



TRƯỜNG ĐẠI HỌC  
BÁCH KHOA HÀ NỘI



Nguyễn Công Phương

# Lý thuyết trường điện từ

Lực từ & điện cảm

# Nội dung

- I. Giới thiệu
- II. Giải tích véctor
- III. Luật Coulomb & cường độ điện trường
- IV. Dịch chuyển điện, luật Gauss & divergence
- V. Năng lượng & điện thế
- VI. Dòng điện & vật dẫn
- VII. Điện môi & điện dung
- VIII. Các phương trình Poisson & Laplace
- IX. Từ trường dừng
- X. Lực từ & điện cảm**
- XI. Trường biến thiên & hệ phương trình Maxwell
- XII. Sóng phẳng
- XIII. Phản xạ & tán xạ sóng phẳng
- XIV. Dẫn sóng & bức xạ

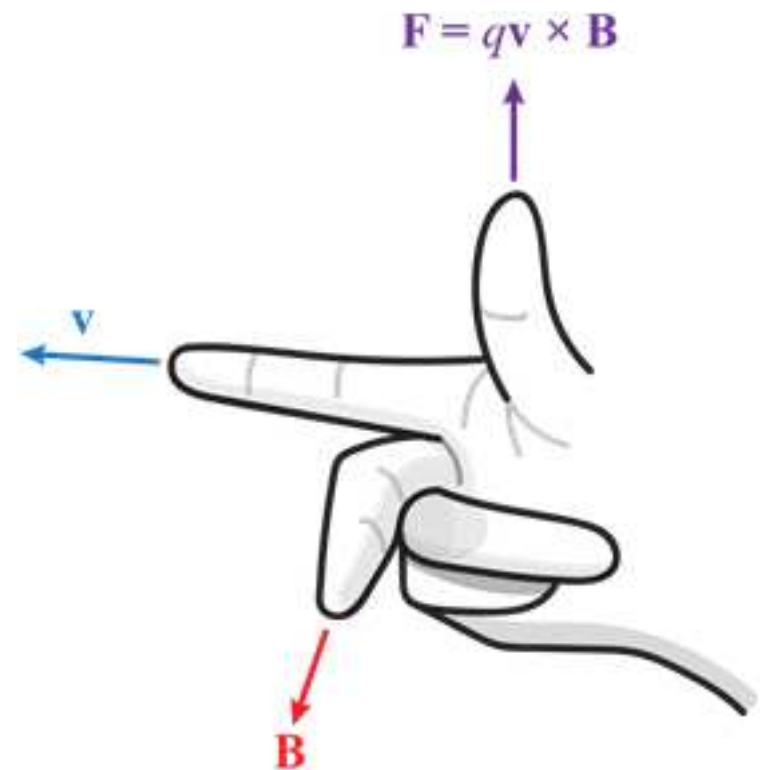


## Lực từ & điện cảm

1. Lực tác dụng lên điện tích chuyển động
2. Lực tác dụng lên nguyên tố dòng
3. Lực giữa các nguyên tố dòng
4. Lực & mô men tác dụng lên một mạch kín
5. Cường độ phân cực từ & từ thẩm
6. Điều kiện bờ từ trường
7. Mạch từ
8. Điện cảm & hồ cảm

## Lực tác dụng lên điện tích chuyển động (1)

- Trong điện trường:  $\mathbf{F} = Q\mathbf{E}$
- Lực (điện) này trùng với hướng của điện trường,
- Trong từ trường:  $\mathbf{F} = Q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$
- Lực (từ) này vuông góc với vận tốc  $\mathbf{v}$  của điện tích & với cường độ từ cảm  $\mathbf{B}$ ,
- Trong điện từ trường:  $\mathbf{F} = Q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$
- (lực Lorentz)



<https://www.shmoop.com/electricity-magnetism/lorentz-force.html>

## VD1 Lực tác dụng lên điện tích chuyển động (2)

Một điện tích điểm  $Q = 18 \text{ nC}$  có vận tốc  $5 \cdot 10^6 \text{ m/s}$  theo hướng  $\mathbf{a}_v = 0,04\mathbf{a}_x - 0,05\mathbf{a}_y + 0,2\mathbf{a}_z$ .  
 Tính độ lớn của lực tác dụng lên điện tích do các trường sau gây ra:  
 a)  $\mathbf{B} = -3\mathbf{a}_x + 4\mathbf{a}_y + 6\mathbf{a}_z \text{ mT}$ ; b)  $\mathbf{E} = -3\mathbf{a}_x + 4\mathbf{a}_y + 6\mathbf{a}_z \text{ kV/m}$ ; c) cả  $\mathbf{B}$  &  $\mathbf{E}$ .

$$\mathbf{F}_B = Q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

$$\mathbf{v} = v \frac{\mathbf{a}_v}{|\mathbf{a}_v|} = 5 \cdot 10^6 \frac{0,04\mathbf{a}_x - 0,05\mathbf{a}_y + 0,2\mathbf{a}_z}{\sqrt{0,04^2 + 0,05^2 + 0,2^2}}$$

$$= 5 \cdot 10^6 (0,19\mathbf{a}_x - 0,24\mathbf{a}_y + 0,95\mathbf{a}_z) \text{ m/s}$$

$$\rightarrow \mathbf{F}_B = Q\mathbf{v} \times \mathbf{B} = Q \begin{vmatrix} \mathbf{a}_x & \mathbf{a}_y & \mathbf{a}_z \\ v_x & v_y & v_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix} = 18 \cdot 10^{-9} \cdot 5 \cdot 10^6 \begin{vmatrix} \mathbf{a}_x & \mathbf{a}_y & \mathbf{a}_z \\ 0,19 & -0,24 & 0,95 \\ -3 & 4 & 6 \end{vmatrix}$$

$$= -0,47\mathbf{a}_x - 0,36\mathbf{a}_y + 0,0036\mathbf{a}_z \text{ mN}$$

$$\rightarrow F_B = |\mathbf{F}_B| = \sqrt{0,47^2 + 0,36^2 + 0,0036^2} = 0,5928 \text{ mN}$$

## VD1 Lực tác dụng lên điện tích chuyển động (3)

Một điện tích điểm  $Q = 18 \text{ nC}$  có vận tốc  $5 \cdot 10^6 \text{ m/s}$  theo hướng  $\mathbf{a}_v = 0,04\mathbf{a}_x - 0,05\mathbf{a}_y + 0,2\mathbf{a}_z$ .  
Tính độ lớn của lực tác dụng lên điện tích do các trường sau gây ra:  
a)  $\mathbf{B} = -3\mathbf{a}_x + 4\mathbf{a}_y + 6\mathbf{a}_z \text{ mT}$ ; b)  $\mathbf{E} = -3\mathbf{a}_x + 4\mathbf{a}_y + 6\mathbf{a}_z \text{ kV/m}$ ; c) cả  $\mathbf{B}$  &  $\mathbf{E}$ .

$$\mathbf{F}_E = Q\mathbf{E} = 18 \cdot 10^{-9}(-3\mathbf{a}_x + 4\mathbf{a}_y + 6\mathbf{a}_z)$$

$$F_B = 0,5928 \text{ mN}$$

$$\rightarrow F_E = |\mathbf{F}_E| = 18 \cdot 10^{-9} \sqrt{3^2 + 4^2 + 6^2} = \boxed{0,1406 \text{ mN}}$$

$$\mathbf{F}_{EB} = Q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) = \mathbf{F}_E + \mathbf{F}_B$$

$$= 18 \cdot 10^{-6}(-3\mathbf{a}_x + 4\mathbf{a}_y + 6\mathbf{a}_z) +$$

$$+ (-0,47\mathbf{a}_x - 0,36\mathbf{a}_y + 0,0036\mathbf{a}_z) \cdot 10^{-3}$$

$$= -0,53\mathbf{a}_x - 0,29\mathbf{a}_y + 0,11\mathbf{a}_z \text{ mN}$$

$$\rightarrow F_{EB} = |\mathbf{F}_{EB}| = \sqrt{0,53^2 + 0,29^2 + 0,11^2} = \boxed{0,6141 \text{ mN}}$$

## **VD2** Lực tác dụng lên điện tích chuyển động (4)

Một điện tích điểm  $Q$  C chuyển động đều với vận tốc  $\mathbf{v} = \mathbf{a}_x + \mathbf{a}_y$  m/s. Giả sử  $\mathbf{B} = \mathbf{a}_x - 2\mathbf{a}_z$  T, tìm  $\mathbf{E}$ .

$$\mathbf{F} = Q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) = 0$$

$$\rightarrow \mathbf{E} = -\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

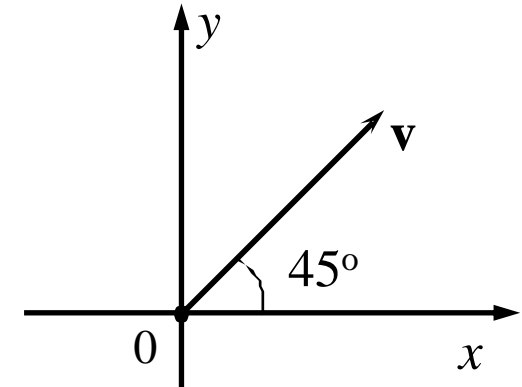
$$= -(\mathbf{a}_x + \mathbf{a}_y) \times (\mathbf{a}_x - 2\mathbf{a}_z)$$

$$= 2\mathbf{a}_x - 2\mathbf{a}_y + \mathbf{a}_z \text{ V/m}$$

### VD3 Lực tác dụng lên điện tích chuyển động (5)

Cho từ cảm  $\mathbf{B} = 10^{-2} \mathbf{a}_x$  T, tính lực tác dụng lên một điện tử chuyển động với vận tốc  $10^7$  m/s:

- Theo các hướng  $x$ ,  $y$ , &  $z$ ?
- Trong mặt phẳng  $xOy$  & nghiêng  $45^\circ$  so với trục  $x$ ?



$$\mathbf{F}_x = Q\mathbf{v} \times \mathbf{B} = Q(10^7 \mathbf{a}_x \times 10^{-2} \mathbf{a}_x) = 0$$

$$\mathbf{F}_y = Q\mathbf{v} \times \mathbf{B} = -1.6 \times 10^{-19} (10^7 \mathbf{a}_y \times 10^{-2} \mathbf{a}_x) = 1.6 \times 10^{-14} \mathbf{a}_z \text{ N}$$

$$\mathbf{F}_z = Q\mathbf{v} \times \mathbf{B} = -1.6 \times 10^{-19} (10^7 \mathbf{a}_z \times 10^{-2} \mathbf{a}_x) = -1.6 \times 10^{-14} \mathbf{a}_y \text{ N}$$

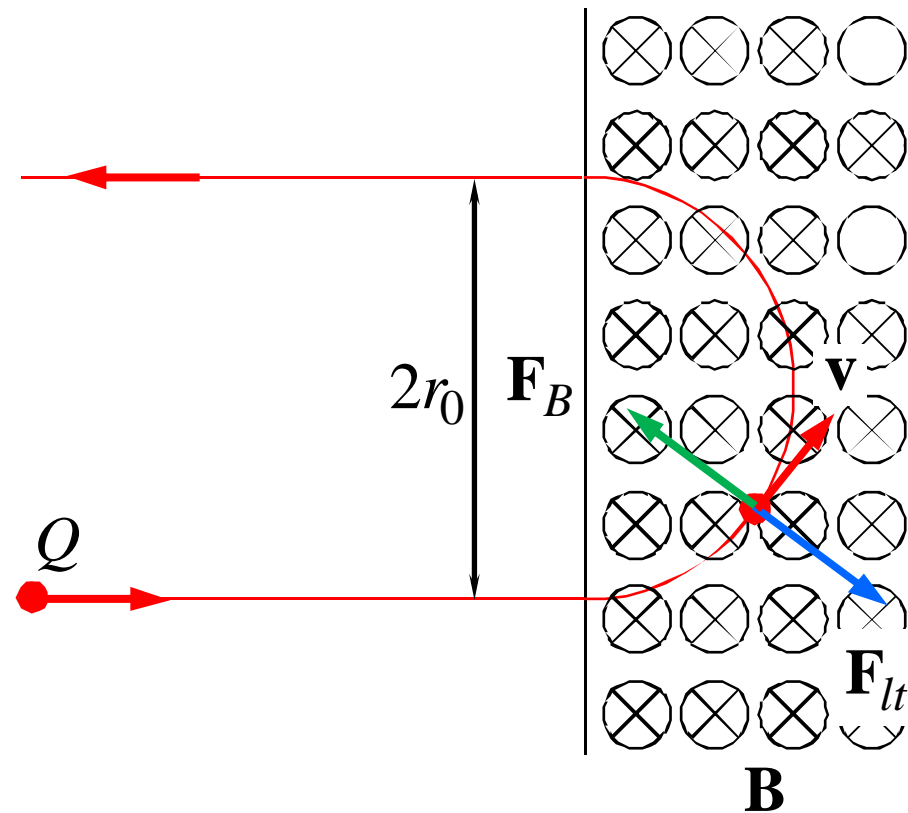
$$\mathbf{v} = (\cos 45^\circ \mathbf{a}_x + \sin 45^\circ \mathbf{a}_y) 10^7 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{F} &= Q\mathbf{v} \times \mathbf{B} = -1.6 \times 10^{-19} (\cos 45^\circ \mathbf{a}_x + \sin 45^\circ \mathbf{a}_y) 10^7 \times 10^{-2} \mathbf{a}_x \\ &= 1.13 \times 10^{-14} \mathbf{a}_z \text{ N} \end{aligned}$$



## VD4 Lực tác dụng lên điện tích chuyển động (6)

$$\begin{aligned} \mathbf{F}_B &= Q\mathbf{v} \times \mathbf{B} \\ F_{lt} &= \frac{mv^2}{r_0} \\ F_{lt} &= F_B \\ \rightarrow \frac{mv^2}{r_0} &= QvB \\ \rightarrow r_0 &= \frac{mv}{QB} \end{aligned}$$



## Lực từ & điện cảm

1. Lực tác dụng lên điện tích chuyển động
- 2. Lực tác dụng lên nguyên tố dòng**
3. Lực giữa các nguyên tố dòng
4. Lực & mô men tác dụng lên một mạch kín
5. Cường độ phân cực từ & từ thẩm
6. Điều kiện bờ từ trường
7. Mạch từ
8. Điện cảm & hồ cảm

## Lực tác dụng lên nguyên tố dòng (1)

- Lực tác dụng lên nguyên tố điện tích:

$$d\mathbf{F} = dQ\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

- Nếu xét một hạt điện tích chảy trong một vật dẫn, lực sẽ tác dụng lên vật dẫn
- Chỉ xét các lực tác dụng lên các vật dẫn có dòng điện
- Đã biết:  $dQ = \rho_v dv$  (chú ý  $dv$  là vi phân thể tích)

$$\rightarrow d\mathbf{F} = \rho_v dv \mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

- Mặt khác:

$$\mathbf{J} = \rho_v \mathbf{v}$$

$$\rightarrow \boxed{d\mathbf{F} = \mathbf{J} \times \mathbf{B} dv}$$

## Lực tác dụng lên nguyên tố dòng (3)

$$\left. \begin{aligned} d\mathbf{F} &= \mathbf{J} \times \mathbf{B} dv \\ \mathbf{J} dv &= Id\mathbf{L} \end{aligned} \right\}$$

$$\rightarrow d\mathbf{F} = Id\mathbf{L} \times \mathbf{B}$$

$$\rightarrow \mathbf{F} = \int_V \mathbf{J} \times \mathbf{B} dv = \oint Id\mathbf{L} \times \mathbf{B} = -I \oint \mathbf{B} \times d\mathbf{L}$$

Đối với một dây dẫn thẳng, đặt trong từ trường đều:

$$\mathbf{F} = I\mathbf{L} \times \mathbf{B}$$

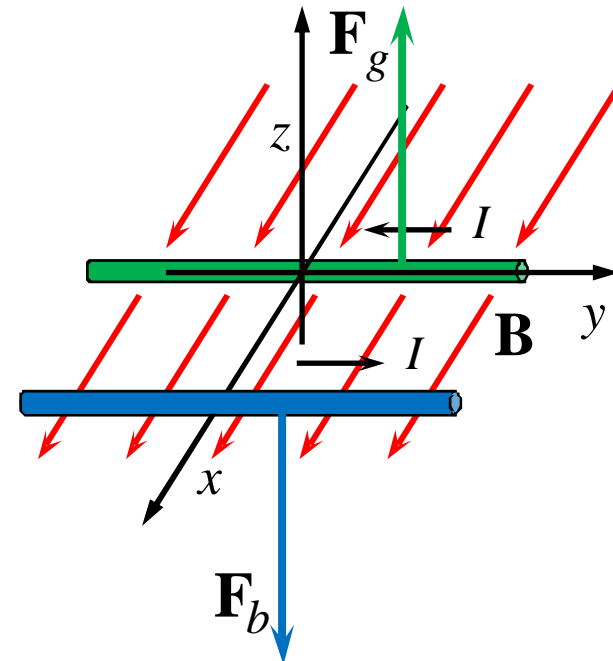
$$F = BIL \sin \theta$$

## VD1 Lực tác dụng lên nguyên tố dòng (4)

Tính lực tác dụng lên dòng điện  $I$  đặt trong từ trường đều  $\mathbf{B}$ .

$$\begin{aligned}\mathbf{F}_g &= I\mathbf{L} \times \mathbf{B} \\ &= I(-L\mathbf{a}_y) \times (B\mathbf{a}_x) \\ &= BIL\mathbf{a}_z\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mathbf{F}_b &= I\mathbf{L} \times \mathbf{B} \\ &= I(L\mathbf{a}_y) \times (B\mathbf{a}_x) \\ &= -BIL\mathbf{a}_z\end{aligned}$$



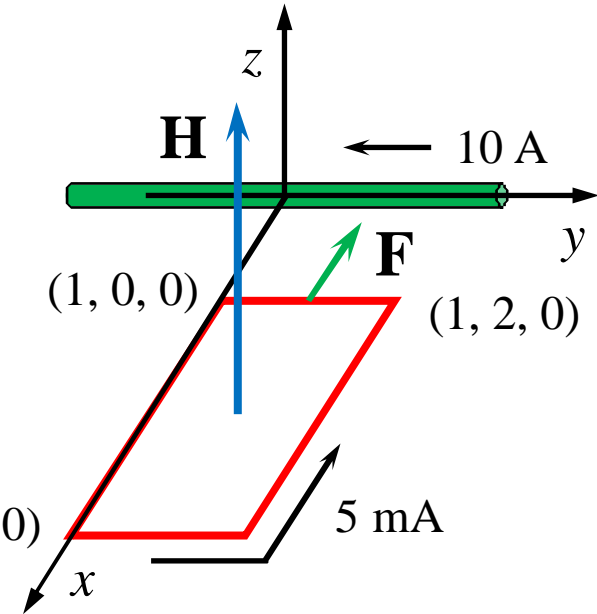
## VD2 Lực tác dụng lên nguyên tố dòng (5)

Tính lực tác dụng lên vòng dây.

$$\mathbf{H} = \frac{I}{2\pi x} \mathbf{a}_z = \frac{10}{2\pi x} \mathbf{a}_z \text{ A/m}$$

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{10}{2\pi x} \mathbf{a}_z = \frac{2 \cdot 10^{-6}}{x} \mathbf{a}_z \text{ T}$$

$$\mathbf{F} = -I \oint \mathbf{B} \times d\mathbf{L} = -5 \cdot 10^{-3} \oint \frac{2 \cdot 10^{-6}}{x} \mathbf{a}_z \times d\mathbf{L}$$



$$= -10^{-8} \left[ \int_{x=1}^3 \frac{\mathbf{a}_z}{x} \times dx \mathbf{a}_x + \int_{y=0}^2 \frac{\mathbf{a}_z}{3} \times dy \mathbf{a}_y + \int_{x=3}^1 \frac{\mathbf{a}_z}{x} \times dx \mathbf{a}_x + \int_{y=2}^0 \frac{\mathbf{a}_z}{1} \times dy \mathbf{a}_y \right]$$

$$= -10^{-8} \left[ \ln x \Big|_1^3 \mathbf{a}_y + \frac{1}{3} y \Big|_0^2 (-\mathbf{a}_x) + \ln x \Big|_3^1 \mathbf{a}_y + y \Big|_2^0 (-\mathbf{a}_x) \right] = \boxed{-1,33 \cdot 10^{-8} \mathbf{a}_x \text{ N}}$$

## VD3 Lực tác dụng lên nguyên tố dòng (6)

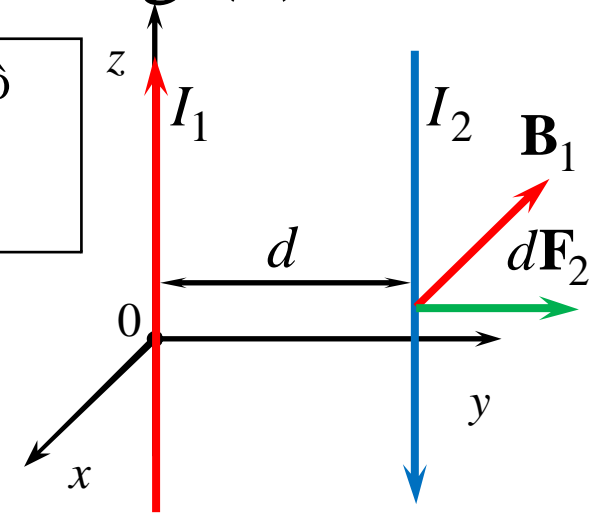
Tính lực trên mỗi mét dài giữa hai sợi dây thẳng & dài vô tận, cách nhau một khoảng  $d$ , mang hai dòng điện bằng nhau và ngược chiều.

$$\mathbf{H} = \frac{I}{2\pi\rho} \mathbf{a}_\varphi$$

$$\mathbf{B}_1 = \mu_0 \mathbf{H}_1 = \mu_0 \frac{I_1}{2\pi\rho} \mathbf{a}_\varphi \bigg|_{\rho=d, \varphi=\pi/2} = -\mu_0 \frac{I_1}{2\pi d} \mathbf{a}_x \text{ T} \quad I_1 = I_2 = I$$

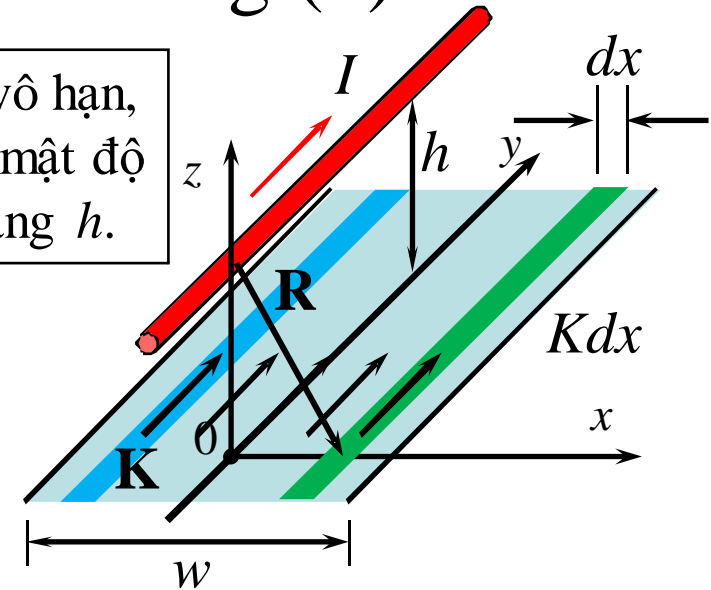
$$d\mathbf{F}_2 = I_2 d\mathbf{L}_2 \times \mathbf{B}_1 = I_2 (-dz_2 \mathbf{a}_z) \times \left( -\mu_0 \frac{I_1}{2\pi d} \mathbf{a}_x \right) = \mu_0 \frac{I_1 I_2}{2\pi d} dz_2 \mathbf{a}_y$$

$$\rightarrow \mathbf{F}_2 = \int_{z_2=0}^1 \mu_0 \frac{I_1 I_2}{2\pi d} dz_2 \mathbf{a}_y = \boxed{\mu_0 \frac{I^2}{2\pi d} \mathbf{a}_y \text{ N/m}}$$



## VD4 Lực tác dụng lên nguyên tố dòng (7)

Tính lực trên mỗi mét dài giữa một dây thẳng & dài vô hạn, mang dòng điện  $I$ , & một dải kim loại dài vô hạn, có mật độ dòng điện mặt  $\mathbf{K}$ . Sợi dây cách dải kim loại một khoảng  $h$ .



$$\mathbf{F} = \mu_0 \frac{I_1 I_2}{2\pi R} \mathbf{a}_R$$

$$\left. \begin{aligned} d\mathbf{F}_g &= \frac{\mu_0 IKdx}{2\pi\sqrt{x^2 + h^2}} \cdot \frac{-h\mathbf{a}_z + x\mathbf{a}_x}{\sqrt{x^2 + h^2}} \\ d\mathbf{F}_b &= \frac{\mu_0 IKdx}{2\pi\sqrt{x^2 + h^2}} \cdot \frac{-h\mathbf{a}_z - x\mathbf{a}_x}{\sqrt{x^2 + h^2}} \end{aligned} \right\}$$

$$\rightarrow d\mathbf{F} = d\mathbf{F}_g + d\mathbf{F}_b = \frac{-\mu_0 IKhdx}{\pi(x^2 + h^2)} \mathbf{a}_z$$

$$\rightarrow \mathbf{F} = \int_0^{w/2} \frac{-\mu_0 IKhdx}{\pi(x^2 + h^2)} \mathbf{a}_z = \left[ -\frac{\mu_0 IK}{\pi} \arctan \frac{w}{2h} \mathbf{a}_z \text{ N/m} \right]$$



## Lực từ & điện cảm

1. Lực tác dụng lên điện tích chuyển động
2. Lực tác dụng lên nguyên tố dòng
- 3. Lực giữa các nguyên tố dòng**
4. Lực & mô men tác dụng lên một mạch kín
5. Cường độ phân cực từ & từ thẩm
6. Điều kiện bờ từ trường
7. Mạch từ
8. Điện cảm & hồ cảm

## Lực giữa các nguyên tố dòng (1)

$$\left. \begin{aligned} d\mathbf{H}_2 &= \frac{I_1 d\mathbf{L}_1 \times \mathbf{a}_{R12}}{4\pi R_{12}^2} \\ d\mathbf{F} &= I d\mathbf{L} \times \mathbf{B} \rightarrow d(d\mathbf{F}_2) = I_2 d\mathbf{L}_2 \times d\mathbf{B}_2 \\ d\mathbf{B}_2 &= \mu_0 d\mathbf{H}_2 \end{aligned} \right\}$$

$$\rightarrow d(d\mathbf{F}_2) = \mu_0 \frac{I_1 I_2}{4\pi R_{12}^2} d\mathbf{L}_2 \times (d\mathbf{L}_1 \times \mathbf{a}_{R12})$$

## Ví dụ 1 Lực giữa các nguyên tố dòng (2)

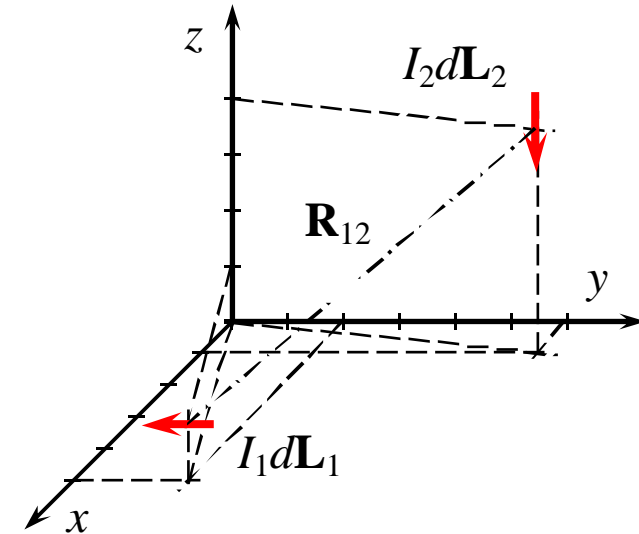
Cho  $I_1 d\mathbf{L}_1 = -3\mathbf{a}_y$  Am;  $I_2 d\mathbf{L}_2 = -4\mathbf{a}_z$  Am.  
 Tính vi phân lực tác dụng lên  $d\mathbf{L}_2$ .

$$\begin{aligned} d(d\mathbf{F}_2) &= \mu_0 \frac{I_1 I_2}{4\pi R_{12}^2} d\mathbf{L}_2 \times (d\mathbf{L}_1 \times \mathbf{a}_{R12}) \\ &= \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{4\pi R_{12}^2} I_2 d\mathbf{L}_2 \times (I_1 d\mathbf{L}_1 \times \mathbf{a}_{R12}) \end{aligned}$$

$$\mathbf{R}_{12} = (1-5)\mathbf{a}_x + (6-2)\mathbf{a}_y + (4-1)\mathbf{a}_z$$

$$= -4\mathbf{a}_x + 4\mathbf{a}_y + 3\mathbf{a}_z \rightarrow \mathbf{a}_{R12} = \frac{-4\mathbf{a}_x + 4\mathbf{a}_y + 3\mathbf{a}_z}{\sqrt{4^2 + 4^2 + 3^2}}; \quad R_{12} = \sqrt{4^2 + 4^2 + 3^2}$$

$$\rightarrow d(d\mathbf{F}_2) = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{4\pi} (-4\mathbf{a}_z) \times \frac{[(-3\mathbf{a}_y) \times (-4\mathbf{a}_x + 4\mathbf{a}_y + 3\mathbf{a}_z)]}{(4^2 + 4^2 + 3^2)^{3/2}}$$



## Ví dụ 1 Lực giữa các nguyên tố dòng (3)

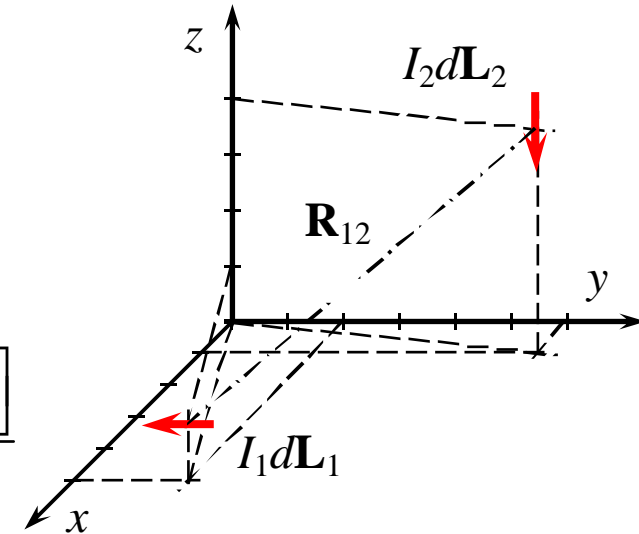
Cho  $I_1 d\mathbf{L}_1 = -3\mathbf{a}_y$  Am;  $I_2 d\mathbf{L}_2 = -4\mathbf{a}_z$  Am.  
 Tính vi phân lực tác dụng lên  $d\mathbf{L}_2$ .

$$d(d\mathbf{F}_2) = \mu_0 \frac{I_1 I_2}{4\pi R_{12}^2} d\mathbf{L}_2 \times (d\mathbf{L}_1 \times \mathbf{a}_{R12})$$

$$= \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{4\pi} (-4\mathbf{a}_z) \times \frac{[(-3\mathbf{a}_y) \times (-4\mathbf{a}_x + 4\mathbf{a}_y + 3\mathbf{a}_z)]}{(4^2 + 4^2 + 3^2)^{3/2}}$$

$$\mathbf{A} \times \mathbf{B} = \begin{vmatrix} \mathbf{a}_x & \mathbf{a}_y & \mathbf{a}_z \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$$

$$\rightarrow (-3\mathbf{a}_y) \times (-4\mathbf{a}_x + 4\mathbf{a}_y + 3\mathbf{a}_z) = \begin{vmatrix} \mathbf{a}_x & \mathbf{a}_y & \mathbf{a}_z \\ 0 & -3 & 0 \\ -4 & 4 & 3 \end{vmatrix} = -3(3\mathbf{a}_x + 4\mathbf{a}_z)$$



## Ví dụ 1 Lực giữa các nguyên tố dòng (4)

Cho  $I_1 d\mathbf{L}_1 = -3\mathbf{a}_y$  Am;  $I_2 d\mathbf{L}_2 = -4\mathbf{a}_z$  Am.  
 Tính vi phân lực tác dụng lên  $d\mathbf{L}_2$ .

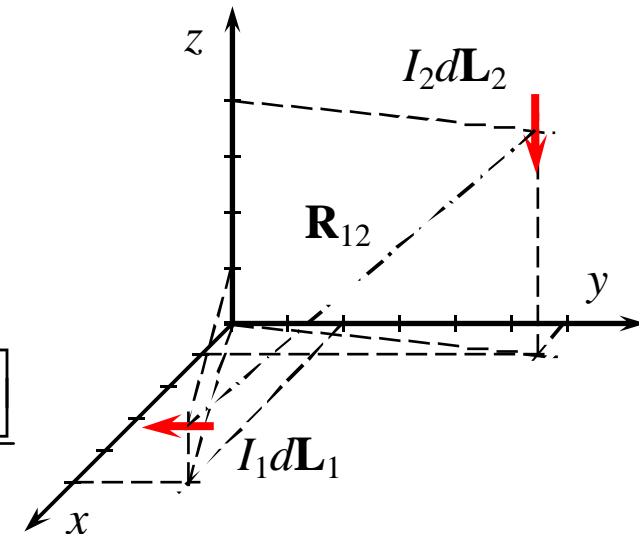
$$d(d\mathbf{F}_2) = \mu_0 \frac{I_1 I_2}{4\pi R_{12}^2} d\mathbf{L}_2 \times (d\mathbf{L}_1 \times \mathbf{a}_{R12})$$

$$= \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{4\pi} (-4\mathbf{a}_z) \times \frac{[(-3\mathbf{a}_y) \times (-4\mathbf{a}_x + 4\mathbf{a}_y + 3\mathbf{a}_z)]}{(4^2 + 4^2 + 3^2)^{3/2}}$$

$$\mathbf{A} \times \mathbf{B} = \begin{vmatrix} \mathbf{a}_x & \mathbf{a}_y & \mathbf{a}_z \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$$

$$(-3\mathbf{a}_y) \times (-4\mathbf{a}_x + 4\mathbf{a}_y + 3\mathbf{a}_z) = -3(3\mathbf{a}_x + 4\mathbf{a}_z)$$

$$\rightarrow (-4\mathbf{a}_z) \times [(-3\mathbf{a}_y) \times (-4\mathbf{a}_x + 4\mathbf{a}_y + 3\mathbf{a}_z)] = \begin{vmatrix} \mathbf{a}_x & \mathbf{a}_y & \mathbf{a}_z \\ 0 & 0 & -4 \\ -9 & 0 & -12 \end{vmatrix} = 36\mathbf{a}_y$$



## Ví dụ 1 Lực giữa các nguyên tố dòng (5)

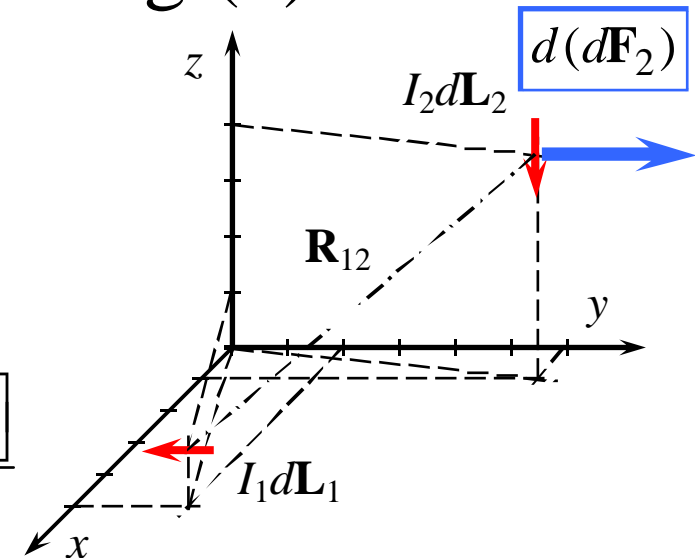
Cho  $I_1 d\mathbf{L}_1 = -3\mathbf{a}_y$  Am;  $I_2 d\mathbf{L}_2 = -4\mathbf{a}_z$  Am.  
Tính vi phân lực tác dụng lên  $d\mathbf{L}_2$ .

$$d(d\mathbf{F}_2) = \mu_0 \frac{I_1 I_2}{4\pi R_{12}^2} d\mathbf{L}_2 \times (d\mathbf{L}_1 \times \mathbf{a}_{R12})$$

$$= \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{4\pi} (-4\mathbf{a}_z) \times \frac{[(-3\mathbf{a}_y) \times (-4\mathbf{a}_x + 4\mathbf{a}_y + 3\mathbf{a}_z)]}{(4^2 + 4^2 + 3^2)^{3/2}}$$

$$(-4\mathbf{a}_z) \times [(-3\mathbf{a}_y) \times (-4\mathbf{a}_x + 4\mathbf{a}_y + 3\mathbf{a}_z)] = 36\mathbf{a}_y$$

$$\rightarrow d(d\mathbf{F}_2) = \frac{10^{-7}}{(4^2 + 4^2 + 3^2)^{3/2}} 36\mathbf{a}_y = \boxed{1,37 \cdot 10^{-8} \mathbf{a}_y \text{ N}}$$



## Ví dụ 2 Lực giữa các nguyên tố dòng (6)

Cho  $I_1 d\mathbf{L}_1 = -3\mathbf{a}_y$  Am;  $I_2 d\mathbf{L}_2 = -4\mathbf{a}_z$  Am.  
 Tính vi phân lực tác dụng lên  $d\mathbf{L}_1$ .

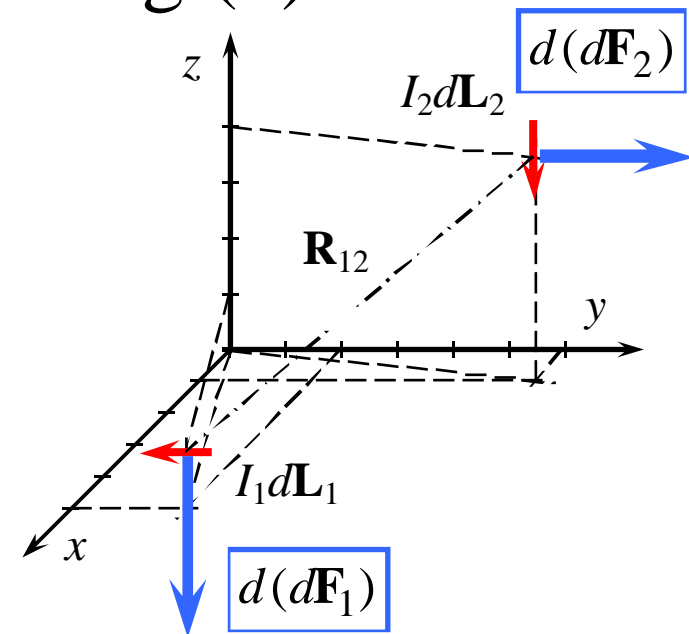
(đã tính được  $d(d\mathbf{F}_2) = 1,37 \cdot 10^{-8} \mathbf{a}_y$  N ở VD1)

$$d(d\mathbf{F}_2) = \mu_0 \frac{I_1 I_2}{4\pi R_{12}^2} d\mathbf{L}_2 \times (d\mathbf{L}_1 \times \mathbf{a}_{R12})$$

$$d(d\mathbf{F}_1) = \mu_0 \frac{I_2 I_1}{4\pi R_{21}^2} d\mathbf{L}_1 \times (d\mathbf{L}_2 \times \mathbf{a}_{R21})$$

$$= \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{4\pi R_{21}^2} I_1 d\mathbf{L}_1 \times (I_2 d\mathbf{L}_2 \times \mathbf{a}_{R21}) \left. \vphantom{\frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{4\pi R_{21}^2}} \right\} \rightarrow d(d\mathbf{F}_1) = -1,83 \cdot 10^{-8} \mathbf{a}_z$$

$$\mathbf{R}_{21} = (5-1)\mathbf{a}_x + (2-6)\mathbf{a}_y + (1-4)\mathbf{a}_z$$



Tại sao  $d(d\mathbf{F}_2) \neq d(d\mathbf{F}_1)$  ?

## Lực giữa các nguyên tố dòng (7)

$$d(d\mathbf{F}_2) = \mu_0 \frac{I_1 I_2}{4\pi R_{12}^2} d\mathbf{L}_2 \times (d\mathbf{L}_1 \times \mathbf{a}_{R12})$$

$$\rightarrow \mathbf{F}_2 = \mu_0 \frac{I_1 I_2}{4\pi} \oint \left[ d\mathbf{L}_2 \times \oint \frac{d\mathbf{L}_1 \times \mathbf{a}_{R12}}{R_{12}^2} \right]$$

$$= \mu_0 \frac{I_1 I_2}{4\pi} \oint \left[ \oint \frac{d\mathbf{L}_1 \times \mathbf{a}_{R12}}{R_{12}^2} \right] \times d\mathbf{L}_2$$



## Lực từ & điện cảm

1. Lực tác dụng lên điện tích chuyển động
2. Lực tác dụng lên nguyên tố dòng
3. Lực giữa các nguyên tố dòng
- 4. Lực & mô men tác dụng lên một mạch kín**
5. Cường độ phân cực từ & từ thẩm
6. Điều kiện bờ từ trường
7. Mạch từ
8. Điện cảm & hồ cảm

## Lực & mômen tác dụng lên một mạch kín (1)

- Lực tác dụng lên một vòng dây kín:  $\mathbf{F} = -I \oint \mathbf{B} \times d\mathbf{L}$
- Nếu  $\mathbf{B} = \text{const} \rightarrow \mathbf{F} = -I \mathbf{B} \times \oint d\mathbf{L}$
- Trong một trường thế tĩnh điện thì  $\oint d\mathbf{L} = 0$
- $\rightarrow$  lực tác dụng lên một vòng dây kín trong một từ trường không đổi bằng zero
- *Tổng quát*: tổng lực tác dụng lên một mạch kín có dòng điện nằm trong một từ trường không đổi bằng zero

## VD1 Lực & mômen tác dụng lên một mạch kín (2)

$I_0 = 5\text{A}$ ,  $I_1 = 3\text{A}$ ,  $I_2 = 4\text{A}$ . Tính tổng lực mà hai khung dây tác dụng lên sợi dây mang dòng  $I_0$ ?

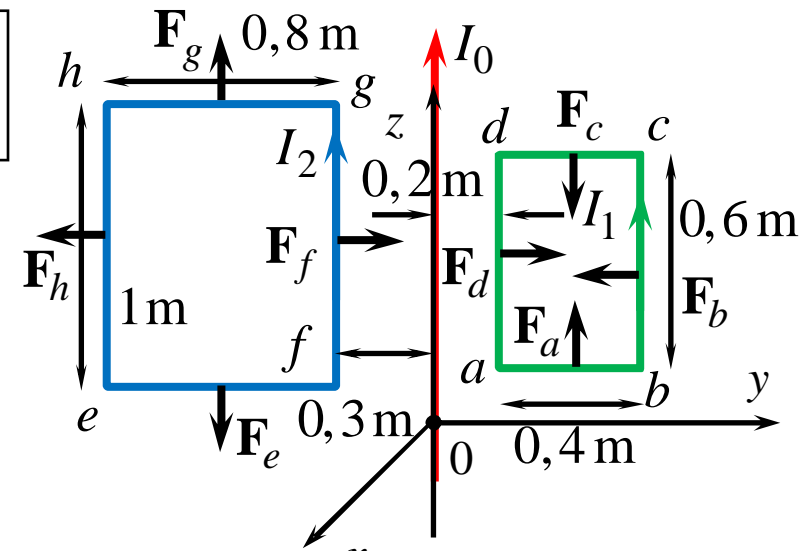
$$\mathbf{B}_+ = -\frac{\mu_0 I_0}{2\pi\rho} \mathbf{a}_x, \quad \mathbf{B}_- = \frac{\mu_0 I_0}{2\pi\rho} \mathbf{a}_x$$

$$\mathbf{F}_1 = \oint_{C_1} I_1 d\mathbf{L} \times \mathbf{B}_+$$

$$= \int_a^b I_1 d\mathbf{L}_a \times \mathbf{B}_+ + \int_b^c I_1 d\mathbf{L}_b \times \mathbf{B}_+ + \int_c^d I_1 d\mathbf{L}_c \times \mathbf{B}_+ + \int_d^a I_1 d\mathbf{L}_d \times \mathbf{B}_+$$

$$\mathbf{F}_2 = \oint_{C_2} I_2 d\mathbf{L} \times \mathbf{B}_-$$

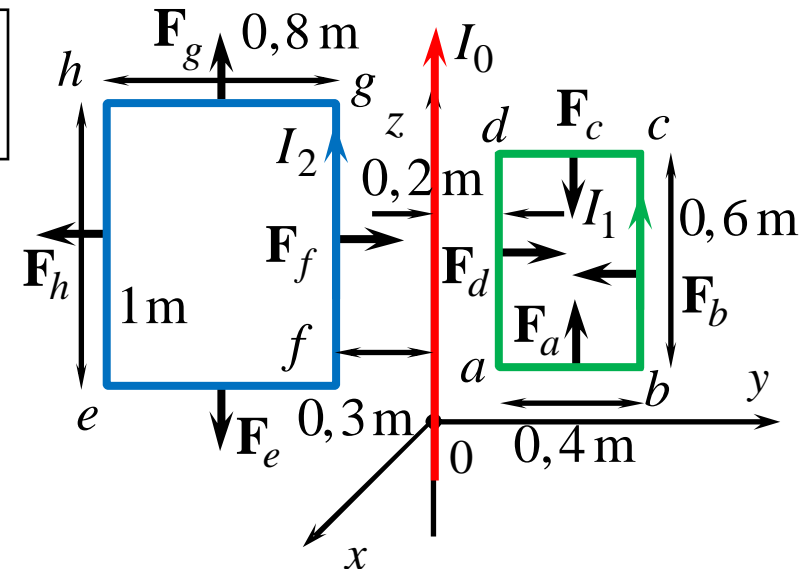
$$= \int_e^f I_2 d\mathbf{L}_e \times \mathbf{B}_- + \int_f^g I_2 d\mathbf{L}_f \times \mathbf{B}_- + \int_g^h I_2 d\mathbf{L}_g \times \mathbf{B}_- + \int_h^e I_2 d\mathbf{L}_d \times \mathbf{B}_-$$



## VD1 Lực & mômen tác dụng lên một mạch kín (3)

$I_0 = 5A$ ,  $I_1 = 3A$ ,  $I_2 = 4A$ . Tính tổng lực mà hai khung dây tác dụng lên sợi dây mang dòng  $I_0$ ?

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{F}_1 &= \int_a^b I_1 d\mathbf{L}_a \times \mathbf{B}_+ + \int_b^c I_1 d\mathbf{L}_b \times \mathbf{B}_+ \\ &\quad + \int_c^d I_1 d\mathbf{L}_c \times \mathbf{B}_+ + \int_d^a I_1 d\mathbf{L}_d \times \mathbf{B}_+ \\ \mathbf{F}_2 &= \int_e^f I_2 d\mathbf{L}_e \times \mathbf{B}_- + \int_f^g I_2 d\mathbf{L}_f \times \mathbf{B}_- \\ &\quad + \int_g^h I_2 d\mathbf{L}_g \times \mathbf{B}_- + \int_h^e I_2 d\mathbf{L}_h \times \mathbf{B}_- \\ \mathbf{F}_a + \mathbf{F}_c &= 0, \mathbf{F}_e + \mathbf{F}_g = 0 \end{aligned} \right\}$$



$$\rightarrow \mathbf{F}_t = \int_f^g I_2 d\mathbf{L}_f \times \mathbf{B}_- + \int_h^e I_2 d\mathbf{L}_h \times \mathbf{B}_- + \int_b^c I_1 d\mathbf{L}_b \times \mathbf{B}_+ + \int_d^a I_1 d\mathbf{L}_d \times \mathbf{B}_+$$

## VD1 Lực & mômen tác dụng lên một mạch kín (4)

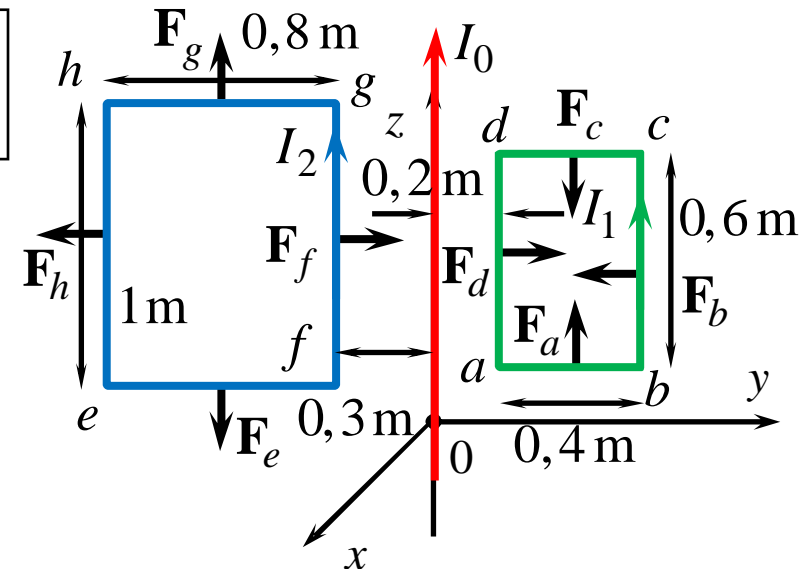
$I_0 = 5\text{A}$ ,  $I_1 = 3\text{A}$ ,  $I_2 = 4\text{A}$ . Tính tổng lực mà hai khung dây tác dụng lên sợi dây mang dòng  $I_0$ ?

$$\mathbf{F}_t = \int_f^g I_2 d\mathbf{L}_f \times \mathbf{B}_- + \int_h^e I_2 d\mathbf{L}_d \times \mathbf{B}_- + \int_b^c I_1 d\mathbf{L}_b \times \mathbf{B}_+ + \int_d^a I_1 d\mathbf{L}_d \times \mathbf{B}_+$$

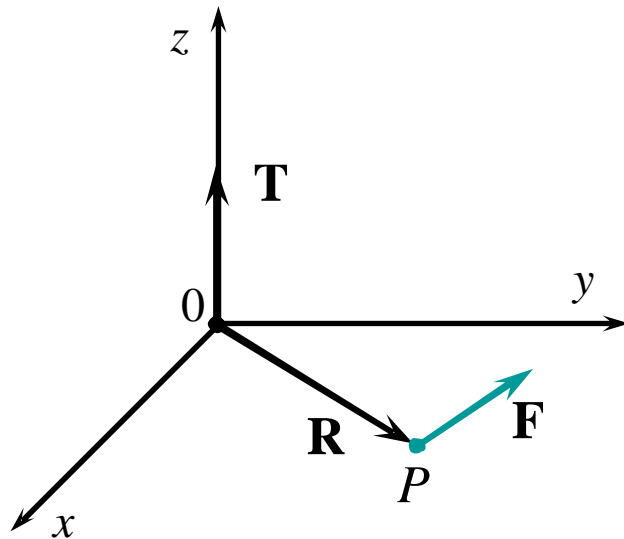
$$\mathbf{B}_+ = -\frac{\mu_0 I_0}{2\pi\rho} \mathbf{a}_x, \quad \mathbf{B}_- = \frac{\mu_0 I_0}{2\pi\rho} \mathbf{a}_x$$

$$\int_f^g I_2 d\mathbf{L}_f \times \mathbf{B}_- = \int_{z=0}^1 I_2 (dz \mathbf{a}_z) \times \left( \frac{\mu_0 I_0}{2\pi\rho} \mathbf{a}_x \right) \Big|_{\rho=0,3} = \int_{z=0}^1 \frac{\mu_0 I_0 I_2 dz}{2\pi(0,3)} \mathbf{a}_y$$

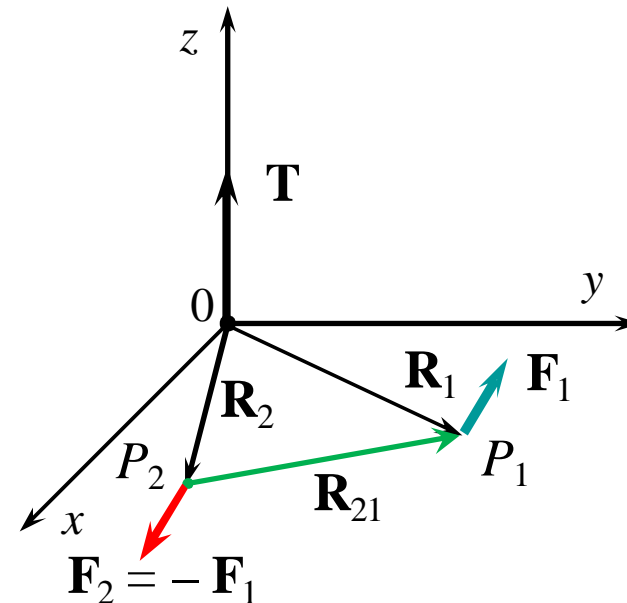
$$= \left( \frac{\mu_0 I_0 I_2 z}{2\pi(0,3)} \Big|_0^1 \right) \mathbf{a}_y = \frac{\mu_0 I_0 I_2}{2\pi(0,3)} \mathbf{a}_y$$



## Lực & mômen tác dụng lên một mạch kín (5)



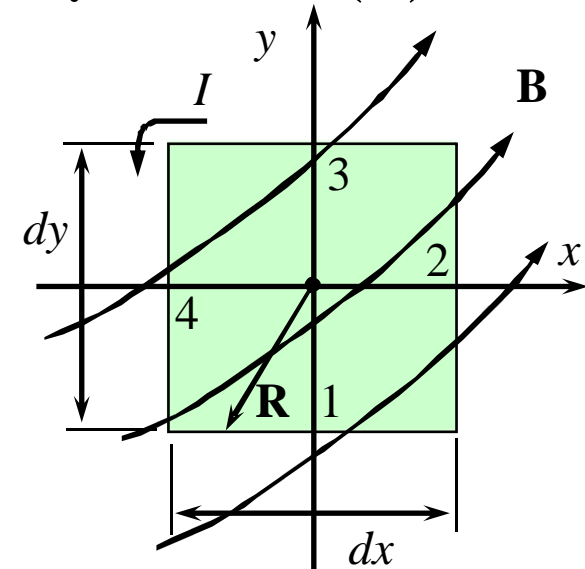
$$\mathbf{T} = \mathbf{R} \times \mathbf{F}$$



$$\begin{aligned} \mathbf{T} &= \mathbf{R}_1 \times \mathbf{F}_1 + \mathbf{R}_2 \times \mathbf{F}_2 \\ &= (\mathbf{R}_1 - \mathbf{R}_2) \times \mathbf{F}_1 \\ &= \mathbf{R}_{21} \times \mathbf{F}_1 \end{aligned}$$

## Lực & mômen tác dụng lên một mạch kín (6)

$$\left. \begin{aligned} d\mathbf{T}_1 &= \mathbf{R}_1 \times d\mathbf{F}_1 \\ d\mathbf{F}_1 &= Idx\mathbf{a}_x \times \mathbf{B}_0 = Idx(B_{0y}\mathbf{a}_z - B_{0z}\mathbf{a}_y) \\ \mathbf{R}_1 &= -\frac{1}{2}dya_y \end{aligned} \right\} \\
 \rightarrow d\mathbf{T}_1 &= -\frac{1}{2}dya_y \times Idx(B_{0y}\mathbf{a}_z - B_{0z}\mathbf{a}_y) \\
 &= -\frac{1}{2}dxdyIB_{0y}\mathbf{a}_x \\
 \left. \begin{aligned} \text{Tương tự: } d\mathbf{T}_3 &= -\frac{1}{2}dxdyIB_{0y}\mathbf{a}_x \\ \text{Tương tự: } d\mathbf{T}_2 + d\mathbf{T}_4 &= dxdyIB_{0x}\mathbf{a}_y \end{aligned} \right\} \rightarrow d\mathbf{T}_1 + d\mathbf{T}_3 = -dxdyIB_{0y}\mathbf{a}_x$$



$$\rightarrow d\mathbf{T} = dxdyI(B_{0x}\mathbf{a}_y - B_{0y}\mathbf{a}_x) = dxdyI\mathbf{a}_z \times \mathbf{B}_0 = \boxed{Id\mathbf{S} \times \mathbf{B}}$$

## VD1 Lực & mômen tác dụng lên một mạch kín (7)

Tính lực & mômen mà  $I_1$  tác dụng lên một đoạn của sợi dây có  $I_2$ ?

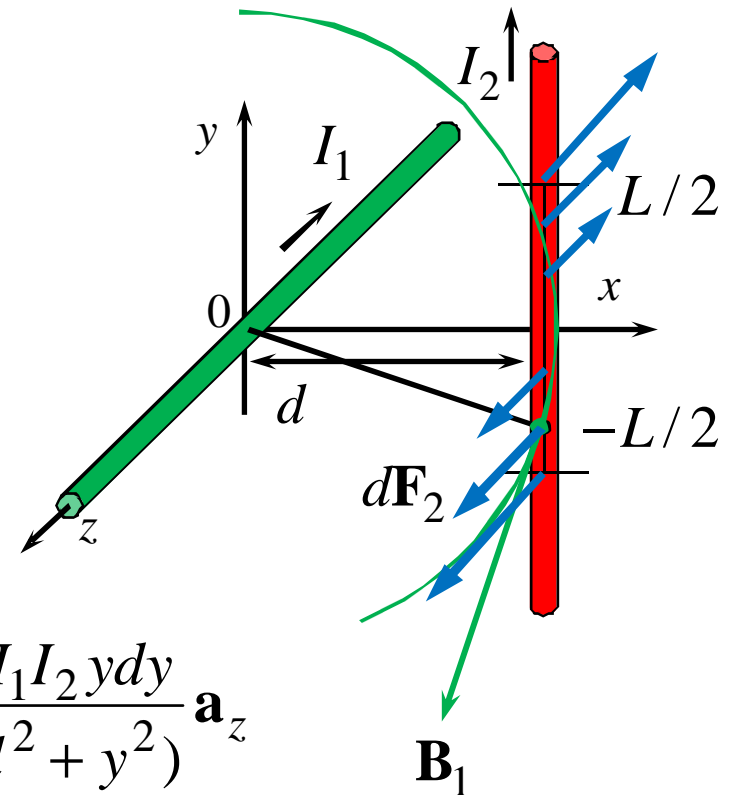
$$d\mathbf{F}_2 = I_2 d\mathbf{L}_2 \times \mathbf{B}_1$$

$$\mathbf{B}_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi\rho} \mathbf{a}_\varphi = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi\sqrt{d^2 + y^2}} \cdot \frac{y\mathbf{a}_x - d\mathbf{a}_y}{\sqrt{d^2 + y^2}}$$

$$d\mathbf{L}_2 = dy\mathbf{a}_y$$

$$\rightarrow d\mathbf{F}_2 = I_2 (dy\mathbf{a}_y) \times \frac{\mu_0 I_1 (y\mathbf{a}_x - d\mathbf{a}_y)}{2\pi(d^2 + y^2)} = \frac{-\mu_0 I_1 I_2 y dy}{2\pi(d^2 + y^2)} \mathbf{a}_z$$

$$\rightarrow \mathbf{F}_2 = \int_{-L/2}^{L/2} d\mathbf{F}_2 = \int_{-L/2}^{L/2} \frac{-\mu_0 I_1 I_2 y dy}{2\pi(d^2 + y^2)} \mathbf{a}_z = \boxed{0}$$





## VD1 Lực & mômen tác dụng lên một mạch kín (8)

Tính lực & mômen mà  $I_1$  tác dụng lên một đoạn của sợi dây có  $I_2$ ?

$$d\mathbf{F}_2 = \frac{-\mu_0 I_1 I_2 y dy}{2\pi(d^2 + y^2)} \mathbf{a}_z$$

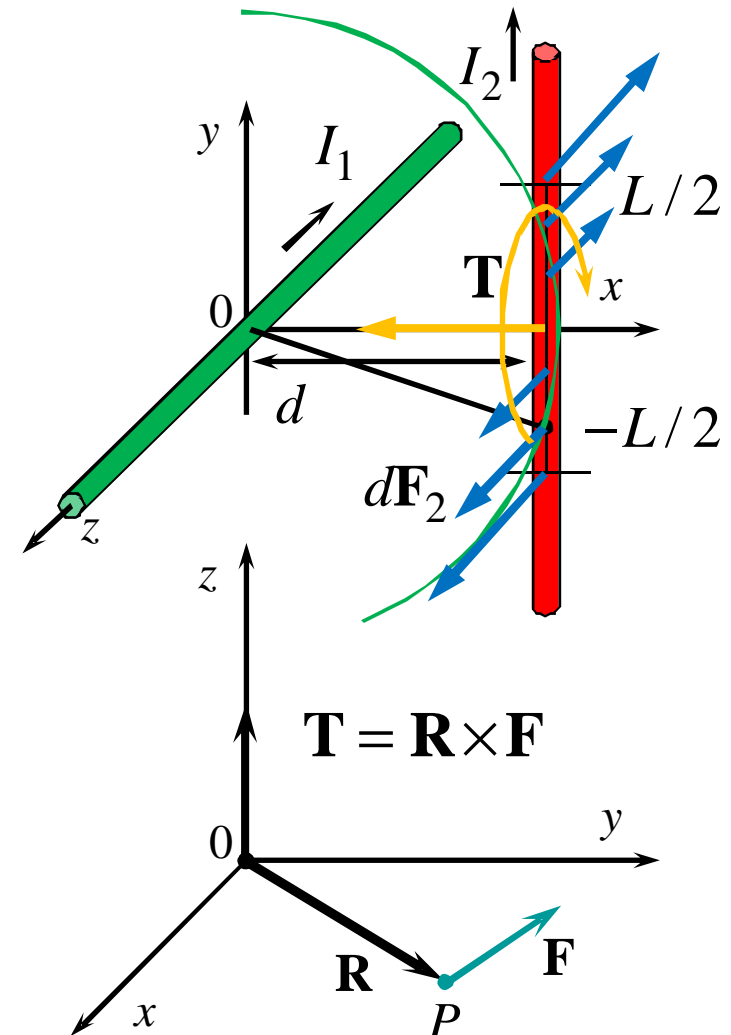
$$d\mathbf{T}_2 = \mathbf{R}_2 \times d\mathbf{F}_2 = (y\mathbf{a}_y) \times \left[ \frac{-\mu_0 I_1 I_2 y dy}{2\pi(d^2 + y^2)} \mathbf{a}_z \right]$$

$$= \frac{-\mu_0 I_1 I_2 y^2 dy}{2\pi(d^2 + y^2)} \mathbf{a}_x$$

$$\rightarrow \mathbf{T}_2 = \int_{-L/2}^{L/2} d\mathbf{T}_2 = \int_{-L/2}^{L/2} \frac{-\mu_0 I_1 I_2 y^2 dy}{2\pi(d^2 + y^2)} \mathbf{a}_x$$

$$= \boxed{\frac{-\mu_0 I_1 I_2 L^3}{24\pi d^2} \mathbf{a}_x}$$

Lực từ & điện cảm - [sites.google.com/site/ncpdhbkhn](https://sites.google.com/site/ncpdhbkhn)



## Lực & mômen tác dụng lên một mạch kín (9)

- Định nghĩa mômen lưỡng cực từ:  $d\mathbf{m} = Id\mathbf{S}$
- Đơn vị  $\text{Am}^2$
- $\rightarrow d\mathbf{T} = d\mathbf{m} \times \mathbf{B}$
- Đúng đối với vi mạch kín có hình dạng bất kỳ
- Trong từ trường đều:  $\mathbf{T} = I\mathbf{S} \times \mathbf{B} = \mathbf{m} \times \mathbf{B}$

## Lực & mômen tác dụng lên một mạch kín (10)

### VD2

Tính mômen tác dụng lên mạch kín. (Cách 1)

$$\mathbf{F} = I\mathbf{L} \times \mathbf{B}$$

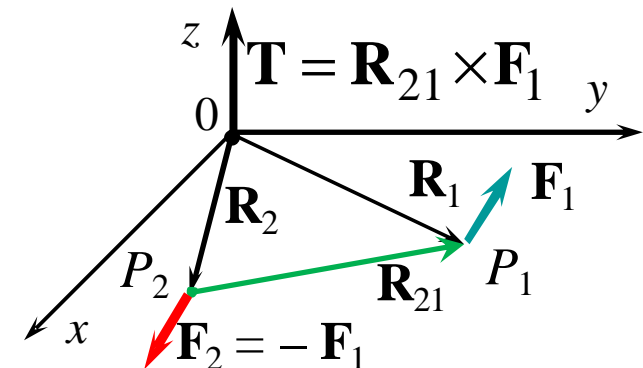
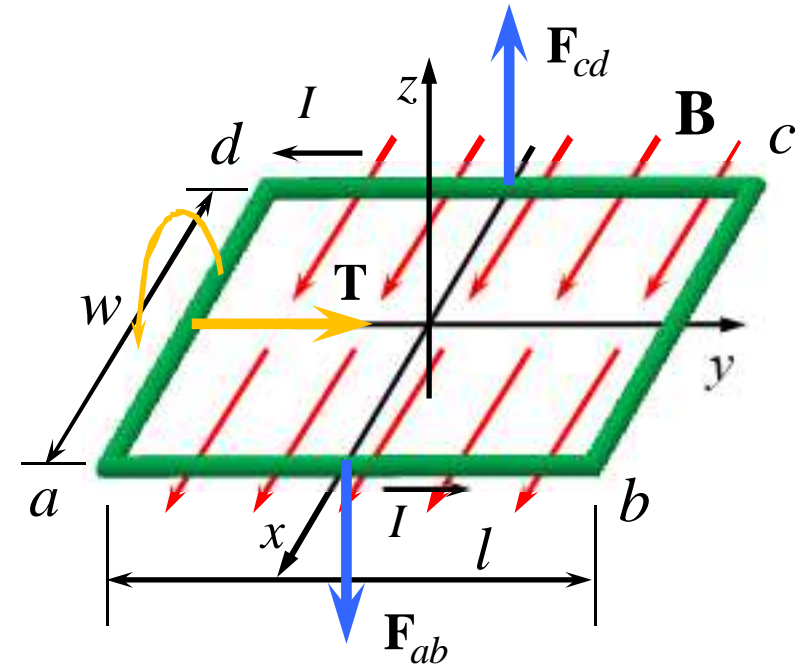
$$\mathbf{F}_{ab} = I\mathbf{L}_{ab} \times \mathbf{B} = I(l\mathbf{a}_y) \times (B\mathbf{a}_x) = -BlI\mathbf{a}_z$$

$$\mathbf{F}_{bc} = I\mathbf{L}_{bc} \times \mathbf{B} = I(-w\mathbf{a}_x) \times (B\mathbf{a}_x) = 0$$

$$\mathbf{F}_{cd} = I\mathbf{L}_{cd} \times \mathbf{B} = I(-l\mathbf{a}_y) \times (B\mathbf{a}_x) = BlI\mathbf{a}_z$$

$$\mathbf{F}_{da} = I\mathbf{L}_{da} \times \mathbf{B} = I(w\mathbf{a}_x) \times (B\mathbf{a}_x) = 0$$

$$\mathbf{T} = \mathbf{R}_{da} \times \mathbf{F}_{ab} = (w\mathbf{a}_x) \times (-BlI\mathbf{a}_z) = BlIw\mathbf{a}_y$$



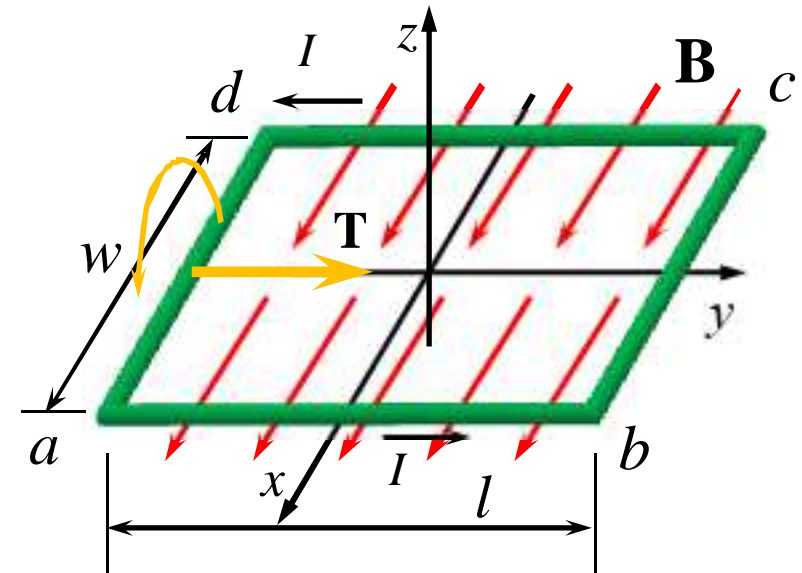
## Lực & mômen tác dụng lên một mạch kín (11)

**VD2**

Tính mômen tác dụng lên mạch kín.

(Cách 2)

$$\begin{aligned}\mathbf{T} &= I\mathbf{S} \times \mathbf{B} \\ &= I(lw\mathbf{a}_z) \times (B\mathbf{a}_x) \\ &= \boxed{Bllw\mathbf{a}_y}\end{aligned}$$



## Lực & mômen tác dụng lên một mạch kín (12)

### VD3

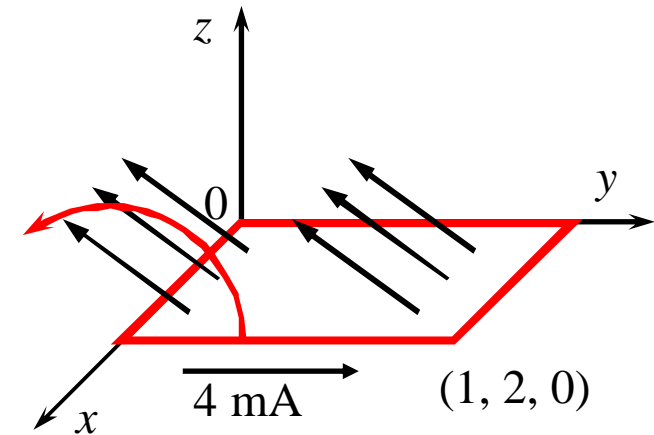
Cho  $\mathbf{B}_0 = -0,6\mathbf{a}_y + 0,8\mathbf{a}_z$  T. Tính mômen tác dụng lên mạch kín.

$$\mathbf{T} = I\mathbf{S} \times \mathbf{B}$$

$$\rightarrow \mathbf{T} = 4 \cdot 10^{-3} (1,2\mathbf{a}_z) \times (-0,6\mathbf{a}_y + 0,8\mathbf{a}_z)$$

$$\mathbf{A} \times \mathbf{B} = \begin{vmatrix} \mathbf{a}_x & \mathbf{a}_y & \mathbf{a}_z \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix} \rightarrow 1,2\mathbf{a}_z \times (-0,6\mathbf{a}_y + 0,8\mathbf{a}_z) = \begin{vmatrix} \mathbf{a}_x & \mathbf{a}_y & \mathbf{a}_z \\ 0 & 0 & 2 \\ 0 & -0,6 & 0,8 \end{vmatrix} = 1,2\mathbf{a}_x$$

$$\rightarrow \mathbf{T} = 4,8 \cdot 10^{-3} \mathbf{a}_x \text{ Nm}$$

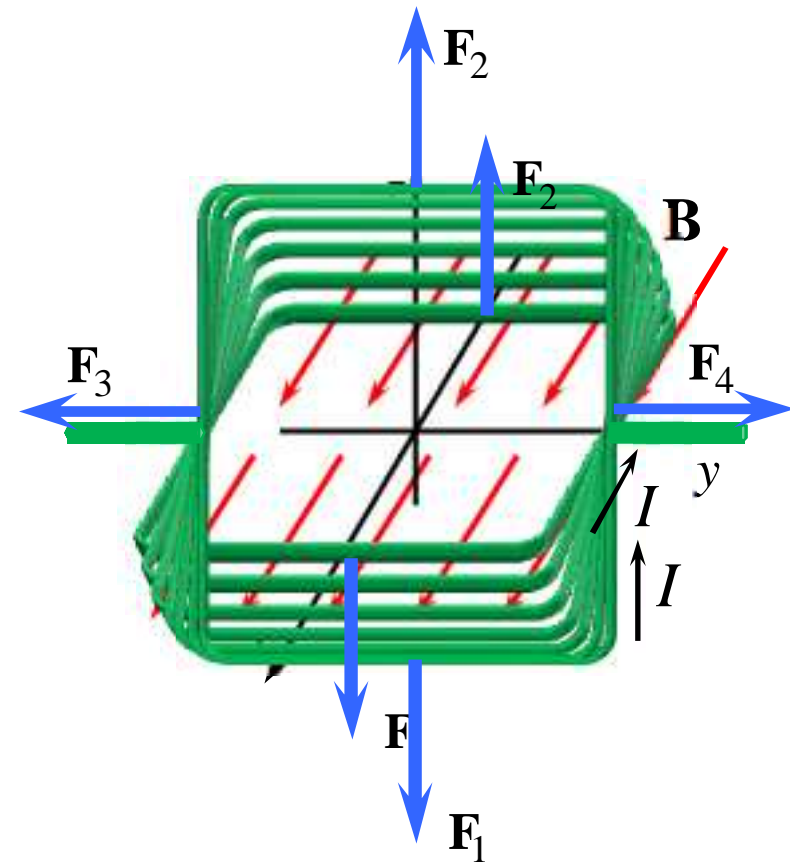
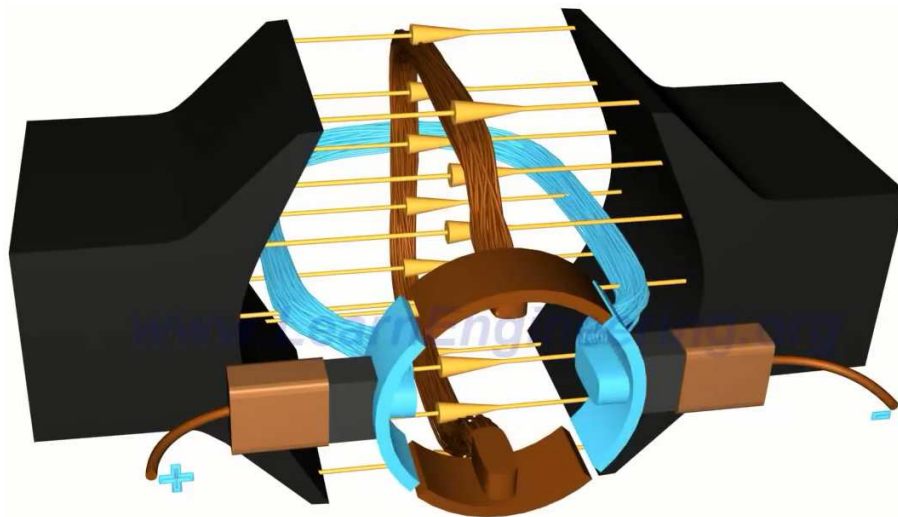


## Lực & mômen tác dụng lên một mạch kín (13)

### VD2

Tính mômen tác dụng lên mạch kín.

$$\begin{aligned} \mathbf{T} &= I\mathbf{S} \times \mathbf{B} \\ &= I(lw\mathbf{a}_x) \times (B\mathbf{a}_x) \\ &= 0 \end{aligned}$$





## Lực từ & điện cảm

1. Lực tác dụng lên điện tích chuyển động
2. Lực tác dụng lên nguyên tố dòng
3. Lực giữa các nguyên tố dòng
4. Lực & mô men tác dụng lên một mạch kín
- 5. Cường độ phân cực từ & từ thẩm**
6. Điều kiện bờ từ trường
7. Mạch từ
8. Điện cảm & hồ cảm

## Cường độ phân cực từ & từ thẩm (1)

- Cường độ phân cực từ được định nghĩa dựa trên mômen lưỡng cực từ  $\mathbf{m}$
- $\mathbf{m} = I_b d\mathbf{S}$  (đơn vị  $\text{Am}^2$ )
- $I_b$ : dòng điện chảy theo một đường kín bao quanh vi diện tích  $d\mathbf{S}$
- Xét  $\Delta v$ , mômen lưỡng cực từ tổng cộng:  $\mathbf{m}_{\text{tổng}} = \sum_{i=1}^{n\Delta v} \mathbf{m}_i$
- $n$ : số lượng lưỡng cực trong một đơn vị thể tích
- Định nghĩa cường độ phân cực từ:  $\mathbf{M} = \lim_{\Delta v \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta v} \sum_{i=1}^{n\Delta v} \mathbf{m}_i$
- $\mathbf{M}$ : (tổng) mômen lưỡng cực trên một đơn vị thể tích

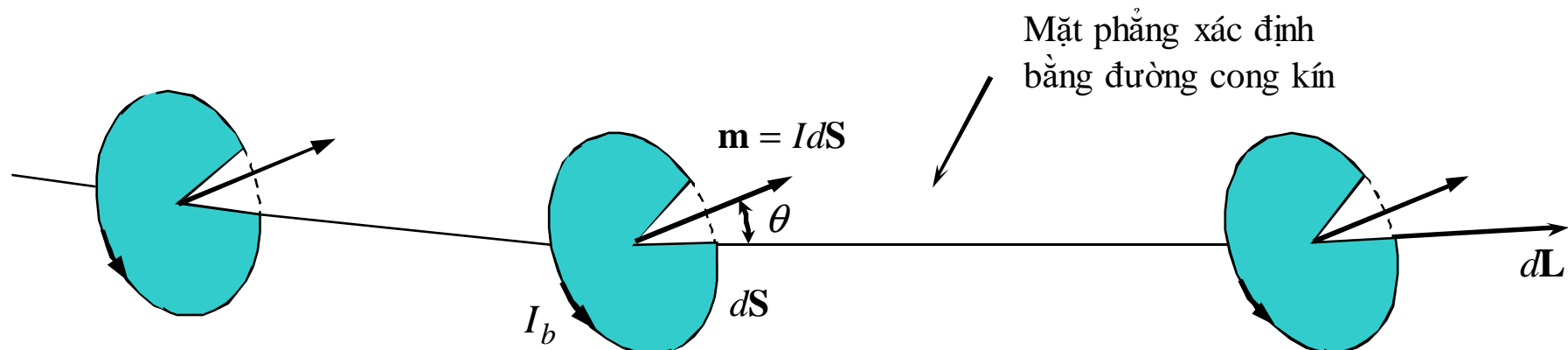


## Cường độ phân cực từ & từ thẩm (2)

$$\mathbf{M} = \lim_{\Delta v \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta v} \sum_{i=1}^{n\Delta v} \mathbf{m}_i : (\text{tổng}) \text{ mômen lưỡng cực trên một đơn vị thể tích}$$

$$\left. \begin{array}{l} d\mathbf{S} \cdot d\mathbf{L} \\ \mathbf{m} = I_b d\mathbf{S} \end{array} \right\} \rightarrow dI_b = n\mathbf{m} \cdot d\mathbf{L}$$

$$\rightarrow dI_b = \mathbf{M} \cdot d\mathbf{L} \rightarrow I_b = \oint \mathbf{M} \cdot d\mathbf{L}$$



## Cường độ phân cực từ & từ thẩm (3)

$$\left. \begin{aligned}
 \oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{L} &= I_T \\
 \mathbf{H} &= \frac{\mathbf{B}}{\mu_0} \\
 I_T &= I_b + I \\
 I_b &= \oint \mathbf{M} \cdot d\mathbf{L}
 \end{aligned} \right\} \rightarrow I = I_T - I_b = \oint \left( \frac{\mathbf{B}}{\mu_0} - \mathbf{M} \right) \cdot d\mathbf{L}$$

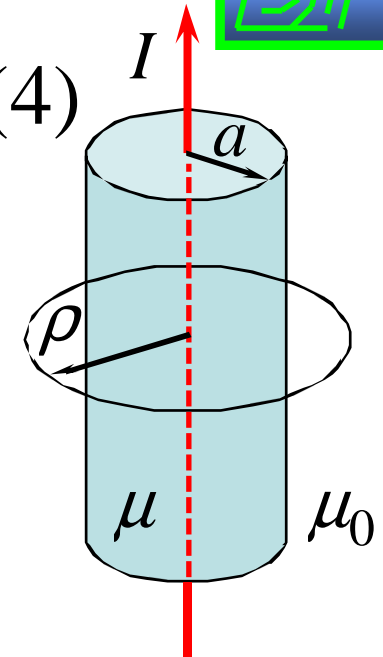
$$\left. \begin{aligned}
 &\text{Định nghĩa lại: } \mathbf{H} = \frac{\mathbf{B}}{\mu_0} - \mathbf{M} \rightarrow \boxed{\mathbf{B} = \mu_0(\mathbf{H} + \mathbf{M})} \\
 &(\text{Khi cường độ phân cực từ bằng zero thì } \mathbf{B} = \mu_0\mathbf{H}) \\
 &\text{Định nghĩa hệ số phân cực từ : } \chi_m = \frac{\mathbf{M}}{\mathbf{H}} \\
 &\text{Định nghĩa độ từ thẩm tương đối : } \mu_R = 1 + \chi_m \\
 &\text{Định nghĩa độ từ thẩm : } \mu = \mu_0\mu_R
 \end{aligned} \right\}$$

$$\rightarrow \boxed{\mathbf{B} = \mu\mathbf{H}}$$

VD

## Cường độ phân cực từ & từ thẩm (4)

Một sợi dây thẳng & dài vô tận mang dòng điện  $I$  nằm trong một hình trụ có bán kính  $a$  & độ thẩm từ  $\mu$ , bên ngoài hình trụ là chân không. Tìm  $\mathbf{B}$ ,  $\mathbf{H}$ ,  $\mathbf{M}$ , & mật độ dòng điện?



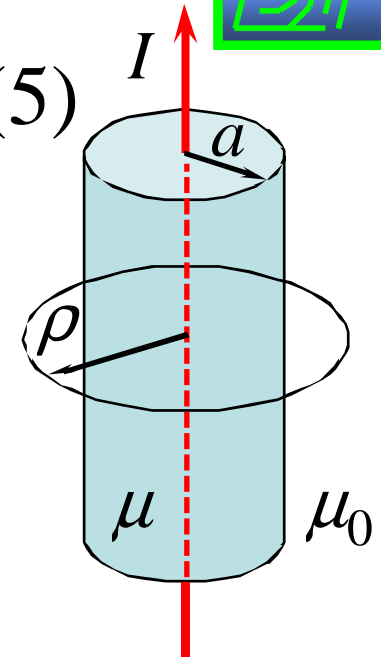
$$I = \oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{L} = H_{\varphi} 2\pi\rho \rightarrow H_{\varphi} = \frac{I}{2\pi\rho}$$

$$\rightarrow B_{\varphi} = \begin{cases} \mu H_{\varphi} = \frac{\mu I}{2\pi\rho}, & 0 < \rho < a \\ \mu_0 H_{\varphi} = \frac{\mu_0 I}{2\pi\rho}, & \rho > a \end{cases}$$

VD

## Cường độ phân cực từ & từ thẩm (5)

Một sợi dây thẳng & dài vô tận mang dòng điện  $I$  nằm trong một hình trụ có bán kính  $a$  & độ thẩm từ  $\mu$ , bên ngoài hình trụ là chân không. Tìm  $\mathbf{B}$ ,  $\mathbf{H}$ ,  $\mathbf{M}$ , & mật độ dòng điện?



$$\mathbf{B} = \mu_0(\mathbf{H} + \mathbf{M}) \rightarrow \mathbf{M} = \frac{\mathbf{B}}{\mu_0} - \mathbf{H}$$

$$\rightarrow M_\varphi = \begin{cases} \left( \frac{\mu}{\mu_0} - 1 \right) H_\varphi = \frac{(\mu - \mu_0)I}{2\pi\rho\mu_0}, & 0 < \rho < a \\ 0, & \rho > a \end{cases}$$

$$\mathbf{J}_b = \nabla \times \mathbf{M} = -\frac{\partial M_\varphi}{\partial z} \mathbf{a}_\rho + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} (\rho M_\varphi) \mathbf{a}_z = 0, \quad 0 < \rho < a$$

## Lực từ & điện cảm

1. Lực tác dụng lên điện tích chuyển động
2. Lực tác dụng lên nguyên tố dòng
3. Lực giữa các nguyên tố dòng
4. Lực & mô men tác dụng lên một mạch kín
5. Cường độ phân cực từ & từ thẩm
- 6. Điều kiện bờ từ trường**
7. Mạch từ
8. Điện cảm & hồ cảm



## Điều kiện bờ từ trường (1)

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$$

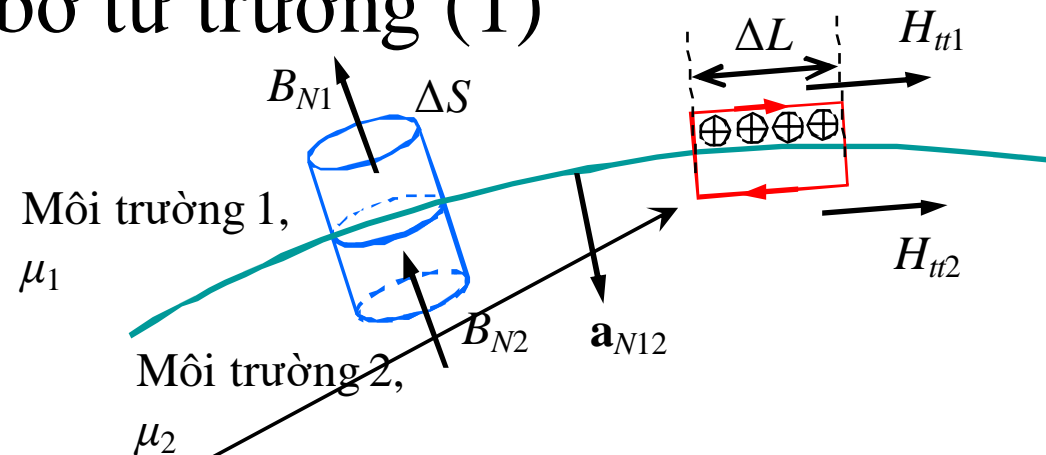
$$\rightarrow B_{N1}\Delta S - B_{N2}\Delta S = 0$$

$$\rightarrow B_{N2} = B_{N1}$$

$$\rightarrow H_{N2} = \frac{\mu_1}{\mu_2} H_{N1} \rightarrow M_{N2} = \chi_{m2} H_{N2} = \chi_{m2} \frac{\mu_1}{\mu_2} H_{N1} = \frac{\chi_{m2}\mu_1}{\chi_{m1}\mu_2} M_{N1}$$

$$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{L} = I \rightarrow H_{tt1}\Delta L - H_{tt2}\Delta L = K\Delta L \quad (K: \text{dòng điện bề mặt})$$

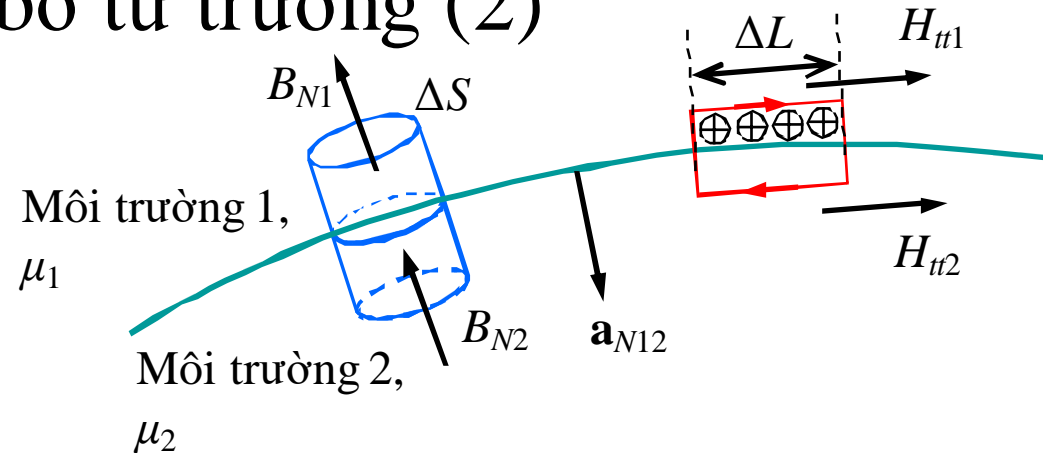
$$\rightarrow H_{tt1} - H_{tt2} = K \rightarrow \frac{B_{tt1}}{\mu_1} - \frac{B_{tt2}}{\mu_2} = K \rightarrow M_{tt2} = \frac{\chi_{m2}}{\chi_{m1}} M_{tt1} - \chi_{m2} K$$



## Điều kiện bờ từ trường (2)

$$(\mathbf{H}_1 - \mathbf{H}_2) \times \mathbf{a}_{N12} = \mathbf{K}$$

$$(\mathbf{H}_{tt1} - \mathbf{H}_{tt2}) = \mathbf{a}_{N12} \times \mathbf{K}$$



Pháp tuyến

Tiếp tuyến

$$H_{N2} = \frac{\mu_1}{\mu_2} H_{N1}$$

$$H_{tt1} - H_{tt2} = K$$

$$B_{N2} = B_{N1}$$

$$\frac{B_{tt1}}{\mu_1} - \frac{B_{tt2}}{\mu_2} = K$$

$$M_{N2} = \frac{\chi_{m2}\mu_1}{\chi_{m1}\mu_2} M_{N1}$$

$$M_{tt2} = \frac{\chi_{m2}}{\chi_{m1}} M_{tt1} - \chi_{m2} K$$

## Điều kiện bờ từ trường (3)

**VD1**

Khi  $z > 0$  (vùng 1),  $\mu = \mu_1 = 4 \mu\text{H/m}$ ; khi  $z < 0$  (vùng 2),  $\mu_2 = 7 \mu\text{H/m}$ ; tại  $z = 0$ , dòng điện bề mặt  $\mathbf{K} = 80\mathbf{a}_x \text{ A/m}$ . Thiết lập trong vùng 1 một cường độ từ cảm  $\mathbf{B}_1 = 2\mathbf{a}_x - 3\mathbf{a}_y + \mathbf{a}_z \text{ mT}$ . Tính  $\mathbf{B}_2$ .

$$\mathbf{B}_{N1} = (\mathbf{B}_1 \cdot \mathbf{a}_{N12}) \mathbf{a}_{N12} = [(2\mathbf{a}_x - 3\mathbf{a}_y + \mathbf{a}_z) \cdot (-\mathbf{a}_z)](-\mathbf{a}_z) = \mathbf{a}_z \text{ mT}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow \mathbf{B}_{N2} &= \mathbf{B}_{N1} = \mathbf{a}_z \text{ mT} \\ \mathbf{B}_1 &= \mathbf{B}_{N1} + \mathbf{B}_{tt1} \rightarrow \mathbf{B}_{tt1} = \mathbf{B}_1 - \mathbf{B}_{N1} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \rightarrow \mathbf{B}_{N2} &= \mathbf{B}_{N1} = \mathbf{a}_z \text{ mT} \\ \mathbf{B}_1 &= \mathbf{B}_{N1} + \mathbf{B}_{tt1} \end{aligned}} \right\}$$

$$\rightarrow \mathbf{B}_{tt1} = (2\mathbf{a}_x - 3\mathbf{a}_y + \mathbf{a}_z) - (\mathbf{a}_z) = 2\mathbf{a}_x - 3\mathbf{a}_y \text{ mT}$$

$$\rightarrow \mathbf{H}_{tt1} = \frac{\mathbf{B}_{tt1}}{\mu_1} = \frac{(2\mathbf{a}_x - 3\mathbf{a}_y)10^{-3}}{4 \cdot 10^{-6}} = 500\mathbf{a}_x - 750\mathbf{a}_y \text{ A/m}$$



## Điều kiện bờ từ trường (4)

**VD1**

Khi  $z > 0$  (vùng 1),  $\mu = \mu_1 = 4 \mu\text{H/m}$ ; khi  $z < 0$  (vùng 2),  $\mu_2 = 7 \mu\text{H/m}$ ; tại  $z = 0$ , dòng điện bề mặt  $\mathbf{K} = 80\mathbf{a}_x \text{ A/m}$ . Thiết lập trong vùng 1 một cường độ từ cảm  $\mathbf{B}_1 = 2\mathbf{a}_x - 3\mathbf{a}_y + \mathbf{a}_z \text{ mT}$ . Tính  $\mathbf{B}_2$ .

$$\mathbf{H}_{tt1} = 500\mathbf{a}_x - 750\mathbf{a}_y \text{ A/m}$$

$$(\mathbf{H}_{tt1} - \mathbf{H}_{tt2}) = \mathbf{a}_{N12} \times \mathbf{K}$$

$$\rightarrow \mathbf{H}_{tt2} = \mathbf{H}_{tt1} - \mathbf{a}_{N12} \times \mathbf{K} = 500\mathbf{a}_x - 750\mathbf{a}_y - (-\mathbf{a}_z) \times 80\mathbf{a}_x$$

$$\mathbf{A} \times \mathbf{B} = \begin{vmatrix} \mathbf{a}_x & \mathbf{a}_y & \mathbf{a}_z \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$$

$$\rightarrow \mathbf{H}_{tt2} = 500\mathbf{a}_x - 750\mathbf{a}_y + 80\mathbf{a}_y = 500\mathbf{a}_x - 670\mathbf{a}_y \text{ A/m}$$

## Điều kiện bờ từ trường (5)

**VD1**

Khi  $z > 0$  (vùng 1),  $\mu = \mu_1 = 4 \mu\text{H/m}$ ; khi  $z < 0$  (vùng 2),  $\mu_2 = 7 \mu\text{H/m}$ ; tại  $z = 0$ , dòng điện bề mặt  $\mathbf{K} = 80\mathbf{a}_x \text{ A/m}$ . Thiết lập trong vùng 1 một cường độ từ cảm  $\mathbf{B}_1 = 2\mathbf{a}_x - 3\mathbf{a}_y + \mathbf{a}_z \text{ mT}$ . Tính  $\mathbf{B}_2$ .

$$\mathbf{H}_{tt2} = 500\mathbf{a}_x - 670\mathbf{a}_y \text{ A/m}$$

$$\rightarrow \mathbf{B}_{tt2} = \mu_2 \mathbf{H}_{tt2} = 7 \cdot 10^{-6} (500\mathbf{a}_x - 670\mathbf{a}_y) = 3,5\mathbf{a}_x - 4,69\mathbf{a}_y \text{ mT}$$

$$\mathbf{B}_2 = \mathbf{B}_{N2} + \mathbf{B}_{tt2}$$

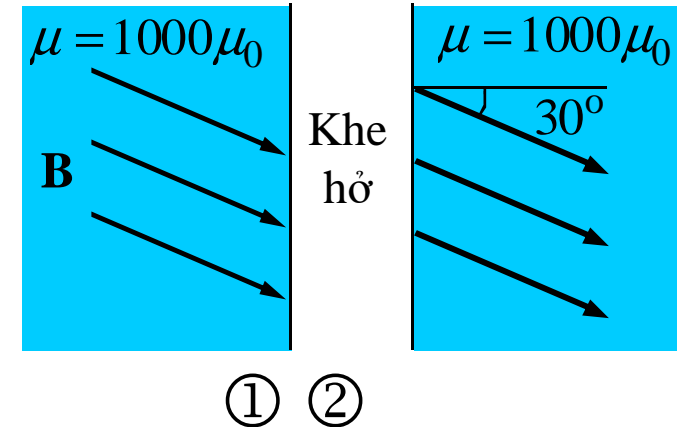
$$\mathbf{B}_{N2} = \mathbf{a}_z \text{ mT}$$

$$\rightarrow \mathbf{B}_2 = \mathbf{B}_{N2} + \mathbf{B}_{tt2} = \boxed{3,5\mathbf{a}_x - 4,69\mathbf{a}_y + \mathbf{a}_z \text{ mT}}$$

## VD2

## Điều kiện bờ từ trường (6)

Tìm độ lớn & hướng của từ trường trong khe hở không khí, biết rằng có một từ trường đều 1,2T ở vùng bên trái khe hở.



$$B_{N2} = B_{N1} = B \cos 30^\circ = 1,2 \cdot 0,866 = 1,0 \text{ T}$$

$$H_{t1} = H_{t2} \rightarrow \frac{B_{t1}}{\mu} = \frac{B_{t2}}{\mu_0}$$

$$\rightarrow B_{t2} = \frac{\mu_0}{1000\mu_0} B_{t1} = \frac{1}{1000} 1,2 \times \sin 30^\circ = 0,06 \text{ mT}$$

$$\rightarrow B_2 = \sqrt{B_{N2}^2 + B_{t2}^2} = \sqrt{1,0^2 + (0,06 \cdot 10^{-3})^2} \approx \boxed{1 \text{ T}}$$

## Lực từ & điện cảm

1. Lực tác dụng lên điện tích chuyển động
2. Lực tác dụng lên nguyên tố dòng
3. Lực giữa các nguyên tố dòng
4. Lực & mô men tác dụng lên một mạch kín
5. Cường độ phân cực từ & từ thẩm
6. Điều kiện bờ từ trường
- 7. Mạch từ**
8. Điện cảm & hồ cảm

## Mạch từ (1)

$$\mathbf{E} = -\nabla V$$

$$V_{AB} = \int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{L}$$

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$$

$$I = \int_S \mathbf{J} \cdot d\mathbf{S}$$

$$V = IR$$

$$R = \frac{d}{\sigma S}$$

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{L} = 0$$

$$\mathbf{H} = -\nabla V_m$$

$$V_{mAB} = \int_A^B \mathbf{H} \cdot d\mathbf{L}$$

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$$

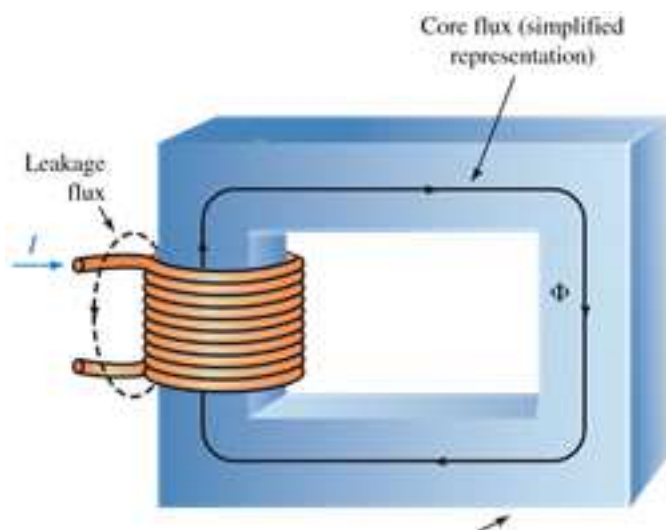
$$\Phi = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

$$V_m = \Phi \mathfrak{R}$$

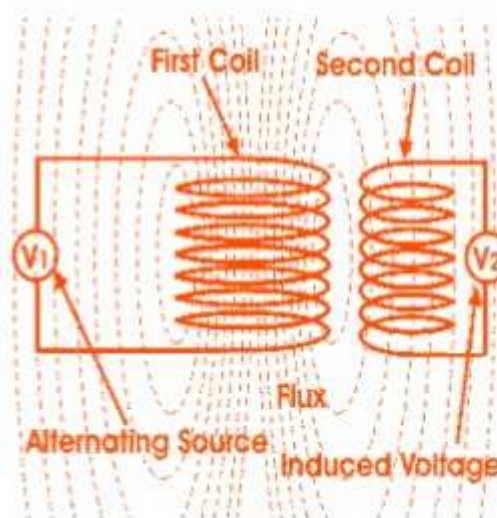
$$\mathfrak{R} = \frac{d}{\mu S}$$

$$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{L} = I_{\text{tổng}}$$

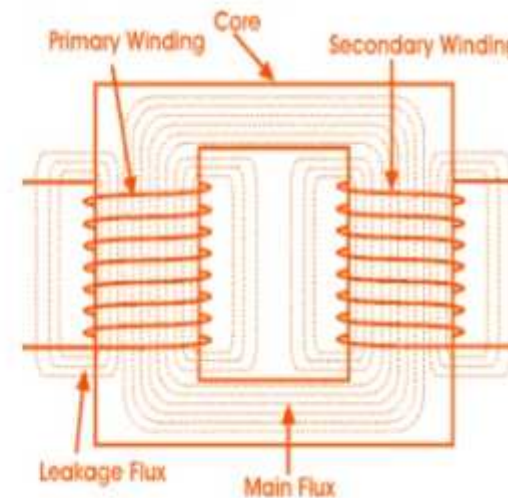
## Mạch từ (2)



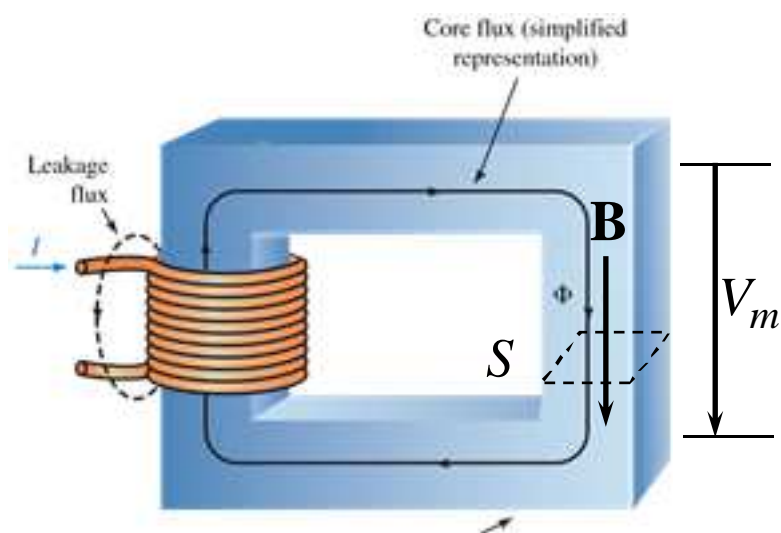
<https://www.kulabs.com/classes/subjects/units/lessons/notes/note-detail/2817>



<https://www.slideshare.net/prodipdasdurjoy/presentation-of-manufacturing-of-distribution-transformer-prodip>



## Mạch từ (3)



<https://www.kullabs.com/classes/subjects/units/lessons/notes/note-detail/2817>

$$V_{mAB} = \int_A^B \mathbf{H} \cdot d\mathbf{L} \approx HL_{AB}$$

$$\Phi = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \approx BS$$

$$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{L} = I_{\text{tổng}} = NI$$



## VD1

## Mạch từ (4)

Lõi sắt có chiều dài trung bình tổng cộng là 0,6 m & tiết diện ngang 16 cm<sup>2</sup>. Cuộn dây có 500 vòng. Tính dòng điện để tạo ra từ thông 1,6 mWb trong lõi sắt?

$$\Phi = BS$$

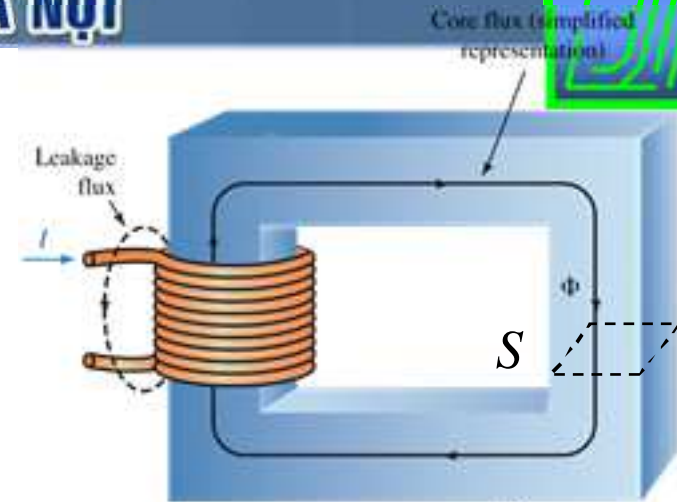
$$\rightarrow B = \frac{\Phi}{S} = \frac{1,6 \cdot 10^{-3}}{16 \cdot 10^{-4}} = 1 \text{ T}$$

$$\rightarrow H = 200 \text{ A/m}$$

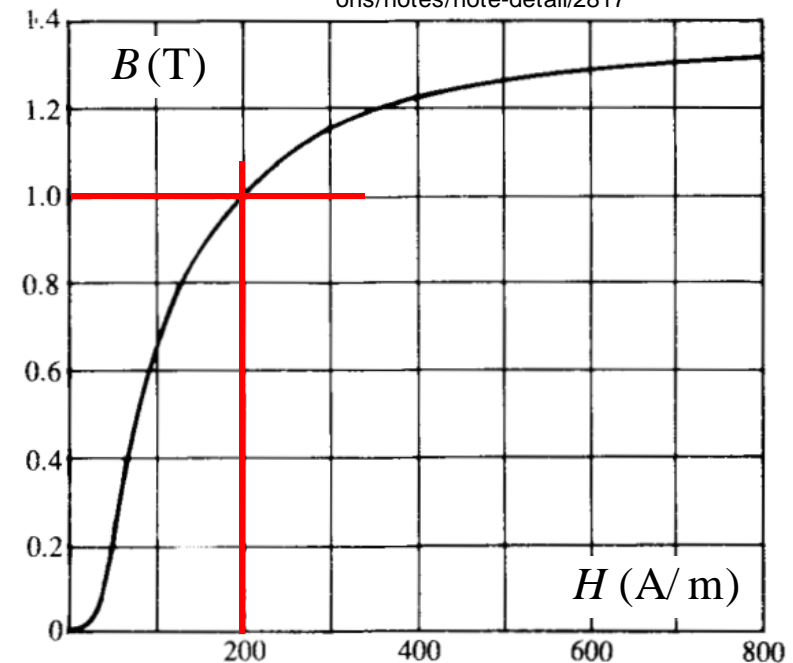
$$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{L} = I_{\text{tổng}} = NI$$

$$\rightarrow H\ell = NI$$

$$\rightarrow I = \frac{H\ell}{N} = \frac{200 \cdot 0,6}{500} = \boxed{0,24 \text{ A}}$$



<https://www.kulabs.com/classes/subjects/units/lessons/notes/note-detail/2817>



Syed Nassar, 2008+ solved problems in electromagnetics, Scitech, 2008



## VD2

## Mạch từ (5)

Cuộn dây có 500 vòng,  $\ell_1 = 40\text{cm}$ ,  $S_1 = S_3 = 10\text{cm}^2$ ,  $\ell_2 = 20\text{cm}$ ,  $S_2 = 16\text{cm}^2$ ,  $\ell_3 = 30\text{cm}$ . Tính dòng điện để tạo ra từ thông  $1\text{ mWb}$  trong lõi sắt?

$$B_1 = B_3 = \frac{\Phi}{S_1} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-4}} = 1\text{T} \rightarrow H_1 = H_3 = 200\text{ A/m}$$

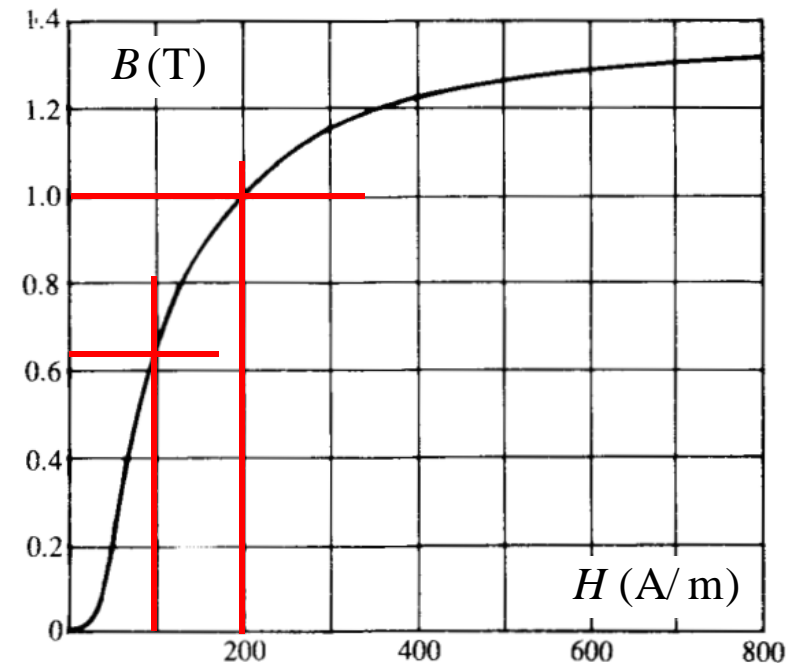
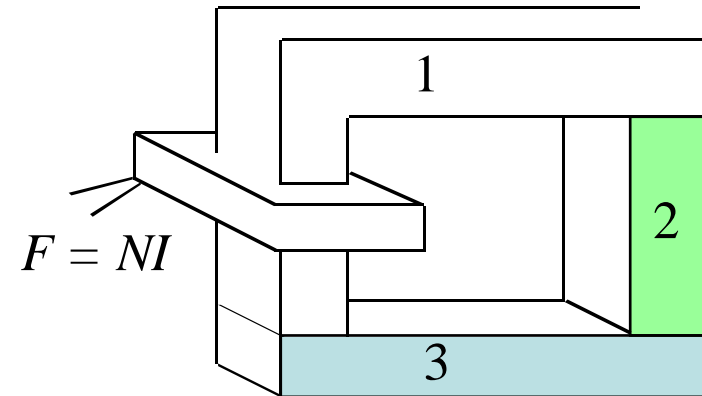
$$B_2 = \frac{\Phi}{S_2} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{16 \cdot 10^{-4}} = 0,625\text{T} \rightarrow H_2 = 95\text{ A/m}$$

$$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{L} = NI$$

$$\rightarrow H_1 \ell_1 + H_2 \ell_2 + H_3 \ell_3 = NI$$

$$\rightarrow I = \frac{H_1 \ell_1 + H_2 \ell_2 + H_3 \ell_3}{N}$$

$$= \frac{(200 \cdot 40 + 95 \cdot 20 + 200 \cdot 30) 10^{-2}}{500} = \boxed{0,318\text{ A}}$$



## VD3

## Mạch từ (6)

Cuộn dây có 500 vòng,  $\ell_1 = 40\text{cm}$ ,  $S_1 = S_3 = 10\text{cm}^2$ ,  $\ell_2 = 20\text{cm}$ ,  $S_2 = 16\text{cm}^2$ ,  $\ell_3 = 30\text{cm}$ ,  $I = 0,5\text{A}$ . Tính từ thông trong lõi sắt?

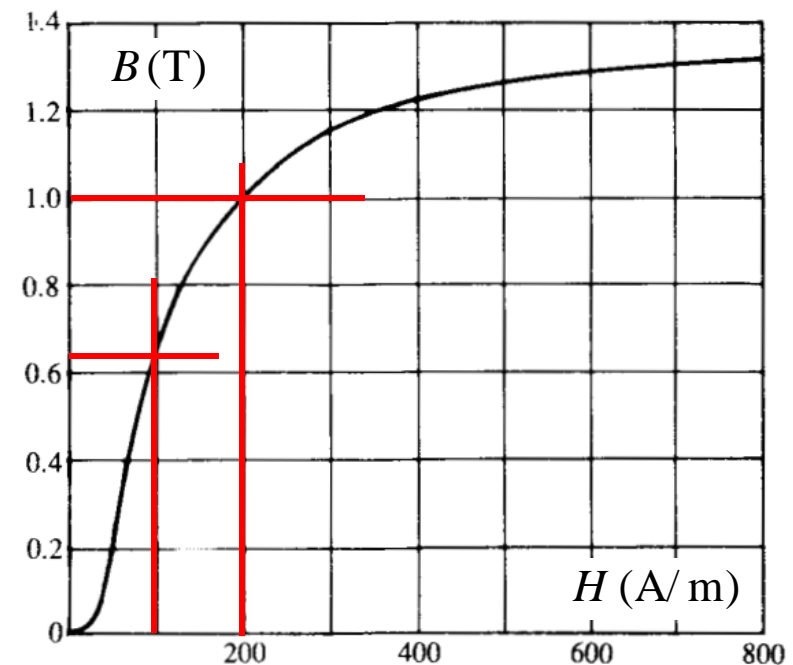
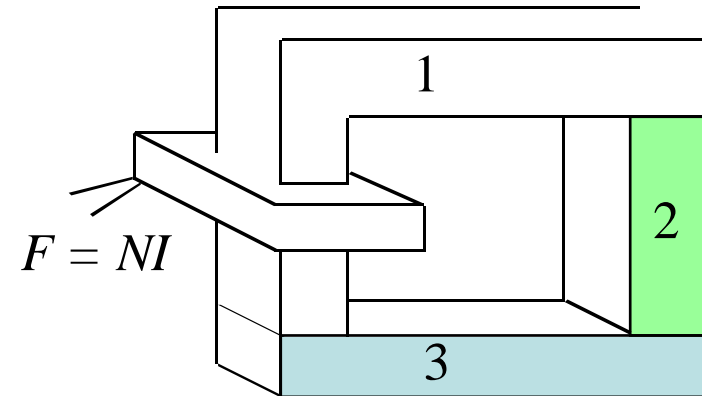
Giả sử  $\Phi = 1\text{mWb}$

$$B_1 = B_3 = \frac{\Phi}{S_1} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-4}} = 1\text{T} \rightarrow H_1 = H_3 = 200\text{ A/m}$$

$$B_2 = \frac{\Phi}{S_2} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{16 \cdot 10^{-4}} = 0,625\text{ T} \rightarrow H_2 = 95\text{ A/m}$$

$$H_1 \ell_1 + H_2 \ell_2 + H_3 \ell_3 = NI \rightarrow I = \frac{H_1 \ell_1 + H_2 \ell_2 + H_3 \ell_3}{N}$$

$$I = \frac{(200 \cdot 40 + 95 \cdot 20 + 200 \cdot 30) 10^{-2}}{500} = 0,318\text{ A}$$



## VD3

## Mạch từ (7)

Cuộn dây có 500 vòng,  $\ell_1 = 40\text{cm}$ ,  $S_1 = S_3 = 10\text{cm}^2$ ,  $\ell_2 = 20\text{cm}$ ,  $S_2 = 16\text{cm}^2$ ,  $\ell_3 = 30\text{cm}$ ,  $I = 0,5\text{A}$ . Tính từ thông trong lõi sắt?

Giả sử  $\Phi = 1\text{mWb} \rightarrow I = 0,318\text{A}$

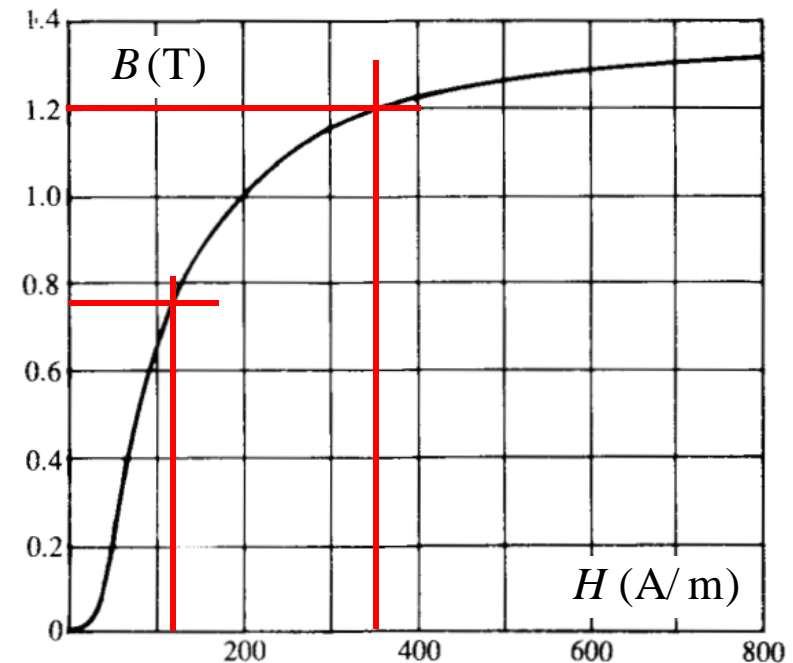
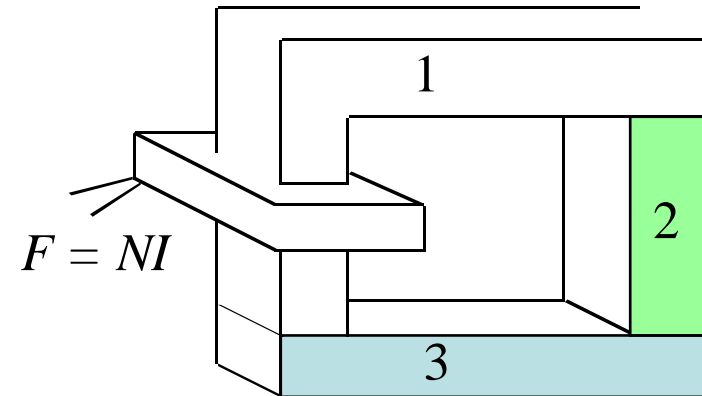
Giả sử  $\Phi = 1,2\text{mWb}$

$$B_1 = B_3 = \frac{\Phi}{S_1} = \frac{1,2 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-4}} = 1,2\text{T} \rightarrow H_1 = H_3 = 350\text{A/m}$$

$$B_2 = \frac{\Phi}{S_2} = \frac{1,2 \cdot 10^{-3}}{16 \cdot 10^{-4}} = 0,75\text{T} \rightarrow H_2 = 120\text{A/m}$$

$$H_1 \ell_1 + H_2 \ell_2 + H_3 \ell_3 = NI \rightarrow I = \frac{H_1 \ell_1 + H_2 \ell_2 + H_3 \ell_3}{N}$$

$$I = \frac{(350 \cdot 40 + 120 \cdot 20 + 350 \cdot 30) 10^{-2}}{500} = 0,538\text{A}$$



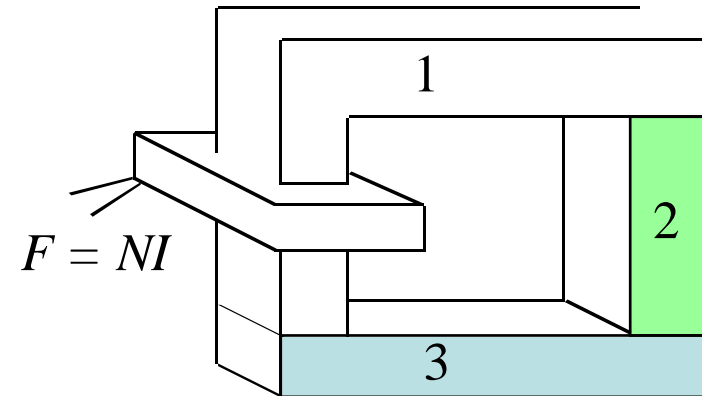
### VD3

### Mạch từ (8)

Cuộn dây có 500 vòng,  $\ell_1 = 40\text{cm}$ ,  $S_1 = S_3 = 10\text{cm}^2$ ,  $\ell_2 = 20\text{cm}$ ,  $S_2 = 16\text{cm}^2$ ,  $\ell_3 = 30\text{cm}$ ,  $I = 0,5\text{A}$ . Tính từ thông trong lõi sắt?

Giả sử  $\Phi = 1\text{mWb} \rightarrow I = 0,318\text{ A}$

Giả sử  $\Phi = 1,2\text{mWb} \rightarrow I = 0,538\text{ A}$



$$\Phi = aI + b \rightarrow \begin{cases} 0,001 = 0,318a + b \\ 0,0012 = 0,538a + b \end{cases} \rightarrow \begin{cases} a = 0,9091 \cdot 10^{-3} \\ b = 0,7109 \cdot 10^{-3} \end{cases}$$

$$\rightarrow \Phi = (0,9091I + 0,7109) \cdot 10^{-3}$$

$$= 0,9091 \cdot 0,5 + 0,7109 = \boxed{1,1654 \text{ mWb}}$$

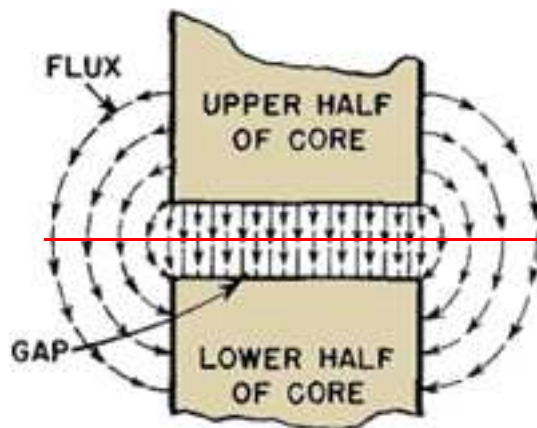
## VD4

## Mạch từ (9)

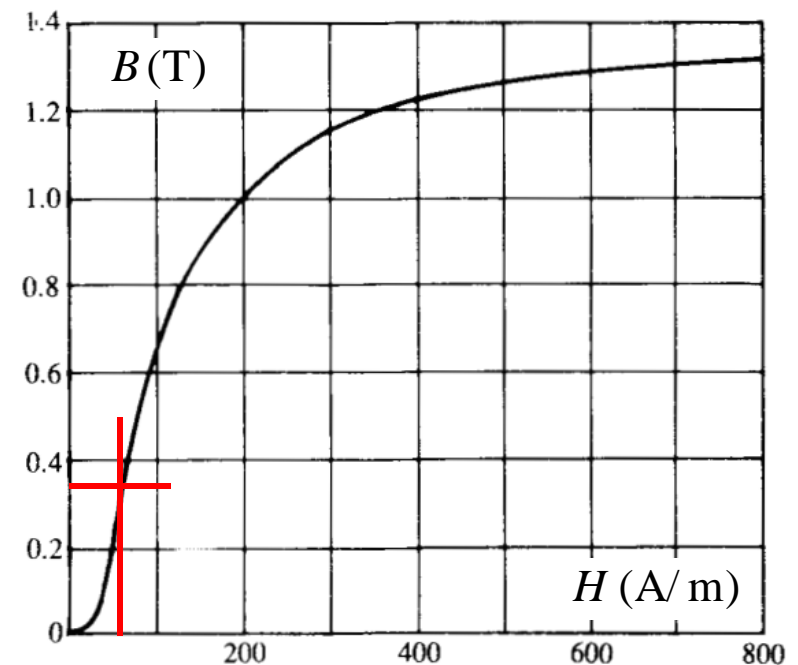
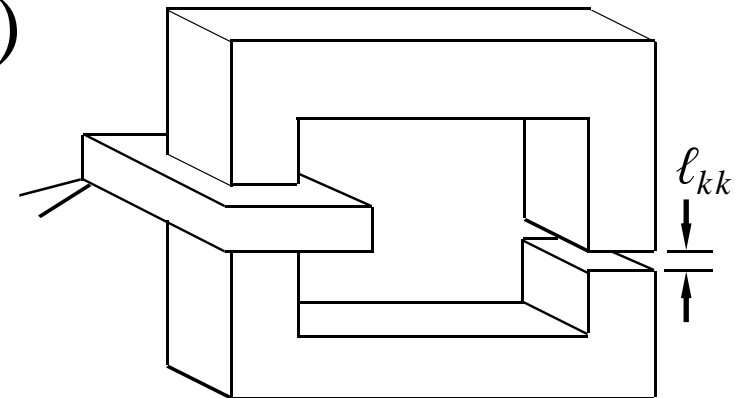
Lõi sắt có chiều dài trung bình tổng cộng là 0,44 m & tiết diện ngang  $0,02 \times 0,02 \text{ m}^2$ . Khe hở không khí là 2 mm. Cuộn dây có 400 vòng. Tính dòng điện để tạo ra từ thông 0,14 mWb ở khe hở không khí?

$$B_s = \frac{\Phi}{S_s} = \frac{0,141 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-4}} = 0,35 \text{ T} \rightarrow H_s = 60 \text{ A/m}$$

$$B_k = \frac{\Phi}{S_k} = \frac{0,14 \cdot 10^{-3}}{(2 \cdot 10^{-2} \cdot 110\%)^2} = 0,29 \text{ T}$$



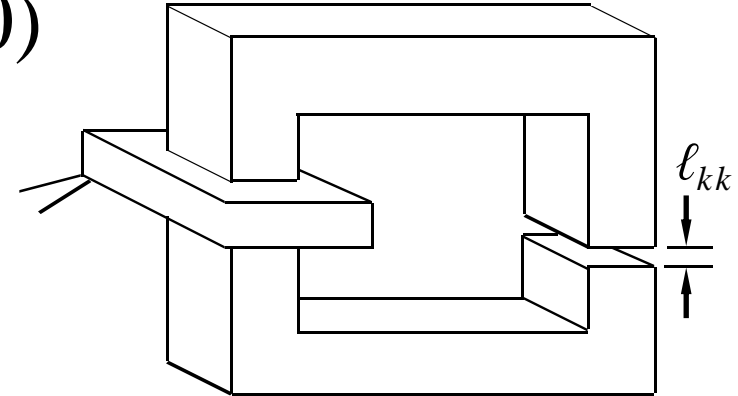
$$\begin{aligned} H_k &= \frac{B_k}{\mu_0} \\ &= \frac{0,29}{4\pi \cdot 10^{-7}} \\ &= 2,31 \cdot 10^5 \text{ A/m} \end{aligned}$$



## VD4

## Mạch từ (10)

Lõi sắt có chiều dài trung bình tổng cộng là 0,44 m & tiết diện ngang  $0,02 \times 0,02 \text{ m}^2$ . Khe hở không khí là 2 mm. Cuộn dây có 400 vòng. Tính dòng điện để tạo ra từ thông 0,14 mWb ở khe hở không khí?



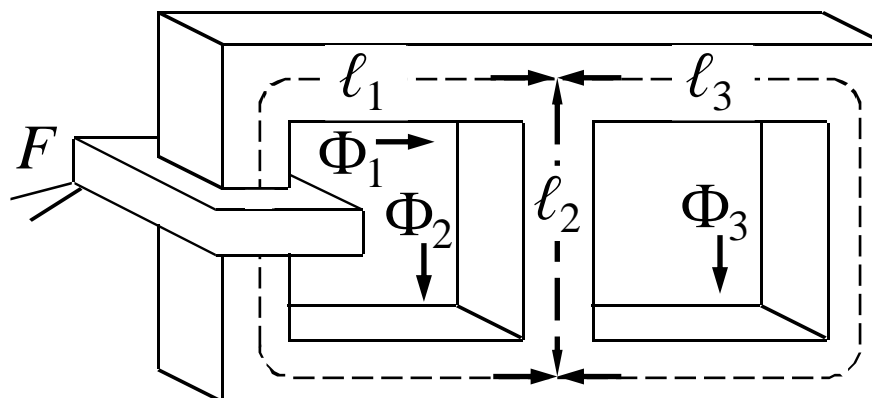
$$B_s = \frac{\Phi}{S_s} = \frac{0,141 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-4}} = 0,35 \text{ T} \rightarrow H_s = 60 \text{ A/m}$$

$$B_k = \frac{\Phi}{S_k} = \frac{0,14 \cdot 10^{-3}}{(2 \cdot 10^{-2} \cdot 110\%)^2} = 0,29 \text{ T} \rightarrow H_k = 2,31 \cdot 10^5 \text{ A/m}$$

$$H_s \ell_s + H_k \ell_k = NI \rightarrow I = \frac{H_s \ell_s + H_k \ell_k}{N} = \frac{60 \cdot 0,44 + (2,31 \cdot 10^5)(2 \cdot 10^{-3})}{400} = \boxed{1,22 \text{ A}}$$

**VD5**

## Mạch từ (11)



$$\begin{cases} \Phi_1 = \Phi_2 + \Phi_3 \\ H_1 \ell_1 + H_2 \ell_2 = F \\ H_2 \ell_2 = H_3 \ell_3 \end{cases}$$



## Lực từ & điện cảm

1. Lực tác dụng lên điện tích chuyển động
2. Lực tác dụng lên nguyên tố dòng
3. Lực giữa các nguyên tố dòng
4. Lực & mô men tác dụng lên một mạch kín
5. Cường độ phân cực từ & từ thẩm
6. Điều kiện bờ từ trường
7. Mạch từ
- 8. Điện cảm & hồ cảm**



## Điện cảm & hồ cảm (1)

$$\left. \begin{aligned} \Phi &= \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = \int_S \mu_r \mu_0 \mathbf{H} \cdot d\mathbf{S} \\ \oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{L} &= I \end{aligned} \right\} \rightarrow \Phi \sim I$$

$$\boxed{L = \frac{\Phi}{I}}$$

$$L = N \frac{\Phi}{I}$$

## VD1

## Điện cảm & hồ cảm (2)

$$L = N \frac{\Phi}{I}$$

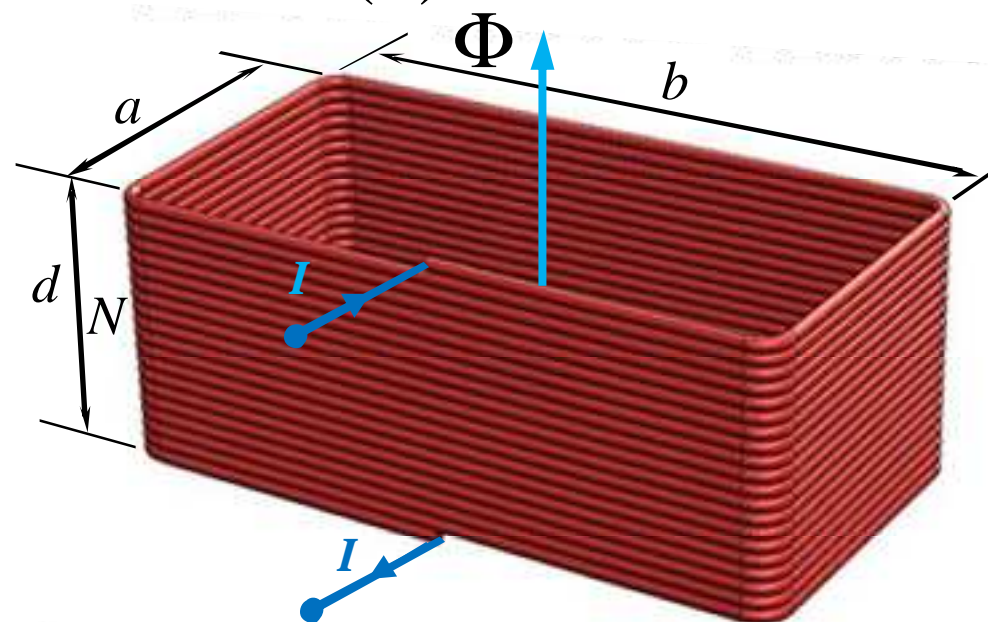
$$\Phi = N \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = N \int_S \mu_r \mu_0 \mathbf{H} \cdot d\mathbf{S}$$

$$= N \mu_r \mu_0 H S$$

$$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{L} = NI$$

$$\rightarrow Hd = NI \rightarrow H = \frac{NI}{d}$$

$$\rightarrow \Phi = N^2 \mu_r \mu_0 \frac{I}{d} S$$



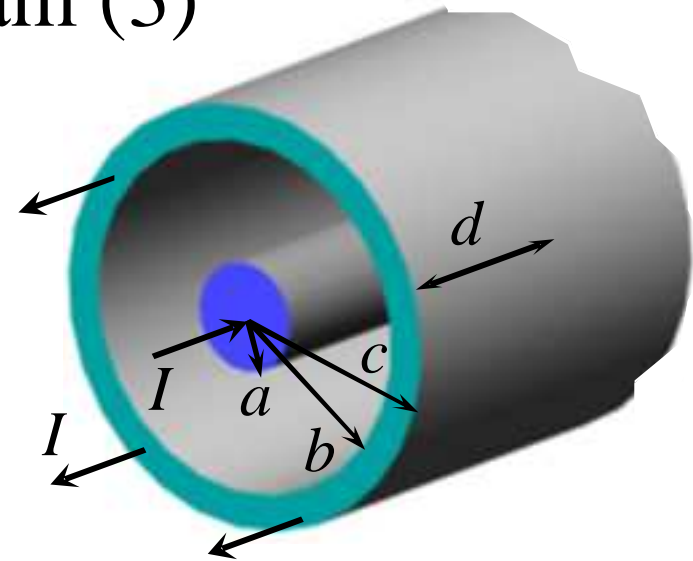
<https://www.stlfinder.com/model/continuous-rectangular-coil/1975752>

$$\rightarrow L = \frac{N^2 \mu_r \mu_0 \frac{I}{d} S}{I} = \boxed{\mu_r \mu_0 \frac{N^2 S}{d}}$$

VD2

## Điện cảm & hồ cảm (3)

$$\left. \begin{aligned} \Phi &= \frac{\mu_0 I d}{2\pi} \ln \frac{b}{a} \\ L &= \frac{\Phi}{I} \end{aligned} \right\}$$



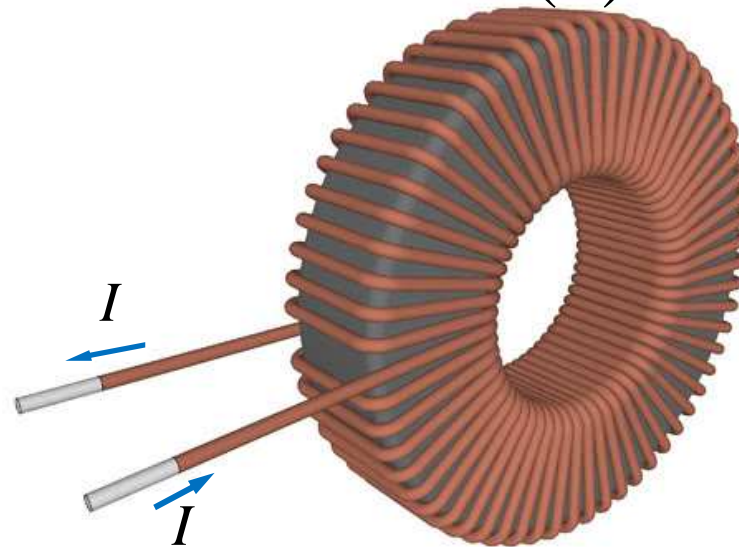
$$\rightarrow L = \frac{\mu_0 d}{2\pi} \ln \frac{b}{a} \text{ H}$$

$$\rightarrow \text{Điện cảm trên đơn vị dài: } L = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{b}{a} \text{ H/ m}$$

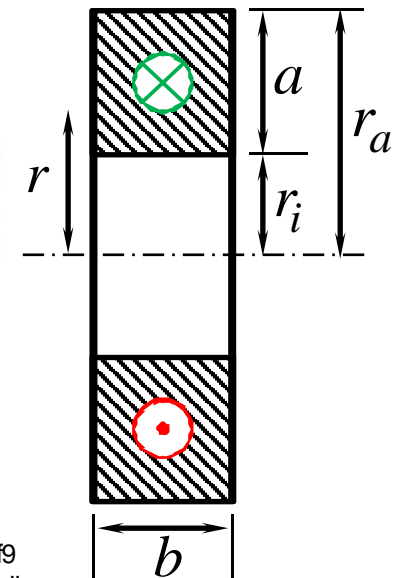
**VD3**

# Điện cảm & hồ cảm (4)

$$\begin{aligned}\Phi &= N \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \\ &= N \int_S \mu_r \mu_0 \mathbf{H} \cdot d\mathbf{S} \\ NI &= \oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{L} \\ &= \oint H dL \\ &= H(2\pi r) \\ \rightarrow H &= \frac{NI}{2\pi r}\end{aligned}$$



<https://3dwarehouse.sketchup.com/model/ec8884f904c69cbb92e83e251d26ee96/Toroidal-Inductor-Coil>



$$\rightarrow \Phi = N \int_{r_i}^{r_a} \mu_r \mu_0 \left( \frac{NI}{2\pi r} \right) (b dr) = \mu_r \mu_0 \frac{N^2 I b}{2\pi} \ln \frac{r_a}{r_i}$$

$$\rightarrow L = \frac{\Phi}{I} = \boxed{\mu_r \mu_0 \frac{N^2 b}{2\pi} \ln \frac{r_a}{r_i}}$$

**VD4**

# Điện cảm & hồ cảm (5)

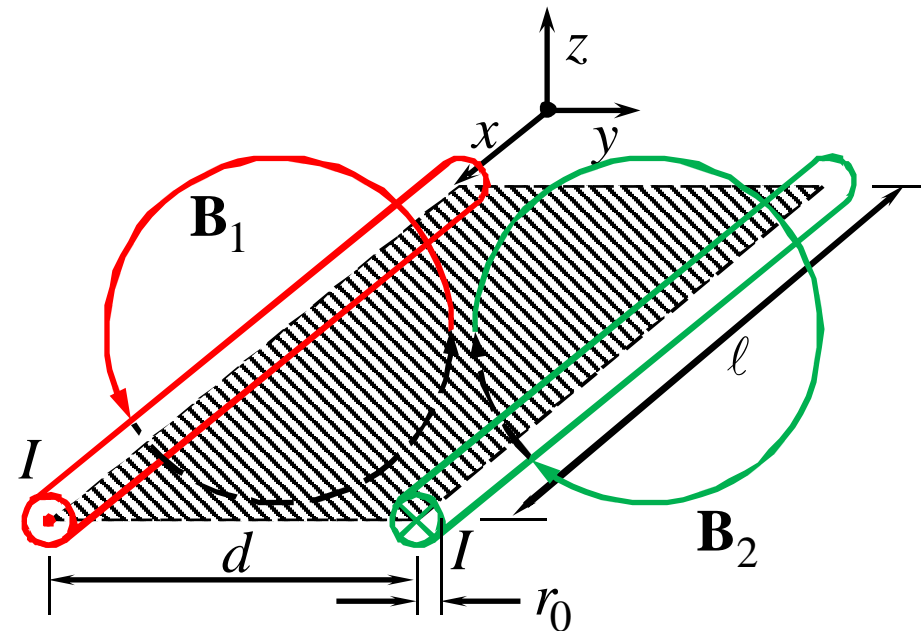
$$\mathbf{H} = \mathbf{H}_1 + \mathbf{H}_2$$

$$= \frac{I}{2\pi y} \mathbf{a}_z + \frac{I}{2\pi(d-y)} \mathbf{a}_z$$

$$\Phi = \int_S \mu_0 \mathbf{H} \cdot d\mathbf{S}$$

$$= \int_S \mu_0 \left[ \frac{I}{2\pi y} \mathbf{a}_z + \frac{I}{2\pi(d-y)} \mathbf{a}_z \right] \cdot d\mathbf{S}$$

$$= \frac{\mu_0 I \ell}{2\pi} \int_{r_0}^{d-r_0} \left( \frac{1}{y} + \frac{1}{d-y} \right) dy = \frac{\mu_0 I \ell}{2\pi} \ln \frac{d-r_0}{r_0} \rightarrow L = \frac{\Phi}{I} = \boxed{\frac{\mu_0 \ell}{2\pi} \ln \frac{d-r_0}{r_0}}$$



## Điện cảm & hồ cảm (6)

$$\boxed{L = \frac{2W_H}{I^2} \leftrightarrow L = \frac{N\Phi}{I}}$$

$$\left. \begin{aligned} L &= \frac{1}{I^2} \int_V \mathbf{A} \cdot \mathbf{J} dv \\ \mathbf{J} dv &\approx I d\mathbf{L} \end{aligned} \right\} \rightarrow L = \frac{1}{I} \oint \mathbf{A} \cdot d\mathbf{L}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{Định lý Stokes: } \oint \mathbf{A} \cdot d\mathbf{L} &= \int_S (\nabla \times \mathbf{A}) \cdot d\mathbf{S} \\ \mathbf{B} &= \nabla \times \mathbf{A} \end{aligned} \right\} \rightarrow L = \frac{1}{I} \int_S (\nabla \times \mathbf{A}) \cdot d\mathbf{S}$$

$$\left. \begin{aligned} \rightarrow L &= \frac{1}{I} \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \\ \Phi &= \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \end{aligned} \right\} \rightarrow L = \frac{\Phi}{I}$$

Có  $N$  vòng:  $L = \frac{N\Phi}{I}$

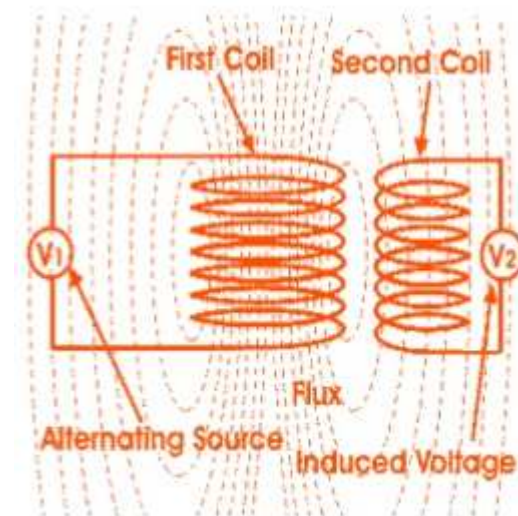


## Điện cảm & hồ cảm (7)

- Định nghĩa hồ cảm:

$$M_{12} = \frac{N_2 \Phi_{12}}{I_1}$$

- $\Phi_{12}$ : từ thông liên kết mạch 1 với mạch 2
- $I_1$ : dòng trong mạch 1
- $N_2$ : số vòng dây của mạch 2
- Đơn vị H



<https://www.slideshare.net/prodipdasdurjoy/presentation-of-manufacturing-of-distribution-transformer-prodip>

## VD5

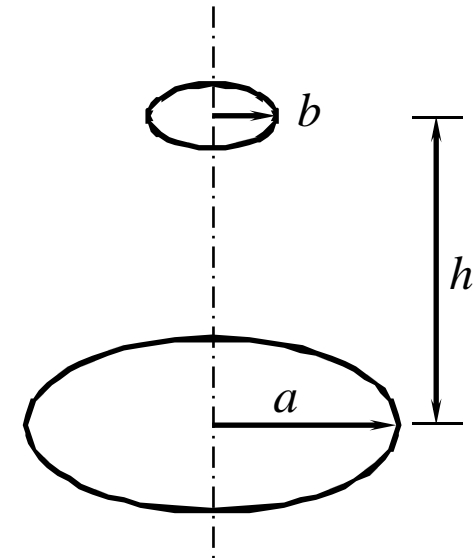
## Điện cảm & hồ cảm (8)

Tính hồ cảm giữa hai vòng dây nếu  $b \ll a$ .

$$\mathbf{H} = \frac{Ia^2}{2(h^2 + a^2)^{3/2}} \mathbf{a}_z$$

$$\Phi_{12} = BS_b = \left( \frac{\mu_0 Ia^2}{2(h^2 + a^2)^{3/2}} \right) (\pi b^2)$$

$$M_{12} = \frac{N_2 \Phi_{12}}{I_1} = \frac{\Phi_{12}}{I} = \boxed{\frac{\mu_0 \pi a^2 b^2}{2(h^2 + a^2)^{3/2}}}$$





## VD6

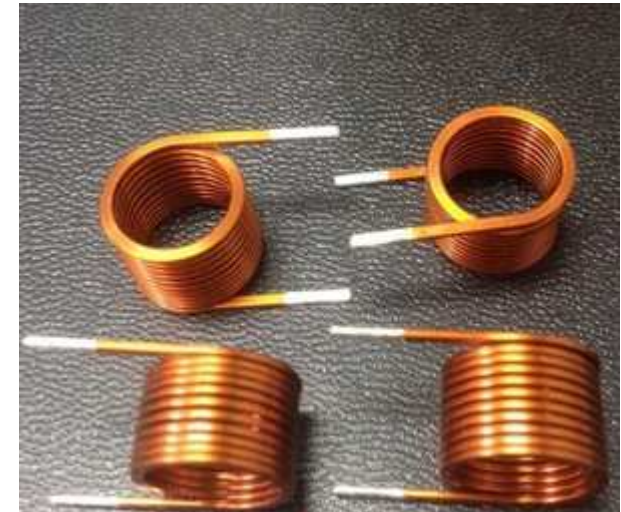
## Điện cảm & hồ cảm (9)

Một cuộn dây hình trụ đặt trong chân không với  $R_1$ ,  $L_1$ , &  $N_1$  vòng. Một cuộn dây nhỏ hơn với  $R_2$ ,  $L_2$ , &  $N_2$ . Cuộn dây này đồng trục & nằm ở tâm của cuộn dây to.  $R_1 \gg R_2$ ,  $L_1 \gg L_2$ . Tìm hồ cảm giữa hai cuộn dây.

$$N_1 I_1 = \oint \mathbf{H}_1 \cdot d\mathbf{L} = \oint H_1 dL = H_1 L_1 \rightarrow H_1 = \frac{N_1 I_1}{L_1}$$

$$\Phi_{12} = B_1 S_2 = \mu_0 \frac{N_1 I_1}{L_1} \pi R_2^2$$

$$M_{12} = \frac{N_2 \Phi_{12}}{I_1} = \boxed{\mu_0 \frac{N_1 N_2}{L_1} \pi R_2^2}$$



<https://www.alibaba.com/showroom/cylindrical-inductor.html>

## VD7

## Điện cảm & hồ cảm (10)

Một cuộn dây 2000 vòng được quấn quanh một lõi sắt từ với bán kính trong 10 mm, bán kính ngoài 15 mm, độ dày 10 mm, độ từ thẩm tương đối 500. Một sợi dây thẳng & dài vô hạn, nằm trên trục của cuộn dây, mang dòng điện  $I$ . Tính hồ cảm giữa cuộn dây & sợi dây

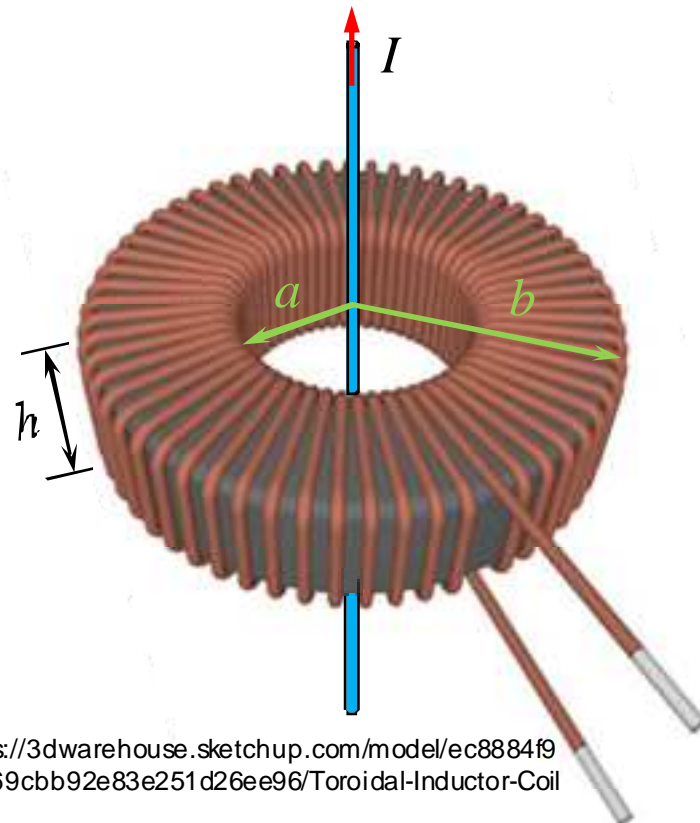
$$\mathbf{B}_1 = \mu \frac{I}{2\pi\rho} \mathbf{a}_\varphi$$

$$\Phi_{12} = \int_{S_2} \mathbf{B}_1 \cdot d\mathbf{S}_2$$

$$= \int_{S_2} \left( \mu \frac{I}{2\pi\rho} \mathbf{a}_\varphi \right) \cdot (hd\rho\mathbf{a}_\varphi)$$

$$= \frac{\mu Ih}{2\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right)$$

$$M_{12} = \frac{N_2 \Phi_{12}}{I_1} = \boxed{\frac{\mu N_2 h}{2\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right)}$$



<https://3dwarehouse.sketchup.com/model/ec8884f904c69cbb92e83e251d26ee96/Toroidal-Inductor-Coil>

$$\begin{array}{l}
 Q \longrightarrow \mathbf{F} = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon R^2} \mathbf{a}_R \longrightarrow \mathbf{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon R^2} \mathbf{a}_R \longrightarrow \mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E} \\
 \downarrow \\
 W = -Q \int \mathbf{E} \cdot d\mathbf{L} \longrightarrow V = -\int \mathbf{E} \cdot d\mathbf{L} \longrightarrow C = \frac{Q}{V} \\
 \downarrow \\
 I = \frac{dQ}{dt} \longrightarrow R = \frac{V}{I} \\
 \downarrow \\
 \mathbf{H} = \frac{I}{2\pi\rho} \mathbf{a}_\varphi \longrightarrow \mathbf{B} = \mu \mathbf{H} \longrightarrow \Phi = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \longrightarrow L = \frac{\Phi}{I} \\
 \downarrow \\
 \mathbf{F} = -I \oint \mathbf{B} \times d\mathbf{L}
 \end{array}$$