

CHƯƠNG 4

TỪ TRƯỜNG TĨNH TRONG CHÂN KHÔNG

Nội dung

- Tương tác từ
- Từ trường
- Định lý Ampere
- Định luật Ampere
- Tác dụng của từ trường lên mạch điện kín.
- Công của lực từ
- Từ trường của một hạt điện chuyển động

Chuẩn đầu ra

- Hiểu được các khái niệm cơ bản về từ trường tĩnh.
- Nắm được các định luật cơ bản về sự tương tác từ.
- Vận dụng giải các bài toán cụ thể về từ trường, lực từ, năng lượng từ, chuyển động của hạt mang điện.

PHẦN A

DÒNG ĐIỆN KHÔNG ĐỔI

4A.1. DÒNG ĐIỆN, MẬT ĐỘ DÒNG ĐIỆN

4A.1.1. **Dòng điện:** *dòng điện là dòng chuyển dời có hướng của các hạt mang điện.*

4A.2.2. **Cường độ dòng điện:** *Đặc trưng định lượng của dòng điện là độ lớn của điện tích chuyển qua một diện tích trong một đơn vị thời gian. Chiều dòng điện là chiều chuyển động của các hạt mang điện.*

$$I = \frac{dq}{dt}$$

4A.3.3. Vector mật độ dòng điện: *véc tơ mật độ dòng điện tại mỗi điểm có độ lớn bằng cường độ dòng dI chuyển qua yếu tố diện tích dS_n đặt vuông góc với hướng chuyển động của các hạt mang điện tại điểm đó.*

$$\vec{j} = \frac{dI}{dS_n}$$

Hướng của \vec{j} là hướng chuyển động của các hạt mang điện tích dương. Khi biết được véc tơ mật độ dòng tại mỗi một điểm trong không gian, ta có thể tìm được cường độ dòng điện qua một diện tích bất kỳ:

$$I = \int_S \vec{j} \cdot d\vec{S}$$

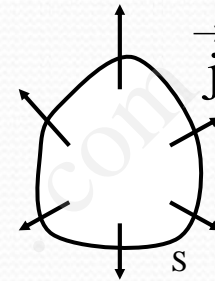
\Rightarrow Dòng điện có cường độ không thay đổi theo thời gian được gọi là dòng dừng, còn dòng điện có hướng và cường độ không đổi gọi là dòng không đổi (dòng điện một chiều).

4A.2. PHƯƠNG TRÌNH LIÊN TỤC

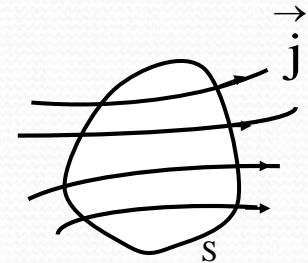
Tường tượng có diện tích S nằm trong môi trường có dòng điện chạy qua.

Trong đơn vị thời gian điện tích thoát khỏi thể tích v được bao bởi S (thông lượng của \vec{j}) là:

$$\oint_S \vec{j} \cdot d\vec{S}$$



Hình 4A.1:



Hình 4A.2:

Định luật bảo toàn điện tích:

$$\oint_S \vec{j} \cdot d\vec{S} = -\frac{dq}{dt}$$

Công thức Ostrogradsky – Gauss:

$$\oint_S \vec{A} \cdot d\vec{S} = \int_v \text{div} \vec{A} dv$$

$$\oint_S \vec{j} \cdot d\vec{S} = \int_v \nabla \cdot \vec{j} dv = -\frac{dq}{dt} = -\int_v \frac{\partial \rho}{\partial t} dv$$

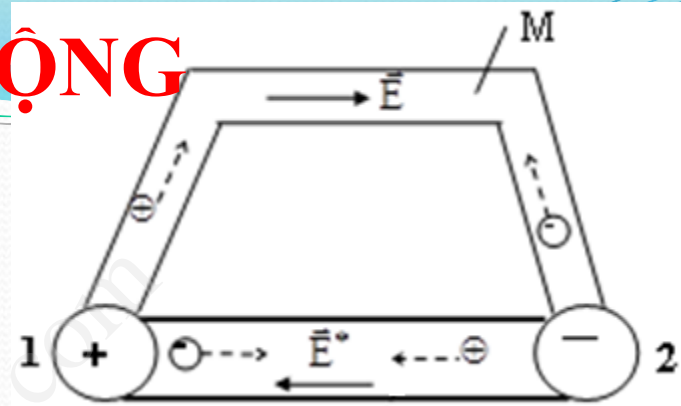
Trong đó: $q = \int_v \rho dv$

v bất kỳ nên:

$$\nabla \cdot \vec{j} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

Được gọi là phương trình liên tục

4A.3. LỰC LẠ VÀ SỨC ĐIỆN ĐỘNG



Xét hai vật dẫn 1 và 2: vật 1 mang điện dương và điện thế V_1 , vật 2 mang điện âm có điện thế V_2 . Do đó $V_1 > V_2$ nên có điện trường hướng từ 1 sang 2.

Nối 1 và 2 bằng dây dẫn M: các điện tích dương chuyển động từ 1 sang 2 và các điện tích âm chuyển động từ 2 sang 1. Kết quả là trong dây M xuất hiện dòng điện, điện thế V_1 giảm dần và điện thế V_2 tăng dần, cuối cùng $V_1 = V_2$, dòng điện triệt tiêu.

Để duy trì dòng điện ta phải thiết lập một hiệu điện thế $V_1 - V_2$ giữa 1 và 2. Muốn vậy, cần phải đưa các điện tích dương từ 2 trở về 1 (hay các điện tích âm từ 1 về 2). Nhưng dưới tác dụng của điện trường tĩnh gây bởi hai vật 1 và 2, sự dịch chuyển này không thể xảy ra. Để thắng được lực cản của điện trường tĩnh nói trên, ta phải tác dụng lên các điện tích một lực về bản chất không phải là lực tĩnh điện. Lực này gọi là lực lạ. Trường tạo ra lực lạ gọi là trường lạ:

$$\vec{F}^* = q\vec{E}^*$$

Công mà lực lạ thực hiện để đưa điện tích q từ điểm 1 đến điểm 2:

$$A_{12} = \int_1^2 \vec{F}^* \cdot d\vec{\ell} = q \int_1^2 \vec{E}^* \cdot d\vec{\ell}$$

Đại lượng đặc trưng cho độ mạnh của nguồn điện được gọi là sức điện động của nguồn điện và kí hiệu là ε , là công để làm dịch chuyển một đơn vị điện tích dương dọc theo mạch điện.

$$\varepsilon_{12} = \frac{A_{12}}{q} = \int_1^2 \vec{E}^* \cdot d\vec{\ell} \quad \text{hoặc} \quad \varepsilon = \oint_C \vec{E}^* \cdot d\vec{\ell}$$

4A.4. ĐỊNH LUẬT OHM – ĐIỆN TRỞ CỦA VẬT DẪN

Định luật Ohm: Cường độ dòng điện I chạy trong dây dẫn kim loại đồng nhất tỉ lệ với hiệu số điện thế hai đầu dây U :

$$I = \frac{U}{R}$$

R là điện trở của dây dẫn, phụ thuộc vào hình dạng, kích thước và tính chất của kim loại tạo nên dây dẫn.

Dây dẫn hình trụ đồng nhất: $R = \rho \frac{\ell}{S}$

Với ℓ (m): độ dài dây dẫn; S (m²): tiết diện dây dẫn; ρ (Ωm): điện trở suất.

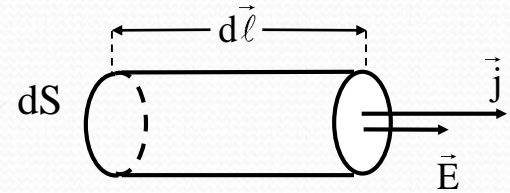
4A.4. ĐỊNH LUẬT OHM – ĐIỆN TRỞ CỦA VẬT DẪN

Định luật Ohm dưới dạng vi phân

Trong dây dẫn đồng nhất, sự chuyển động có hướng của các hạt mang điện dọc theo hướng của vectơ \vec{E} và do đó hướng của \vec{E} và \vec{j} trùng nhau. Tưởng tượng tại lân cận điểm cần nghiên cứu trong dây dẫn ta lấy ra một hình trụ có các đường sinh song song với \vec{E} có chiều dài bằng $d\ell$ và có tiết diện đáy bằng dS . Như vậy ta có dòng $j dS$ chạy qua tiết diện đáy của hình trụ. Hiệu điện thế của hai đáy hình trụ là $E d\ell$. Sử dụng định luật Ohm cho hình trụ dây dẫn này ta có:

$$I = \frac{U}{R} = j dS = \frac{dS}{\rho d\ell} E d\ell \Rightarrow j = \frac{1}{\rho} E$$

$$\Rightarrow \vec{j} = \frac{1}{\rho} \vec{E} = \sigma \vec{E}$$



Với σ (S/m): đại lượng nghịch đảo của ρ , được gọi là độ dẫn điện của vật liệu làm nên dây dẫn.

4A.4. ĐỊNH LUẬT OHM – ĐIỆN TRỞ CỦA VẬT DẪN

Trong trường hợp trên đoạn mạch có lực lạ:

$$\vec{j} = \sigma (\vec{E} + \vec{E}^*)$$

Cường độ dòng trong đoạn mạch được xác định:

$$I = \frac{V_1 - V_2 + \varepsilon_{12}}{R}$$

Điện trở suất ρ là đại lượng đặc trưng cho tính dẫn điện của vật liệu tạo nên dây dẫn. Với tuyệt đại đa số kim loại, ρ tỉ lệ với nhiệt độ tuyệt đối:

$$\rho = \rho_o [1 + \alpha (T - T_o)]$$

Với $T_o = 293 \text{ K} = 20^\circ\text{C}$;
 α là hệ số nhiệt của điện trở suất.

4A.5. NĂNG LƯỢNG VÀ CÔNG SUẤT CỦA MẠCH ĐIỆN, ĐỊNH LUẬT JOULE - LENZ

Năng lượng và công suất của dòng điện

- Khảo sát một đoạn mạch có dòng dừng có hiệu điện thế giữa hai đầu mạch bằng U . Điện tích $q = It$ trong khoảng thời gian t chạy qua mỗi tiết diện của dây dẫn. Điều đó có nghĩa là một điện tích It trong khoảng thời gian t được chuyển từ đầu này đến đầu kia của dây dẫn. Như vậy, lực tĩnh điện và lực lạ đã thực hiện một công:

$$A = Uq = UIt$$

- Chia A cho thời gian thực hiện công t ta thu được công suất của dòng điện trong mạch điện

$$P = UI = (V_1 - V_2)I + \varepsilon_{12}I$$

- Trong trường hợp không có lực lạ:

$$P = UI = \frac{U^2}{R} = RI^2$$

4A.5. NĂNG LƯỢNG VÀ CÔNG SUẤT CỦA MẠCH ĐIỆN, ĐỊNH LUẬT JOULE - LENZ

Định luật Joule – Lenz

- Khi có dòng điện I chạy trong dây dẫn sẽ có một lượng nhiệt sau dây được giải phóng:

$$Q = UIt = RI^2t \longrightarrow \text{Định luật Joule – Lenz}$$

- Nếu dòng điện thay đổi theo thời gian thì lượng nhiệt được giải phóng sau thời gian t được biểu diễn bằng công thức:

$$Q = \int_0^t RI^2 dt$$

- Theo định luật Joule – Lenz, khi có dòng I , sau thời gian dt , lượng nhiệt sau đây sẽ được giải phóng:

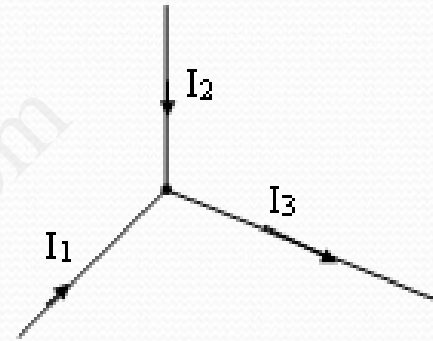
$$dQ = RI^2 dt = \frac{\rho d\ell}{dS} (jdS)^2 dt = \rho j^2 dv dt$$

(Dạng vi phân)

4A.6. CÁC ĐỊNH LUẬT KIRCHHOFF

Định luật về các nút

- Điểm nút là điểm tại đó có ít nhất ba đoạn dây dẫn gặp nhau.



Hình 4A.6: Điểm nút

- Theo định luật bảo toàn điện tích, trong cùng thời gian tổng các cường độ dòng điện tới một nút phải bằng tổng các cường độ dòng điện đi ra khỏi nút đó. Nếu quy ước cường độ dòng điện tới nút mang dấu (+), cường độ dòng điện đi khỏi nút mang dấu (-), một cách tổng quát ta có thể viết:

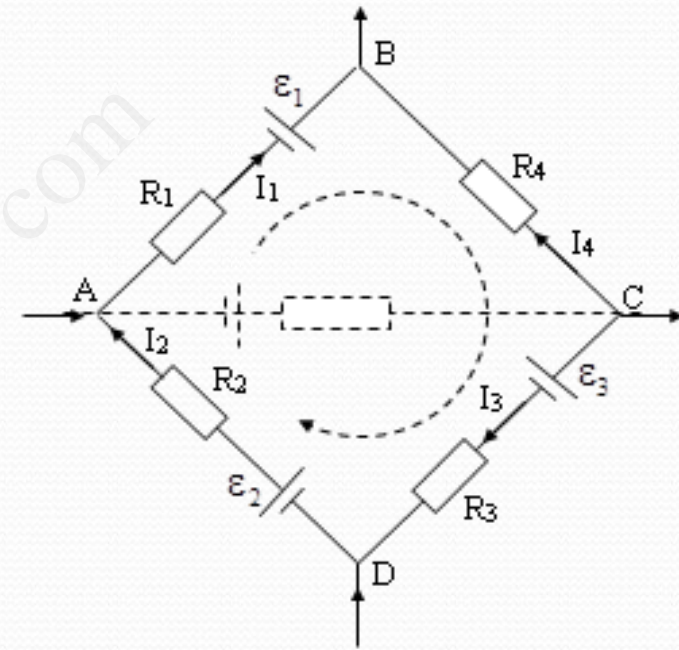
$$\sum_{k=1}^n (\pm I_k) = 0$$

Tổng đại số tất cả các cường độ dòng điện tại một nút bằng không.

4A.6. CÁC ĐỊNH LUẬT KIRCHHOFF

Định luật vòng mạng

- Vòng mạng là vòng kín do các đoạn mạch tạo thành trên hình, ABCA, ACDA, ABCDA là các vòng mạng.
- Xét vòng mạng ABCDA của mạng điện hình 4A.7, ta chọn một chiều đi tùy ý (đường chấm chấm) trên vòng mạng này như hình vẽ:



Hình 4A.7: Vòng mạng

$$V_A - V_B + V_B - V_C + V_C - V_D + V_D - V_A = 0$$

- Theo định luật Ohm tổng quát:

$$V_A - V_B = I_1 R_1 - \varepsilon_1$$

$$V_B - V_C = -I_4 R_4$$

$$V_C - V_D = R_3 I_3 + \varepsilon_3$$

$$V_D - V_A = R_2 I_2 - \varepsilon_2$$

4A.6. CÁC ĐỊNH LUẬT KIRCHHOFF

Định luật vòng mạng

➤ Suy ra:

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3 + (-I_4) R_4 + (-\varepsilon_1) + (-\varepsilon_2) + \varepsilon_3 = 0$$

➤ Nếu ta quy ước:

- Sức điện động mang dấu (+) nếu chiều đi đã chọn trên vòng mạng xuyên vào cực dương của nguồn điện và mang dấu (−) nếu chiều đi đã chọn xuyên vào cực âm của nguồn điện.
- Cường độ dòng điện mang dấu (+) nếu nó cùng chiều với chiều đã chọn và mang dấu (−) nếu nó ngược chiều với chiều đã chọn, thì khi đó (4A.26) được viết một cách tổng quát như sau:

$$\sum_{k=1}^n (\pm \varepsilon_k) + \sum_{k'=1}^n R_{k'} (\pm I_{k'}) = 0$$

4A.7. TỤ ĐIỆN NẠP ĐIỆN VÀ PHÓNG ĐIỆN

Nạp điện vào tụ điện

- Gọi $V = V_A - V_B$ là hiệu thế của tụ điện và q là điện tích của nó ở thời điểm t . Ở thời điểm $t + dt$ điện tích của tụ điện là $q_1 = q + \delta q$, do đó trong thời gian dt điện tích của tụ điện đã biến thiên một lượng $dq = q_1 - q = \delta q$. Do vậy, dòng điện có cường độ i được tạo ra:

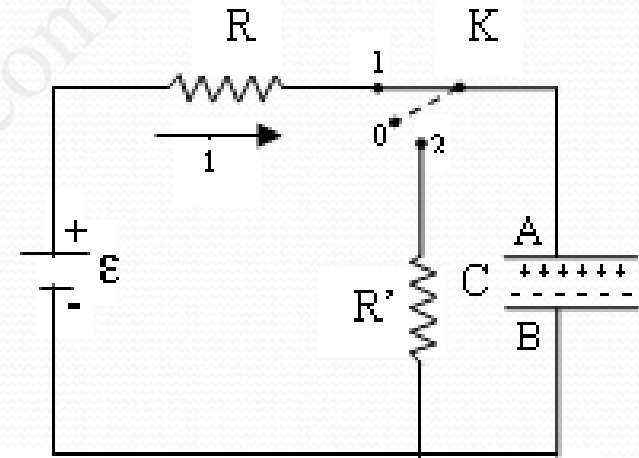
$$i = \frac{dq}{dt}$$

Mà

$$\varepsilon = Ri + V = R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C}$$

Suy ra

$$\frac{dq}{q - C\varepsilon} = -\frac{dt}{RC}$$



Hình 4A.8

4A.7. TỤ ĐIỆN NẠP ĐIỆN VÀ PHÓNG ĐIỆN

Nạp điện vào tụ điện

Lấy tích phân hai vế

$$\ln \frac{q - C\varepsilon}{A} = -\frac{t}{RC}$$

A là hằng số tích phân được xác định bằng điều kiện ban đầu. Khi $t = 0$, $q = 0$ thì $A = C\varepsilon$.

Do đó:

$$q = C\varepsilon(1 - e^{-t/RC})$$

Suy ra:

➤ Hiệu thế V của tụ điện là:

$$V = \frac{q}{C} = \varepsilon(1 - e^{-t/RC})$$

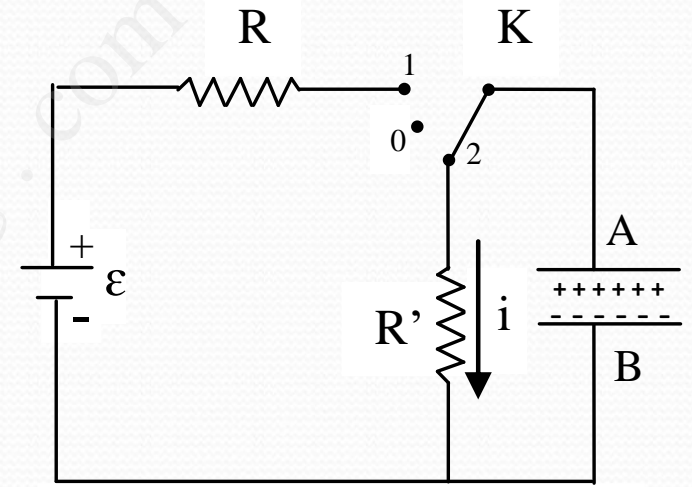
➤ Cường độ tức thời i:

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{\varepsilon}{R} e^{-t/RC}$$

4A.7. TỤ ĐIỆN NẠP ĐIỆN VÀ PHÓNG ĐIỆN

Tụ điện phóng điện

- Bật khóa K từ vị trí 1 qua vị trí 2. Chọn thời điểm 0 là lúc khóa K vừa khép vào vị trí 2. Trong thời gian từ t đến $t + dt$ một điện tích âm $-\delta q$ gồm những điện tử di chuyển từ B qua A xuyên qua điện trở R' và tạo ra dòng điện có cường độ i .
- Ở thời điểm $t + dt$, điện tích của tụ điện là $q_1 = q - dq$, do đó trong thời gian dt , điện tích của tụ điện đã biến thiên một lượng $dq = q_1 - q = -\delta q$



Hình 4A.10

Vậy:

$$i = \frac{\delta q}{dt} = -\frac{dq}{dt}$$

4A.7. TỤ ĐIỆN NẠP ĐIỆN VÀ PHÓNG ĐIỆN

Tụ điện phóng điện

Mà $V = R'i$ nên: $\frac{q}{C} = -R' \frac{dq}{dt}$

Tích tích phân bằng phương pháp phân ly biến số, ta được:

$$q = C\varepsilon e^{-t/R'C}$$

Suy ra:

➤ Hiệu thế của tụ điện là:

$$V = \frac{q}{C} = \varepsilon e^{-t/R'C}$$

➤ Cường độ dòng điện i qua tụ điện:

$$i = -\frac{dq}{dt} = \frac{\varepsilon}{R'} e^{-t/R'C}$$

PHẦN B

TỪ TRƯỜNG TĨNH TRONG CHÂN KHÔNG

4B.1. TƯƠNG TÁC TỪ



Hans Oersted (1777-1851)

- Năm 1820, nhà vật lý người Đan Mạch Hans Oersted làm thí nghiệm về dòng điện và phát hiện sự lệch của kim nam châm ở gần dây dẫn có dòng điện chạy qua.
- Ngược lại, khi đưa nam châm lại gần cuộn dây có dòng điện thì nam châm sẽ hút hoặc đẩy cuộn dây tùy theo chiều dòng điện trong cuộn dây.

- **Mặt khác, André Ampère cũng tiến hành các thí nghiệm & nhận thấy giữa hai dòng điện có sự tương tác.**



André Ampère (1775-1836)

Kết luận: Sự tương tác giữa các nam châm, giữa nam châm và dòng điện, giữa dòng điện và dòng điện thì giống nhau và được gọi là tương tác từ.

4B.2 TỪ TRƯỜNG

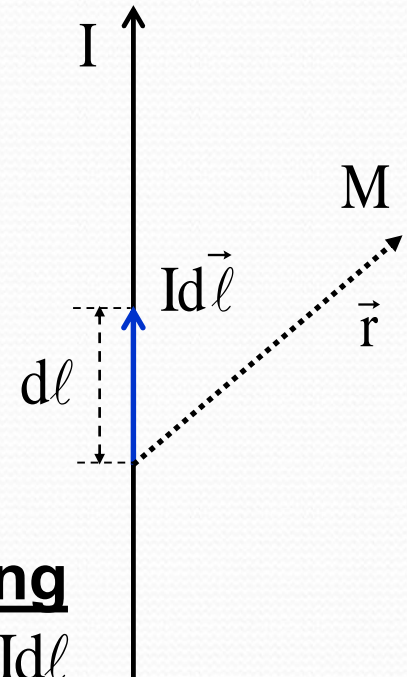
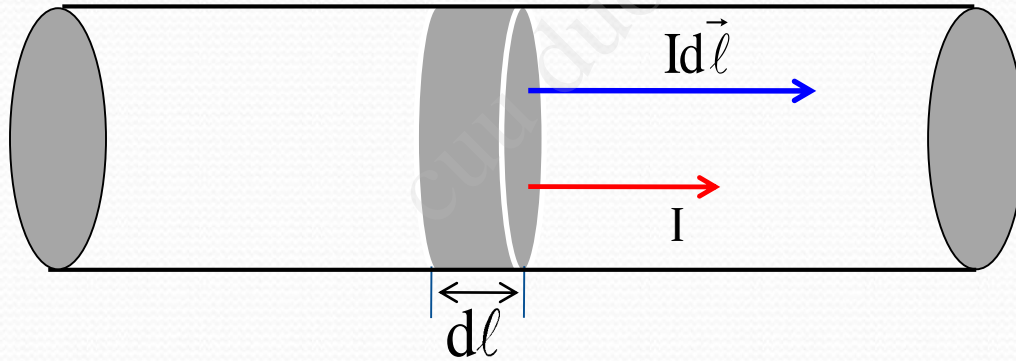
4B.2.1. Khái niệm từ trường và vector cảm ứng từ

-Để giải thích sự lan truyền tương tác giữa các dòng điện ta phải thừa nhận tồn tại một môi trường trung gian môi giới cho sự tương tác này. Môi trường đó gọi là từ trường.

-Từ trường đặc trưng bởi một đại lượng vector, kí hiệu là \vec{B} (vector cảm ứng từ)

4B.2.2. Định luật Biot-Savart

1) Vector phần tử dòng điện $I d\vec{\ell}$



Vector phần tử dòng điện $I d\vec{\ell}$ là véc tơ có phương chiều là phương chiều của dòng điện, giá trị là $I d\ell$

2) Định luật Biot-Savart



Jean Biot(1774-1862)



Felix Savart(1791-1841)

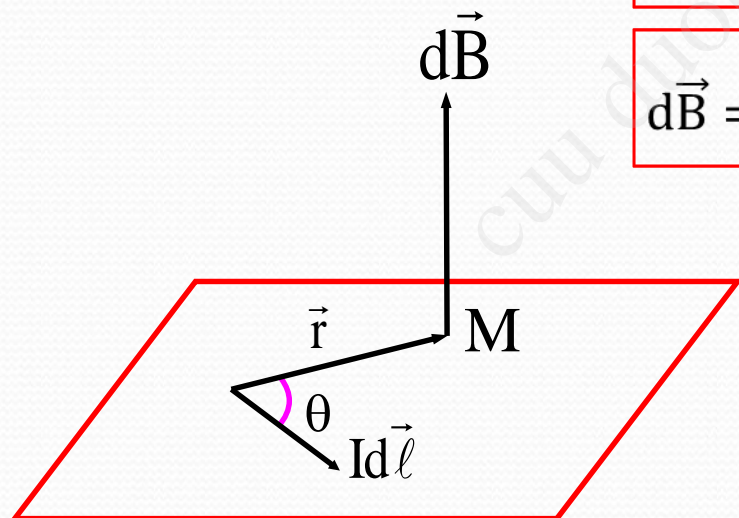
Vector cảm ứng từ $d\vec{B}$ của vector phần tử dòng điện $Id\vec{\ell}$ gây ra tại điểm M cách $Id\vec{\ell}$ một đoạn r:

$$d\vec{B} = k \frac{Id\vec{\ell} \times \vec{r}}{r^3} \quad k = \frac{\mu_0}{4\pi} \text{ H/m}$$

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{\ell} \times \vec{r}}{r^3} \Rightarrow$$

$$\vec{B} = \int_{\text{dòng điện}} d\vec{B} = \int_{\text{dòng điện}} \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{\ell} \times \vec{r}}{r^3}$$

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i$$



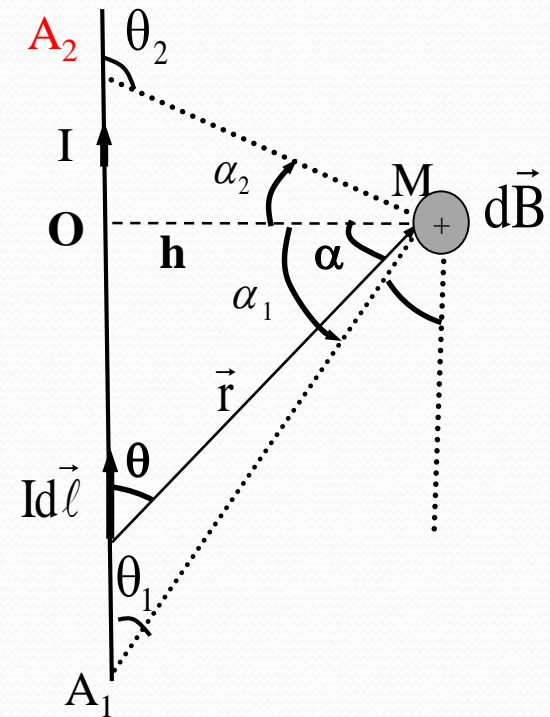
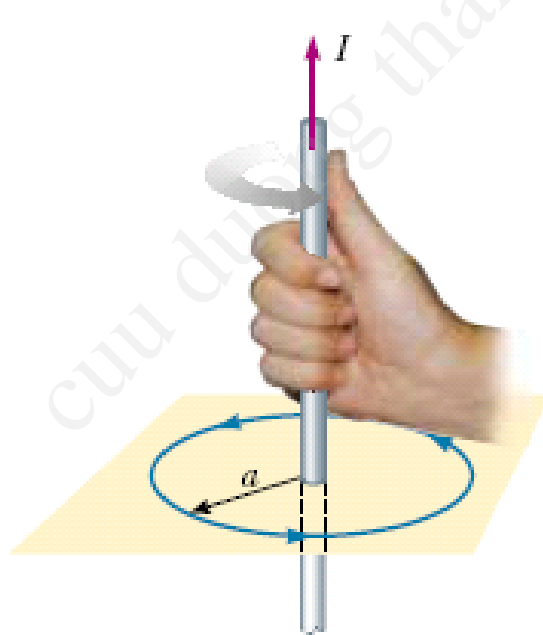
a) Cảm ứng từ \vec{B} của dòng điện thẳng

Có $dB = \frac{\mu_0 I d\ell \sin\theta}{4\pi r^2}$ mà $r = \frac{h}{\sin\theta}$; $d\ell = \frac{h d\theta}{\sin^2\theta}$ nên $dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi h} \sin\theta d\theta$

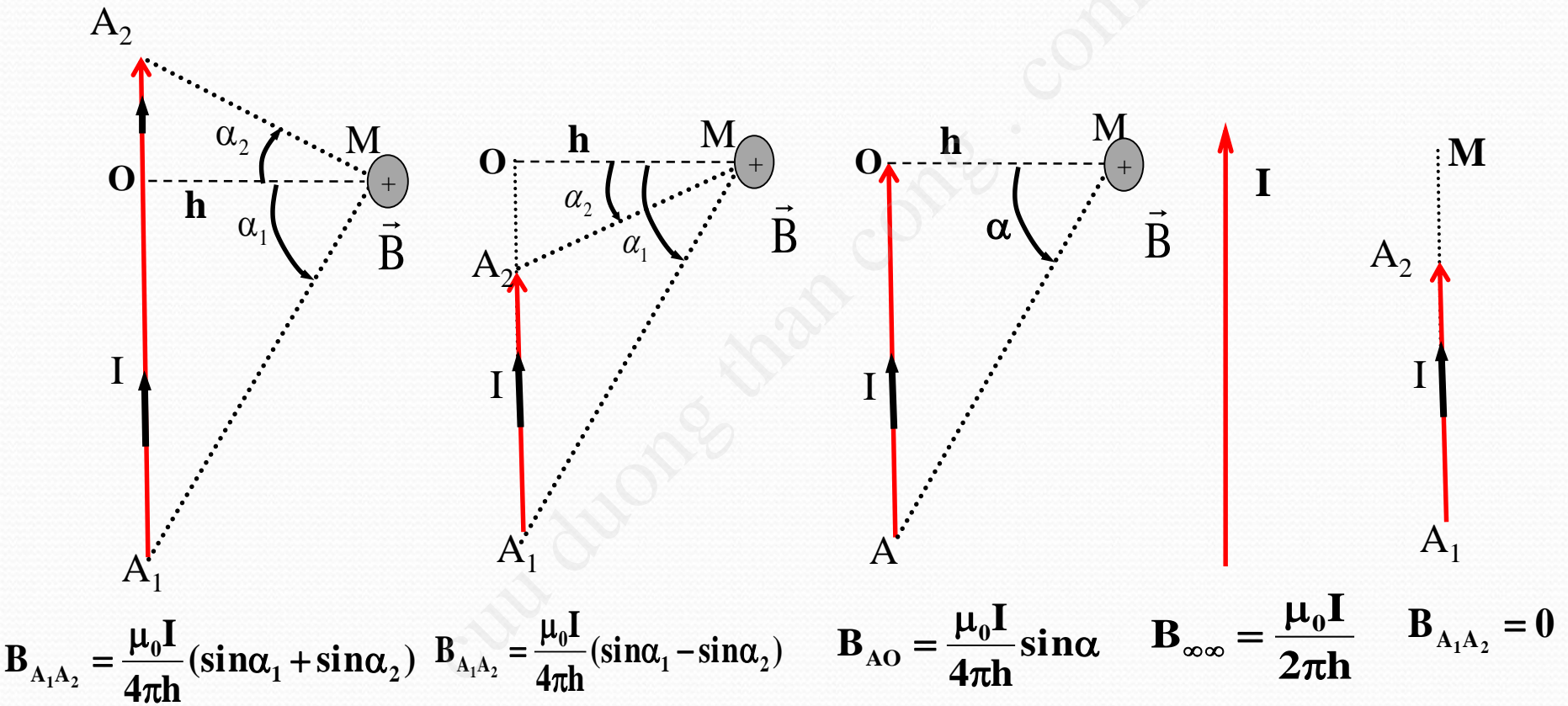
$$B_{A_1 A_2} = \int_{\theta_1}^{\theta_2} dB \Rightarrow B_{A_1 A_2} = \frac{\mu_0 I}{4\pi h} (\cos\theta_1 - \cos\theta_2) = \frac{\mu_0 I}{4\pi h} (\sin\alpha_1 + \sin\alpha_2)$$

Dây dài vô hạn:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi h}$$



a) Cảm ứng từ của dòng điện thẳng (tt)



b) Cảm ứng \vec{B} của dòng điện tròn bán kính R

$$dB = \frac{\mu_0 I d\ell}{4\pi r^2} \quad \Rightarrow \quad d\vec{B} = \vec{i}dB_x + \vec{j}dB_y + \vec{k}dB_z$$

$$\Rightarrow \vec{B} = \int_{(d\vec{B})} d\vec{B} = \vec{i} \int_{(dB_x)} dB_x + \vec{j} \int_{(dB_y)} dB_y + \vec{k} \int_{(dB_z)} dB_z$$

$$\vec{B} = \vec{k} \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + h^2)^{3/2}}$$

$$S = \pi R^2$$

$$\vec{B} = \vec{k} \frac{\mu_0 I S}{2\pi(R^2 + h^2)^{3/2}}$$

Đặt

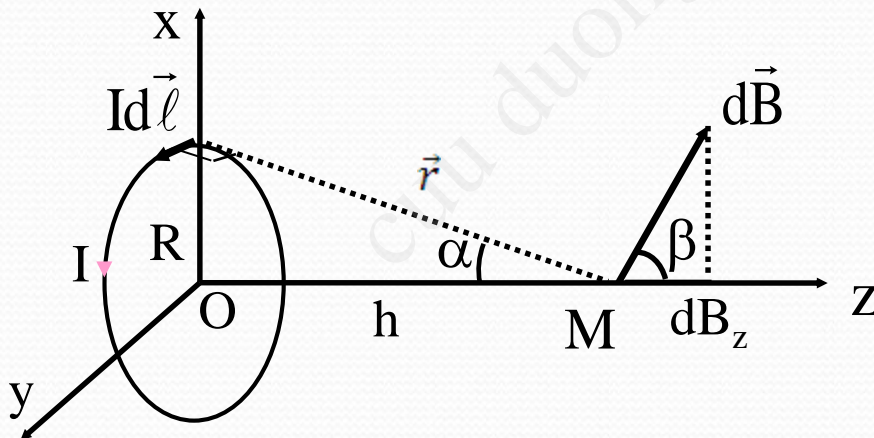
$$\vec{p}_m = IS\vec{n} = IS\vec{k}$$

$$\rightarrow \vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi(R^2 + h^2)^{3/2}} \vec{p}_m$$

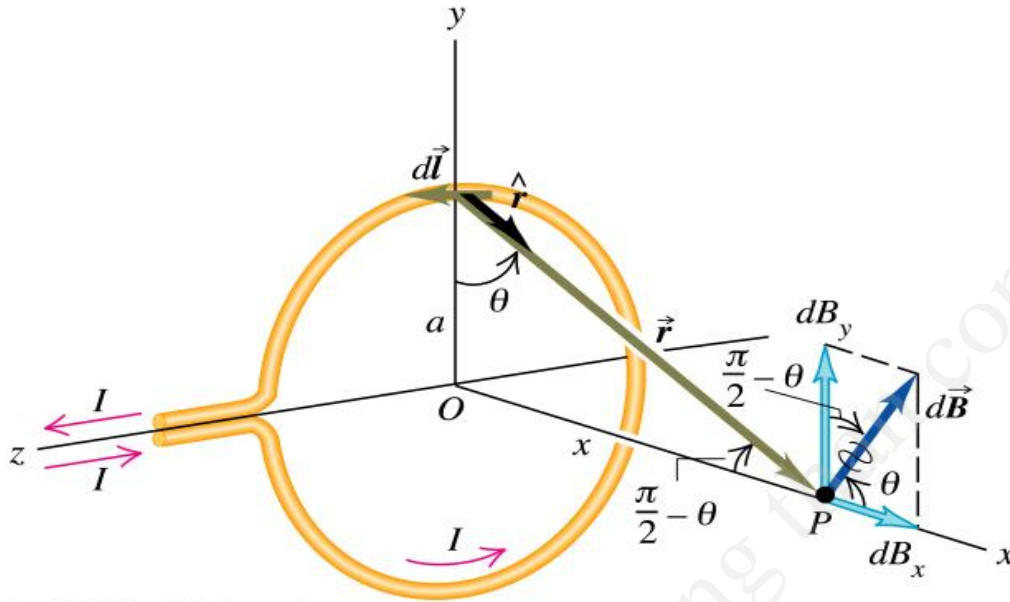
Tại tâm đường tròn tức $h = 0$

$$\vec{B}_0 = \vec{k} \frac{\mu_0 I}{2R} = \vec{k} \frac{\mu_0 I S}{2\pi R^3} = \frac{\mu_0}{2\pi R^3} \vec{p}_m$$

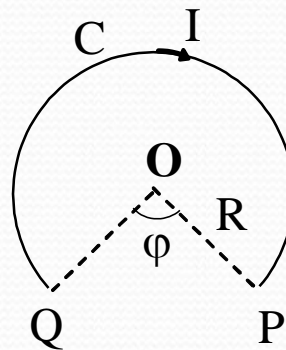
$$B_0 = \frac{\mu_0 I}{2R}$$



b) Cảm ứng từ của dòng điện tròn bán kính R(tt)



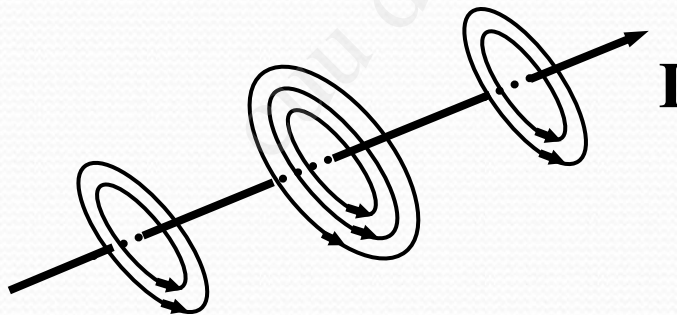
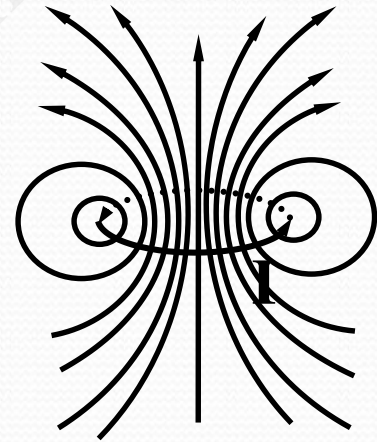
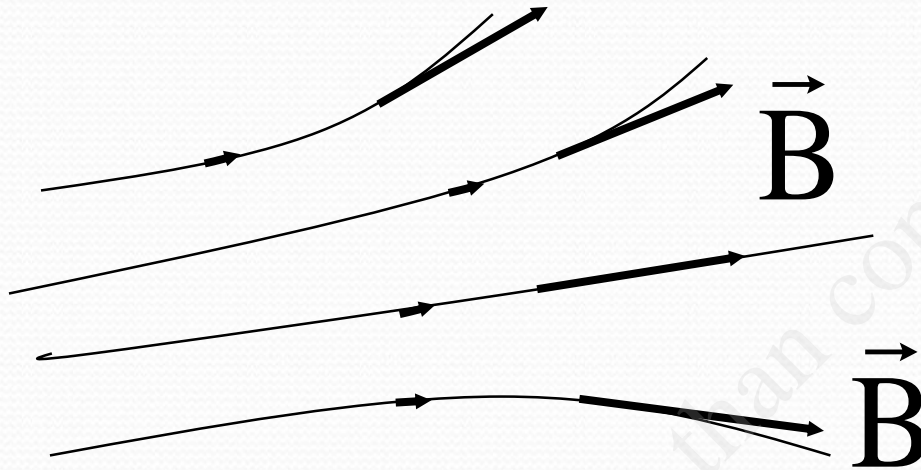
Copyright © Addison Wesley Longman, Inc.



$$B_o = \frac{\mu_0 I}{2R} \frac{(2\pi - \phi)}{2\pi}$$

$$\vec{B}_o; \otimes$$

4B.2.3. Đường sức cảm ứng từ



$$B = \frac{dN}{dS_n}$$

4B.3. ĐỊNH LÝ GAUSS ĐỐI VỚI TỪ TRƯỜNG

4B.3.1. Từ thông

$$d\Phi_m = \vec{B} \cdot d\vec{S} = B dS \cos \alpha$$

$$d\Phi_m = B dS_n$$

$$B = \frac{dN}{dS_n}$$

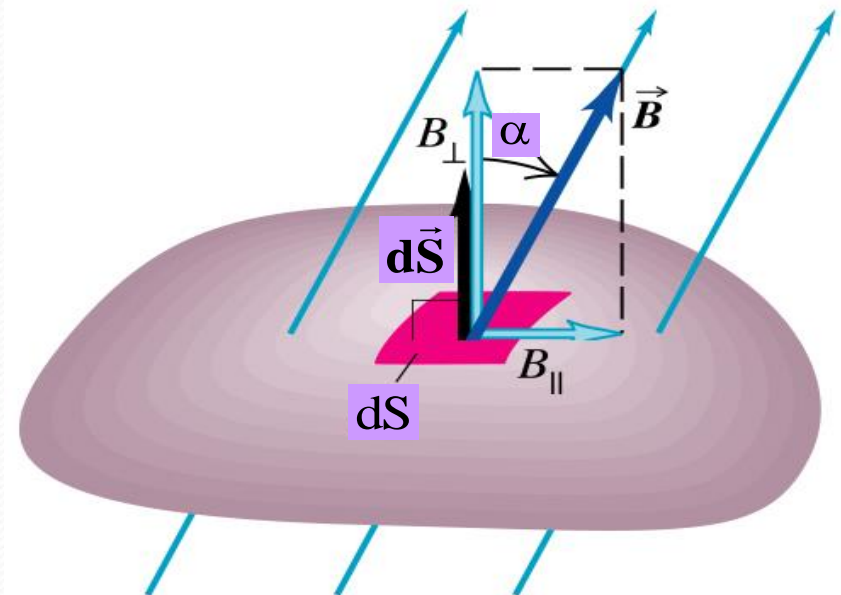
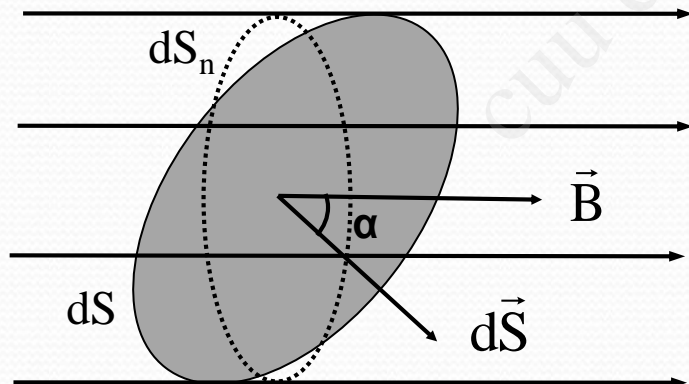
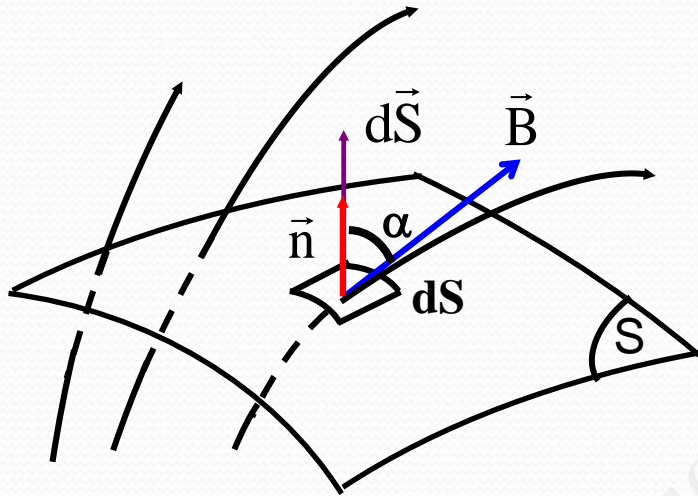
$$|d\Phi_m| = dN$$

Mặt S hở

$$\Phi_m = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

Mặt kín S

$$\Phi_m = \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$



Copyright © Addison Wesley Longman, Inc.

4B.3.2. Định lý Gauss

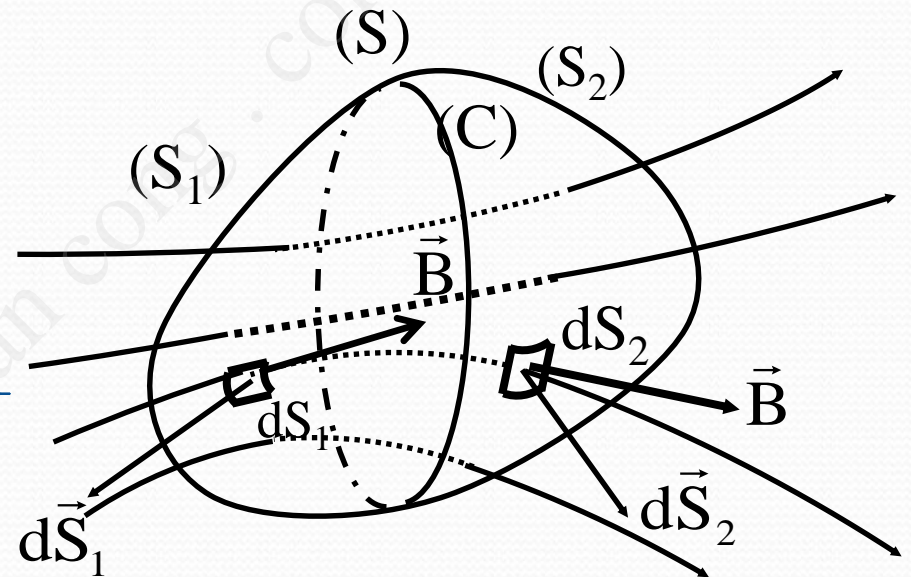
$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = \int_{S_1} \vec{B} \cdot d\vec{S}_1 + \int_{S_2} \vec{B} \cdot d\vec{S}_2$$

$$\int_{S_1} \vec{B} \cdot d\vec{S}_1 < 0 \quad \int_{S_2} \vec{B} \cdot d\vec{S}_2 > 0$$

$$\left| \int_{S_1} \vec{B} \cdot d\vec{S}_1 \right| = \left| \int_{S_2} \vec{B} \cdot d\vec{S}_2 \right| \Rightarrow \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

Công thức Gauss dạng vi phân:

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = \int_V \nabla \cdot \vec{B} dv \Rightarrow \int_V \nabla \cdot \vec{B} dv = 0$$



$$\Rightarrow \nabla \cdot \vec{B} = 0$$

4B.4. ĐỊNH LÝ AMPERE (ĐỊNH LÝ DÒNG TOÀN PHẦN)

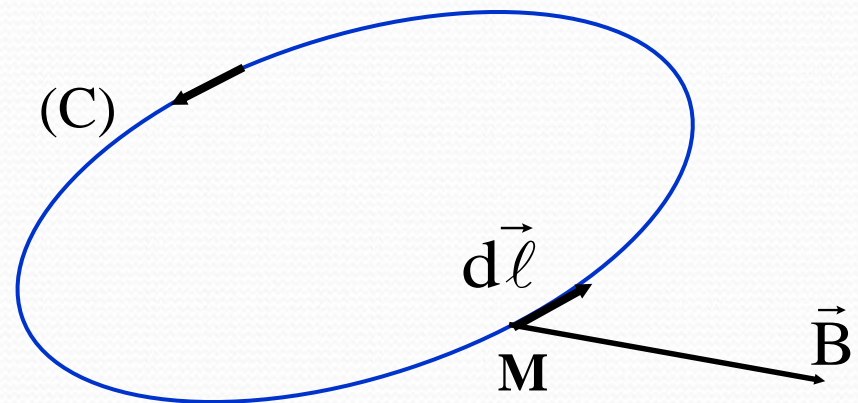
4B.4.1. Lưu số của vector cảm ứng từ

Như đã biết lưu số của véc tơ tĩnh điện trường dọc theo đường cong kín (C) bằng không:

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = 0$$

Ngược lại lưu số của véc tơ cảm ứng từ dọc theo đường cong kín (C) khác không:

$$L = \oint_C \vec{B} \cdot d\vec{\ell} \neq 0$$



4B.4.2. Định lý dòng toàn phần

i) Phát biểu: Lưu số của véc tơ cảm ứng từ dọc theo một đường cong kín bất kỳ bằng tổng đại số cường độ dòng điện qua diện tích giới hạn bởi đường cong nhân cho μ_0

$$L = \oint_C \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 \sum_i I_i$$

ii) Chứng minh:

A) Từ trường của dòng điện dài vô tận

a) Đường cong (C) nằm trong mặt phẳng (P)

b) Đường cong (C) không nằm trong mặt phẳng (P)

B) Trường hợp tổng quát

A) Từ trường của dòng điện dài vô tận

a) Đường cong kín (C) nằm trong mặt phẳng (P)

- (C) bao quanh dòng điện

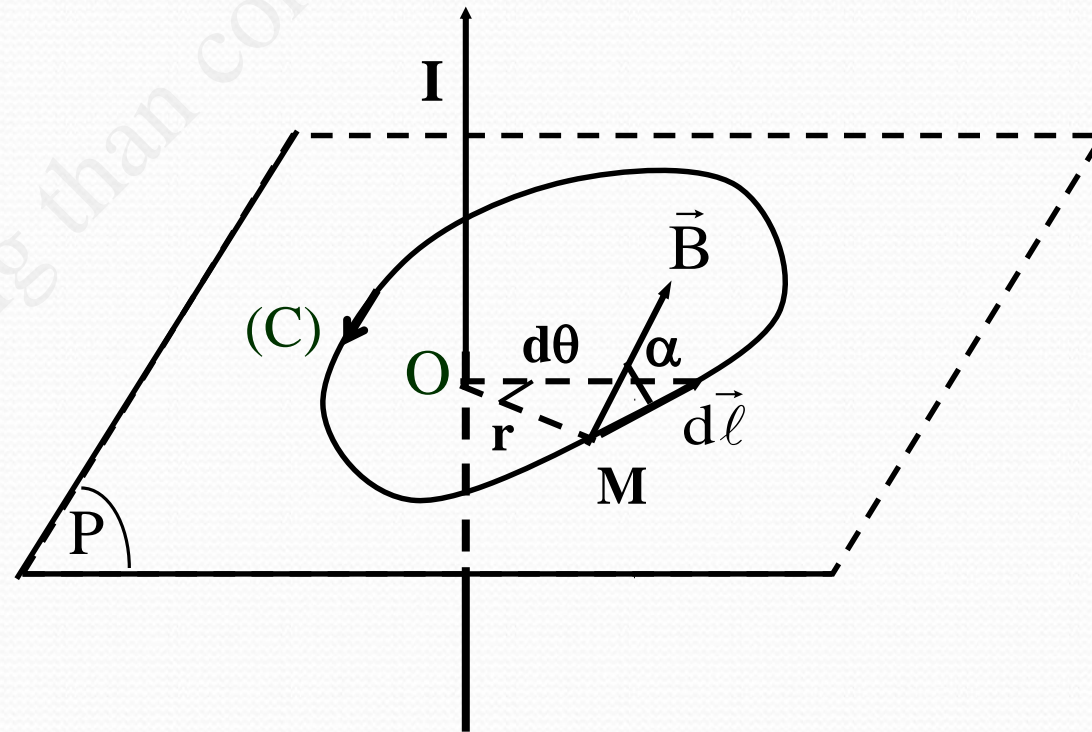
$I > 0$ nếu $\vec{B} \cdot d\vec{\ell} > 0$ ($d\vec{\ell}$ cùng hướng với \vec{B})

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \oint_C B \cdot d\ell \cos \alpha$$

$$= \oint_C \frac{\mu_0 I}{2\pi r} r d\theta = \oint_C \frac{\mu_0 I}{2\pi} d\theta = \mu_0 I$$

$$(d\ell \cos \alpha = r d\theta)$$

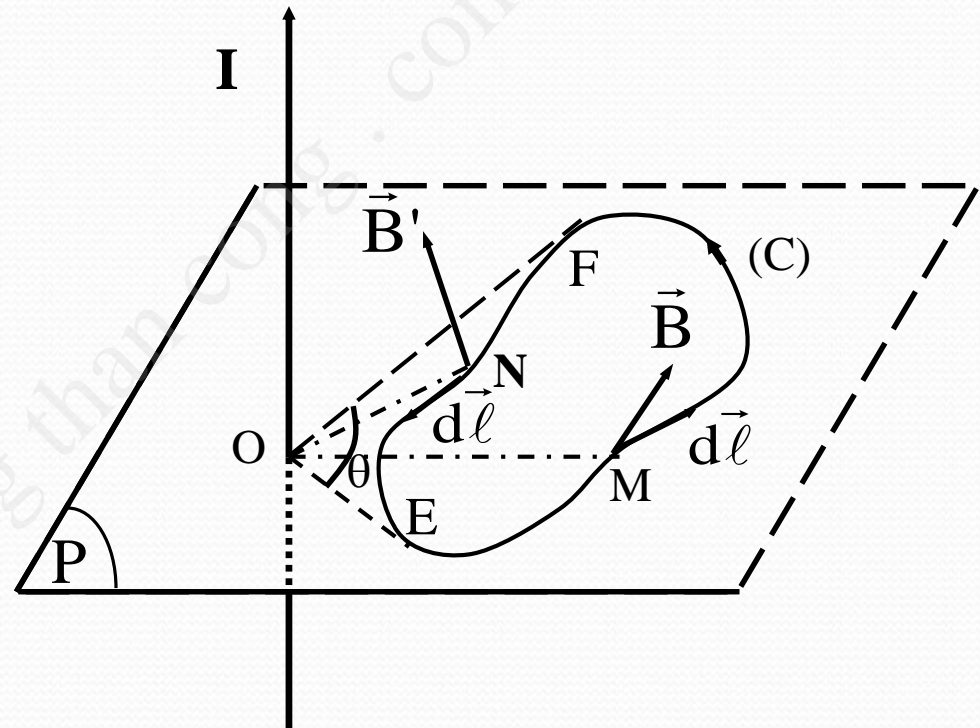
$$L = \oint_C \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 I$$



(C) bao quanh dòng điện

- (C) không bao quanh dòng điện

$$\begin{aligned}
 L &= \int_{\text{EMF}} \vec{B} \cdot d\vec{\ell} + \int_{\text{FNE}} \vec{B}' \cdot d\vec{\ell} \\
 &= \int_0^\theta \vec{B} \cdot d\vec{\ell} + \int_\theta^0 \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = 0
 \end{aligned}$$

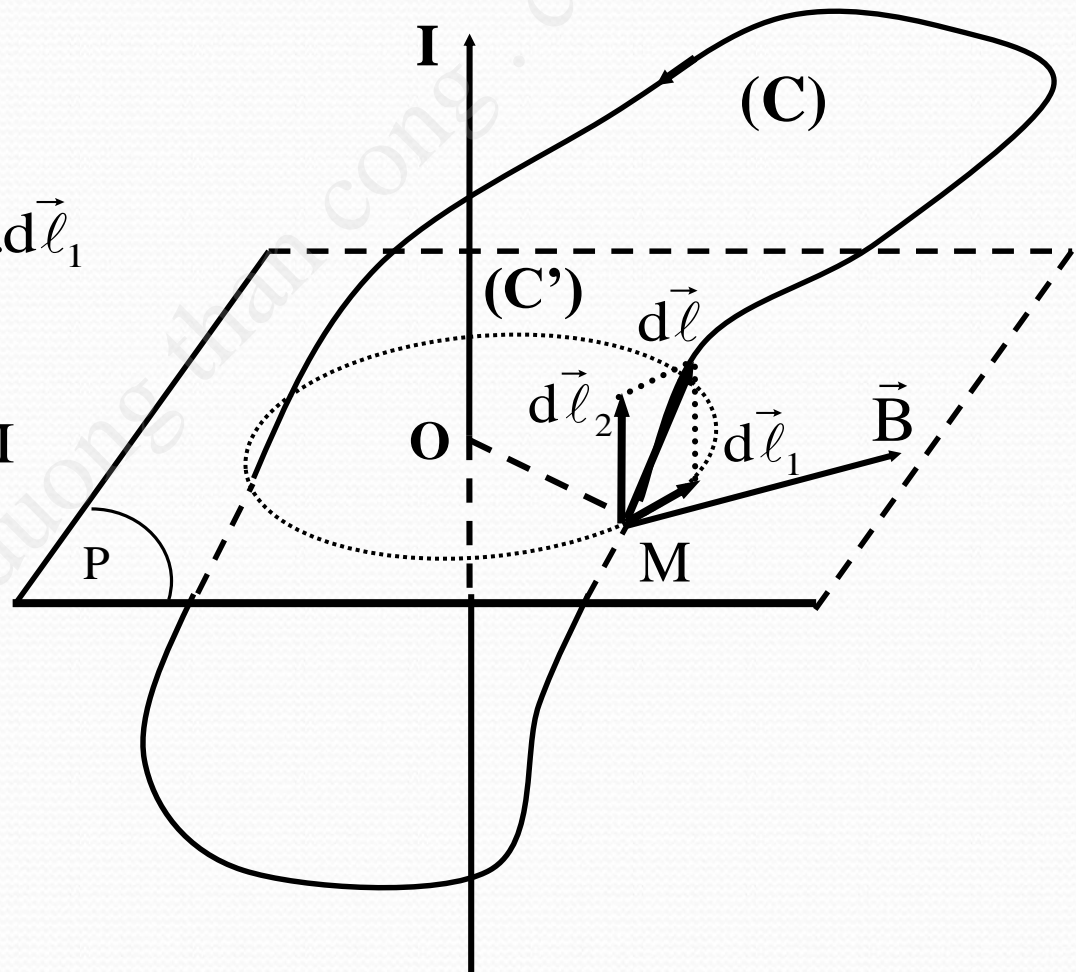


(C) không bao quanh I

b) Đường cong (C) không nằm trong mặt phẳng (P)

$$\vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \vec{B} \cdot d\vec{\ell}_1 + \vec{B} \cdot d\vec{\ell}_2 = \vec{B} \cdot d\vec{\ell}_1$$

$$L = \oint_C \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \oint_{C'} \vec{B} \cdot d\vec{\ell}_1 = \mu_0 I$$



B) Trường hợp tổng quát

$$L = \oint_C \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 \sum_i I_i$$

Với $\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i$

$$\sum_{i=1}^n I_i = \int_S \vec{j} \cdot d\vec{S}$$

Công thức Stokes:

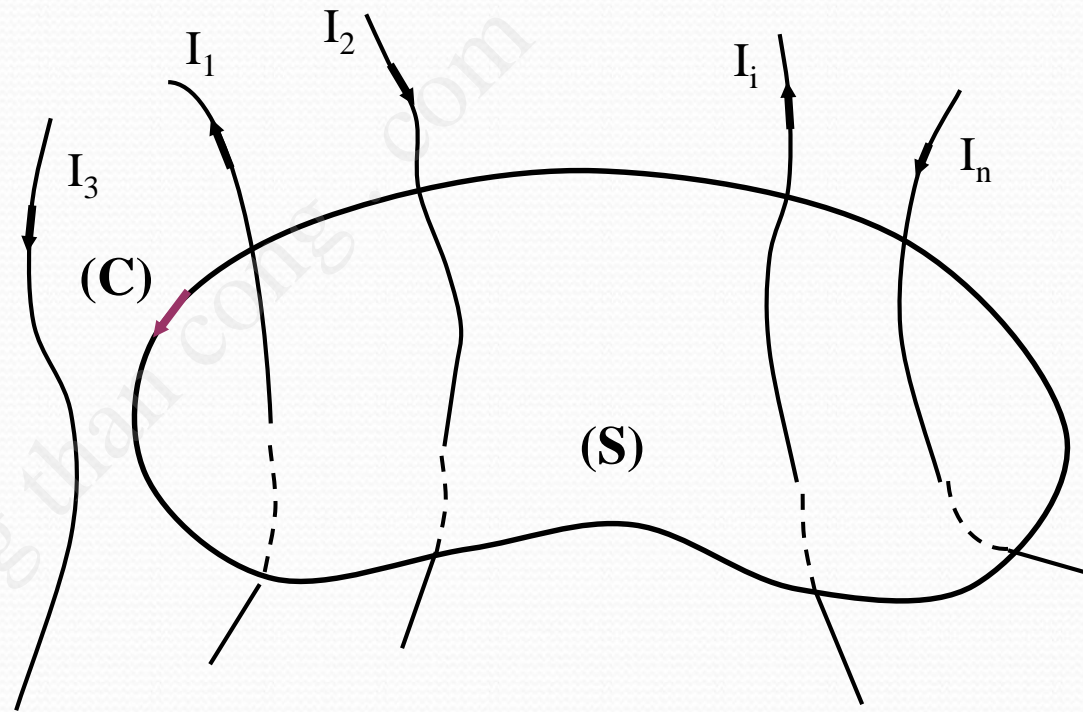
$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \int_S (\nabla \times \vec{B}) \cdot d\vec{S}$$

$$\Rightarrow \boxed{\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j}}$$

Đặt $\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0}$ là vector cường độ từ trường:

$$\vec{H} \left(\frac{A}{m} \right) \Rightarrow \boxed{\nabla \times \vec{H} = \vec{j}}$$

Là dạng vi phân của định lý Ampere



3. Áp dụng định lý dòng toàn phần để xác định từ trường:

a) Từ trường trong cuộn dây hình xuyến (toroid)

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 NI \Rightarrow B 2\pi r = \mu_0 NI$$

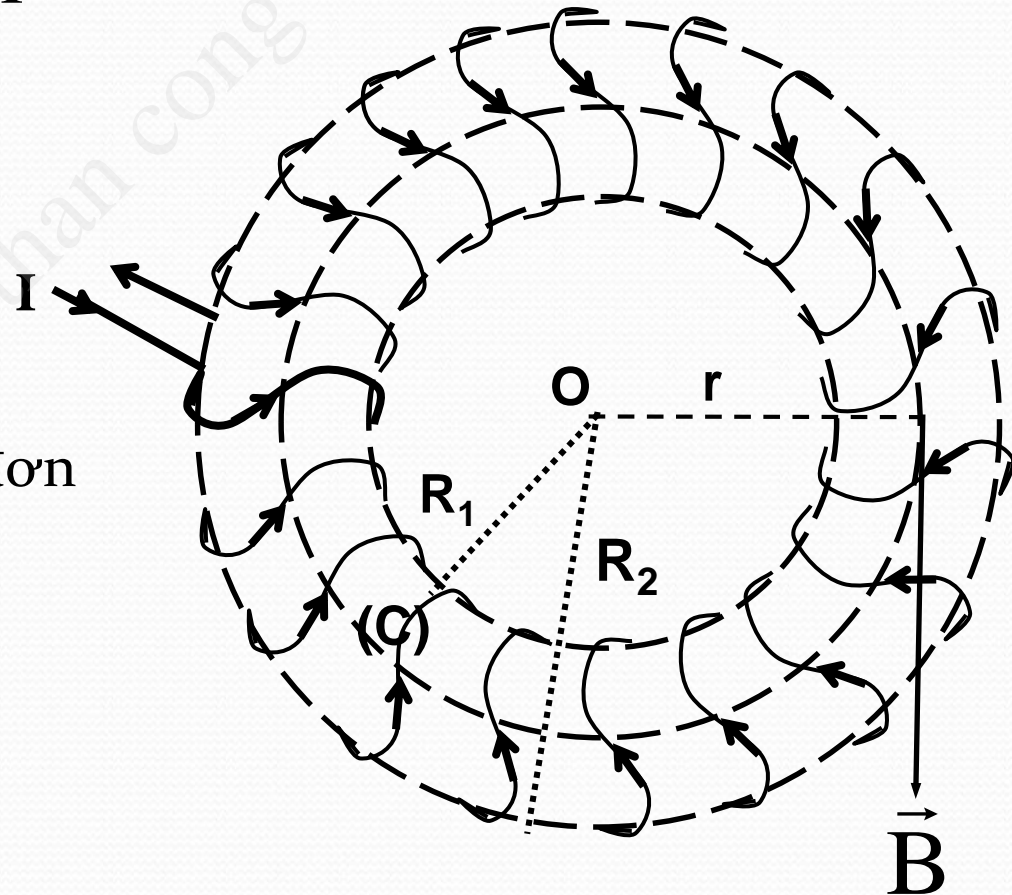
$$\Rightarrow B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r} = n\mu_0 I$$

Với $n = \frac{N}{2\pi r}$ là số vòng dây trên đơn

vị chiều dài

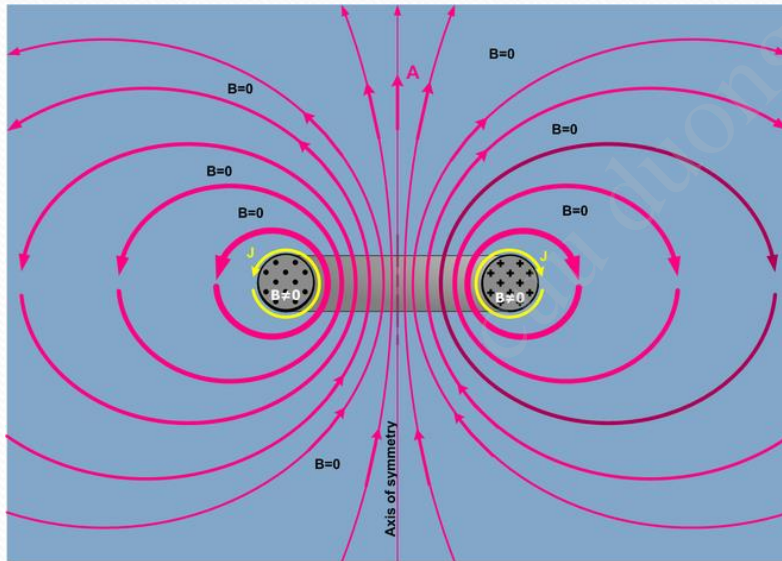
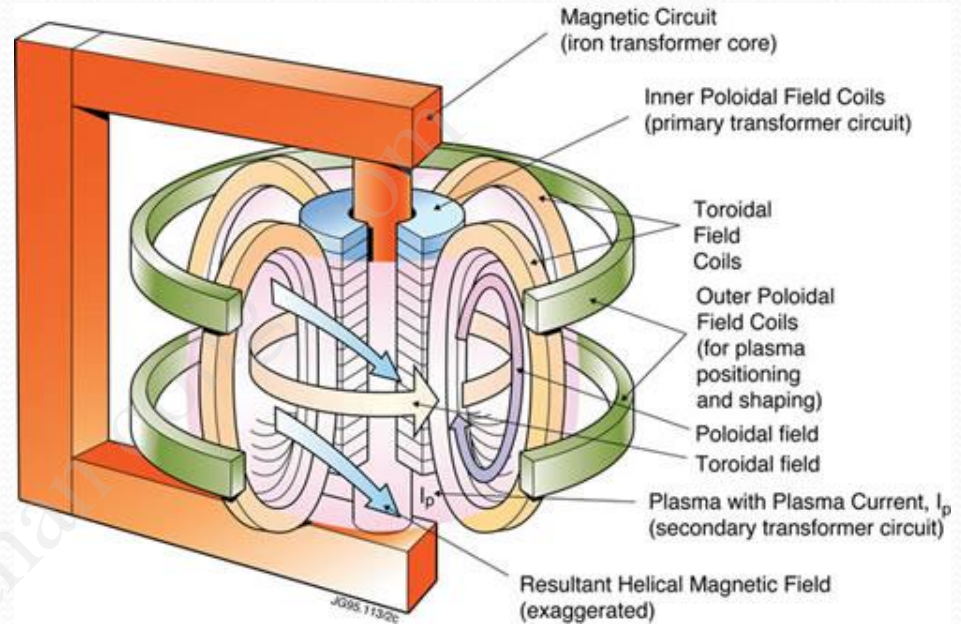
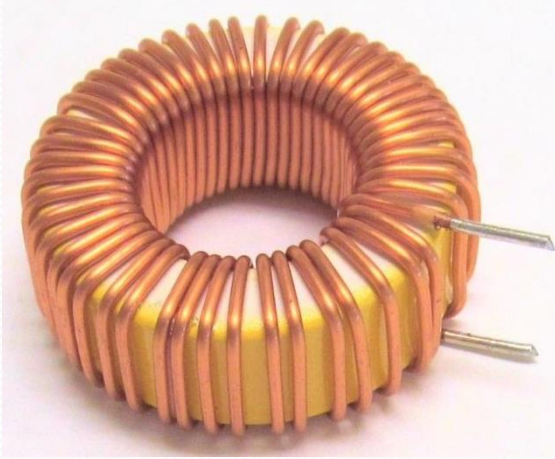
$$B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r}$$

$$B = n\mu_0 I$$



Ứng dụng của toroid

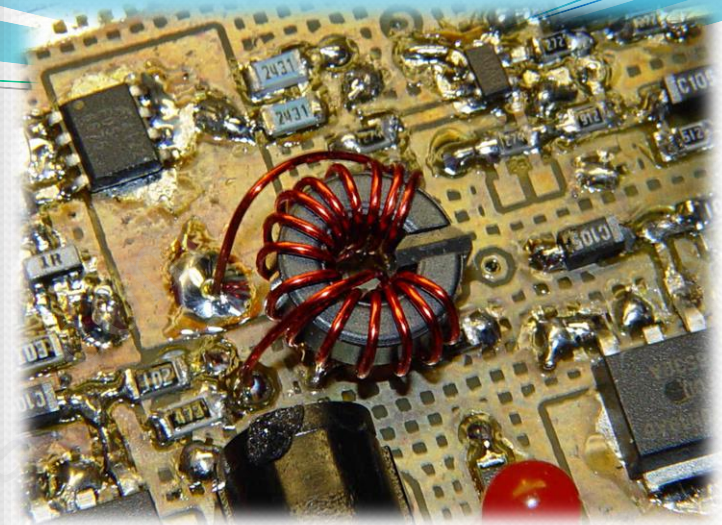
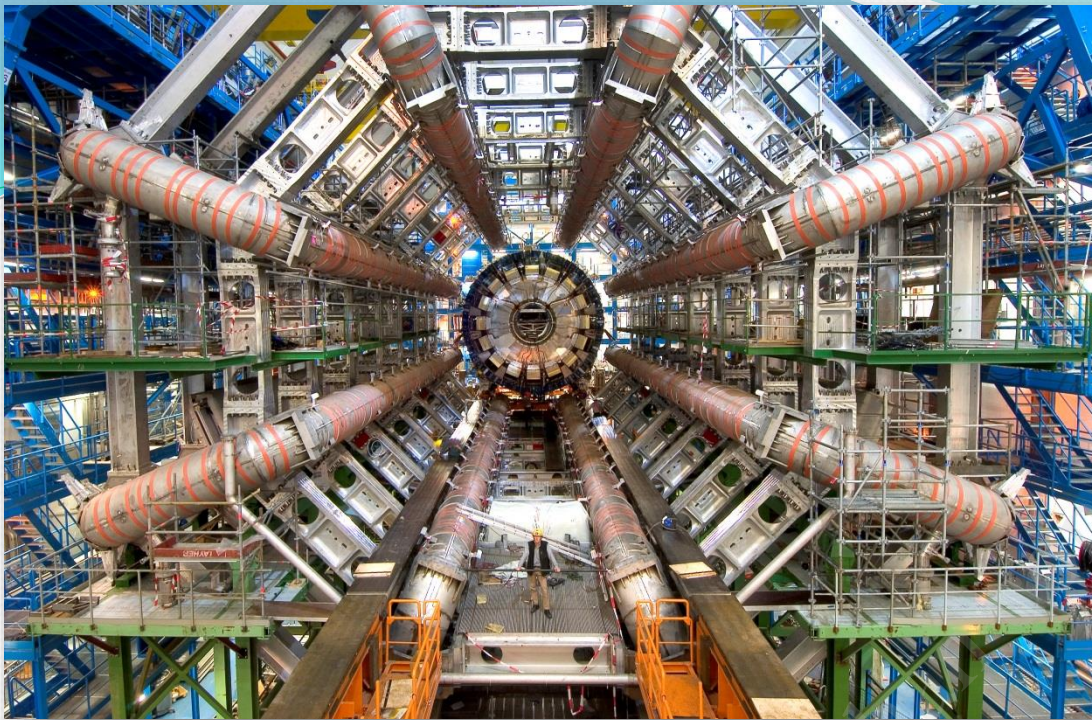
Toroid



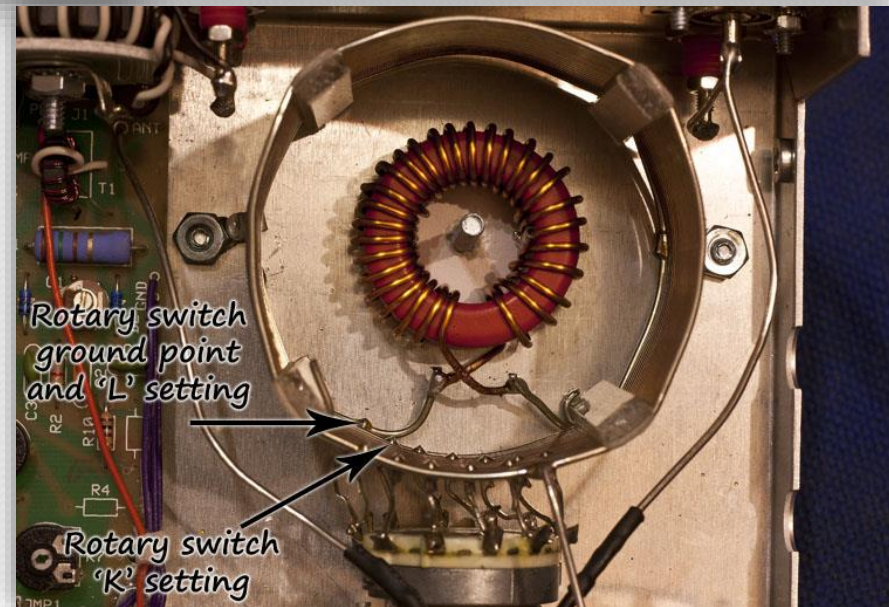
Toroid hiện đang được sử dụng trong các máy biến dòng hoặc biến tần vì:

- + Hiệu suất cao
- + Nhiệt độ thấp
- + Ít nhiễu

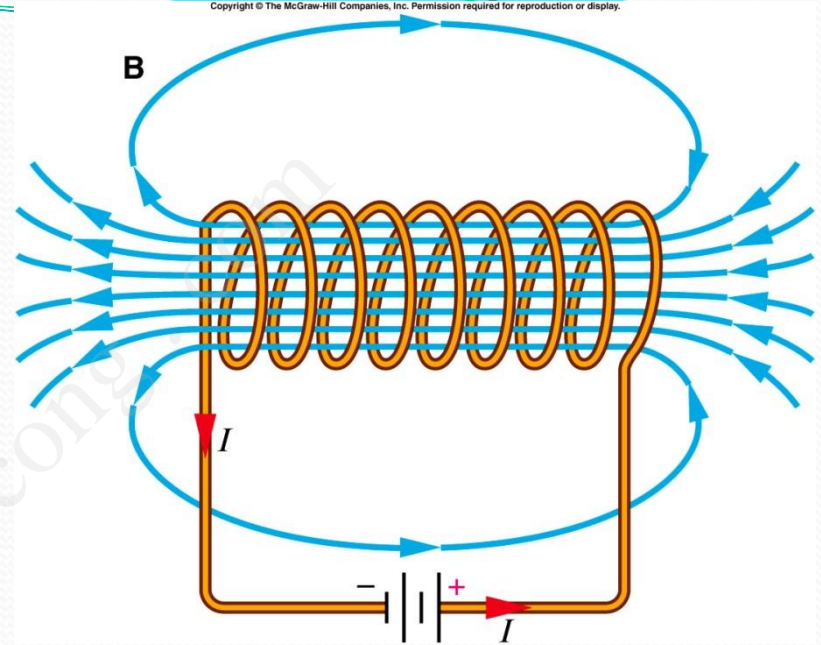
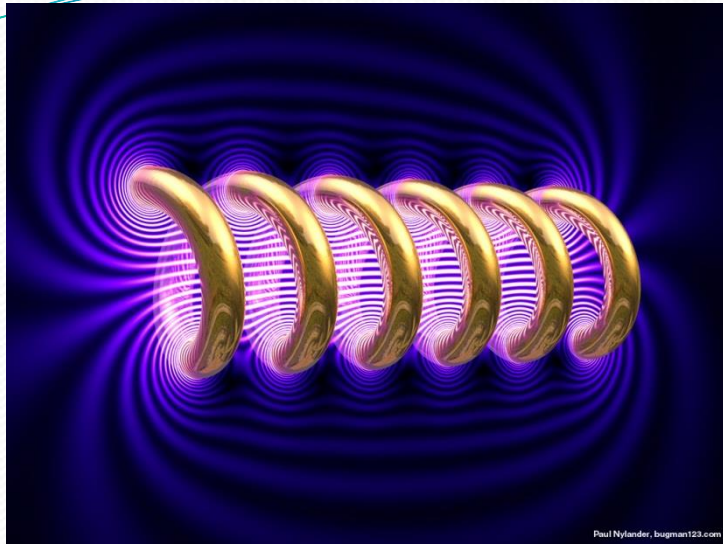
Từ trường xung quanh Toroid



ATLAS – Toroid tại CERN



b) Từ trường trong ống dây điện rất dài (solenoid)



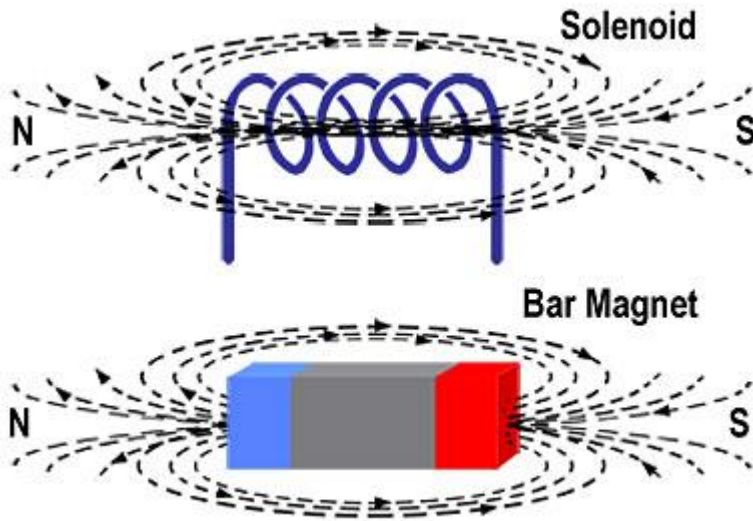
➤ Ống dây thẳng dài vô hạn có thể xem như một cuộn dây điện hình xuyến có các bán kính lớn vô cùng:

$$R_1 = R_2 \approx \infty$$

➤ Vậy cảm ứng từ tại mọi điểm bên trong ống dây đều bằng nhau và bằng:

$$B = n\mu_0 I$$

Ứng dụng của solenoid



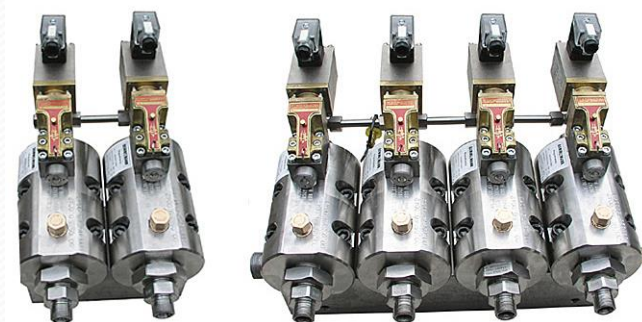
Nam châm điện



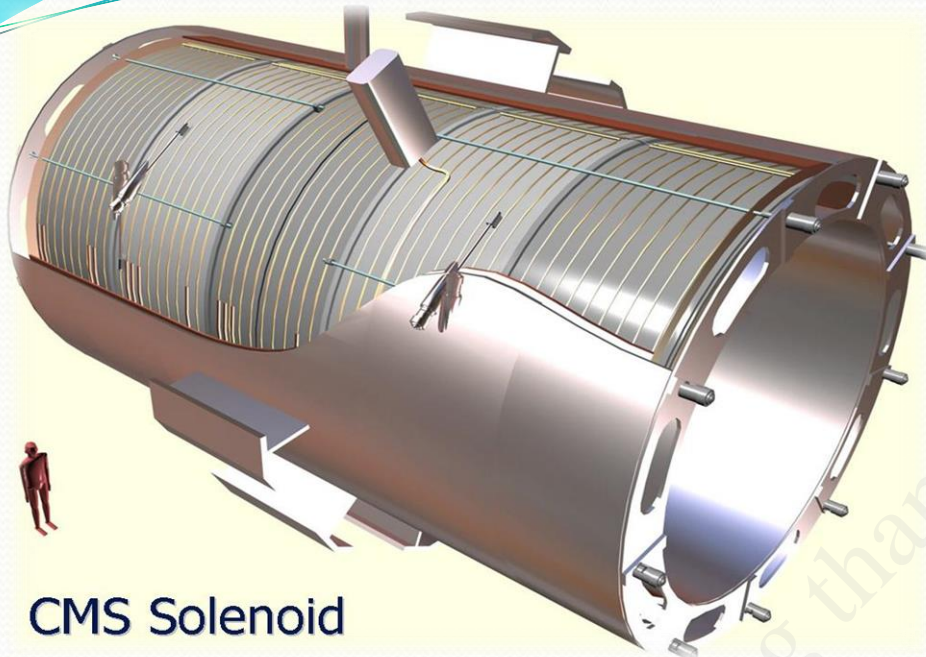
Dùng trong bộ phận khởi động của xe



Súng sơn

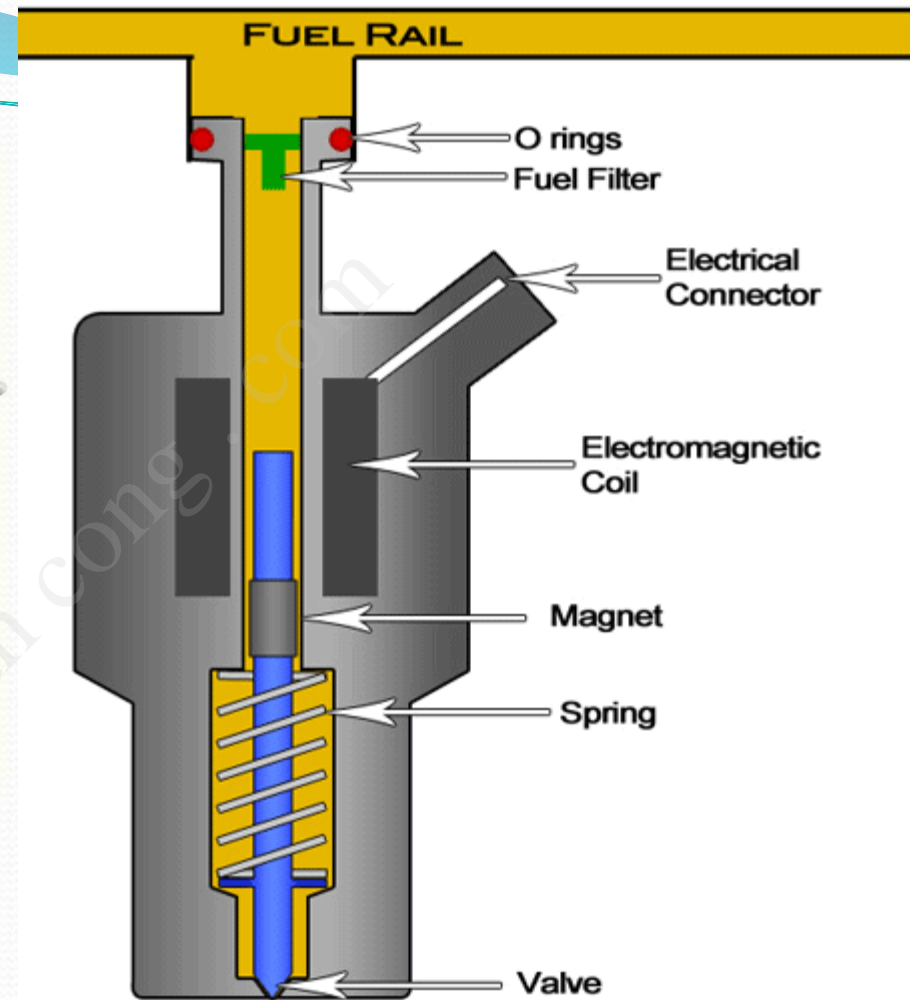


Van thủy lực solenoid dùng trong máy rửa chén, máy giặt



CMS Solenoid

The Compact Muon Solenoid - máy dò hạt trong LHC - CERN



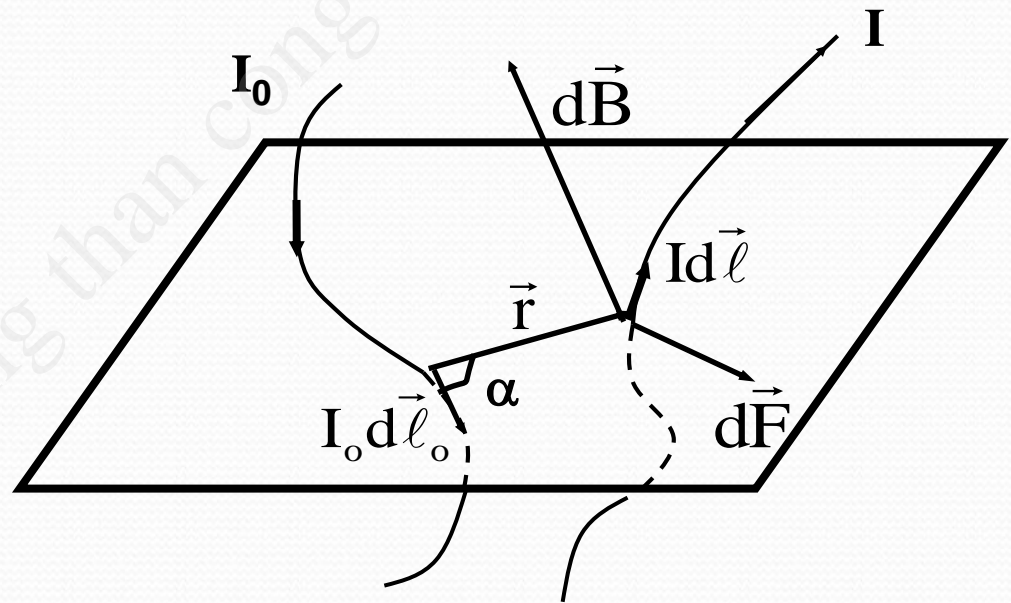
Hệ thống phun xăng
dùng solenoid

4B.5. ĐỊNH LUẬT AMPÈRE

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I_0 d\vec{\ell}_o \times \vec{r}}{r^3}$$

$$d\vec{F} = Id\vec{\ell} \times d\vec{B}$$

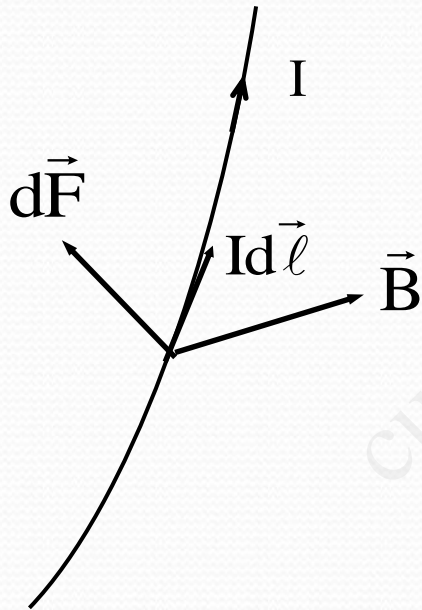
$$d\vec{F} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{\ell} \times (I_0 d\vec{\ell}_o \times \vec{r})}{r^3}$$



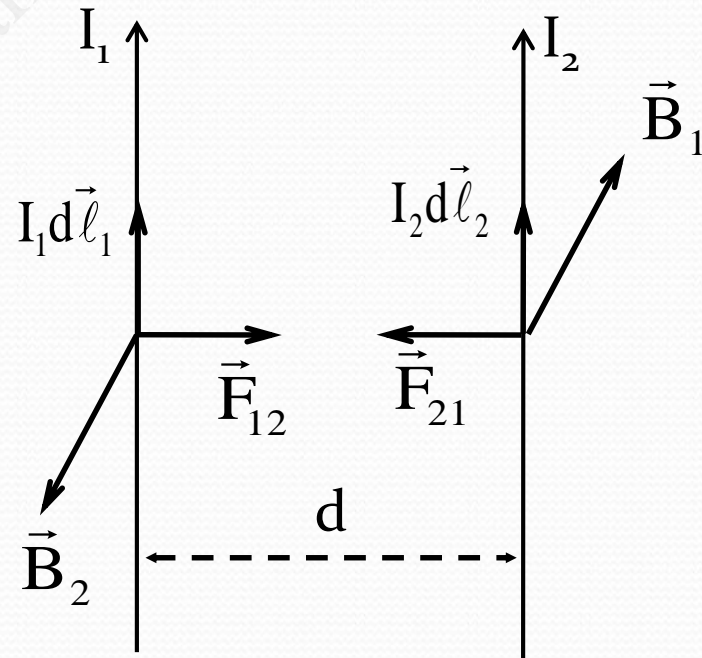
4B.5. ĐỊNH LUẬT AMPÈRE (tt)

$$\Rightarrow d\vec{F} = Id\vec{\ell} \times \vec{B}$$

$$dF = Id\ell B \sin\alpha$$



$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d} \Rightarrow F_{21} = I_2 B_1 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$$



4B.6. TÁC DỤNG CỦA TỪ TRƯỜNG LÊN MẠCH ĐIỆN KÍN

4B.6.1. Xét lực từ tác dụng lên khung dây dẫn kín

➤ Giả sử một mạch điện kín có hình dạng bất kỳ được đặt trong từ trường đều \vec{B} .



$$d\vec{F} = Id\vec{\ell} \times \vec{B}$$



$$\vec{F} = \oint_{\text{dđ}} d\vec{F} = \oint_{\text{dđ}} Id\vec{\ell} \times \vec{B}$$

I và B không đổi:

$$\vec{F} = I \left(\oint_{\text{dđ}} d\vec{\ell} \right) \times \vec{B}$$

Mà:

$$\oint_C d\vec{\ell} = 0 \Rightarrow \vec{F} = 0$$

Mạch điện không chuyển động tịnh tiến trong từ trường

Xét một khung dây dẫn cứng tuyệt đối hình chữ nhật cạnh a, b có thể quay quanh một trục (Δ) và được đặt trong một từ trường đều với vector cảm ứng từ vuông góc với (Δ) .

$$\vec{S} = S\vec{n} = ab\vec{n}$$

➤ **Lực từ:**

▪ **Trên 2 cạnh (a):** $\sum \vec{F} = 0$

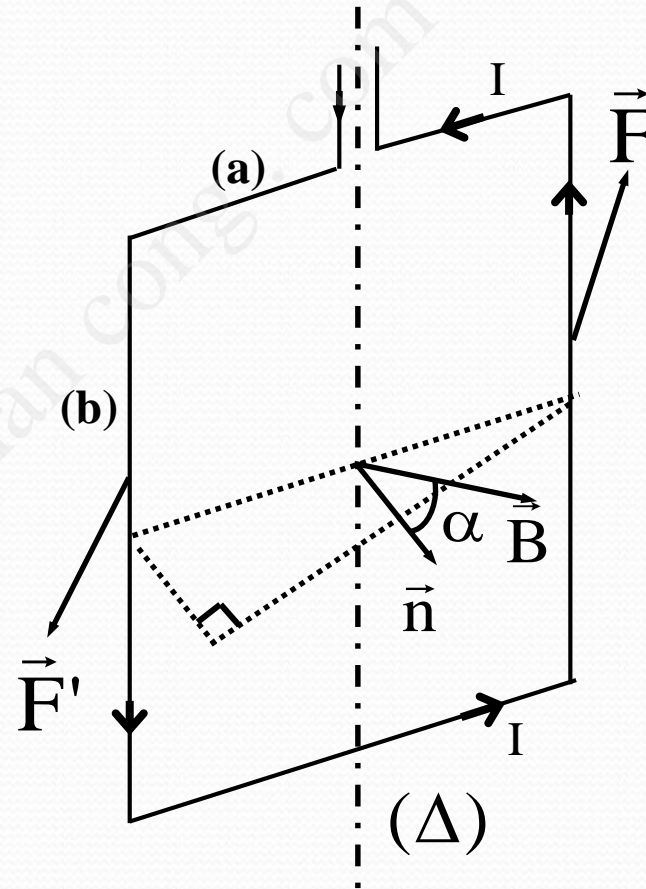
▪ **Trên 2 cạnh (b):**

$$F = F' = IbB \sin(\angle(\Delta), \vec{B})$$

$$(\Delta) \perp \vec{B} \Rightarrow F = F' = IBb$$

$$F = F' = IBb$$

$$M = IabB \sin \alpha = ISB \sin \alpha$$



$$\vec{M} = I(\vec{S} \times \vec{B})$$

$$\vec{p}_m = I\vec{S}$$

$$\vec{M} = \vec{p}_m \times \vec{B}$$

➤ **Mômen ngẫu lực đối với trục quay (Δ) tác dụng lên khung:**

$$M = labB\sin\alpha = ISB\sin\alpha$$

hay

$$\vec{M} = I(\vec{S} \times \vec{B})$$

➤ **Mômen từ của mạch điện:**

$$\vec{p_m} = I\vec{S}$$



$$\vec{M} = \vec{p_m} \times \vec{B}$$

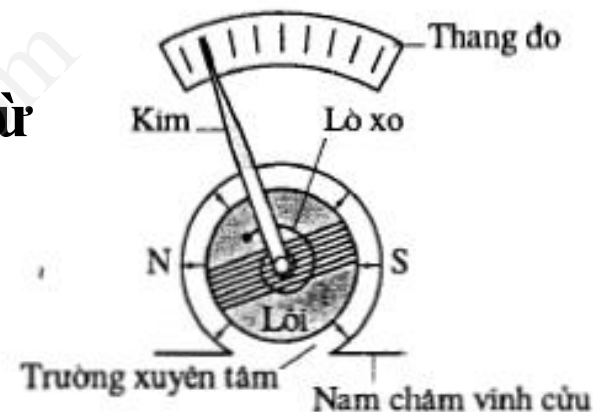
**Hiện tượng quay khung dây trong từ trường đều
được áp dụng trong các máy đo điện !!!**

- Công của ngẫu lực từ khi khung quay từ vị trí góc α đến $\alpha + d\alpha$

$$dA = -M d\alpha \quad \longrightarrow \quad dA = -p_m B \sin \alpha d\alpha$$

- Công của ngẫu lực từ để khi đưa khung từ vị trí góc α đến về vị trí cân bằng ($\alpha = 0$):

$$A = -\int_{\alpha}^0 p_m B \sin \alpha d\alpha = p_m B (1 - \cos \alpha)$$



- Công của ngẫu lực từ bằng độ giảm năng lượng của khung dây điện trong từ trường:

$$W_m(\alpha) - W_m(0) = p_m B (1 - \cos \alpha) = -p_m B \cos \alpha - (-p_m B \cos 0)$$

- Năng lượng của khung dây điện trong từ trường ở vị trí góc α

$$W_m(\alpha) = -\vec{p}_m \cdot \vec{B}$$

4B.7. CÔNG CỦA LỰC TỪ

Trong vùng không gian có từ trường đều \vec{B} , đặt mạch điện không đổi I , trong đó thanh $MN = \ell$, chuyển động tịnh tiến trong mặt phẳng khung dây.

Thanh chịu tác dụng của lực từ:

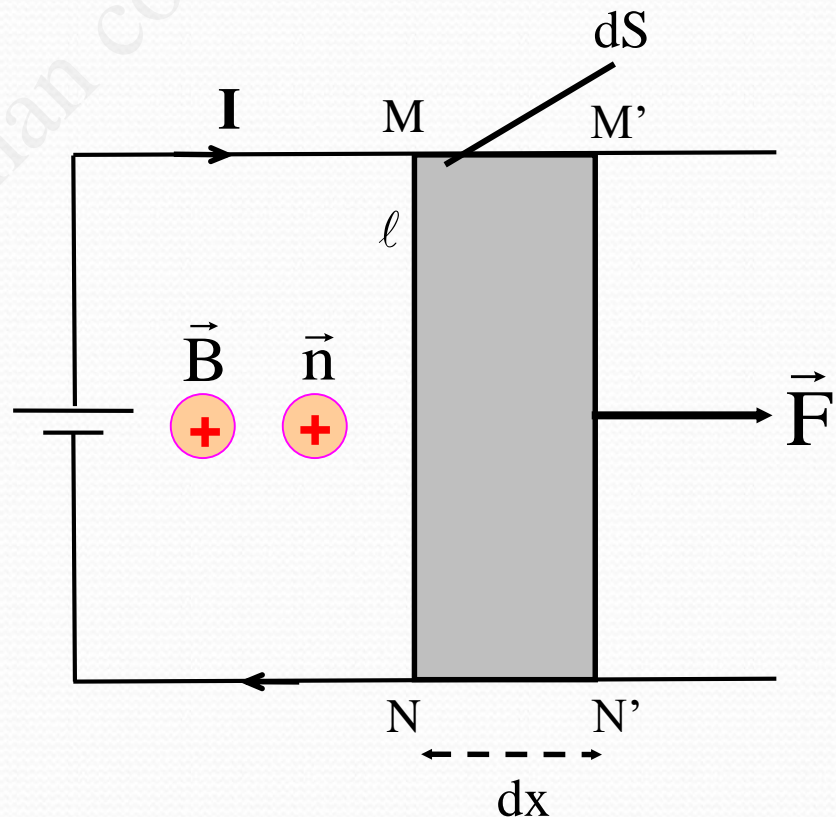
$$\vec{F} = I\vec{\ell} \times \vec{B}$$

$$\begin{aligned} \text{nên } dA &= \vec{F} \cdot d\vec{x} = I(\vec{\ell} \times \vec{B}) \cdot d\vec{x} \\ &= I\vec{B} \cdot (d\vec{x} \times \vec{\ell}) \end{aligned}$$

Từ hình vẽ, ta thấy $(d\vec{x} \times \vec{\ell}) = \vec{n} dS$

$$\text{Suy ra } dA = I\vec{B} \cdot \vec{n} dS = Id\Phi_m$$

$d\Phi_m$ là số gia của từ thông gửi qua khung khi thanh chuyển động



➤ Công của lực từ tác dụng lên toàn mạch khi mạch di chuyển từ vị trí 1 đến vị trí 2:

$$A_{12} = \int_1^2 I d\Phi_m = I \Delta \Phi_m = I (\Phi_{m2} - \Phi_{m1})$$

❖ **Kết luận**: Khi dây dẫn có dòng điện không đổi I chạy qua, di chuyển trong từ trường \vec{B} thì công của lực từ tác dụng lên dây dẫn bằng tích số của cường độ dòng điện I với độ biến thiên của từ thông qua dây dẫn

4B.8. TỪ TRƯỜNG CỦA MỘT HẠT CHUYỂN ĐỘNG:

4B.8.1. Vector cảm ứng từ của một hạt chuyển động

➤ Từ trường $d\vec{B}$ do phần tử dòng điện $I d\vec{\ell}$ gây ra tại một điểm cách nó một khoảng \vec{r} :

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{\ell} \times \vec{r}}{r^3}$$

➤ Cường độ dòng điện được đo bằng điện lượng dịch chuyển qua tiết diện thẳng của vật dẫn trong thời gian dt :

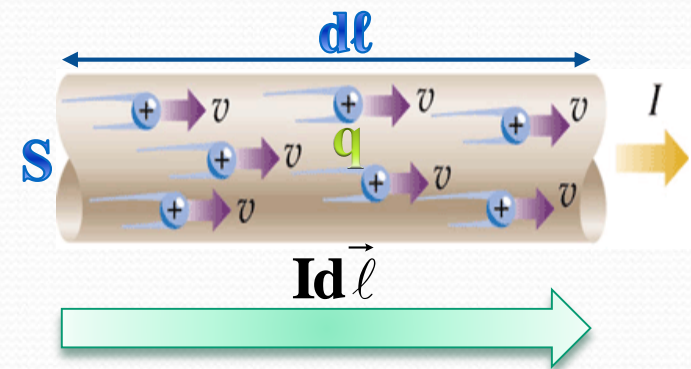
$$I = \frac{q}{dt}$$

$$\Rightarrow I d\vec{\ell} = q \frac{d\vec{\ell}}{dt} = q\vec{v} \Rightarrow$$

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q\vec{v} \times \vec{r}}{r^3}$$



$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q\vec{v} \times \vec{r}}{r^3}$$



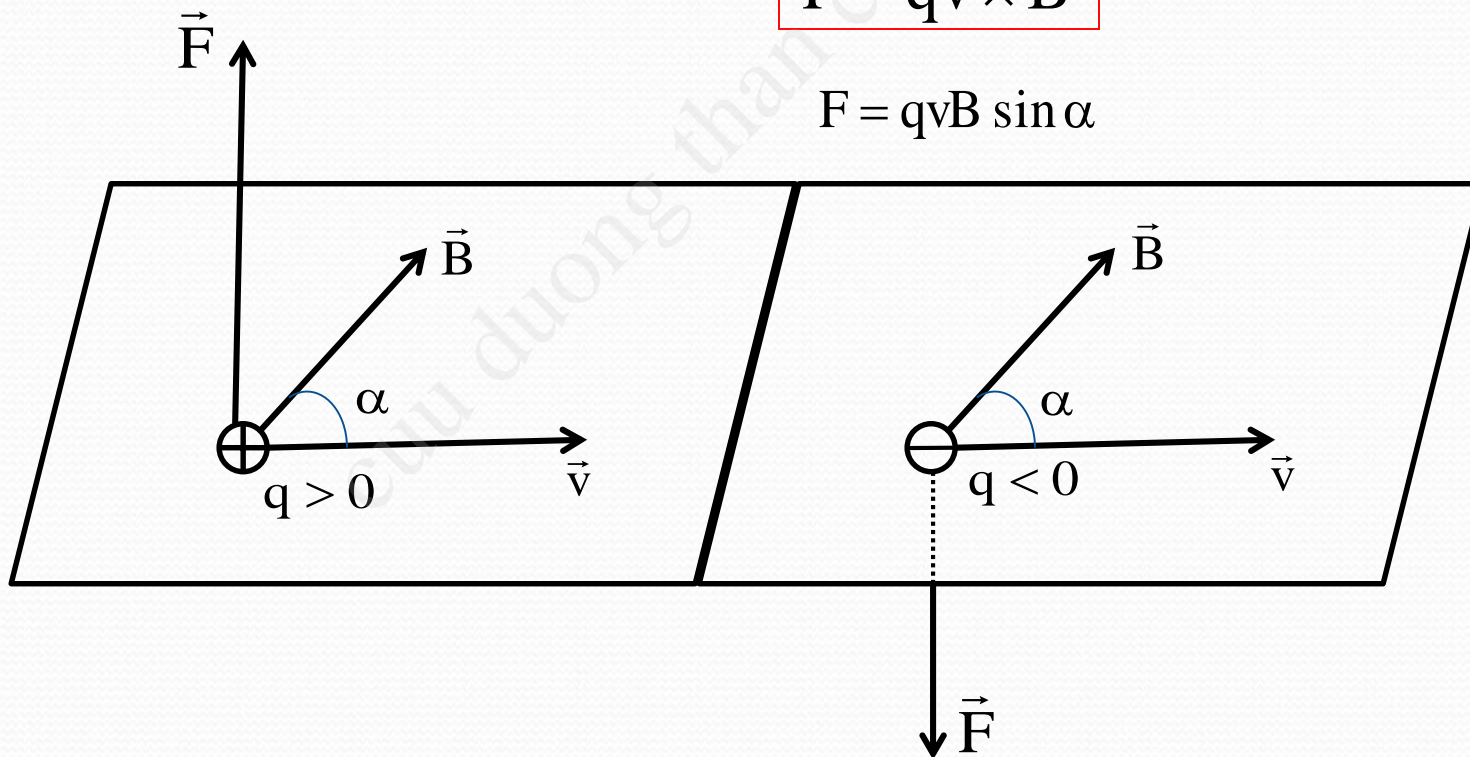
4B.8.2. Lực Lorentz

Ta có: $I d\vec{\ell} = q\vec{v} \Rightarrow \vec{F} = I d\vec{\ell} \times \vec{B} = q(\vec{v} \times \vec{B})$

\vec{F} là lực từ tác dụng lên điện tích q chuyển động với vận tốc \vec{v} trong từ trường \vec{B}

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

$$F = qvB \sin \alpha$$



4B.8.2. Lực Lorentz (tt)

❖ Lực từ tác dụng lên một hạt điện chuyển động với vận tốc \vec{v} trong từ trường \vec{B} :

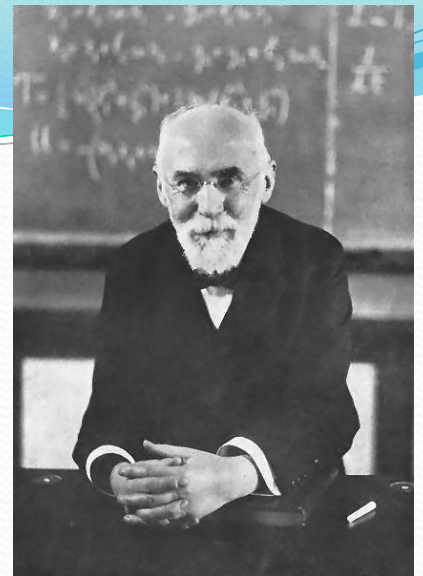
$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Độ lớn: $F = qvB \sin \alpha$

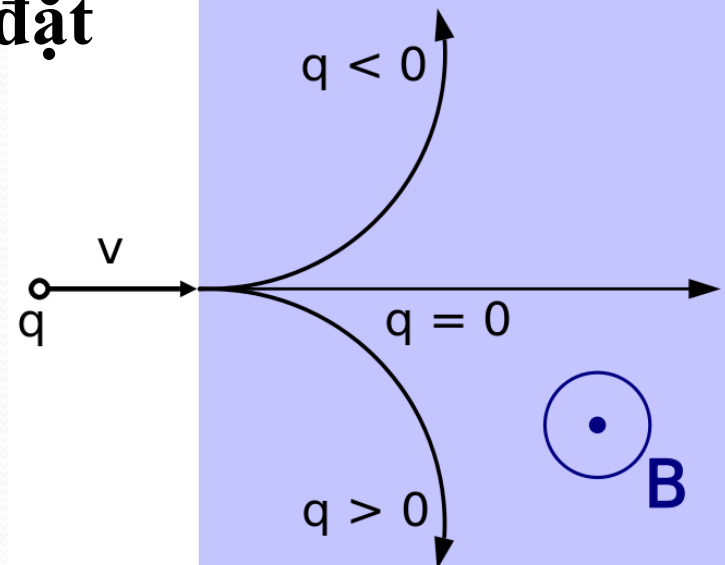
❖ Lực từ tác dụng lên hạt điện đặt trong từ trường và điện trường:

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

(Lực Lorentz)



Henrik Lorentz – Hà Lan
(1853 – 1928)
Nobel: 1902



4B.12. CÁC ỨNG DỤNG

MÁY GIA TỐC

➤ Dưới tác dụng của lực Lorentz, hạt chuyển động theo quỹ đạo tròn:

$$\frac{mv^2}{R} = evH$$

➤ Với bán kính quỹ đạo:

$$R = \frac{mv}{eH}$$

➤ Chu kì quay của hạt:

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{eH}$$

CÁC MÁY GIA TỐC

- Khi hạt có vận tốc không lớn lắm, khối lượng m của hạt không đổi, do đó chu kì quay của hạt không đổi và phù hợp với chu kì của điện trường.
- Khi hạt có vận tốc rất lớn, khối lượng m của nó không phải là hằng số mà thay đổi theo công thức tương đối:

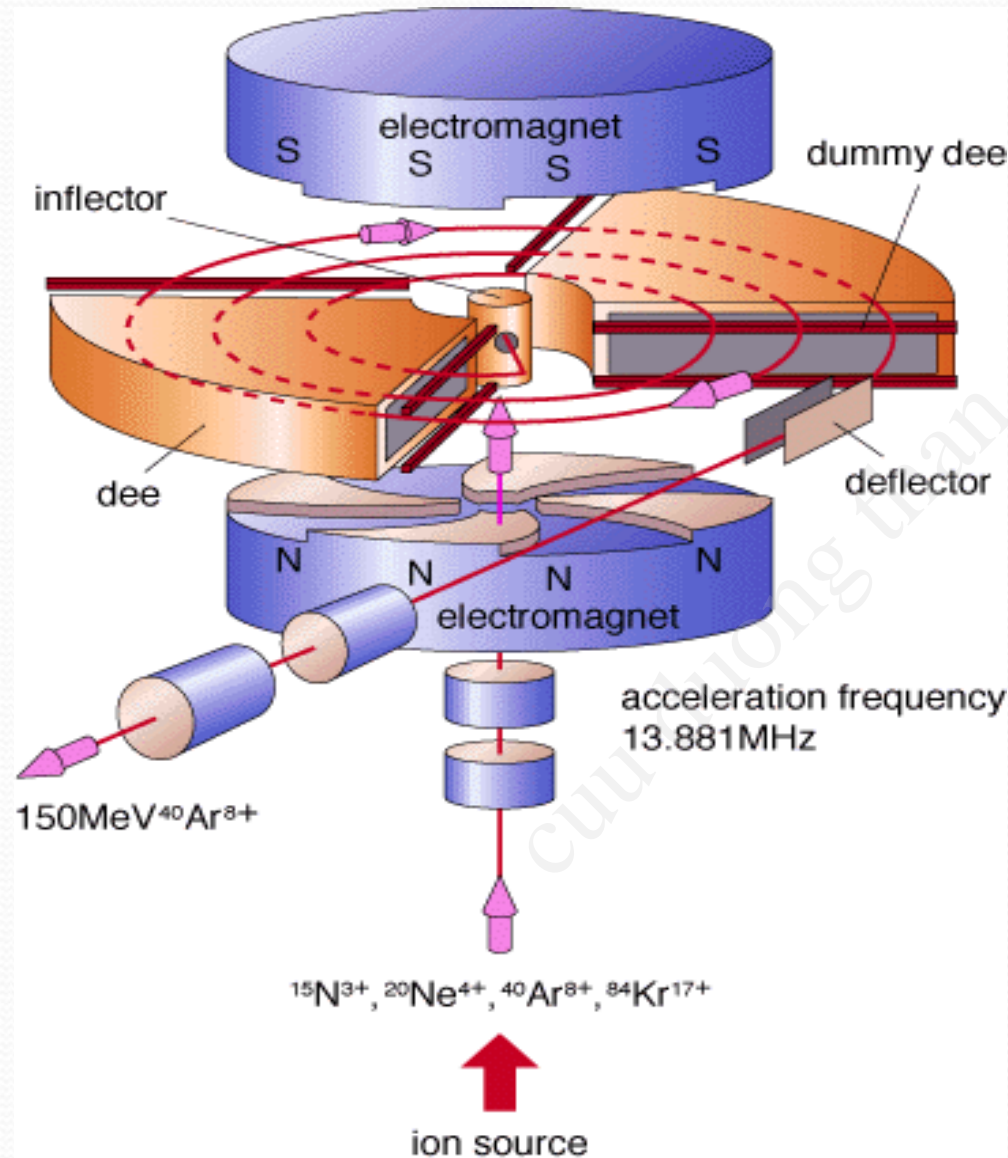
$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Vậy chu kì quay của hạt thay đổi và không phù hợp chu kì điện trường



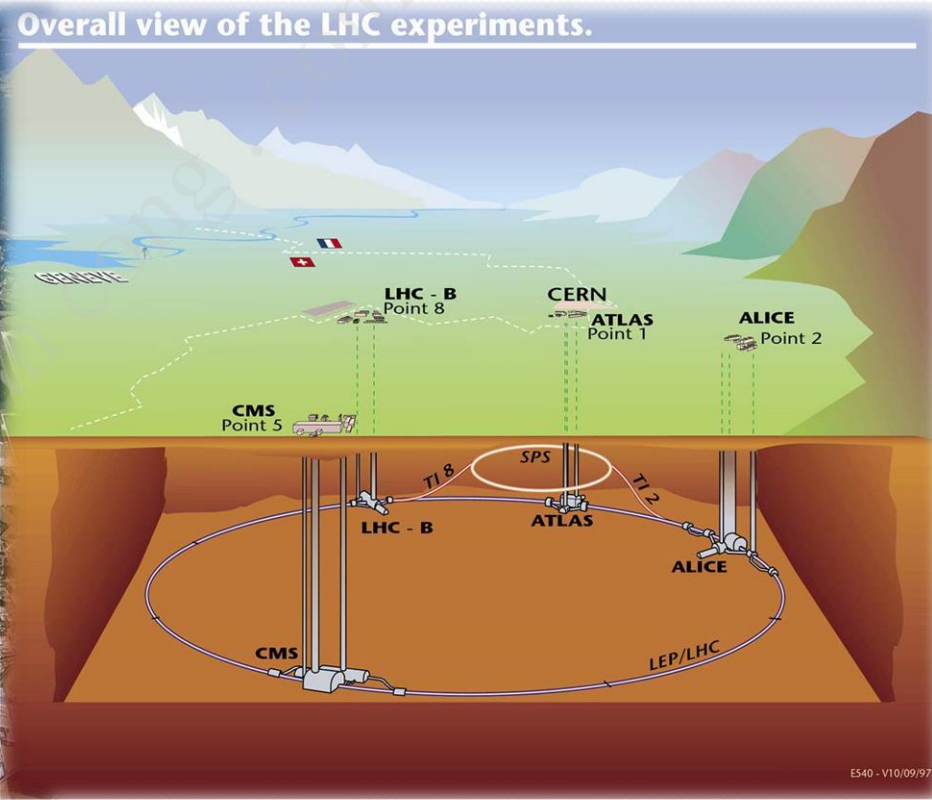
Cyclotron không cho phép tăng tốc các hạt đến vận tốc lớn !!!

Cyclotron



➤ Bộ phận chính của cyclotron là hai chiếc hộp hình chữ D, bên trong là chân không.

➤ Hộp được nối với một nguồn điện xoay chiều cao thế và đặt trong từ trường mạnh H, vuông góc với mặt phẳng của chúng.



Cyclotron tại CERN, CH-1211 Geneva, Switzerland

KHẮC PHỤC

Có hai phương pháp

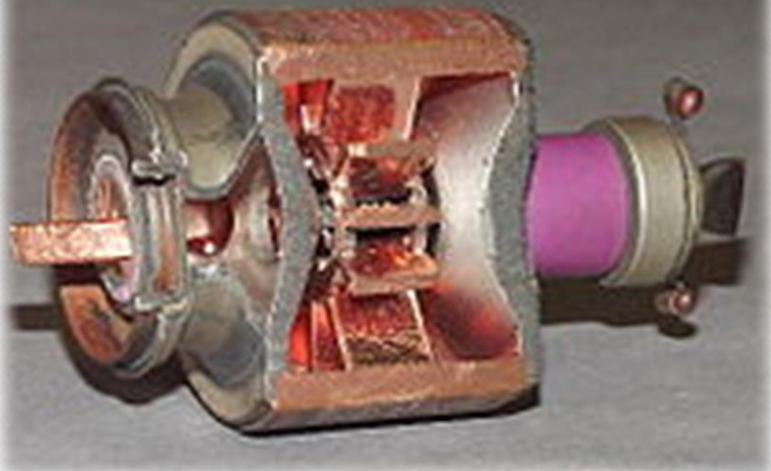


**Thay đổi từ trường H
sao cho m/H không đổi,
nên chu kì T của hạt
không đổi.
(Máy Synchrotron)**

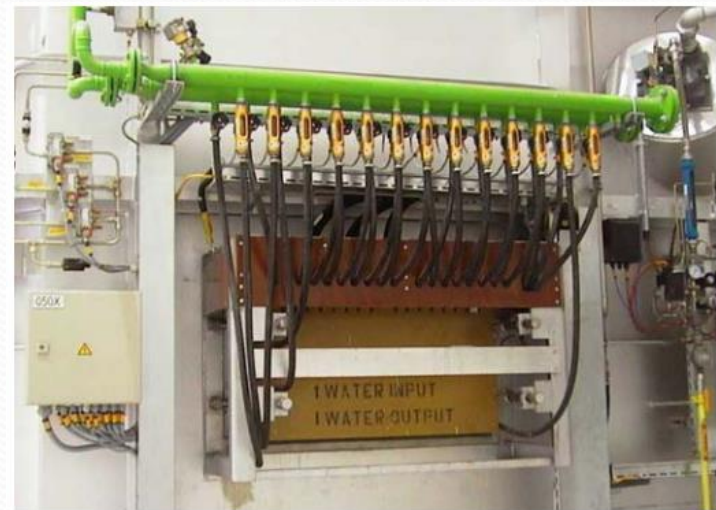
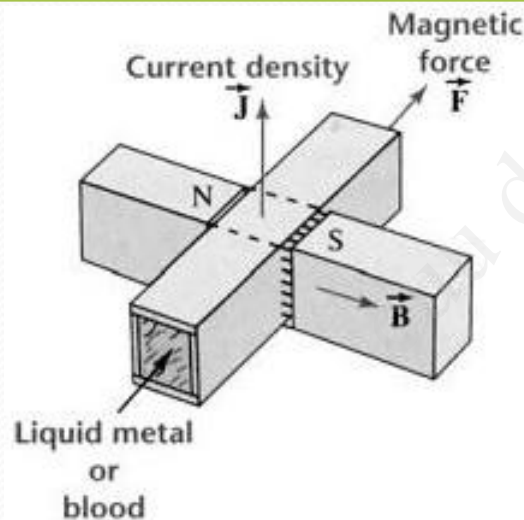
**Thay đổi chu kì của
nguồn điện để nó phù
hợp với chu kì quay
của hạt
(Máy Phazotron)**

**Các loại máy khác: Synchrotron-phazotron (Liên
Xô) sử dụng đồng thời hai phương pháp trên
(10^4MeV); Betatron gia tốc electron đến 300MeV**

Các ứng dụng khác



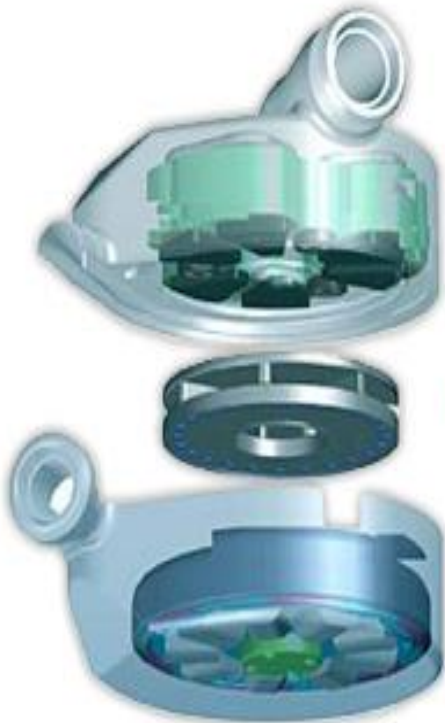
Cavity magnetron dùng trong các lò vi sóng



Bơm điện từ trong công nghiệp

Bơm điện từ làm tim nhân tạo

DURAHEART PUMP



Electromagnetic coils and position sensors continually monitor and correct the levitating impeller position, preventing deviation from the exact center of the pump.



Actively controlled, magnetically levitated impeller provides gentle, consistent flow patterns and closed, straight-blade impeller design reduces potential for turbulent flow and improves washout.



Motor magnetically coupled to the impeller to achieve rotation while stationary magnets maintain levitation.



New continuous-flow total artificial heart (CFTAH)



The End

cuu duong than cong . com