Phần: Từ trường

Chu Tiến Dũng

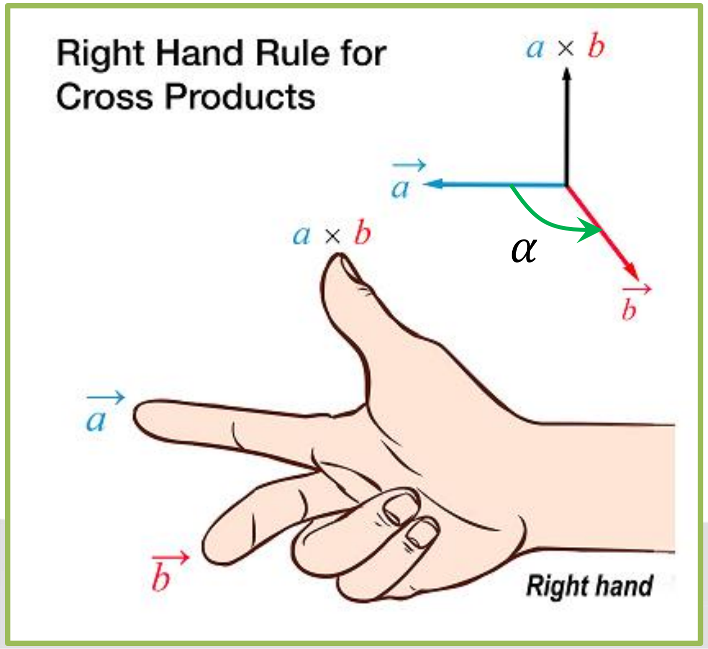
Các khái niệm cơ bản

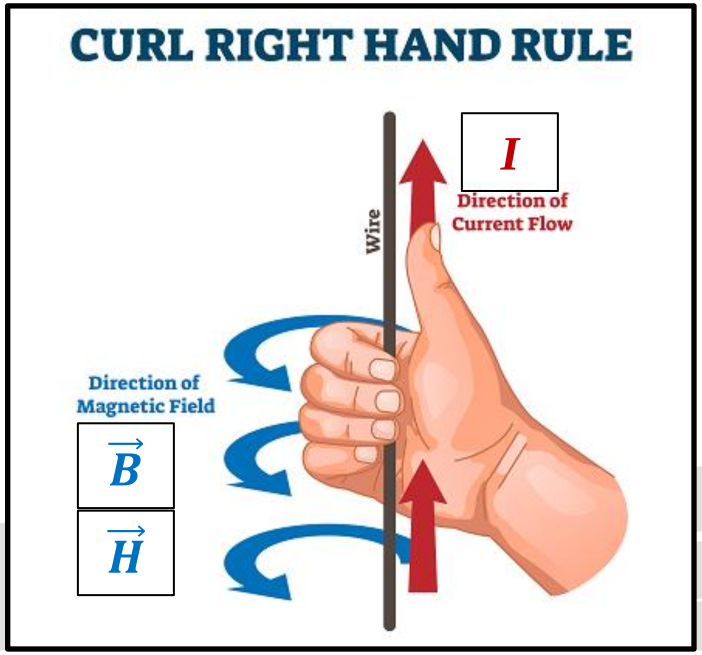
Điện trường	Từ trường
Điện trường là *« dạng vật chất đặc biệt » (khoảng không gian) tồn tại xung quanh mỗi vật mang điện (hay điện tích điểm)*	***Từ trường*** là *« dạng vật chất đặc biệt » (khoảng không gian) tồn tại xung quanh các dòng điện hoặc nam châm*
Vật dẫn mang điện tích: Q [C]	Dây dẫn mang điện: $I.\vec{l}$
Điện tích điểm: q [C]	Phần tử dòng điện: $I.\vec{dl}$ [A.m]
Định luật Coulomb => $\overrightarrow{F_{điện}}$ [N]	Định luật Ampe => $\overrightarrow{F_{từ}}$ [N]
Vectơ cường độ **điện** trường: $\vec{E}$ [V/m]	Vectơ cường độ **từ** trường: $\vec{H}$ [A/m]
Vectơ cảm ứng **điện**: $\vec{D}$ [C/m²] với $\vec{D} = \varepsilon.\varepsilon_0.\vec{E}$	Vectơ cảm ứng **từ** : $\vec{B}$ [T] với $\vec{B} = \mu.\mu_0.\vec{H}$
ε – hằng số **điện** môi của môi trường	µ - hằng số **từ** môi của môi trường
$\varepsilon_0 = 8{,}846.10^{-12}$ (C²/N.m²) – hằng số điện môi	$\mu_0 = 4\pi.10^{-7}$ (H/m) - hằng số từ môi
Điện thông: $\Phi_e = \int d\Phi_e = \int_{(S)} \vec{D}.\vec{dS}$	**Từ** thông: $\Phi_m = \int d\Phi_m = \int_{(S)} \vec{B}.\vec{dS}$
Công của lực **điện**: A [J]	Công của lực **từ**: A [J]
Năng lượng **điện** trường: W_E [J] với $W_E = \frac{1}{2}.E.D.V$	Năng lượng **từ** trường: W_H [J] với $W_H = \frac{1}{2}.B.H.V$
Mật độ năng lượng **điện** trường: w_E [J/m³] với $w_E = \frac{1}{2}.E.D$	Mật độ năng lượng **từ** trường: w_H [J/m³] với $w_H = \frac{1}{2}.B.H$

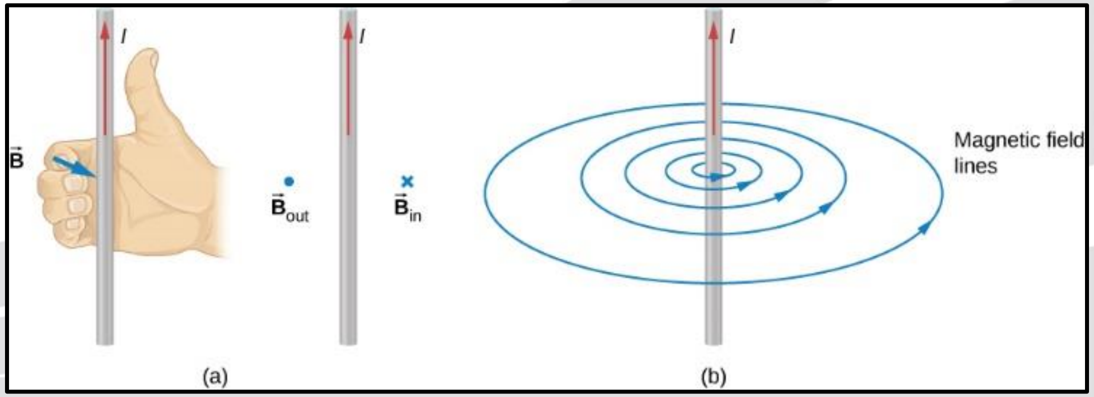
Các khái niệm cơ bản

$\vec{c} = \vec{a} \wedge \vec{b} = a.b.sin\alpha(\vec{a}, \vec{b})$ với $\vec{c}$

- Phương: $\vec{c} \perp (\vec{a}, \vec{b})$
- Chiều: thuận theo chiều quay từ $\vec{a}$ sang $\vec{b}$ (quy tắc vặn đinh ốc hay bàn tay phải)
- Độ lớn: c = a.b.sin$\alpha(\vec{a}, \vec{b})$



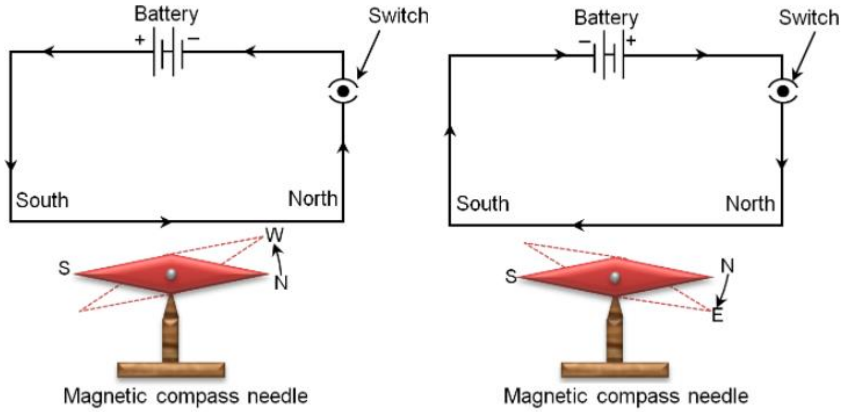


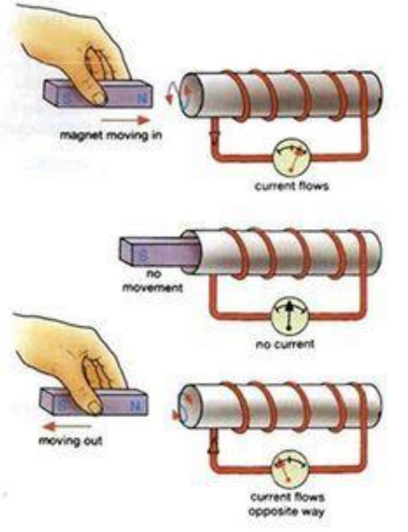


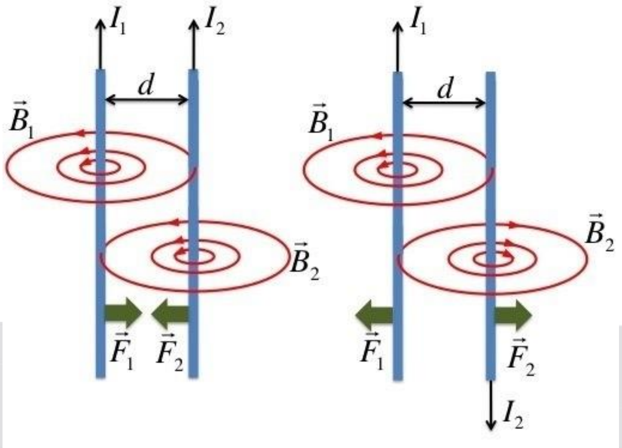
§1. Tương tác từ của dòng điện – Định luật Ampe

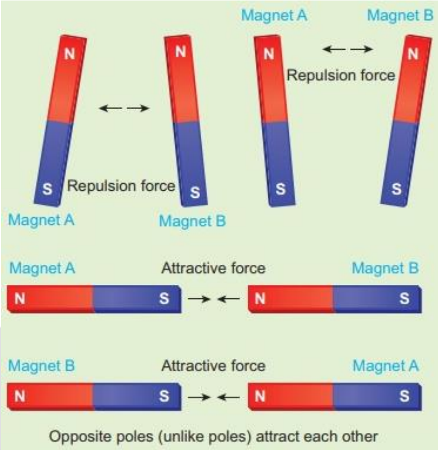
1. Tương tác từ là gì?

- Khi cho dòng điện đi qua dây dẫn (mạch điên) nằm gần một kim nam châm, nó sẽ làm kim nam châm quay đi.
- Ngược lại, nam châm khi được đưa lại gần một cuộn dây có điện chạy qua, nó có thể hút hoặc đẩy cuộn dây đó, hoặc hơn nữa nam châm dịch chuyển trong ống dây có thể sinh ra dòng điện







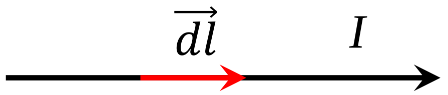


- Tương tự như hai thanh nam châm, hai dòng điện cũng có thể hút hoặc đẩy nhau

§1. Tương tác từ của dòng điện – Định luật Ampe

2. Định luật Ampe

❖ ***Giới hạn***: *là định luật x/đ lực tương tác giữa hai* ***phần tử dòng điện***

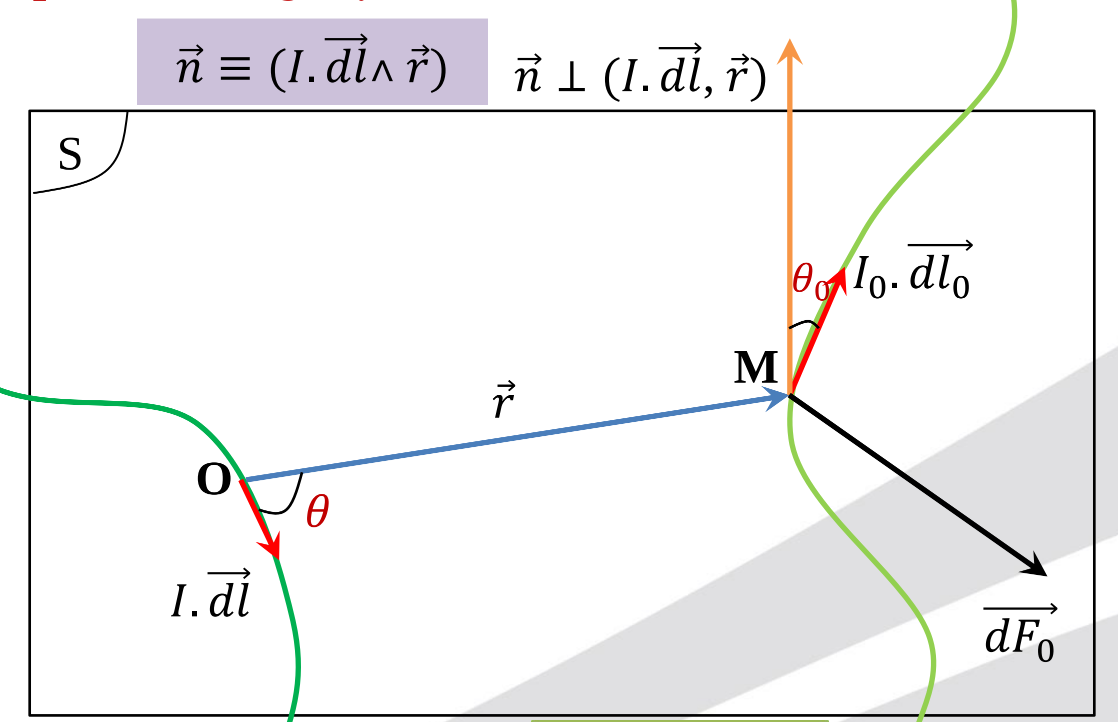


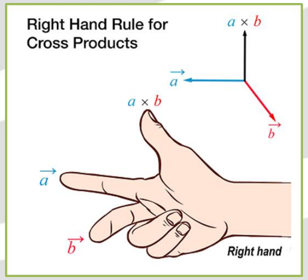
Từ lực $\overrightarrow{dF_0}$ do $I.\overrightarrow{dl}$ tác dụng lên $I_0.\overrightarrow{dl_0}$:

$$\overrightarrow{dF_0} = \frac{\mu.\mu_0}{4\pi}.\frac{I_0.\overrightarrow{dl_0} \wedge (I.\overrightarrow{dl} \wedge \vec{r})}{r^3} \quad \textbf{(7-1)}$$

$\overrightarrow{dF_0}$:

- Phương: vuông góc với mặt phẳng chứa $(I_0.\overrightarrow{dl_0}, \vec{n})$
- Chiều: theo quy tắc bàn tay phải hay tam diện thuận
- Độ lớn: $dF_0 = \frac{\mu.\mu_0}{4\pi}.\frac{I.dl.sin\theta.I_0.dl_0.sin\theta_0}{r^2}$ **(7-2)**





- μ - độ từ thẩm của môi trường
- $\mu_0 = 4\pi.10^{-7}$ (H/m) – hằng số từ
- θ $(I.\overrightarrow{dl}, \vec{r})$; θ_0 $(I_0.\overrightarrow{dl_0}, \vec{n})$ với $\vec{n}$ - vectơ pháp tuyến của mp chứa $(I.\overrightarrow{dl}, \vec{r}) \equiv$ (S)
- r – khoảng cách giữa $I.\overrightarrow{dl}$ và $I_0.\overrightarrow{dl_0}$

➢ *Chú ý: định luật Ampe thực chất là định luật tương tác từ giữa các dòng điện hữu hạn*

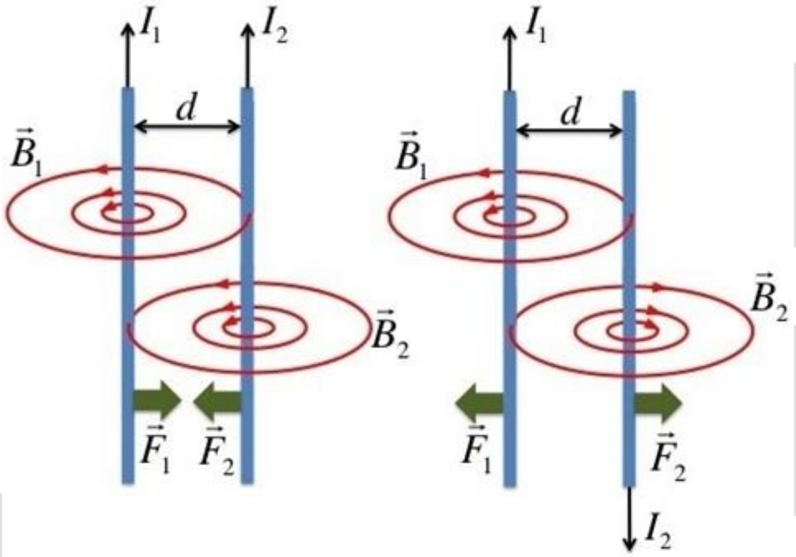
§2. Vectơ cảm ứng từ và vectơ cường độ từ trường

1. Khái niệm từ trường

- Lực tương tác giữa 2 dòng điện được truyền từ dòng này sang dòng kia như thế nào?
- Khi chỉ có một dòng điện, tính chất của không gian xung quanh dòng điện ấy có bị biến đổi hay không?

➢ ***<u>Khái niệm</u>***:

- Từ trường là « dạng vật chất đặc biệt » (khoảng không gian) tồn tại xung quanh mỗi dây dẫn mang điện (hay dòng điện)



➢ ***<u>Đặc điểm</u>***:

- Bất kỳ một dòng điện nào khác nằm trong khoảng không gian đó thì đều chịu tác dụng của lực từ $\overrightarrow{F_{từ}}$ do từ trường đó đặt lên.
- Vận tốc truyền tương tác là hữu hạn và bằng vận tốc ánh sáng trong chân không.

§2. Vectơ cảm ứng từ và vectơ cường độ từ trường

2. Vectơ cảm ứng từ $\vec{B}$ [T]

➢ Theo đ/luật Coulomb, lực điện của q lên q_0 (đặt tại điểm M):

$$\overrightarrow{F_{qq_0}} = \vec{F} = k.\frac{q.q_0}{\varepsilon r^2}.\frac{\overrightarrow{r_{qq_0}}}{r} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{q.q_0}{\varepsilon r^2}.\frac{\vec{r}}{r} \qquad (*)$$

với $\vec{r}$: bán kính vectơ hướng từ q đến q_0 (điểm M)

Mà $$\overrightarrow{E_M} = \frac{\overrightarrow{F_{qq_0}}}{q_0} \qquad (**)$$

⇒ từ (*) và (**) ta được: $\overrightarrow{E_M} = k.\frac{q}{\varepsilon r^2}.\frac{\vec{r}}{r} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{q}{\varepsilon r^2}.\frac{\vec{r}}{r}$

(vectơ cường độ điện trường $\overrightarrow{E_M}$ tại điểm M bất kỳ trong điện trường của 1 điện tích điểm q)

➢ Theo đ/luật Ampe, từ lực $\overrightarrow{dF_0}$ do $I\overrightarrow{dl}$ tác dụng lên $I_0\overrightarrow{dl_0}$ (đặt tại điểm M):

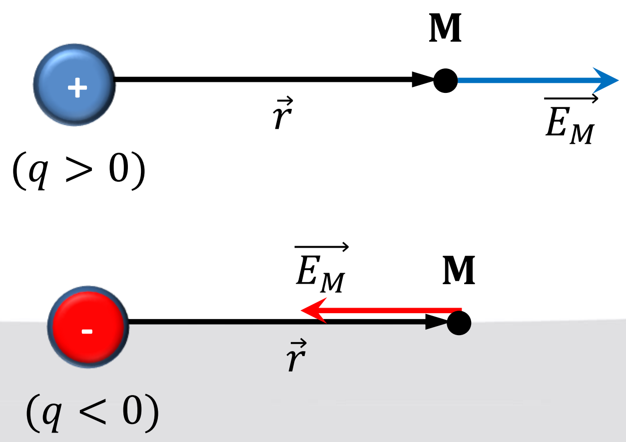
$$\overrightarrow{dF_0} = \frac{\mu.\mu_0}{4\pi}.\frac{I_0.\overrightarrow{dl_0}\wedge(I.\overrightarrow{dl}\wedge\vec{r})}{r^3} \qquad (*)$$

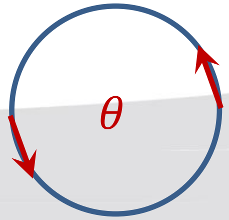
với $\vec{r}$: bán kính vectơ hướng từ $I.\overrightarrow{dl}$ đến $I_0.\overrightarrow{dl_0}$ (điểm M)

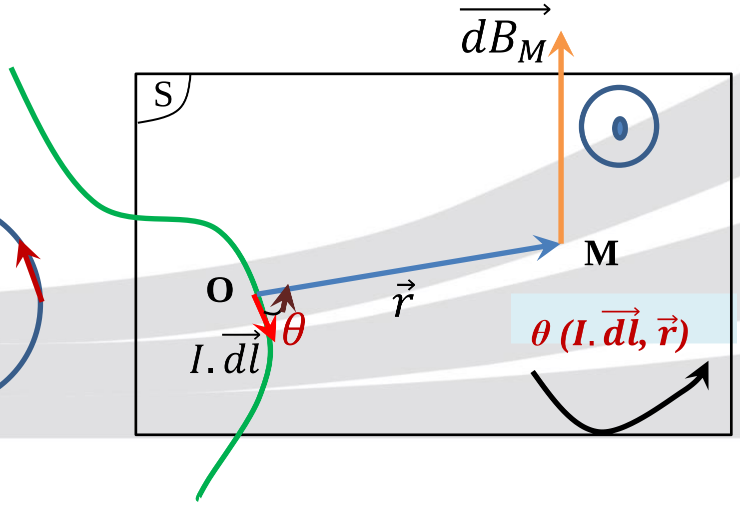
Mà $$\overrightarrow{dB_M} = \frac{\overrightarrow{dF_0}}{I_0.\overrightarrow{dl_0}} \qquad (**)$$

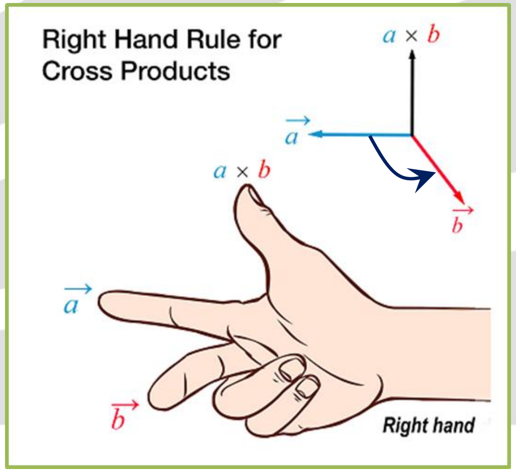
⇒ từ (*) và (**) ta được: $\overrightarrow{dB_M} = \frac{\mu.\mu_0}{4\pi}.\frac{(I.\overrightarrow{dl}\wedge\vec{r})}{r^3}$ **(7-3)**

(vectơ cảm ứng từ $\overrightarrow{dB_M}$ tại điểm M bất kỳ trong từ trường của 1 phần tử dòng điện $I\overrightarrow{dl}$)









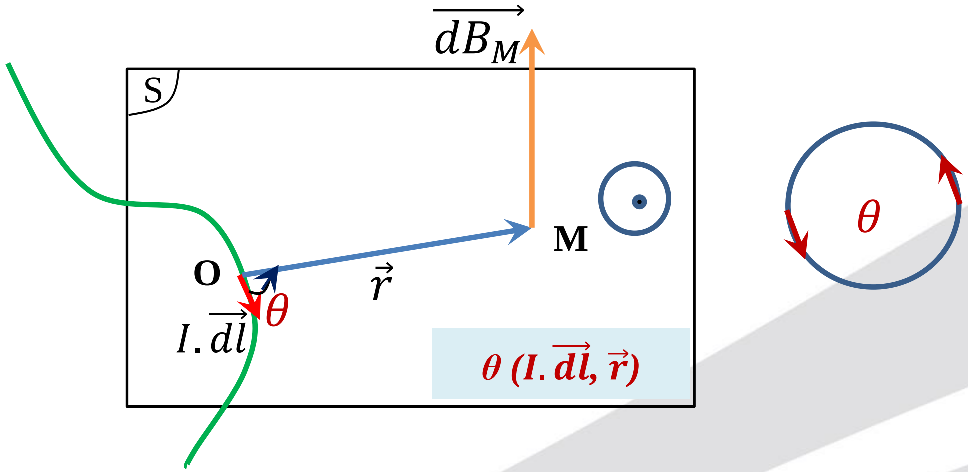
§2. Vectơ cảm ứng từ và vectơ cường độ từ trường

➢ Vectơ cảm ứng từ $\overrightarrow{\mathbf{dB_M}}$ do 1 phần tử dòng điện $I\vec{dl}$ gây ra tại điểm M, cách phần tử một khoảng r là một vectơ có:

$$\overrightarrow{dB_M} = \frac{\mu.\mu_0}{4\pi}.\frac{(I.\vec{dl} \wedge \vec{r})}{r^3} \qquad \textbf{(7-3)}$$

$\overrightarrow{dB_M}$

- Gốc tại điểm M
- Phương vuông góc với mặt phẳng chứa $I\vec{dl}$ và điểm M (tức (S))
- Chiều theo quy tắc vặn nút chai, bàn tay phải hay tam diện thuận
- Độ lớn: $dB_M = \frac{\mu.\mu_0}{4\pi}.\frac{I.dl.\sin\boldsymbol{\theta}\ \boldsymbol{(I.\vec{dl}, \vec{r})}}{r^2}$



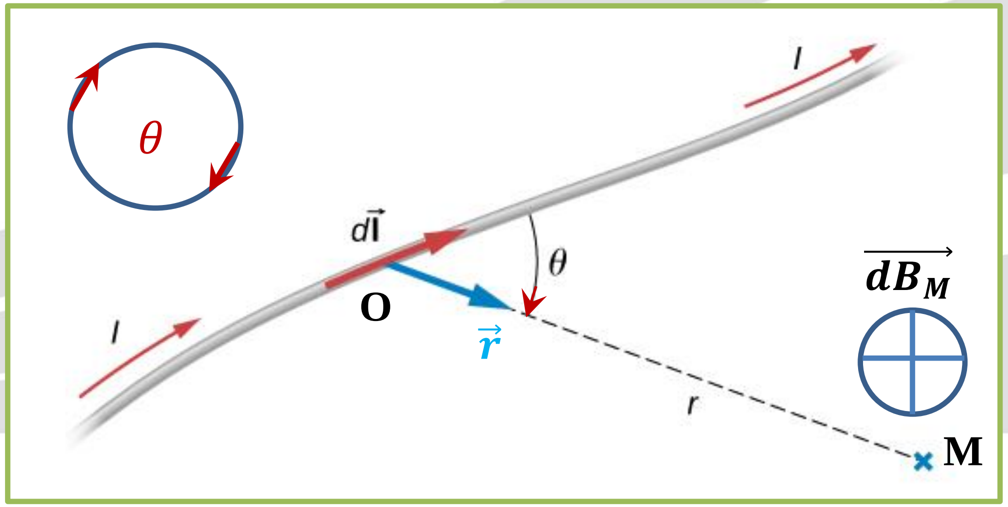
Nguyên lý chồng chất từ trường

❖ Vectơ cảm ứng từ $\overrightarrow{\mathbf{B_M}}$ do một dòng điện gây ra tại điểm M:

$$\overrightarrow{B_M} = \int_{cả\ dòng\ điện} \overrightarrow{dB_M}$$

❖ Vectơ cảm ứng từ $\overrightarrow{\mathbf{B_M}}$ của nhiều dòng điện bằng tổng các vec tơ cảm ứng từ do từng dòng điện sinh ra

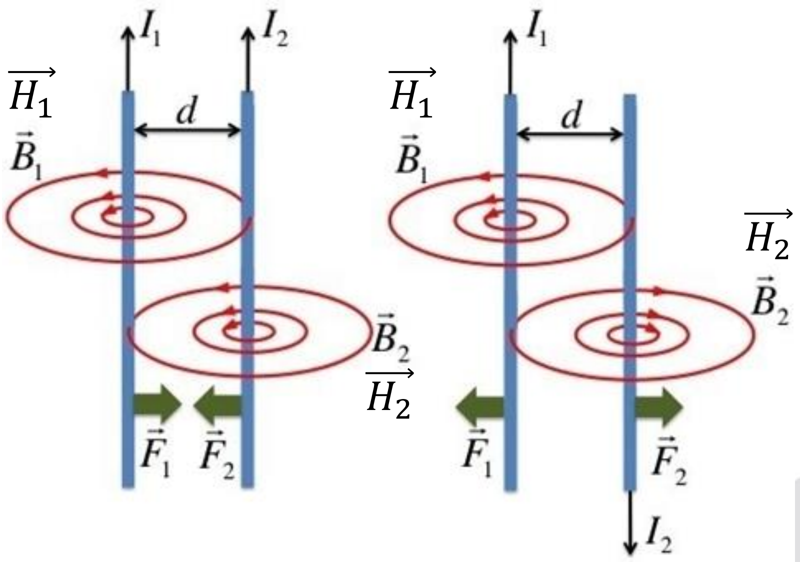
$$\overrightarrow{B_M} = \sum_{i=1}^{n} \overrightarrow{B_{iM}} = \overrightarrow{B_{1M}} + \overrightarrow{B_{2M}} + \cdots + \overrightarrow{B_{nM}}$$

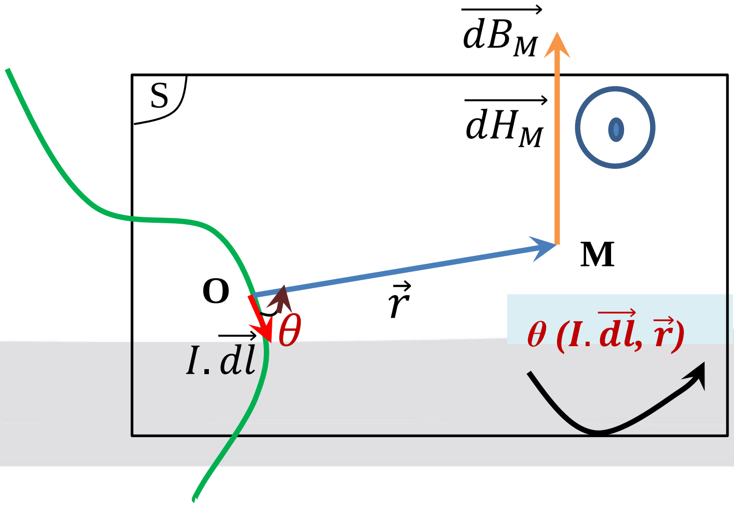


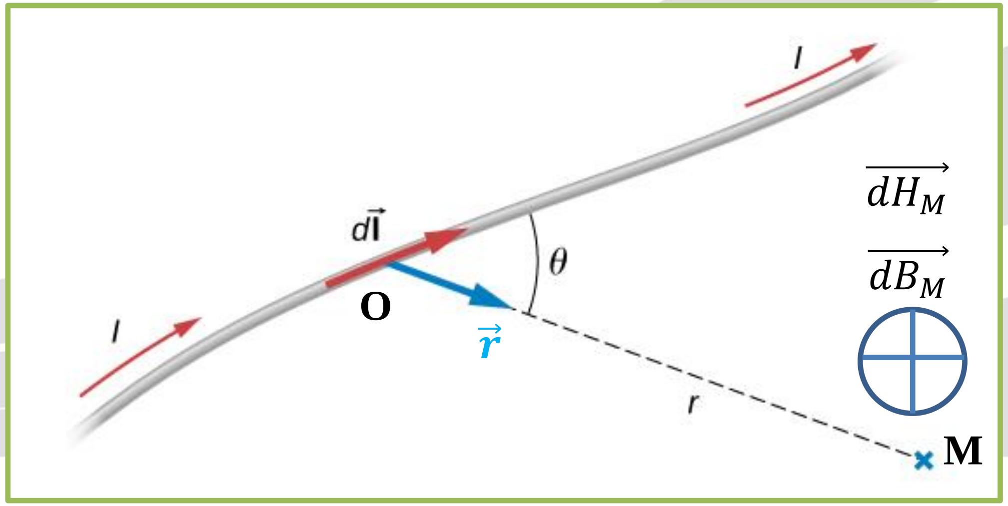
3. Vectơ cường độ từ trường $\vec{H}$ [A/m]

➤ ***Biểu thức:*** $\vec{B} = \mu.\mu_0.\vec{H}$

$$\begin{cases} \vec{B} \uparrow\uparrow \vec{H} \\ B = \mu.\mu_0.H \end{cases}$$







§2. Vectơ cảm ứng từ và vectơ cường độ từ trường

4. Ứng dụng

❖ Xác định vectơ cảm ứng từ $\overrightarrow{\boldsymbol{B_M}}$[T] tại một điểm M bất kỳ trong từ trường của một **đoạn** dòng điện thẳng (dây hữu hạn), và của một dòng điện thẳng dài vô hạn

$$\overrightarrow{dB_M} = \frac{\mu.\mu_0}{4\pi}.\frac{(I.\overrightarrow{dl} \wedge \vec{r})}{r^3} \Rightarrow \overrightarrow{B_M} = \int_{\text{cả dòng điện}} \overrightarrow{dB_M}$$

➢ *Dây AB dài hữu hạn l*

$\overrightarrow{B_M}$

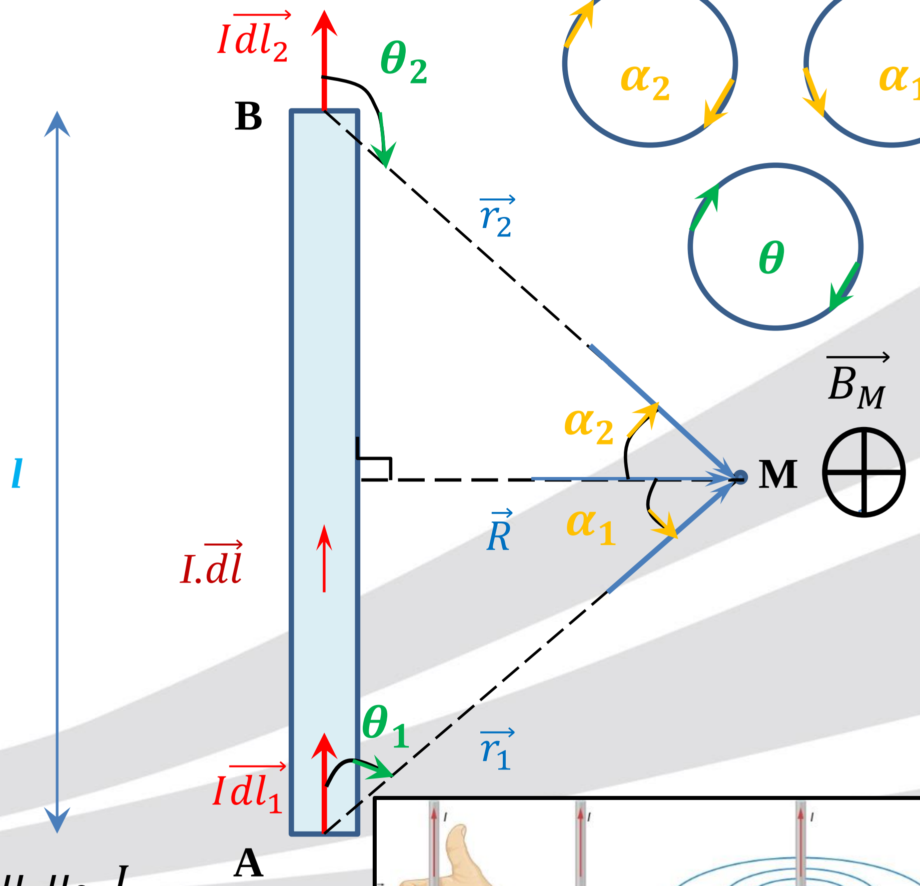
- Phương: $\overrightarrow{B_M} \perp (I.\overrightarrow{dl}, \vec{r})$
- Chiều: được x/đ theo quy tắc **nắm bàn tay phải**
- Độ lớn: $B_M = \frac{\mu.\mu_0.I}{4\pi.R}.(cos\boldsymbol{\theta_1} - cos\boldsymbol{\theta_2})$

hoặc: $B_M = \frac{\mu.\mu_0.I}{4\pi.R}.(sin\alpha_2 - sin\alpha_1)$; $\boldsymbol{\alpha_1}(\vec{R}, \vec{r_1}) < 0$ và $\boldsymbol{\alpha_2}(\vec{R}, \vec{r_2}) > 0$)

trong đó

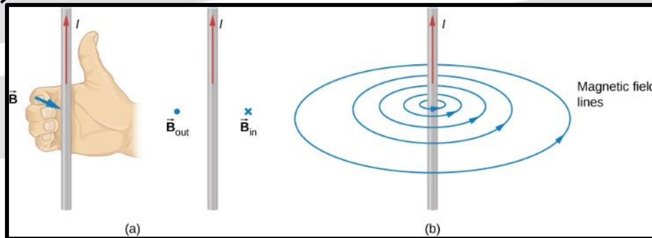
$$\boldsymbol{\theta_1}(I\overrightarrow{dl_1}, \vec{r_1}),\ \boldsymbol{\theta_2}(I\overrightarrow{dl_2}, \vec{r_2}) \text{ và } \boldsymbol{\alpha_1}(\vec{R}, \vec{r_1}),\ \boldsymbol{\alpha_2}(\vec{R}, \vec{r_2})$$

- $\vec{r_1}$: vec tơ khoảng cách hướng từ $I\overrightarrow{dl_1}$ đến điểm M
- $\vec{r_2}$: vec tơ khoảng cách hướng từ $I\overrightarrow{dl_2}$ đến điểm M
- R: **khoảng cách ngắn nhất** từ đoạn dây AB đến điểm M



➢ *Dây AB dài vô hạn*

$\theta_1 \to 0^0$, $\theta_2 \to 180^0$ ⇒ $cos\theta_1 \to 1$, $cos\theta_2 \to -1$ **or** $\alpha_1 \to -90^0$, $\alpha_2 \to +90^0$ ⇒ $sin\alpha_1 \to -1$, $sin\alpha_2 \to +1$ ⇒ $B_M = \frac{\mu.\mu_0.I}{2\pi.R}$



§2. Vectơ cảm ứng từ và vectơ cường độ từ trường

❖ Xác định vectơ cường độ **từ** trường $\overrightarrow{H_M}[\frac{A}{m}]$ tại một điểm M bất kỳ trong từ trường của một **đoạn** dòng điện thẳng (dây hữu hạn), và của một dòng điện thẳng dài vô hạn

$$\overrightarrow{dH_M} = \frac{1}{4\pi}.\frac{(I.\overrightarrow{dl} \wedge \vec{r})}{r^3} \Rightarrow \overrightarrow{H_M} = \int_{\text{cả dòng điện}} \overrightarrow{dH_M}$$

➢ *Dây AB dài hữu hạn l*

$\overrightarrow{H_M}$

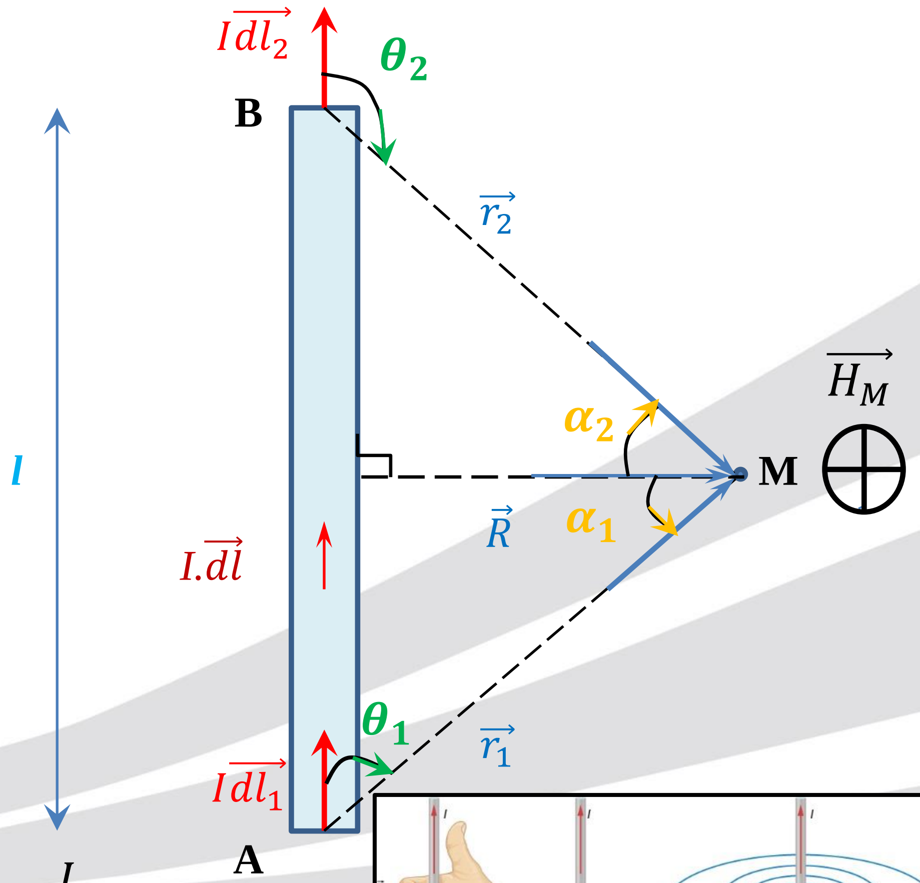
- Phương: $\overrightarrow{H_M} \perp (I.\overrightarrow{dl}, \vec{r})$
- Chiều: được x/đ theo quy tắc **nắm bàn tay phải**
- Độ lớn: $H_M = \frac{I}{4\pi.R}.(cos\theta_1 - cos\theta_2)$

hoặc: $H_M = \frac{I}{4\pi.R}.(sin\alpha_2 - sin\alpha_1)$; $\alpha_1(\vec{R},\vec{r_1}) < 0$ và $\alpha_2(\vec{R},\vec{r_2}) > 0$)

trong đó

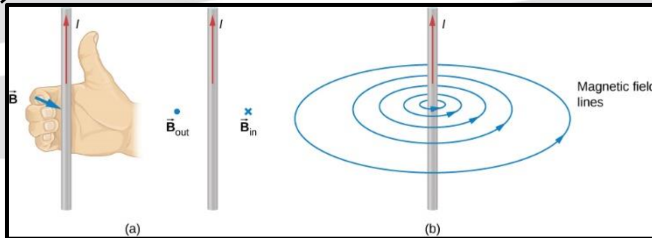
$$\theta_1(\overrightarrow{Idl_1},\vec{r_1}),\ \theta_2(\overrightarrow{Idl_2},\vec{r_2}) \text{ và } \alpha_1(\vec{R},\vec{r_1}),\ \alpha_2(\vec{R},\vec{r_2})$$

- $\vec{r_1}$: vec tơ khoảng cách hướng từ $\overrightarrow{Idl_1}$ đến điểm M
- $\vec{r_2}$: vec tơ khoảng cách hướng từ $\overrightarrow{Idl_2}$ đến điểm M
- R: **khoảng cách ngắn nhất** từ đoạn dây AB đến điểm M



➢ *Dây AB dài vô hạn*

$\theta_1 \to 0^0$, $\theta_2 \to 180^0$ ⇒ $cos\theta_1 \to 1$, $cos\theta_2 \to -1$ **or** $\alpha_1 \to -90^0$, $\alpha_2 \to +90^0$ ⇒ $sin\alpha_1 \to -1$, $sin\alpha_2 \to +1$ ⇒ $H_M = \frac{I}{2\pi.R}$



Tính vectơ cảm ứng từ $\overrightarrow{B_M}$[T] **và** vectơ cường độ từ trường $\overrightarrow{H_M}[\frac{A}{m}]$ tại một **điểm M bất kỳ,** nằm trong từ trường của **nhiều** đoạn dòng điện thẳng (nhiều **dây hữu hạn**), hay của nhiều dòng điện thẳng **dài vô hạn** và **dây nửa vô hạn**

➢ ***Cách làm:***

1. **Áp dụng nguyên lý chồng chất từ trường**:

$$\overrightarrow{B_M} = \sum_{i=1}^{n}\overrightarrow{B_{iM}} = \overrightarrow{B_{1M}} + \overrightarrow{B_{2M}} + \cdots + \overrightarrow{B_{nM}} \qquad (1)$$

2. **Phân tích chiều** của các vectơ $\overrightarrow{B_{iM}}$ thành phần *(trên hình vẽ)* => chiều của $\overrightarrow{B_M}$

3. **Nhận xét**:

- chiều của các $\overrightarrow{B_{iM}}$ => chuyển pt vectơ (1) thành pt đại số
- Nhận xét đặc điểm hình dạng của hình mà đầu bài cho => pt đại số (2) *(mối liên hệ giữa B_M và B_{iM})*

4. **Áp dụng công thức độ lớn**:

▪ $$B_{iM} = \frac{\mu.\mu_0.I_i}{4\pi.R_{iM}}.(cos\boldsymbol{\theta_1} - cos\boldsymbol{\theta_2})$$

hoặc: $$B_{iM} = \frac{\mu.\mu_0.I_i}{4\pi.R_{iM}}.(sin\boldsymbol{\alpha_2} - sin\boldsymbol{\alpha_1})$$

(lưu ý: $\boldsymbol{\alpha_1}(\vec{R},\vec{r_1}) < 0$ và $\boldsymbol{\alpha_2}(\vec{R},\vec{r_2}) > 0$)

5. **Kết luận**: Phương, chiều và độ lớn của B_M

❖ ***Chú ý:***

- Áp dụng các bước tương tự đối với $\overrightarrow{H_M}$ (giống như $\overrightarrow{B_M}$)
- Công thức độ lớn (***trong bước 4***):

▪ ***cho dòng thẳng hữu hạn***

$$B_{iM} = \frac{\mu.\mu_0.I}{4\pi.R}.(cos\boldsymbol{\theta_1} - cos\boldsymbol{\theta_2})\ ;\ B_{iM} = \frac{\mu.\mu_0.I}{4\pi.R}.(sin\boldsymbol{\alpha_2} - sin\boldsymbol{\alpha_1})$$

or $$H_{iM} = \frac{I}{4\pi.R}.(cos\boldsymbol{\theta_1} - cos\boldsymbol{\theta_2})\ ;\ H_{iM} = \frac{I}{4\pi.R}.(sin\boldsymbol{\alpha_2} - sin\boldsymbol{\alpha_1})$$

▪ ***cho dòng thẳng vô hạn***

$$B_M = \frac{\mu.\mu_0.I}{2\pi.R} \quad \text{or} \quad H_M = \frac{I}{2\pi.R}$$

▪ ***cho dòng thẳng nửa vô hạn***

$\theta_1 \to 0^0$ θ_2	⇒	$cos\theta_1 \to 1$ $cos\theta_2$	➡	$B_{iM} = \frac{\mu.\mu_0.I}{4\pi.R}.(1 - cos\boldsymbol{\theta_2})$
θ_1 $\theta_2 \to 0^0$	⇒	$cos\theta_1$ $cos\theta_2 \to 1$	➡	$H_{iM} = \frac{\mu.\mu_0.I}{4\pi.R}.(cos\boldsymbol{\theta_1} - 1)$
$\alpha_1 \to -90^0$ α_2(dương)	⇒	$sin\alpha_1 \to -1$ $sin\alpha_2$	⇨	$B_{iM} = \frac{\mu.\mu_0.I}{4\pi.R}.(sin\boldsymbol{\alpha_2} - (-1))$
α_1 (góc âm) $\alpha_2 \to +90^0$	⇒	$sin\alpha_1$ $sin\alpha_2 \to +1$	⇨	$B_{iM} = \frac{\mu.\mu_0.I}{4\pi.R}.(1 - sin\boldsymbol{\alpha_1})$

Luyện tập

Một dây dẫn được uốn thành hình vuông ABCD có cạnh a = 10 (cm). Dòng điện chạy qua dây có cường độ I = 1(A). Lấy $\mu = 1$. Xác định vectơ cường độ từ trường tại tâm O hình vuông?

Áp dụng nguyên lý chồng chất từ trường:

$$\overrightarrow{H_O} = \sum_{i=1}^{n} \overrightarrow{H_{iO}} = \overrightarrow{H_{1O}} + \overrightarrow{H_{2O}} + \overrightarrow{H_{3O}} + \overrightarrow{H_{4O}}$$

Hay $\overrightarrow{H_O} = \sum_{i=1}^{n} \overrightarrow{H_{iO}} = \overrightarrow{H_{AB}} + \overrightarrow{H_{BC}} + \overrightarrow{H_{CD}} + \overrightarrow{H_{DA}}$ (1)

- **Theo hình vẽ,** ta thấy $\overrightarrow{H_{AB}} \uparrow\uparrow \overrightarrow{H_{BC}} \uparrow\uparrow \overrightarrow{H_{CD}} \uparrow\uparrow \overrightarrow{H_{DA}}$, có chiều hướng từ ngoài vào trong nên:
  (1) => $H_O = H_{AB} + H_{BC} + H_{CD} + H_{DA}$
- Mặt khác, do tứ giác là hình vuông, nên: $H_{AB} = H_{BC} = H_{CD} = H_{DA}$

Vậy: $H_O = 4.H_{AB}$ (2)

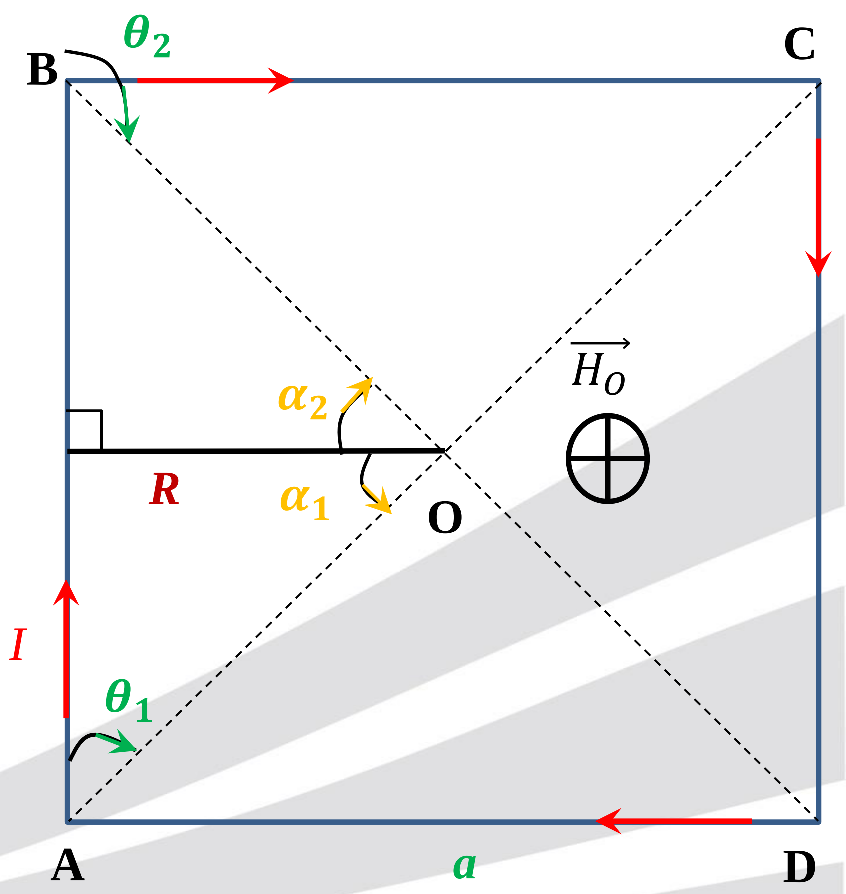
- **Áp dụng công thức độ lớn cho dòng hữu hạn:** $H_{AB} = \frac{I}{4\pi.R}.(sin\alpha_2 - sin\alpha_1)$

với: $\alpha_2 > 0$ và $\alpha_1 < 0$ và $R = \frac{a}{2} = 5.10^{-2}(m)$

- **Thay số:** $H_{AB} = \frac{1}{4\pi.(5.10^{-2})}.\left[sin\frac{\pi}{4} - \sin(-\frac{\pi}{4})\right] = \frac{1}{4\pi.(5.10^{-2})}.\left[\frac{\sqrt{2}}{2} - (-\frac{\sqrt{2}}{2})\right]$ =………(A/m)
- **Lấy** đáp số (3) thay lại vào (2): $H_O = 4.H_{AB} =$…(A/m)

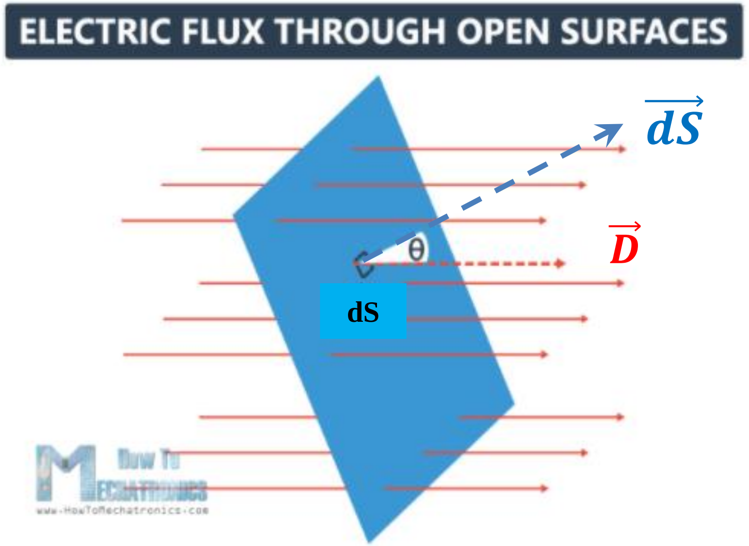
❖ Kết luận: vectơ cường độ từ trường $\overrightarrow{H_O}$ tại tâm hình vuông có phương vuông góc với mp giấy (mp chứa khung dây), có chiều hướng từ ngoài vào trong và có độ lớn $H_O =$…(A/m)

▪ ***Cách khác***: $H_{AB} = \frac{I}{4\pi.R}.(cos\theta_1 - cos\theta_2)$ với $\theta_1 = \frac{\pi}{4}$; $\theta_2 = \frac{3\pi}{4}$



§3. Từ thông

Điện thông $\Phi_e[\frac{N.m^2}{C}]$



$\vec{n} \equiv \overrightarrow{dS}$: vectơ pháp tuyến của vi phân diện tích dS

Điện thông gửi qua diện tích dS bất kỳ:

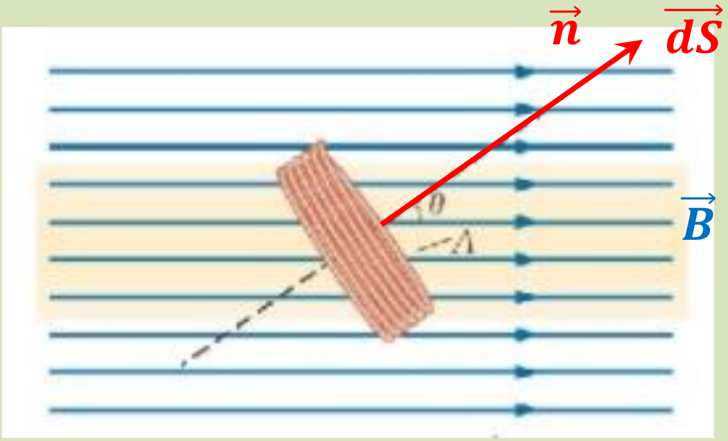
$$d\Phi_e = \vec{D}.\overrightarrow{dS} = D.dS.cos\theta$$

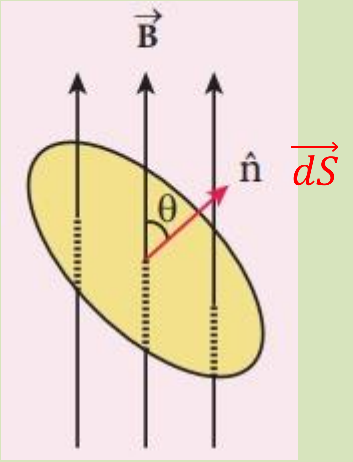
Điện thông gửi qua toàn bộ diện tích mặt (S):

$$\Phi_e = \int_{(S)} \vec{D}.\overrightarrow{dS} = \int_{(S)} D.dS.cos\theta$$

- Điện thông Φ_e gửi qua 1 diện tích (S) bất kỳ được xác định bằng tổng đại số các đường sức điện trường gửi qua diện tích (S) đó

Từ thông Φ_m[Wb]





$\vec{n} \equiv \overrightarrow{dS}$: vectơ pháp tuyến của vi phân diện tích dS

Từ thông gửi qua diện tích dS bất kỳ:

$$d\Phi_m = \vec{B}.\overrightarrow{dS} = B.dS.cos\theta$$

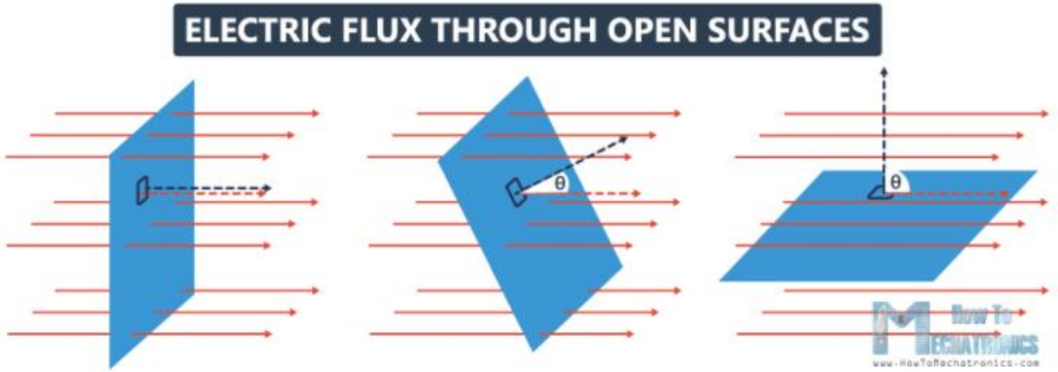
Từ thông gửi qua toàn bộ diện tích mặt (S):

$$\Phi_m = \int_{(S)} \vec{B}.\overrightarrow{dS} = \int_{(S)} B.dS.cos\theta$$

- Từ thông Φ_m gửi qua 1 diện tích (S) bất kỳ được xác định bằng tổng đại số các đường sức từ trường gửi qua diện tích (S) đó

§3. Từ thông

Điện thông $\Phi_e[\frac{N.m^2}{C}]$

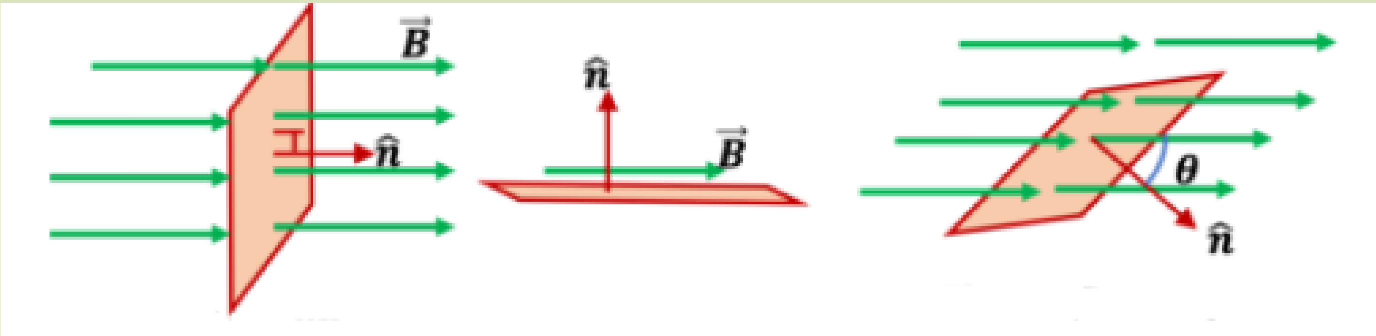


$d\Phi_e = D.dS.cos\theta$
$= D.dS.cos0^0$
$= D.dS$

$d\Phi_e = D.dS.cos\theta$
$= D.dS.cos30^0$
$= D.dS.\frac{\sqrt{3}}{2}$

$d\Phi_e = D.dS.cos\theta$
$= D.dS.cos90^0$
$= 0$

Từ thông Φ_m[Wb]



$d\Phi_m = B.dS.cos\theta$
$= B.dS.cos0^0$
$= B.dS$
Max flux

$d\Phi_m = B.dS.cos\theta$
$= B.dS.cos90^0$
$= 0$
Zero flux

$d\Phi_m = B.dS.cos\theta$
$= B.dS.cos30^0$
$= B.dS.\frac{\sqrt{3}}{2}$

§3. Từ thông

❖ **Từ thông Φ_m[Wb]**

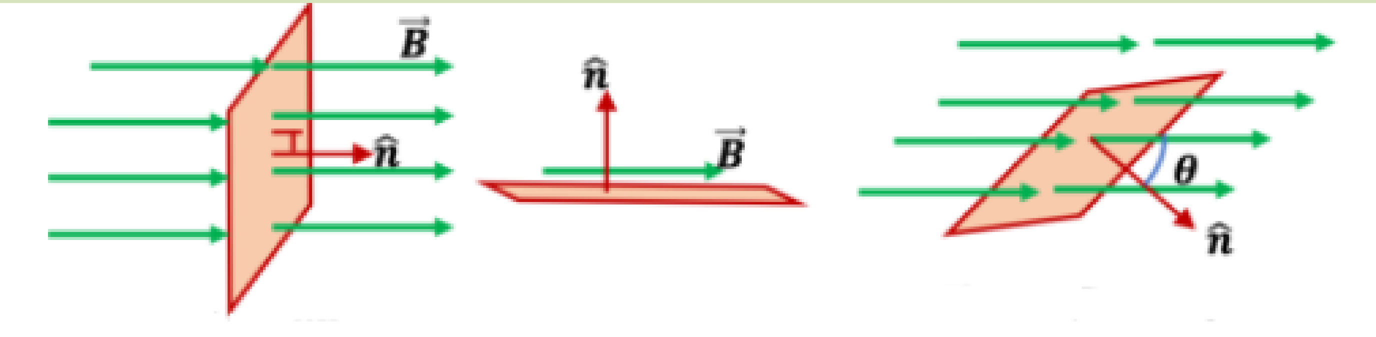
➢ ***Khái niệm***: Từ thông Φ_m gửi qua 1 diện tích (S) bất kỳ được xác định bằng tổng đại số các đường sức từ trường gửi qua diện tích (S) đó

➢ ***Biểu thức:***

- Từ thông gửi qua diện tích (dS): $d\Phi_m = \vec{B}.\overrightarrow{dS} = B.dS.cos\theta$

Khi đó, từ thông gửi qua cả diện tích (S):

$$\Phi_m = \int_{(S)} \vec{B}.\overrightarrow{dS} = \int_{(S)} B.dS.cos\theta$$



➢ ***Trường hợp (S) nằm trong từ trường đều ($\vec{B} = const$) và vuông góc với các đường cảm ứng từ ($\theta = 0^0$), thì :***

$$\Phi_m = \int_{(S)} \vec{B}.\overrightarrow{dS} = \int_{(S)} B.dS = B.S$$

với: $\vec{B}$ - vectơ cảm ứng từ (đều) tại một điểm bất kỳ trên diên tích (S) [T]

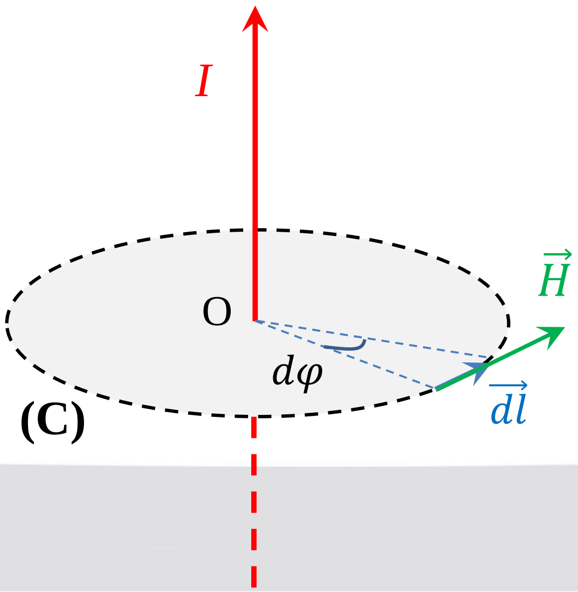
S – diện tích mặt phẳng (S) [m^2]

- ***Đơn vị đo:*** **[Wb]**

§4: Định lý về dòng điện toàn phần

- *Lưu số của vectơ cường độ từ trường* dọc theo đường cong kín (C) là đại lượng về giá trị bằng tích phân của $\vec{H}.\vec{dl}$ dọc theo toàn bộ đường cong đó:

$$\oint_{(C)} \vec{H}.\vec{dl} = \oint_{(C)} H.dl.\cos(\vec{H},\vec{dl})$$



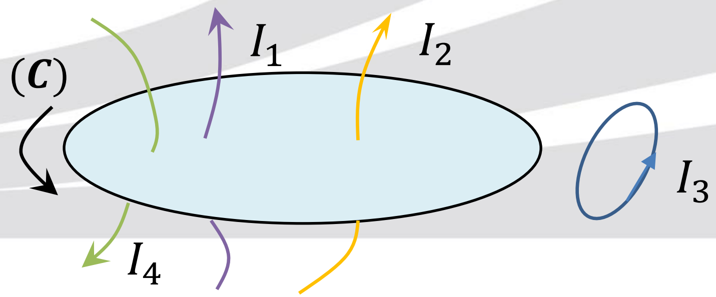
- **Định lý suất từ động**: Lưu số của vectơ cường độ từ trường dọc theo một đường cong kín (C) bất kỳ (một vòng) bằng tổng đại số cường độ của các dòng điện I xuyên qua diện tích giới hạn bởi đường cong (C).

$$\oint_{(C)} \vec{H}.\vec{dl} = \sum_{i=1}^{n} I_i$$

Lưu ý:

- I_i *sẽ mang dấu* ***dương (I > 0)*** *nếu dòng điện thứ i nhận chiều dịch chuyển trên đường cong (C) làm chiều* ***quay thuận*** *xung quanh nó.*

- I_i *sẽ mang dấu* ***âm (I < 0)*** *nếu dòng điện thứ i nhận chiều dịch chuyển trên đường cong (C) làm chiều* ***quay nghịch*** *xung quanh nó.*

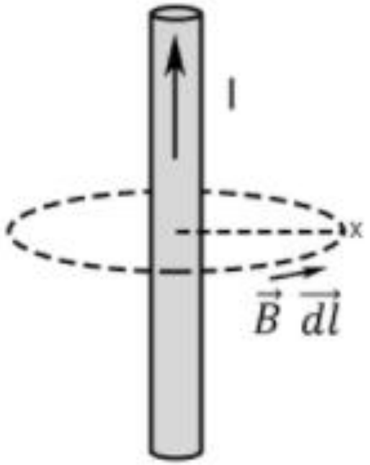


§4: Định lý về dòng điện toàn phần

$$\oint_{(C)} \vec{H}.\vec{dl} = \sum_{i=1}^{n} I_i$$

- ***Định lý suất từ động***: Lưu số của vectơ cường độ từ trường dọc theo một đường cong kín (C) bất kỳ (một vòng) bằng tổng đại số cường độ của các dòng điện I xuyên qua diện tích giới hạn bởi đường cong (C).

Derivation of Ampere's Law



I : Electric curent

B : Magnetic field

μ_o: Permeability of free space

From Biot-Savart's Law, the magnetic field due to a long straight wire is,

$$B = \frac{\mu_o I}{2\pi r}$$

Since, $\vec{B}$ and $\vec{dl}$ are in the same direction,

$$\vec{B}.\vec{dl} = B\,dl \cos 0 = B\,dl$$

Therefore, $\oint \vec{B}.\vec{dl} = \frac{\mu_o I}{2\pi r} \oint dl$

$$\Rightarrow \oint \vec{B}.\vec{dl} = \frac{\mu_o I}{2\pi r}(2\pi r)$$

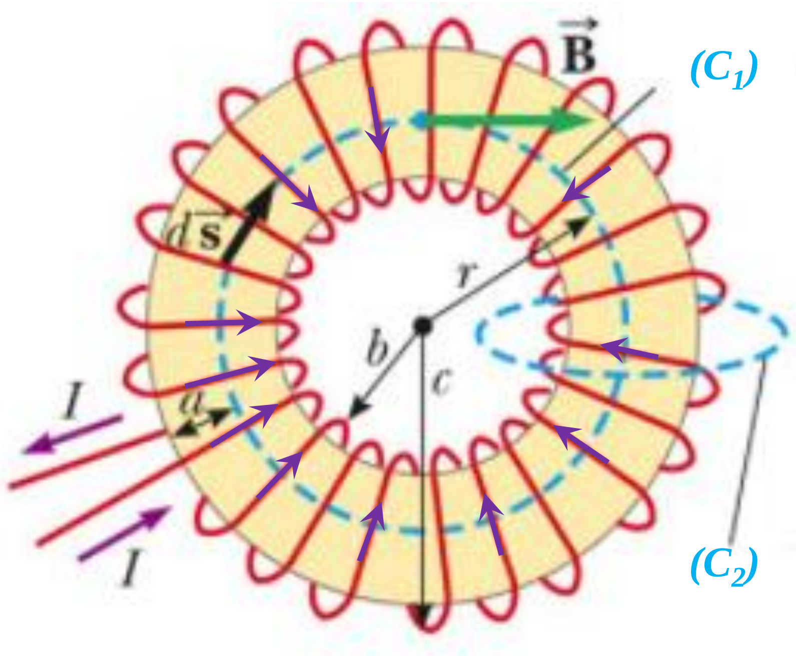
$$\boxed{\Rightarrow \oint \vec{B}.\vec{dl} = \mu_o I}$$

§4: Định lý về dòng điện toàn phần

- ***Cuộn dây điện hình xuyến***: gồm **n vòng dây** quấn, trong đó **dòng I** chạy qua, với:
  - b = R_1 – bán kính trong của hình xuyến
  - c = R_2 – bán kính ngoài của hình xuyến
  - **r** – bán kính của đường cong kín (C_1) (đi qua 1 điểm bất kỳ trong lòng cuộn dây hình xuyến) => $R_1 < r < R_2$

- ***Áp dụng định lý suất từ động:*** $\oint_{(C_1)} \vec{H}.\vec{dl} = \sum_{i=1}^{n} I_i$ = n.I (1)

- Ta có: $\oint_{(C_1)} \vec{H}.\vec{dl} = \oint_{(C_1)} H.dl = H.\oint_{(C_1)} dl = H.2\pi r$ (2)
- Từ (1) và (2) suy ra: $H.2\pi r$ = n.I



- ***Vậy:***
- $H = \frac{n.I}{2\pi.r}$

Mà $B = \mu.\mu_o.H$, nên $\boldsymbol{B = \mu.\mu_o.\frac{n.I}{2\pi.r}}$

❖ **Kết luận**: Từ trường chỉ tồn tại trong lòng ống dây hình xuyến, có cường độ giảm dần từ trong ra ngoài

§4: Định lý về dòng điện toàn phần

- ***Cuộn dây điện hình xuyến***: gồm **N vòng dây** quấn, trong đó **dòng I** chạy qua, với:

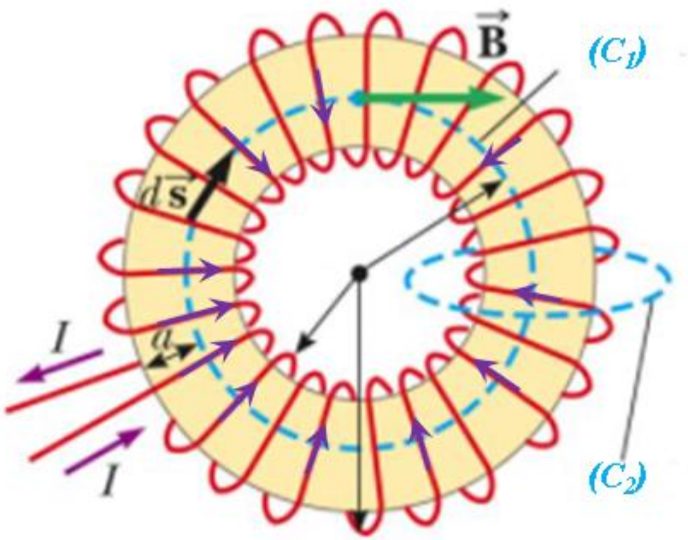
➢ $b = R_1$ – bán kính trong của hình xuyến $\quad R_1 < r < R_2$

➢ $c = R_2$ – bán kính ngoài của hình xuyến

➢ r – bán kính của đường cong kín (C_1) (đi qua 1 điểm bất kỳ trong lòng cuộn dây hình xuyến)

- $H = \frac{N.I}{2\pi.r}$, $\quad$ mà $B = \mu.\mu_o.H$, $\quad$ nên $\boldsymbol{B = \mu.\mu_o.\frac{N.I}{2\pi.r}}$

❖ **Kết luận**: Từ trường chỉ tồn tại trong lòng ống dây hình xuyến, có cường độ giảm dần từ trong ra ngoài



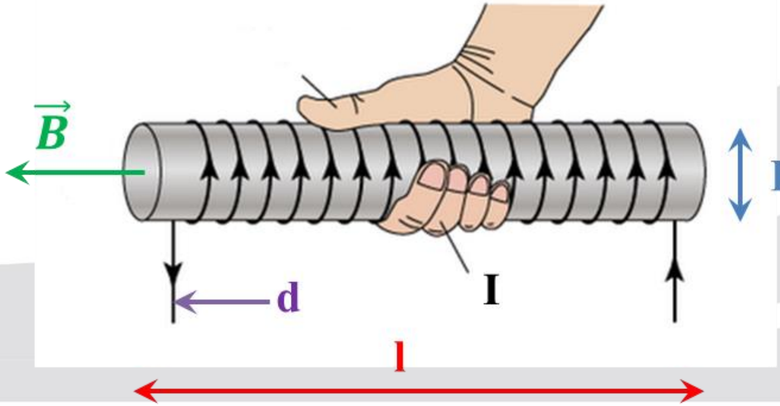
- ***Ống dây điện thẳng dài vô hạn*** ($l \geq 10D$): cuộn dây hình xuyến có $R_1 = R_2 = \infty$
- Cường độ từ trường H tại mọi điểm bên trong ống dây đều bằng nhau và bằng:

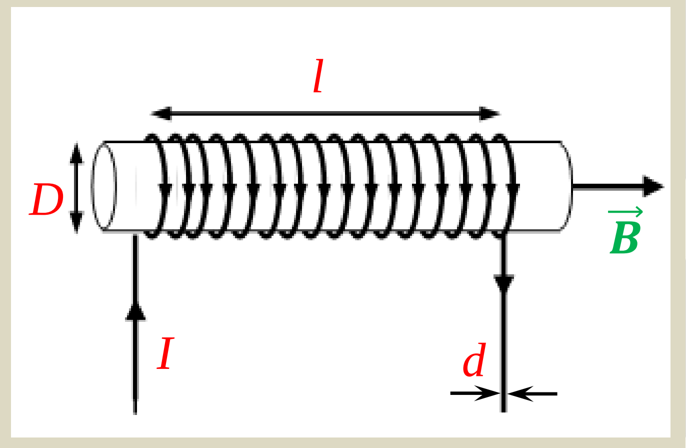
$$\boldsymbol{H = n_0.I}$$

- Cảm ứng từ B trong ống dây điện:

$$\boldsymbol{B = \mu.\mu_0.H = \mu.\mu_0.n_0.I}$$

với $n_0 = \frac{N}{l}$ - mật độ vòng dây [vòng dây/m]



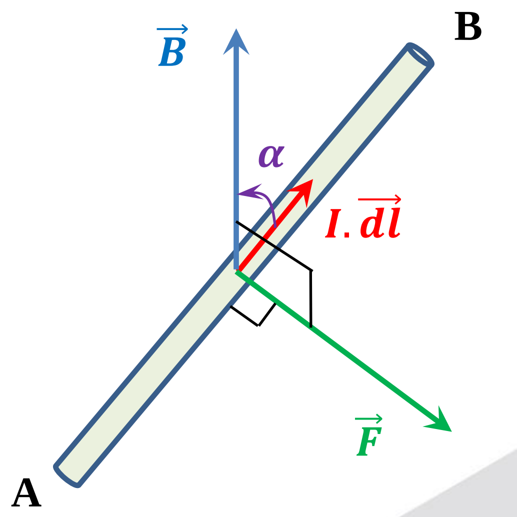


§5: Từ lực

Tác dụng của từ trường lên một phần tử dòng điện $\boldsymbol{I.\overrightarrow{dl}}$

- Nếu ta đặt một phần tử dòng điện $\boldsymbol{I.\overrightarrow{dl}}$ tại một điểm M trong từ trường, ở đó vectơ cảm ứng từ $\boldsymbol{\vec{B}}$, thì phần tử đó sẽ chịu một từ lực $\boldsymbol{\overrightarrow{dF}}$ tác dụng là:

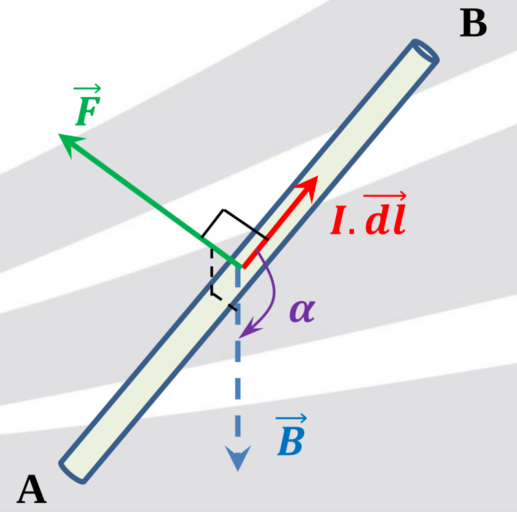
$$\overrightarrow{dF} = I.\overrightarrow{dl} \wedge \vec{B}$$



Lực từ $\vec{F}$ [N] tác dụng lên một đoạn dây dẫn thẳng dài l [m], mang điện I [A], được đặt trong một từ trường đều $\vec{B}$ [T]

- Ta có: $\vec{F} = \int_{(l)} \overrightarrow{dF} = \int_{(l)} (I.\overrightarrow{dl} \wedge \vec{B})$
- Khi đó, nếu đoạn dây dẫn thẳng mang điện nằm trong từ trường đều (các $\overrightarrow{dl}$ cùng chiều, $\vec{B}$ tại mọi điểm trên dây là như nhau => $\overrightarrow{dF}$ cùng chiều), thì:

$$\boldsymbol{\vec{F} = \int_{(l)} \overrightarrow{dF} = \int_{(l)} (I.\overrightarrow{dl} \wedge \vec{B}) = I.\vec{l} \wedge \vec{B}} \qquad \text{với } \alpha\ (I.\vec{l}, \vec{B})$$

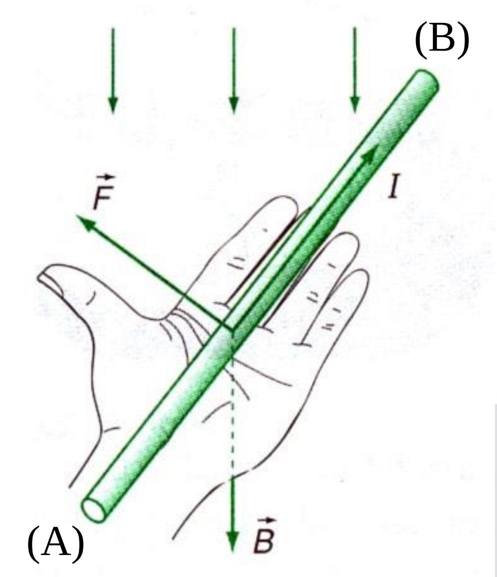


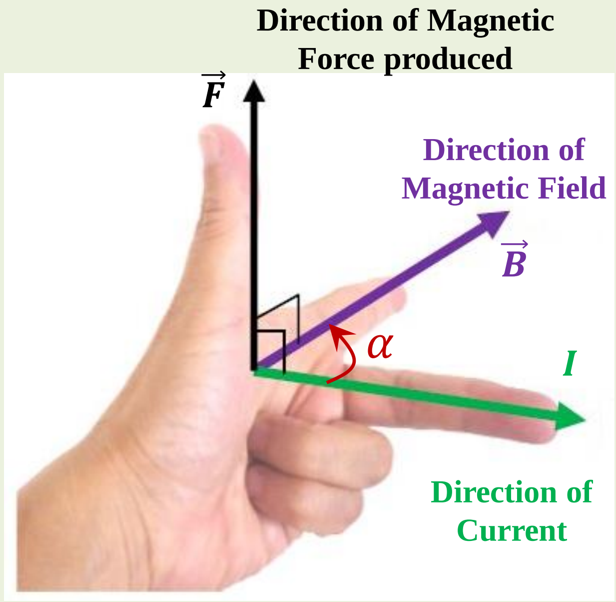
§5. Từ lực

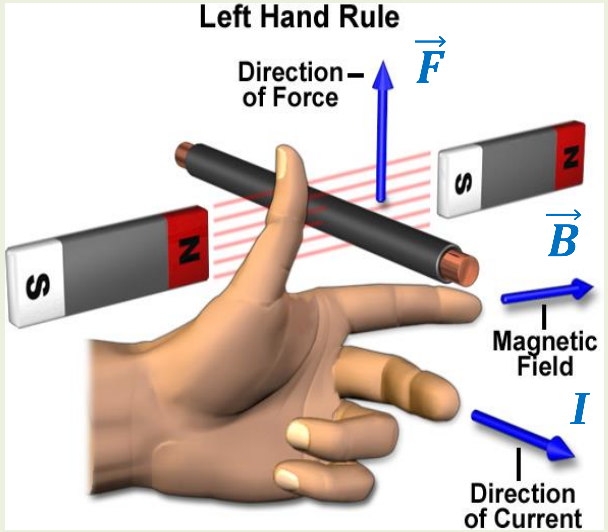
$$\vec{F} = \int_{(l)} \overrightarrow{dF} = \int_{(l)} (I.\overrightarrow{dl} \wedge \vec{B}) = I.\vec{l} \wedge \vec{B}$$

$\vec{F}$

- Phương: nằm trong mặt phẳng vuông góc với mặt phẳng chứa $(I.\vec{l}, \vec{B})$
- Chiều: được xác định bởi quy tắc bàn tay trái
- Độ lớn: F = I.l.B.sin$\alpha(I.\vec{l}, \vec{B})$







➢ ***Quy tắc bàn tay trái (xác định chiều của lực từ $\vec{F}$)***: nếu đặt bàn tay trái theo phương của dòng điện để **dòng điện I** đi từ cổ tay đên đầu các ngón tay, và để **từ trường $\vec{B}$** xuyên vào lòng bàn tay, thì chiều của ngón tay cái dang ra là chiều của **từ lực $\vec{F}$**

§5: Từ lực

Công của Từ lực A[J]

Xét 1 thanh kim loại AB, dài l, trượt trên 2 dây kim loại song song của một mạch điện. Giả sử mạch điện nằm trong từ trường đều và vuông góc với $\vec{B}$ của từ trường

- Chia quỹ đạo dịch chuyển (1)(2) thành các đoạn chuyển dời $\overrightarrow{ds}$ vô cùng nhỏ, sao cho: ds là thẳng và F = const

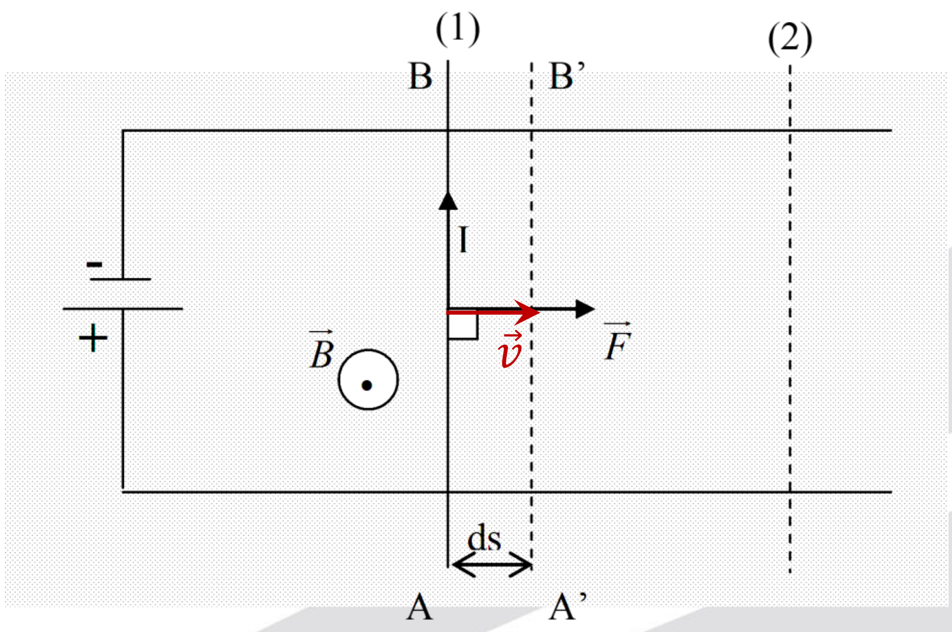
Khi đó: $dA = \vec{F}.\overrightarrow{ds} = F.ds.\cos(\vec{F},\overrightarrow{ds}) = F.ds$ (1)

Mà ta biết: $\vec{F} = I.\vec{l} \wedge \vec{B}$ => $F = I.l.B.\sin(I.\vec{l},\vec{B}) = I.l.B$ (2)

- Từ (1) và (2), được: $dA = I.l.B.ds = I.B.dS$ với dS = l.ds
- Mặt khác: $B.dS = d\Phi_m$ nên: $dA = I.d\Phi_m$

- Vậy, trên cả chuyển dời của thanh AB từ (1) đến (2):

$$A = \int dA = \int_{(1)}^{(2)} I.d\Phi_m = I.\int_{(1)}^{(2)} d\Phi_m$$



- **Biểu thức:**

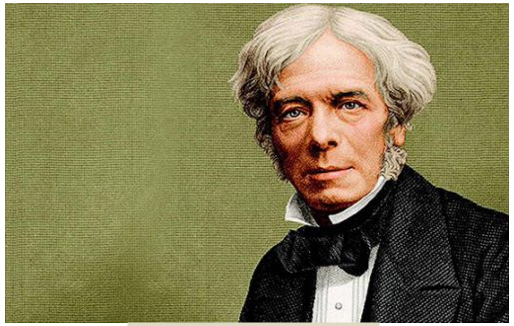
$$A = I.\Delta\emptyset = I.(\emptyset_{m2} - \emptyset_{m1})$$

với: I – cường độ dòng điện chạy trong mạch [A]

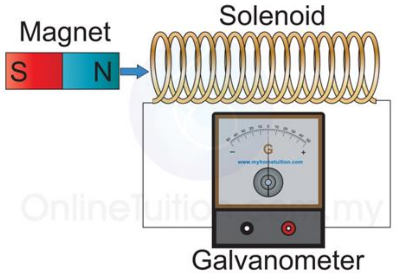
$\Delta\emptyset = \emptyset_{m2} - \emptyset_{m1}$ - độ biến thiên của từ thông gửi qua diện tích của mạch điện [Wb]

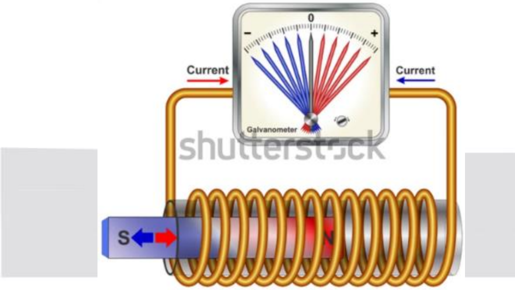
§6: Hiện tượng cảm ứng điện từ

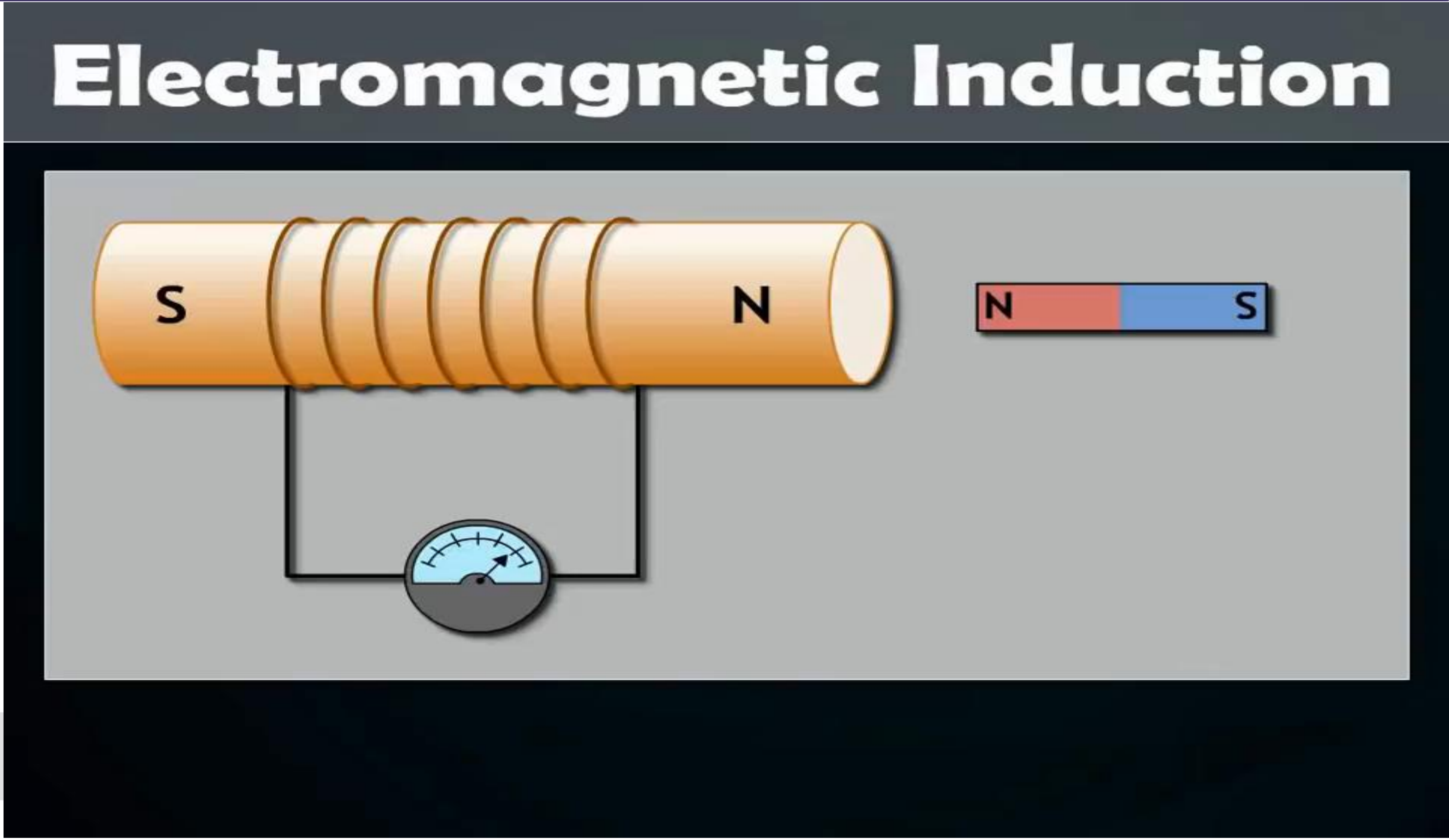
➢ ***Thí nghiệm Faraday***



1791 - 1867

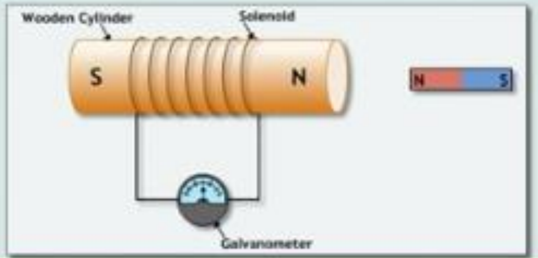




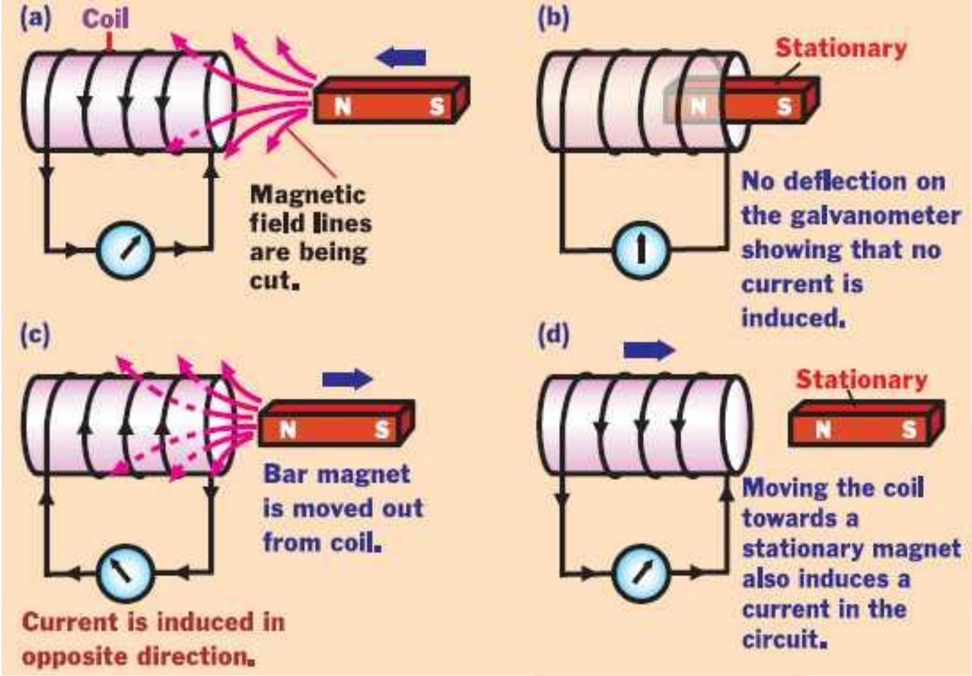


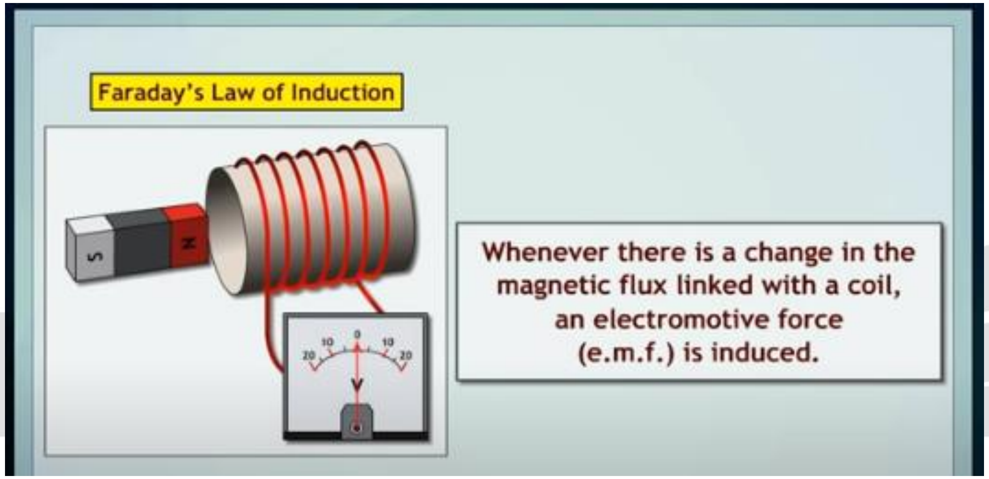
§6: Hiện tượng cảm ứng điện từ

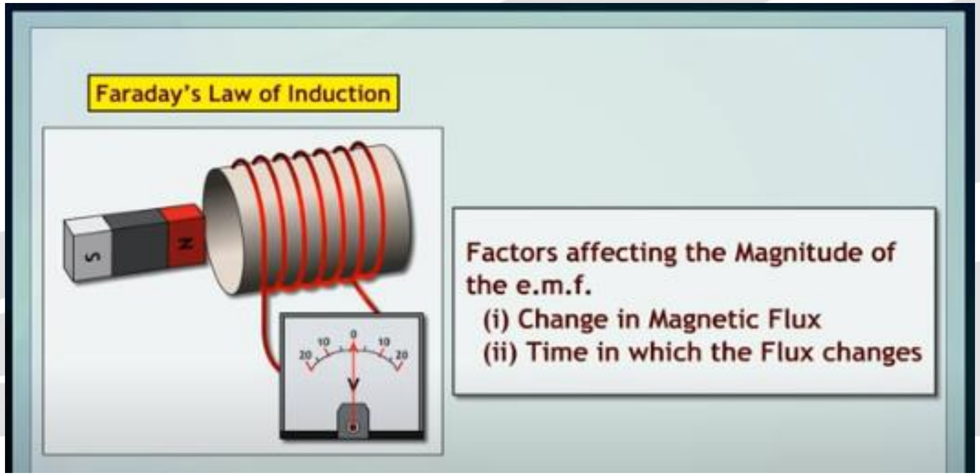
➢ *Thí nghiệm Faraday*



Position of Magnet	Deflection in Galvanometer
Magnet at rest	No deflection in galvanometer
Magnet moves towards the coil	Deflection in galvanometer in one direction
Magnet is held stationary at same position (near the coil)	No deflection in galvanometer
Magnet moves away from the coil	Deflection in galvanometer but in opposite direction
Mgnet is held stationary at same position (away from the coil)	No deflection in galvanometer



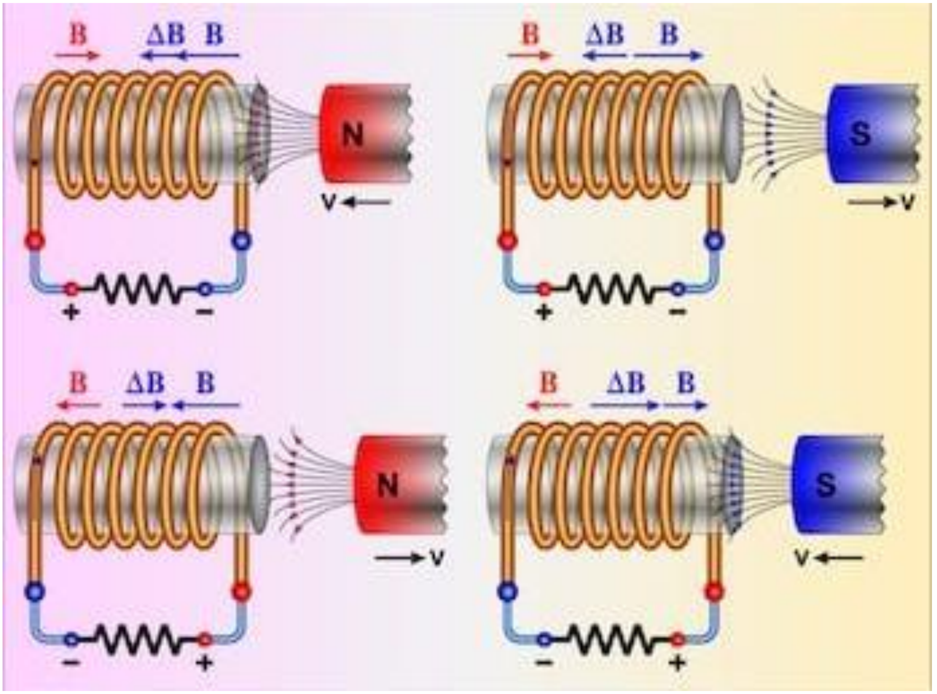




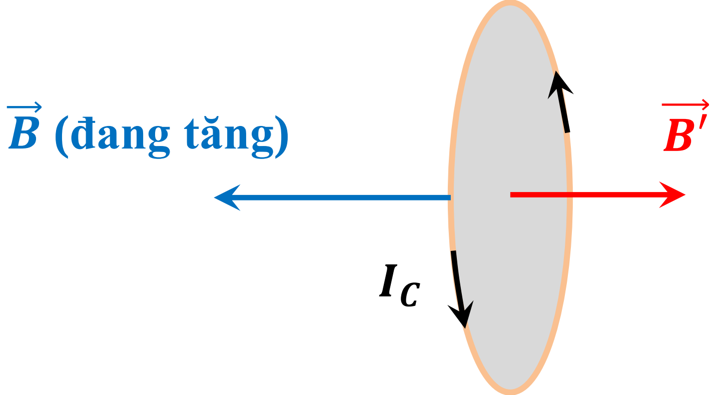
§6: Hiện tượng cảm ứng điện từ

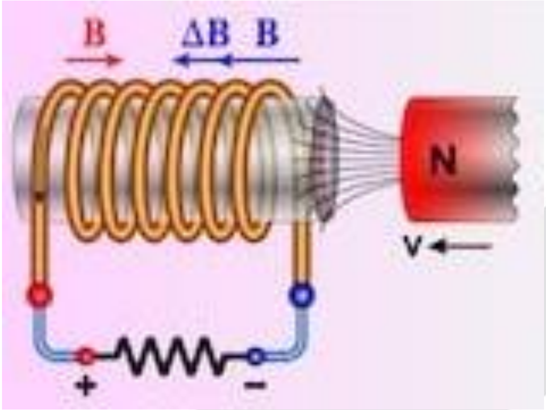
➢ ***Định luật Lenz**: (tổng quát về chiều của dòng điện cảm ứng)*

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

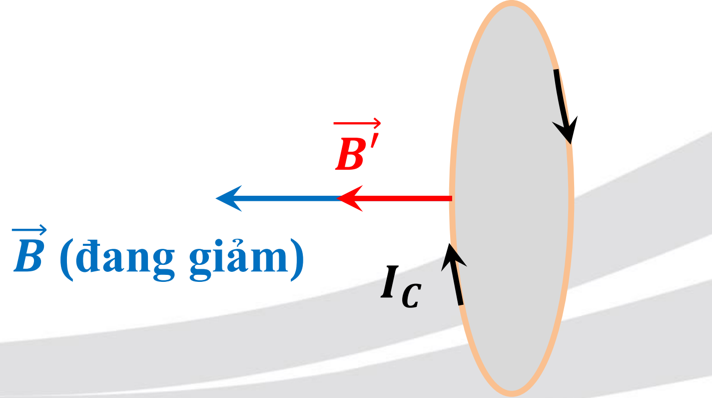


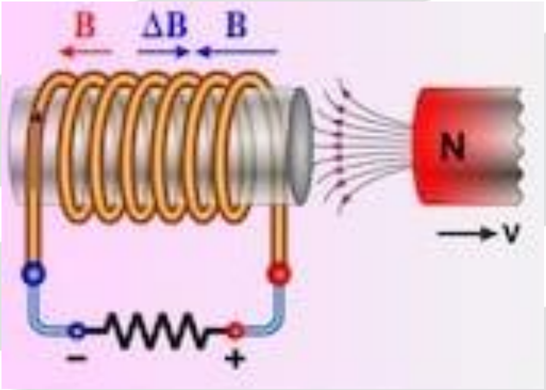
Đưa thanh nam châm vào ống dây điện





Rút thanh nam châm ra khỏi ống dây điện





I_C : *cường độ dòng điện cảm ứng [A]*

- $\vec{B}$: *từ trường do thanh nam châm sinh ra [T]*
- $\vec{B'}$: *từ trường do dòng I_C sinh ra [T]*

§6: Hiện tượng cảm ứng điện từ

➢ ***Suất điện động cảm ứng*** **E_C [V]**

- ***Biểu thức***: $E_C = -\frac{d\Phi_m}{dt}$

- ***Phát biểu***: Suất điện động cảm ứng luôn luôn bằng về trị số, nhưng trái dấu với tốc độ biến thiên của từ thông gửi qua diện tích của mạch điện

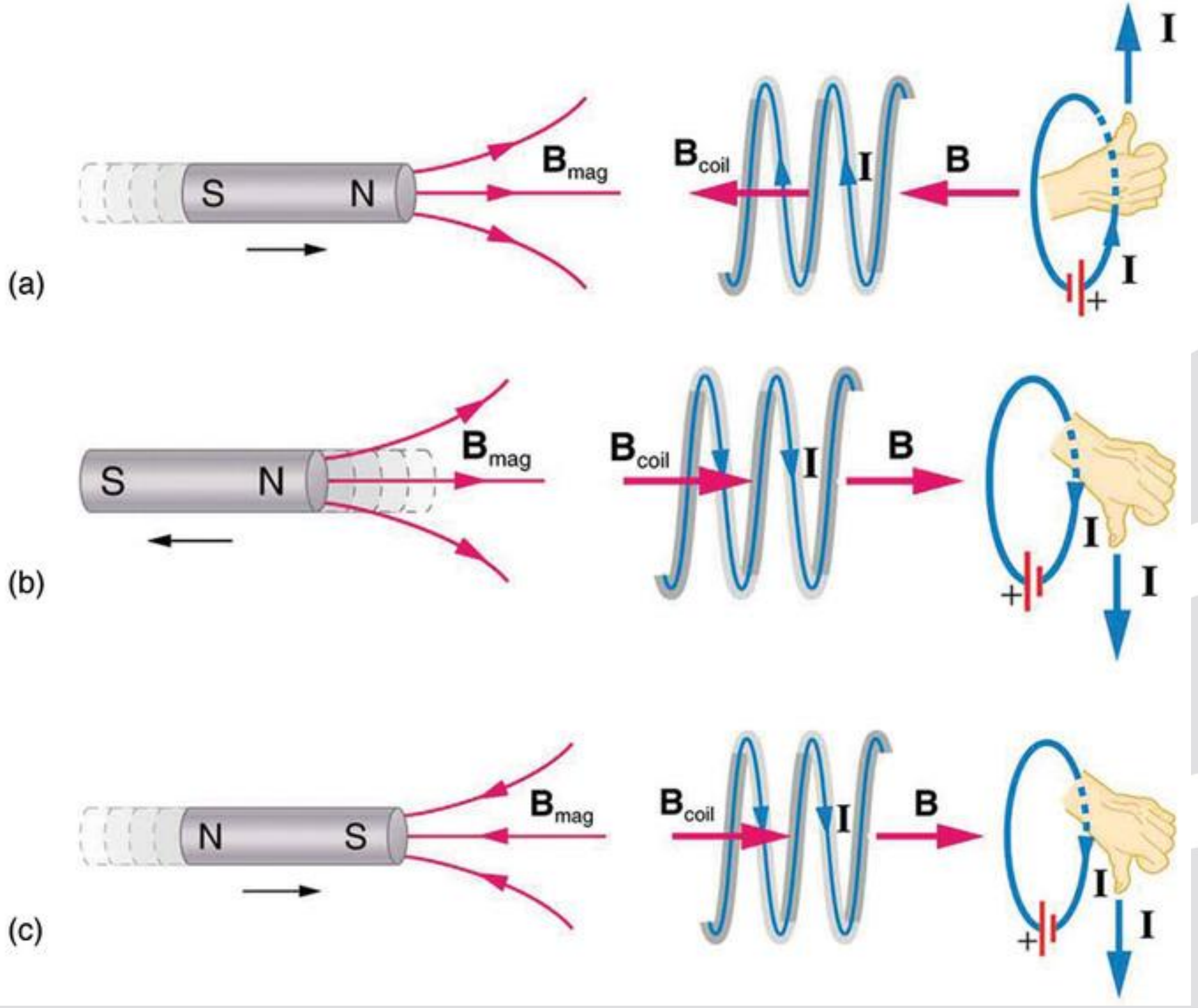
- ***Trong đó:***

- dấu "-": là biểu hiện về mặt toán học của định luật Lenz

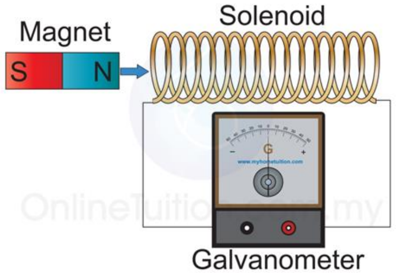
- về độ lớn: $E_C = \left|-\frac{d\Phi_m}{dt}\right|$

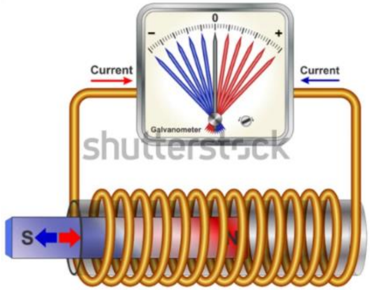
- $\Phi_m = \vec{B}.\vec{S}$ - từ thông gửi qua diện tích (S) [Wb] (1 vòng dây quấn)

- $\vec{B}$ - từ trường ngoài đặt vào [T]

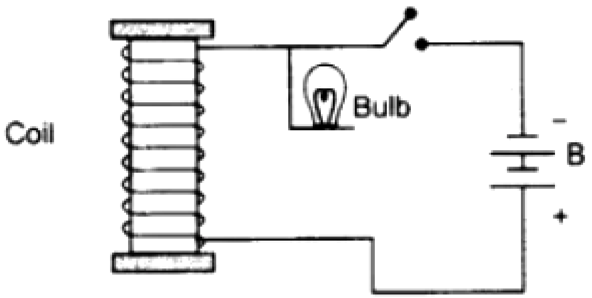


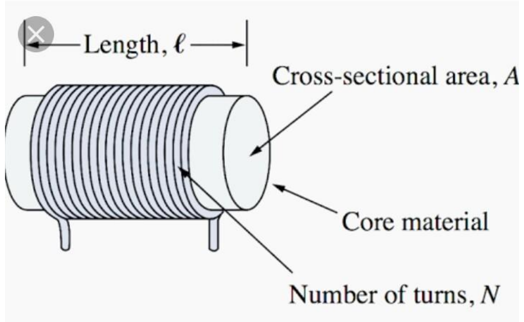
§6: Hiện tượng cảm ứng điện từ





§7: Hiện tượng tự cảm





§7: Hiện tượng tự cảm

- ***Hiện tượng tự cảm***: là hiện tượng khi ta làm thay đổi cường độ dòng điện I trong mạch điện để từ thông Φ_m do chính dòng điện I đó gửi qua diện tích của mạch thay đổi, thì trong mạch xuất hiện một dòng điện tự cảm I_{tc}.

- ***Suất điện động tự cảm $E_{tc}[V]$***

Ta biết: $E_C = E_{tc} = -\frac{d\Phi_m}{dt}$

mà $\Phi_m = L.I$

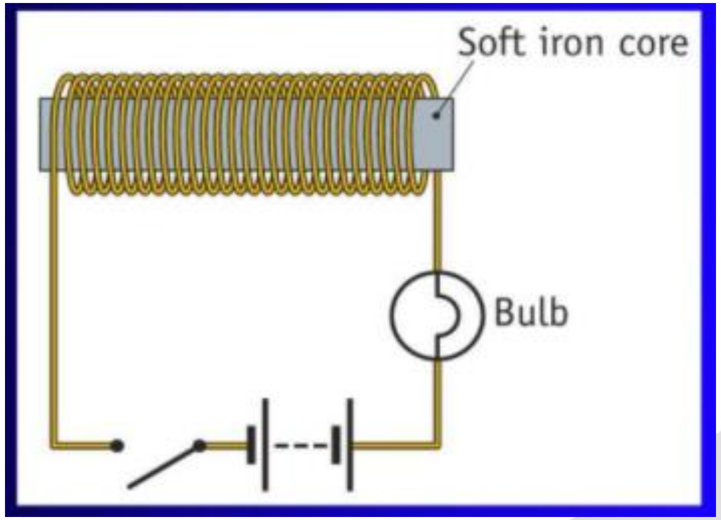
$$E_{tc} = -\frac{d(L.I)}{dt} = -L.\frac{dI}{dt}$$

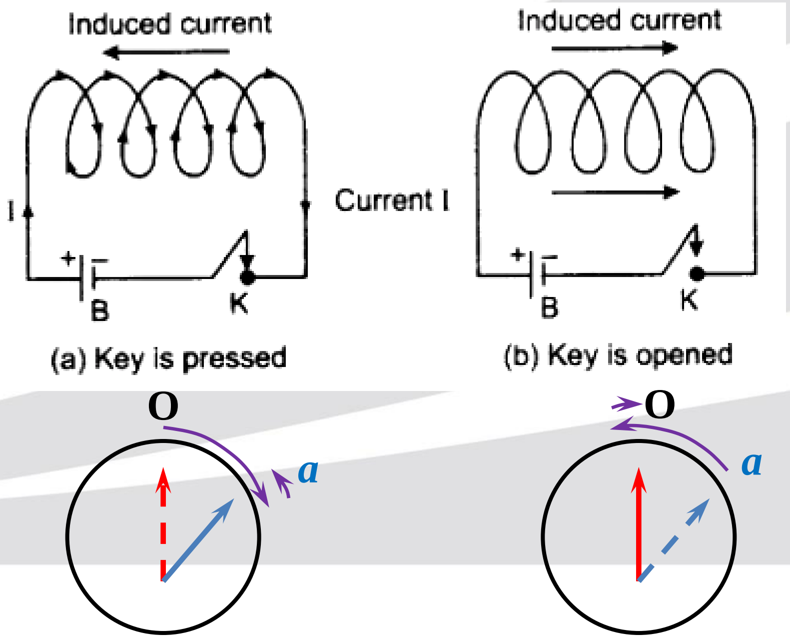
(trường hợp mạch điện đứng yên và không thay đổi hình dạng)

- *trong đó:*

✓ L – hệ số tự cảm của ống dây điện [H]

✓ $\frac{dI}{dt}$ - tốc độ biến thiên của cường độ dòng điện trong mạch điện theo thời gian [A/s]



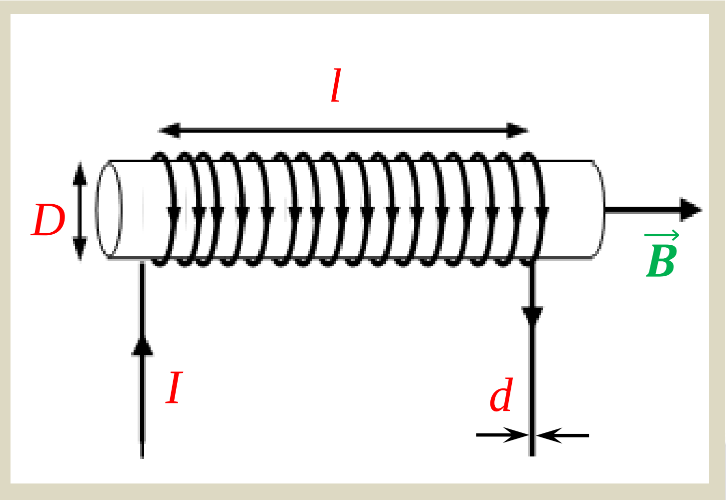


§7: Hiện tượng tự cảm

Ta biết: $L = \frac{\Phi_m}{I}$ (*ống dây điện thẳng:* $\boldsymbol{H = n_0.I}$; $\boldsymbol{B = \mu.\mu_0.H = \mu.\mu_0.n_0.I}$)

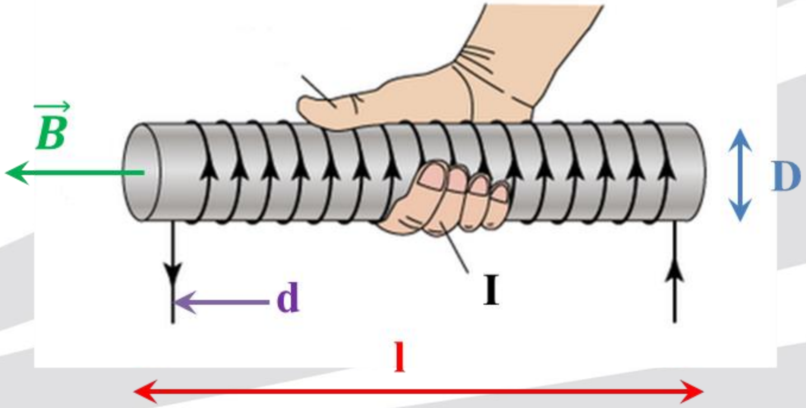
với $\Phi_m = N.B.S = N.\boldsymbol{\mu.\mu_0.n_0.I}.S = N.\boldsymbol{\mu.\mu_0}.\frac{N}{l}.\boldsymbol{I}.S = \boldsymbol{\mu.\mu_0}.\frac{N^2.S}{l}.I$

Vậy: $\boldsymbol{L} = \frac{\mu.\mu_0.\frac{N^2.S}{l}.I}{I} = \boldsymbol{\mu.\mu_0.\frac{N^2}{l}.S}$ hoặc $\boldsymbol{L = \mu.\mu_0.n_0^2.V}$



trong đó:

- μ - hằng số **từ** môi của môi trường $\boldsymbol{D}$ – đường kính của ống dây điện [m]
- $\mu_0 = 4\pi.10^{-7}$ (H/m) - hằng số từ môi
- N – số vòng dây quấn [vòng dây] $\boldsymbol{d}$ – đường kính của sợi dây điện quấn [m]
- l – chiều dài ống dây điện [m]
- $n_0 = \frac{N}{l} = số\ lớp.\frac{1}{d} = k.\frac{1}{d}$ - mật độ vòng dây [vòng dây/m]
- $S = \pi.\frac{D^2}{4}$ - tiết diện ngang của ống dây [m²]
- $V = S.l$ - thể tích ống dây điện [m³]



➢ ***<u>Lưu ý</u>***: $E_{tc} = -\frac{d(L.I)}{dt} = -L.\frac{dI}{dt}$, dấu "-": là biểu hiện về mặt toán học của đ/l Lenz, còn về độ lớn: $E_{tc} = \left|-L.\frac{dI}{dt}\right|$

§8: Năng lượng từ trường

❖ **Năng lượng từ trường W_m [J]**

Ta biết: từ trường trong ống dây điện thẳng và dài là từ trường đều, chỉ tồn tại trong lòng ống dây đó.

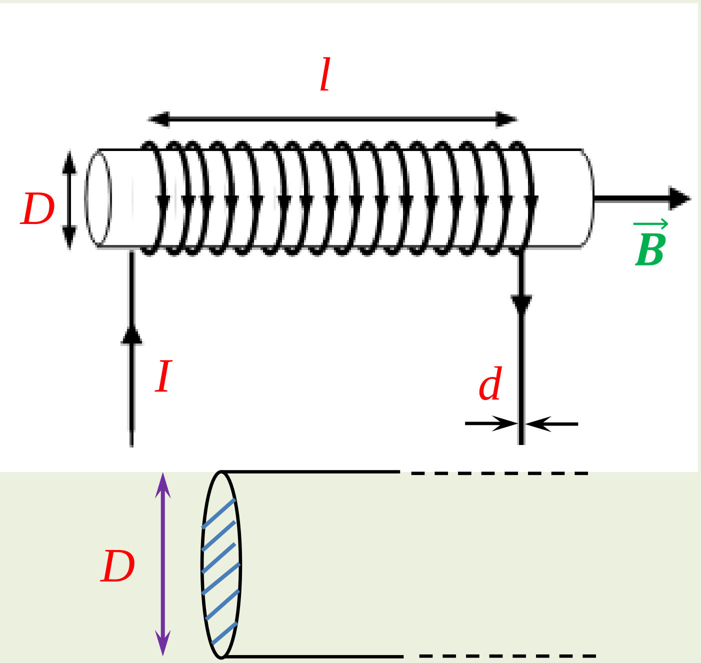
Biểu thức: Năng lượng từ trường của ống dây điện thẳng: $W_m = \frac{1}{2}.L.I^2$

mà: $L = \mu.\mu_0.n_0^2.V$

$=> W_m = \frac{1}{2}.\mu.\mu_0.n_0^2.I^2.V$

mặt khác, ống dây điện thẳng thì: $H = n_0.I;\ B = \mu.\mu_0.H = \mu.\mu_0.n_0.I$

Vậy: $$W_m = \frac{1}{2}.L.I^2 = \frac{1}{2}.B.H.V \qquad (*)$$



❖ **Mật độ năng lượng từ trường w_m [J/m³]**

Ta có: $$w_m = \frac{W_m}{V} = \frac{1}{2}.\frac{L.I^2}{V} = \frac{1}{2}.B.H \qquad (**)$$

trong đó:

- L – hệ số tự cảm của ống dây điện [H]
- I - cường độ dòng điện chạy trong mạch điện [A]
- B – cảm ứng từ trong lòng ống dây điện [T]
- H – cường độ từ trường trong lòng ống dây điện [A/m]
- $V = S.l$ - thể tích ống dây điện [m³] với $S = \pi.\frac{D^2}{4}$ - tiết diện ngang của ống dây [m²]

§8: Năng lượng từ trường

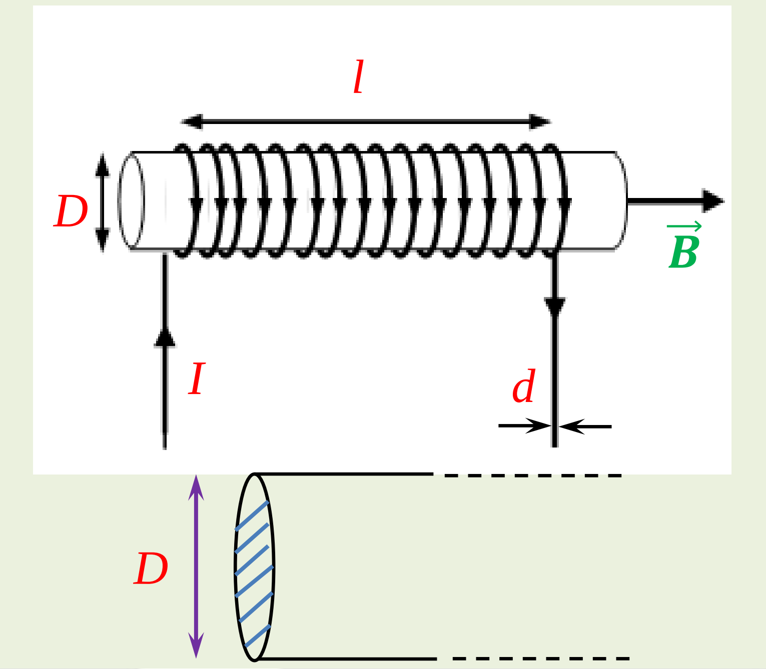
➢ ***Ta có:*** để tính năng lượng của một từ trường bất kỳ, ta chia không gian V của từ trường đó thành những phần thể tích vô cùng nhỏ dV, sao cho trong mỗi thể tích dV ấy, cảm ứng từ B là đều. Như vậy:

mật độ năng lượng từ trường tại các phần thể tích vô cùng nhỏ dV (tại các điểm) trong không gian của từ trường là như nhau và bằng: $\boldsymbol{w_m = \frac{1}{2}.B.H}$

➢ ***Mà ta biết***: trong thể tích dV thì: $w_m = \frac{dW_m}{dV} \Rightarrow dW_m = w_m.dV$

Vậy: năng lượng của một từ trường (có thể tích không gian V) bất kỳ,

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



trong đó:

- B – cảm ứng từ trong lòng ống dây điện [T]
- H – cường độ từ trường trong lòng ống dây điện [T]
- $V = S.l$ - thể tích ống dây điện [m^3]

với $S = \pi.\frac{D^2}{4}$ - tiết diện ngang của ống dây [m^2]