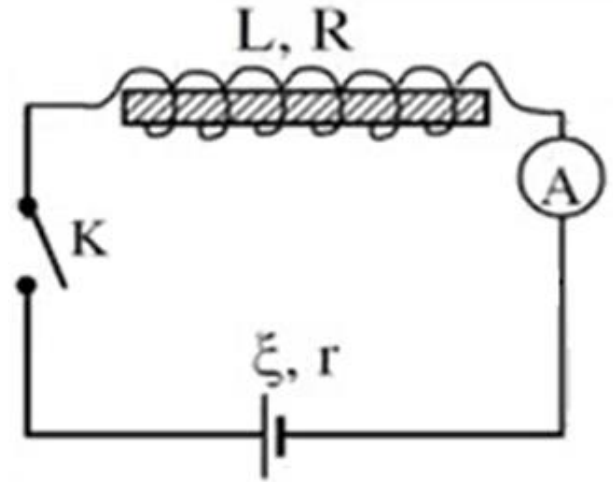


- Khi bắt đầu đóng mạch, trong mạch xuất hiện  $i_{tc}$  ngược chiều với dòng điện do nguồn sinh ra

kết quả chỉ một phần năng lượng do nguồn cung cấp biến thành nhiệt.

### §3. Năng lượng từ trường

-Khi K bắt đầu ngắt trong mạch xuất hiện  $i_{tc}$  cùng chiều với dòng điện do nguồn sinh ra,



→ nhiệt toả ra trong mạch lúc này lớn hơn năng lượng do nguồn cung cấp.

⇒ Vậy khi đóng mạch một phần năng lượng do nguồn cung cấp tiềm tàng dưới dạng năng lượng từ trường trong ống dây để khi ngắt mạch nó biến thành nhiệt toả ra trên điện trở.

### §3. Năng lượng từ trường

\* Biểu thức năng lượng từ trường trong ống dây thẳng dài vô hạn:

Xét trong thời gian  $dt$  khi dòng điện trong mạch đang tăng

Áp dụng định luật Ohm:

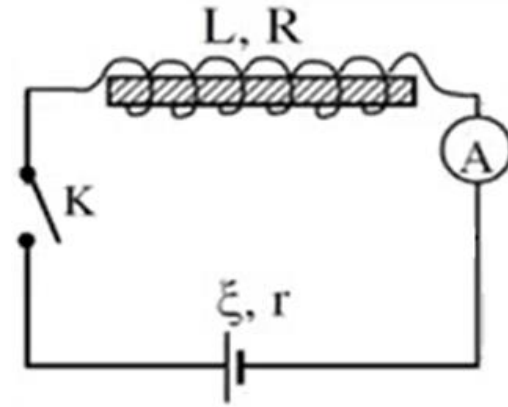
$$\xi + \xi_{tc} = Ri \rightarrow \xi - L \frac{di}{dt} = Ri \rightarrow \xi = L \frac{di}{dt} + Ri$$

Nhân 2 vế với  $i dt$

$$\xi i dt = L i di + Ri^2 dt$$

Năng lượng từ trường trong ống dây:

$$W_m = \int_0^I L i di = \frac{1}{2} L I^2$$



### §3. Năng lượng từ trường

#### 2. Năng lượng từ trường:

*Mật độ năng lượng từ trường* bên trong ống dây dài  $l$ , tiết diện  $S$

$$\omega_m = \frac{1}{2} \frac{LI^2}{S.l} = \frac{1}{2} \frac{\mu_0 \mu n^2 I^2}{l^2} \Rightarrow \omega_m = \frac{1}{2} BH \quad \text{hay} \quad \omega_m = \frac{1}{2} \vec{B} \vec{H}$$

$\Rightarrow$  năng lượng từ trường trong thể tích  $dV$ :

$$dW_m = \omega_m dV$$

$\Rightarrow$  năng lượng của một từ trường bất kỳ chiếm thể tích  $V$ :

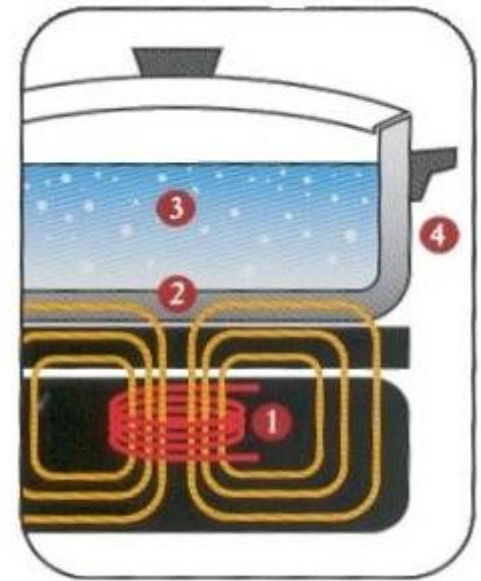
$$W_m = \int_{(V)} dW_m = \int_{(V)} \frac{1}{2} \vec{B} \vec{H} dV$$

## Bếp điện từ:

**Bếp từ** hoạt động dựa trên nguyên lý cảm ứng điện từ. Khi bếp bắt đầu hoạt động, dòng điện chạy qua cuộn dây đồng đặt dưới mặt kính và sinh ra dòng từ trường trong phạm vi vài milimet trên mặt bếp. Đáy nồi làm bằng vật liệu nhiễm từ nằm trong phạm vi này được dòng từ trường tác động khiến các phân tử nhiễm từ ở đáy nồi giao động mạnh và tự sinh ra nhiệt. Nhiệt lượng này chỉ có tác dụng với đáy nồi không tác động vào mặt kính và hoàn toàn không thất thoát ra môi trường.

### Cấu tạo

Khi trong cuộn dây (1) có dòng điện biến thiên (dòng điện tần số cao) chạy qua, nó tạo nên một trường điện từ (có các đường sức từ màu vàng cam) tương tác với nồi kim loại (2) làm cho nồi nóng lên, nhiệt lượng đó được truyền từ nồi vào các đồ nấu (3) bên trong. Và vùng (4) bên ngoài nồi thì không bị ảnh hưởng (nếu nhấc nồi ra khỏi bếp hoặc tắt bếp, quá trình nung nóng cũng kết thúc ngay lập tức).



## Ví dụ

Ví dụ 1: Một khung dây điện phẳng kín hình vuông tạo bởi dây đồng có tiết diện  $1\text{mm}^2$  đặt trong một từ trường biến thiên có cảm ứng từ  $B = B_0 \cdot \sin \omega t$ , trong đó  $B_0 = 0,01\text{T}$ . Chu kỳ biến thiên của cảm ứng từ là  $T = 0,02\text{s}$ . Diện tích của khung bằng  $S = 25\text{ cm}^2$ . Mặt phẳng của khung vuông góc với đường sức từ trường. Cho điện trở suất của đồng  $= 1,72 \cdot 10^{-8}\text{ m}\Omega$ . Tìm giá trị cực đại và sự phụ thuộc vào thời gian của:

- Từ thông gửi qua khung.
- Suất điện động cảm ứng xuất hiện trong khung.
- Cường độ dòng điện chạy trong khung.

Từ thông gửi qua khung:  $\Phi_m = B \cdot S = S \cdot B_0 \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$ ;  $\Phi_{m(\max)} = SB_0$

Suất điện động cảm ứng xuất hiện trong khung:

$$\xi_{cu} = \left| -\frac{d\Phi_m}{dt} \right| = SB_0 \omega \cos \omega t = SB_0 \frac{2\pi}{T} \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right); \xi_{cu(\max)} = SB_0 \frac{2\pi}{T}$$

Cường độ dòng điện chạy trong khung:  $i_{cu} = \frac{\xi_{cu}}{R}$ ;  $R = \rho \frac{l}{S_0}$ ;  $l = 20\text{ cm}$



## Ví dụ

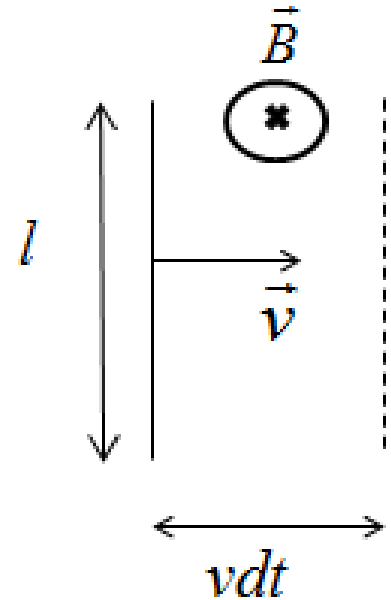
Ví dụ 2: Một máy bay bay theo phương nằm ngang với vận tốc 900 km/h. Tìm suất điện động cảm ứng xuất hiện giữa hai đầu cánh máy bay, biết thành phần thẳng đứng của vector cảm ứng từ của Trái Đất bằng  $0,5 \cdot 10^{-4}$  T. Cho khoảng cách giữa hai đầu cánh máy bay  $l = 12,5$  m.

Từ thông gửi qua diện tích cánh máy bay quét được trong thời gian dt:

$$d\Phi_m = B dS = Blv dt$$

Suất điện động cảm ứng xuất hiện trên hai đầu cánh máy bay:

$$\xi_{cu} = \left| - \frac{d\Phi_m}{dt} \right| = Bvl$$



## Ví dụ

Ví dụ 3: Trong một từ trường đều có cảm ứng từ 0,05 T, người ta cho quay một thanh kim loại có độ dài  $l = 1\text{m}$  với vận tốc góc không đổi bằng 20 rad/s. Trục quay đi qua một đầu thanh và song song với đường sức từ trường. Tìm suất điện động cảm ứng xuất hiện giữa hai đầu thanh.

Diện tích thanh quét được trong thời gian dt:

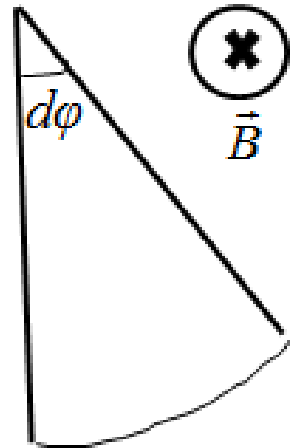
$$dS = \frac{l^2 d\varphi}{2} = \frac{l^2 \omega dt}{2}$$

Từ thông gửi qua diện tích thanh quét được trong thời gian dt:

$$d\Phi_m = B dS = \frac{Bl^2 \omega dt}{2}$$

Suất điện động cảm ứng xuất hiện trên hai đầu thanh:

$$\xi_{cu} = \left| -\frac{d\Phi_m}{dt} \right| = \frac{Bl^2 \omega}{2}$$



## Ví dụ

Ví dụ 5: Trong một ống dây có một dòng điện biến thiên , trong đó  $I_0 = 5A$ , tần số của dòng điện là  $f = 50 \text{ Hz}$ . Tìm suất điện động tự cảm cực đại xuất hiện trong cuộn dây. Biết ống dây quấn 800 vòng dây, độ dài của ống dây bằng  $0,25m$ , đường kính vòng dây bằng  $2cm$  .

Hệ số tự cảm của ống dây:

$$L = \frac{\phi_m}{i} = \mu_0 \mu \frac{n^2 S}{l} = \mu_0 \mu \frac{n^2}{l} \frac{\pi d^2}{4}$$

Cường độ dòng điện chạy qua ống dây:

$$i = I_0 \cos 2\pi f t$$

Suất điện động tự cảm ứng xuất hiện trong ống dây:

$$\xi_{tc} = \left| -L \frac{di}{dt} \right| =$$

Ví dụ 6: Một ống dây có đường kính  $D = 4\text{cm}$ , được quấn 800 vòng bằng một loại dây đồng cách điện mỏng có đường kính  $d = 0,6\text{ mm}$ . Các vòng dây quấn sát nhau và có 1 lớp dây. Điện trở của ống dây  $R = 0,2\ \Omega$ . Nối ống dây với nguồn điện có suất điện động  $12\text{V}$ , điện trở trong không đáng kể. Tính năng lượng từ trường tích lũy trong ống dây.

Chiều dài của ống dây:  $l = n.d$

Hệ số tự cảm của ống dây:

$$L = \frac{\mu_0 \mu n^2 S}{1} = \frac{\mu_0 \mu n^2}{1} \frac{\pi D^2}{4}$$

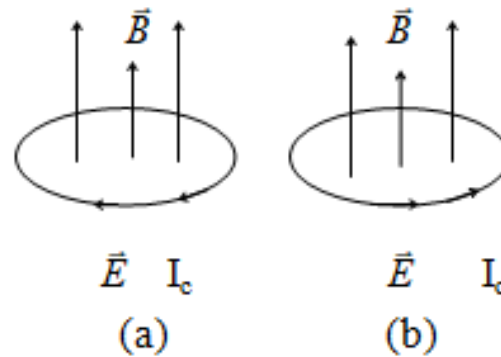
Cường độ dòng điện qua ống dây:  $I = \frac{U}{R}$

Năng lượng từ trường trong ống dây:

$$W = \frac{LI^2}{2}$$

## §4. Trường điện từ

### I. Luận điểm I Maxwell:



Sự xuất hiện của điện trường

a)  $\vec{B}$  đang tăng

b)  $\vec{B}$  đang giảm

### 1. Phát biểu luận điểm

Bất kỳ một từ trường nào biến đổi theo thời gian cũng sinh ra một điện trường xoáy

## §4. Trường điện từ

### 2. Phương trình Maxwell – Faraday

Giả sử ta xét một vòng dây kín (C) nằm trong từ trường đang biến đổi theo thời gian.

Định luật cơ bản về hiện tượng cảm ứng điện từ:

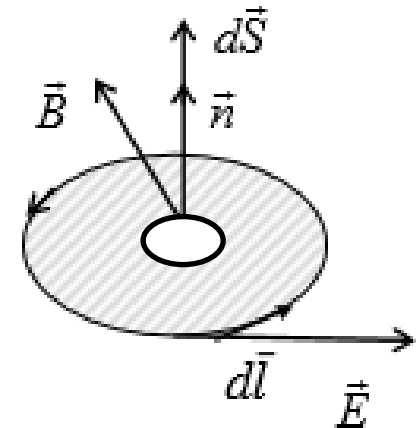
$$\xi_{cu} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_{(S)} \vec{B} d\vec{S}$$

Định nghĩa về suất điện động:  $\xi_{cu} = \oint_{(C)} \vec{E} d\vec{l}$

Phương trình Maxwell – Faraday:

$$\oint_{(C)} \vec{E} d\vec{l} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_{(S)} \vec{B} d\vec{S}$$

**Ý nghĩa:**



## §4. Trường điện từ

### II. Luận điểm II Maxwell:

#### 1. Khái niệm về dòng điện dịch-Luận điểm II của Maxwell

##### *a. Dòng điện dịch*

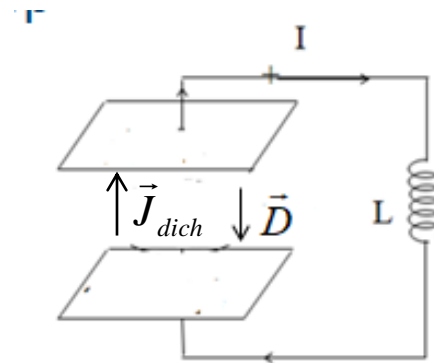
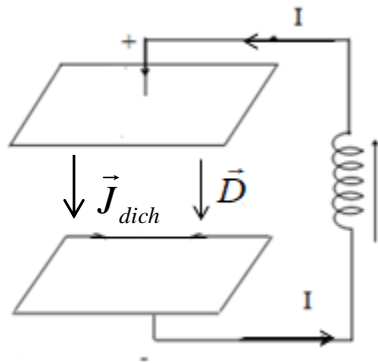
- Dòng điện dẫn là dòng chuyển dời có hướng của các hạt mang điện
- Dòng điện dịch đặc trưng cho điện trường biến đổi theo thời gian xét về phương diện sinh ra từ trường.

## §4. Trường điện từ

### *Giả thuyết về phương chiều của dòng điện dịch*

Xét một mạch điện gồm một tụ điện có điện dung  $C$ , và một cuộn dây điện có hệ số tự cảm  $L$ .

*Dòng điện dịch chạy qua toàn bộ không gian giữa hai bản của tụ điện cùng chiều với dòng điện dẫn trong mạch, và có cường độ bằng cường độ của dòng điện dẫn trong mạch đó.*



Vậy khi điện trường tăng, vectơ mật độ dòng điện dịch cùng chiều với vectơ cảm ứng điện và khi điện trường giảm, vectơ mật độ dòng điện dịch ngược chiều với vectơ cảm ứng điện.



## §4. Trường điện từ

Véc tơ mật độ dòng điện dịch:

$$I_{dan} = I_{dich} = \frac{dq}{dt} = \frac{d(\sigma S)}{dt} = S \frac{d\sigma}{dt} \rightarrow J_{dich} = \frac{I}{S} = \frac{d\sigma}{dt}$$

$$\vec{J}_{dich} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

b. Luận điểm : “Bất kỳ một điện trường nào biến đổi theo thời gian cũng gây ra một từ trường”.

## §4. Trường điện từ

### 2. Phương trình Maxwell-Ampère

Mật độ dòng điện toàn phần là:

$$\vec{J}_{tp} = \vec{J}_{dân} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

Cường độ toàn phần qua diện tích S: 
$$I_{tp} = \int_{(S)} \left( \vec{J}_{dân} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}$$

Định lý Ampère về dòng điện toàn phần trong môi trường có dòng điện dẫn và dòng điện dịch là:

$$\oint_{(C)} \vec{H} d\vec{l} = \int_{(S)} \left( \vec{J}_{dân} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}$$

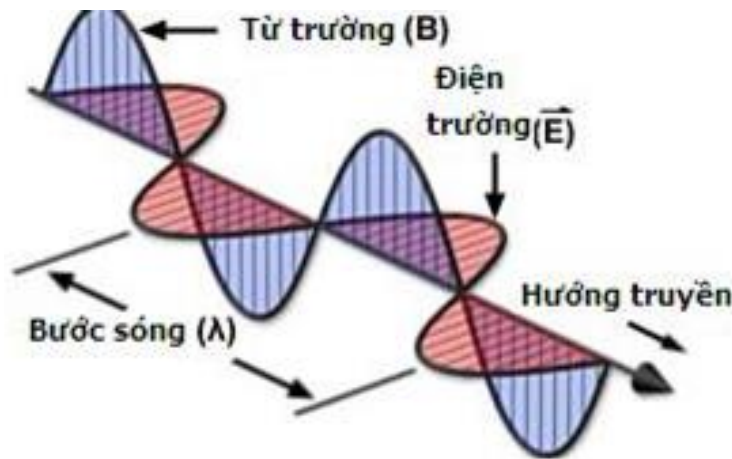
**Ý nghĩa:**

## §4. Trường điện từ

### III. Trường điện từ

*Điện trường và từ trường đồng thời tồn tại trong không gian tạo thành một trường thống nhất gọi là **trường điện từ**.*

*Trường điện từ lan truyền trong không gian tạo thành **sóng điện từ**.*



## §4. Trường điện từ

### Hệ các phương trình Maxwell

P.trình Maxwell – Faraday: 
$$\oint_{(C)} \vec{E} d\vec{l} = - \frac{\partial}{\partial t} \int_{(S)} \vec{B} d\vec{S}$$

P.trình Maxwell-Ampère: 
$$\oint_{(C)} \vec{H} d\vec{l} = \int_{(S)} \left( \vec{J}_{dân} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}$$

Định lý O-G đối với điện trường: 
$$\oint_{(S)} \vec{D} d\vec{S} = \sum_{i=1}^n q_i$$

Định lý O-G đối với từ trường: 
$$\oint_{(S)} \vec{B} d\vec{S} = 0$$

Các phương trình liên hệ :

$$\vec{J}_{dân} = \sigma \vec{E}; \quad \vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E}; \quad \vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}$$