

DIỆN TÍCH TỪ TRƯỜNG TS. Nguyễn Kim Quang

Tương tác từ

1. Từ trường tạo bởi một hạt điện chuyển động
2. Từ trường tạo bởi phần tử dòng điện
3. Định luật Gauss đối với từ trường
4. Định lý Ampere về dòng điện toàn phần
5. Ứng dụng định luật Ampere
6. Tác dụng của từ trường lên điện tích chuyển động
7. Chuyển động của điện tích trong từ trường
8. Tác dụng của từ trường lên dòng điện
9. Tác dụng của từ trường lên mạch điện kín

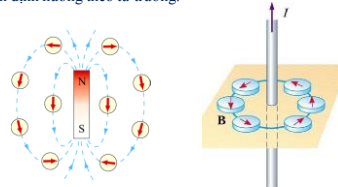
Tóm tắt công thức

DIỆN TỪ TRƯỜNG TS. Nguyễn Kim Quang

Hiện tượng từ đã được phát hiện nhiều thế kỷ trước CN. Từ trường tự nhiên (địa từ, quặng sắt từ hóa - nam châm,...), nhân tạo (trong các thiết bị điện từ như motor điện, tủ vi, lò vi sóng, lò từ, loa, ổ đĩa máy tính, băng từ, thẻ từ,...)

Bản chất của tương tác từ là lực tác dụng lên các điện tích chuyển động, khác với bản chất của tương tác điện.

Kim la bản định hướng theo từ trường.



- **Điện tích chuyển động** hay dòng điện **tạo ra từ trường**.

- **Từ trường tác dụng lực** lên **điện tích chuyển động** hay dòng điện.

DIỆN TỪ TRƯỜNG TS. Nguyễn Kim Quang

1. Từ trường tạo bởi điện tích chuyển động (Điện tích chuyển động tạo ra từ trường)

Một điện tích q di chuyển với vận tốc \vec{v}

tạo ra xung quanh một từ trường \vec{B} :

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q|\vec{v}| \sin\phi}{r^2}, \quad \phi = (\vec{v}, \vec{r})$$

$$\text{Vector: } \vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q\vec{v} \times \vec{r}}{r^2}, \quad \vec{r} = \frac{\vec{r}}{r}$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ (T.m/A)}$$

Đơn vị B: T (Tesla)

Định nghĩa vector H: $\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu}$ (A/m)

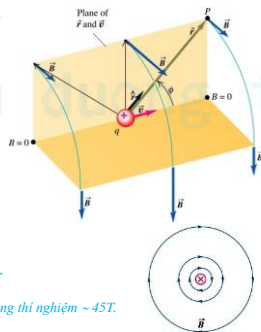
$1 \text{ T} = 1 \text{ N/A.m}$

$1 \text{ G (Gauss)} = 10^{-4} \text{ T}$; thường dùng đo địa từ

Từ trường bậc 10T xảy ra trong nguyên tử.

Từ trường đều lớn nhất đã tạo ra trong phòng thí nghiệm ~45T.

Trên mặt sao neutron ước tính là 10^8 T .



DIỆN TỪ TRƯỜNG TS. Nguyễn Kim Quang

2. Từ trường tạo bởi dòng điện (Dòng điện tạo ra từ trường)

Nguyên lý chồng chất từ trường:

$$\vec{B} = \sum \vec{B}_i$$

Phần tử điện tích dòng điện dài dl , tiết diện A, mật độ hạt điện tích n.q:

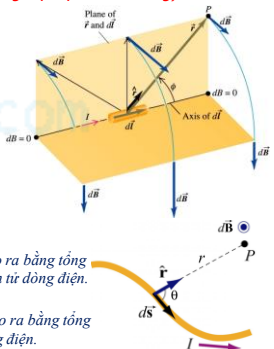
$$dQ = n.q.A.dl \quad dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{n|q|A dl.v_d \cdot \sin\phi}{r^2}, \quad n|q|Av_d = I$$

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I dl \sin\phi}{r^2} \rightarrow d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^2}$$

(Định luật Biot - Savart)

$\vec{B} = \int_L d\vec{B}$ Từ trường do dòng điện I tạo ra bằng tổng vector từ trường của mỗi phần tử dòng điện.

$\vec{B} = \sum_{i=1}^N \vec{B}_i$ Từ trường do N dòng điện tạo ra bằng tổng vector từ trường của các dòng điện.



DIỆN TỪ TRƯỜNG TS. Nguyễn Kim Quang

2. Từ trường tạo bởi dòng điện - Thí dụ

Dòng điện thẳng

Phần tử $Idl = Idy \sin\phi$ sinh ra từ trường dB có phương vuông góc Idl và \vec{r} , có chiều xác định bởi quy tắc bàn tay phải:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idy \sin\phi}{r^2}, \quad \sin\phi = \frac{x}{r}$$

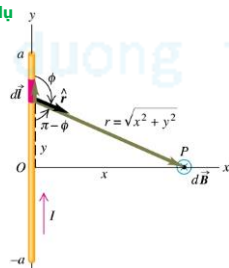
$$\Rightarrow dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idy}{r^3}$$

$$\Rightarrow B = \int dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{y_1}^{y_2} \frac{xdy}{(x^2 + y^2)^{3/2}}$$

Từ trường tại 1 điểm trên trục x:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi x} \left[\frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right]_{y=y_1}^{y_2} = \frac{\mu_0 I}{4\pi x} \left(\frac{y_2}{\sqrt{x^2 + y_2^2}} - \frac{y_1}{\sqrt{x^2 + y_1^2}} \right) = \frac{\mu_0 I}{4\pi x} (\cos\phi_1 - \cos\phi_2)$$

$$\text{Khi } y_1 = -a \text{ và } y_2 = +a, \quad B = \frac{\mu_0 I}{2\pi x \sqrt{x^2 + a^2}}$$



DIỆN TỪ TRƯỜNG TS. Nguyễn Kim Quang

2. Từ trường tạo bởi dòng điện - Thí dụ

Dòng điện thẳng (tính theo góc giới hạn)

Tính theo góc giới hạn ϕ_1 và ϕ_2 :

$$\frac{x}{r} = \sin\phi \Rightarrow r = \frac{x}{\sin\phi}$$

$$y = -x \cdot \cot\phi \Rightarrow dy = \frac{x}{\sin^2\phi} d\phi$$

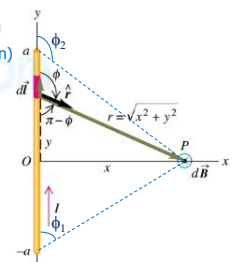
Thay vào (*) \rightarrow

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{\sin\phi}{\left(\frac{x}{\sin\phi}\right)^2} \sin^2\phi d\phi = \frac{\mu_0 I}{4\pi x} \sin\phi d\phi$$

$$B = \int_{\phi=\phi_1}^{\phi_2} dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi x} (\cos\phi_1 - \cos\phi_2)$$

Khi $\phi_1 \rightarrow 0$ và $\phi_2 \rightarrow \pi$ (dây rất dài so với x): $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi x}$

Chiều của B theo quy tắc bàn tay phải.



DIỆN TÍCH TỪ TRƯỜNG TS Nguyễn Kim Quang

2. Từ trường tạo bởi dòng điện - Thí dụ

Dòng điện tròn – Tính B tại điểm P trên trục

Phần tử Idl sinh ra tại P từ trường dB :

$$\forall l \quad Idl \perp \vec{r} \Rightarrow dB = \frac{\mu_0 I dl}{4\pi r^2}$$

$$\cos\theta = \frac{a}{r}$$

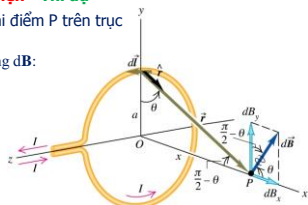
$$dB_x = dB \cdot \cos\theta = \frac{\mu_0 I a dl}{4\pi r^3}$$

$$B_x = \oint dB_x = \frac{\mu_0 I a}{4\pi r^3} \oint dl$$

$$\text{Từ trường tại một điểm trên trục của vòng điện tròn: } B = B_x = \frac{\mu_0 I a^2}{2(x^2 + a^2)^{3/2}}$$

$$\text{Từ trường tại tâm O của vòng điện tròn: } B = \frac{\mu_0 I}{2a}$$

Chiều của B theo quy tắc bàn tay phải.



DIỆN TÍCH TỪ TRƯỜNG TS Nguyễn Kim Quang

2. Từ trường tạo bởi dòng điện - Thí dụ

Dòng điện cung tròn – Tính B tại tâm C

Phần tử $I \cdot ds$ sinh ra tại tâm C từ trường dB :

$$\forall l \quad Ids \perp \vec{r} \Rightarrow dB = \frac{\mu_0 I ds}{4\pi R^2}$$

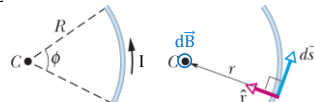
$$ds = R d\phi$$

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} d\phi$$

$$B = \int dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \int_0^\phi d\phi$$

Từ trường tại tâm C vuông góc mặt phẳng chứa dòng điện cung tròn, chiều xác định bởi quy tắc bàn tay phải (hướng ra):

$$B = \frac{\mu_0 I \phi}{4\pi R}$$



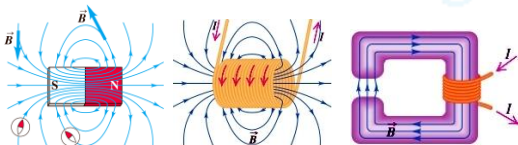
DIỆN TÍCH TỪ TRƯỜNG TS Nguyễn Kim Quang

3. Định luật Gauss đối với từ trường - Đường sức từ

Đường sức từ là đường cong vẽ ra trong không gian sao cho tiếp tuyến tại mỗi điểm trùng với vector từ trường tại điểm đó. Chiều của đường sức theo chiều của từ trường (chiều của kim la bàn).

Đường sức từ là đường cong kín, khác đường sức điện là đường cong hở.

Mật độ đường sức từ tỉ lệ với độ lớn của từ trường tại mỗi điểm.



DIỆN TÍCH TỪ TRƯỜNG TS Nguyễn Kim Quang

3. Định luật Gauss đối với từ trường - Từ thông

Từ thông qua mặt vi cấp dA :

$$d\Phi_B = \vec{B} \cdot d\vec{A} = B_\perp dA = B dA \cos\phi, \quad \phi = (\vec{B}, d\vec{A})$$

$$\text{Từ thông qua mặt A: } \Phi_B = \int_A \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

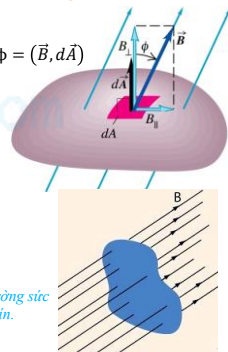
$$\text{Đơn vị: } Wb = T \cdot m^2$$

$$\text{Từ thông qua nhiều mặt: } \Phi_B = \sum_{i=1}^N \Phi_{B_i}$$

Từ thông qua mặt kín bất kỳ luôn bằng 0
(Định luật Gauss đối với từ trường):

$$\Phi_B = \oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

Đường sức từ là đường cong kín \Rightarrow Tổng đường sức đi vào bằng tổng đường sức đi ra khỏi mặt kín.



DIỆN TÍCH TỪ TRƯỜNG TS Nguyễn Kim Quang

Thông lượng từ trường – Thí dụ

Vòng chữ nhật $a \times b$ đặt gần dòng điện thẳng I như hình vẽ. Tính từ thông qua mặt chữ nhật.

$$\text{Từ trường do dòng điện thẳng sinh ra: } B(r) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (\vec{B} \parallel d\vec{A})$$

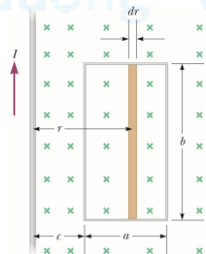
Từ thông qua mặt chữ nhật vi cấp (màu nâu):

$$d\Phi_B = \vec{B} \cdot d\vec{A} = B \cdot dA = B(b \cdot dr) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} b \cdot dr$$

Từ thông qua mặt chữ nhật ($a \times b$):

$$\Phi_B = \int_A \vec{B} \cdot d\vec{A} = \frac{\mu_0 I b}{2\pi} \int_c^{c+a} \frac{dr}{r} = \frac{\mu_0 I b}{2\pi} \ln r \Big|_c^{c+a}$$

$$\Rightarrow \Phi_B = \frac{\mu_0 I b}{2\pi} \ln \frac{c+a}{c} = \frac{\mu_0 I b}{2\pi} \ln \left(1 + \frac{a}{c}\right)$$



DIỆN TÍCH TỪ TRƯỜNG TS Nguyễn Kim Quang

4. Định luật Ampere về dòng điện toàn phần

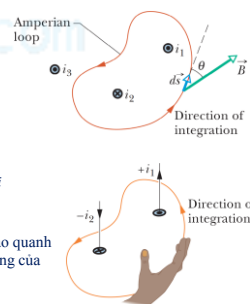
Lưu số của từ trường dọc theo đường cong kín bất kỳ C bằng tổng đại số cường độ dòng điện qua mặt giới hạn bởi đường C nhân với μ_0 .

$$L_B = \oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum I_j$$

Chiều dương của mặt giới hạn xác định bởi chiều dương đường cong C theo qui tắc bàn tay phải.

Thí dụ: Đường cong kín Ampere chỉ bao quanh dòng i_1 và i_2 , và dòng i_3 theo chiều dương của mặt giới hạn:

$$L_B = \oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 (i_1 - i_2)$$



5. Ứng dụng định luật Ampere về dòng điện toàn phần

Từ trường sinh bởi trụ dẫn điện dài

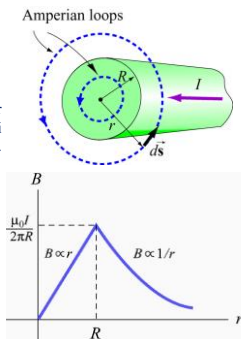
Trụ dẫn dài, tiết diện bán kính R mang dòng điện không đổi I . Xác định từ trường cách trục dòng điện một khoảng r .

Xét đường tròn Ampere C bán kính r (đường xanh dương). Vector \mathbf{B} tiếp xúc với C ($\mathbf{B}/d\mathbf{l}$) và có độ lớn không đổi trên C . Lưu số từ trường dọc theo đường cong C :

$$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = B \oint_C dl = B(2\pi r) = \mu_0 I_C$$

$$r < R, B(2\pi r) = \mu_0 I r^2 / R^2 \Rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R^2} r$$

$$r > R, B(2\pi r) = \mu_0 I \Rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$



17

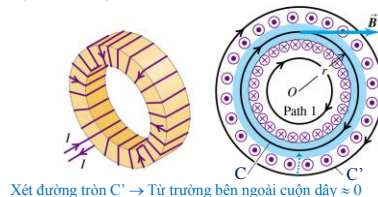
5. Ứng dụng định luật Ampere về dòng điện toàn phần

Từ trường sinh bởi cuộn dây hình xuyên (toroidal solenoid)

Cuộn dây hình xuyên gồm N vòng, có dòng điện I chạy qua.

Xét đường tròn C bán kính r ($a < r < b$). Vector \mathbf{B} tiếp xúc với C ($\mathbf{B}/d\mathbf{l}$) và có độ lớn không đổi trên C . Lưu số từ trường dọc theo đường cong C :

$$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = B \oint_C dl = B(2\pi r) = \mu_0 NI \Rightarrow B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r}$$



Xét đường tròn $C' \rightarrow$ Từ trường bên ngoài cuộn dây ≈ 0

18

5. Ứng dụng định luật Ampere về dòng điện toàn phần

Từ trường sinh bởi cuộn dây solenoid

Cuộn dây Solenoid gồm N vòng, dài L có dòng điện I chạy qua.

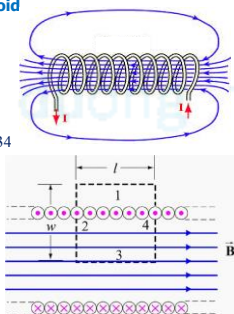
Số vòng dây trên một đơn vị chiều dài:

$$n_0 = \frac{N}{L}$$

Xét đường cong Ampere hình chữ nhật 1234

$$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = B \int_3^1 dl = BL = \mu_0 n_0 I L$$

$$\Rightarrow B = \mu_0 n_0 I$$



19

6. Tác dụng của từ trường (từ lực) lên điện tích chuyển động

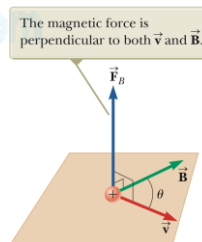
Điện tích điểm q đang chuyển động với vận tốc \mathbf{v} hợp với vector \mathbf{B} một góc ϕ sẽ chịu tác dụng một lực từ \mathbf{F} theo phương \perp mặt phẳng chứa vector \mathbf{v} và \mathbf{B} .

Chiều của lực \mathbf{F} xác định theo quy tắc bàn tay phải và có độ lớn:

$$\text{Độ lớn từ lực: } F = |q|v_{\perp}B = |q|vB \cdot \sin\phi$$

$$\text{Biểu diễn vector: } \mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

$$\text{Đơn vị SI: } B: T (\text{Tesla}); q: C; v: m/s; F: N$$



20

7. Chuyển động của điện tích trong từ trường

Điện tích chuyển động theo phương $\perp \mathbf{B}$

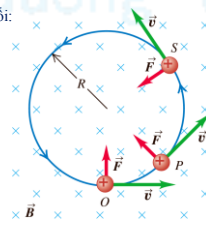
Từ lực \mathbf{F} trên q hướng tâm và có độ lớn không đổi:

$$F = |q|vB = m \frac{v^2}{R}$$

$$\text{Bán kính quỹ đạo tròn: } R = \frac{mv}{|q|B}$$

$$\text{Vận tốc góc: } \omega = \frac{v}{R} = \frac{|q|B}{mv} = \frac{|q|B}{m}$$

$$\text{Tần số cyclotron: } f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{|q|B}{2\pi m}, H\tau = s^{-1}$$



22

7. Chuyển động của điện tích trong từ trường

Điện tích chuyển động theo phương hợp với \mathbf{B} một góc $\alpha \neq \pi/2$

Phân tích \mathbf{v} theo phương \perp và \parallel với vector \mathbf{B} :

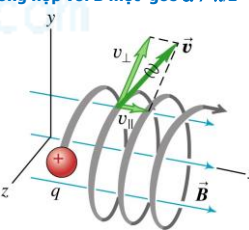
$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_{\perp} + \mathbf{v}_{\parallel}$$

Hình chiếu chuyển động của q trên mặt phẳng $yz \perp \mathbf{B}$ (lực $F = qv_{\perp}B$) là chuyển động tròn bán kính R :

$$R = \frac{mv_{\perp}}{|q|B} = \frac{mv \cdot \sin\alpha}{|q|B}$$

Hình chiếu chuyển động trên trục $x \parallel \mathbf{B}$ (với $F_{\parallel} = 0$) là chuyển động thẳng đều với vận tốc: $v_x = v_{\parallel} = v \cdot \cos\alpha$

Quỹ đạo của q là **helix**. Lực từ không sinh công (vì $\mathbf{F} \perp \mathbf{v}$), do đó tốc độ và động năng của hạt không đổi trong từ trường đều \mathbf{B} .

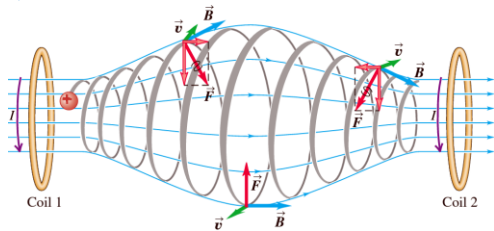


23

DIỆN TÍCH TỪ TRƯỜNG TS Nguyễn Kim Quang

7. Chuyển động của điện tích trong từ trường: Ứng dụng

Chai từ (magnetic bottle): tạo ra vùng từ trường mạnh để nhốt các khí ion hóa năng lượng cao (plasma), nhiệt độ có thể lên đến hàng triệu độ mà các vật liệu bình chứa đều hóa hơi.



Hai cuộn dây điện (cuộn màu vàng) tạo từ trường dạng chai. Từ lực hai đầu hướng vào vùng tâm. Điện tích chuyển động xoắn ốc qua lại hai đầu chai từ.

2.1

DIỆN TÍCH TỪ TRƯỜNG TS Nguyễn Kim Quang

7. Chuyển động của điện tích trong từ trường - Ứng dụng

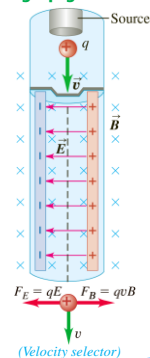
Thiết bị lựa chọn tốc độ hạt điện tích

Các hạt điện tích q phát ra từ nguồn cathode nhiệt hoặc từ vật liệu phóng xạ di chuyển không cùng tốc độ v.

Những hạt chịu lực điện và lực từ cân bằng nhau sẽ chuyển động thẳng và đi qua thiết bị lựa chọn tốc độ:

$$F_e = F_m \Rightarrow qE = qvB \Rightarrow v = E/B$$

Điều chỉnh điện trường E và từ trường B để cho hạt có tốc độ v thích hợp đi qua.



2.2

DIỆN TÍCH TỪ TRƯỜNG TS Nguyễn Kim Quang

7. Chuyển động của điện tích trong từ trường: Ứng dụng

Phổ kế khối lượng (Mass Spectrometers)

Hạt (ion) khối lượng m, điện tích q đi qua khe S₁ của thiết bị lựa chọn tốc độ sẽ có tốc độ v=E/B rồi đi vào từ trường B' theo phương vuông góc.

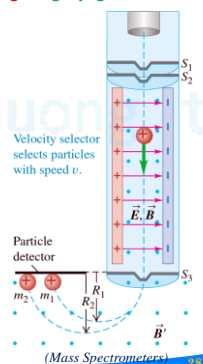
Quỹ đạo của hạt sẽ là cung tròn bán kính R:

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

Biết q, v, B' và đo R (bằng kính ảnh) sẽ suy ra khối lượng m:

$$m = R \frac{|q|B'}{v}$$

Nhờ phương pháp này, người ta đã đo khối lượng các ion và khám phá một số đồng vị của các nguyên tố.



2.3

DIỆN TÍCH TỪ TRƯỜNG TS Nguyễn Kim Quang

8. Tác dụng của từ trường (từ lực) lên dòng điện

Lực từ tác dụng lên điện tích q đang chuyển động với vận tốc \mathbf{v}_q trong dòng điện đặt trong từ trường B:

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

Lực từ tác dụng lên tất cả N điện tích q mật độ n dịch chuyển trong đoạn dòng điện dài l, tiết diện A:

$$\vec{F} = N\vec{F}_q = qnAl(\vec{v}_d \times \vec{B}) = qnAv_d \vec{l} \times \vec{B}$$

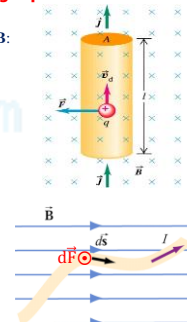
$$\Rightarrow \vec{F} = I \vec{l} \times \vec{B}$$

\Rightarrow Từ lực trên một phần tử dòng điện $Id\vec{l}$:

$$d\vec{F} = Id\vec{l} \times \vec{B} = Id\vec{s} \times \vec{B}$$

\Rightarrow Từ lực tác dụng lên dòng điện I đặt trong từ trường B:

$$\vec{F} = \int_{\text{dòng điện}} d\vec{F} = \int_{\text{dòng điện}} Id\vec{s} \times \vec{B}$$



3.1

DIỆN TÍCH TỪ TRƯỜNG TS Nguyễn Kim Quang

8. Tác dụng của từ trường (từ lực) lên dòng điện: Thí dụ

Từ lực tác dụng lên dòng điện nửa vòng tròn kín

Từ lực tác dụng lên đoạn dòng điện thẳng 2R:

$$\vec{F}_1 = I2R \cdot \hat{i} \times \vec{B} \cdot \hat{j} = 2IRB(\hat{i} \times \hat{j}) = 2IRB \cdot \hat{k}$$

Xét cung tròn. Phần tử ds: $ds = Rd\theta$

Từ lực trên phần tử ds của cung tròn:

$$d\vec{F}_2 = IRd\theta \cdot \vec{B} \cdot \sin\theta = IRB\sin\theta \cdot d\theta$$

Từ lực trên nửa vòng tròn:

$$F_2 = \int_0^\pi dF_2 = IRB \int_0^\pi \sin\theta \cdot d\theta = 2IRB = F_1$$

Tổng từ lực trên dòng điện nửa vòng tròn kín: $\vec{F}_1 \uparrow \vec{F}_2 \Rightarrow \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0$

Biểu diễn vector:

$$d\vec{F}_2 = Id\vec{s} \times \vec{B} = IRd\theta(-\sin\theta \hat{i} + \cos\theta \hat{j}) \times B\hat{j} = -IRB\sin\theta \cdot d\theta \hat{k}$$

$$\vec{F}_2 = \int_0^\pi d\vec{F}_2 = -IRB\hat{k} \int_0^\pi \sin\theta \cdot d\theta = -2IRB\hat{k} = -\vec{F}_1$$

3.2

DIỆN TÍCH TỪ TRƯỜNG TS Nguyễn Kim Quang

9. Tác dụng của từ trường lên mạch điện kín

Xét khung dây chữ nhật (hình vẽ).

Lực F trên cạnh a: $F = IabB$

Lực tổng hợp trên mạch kín trong từ trường đều bằng 0 nhưng momen ngẫu lực τ (torque) nói chung khác 0.

$$\tau = Fb \cdot \sin\phi = Iba \cdot b \sin\phi = IAB \sin\phi$$

Moment lưỡng cực từ của mạch kín:

$$\mu = IA \rightarrow \vec{\mu} = I\vec{A}$$

$$\Rightarrow \tau = \mu B \sin\phi \rightarrow \vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

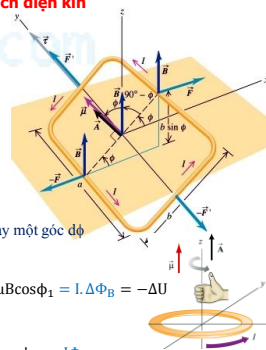
Công của ngẫu lực τ làm lưỡng cực quay một góc $d\phi$

$$dW = -\tau d\phi = -\mu B \sin\phi \cdot d\phi = -dU$$

$$W = \int_{\phi_1}^{\phi_2} -\mu B \sin\phi \cdot d\phi = \mu B \cos\phi_2 - \mu B \cos\phi_1 = I \cdot \Delta\Phi_B = -\Delta U$$

Thế năng của lưỡng cực từ:

$$U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B} = -\mu B \cos\phi = -IAB \cos\phi = -I\Phi_B$$



3.3

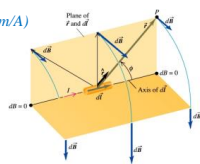
TÓM TẮT CÔNG THỨC

- 1) Từ trường sinh bởi điện tích chuyển động:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q\vec{v} \times \hat{r}}{r^2} \quad (T), \quad \hat{r} = \frac{\vec{r}}{r} \quad \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} (T.m/A)$$

- 2) Từ trường sinh bởi dòng điện:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \times \hat{r}}{r^2} \Rightarrow \vec{B} = \int_L d\vec{B}$$



- 3) Từ trường sinh bởi N dòng điện:
- $\vec{B} = \sum_{i=1}^N \vec{B}_i$

- 4) Từ thông qua mặt A:
- $\Phi_B = \int_A \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad (Wb = T.m^2)$

- 5) Định luật Gauss đối với từ trường:
- $\Phi_B = \oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$

30

TÓM TẮT CÔNG THỨC

- 6) Định luật Ampere về dòng điện toàn phần:

$$L_B = \oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum_i I_i \quad (T.m)$$

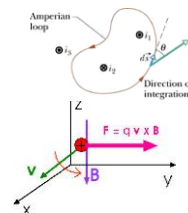
- 7) Từ lực trên diện tích chuyển động:

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

- 8) Từ lực trên phần tử dòng điện:

$$d\vec{F} = Id\vec{l} \times \vec{B} = Id\vec{s} \times \vec{B}$$

- 9) Từ lực tác dụng lên dòng điện:
- $\vec{F} = \int_{\text{dòng điện}} d\vec{F} = \int_{\text{dòng điện}} Id\vec{l} \times \vec{B}$



31

cuu duong than cong. com

cuu duong than cong. com