

Chương 4: TỪ TRƯỜNG

- 4.1. Những đại lượng đặc trưng của dòng điện.
- 4.2. Tương tác từ của dòng điện. Định luật Ampere
- 4.3. Từ trường
- 4.4. Từ thông
- 4.5. Định lý Ampere về lưu số của cường độ từ trường. Ứng dụng
- 4.6. Lực từ trường
- 4.7. Lực Lorentz. Chuyển động của hạt tích điện trong từ trường đều.
- 4.8. Công của lực từ

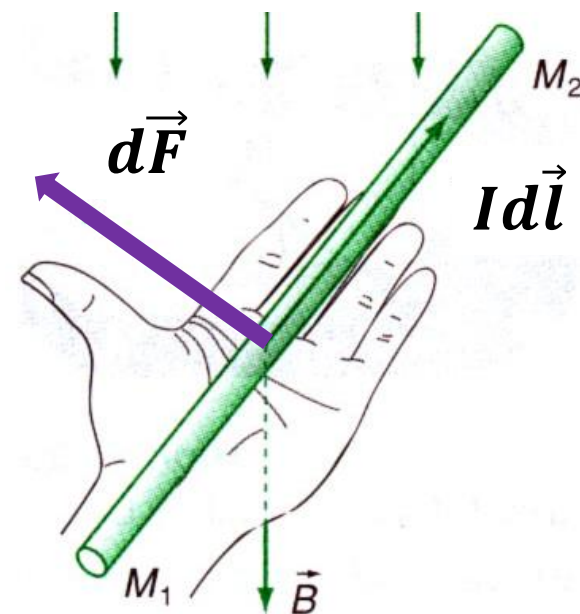
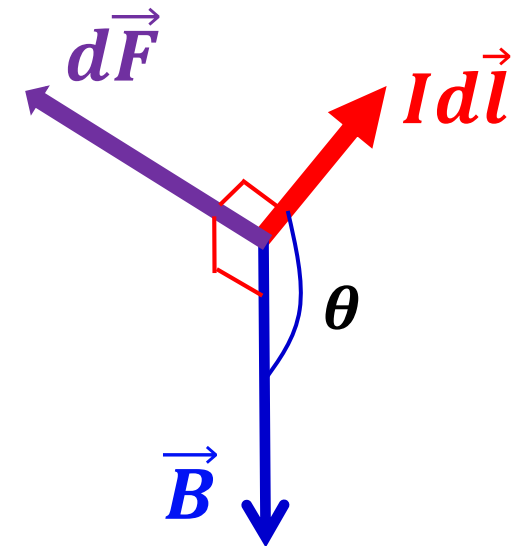
4.6. Lực từ trường

1. Lực tác dụng của từ trường lên dòng điện

a. Lực từ (Lực Ampe)

$$d\vec{F} = I d\vec{l} \wedge \vec{B}$$

- **Góc:** tại $I d\vec{l}$
- **Phương:** \perp với mặt phẳng chứa $(I d\vec{l}, \vec{B})$
- **Chiều:** Sao cho ba véc tơ $I d\vec{l}, \vec{B}, d\vec{F}$ theo thứ tự tạo thành tam diện thuận (quy tắc bàn tay trái)
- **Độ lớn:** $dF = I \cdot dl \cdot B \cdot \sin\theta$



4.6. Lực từ trường

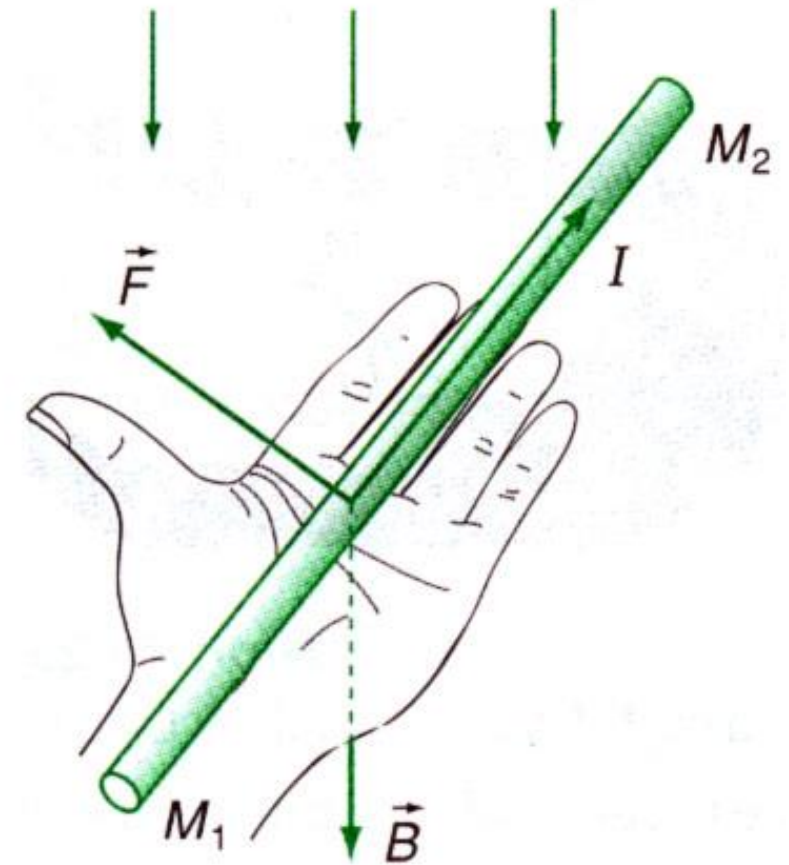
1. Lực tác dụng của từ trường lên dòng điện

a. Lực từ (Lực Ampe)

- Dòng điện thẳng đặt trong từ trường đều \vec{B}

$$\vec{F} = I \cdot \vec{l} \wedge \vec{B}$$

- **Phương:** \perp với mặt phẳng chứa (I, \vec{B})
- **Chiều:** Theo quy tắc bàn tay trái
- **Độ lớn:** $F = I \cdot l \cdot B \cdot \sin\theta$



4.6. Lực từ trường

b. Tác dụng tương hỗ giữa hai dòng điện thẳng, song song, dài vô hạn

* Hai dòng điện cùng chiều I_1, I_2 :

• Theo đ/l Biot-Savart-Laplace: Dòng I_1 gây ra từ trường \vec{B}_1 tại vị trí dòng I_2

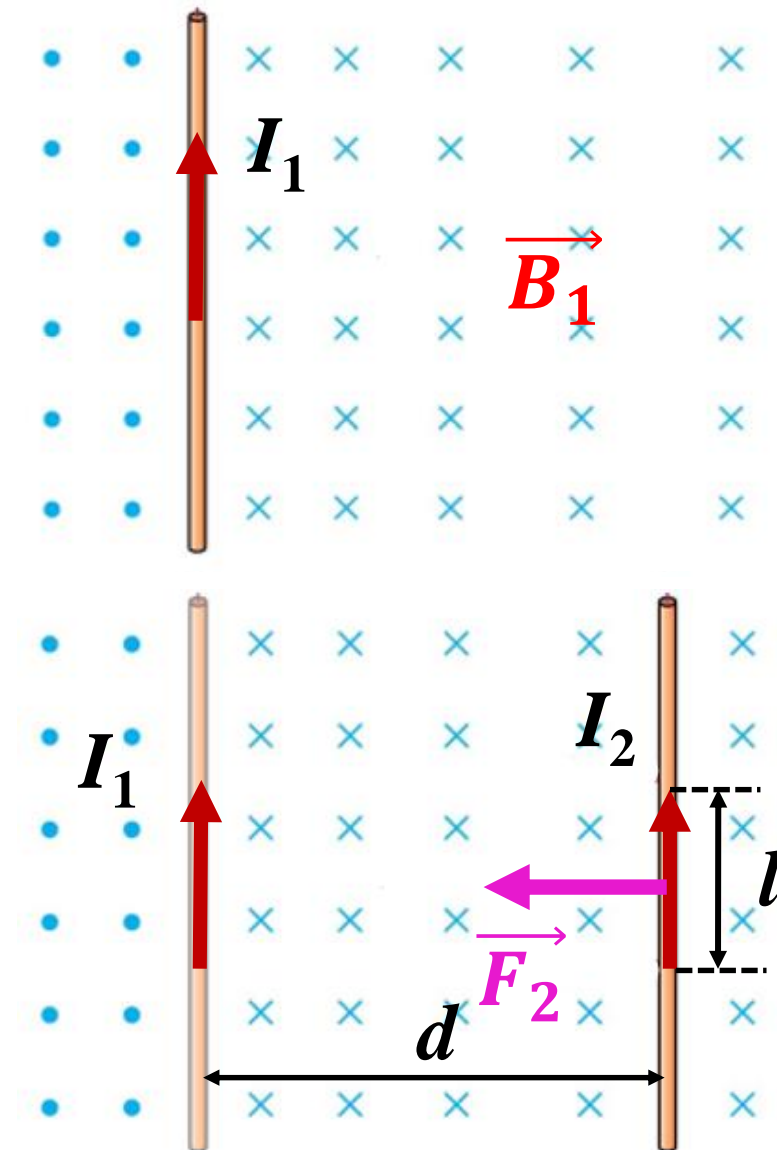
$$B_1 = \frac{\mu\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_1}{d}$$

• Lực tác dụng lên **đoạn** có độ dài l của dòng điện I_2 đặt trong từ trường \vec{B}_1

$$\vec{F}_2 = I_2 \cdot \vec{l} \wedge \vec{B}_1$$

• Độ lớn:

$$F_2 = \frac{\mu\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_1 I_2 l}{d}$$

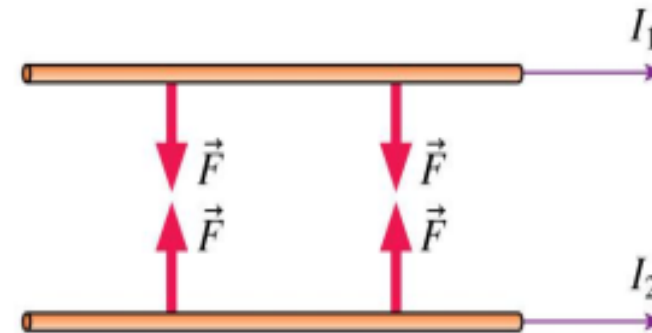


4.6. Lực từ trường

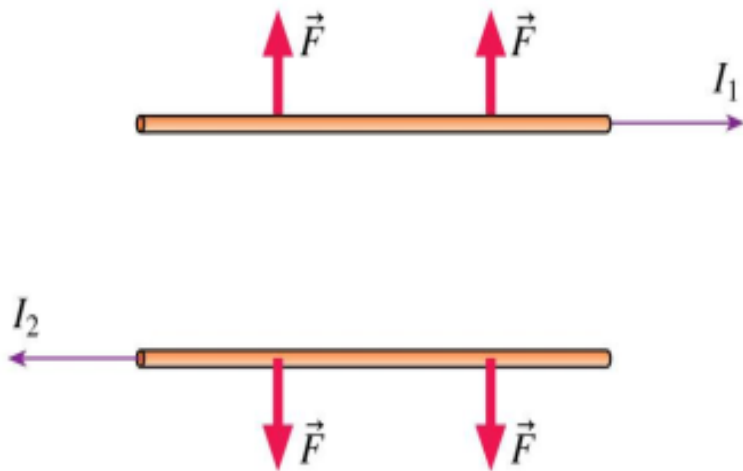
b. Tác dụng tương hỗ giữa hai dòng điện thẳng, song song, dài vô hạn

- Tương tự, từ trường do I_2 gây ra cũng tác dụng một lực \vec{F}_1 có cùng độ lớn với \vec{F}_2 hướng về I_1

⇒ Hai dòng điện song song cùng chiều hút nhau



⇒ Hai dòng điện song song ngược chiều đẩy nhau



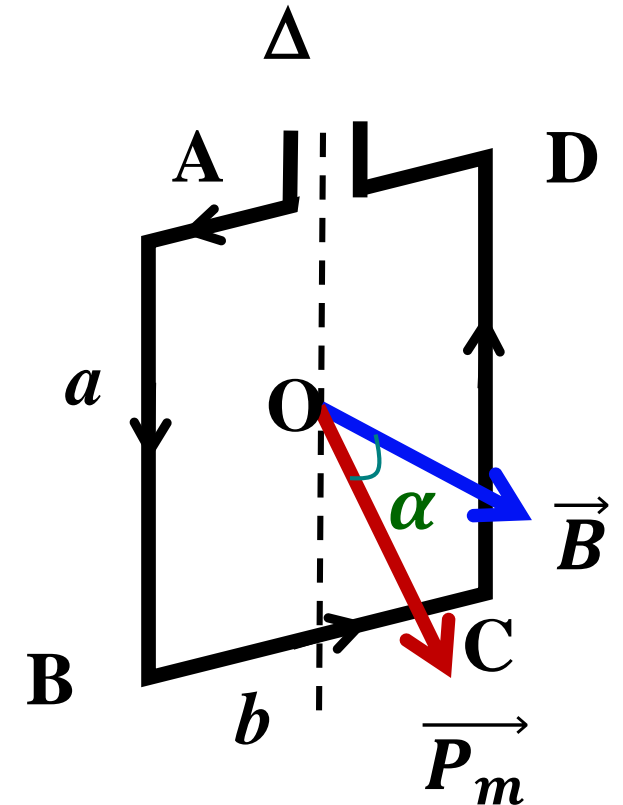
$$F_1 = F_2 = \frac{\mu\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_1 I_2 l}{d}$$

4.6. Lực từ trường

2. Khung dây điện đặt trong từ trường đều

Xét:

- Dòng điện I chạy trong khung dây hình chữ nhật $ABCD$ cạnh a, b .
- $\vec{B} = \text{const}$, \vec{B} vuông góc với AB và CD
- $\alpha = (\vec{P_m}, \vec{B})$
 $\vec{P_m} = I\vec{S}$



4.6. Lực từ trường

2. Khung dây điện đặt trong từ trường đều

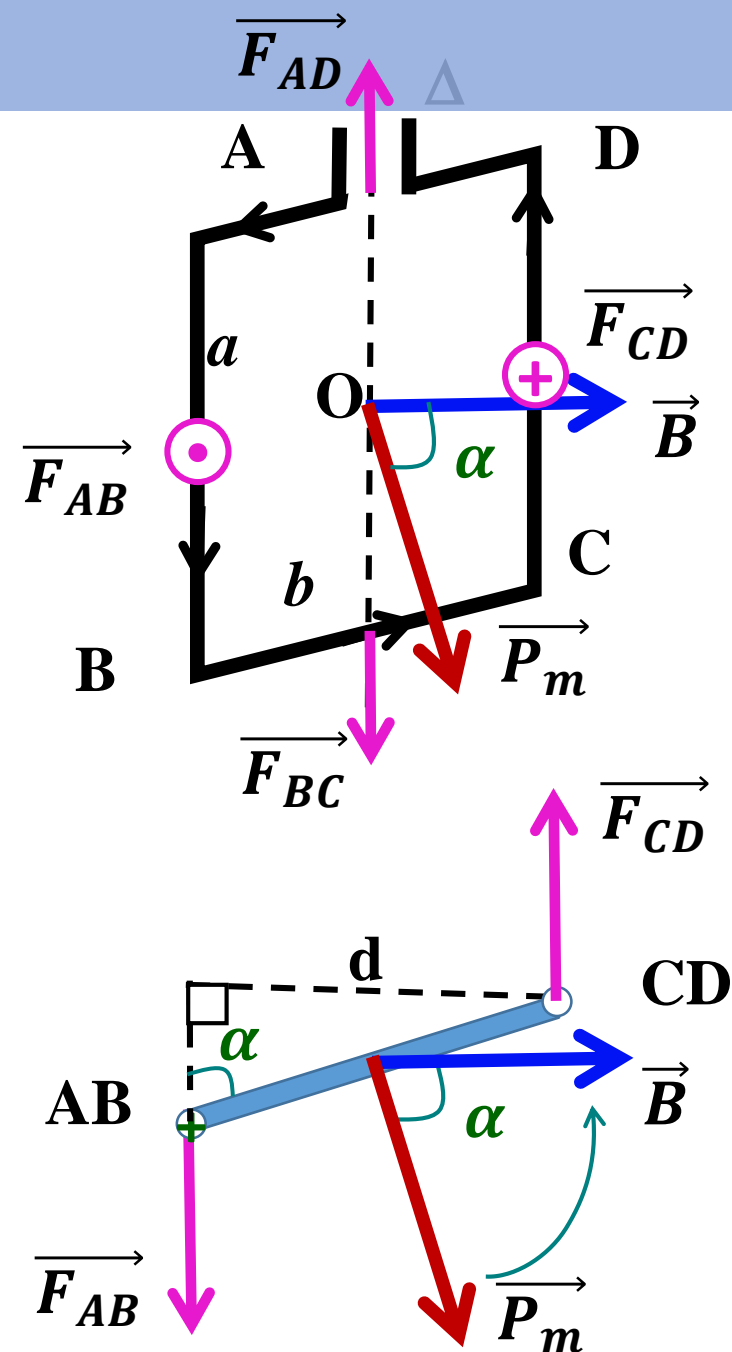
* Lực từ tác dụng lên khung dây:

- Hai lực \vec{F}_{BC} , \vec{F}_{AD} ($\vec{F}_{BC} = -\vec{F}_{AD}$) triệt tiêu bởi phản lực của khung
- Hai lực \vec{F}_{AB} hướng về phía trước, \vec{F}_{CD} hướng về phía sau:

- Vuông góc với dòng **AB**, **CD** và \vec{B}

$$F_{AB} = F_{CD} = I \cdot a \cdot B$$

$\Rightarrow \vec{F}_{AB}, \vec{F}_{CD}$ tạo thành ngẫu lực làm quay khung quanh trục Δ từ $\vec{P}_m \rightarrow \vec{B}$



4.6. Lực từ trường

2. Khung dây điện đặt trong từ trường đều

- Mô men ngẫu lực:

$$\vec{M} = \vec{F} \cdot \vec{d}$$

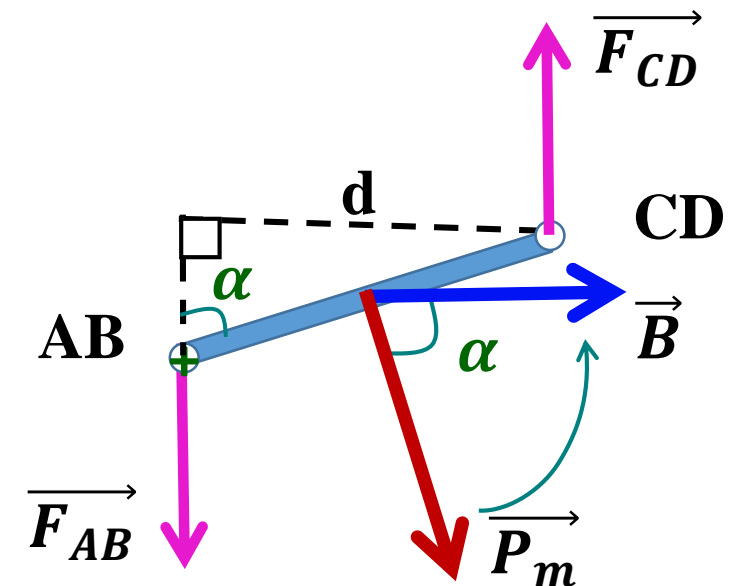
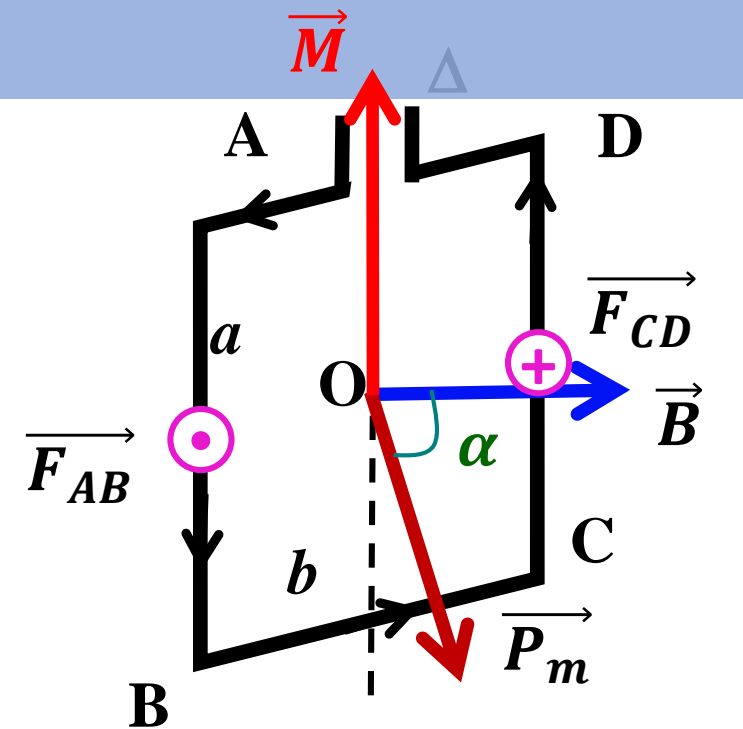
$$d = b \sin \alpha$$

$$\rightarrow M = F \cdot b \sin \alpha = I a B b \sin \alpha = I S B \sin \alpha$$

mà $IS = P_m$

$$\rightarrow M = P_m \cdot B \sin \alpha$$

$$\rightarrow \vec{M} = \vec{P}_m \wedge \vec{B}$$



4.6. Lực từ trường

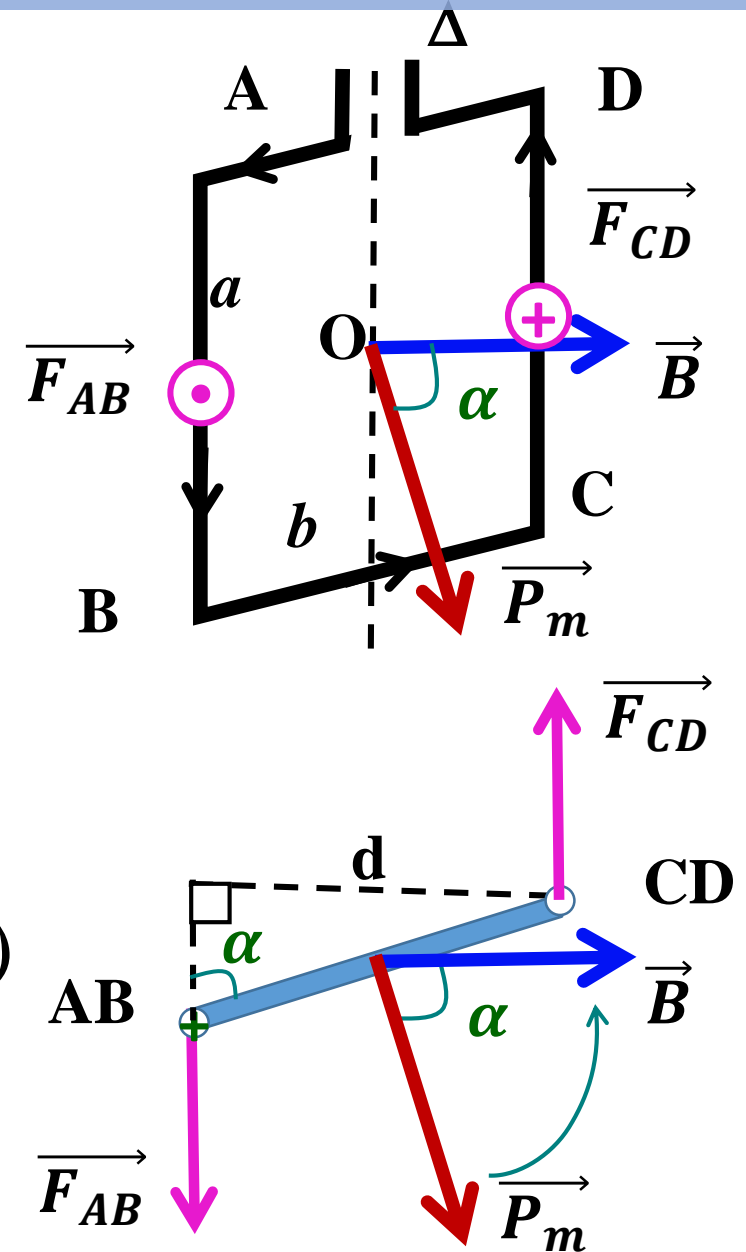
2. Khung dây điện đặt trong từ trường đều

* Khi khung quay một góc $d\alpha$, công của ngẫu lực:

$$dA = -M \cdot d\alpha = -P_m \cdot B \sin \alpha d\alpha$$

Dấu (-) vì khi ngẫu lực sinh công $dA > 0$ (công phát động) thì góc α giảm ($d\alpha < 0$)

ngược lại khi ta quay khung để α tăng ($d\alpha > 0$) thì ngẫu lực sinh công cản ($dA < 0$)



4.6. Lực từ trường

2. Khung dây điện đặt trong từ trường đều

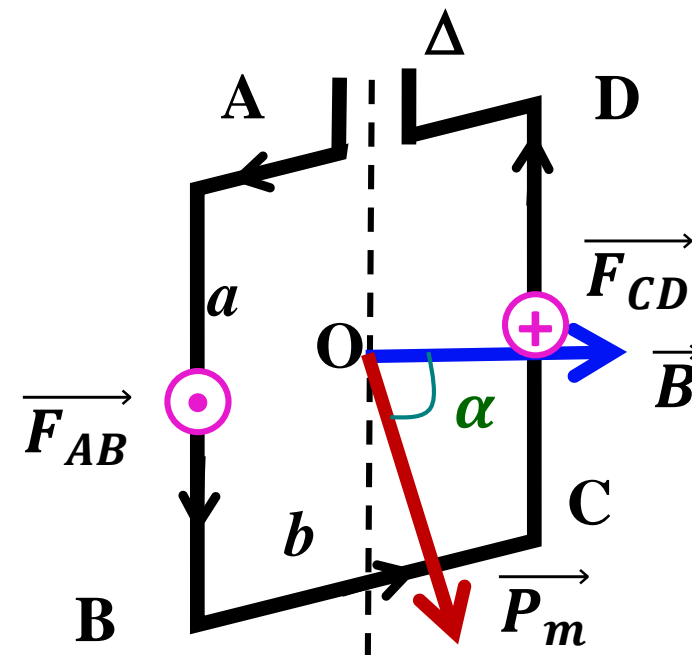
→ Công của ngẫu lực thực hiện khi khung quay từ α_1 đến α_2

$$\begin{aligned} A_{12} &= \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} -P_m \cdot B \sin \alpha d\alpha \\ &= P_m \cdot B (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) \end{aligned}$$

$$= (-P_m \cdot B \cos \alpha_1) - (-P_m \cdot B \cos \alpha_2) = W_m(\alpha_1) - W_m(\alpha_2)$$

→ Thế năng của khung dây:

$$W_m(\alpha) = -P_m \cdot B \cos \alpha \text{ hay } W_m(\alpha) = -\vec{P}_m \cdot \vec{B}$$



4.7. Lực Lorentz.

Chuyển động của hạt tích điện trong từ trường đều

1. Lực Lorentz

❖ Xét điện tích q ($q > 0$) chuyển động với vận tốc \vec{v} trong từ trường \vec{B} .

• q chuyển động với vận tốc $\vec{v} \Leftrightarrow$ 1 phần tử dòng điện $I d\vec{l}$

Vì $I = j \cdot S = n_0 \cdot q \cdot v \cdot S \Rightarrow I dl = n_0 \cdot q \cdot v \cdot S \cdot dl = dn \cdot q \cdot v$

($dn = n_0 \cdot dV$ là số điện tích có trong một đơn vị thể tích $dV = S \cdot dl$ của phần tử dòng $I d\vec{l}$)

• Phần tử dòng điện $I d\vec{l}$ (có dn điện tích q) chịu tác dụng của lực Ampe:

$$d\vec{F} = I d\vec{l} \wedge \vec{B}$$

4.7. Lực Lorentz.

Chuyển động của hạt tích điện trong từ trường đều

1. Lực Lorentz

$$\rightarrow dF = I \cdot dl \cdot B \cdot \sin\alpha = dn \cdot q \cdot v \cdot B \cdot \sin\alpha$$

→ Lực từ tác dụng điện tích q :

$$\frac{dF}{dn} = F_L = q \cdot v \cdot B \cdot \sin\alpha \quad (\text{Lực Lorentz})$$

- Tổng quát: Lực từ tác dụng lên hạt mang điện chuyển động trong từ trường (Lực Lorentz)

$$\vec{F}_L = q\vec{v} \wedge \vec{B}$$

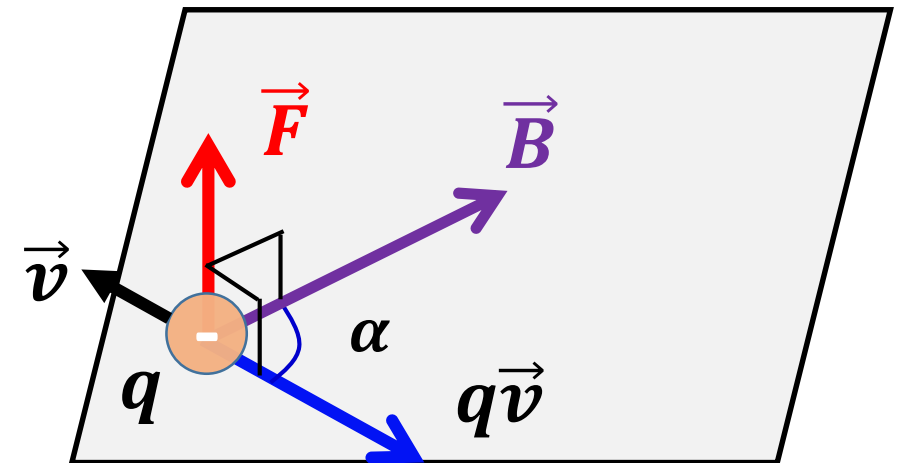
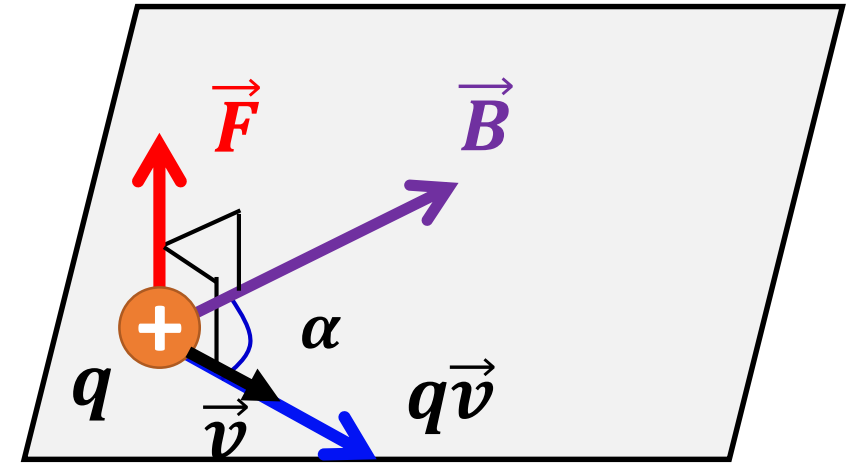
4.7. Lực Lorentz.

Chuyển động của hạt tích điện trong từ trường đều

1. Lực Lorentz

$$\vec{F}_L = q\vec{v} \wedge \vec{B}$$

- **Phương:** $\perp \vec{v}, \vec{B}$
- **Chiều:** Sao cho $q\vec{v}, \vec{B}, \vec{F}_L$ theo thứ tự tạo thành tam diện thuận (quy tắc bàn tay trái)
- **Độ lớn:** $F_L = |q|.v.B.\sin\alpha$



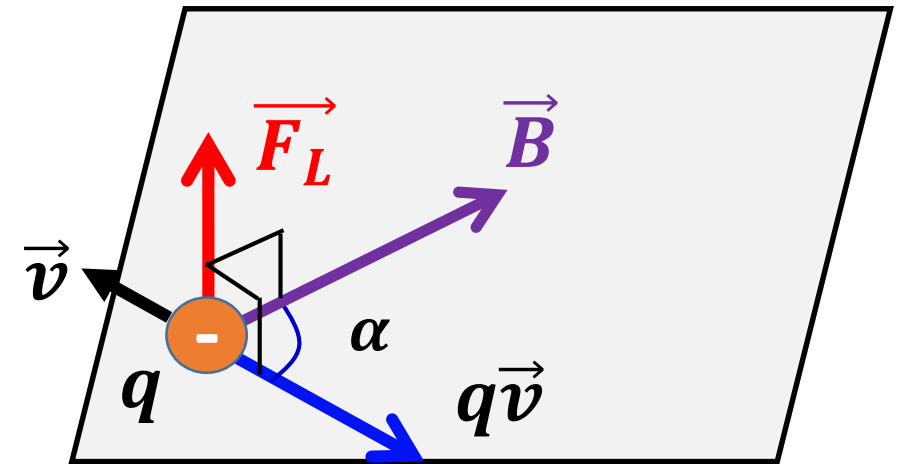
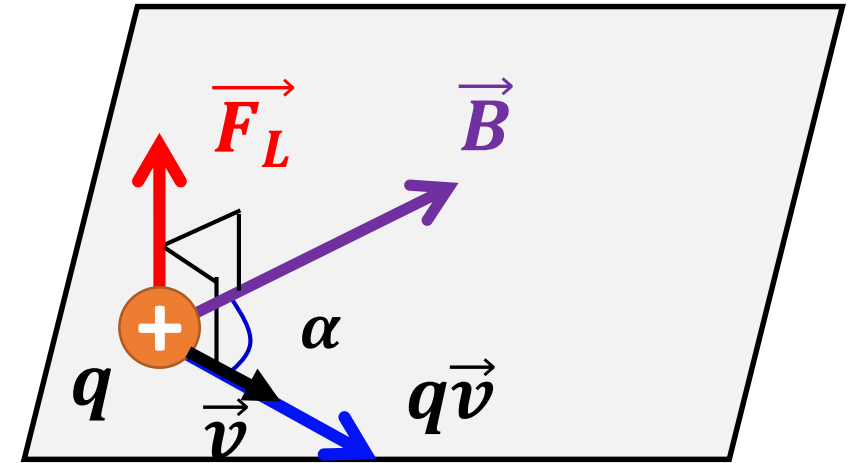
4.7. Lực Lorentz.

Chuyển động của hạt tích điện trong từ trường đều

1. Lực Lorentz

*** Nhận xét:**

- $\vec{F}_L \perp \vec{v}$
→ \vec{F}_L không sinh công,
không làm thay đổi độ lớn của vận tốc,
chỉ làm thay đổi hướng của vận tốc
→ \vec{F}_L đóng vai trò lực hướng tâm



4.7. Lực Lorentz.

Chuyển động của hạt tích điện trong từ trường đều

2. Chuyển động của hạt tích điện trong từ trường đều

a. $\vec{v} \perp \vec{B}$

$$F_L = |q| \cdot v \cdot B \cdot \sin 90^\circ = |q| \cdot v \cdot B$$

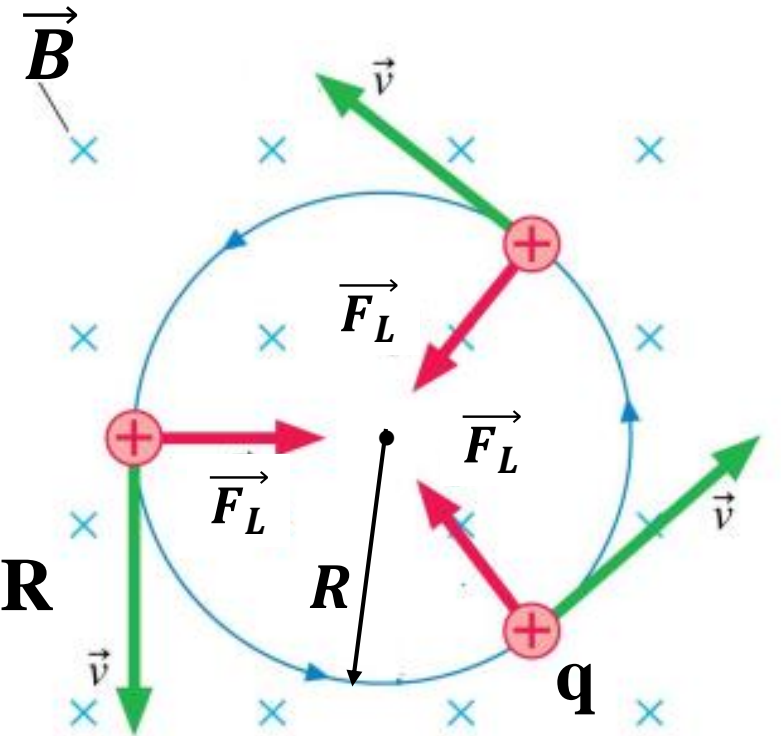
\vec{F}_L đóng vai trò lực hướng tâm

$$F_L = F_{ht}$$

$$\rightarrow |q| \cdot v \cdot B = \frac{mv^2}{R}$$

$\rightarrow q$ chuyển động theo quỹ đạo tròn có bán kính R

$$R = \frac{mv}{|q| \cdot B}$$



4.7. Lực Lorentz.

Chuyển động của hạt tích điện trong từ trường đều

2. Chuyển động của hạt tích điện trong từ trường đều

a. $\vec{v} \perp \vec{B}$

+ Chu kỳ: $T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{|q|B}$

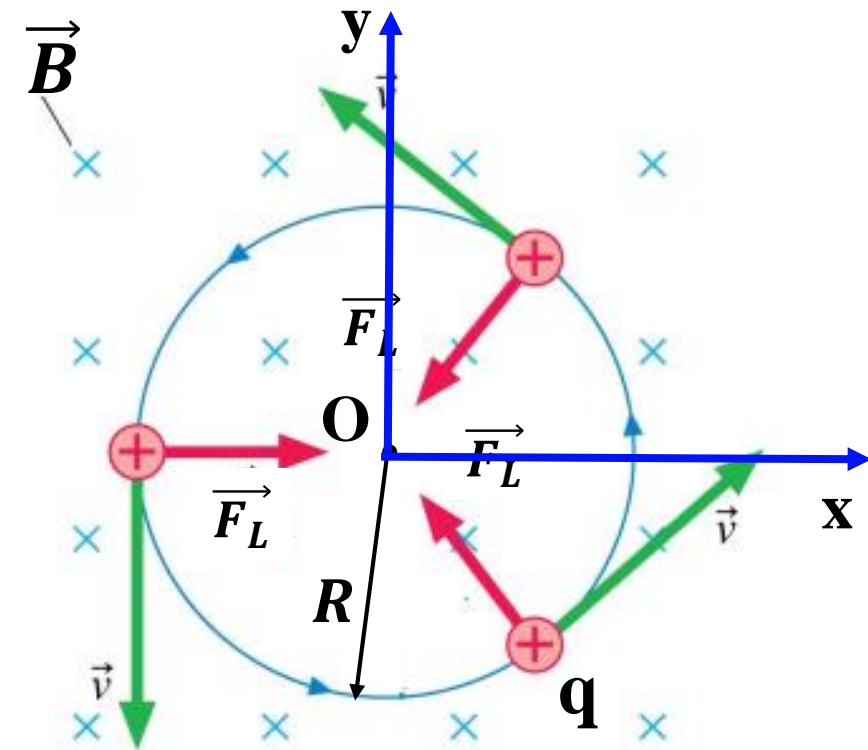
+ Tần số: $\omega = \frac{|q|B}{m}$

+ Phương trình chuyển động

$$\begin{cases} x = R \cos(\omega t + \varphi) \\ y = R \sin(\omega t + \varphi) \end{cases}$$

+ Phương trình quỹ đạo

$$x^2 + y^2 = R^2$$



4.7. Lực Lorentz.

Chuyển động của hạt tích điện trong từ trường đều

b. Góc(\vec{v}, \vec{B}) = α

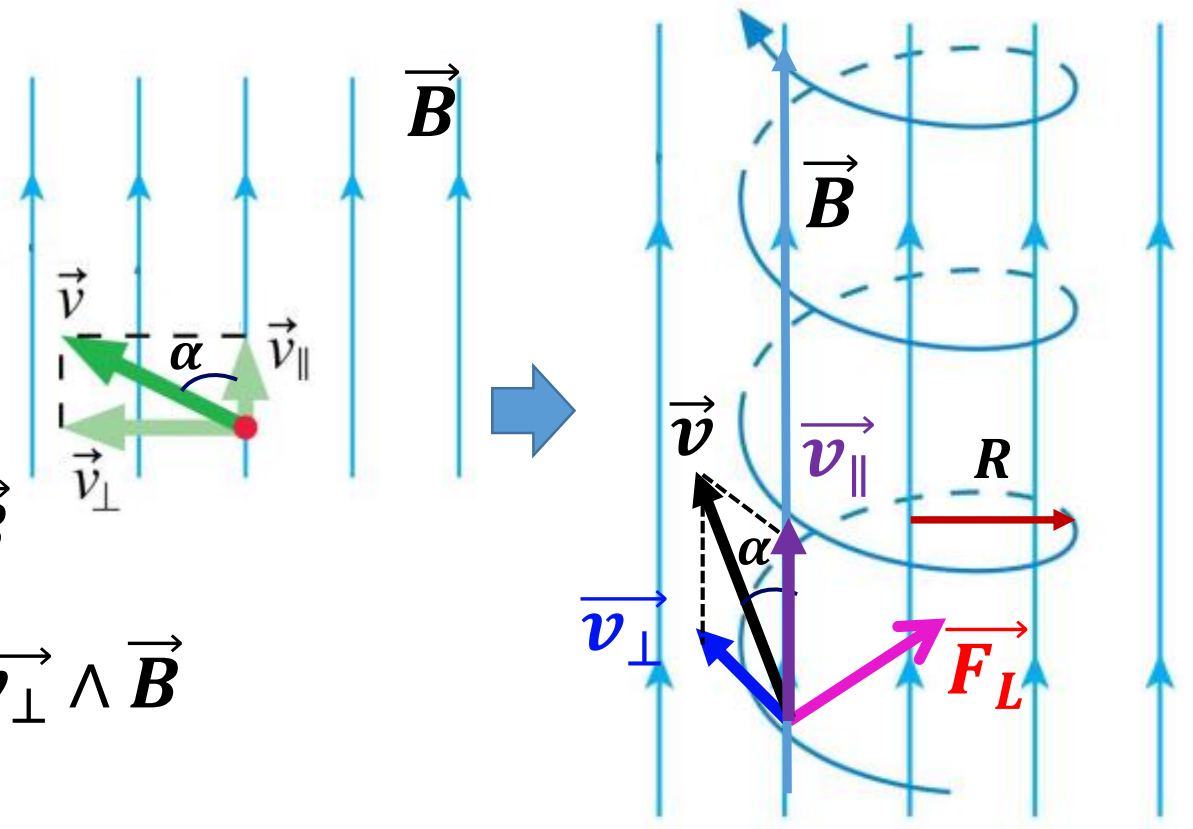
$$\vec{v} = \vec{v}_{\perp} + \vec{v}_{\parallel}$$

$$(v_{\perp} = v \sin \alpha; v_{\parallel} = v \cos \alpha)$$

+ Lực từ tác dụng lên q

$$\begin{aligned}\vec{F}_L &= q\vec{v} \wedge \vec{B} = q(\vec{v}_{\perp} + \vec{v}_{\parallel}) \wedge \vec{B} \\ &= q\vec{v}_{\perp} \wedge \vec{B} + q\vec{v}_{\parallel} \wedge \vec{B} = q\vec{v}_{\perp} \wedge \vec{B}\end{aligned}$$

$$\rightarrow F_L = |q| \cdot v_{\perp} \cdot B = |q| \cdot v \cdot B \sin \alpha$$



4.7. Lực Lorentz.

Chuyển động của hạt tích điện trong từ trường đều

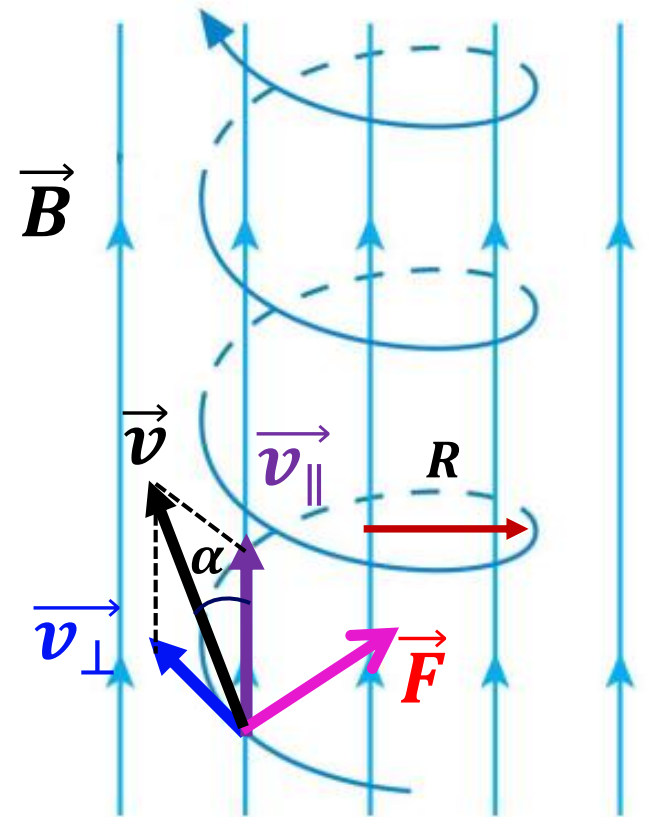
b. $\text{góc}(\vec{v}, \vec{B}) = \alpha$

→ Chuyển động của hạt có thể phân tích thành 2 thành phần:

- Chuyển động tròn đều trong mặt phẳng vuông góc với \vec{B} với vận tốc \vec{v}_\perp . Ta có:

$$F_L = F_{ht} \rightarrow |q| \cdot v_\perp \cdot B = \frac{mv_\perp^2}{R}$$

$$\rightarrow \text{Bán kính } R = \frac{mv_\perp}{|q|B}$$



4.7. Lực Lorentz.

Chuyển động của hạt tích điện trong từ trường đều

b. góc(\vec{v}, \vec{B}) = α

▪ Chuyển động tịnh tiến theo phương \vec{B} với vận tốc \vec{v}_{\parallel}

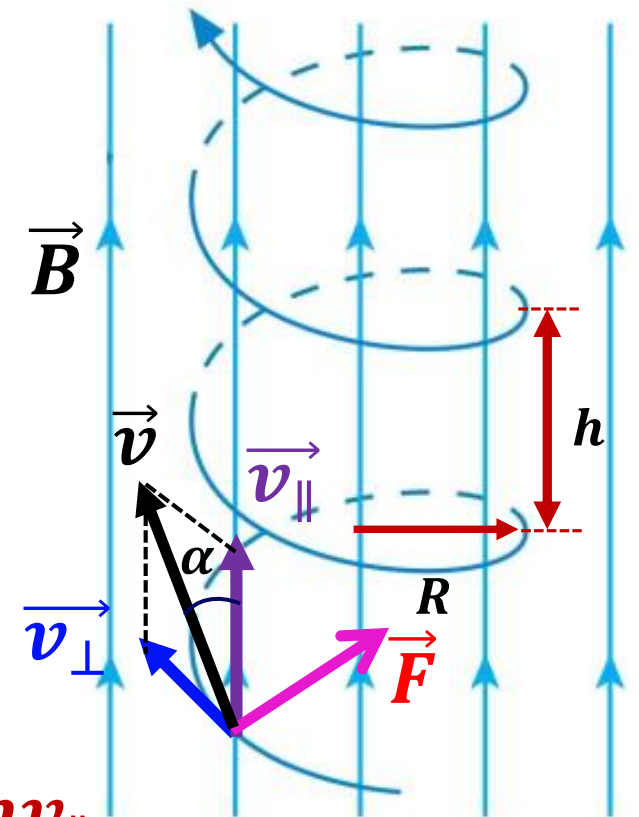
→ Quỹ đạo là đường xoắn ốc:

+ Bán kính $R = \frac{mv_{\perp}}{|q|B}$

+ Chu kỳ: $T = \frac{2\pi R}{v_{\perp}} = \frac{2\pi m}{|q|B}$

+ Tần số: $\omega = \frac{|q|B}{m}$

+ Bước của đường xoắn ốc (bước ốc) $h = v_{\parallel}T = \frac{2\pi m v_{\parallel}}{|q|B}$



4.8. Công của lực từ

Thanh kim loại AB độ dài l trượt trên hai dây dẫn song song có dòng điện I đặt trong từ trường \vec{B}

- Thanh chịu tác dụng của lực từ

$$F = I \cdot B \cdot l$$

- Thanh AB dịch chuyển đoạn dx

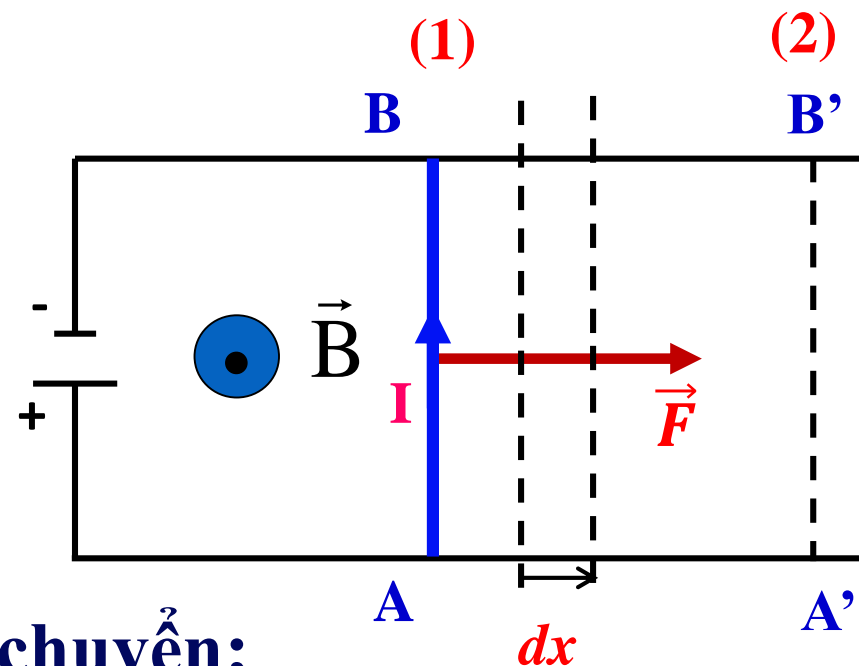
→ \vec{F} thực hiện công:

$$dA = F \cdot dx = I \cdot B \cdot l \cdot dx$$

Mà $l \cdot dx = dS$ diện tích quét bởi AB khi di chuyển;

$B \cdot dS = d\Phi_m$: từ thông gửi qua diện tích dS quét bởi AB

$$\rightarrow dA = I \cdot d\Phi_m$$

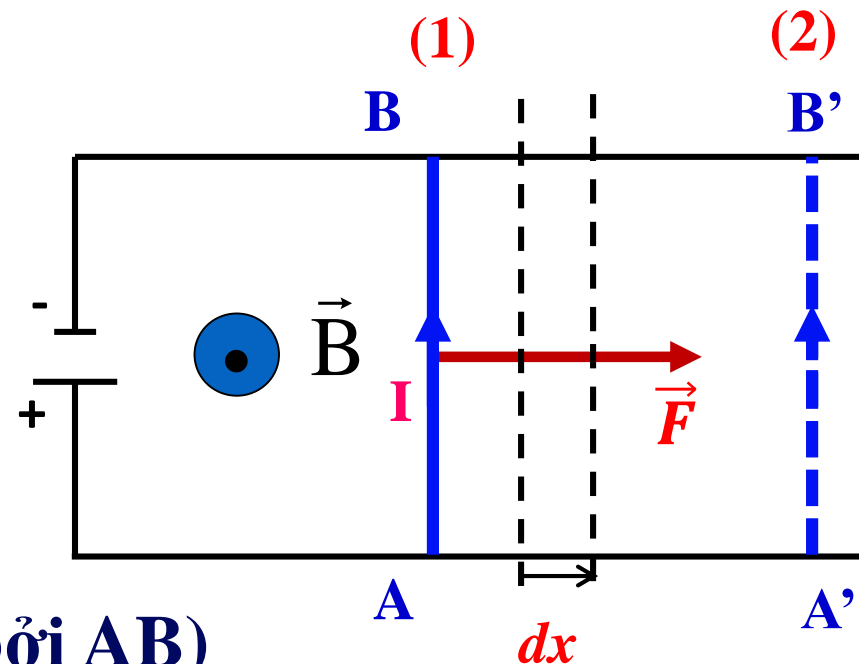


4.8. Công của lực từ

❖ Thanh AB di chuyển từ (1) đến (2)

→ Công của lực từ:

$$\begin{aligned} A &= \int_1^2 dA = \int_1^2 I \cdot d\Phi_m = I \int_1^2 d\Phi_m \\ &= I\Delta\Phi_m \end{aligned}$$



($\Delta\Phi_m$: Từ thông gửi qua diện tích quét bởi AB)

Gọi Φ_{m2} : Từ thông gửi qua diện tích ban đầu của mạch điện

Φ_{m1} : Từ thông gửi qua diện tích lúc sau của mạch điện

→ $\Delta\Phi_m = \Phi_{m2} - \Phi_{m1}$: Độ biến thiên từ thông gửi qua diện tích của mạch điện

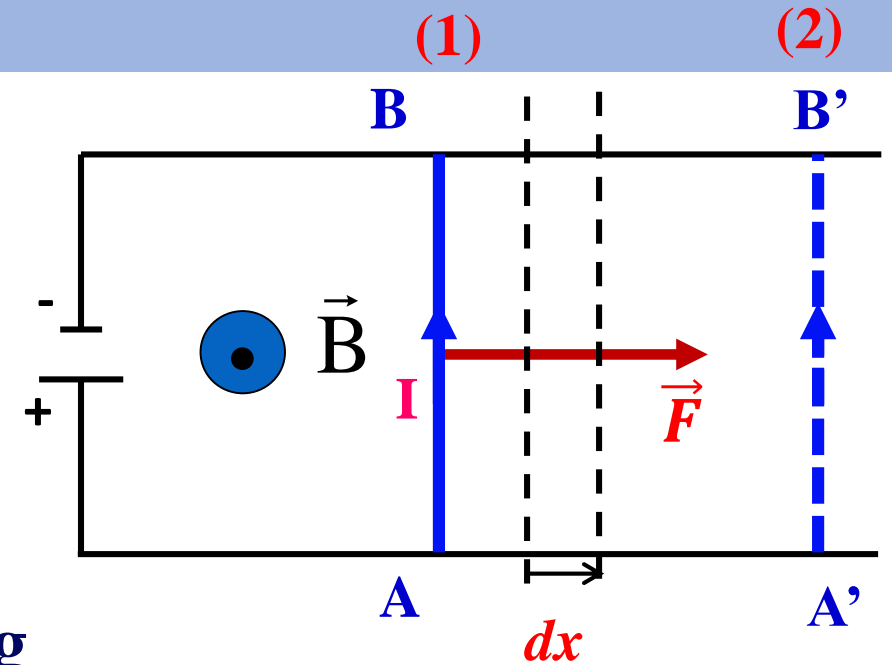
4.8. Công của lực từ

❖ Thanh AB di chuyển từ (1) đến (2)

→ Công của lực từ:

$$\begin{aligned} A &= I \Delta \Phi_m \\ &= I(\Phi_{m2} - \Phi_{m1}) \end{aligned}$$

($\Delta \Phi_m = \Phi_{m2} - \Phi_{m1}$: Độ biến thiên từ thông
gửi qua diện tích của mạch)



➤ Công của lực từ trong sự dịch chuyển một mạch điện bất kỳ trong từ trường bằng tích giữa cường độ dòng điện và độ biến thiên của từ thông qua diện tích giới hạn bởi mạch đó.