



CHƯƠNG X: TỪ TRƯỜNG CỦA DÒNG ĐIỆN KHÔNG ĐỔI

Bài giảng môn Vật lý 1 và thí nghiệm

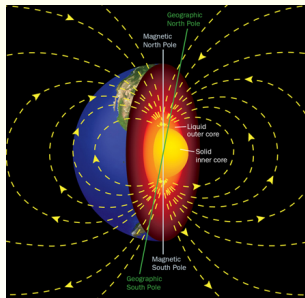
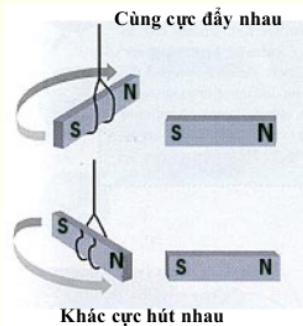
Giảng viên: Tô Thị Thảo

Ngày 18 tháng 5 năm 2023

Nội dung

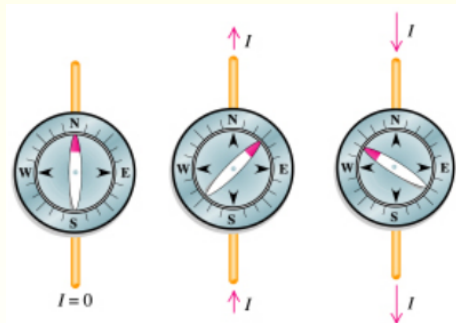
- ❶ Tương tác từ của dòng điện. Định luật Ampère
 - 1. Thí nghiệm về tương tác từ
 - 2. Định luật Ampe (Ampère)
- ❷ Vector cảm ứng từ, vectơ cường độ từ trường
 - 1. Khái niệm từ trường
 - 2. Các đại lượng đặc trưng cho từ trường
 - 3. Xác định vectơ cảm ứng từ \vec{B} và cường độ từ trường \vec{H}
- ❸ Từ thông - Định lý ÔXTRÔGRATSKI-GAUSS đối với từ trường
 - 1. Đường cảm ứng từ
 - 2. Từ thông
 - 3. Tính chất xoáy của từ trường
 - 4. Định lý Oxtrogratski - Gauss đối với từ trường
- ❹ Định lý AMPÈRE về dòng điện toàn phần
 - 1. Lưu số của vectơ cường độ từ trường
 - 2. Định lý Ampère về dòng điện toàn phần
 - 3. Ứng dụng định lý Ampère
- ❺ Tác dụng của từ trường lên dòng điện
 - 1. Lực Ampère
 - 2. Tương tác giữa hai dòng điện thẳng song song dài vô hạn
 - 3. Tác dụng của từ trường đều lên mạch điện kín
 - 4. Công của từ lực
- ❻ Tác dụng của từ trường lên hạt chuyển động
 - 1. Lực Lorentz
 - 2. Chuyển động của hạt điện trong từ trường đều

Hiện tượng tự nhiên



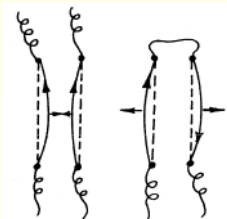
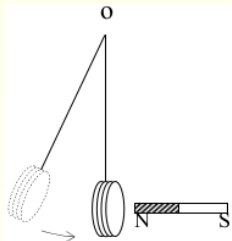
Tương tác của các dòng điện

Dòng điện với kim la bàn



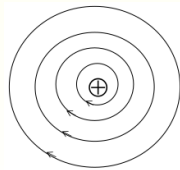
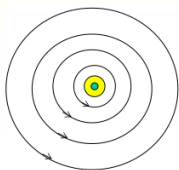
Hans Christian Oersted

Tương tác của các dòng điện



Andre Marie
Ampere

Ống dây có dòng điện \Rightarrow nam châm điện

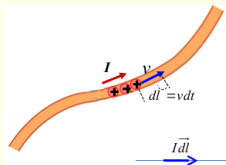


Tương tác giữa các dòng điện cũng là tương tác từ.

2. Định luật Ampe

Phần tử dòng điện

- Dòng điện: Dòng chuyển dời có hướng của các điện tích.
- Điện tích chuyển động với vận tốc v , trong khoảng thời gian dt các điện tích di chuyển được $d\ell = v \cdot dt$



Phần tử dòng: là đoạn rất ngắn của dây dẫn có dòng điện, $I d\vec{\ell}$

Định luật Ampère

- Hai điện tích đứng yên cách nhau khoảng $r \Rightarrow$ tương tác tĩnh điện (Coulomb) \sim độ lớn các điện tích và khoảng cách

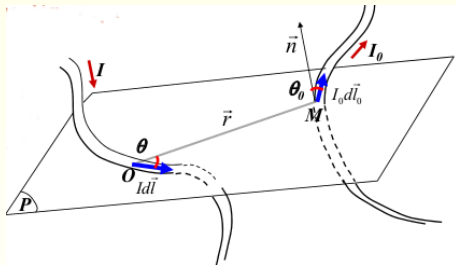
$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

- Hai dòng điện tạo thành bởi sự chuyển dời (vận tốc v) của các điện tích đặt cách nhau khoảng $r \Rightarrow$ tương tác \sim điện tích + vận tốc (hay $I d\vec{\ell}$) và khoảng cách ?

2. Định luật Ampère

- Xét 2 dây dẫn đặt trong chân không có dòng điện I, I_0 chạy qua.

- Xét 2 phần tử dòng điện $I d\vec{\ell}$ và $I_0 d\vec{\ell}_0$ trên mỗi dây.
- $I d\vec{\ell}$, $M \in$ mặt phẳng P

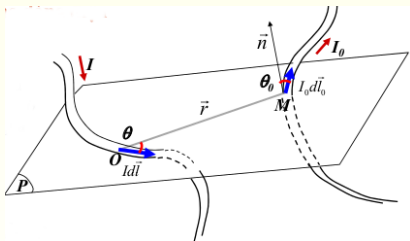


- $\vec{r} = \overrightarrow{OM}$: Khoảng cách giữa 2 gốc vector phần tử dòng điện
- \vec{n} : pháp tuyến của P tại M : ($I d\vec{\ell}, \vec{r}, \vec{n} \in$: tam diện thuận)
- $\theta = (I d\vec{\ell}, \vec{r}), \theta_0 = (I d\vec{\ell}, \vec{n})$

2. Định luật Ampère

Định luật Ampère trong chân không

- Lực do phần tử dòng $I d\vec{\ell}$ tác dụng lên $I_0 d\vec{\ell}_0$ trong chân không là vector $d\vec{F}_0$ - lực Ampère
 - Phương: $\perp (I_0 d\vec{\ell}_0, \vec{n})$
 - Chiều: $(I_0 d\vec{\ell}_0, \vec{n}, d\vec{F}_0)$ lập thành tam diện thuận



Độ lớn:
$$dF_0 = k \cdot \frac{I dl \sin \theta I_0 d\ell_0 \sin \theta_0}{r^2}$$

$k = \frac{\mu_0}{4\pi}$, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$: hằng số từ

2. Định luật Ampère

Biểu thức vector của lực Ampe:

$$d\vec{F} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I_0 d\vec{\ell}_0 \times (I d\vec{\ell} \times \vec{r})}{r^3}$$

Trong môi trường

$$d\vec{F} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I_0 d\vec{\ell}_0 \times (I d\vec{\ell} \times \vec{r})}{r^3}$$

μ : độ từ thẩm trong môi trường

- Không khí: $\mu = (1 + 0,033 \cdot 10^{-6}) \text{ H/m}$
- Nước: $\mu = (1 - 0,72 \cdot 10^{-6}) \text{ H/m}$

Chú ý:

- Phần tử dòng đóng vai trò tương tự như điện tích điểm trong định luật Coulomb.
- Định luật Ampère là định luật cơ bản của tương tác từ (định luật Coulomb là định luật cơ bản của tương tác tĩnh điện).
- Đúng với tương tác giữa các dòng điện hữu hạn.

1. Khái niệm từ trường

Thuyết tác dụng gần:

- Tương tác giữa các dòng điện được truyền đi không tức thời mà được truyền với v hữu hạn từ điểm này đến điểm khác trong không gian,
- Tương tác được thực hiện thông qua sự tham gia của vật chất trung gian,
- Khi chỉ có 1 dòng điện \Rightarrow tính chất vật lý của khoảng không gian bao quanh bị biến đổi \Rightarrow tạo ra trường xung quanh, giữ vai trò truyền tương tác.

Khoảng không gian bao quanh các dòng điện và nam châm, thông qua đó có tương tác (lực) từ gọi là từ trường \Rightarrow trường vector.

a. Vectơ cảm ứng từ

- Trường tĩnh điện, lực tương tác tĩnh điện

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{qq_0\vec{r}}{r^3} \Rightarrow \vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{q\vec{r}}{r^3}$$

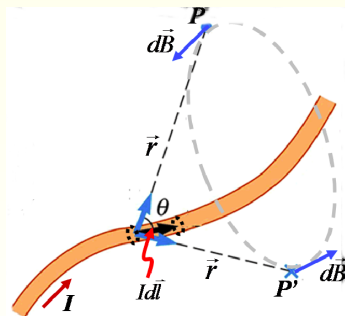
- Lực tương tác từ giữa hai dòng điện:

$$d\vec{F} = \frac{\mu_0\mu}{4\pi} \frac{I_0 d\vec{\ell}_0 \times (I d\vec{\ell} \times \vec{r})}{r^3}$$

- Vector

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

chỉ phụ thuộc vào phần tử $I d\vec{\ell}$ và \vec{r}

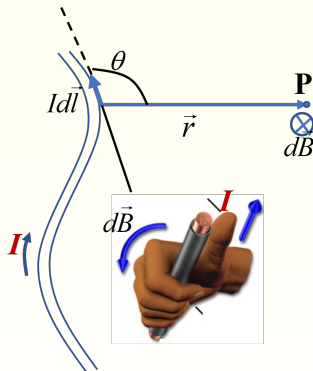


a. Vectơ cảm ứng từ

Định luật Biot-Savart-Laplace:

Vectơ cảm ứng từ $d\vec{B}$ do phần tử dòng $I d\vec{\ell}$ gây ra tại điểm P, cách nó một khoảng r là một vectơ có:

- độ lớn $dB = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I d\ell \sin \theta}{r^2}$, $\theta = (I d\vec{\ell}, \vec{r})$
- phương vuông góc với mặt phẳng chứa phần tử dòng điện $I d\vec{\ell}$ và điểm P;
- chiều sao cho ba vectơ $I d\vec{\ell}$, \vec{r} và $d\vec{B}$ theo thứ tự đó hợp thành tam diện thuận (xác định bằng qui tắc bàn tay phải);
- gốc tại điểm P.
- Đơn vị : **Tesla [T]**



b. Nguyên lý chồng chất từ trường

- Vectơ cảm ứng từ \vec{B} do một dòng điện chạy trong một dây dẫn dài hữu hạn gây ra tại một điểm M bằng tổng hợp các vectơ cảm ứng từ $d\vec{B}$ do tất cả các phần tử dòng của dòng điện đó gây ra tại điểm được xét.

$$\vec{B} = \int_{\text{cả dòng điện}} d\vec{B}$$

- Trong các bài toán cụ thể:
 - Xác định phương, chiều bằng hình vẽ.
 - Tính tích phân xác định giá trị của B.
- Vector cảm ứng từ \vec{B} gây bởi nhiều dòng điện bằng tổng các vector cảm ứng từ \vec{B}_i do từng dòng điện gây ra.

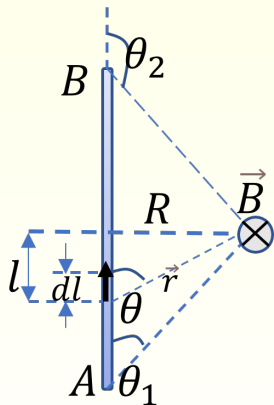
$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i$$

c. Vectơ cường độ từ trường

Vector cảm ứng từ \vec{B} chứa độ từ thẩm $\mu \Rightarrow$ mật độ đường sức thay đổi
 \Rightarrow Vector cường độ từ trường không phụ thuộc vào môi trường:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0 \mu}$$

a. Từ trường gây bởi dòng điện thẳng



$$\frac{\ell}{R} = \coth \theta \Rightarrow d\ell = \frac{R d\theta}{\sin^2 \theta}, \quad r = \frac{R}{\sin \theta}$$

- Đoạn dây AB, mang dòng điện $I \Rightarrow$ xác định từ trường B do AB gây ra tại M.
- Chia dây AB thành những phần tử nhỏ, chiều dài $d\ell \Rightarrow$ Vector $d\vec{B}$ do phần tử dòng $I d\ell$ gây ra tại M, có độ lớn:

$$dB = \frac{\mu_0 \mu I d\ell \sin \theta}{4\pi r^2}$$

- Theo nguyên lý chồng chập, B của đoạn dây AB, gây ra tại M: $\vec{B} = \int_{AB} d\vec{B}$

- Do các dB cùng chiều nên:

$$B = \int_{AB} dB = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi} \int_{AB} \frac{\sin \theta d\ell}{r^2}$$

a. Từ trường gây bởi dòng điện thẳng

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{d\theta \sin \theta}{R} = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi R} (-\cos \theta) \Big|_{\theta_1}^{\theta_2}$$

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi R} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2)$$

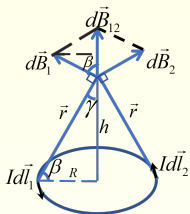
Dòng điện thẳng dài vô hạn: $\theta_1 = 0, \theta_2 = \pi$

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi R}, \quad H = \frac{I}{2\pi R}$$

Nếu cho $I = 1\text{A}$, $2\pi R = 1\text{m} \Rightarrow H = \frac{1\text{A}}{1\text{m}}$

Ampe trên mét là cường độ từ trường sinh ra trong chân không bởi một dòng điện có cường độ 1 ampe, chạy qua một dây dẫn thẳng dài vô hạn, tiết diện tròn, tại các điểm của một đường tròn đồng trục với dây đó và có chu vi bằng 1 mét.

b. Dòng điện tròn



- Dây tròn bán kính R , mang dòng điện $I \Rightarrow$ coi dây điện tròn là do các phần tử độ dài $d\ell$ tạo thành
- Áp dụng đ/l Biot-Savart-Laplace \Rightarrow từ trường do mỗi phần tử dòng $I d\ell$ sinh ra tại M có độ lớn:

$$dB_i = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I d\ell \sin \theta}{r^2}, (i = 1, 2)$$

- $\theta = (\vec{d\ell}, \vec{r}) = \pi/2$ (do $\vec{d\ell} \perp R$ và h) $\Rightarrow dB_i = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I d\ell}{r^2}$

Mặt khác $d\vec{B}_{12} = d\vec{B}_1 + d\vec{B}_2$ và $dB_{12} = 2dB_i \cos \beta$, $\cos \beta = \frac{R}{r}$

$$\Rightarrow dB_{12} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I d\ell \cdot R}{r^3}$$

Cảm ứng từ B do cả dòng điện tròn gây ra tại M :

$$B = \int_{\text{cả dòng điện}} dB_{12} = \int_{\text{cđđ}} \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I d\ell \cdot R}{r^3} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{IR}{r^3} \oint_{\text{cđđ}} d\ell = \frac{\mu_0 \mu IR}{4\pi r^3} \cdot 2\pi R$$

b. Dòng điện tròn

Vậy, cảm ứng từ do dòng điện tròn gây ra tại M:

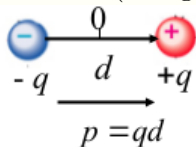
$$B = \frac{\mu_0 \mu I R^2}{2r^3}$$

Gọi $S = \pi.R^2$: diện tích bao bởi dòng điện tròn; $r = (R^2 + h^2)^{1/2}$

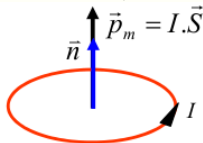
$$B = \frac{\mu_0 \mu I . S}{2\pi (R^2 + h^2)^{3/2}}$$

Moment từ (Magnetic moment)

Moment (lượng cực) điện



Moment (lượng cực) từ



S: diện tích mặt kín; $\vec{S} = S.\vec{n}$

Moment từ (Magnetic moment)

\vec{n} : chiều là chiều tiến của cái vặn nút chai khi ta quay cán của nó theo chiều của dòng điện.

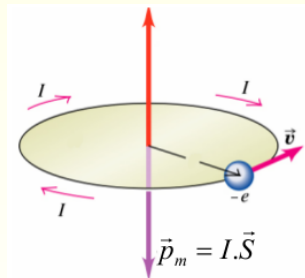
- Cảm ứng từ B do dòng điện tròn gây ra tại 1 điểm nằm trên trục của dòng điện:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi} \frac{I \vec{S}}{r^3} = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi} \frac{\vec{p}_m}{r^3}$$

$\vec{p}_m = I \cdot \vec{S}$: đặc trưng cho tính chất từ của dòng điện tròn.

Cảm ứng từ B của dòng điện tròn gây ra tại tâm dòng điện:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi} \frac{\vec{p}_m}{R^3}$$



c. Từ trường gây bởi hạt điện tích chuyển động

- Xét điện tích $q > 0$ chuyển động với vận tốc $v \Rightarrow$ phần tử dòng điện $Id\vec{\ell}$.
- Số điện tích chứa trong thể tích có chiều dài $d\ell$ và tiết diện S_n của phần tử dòng điện:

$$dn = n_0 \cdot S_n \cdot d\ell$$

- Biot-Savart-Laplace \Rightarrow cảm ứng từ $d\vec{B}$ do phần tử dòng $Id\vec{\ell}$ (có dn điện tích) gây ra tại M:

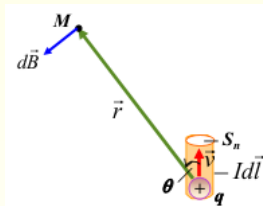
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{Id\vec{\ell} \times \vec{r}}{r^3}$$

- Cảm ứng từ do một hạt điện tích q chuyển động gây ra:

$$\vec{B}_q = \frac{d\vec{B}}{dn} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{Id\vec{\ell} \times \vec{r}}{n_0 \cdot S_n \cdot d\ell r^3}$$

- Do $I = j \cdot S_n = n_0 |q| \cdot v \cdot S_n$, (j : mật độ dòng) và $v \frac{d\vec{\ell}}{d\ell} = \vec{v}$

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



c. Từ trường gây bởi hạt điện tích chuyển động

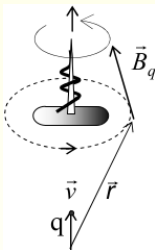
$$\vec{B}_q = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{q \vec{v} \times \vec{r}}{r^3}$$

$\vec{v}, \vec{r}, \vec{B}_q$ theo thứ tự lập thành một tam diện thuận, \Rightarrow độ lớn của B_q :

$$B_q = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{|q| v \sin \theta}{r^2},$$

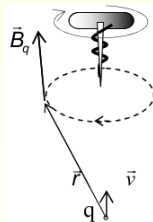
với θ : góc hợp bởi (\vec{v}, \vec{r}) .

c. Từ trường gây bởi hạt điện tích chuyển động



$$q > 0$$

\vec{v} , \vec{r} , \vec{B}_q theo thứ tự lập thành một tam diện thuận

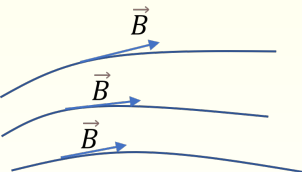


$$q < 0$$

\vec{B}_q có chiều ngược với \vec{B}_q do điện tích dương gây ra

1. Đường cảm ứng từ

Đường cảm ứng từ là đường cong vạch ra trong từ trường sao cho tiếp tuyến tại mọi điểm của nó trùng với phương của vectơ cảm ứng từ tại những điểm ấy, chiều của đường cảm ứng từ là chiều của vectơ cảm ứng từ.

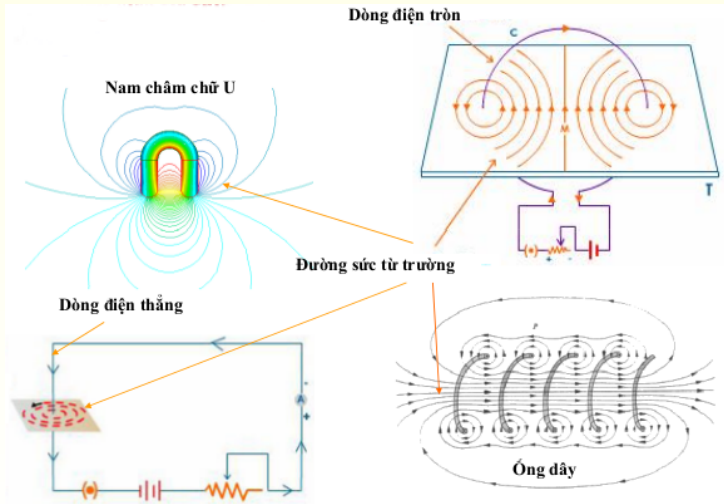


- Các đường cảm ứng từ không cắt nhau. Khác với đường sức điện, **đường cảm ứng từ là những đường cong kín.**

- Quy ước vẽ số đường cảm ứng từ qua một đơn vị diện tích vuông góc với phương của vectơ cảm ứng từ, có trị số tỷ lệ với độ lớn B của vectơ \vec{B} .
- **Từ phổ:** tập hợp các đường sức từ trường.



Từ phổ

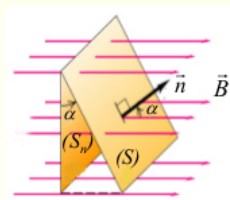


2. Từ thông

Từ thông gửi qua diện tích dS là đại lượng có trị số tỷ lệ với số đường cảm ứng từ gửi qua diện tích ấy.

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

- \vec{B} : vector cảm ứng từ
- $d\vec{S} = dS \cdot \vec{n}$, \vec{n} : vectơ pháp tuyến đơn vị của diện tích dS
 $\Rightarrow d\Phi_m = B dS \cos \alpha = B_n dS = B dS_n$,
- $\alpha = (\vec{B}, \vec{n})$, $B_n = B \cdot \cos \alpha$: hình chiếu của vectơ \vec{B} lên phương của pháp tuyến \vec{n} .
- Từ thông có thể '+', '-', hoặc =0 tùy theo góc α



2. Từ thông

- Từ thông qua diện tích S hữu hạn \Rightarrow chia S thành những phần tử diện tích vô cùng nhỏ dS , sao cho có thể coi vector cảm ứng từ \vec{B} không đổi trên mỗi phần tử đó.
- Từ thông gửi qua S :

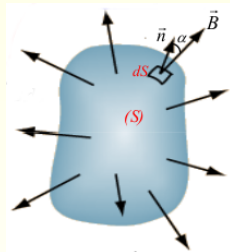
$$\Phi_m = \int_S \vec{B} d\vec{S}$$

- Từ trường đều gửi vuông góc qua diện tích S :

$$\Phi_m = \int_S B dS = B \int_S dS = BS$$

$$\Rightarrow B = \frac{\Phi_m}{S} = \frac{1Wb}{1m^2} = 1 \frac{Wb}{m^2} = 1T(Tesla)$$

Tesla (T) là cảm ứng từ của một từ trường đều gửi qua mỗi mét vuông diện tích phẳng vuông góc với các đường sức của nó một từ thông đều 1Wb.

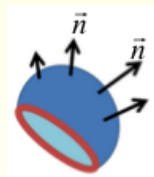


3. Tính chất xoáy của từ trường

Các đường sức của từ trường là các đường cong khép kín.

4. Định lý Ostrogradski - Gauss đối với từ trường

- Qui ước: Chiều dương của pháp tuyến đối với mặt cong kín hướng ra ngoài mặt đó.
 - Từ thông âm \Rightarrow đường sức đi vào
 - Từ thông dương \Rightarrow đường sức đi ra.



Định nghĩa:

Từ thông toàn phần gửi qua một mặt kín (S) bất kỳ bằng không

$$\Phi_m = \oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0 \text{ (Dạng tích phân)}$$

4. Định lý Ostrogradski - Gauss đối với từ trường

- Đường cảm ứng từ là những đường cong kín \Rightarrow trong thiên nhiên không tồn tại các hạt "từ tích",

- Giải tích toán $\oint_S \vec{B} d\vec{S} = \int_V \text{div} \vec{B} dV,$

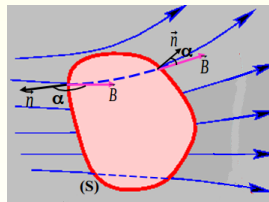
- V là thể tích giới hạn bởi mặt kín S

$$\Rightarrow \int_V \text{div} \vec{B} dV = 0$$

$$\text{div} \vec{B} = 0$$

dạng vi phân của định lý O-G đối với từ trường.

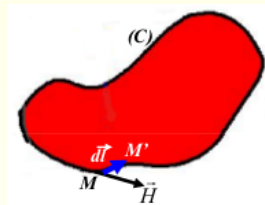
\Rightarrow Từ trường có tính chất xoáy !!!



1. Lưu số của vectơ cường độ từ trường

- Xét:

- Đường kín (C) bất kỳ \in từ trường \vec{H} bất kỳ.
- $d\vec{l}$: Vector chuyển dời ứng với đoạn MM' trên (C).

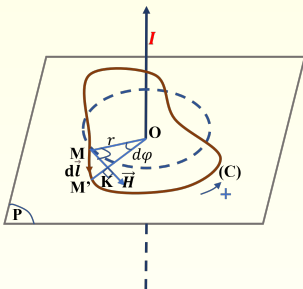


Định nghĩa:

Lưu số của vectơ cường độ từ trường dọc theo một đường cong kín (C) là đại lượng bằng tích phân $\vec{H} \cdot d\vec{l}$ dọc theo toàn bộ đường cong kín đó:

$$\oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \oint_{(C)} H dl \cos(\vec{H}, d\vec{l})$$

Định lý Ampere về dòng điện toàn phần



- Xét:- \vec{B}, \vec{H} gây bởi dòng điện thẳng vô hạn, cường độ I
- Đường cong kín (C) bao quanh dòng điện $\perp I$
- Chiều của $d\vec{l}$ là chiều dương
- Theo đ/n lưu số vector cường độ H:

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

Từ trường gây bởi dòng điện thẳng tại M: $H = \frac{I}{2\pi r}$

$$\Rightarrow \oint_{(C)} \vec{H} d\vec{l} = \frac{I}{2\pi} \oint_{(C)} \frac{dl \cos(\vec{H}, d\vec{l})}{r}$$

- Trong $\triangle MKM'$: $dl \cdot \cos(\vec{H}, d\vec{l}) \approx MK \approx r d\varphi$

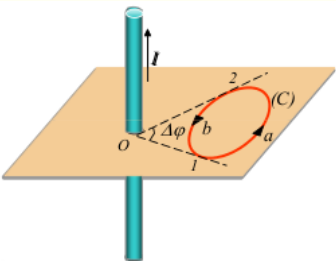
$$\Rightarrow \oint_{(C)} \vec{H} d\vec{l} = \frac{I}{2\pi} \oint_{(C)} d\varphi$$

2. Định lý Ampère về dòng điện toàn phần

Lưu số của vectơ cường độ từ trường \vec{H}

$$\oint_{(C)} \vec{H} d\vec{\ell} = \frac{I}{2\pi} \oint_{(C)} d\varphi$$

(C) bao quanh dòng điện: $\oint_{(C)} d\varphi = 2\pi \Rightarrow \oint_{(C)} \vec{H} d\vec{\ell} = I$



- (C) không bao quanh dòng điện

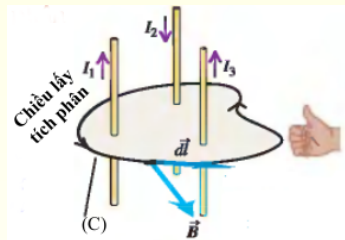
- Coi (C) tạo bởi 2 đoạn 1a2 và 2b1

có:

$$\oint_{(C)} d\varphi = \int_{1a2} d\varphi + \int_{2b1} d\varphi = \Delta\varphi - \Delta\varphi = 0$$

$$\Rightarrow \oint_{(C)} \vec{H} d\vec{\ell} = 0$$

2. Định lý Ampère về dòng điện toàn phần



- Từ trường gây bởi nhiều dòng điện I

$$\oint_{(C)} \vec{H} d\vec{l} = \sum_{i=1}^n I_i \Leftrightarrow$$

$$\Phi_e = \oint \vec{D} d\vec{S} = \sum_{i=1}^n q_i$$

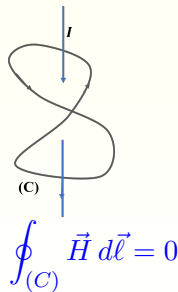
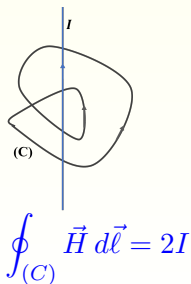
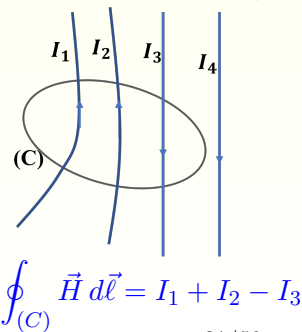
Lưu số của vectơ cường độ từ trường dọc theo một vòng của đường cong kín (C) bất kỳ bằng tổng đại số cường độ của các dòng điện xuyên qua diện tích giới hạn bởi đường cong đó

- Quy tắc:** Chiều dương của dòng điện theo quy tắc vặn ren phải: Chiều vặn - chiều lấy tích phân, chiều tiến - chiều dòng điện



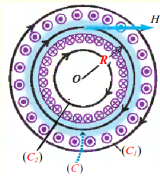
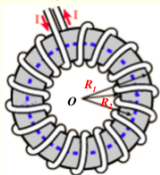
Ý nghĩa của định lý Ampere:

- Từ trường có nguồn gốc từ dòng điện;
- Từ trường $\oint_{(C)} \vec{H} d\vec{l} = \sum_{i=1}^n I_i \neq 0 \Rightarrow$ trường khép kín (xoáy), không phải là trường thế.
(Điện trường: $\oint_{(C)} \vec{E} d\vec{l} = 0 \Rightarrow$ trường không khép kín và là trường thế do $A = 0$)



Từ trường gây bởi dòng điện của cuộn dây hình xoắn

Tính từ trường tại một điểm bên trên đường tròn tâm O bán kính R ($R_1 < R < R_2$) trong cuộn dây hình xoắn: n vòng dây.



Do tính đối xứng của toàn bộ cuộn dây đối với O

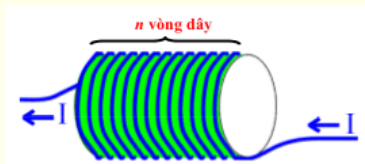
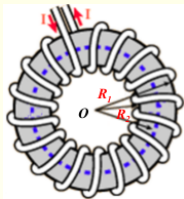
$\Rightarrow \vec{H} = \text{const}$ tại mọi điểm trên $R(O)$

$$\oint_{(C)} \vec{H} d\vec{l} = H \oint_{(C)} dl = H \cdot 2\pi R = nI \Rightarrow H = \frac{nI}{2\pi R}$$

$$B = \frac{\mu_0 \mu n I}{2\pi R}$$

Từ trường đều và chỉ ở giữa cuộn dây !!!

Từ trường gây bởi dòng điện trong ống dây thẳng vô hạn



- Ống dây có thể được xem như cuộn dây hình xoắn có các bán kính $R_1 = R_2 = \infty$
- Cường độ từ trường tại mọi điểm bên trong ống dây đều bằng nhau

$$H = \frac{nI}{2\pi R} = \frac{nI}{L} = n_0 I$$

n : số vòng dây trên $2\pi R$, n_0 : số vòng dây trên một đơn vị dài của ống dây

$B = \mu_0 \mu n_0 I$: áp dụng khi $L > 20d$

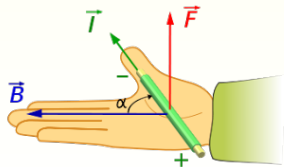
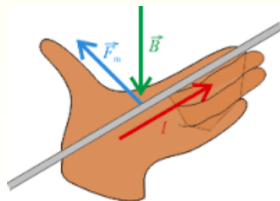
1. Lực Ampère

Phần tử dòng điện $I_0 d\vec{\ell}_0$ ở điểm M trong từ trường $d\vec{B}$ chịu tác dụng 1 lực: $d\vec{F} = I_0 d\vec{\ell}_0 \times d\vec{B}$

Phần tử dòng điện $I d\vec{\ell}$ ở điểm M \Rightarrow sẽ chịu tác dụng một **lực từ Ampère**:

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

- độ lớn: $dF = I d\ell B \sin \alpha$, $\alpha = (I d\vec{\ell}, \vec{B})$
- phương: vuông góc với các vectơ $I d\vec{\ell}, \vec{B}$
- chiều: $I d\vec{\ell}, \vec{B}, d\vec{F}$ theo thứ tự đó hợp thành tam diện thuận.
Phương chiều của \vec{F} được xác định bằng quy tắc trái hoặc phải

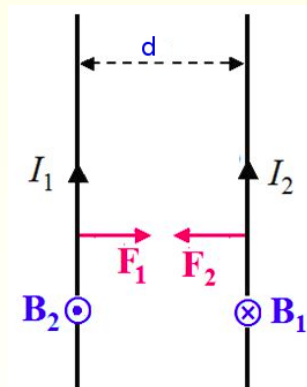


Hai dòng điện cùng chiều

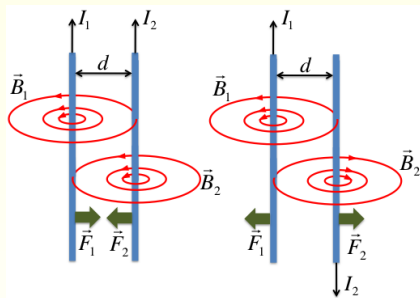
- Theo đ/l Biot-Savart-Laplace, dòng điện I_1 gây ra từ trường \vec{B}_1 tại vị trí dòng I_2
$$\vec{B}_1 = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi d} I_1$$
- Từ trường \vec{B}_1 tác dụng lên đoạn dây có chiều dài ℓ của dòng điện I_2 một lực: $\vec{F}_2 = I_1 \vec{\ell} \times \vec{B}_1$ độ lớn:

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

- Tương tự, từ trường do dòng I_2 gây ra cũng tác dụng một lực \vec{F}_1 có cùng độ lớn hướng về $I_2 \Rightarrow$ 2 dòng điện song song cùng chiều hút nhau.



Hai dòng điện ngược chiều



$$F_1 = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi d} I_1 I_2 \ell$$

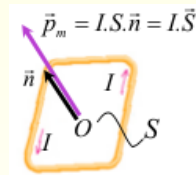
- Hai dòng điện cùng chiều: hút nhau.
- Hai dòng điện ngược chiều: đẩy nhau.

$$I_1 = I_2 = 1A, d = 1m \Rightarrow F = 2.10^{-7} N/m$$

Ampère là cường độ của một dòng điện không đổi theo thời gian, khi chạy qua hai dây dẫn thẳng song song, dài vô hạn, có tiết diện nhỏ không đáng kể, đặt trong chân không cách nhau 1m, thì gây trên mỗi mét dài của mỗi dây dẫn một lực bằng 2.10^{-7} Newton.

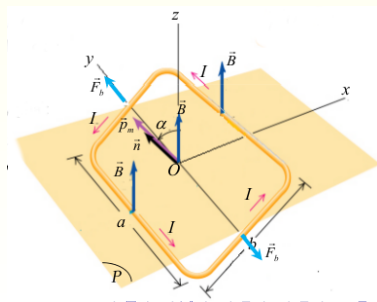
3. Tác dụng của từ trường đều lên mạch điện kín

- Xét {
- Dòng điện I chạy trong khung dây chữ nhật (cạnh a và b);
 - Hệ tọa độ Oxyz, O nằm ở tâm vòng dây;
 - $\vec{B} = \text{const}$ và $\parallel Oz$
 - $\vec{B} \perp P$ và cạnh $a \in P$
- $\widehat{(\vec{p}_m, \vec{B})} = \alpha$



Áp dụng quy tắc bàn tay trái:

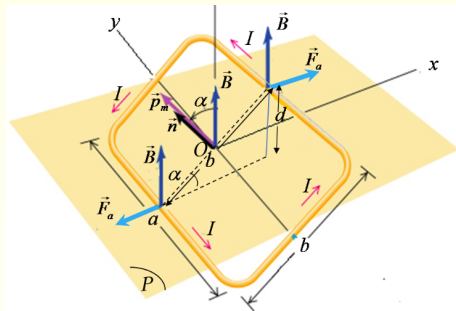
- Hai cạnh b : chịu tác dụng của cặp lực \vec{F}_b ngược chiều nhau theo phương \Rightarrow kéo dãn khung $y \Rightarrow$ bị triệt tiêu bởi phản lực đàn hồi của khung



Tác dụng của từ trường đều lên khung dây z (mạch điện kín)

Áp dụng qui tắc bàn tay trái:

Hai cạnh a: chịu tác dụng của cặp lực \vec{F}_a có độ lớn $F_a = I.a.B$ ngược chiều nhau theo phương x \Rightarrow ngẫu lực làm khung quay xung quanh trục y đến khi mặt phẳng khung $\perp \vec{B}$ ($\vec{n} \equiv \vec{B}$)



Moment ngẫu lực $\vec{\mathcal{M}} = \vec{d} \times \vec{F}_a$

Hay $\mathcal{M} = F_a.d = F_a b \sin \alpha = I.a.B.b. \sin \alpha$

$\mathcal{M} = I.a.b.B \sin \alpha = IS.B. \sin \alpha = p_m.B. \sin \alpha$

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

Tác dụng của từ trường đều lên khung dây z (mạch điện kín)

- Công vi phân ngẫu lực:

$$dA = -\mathcal{M}d\alpha = -p_m \cdot B \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha$$

dấu (-) vì khi ngẫu lực thực hiện công dương ($dA > 0$) làm giảm góc α

- Công ngẫu lực thực hiện quay khung từ vị trí

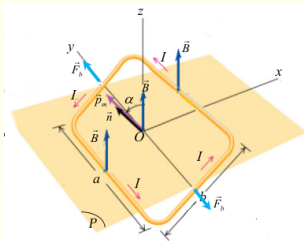
$$(\widehat{\vec{p}_m, \vec{B}}) = \alpha \rightarrow \vec{p}_m \equiv \vec{B}:$$

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

Công này bằng độ giảm năng lượng của khung trong từ trường:

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

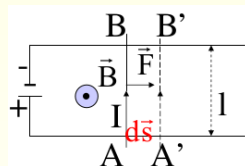
Năng lượng của khung dây điện ứng với góc α



$$W_m = -p_m \cdot B \cos \alpha = -\vec{p}_m \cdot \vec{B}$$

4. Công của từ lực

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{— Thanh kim loại (AB) độ dài } \ell \text{ trượt} \\ \text{trên hai dây dẫn } \parallel \text{ có dòng điện } I \\ \text{— } \vec{B} \perp \text{ mặt phẳng của 2 dây dẫn} \end{array} \right.$$



- Thanh chịu tác dụng của lực Ampere:

$$F = I \cdot \ell \cdot B$$

F thực hiện công dA để thanh kim loại dịch chuyển 1 đoạn ds :

$$dA = F \cdot ds = I \cdot \ell \cdot B \cdot ds = I \cdot B \cdot dS = I \cdot d\Phi_m$$

$$\left\{ \begin{array}{l} dS = \ell \cdot ds : \text{diện tích quét bởi AB khi di chuyển} \\ d\Phi_m = B \cdot dS : \text{từ thông gửi qua diện tích bị quét } dS \end{array} \right. \Rightarrow dA = I \cdot d\Phi_m$$

Công của lực từ làm thanh AB dịch chuyển từ vị trí (1) \rightarrow (2):

$$A = \int_{(1)}^{(2)} I \cdot d\phi_m = I \int_{(1)}^{(2)} d\phi_m = I(\Phi_{m2} - \Phi_{m1})$$

4. Công của từ lực

Công của lực từ làm thanh AB dịch chuyển từ vị trí (1) \rightarrow (2):

$$A = I(\Phi_{m2} - \Phi_{m1})$$



Vậy:

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

Đơn vị: **Joule (J)**

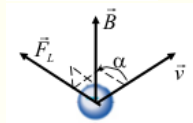
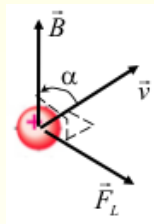
Tác dụng của từ trường lên hạt tích điện chuyển động

- Hạt tích điện q chuyển động với vận tốc \vec{v} trong từ trường \vec{B}
 - CD của $q \Rightarrow$ hình thành phần tử dòng Idl
 - vì: $I = J.S = n_0.q.v.S \Rightarrow$
 $Idl = n_0.S.dl.q.v = dn.q.v$
- Trong từ trường \vec{B} , phần tử dòng Idl (có dn điện tích) chịu tác dụng của lực Ampere:
 $d\vec{F} = Id\vec{l} \times \vec{B} \Leftrightarrow dF = Idl.B.\sin\alpha$
 - Từ lực tác dụng lên số dn điện tích:
 $dF = dn.q.v.B.\sin\alpha$

Từ lực tác dụng lên một điện tích q : $F_L = \frac{dF}{dn} = q.v.B.\sin\alpha$

Biểu thức vector: $\vec{F}_L = q.\vec{v} \times \vec{B}$

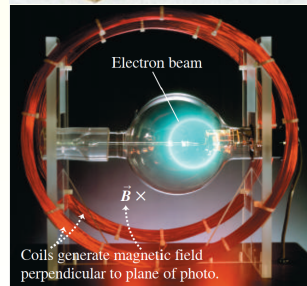
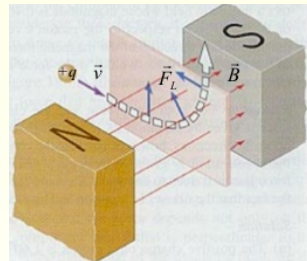
$$\Rightarrow \vec{F}_L \perp (\vec{v}, \vec{B})$$



2. Chuyển động của hạt điện trong từ trường đều

- Xét $q > 0$ chuyển động với vận tốc \vec{v} vào trong từ trường đều \vec{B} :
 - q chịu tác dụng của lực Lorentz F_L
 - F_L không sinh công khi q chuyển động do $\vec{F}_L \perp \vec{v}$
 - Động năng của q : $W_d = \text{const}$ trong quá trình chuyển động $\Rightarrow \vec{v}$ không thay đổi độ lớn, chỉ thay đổi hướng.
- q chuyển động theo quỹ đạo cong $\Rightarrow F_L$ đóng vai trò là lực hướng tâm, tức là:

$$F_L = qvB \cdot \sin \alpha = \frac{mv^2}{R}$$

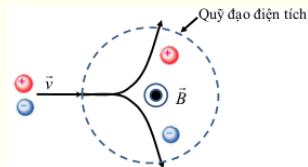


2. Chuyển động của hạt điện trong từ trường đều

- Trường hợp $\vec{v} \perp \vec{B} \Rightarrow qvB = \frac{mv^2}{R}$
 - q chuyển động theo quỹ đạo tròn:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Bán kính : } R = \frac{mv}{qB} \\ \text{Chu kỳ : } T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB} \\ \text{Tần số : } \omega = \frac{qB}{m} \end{array} \right.$$

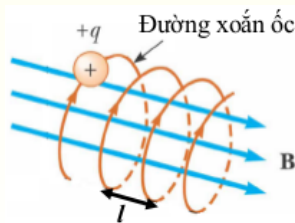
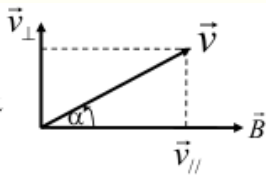
- Trường hợp tổng quát: $(\vec{v}, \vec{B}) = \alpha \Rightarrow \vec{v} = \vec{v}_\perp + \vec{v}_\parallel$



2. Chuyển động của hạt điện trong từ trường đều

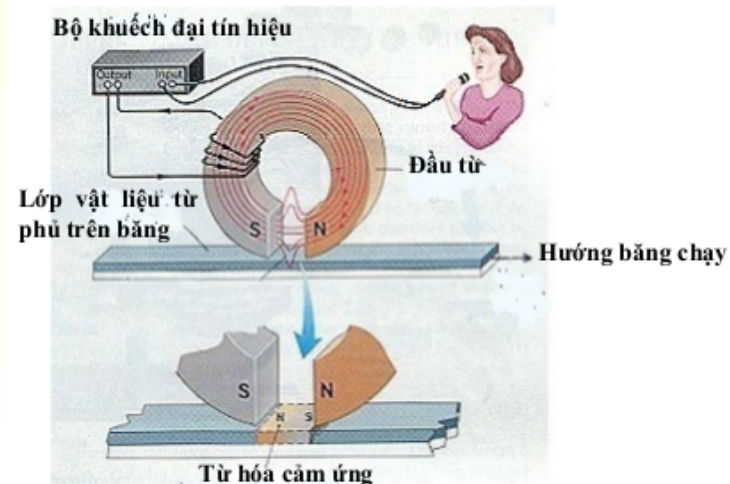
$$\begin{cases} -v_{\perp} : \text{điện tích chuyển động với quỹ đạo tròn có bán kính: } R = \frac{mv_{\perp}}{qB} \\ -v_{\parallel} : \text{điện tích chuyển động theo phương B có bước lặp quỹ đạo tròn :} \\ \quad \ell = v_{\parallel} \cdot T \end{cases}$$

\Rightarrow điện tích chuyển động với quỹ đạo hình xoắn ốc.



Ứng dụng

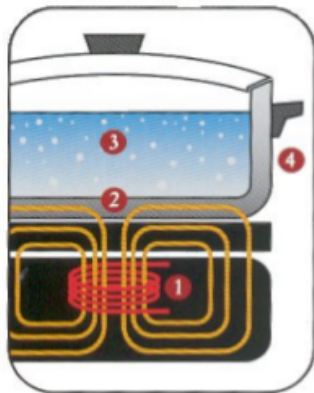
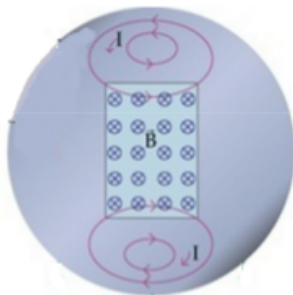
Ứng dụng mạch từ trong kỹ thuật: thiết bị ghi âm trên băng từ



Ứng dụng mạch từ trong kỹ thuật: Bếp từ

1. Cuộn dây tạo trường điện từ tần số cao;

2. Từ trường xuyên qua đáy nồi làm bằng vật liệu từ (sắt từ) \Rightarrow đóng kín mạch từ \Rightarrow hình thành dòng điện xoáy, nguồn gốc tạo ra nhiệt;



3. Nhiệt sinh ra từ đáy nồi được truyền cho thức ăn đựng trong nồi.

4. Ngoài ra, nhiệt còn được sinh ra do các tổn hao từ trễ trong vật liệu có độ từ thẩm μ_r lớn dùng để chế tạo xoong, nồi, chảo...).

Ứng dụng

Đệm từ trong tàu cao tốc



Tóm tắt

- ① Lực từ Ampère $d\vec{F}$ do phần tử dòng $I d\vec{\ell}$ tác dụng lên phần tử dòng $I_0 d\vec{\ell}_0$ cách nó một khoảng r được xác định bởi

$$d\vec{F} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I_0 d\vec{\ell}_0 \times (I d\vec{\ell} \times \vec{r})}{r^3}$$

$\mu_0 = 4\pi.10^{-7}$ H: hằng số từ, μ : độ từ thẩm trong môi trường.

- ② Phần tử dòng điện $I d\vec{\ell}$ gây ra vectơ cảm ứng từ $d\vec{B}$ tại điểm M cách nó một đoạn r được xác định bởi định luật Biot-Savart-Laplace

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

chỉ phụ thuộc vào phần tử $I\vec{d\ell}$ và \vec{r}

$$d\vec{F} = I_0 d\vec{\ell}_0 \times d\vec{B}$$

- ③ Vectơ cường độ từ trường \vec{H} để đặc trưng cho tác dụng của từ trường, trong trường hợp môi trường đồng nhất và đẳng hướng, liên hệ với vectơ \vec{B} theo biểu thức:

$$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}$$

- ④ Từ trường tuân theo nguyên lý chồng chất: $\vec{B} = \int d\vec{B}$
- độ lớn của vectơ cảm ứng từ B gây bởi một đoạn dây dẫn điện thẳng có dòng điện I tại điểm cách nó một đoạn a bằng:

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi a} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2)$$

- Dòng điện thẳng dài vô hạn: $\theta_1 = 0, \theta_2 = \pi$

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi a}, \quad H = \frac{I}{2\pi a}$$

- ⑤ Để biểu diễn từ trường một cách trực quan, người ta đưa ra khái niệm đường sức từ trường (đường cảm ứng từ). Khác với đường sức của trường tĩnh điện, đường sức từ là những đường cong kín. Do đó từ thông qua mặt kín S bằng không:

$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0 \Rightarrow \operatorname{div} \vec{B} = 0$$

định lý O-G đối với từ trường. Định lý cho thấy các đường sức từ là những đường cong kín

- ⑥ Tính chất xoáy của từ trường còn được thể hiện ở định lý về dòng điện toàn phần (định lý Ampère)

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

Tóm tắt

- Định lý Ampère giúp tính toán thuận lợi cảm ứng từ B và cường độ từ trường H tại một điểm bên trong ống dây điện hình xuyên:

$$B = \frac{\mu_0 \mu n I}{2\pi R}$$

- Cảm ứng từ gây bởi ống dây thẳng dài vô hạn có số vòng dây trên một đơn vị dài n_0

$$B = \mu_0 \mu n_0 I$$

- Lực từ $d\vec{F}$ tác dụng lên phần tử dòng $I d\vec{\ell}$ đặt trong từ trường có cảm ứng từ \vec{B}

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

- Hai dòng điện I_1, I_2 song song nhau sẽ hút nhau nếu cùng chiều, sẽ đẩy nhau nếu ngược chiều

$$F_{12} = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi d} I_1 I_2 \ell = F_{21}$$

- 7 Khi từ thông qua mạch điện thay đổi, lực từ thực hiện một công:

$$dA = F.ds = I.\ell.B.ds = I.B.dS = I.d\Phi_m$$

$$A = I.\Delta\Phi_m$$

- 8 Hạt điện q chuyển động trong từ trường với vận tốc v sẽ chịu tác dụng của lực Lorentz:

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