CHƯƠNG 9: TỪ TRƯỜNG VÀ CẢM ỨNG TỪ

9.1. TƯƠNG TÁC TỪ, ĐỊNH LUẬT AMPÈRE, KHÁI NIỆM TỪ TRƯỜNG

9.1.1. Tương tác từ, từ trường của dòng điện

Thí nghiệm chứng tỏ hai thanh nam châm có thể hút nhau nếu hai cực khác tên đặt gần nhau, hoặc đẩy nhau nếu các cực của chúng cùng tên. Các thanh nam châm lại có thể hút được các vụn sắt. Các tính chất đó của nam châm được gọi là *từ tính.* Tương tác giữa các nam châm được gọi là *tương tác từ*.

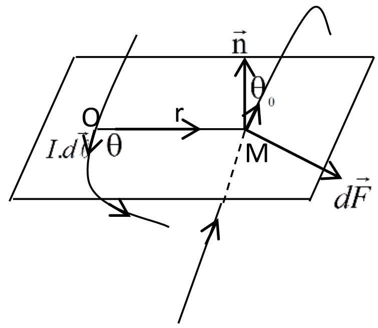
Thí nghiệm chứng tỏ *dòng điện cũng có từ tính như nam châm,* nghĩa là dòng điện có thể hút hoặc đẩy nam châm và ngược lại nam châm cũng có thể hút hoặc đẩy dòng điện và tương tác giữa các dòng điện cũng là tương tác từ.

Từ trường: Dòng điện tạo ra trong không gian bao quanh nó *một dạng vật chất đặc biệt, gọi là từ trường*. Thông qua từ tường mà từ lực được truyền từ dòng điện này tới dòng điện khác. Tính chất cơ bản của từ trường là nó tác dụng lên bất kỳ dòng điện nào đặt trong nó. Vận tốc truyền tương tác từ trong môi trường có từ trường là vận tốc hữu hạn, trị số bằng vận tốc ánh sáng trong chân không.

Định luật Ampère: Là định luật chủ yếu của từ trường nghiên cứu lực tương tác giữa hai phần tử dòng điện.

Phần tử dòng điện là đoạn rất ngắn của dòng điện. Để biểu diễn nó người ta đưa ra một véc tơ nằm ngay trên phần tử dây dẫn có phương chiều là phương chiều của dòng điện và có độ lớn bằng $Id\ell$.

Ta xét hai dòng điện bất kỳ nằm trong chân không, và có cường độ lần lượt là I và I_0 .Trên hai dòng điện đó ta lấy hai phần tử dòng điện bất kỳ gọi tắt là hai phần tử $Id\vec{\ell}$ và $I_0d\vec{\ell}_0$, r là khoảng cách giữa hai phần tử đó (hình vẽ). Gọi θ là góc $I_0d\vec{\ell}_0$ giữa $Id\vec{\ell}$ và $\vec{r}$ .Vẽ mặt phẳng P chứa $Id\vec{\ell}$ và M , θ_o là góc giữa $I_0d\vec{\ell}_0$ và $\vec{n}$, $\vec{n}$ là pháp tuyến của mặt phẳng P tại M.



$Id\vec{\ell}, \vec{r}, \vec{n}$: Tạo thành một tam diện thuận.

$I_0d\vec{\ell}_0, \vec{n}, d\vec{F}$: Tạo thành một tam diện thuận.

Lực từ do của phần tử dòng điện $Id\vec{\ell}$ *tác dụng lên phần tử dòng điện* $I_0d\vec{\ell}_0$ *cùng đặt trong chân không là một véc tơ* $d\vec{F}_0$ *được xác định như sau:*

- *Có điểm đặt tại gốc của* $d\vec{\ell}_o$.
- *Có phương vuông góc với mặt phẳng chứa phần tử* $d\vec{\ell}_o$ *và pháp tuyến* $\vec{n}$.
- *Có chiều sao cho ba véc tơ* $d\vec{\ell}_o, \vec{n}, d\vec{F}_o$ *theo thứ tự đó lập thành một tam diện thuận.*
- *Có độ lớn:* $dF_o = k.\dfrac{Idl.\sin\theta.\ I_odl_o.\sin\theta_o}{r^2}$, (9.1)

k là hệ số tỉ lệ, có trị số $k = \dfrac{\mu_o}{4\pi}$ với μ_o là hằng số từ có giá trị $\mu_0 = 4\pi.10^{-7}(H/m)$.

Trên cơ sở đó, ta có thể biểu diễn định luật Ampère bằng biểu thức véc tơ sau đây:

$$d\vec{F}_o = \frac{\mu_o}{4\pi}\frac{I_o d\vec{l}_o \times \left(Id\vec{l} \times \vec{r}\right)}{r^3}. \qquad (9.2)$$

Thực nghiệm chứng tỏ rằng: Nếu hai dòng điện I và I_o cùng đặt trong môi trường đồng chất có độ từ thẩm môi trường là μ thì lực từ $d\vec{F}_o$ có cường độ sẽ tăng lên μ lần so với trường hợp đặt trong chân không. Biểu thức tổng quát là:

$$d\vec{F}_o = \frac{\mu_o\mu}{4\pi}\frac{I_o d\vec{l}_o \times \left(Id\vec{l} \times \vec{r}\right)}{r^3}. \qquad (9.3)$$

Định luật Ampère tuy được phát biểu đối với các phần tử dòng điện, nhưng thực chất đó là định luật về tương tác từ giữa các dòng điện hữu hạn vì ta chỉ có thể đo được các lực tương tác từ giữa các dòng điện hữu hạn, ta xác định các lực này bằng cách tổng hợp các lực do tất cả các phần tử của dòng điện này tác dụng lên tất cả các phần tử của dòng điện kia. Trong định luật Ampère, 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 cũng như định luật Coulomb là định luật cơ bản của tương tác tĩnh điện.

9.2. VÉC TƠ CẢM ỨNG TỪ VÀ VÉC TƠ CƯỜNG ĐỘ TỪ TRƯỜNG

9.2.1. Véc tơ cảm ứng từ

Để đặt trưng cho độ mạnh yếu của từ trường (về phương diện tác dụng lực) gây ra bởi $Id\vec{\ell}$ tại một điểm nào đó mà không phụ thuộc vào $I_0 d\ell_0$ do đó người ta đưa ra véc tơ cảm ứng từ $d\vec{B}$.

$$d\vec{B} = \frac{d\vec{F}}{I_0 d\vec{l}_0} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi}\frac{\left(Id\vec{\ell} \times \vec{r}\right)}{r^3}, \qquad (9.4)$$

véc tơ $d\vec{B}$ chỉ phụ thuộc vào phần tử dòng điện $Id\ell$ sinh ra từ trường và vào vị trí điểm M tại đó đặt phần tử dòng điện $I_0 d\ell_0$ mà không phụ thuộc vào phần tử dòng điện $I_0 d\ell_0$. Do vậy véc tơ $d\vec{B}$ được gọi là véc tơ cảm ứng từ do phần tử dòng điện $Id\ell$ gây ra tại điểm M.

Biểu thức 3.4 được Biot-Savart-Laplace đưa ra từ thực nghiệm do vậy đã được gọi là định luật Biot-Savart-Laplace. Nội dung như sau:

Véc tơ cảm ứng từ $d\vec{B}$ do một phần tử dòng điện $Id\vec{\ell}$ gây ra tại điểm M, cách phần tử một khoảng r là một véc tơ là một véc tơ được có:

- *Gốc tại điểm M.*
- *Phương vuông góc với mặt phẳng chứa phần tử dòng điện* $Id\ell$ *và điểm M.*
- *Chiều sao cho ba véc tơ* $d\vec{\ell}, \vec{r}, d\vec{B}$ *theo thứ tự này lập thành một tam diện thuận.*
- *Độ lớn cảm ứng từ dB:* $dB = \frac{\mu\mu_o}{4\pi}\frac{Id\ell.\sin\theta}{r^2}$.

Định luật Biot-Savart-Laplace cho phép ta xác định véc tơ cảm ứng từ $d\vec{B}$, từ đó ta có thể xác định lực tác dụng $d\vec{F}$ của phần tử dòng điện $Id\vec{\ell}$ lên phần tử dòng điện $I_0 d\vec{\ell}_0$ bởi công thức:

$$d\vec{F} = I_0 d\vec{\ell}_0 \times d\vec{B}. \quad (9.5)$$

Dễ dàng thấy rằng véc tơ cảm ứng từ $d\vec{B}$ đặc trưng cho từ trường về phương diện tác dụng lực, phương và chiều của $d\vec{B}$ trùng với phương và chiều của $\vec{n}$.

Trong hệ SI, cảm ứng từ được tính bằng đơn vị tesla (kí hiệu T).

9.2.2. Nguyên lý chồng chất từ trường

Giống như điện trường, từ trường cũng tuân theo nguyên lý chồng chất từ trường

Véc tơ cảm ứng từ $\vec{B}$ do một dòng điện bất kì gây ra tại một điểm M bằng tổng các véc tơ cảm ứng từ $d\vec{B}$ do tất cả các phần tử nhỏ của dòng điện gây ra tại điểm ấy.

$$\vec{B} = \int_{cadongdien} d\vec{B}, \quad (9.6)$$

$$\vec{B} = \frac{\mu\mu_o}{4\pi} \int_{cadongdien} \frac{Id\vec{\ell} \times \vec{r}}{r^3}. \quad (9.7)$$

Véc tơ cảm ứng từ gây bởi nhiều dòng điện:

Nếu có nhiều dòng điện $I_1, I_2, ...I_n$, mỗi dòng điện lại gây ra một véc tơ cảm ứng từ tại một điểm M trong không gian xung quanh lần lượt là $\vec{B}_1, \vec{B}_2, ...\vec{B}_n$, thì véc tơ cảm ứng từ tại điểm M đó sẽ được xác định như sau:

$$\vec{B}_\Sigma = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + ... + \vec{B}_n = \sum_{i=1}^{n} \vec{B}_i. \quad (9.8)$$

Vậy: Véc tơ cảm ứng từ $\vec{B}_\Sigma$ của nhiều dòng điện bằng tổng các véc tơ cảm ứng từ do từng dòng điện sinh ra.

9.2.3. Véc tơ cường độ từ trường

Khi đi từ môi trường này sang môi trường khác véc tơ cảm ứng từ $\vec{B}$ thay đổi về độ lớn. Do đó số đường sức từ trường sẽ thay đổi khi đi từ môi trường này sang môi trường khác sẽ ảnh hưởng tới việc tính toán. Để đặc trưng cho từ trường mà không phụ thuộc vào độ từ thẩm của môi trường người ta đưa ra véc tơ cường độ từ trường $\vec{H}$

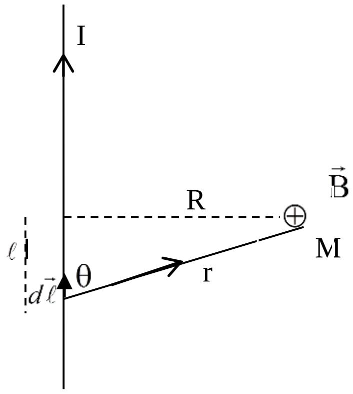
$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu\mu_0}, \quad (9.9)$$

trong hệ đơn vị SI, đơn vị của cường độ từ trường là ampe/mét, kí hiệu là (A/m).

9.2.4. Ứng dụng để xác định $\vec{B}$ trong một số trường hợp cụ thể

Dòng điện thẳng

Xét một đoạn dây dẫn thẳng, có dòng điện không đổi cường độ I chạy qua. Ta phải xác định véc tơ cảm ứng từ và véc tơ cường độ từ trường do dòng điện đó gây ra tại một điểm M nằm ngoài dòng điện. Muốn vậy ta phải tưởng tượng chia dòng điện thành những phần tử nhỏ có chiều dài $d\vec{\ell}$. Ta có véc tơ cảm ứng từ gây tại M như hình vẽ, $d\vec{B}$ có chiều sao cho ba véc tơ $d\vec{\ell}, \vec{r}, d\vec{B}$ theo thứ tự lập thành một tam diện thuận.



$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi}\frac{Id\vec{\ell}\sin\theta}{r^2}, B = \int dB = \int \frac{\mu\mu_0}{4\pi}\frac{Id\ell\sin\theta}{r^2},$$

$$\ell = R\cot an\theta;\ d\ell = \frac{1}{\sin^2\theta}Rd\theta,$$

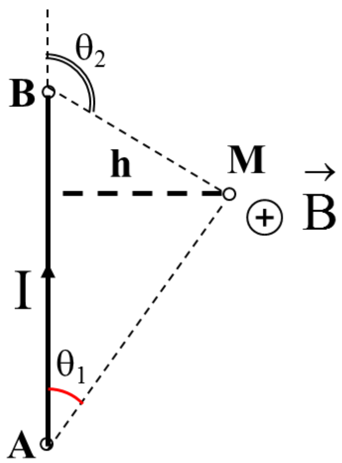
$d\ell$ ta lấy dấu dương vì độ dài $d\ell$ là một số dương

$$r = \frac{R}{\sin\theta},\ \theta: \text{cận từ } 0^o \text{ đến } 180^o,$$

$$B = \frac{\mu\mu_0}{4\pi}\frac{I}{R}(\cos\theta_1 - \cos\theta_2) = \frac{\mu\mu_0.I}{2\pi R}, \qquad (9.10)$$

$$H = \frac{I}{2\pi R}\left(\frac{A}{m}\right). \qquad (9.11)$$

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 1m.

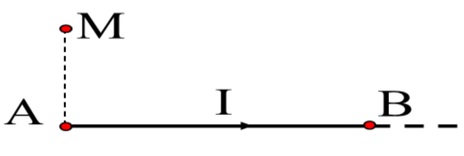


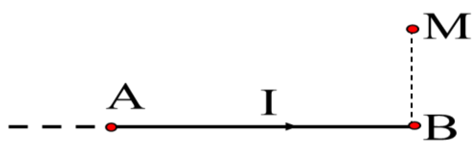
*** Chú ý: Các trường hợp riêng**

Từ CT: $B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi h}(\cos\theta_1 - \cos\theta_2)$ **ta suy ra:**

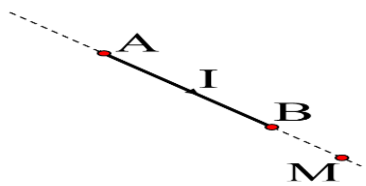
+ Đối với dòng điện dài vô hạn : $B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi h}$

+ Đối với điểm M thuộc nửa đường thẳng: $B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi h}$





+ Đối với điểm M nằm trên dây dẫn hoặc đường kéo dài: $B = 0$



VD1: Một đoạn dây thẳng AB = 20cm đặt trong không khí, có dòng điện I = 20A chạy qua. Tính cảm ứng từ tại điểm M trên trung trực của AB, nhìn AB dưới góc 60^0.

Giải:

Áp dụng CT:

$$B=\frac{\mu\mu_0 I}{4\pi h}(\cos\theta_1-\cos\theta_2);\theta_1=60^0,\theta_2=120^0$$

$$B=\frac{1.4\pi.10^{-7}.20}{4\pi.0,1\sqrt{3}}(\cos 60^0-\cos 120^0)=...$$

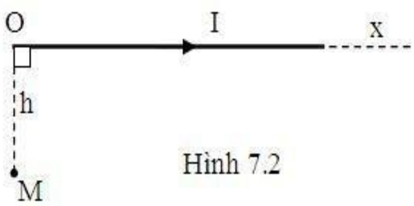
VD2: Một đoạn dây thẳng AB = 20cm đặt trong không khí, có dòng điện I = 20A chạy qua. Tính cường độ từ trường tại điểm M trên trung trực của AB, nhìn AB dưới góc 120^0.

Giải: Áp dụng CT:

$$B=\frac{\mu\mu_0 I}{4\pi h}(\cos\theta_1-\cos\theta_2);\theta_1=30^0,\theta_2=150^0$$

$$B=\frac{1.4\pi.10^{-7}.20}{4\pi.0,1/\sqrt{3}}(\cos 30^0-\cos 150^0)=...$$

VD3: Tính cảm ứng từ tại điểm M trong hình 7.2. Biết dòng điện I = 20A rất dài, chạy dọc theo nửa đường thẳng Ox, cách điểm M một khoảng h = 10cm.

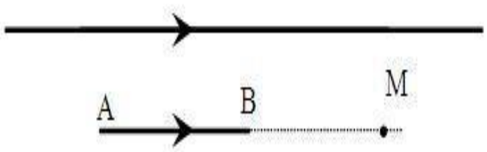


Hình 7.2

HD giải:

Áp dụng CT: $B=\frac{\mu\mu_0 I}{4\pi h}$

VD4: Cho một đoạn dây AB có dòng điện 10A chạy qua như hình 7.4. Một dây dẫn khác rất dài, song song AB và cách dây AB 10cm, có dòng 20A chạy qua. Tính cảm ứng từ do hai dòng điện này gây ra tại M.

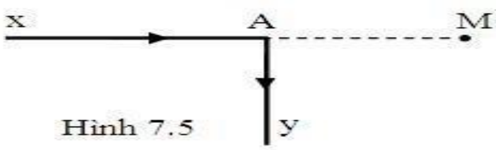


Hình 7.4

HD giải: Kết hợp 2 trường hợp dòng điện dài vô hạn và điểm M thuộc dây dẫn.

*** Bài tập vận dụng:**

BT1: Cho dòng điện 10A chạy qua dây dẫn rất dài, gồm hai nửa đường thẳng Ax và Ay vuông góc nhau như hình 7.5. Tính cường độ từ trường tại M, biết AM = 5cm.



Hình 7.5

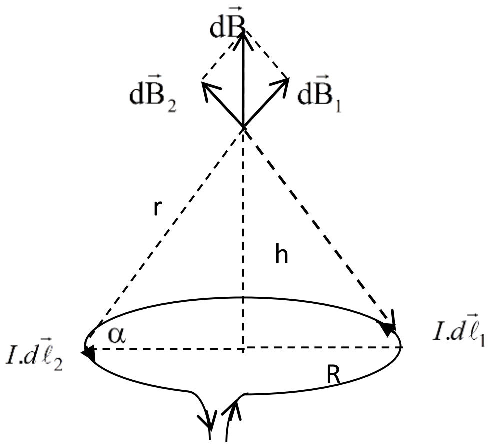
BT2: Một sợi dây dẫn mảnh, được gấp thành hình vuông, cạnh a = 4cm, đặt trong chân không. Cho dòng điện I = 10A chạy qua sợi dây. Tính cường độ từ trường tại tâm hình vuông.

BT3: Hai dòng điện thẳng dài vô hạn có cường độ $I_1 = I_2 = 5A$ được đặt vuông góc với nhau và cách nhau một đoạn AB =2cm. Xác định véc tơ cường độ từ trường tại M nằm trong mặt phẳng chứa I_1 và vuông góc với I_2 cách I_1 một đoạn MA=1cm .

BT4: Hai dây dẫn thẳng dài vô hạn đặt song song trong không khí cách nhau khoảng d=6cm có các dòng điện I_1=1A và I_2 =2A đi qua. Hai dòng này ngược nhau. Định vị trí những điểm có cảm ứng từ tổng hợp bằng 0.

Dòng điện tròn:

Ta phải xác định véc tơ cảm ứng từ và véc tơ cường độ từ trường do dòng điện uốn thành vòng tròn bán kính R có cường độ I không đổi chạy qua, gây ra tại một điểm M nằm trên trục của dòng điện và cách tâm O của nó một đoạn là h.



Nhận xét: Toàn bộ dòng điện tròn có thể phân thành từng cặp phần tử dòng điện $Id\vec{\ell}$ tương ứng đối xứng nhau qua trục đó. Kết quả là véc tơ cảm ứng từ là một véc tơ nằm trên trục dòng điện (như hình vẽ).

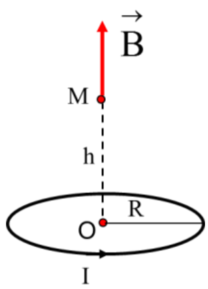
$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi}\frac{Id\ell\sin\theta}{r^2}\cos\alpha,$$

$$\theta = \frac{\pi}{2},\ d\ell \perp (R,h);\ \ d\vec{\ell} \perp \vec{r},\ dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi}\frac{Id\ell}{r^2}\frac{R}{r} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi}\frac{IR}{\left(h^2+R^2\right)^{\frac{3}{2}}}d\ell.$$

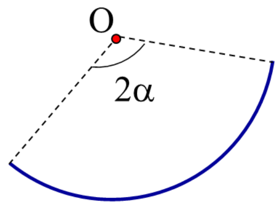
$$B = \frac{\mu\mu_0}{4\pi}\frac{IR}{\left(h^2+R^2\right)^{\frac{3}{2}}}2\pi R = \frac{\mu\mu_0 IR^2}{2\left(h^2+R^2\right)^{\frac{3}{2}}}\ ; \qquad (9.12)$$

***Chú ý:**

$B = \frac{\mu\mu_0 IR^2}{2(R^2+h^2)^{3/2}}$ **suy ra tại tâm O:** $B_O = \frac{\mu\mu_0 I}{2R}$



+ Nếu cung tròn chắn góc ở tâm với số đo 2α



$$\boxed{B_O = \frac{\alpha}{\pi}.\frac{\mu\mu_0 I}{2R}}$$

VD1: Một dây dẫn mảnh được uốn thành một cung tròn bán kính R = 5cm, góc ở tâm bằng 60^0. Trong dây dẫn có dòng điện cường độ I = 30A chạy qua. Tính cảm ứng từ tại tâm của cung tròn.

HD giải: Áp dụng công thức

$$\boxed{B_O = \frac{\alpha}{\pi}.\frac{\mu\mu_0 I}{2R}}$$

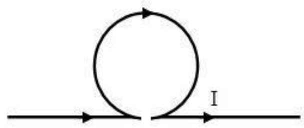
VD2: Vòng dây dẫn tròn, bán kính R = 5cm, đặt trong không khí, có dòng điện 10A chạy qua. Tính cường độ từ trường tại tâm vòng dây.

HD giải: Áp dụng công thức

$$B_O = \frac{\mu\mu_0 I}{2R} \Rightarrow H_O = \frac{B_O}{\mu\mu_0} = \frac{I}{2R}$$

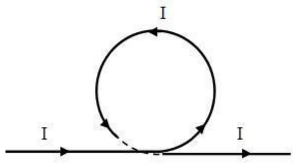
Bài tập vận dụng:

BT1: Cho dòng điện I = 10A chạy qua dây dẫn thẳng dài, đoạn giữa được uốn thành vòng tròn bán kính 2cm như hình 7.7. Tính cảm ứng từ tại tâm của vòng tròn.



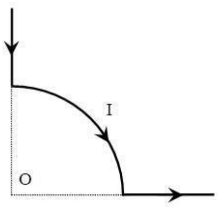
Hình 7.7

BT2: Cho dòng điện I = 10A chạy qua dây dẫn thẳng dài, đoạn giữa được uốn thành vòng tròn bán kính 2cm như hình 7.8. Tính cường độ từ trường tại tâm của vòng tròn.



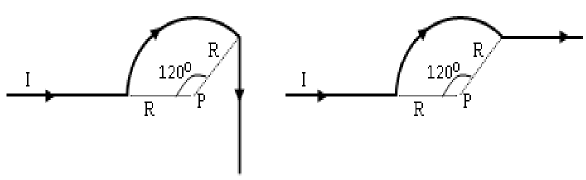
Hình 7.8

BT3: Một dây dẫn rất dài, đặt trong không khí, có dòng điện I = 10A chạy qua. Sợi dây được uốn làm 3 phần như hình 7.9. Tính cảm ứng từ tại tâm O của cung tròn. Biết bán kính cung tròn là 5cm.



Hình 7.9

BT4: Một dây dẫn vô hạn mang dòng điện I = 10A được uốn như hình vẽ. Hãy xác định véc tơ từ trường do dòng điện gây ra tại điểm *P* trên mỗi hình. Biết R = 20cm.



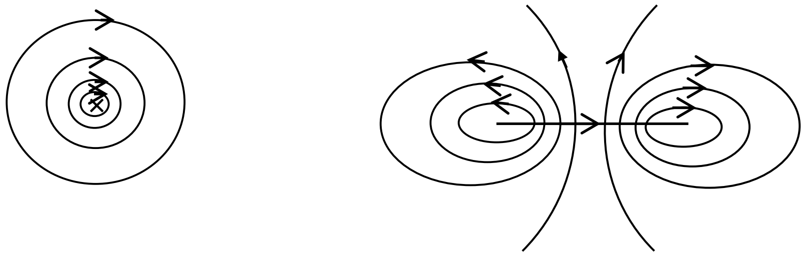
9.3. TỪ THÔNG, ĐỊNH LÍ ASTROGRATXKI -GAUSS

9.3.1. Từ thông

Trong một từ trường bất kì, véc tơ cảm ứng từ $\vec{B}$ có thể biến đổi từ điểm này qua điểm khác cả về hướng và độ lớn. Vì vậy để có một hình ảnh khái quát về sự biến đổi ấy người ta đưa ra khái niệm đường sức từ trường.

Đường sức từ trường là những đường cong mà tiếp tuyến tại mỗi điểm của nó có phương trùng với phương của véc tơ cảm ứng tại điểm đó, chiều đường sức là chiều của véc tơ cảm ứng từ.

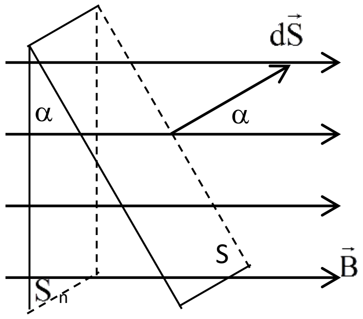
Hình ảnh từ phổ của dòng điện chạy trong các dây dẫn có hình dạng khác nhau



Quy ước: Vẽ số đường cảm ứng từ gửi qua một đơn vị diện tích đặt vuông gócvới phương của từ trường tỉ lệ với độ lớn của véc tơ cảm ứng từ tại nơi đặt diện tích đó, điều đó có nghĩa là nơi nào từ trường mạnh thì số đường cảm ứng từ mau, ngược lại từ trường yếu thì các đường cảm ứng từ thưa.

Từ thông: Từ thông gửi qua diện tích S là đại lượng có giá trị bằng $\Phi = \vec{B}\vec{S}$ trong đó $\vec{B}$ véc tơ cảm ứng từ tại một điểm bất kì trên diện tích ấy, $\vec{S}$ là véc tơ nằm theo phương pháp tuyến $\vec{n}$ với diện tích đang xét, có chiều là chiều dương của pháp tuyến đó, và có độ lớn bằng chính độ lớn của diện tích đó.

Từ thông kí hiệu là Φ, có đơn vị là Veber (kí hiệu Wb), trong từ trường đều các đường cảm ứng từ là những đường thẳng song song cách đều nhau.



Từ thông Φ_n gửi qua diện tích S_n phẳng đặt vuông góc với đường cảm ứng từ sẽ được tính định nghĩa là: $\Phi_{Sn} = BS_n$

Từ thông Φ gửi qua diện tích S phẳng đặt không vuông góc với đường cảm ứng từ. Khi đó từ thông gửi qua mặt S có trị số bằng từ thông gửi qua mặt S_n, tức là $\Phi_S = \Phi_{Sn}$. Do vậy ta có: $\Phi_S = \Phi_{Sn} = BS_n$,

mà $S_n = S\cos\alpha$, thay vào ta có:

$$\Phi_S = BS\cos\alpha.$$

$\vec{S}$ là véc tơ cùng hướng với véc tơ pháp tuyến của mặt S, độ lớn bằng diện tích S. Góc α hợp bởi giữa mặt S với mặt S_n đồng thời cũng là góc hợp bởi giữa véc tơ $\vec{S}$ với véc tơ $\vec{B}$.

Vậy từ thông gửi qua mặt phẳng S bất kì được tính theo công thức sau:

$$\Phi = \vec{B}\vec{S}. \qquad (9.13)$$

Biểu thức Φ *gửi qua mặt S bất kì trong từ trường không đều:* Để tính từ thông gửi qua mặt S bất kì trong một từ trường không đều ta tiến hành như sau:

- Lấy một diện tích rất nhỏ dS thuộc mặt S, khi đó mặt dS coi như phẳng và từ trường tại mọi điểm trên dS coi như đều. Ta có từ thông $d\Phi$ gửi qua diện tích dS là:

$$d\Phi = \vec{B}d\vec{S} = BdS\cos\alpha.$$

- Từ thông gửi qua mặt S

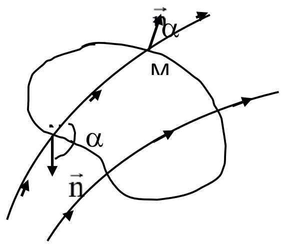
$$\Phi_S = \int_S BdS\cos\alpha.$$

Tính chất xoáy của từ trường:

Nghiên cứu từ phổ (phổ đường sức) ta nhận thấy đường sức điện trường là những đường cong hở và từ phổ của từ trường các dòng điện, các đường sức từ trường là những đường cong kín. Một trường có các đường sức khép kín được gọi là trường xoáy. Vậy từ trường có tính chất xoáy.

9.3.2. Định lý ASTROGRATXKI-GAUSS

Về mặt định tính: Dựa vào tính chất xoáy của từ trường ta xét từ thông qua một mặt kín bất kì ta thấy từ thông ứng với các đường cảm ứng đi vào mặt kín và từ thông ứng với các đường cảm ứng đi ra khỏi mặt kín đó bằng nhau về trị số. Vậy từ thông toàn phần gửi qua một mặt kín bất kì =0.



Vậy $\oint \vec{B}d\vec{S} = 0$.

Về mặt định lượng: Nhận thấy: $\Phi_\Sigma = \Phi_{vào} + \Phi_{ra}$

trong đó $\Phi_{vào} < 0$ vì $\cos\alpha < 0$, và $\Phi_{ra} > 0$ vì $\cos\alpha > 0$.

Do đó

suy ra: $\Phi_\Sigma = \oint_{S_{kín}} \vec{B}d\vec{S} = 0.$ (9.14)

Nội dung định lý Astrogratxki-Gauss: *Từ thông toàn phần gửi qua một mặt kín bất kỳ bằng không.*

9.4. LƯU SỐ CỦA VÉC TƠ CƯỜNG ĐỘ TỪ TRƯỜNG

9.4.1. Lưu số của véc tơ cường độ từ trường

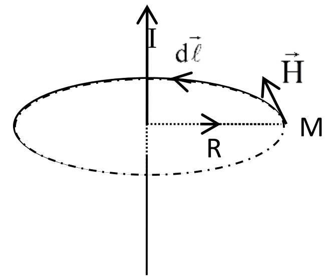
Một đường cong kín trong từ trường và $d\vec{\ell}$ là véc tơ chuyển dời trên đường cong đó $\vec{H}$ là véc tơ cường độ từ trường.

Lưu số của véc tơ cường độ từ trường dọc theo đường cong kín (C) là đại lượng về giá trị bằng tích phân của $\vec{H}d\vec{\ell}$ *dọc theo toàn bộ đường cong kín đó.*

$$\oint_{congkin} \vec{H}d\vec{l} = \oint_C Hdl\cos\left(\vec{H}, d\vec{l}\right). \quad (9.15)$$

Định lí Ampe về dòng điện toàn phần: Định lý cho ta biết giá trị của lưu số của véc tơ cường độ từ trường dọc theo đường cong kín (C) bất kỳ.

Ta xét trường hợp từ trường gây ra bởi một dòng điện thẳng dài vô hạn, có cường độ I và đường cong kín (C) là một đường cong nằm trong mặt phẳng P vuông góc với dòng điện. Trên đường cong đó ta chọn một chiều dương, đó là chiều dịch chuyển của véc tơ $d\vec{\ell}$: $\vec{H}$ tiếp tuyến vòng tròn tại M và cùng chiều với véc tơ dịch chuyển.



$$\oint_{congkin} \vec{H}d\vec{\ell} = \oint_C Hd\ell\cos\left(\vec{H}, d\vec{\ell}\right) \text{ trong đó } \cos\left(\vec{H}, d\vec{\ell}\right) = 1.$$

$$\oint_C Hd\ell = H\oint_C d\ell = \frac{I}{2\pi R}2\pi R = I.$$

Nếu trường hợp $d\vec{\ell}$ là véc tơ có chiều ngược lại khi đó $\vec{H}$ tiếp tuyến vòng tròn tại M và ngược chiều với véc tơ dịch chuyển.

$$\cos\left(\vec{H}, d\vec{\ell}\right) = -1, \oint_C H.d\ell = -I.$$

Tóm lại $\oint_{congkin} \vec{H}d\vec{\ell} = \pm I,$ (9.16)

với đường cong không bao quanh dòng điện ta cũng chứng minh được: $\oint_{congkin} \vec{H}d\vec{\ell} = 0.$

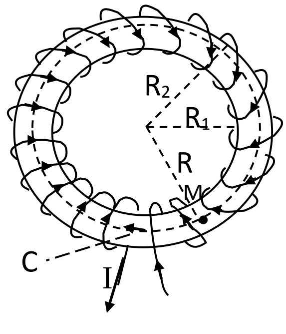
Nếu đường cong bọc nhiều dòng điện chạy bên trong. Lưu số của véc tơ cường độ từ trường có biểu thức là: $\oint_{congkin} \vec{H}d\vec{\ell} = \sum_{i=1}^{n} I_i.$ (9.17)

Định lý về dòng điện toàn phần: Lưu số của véc tơ cường độ từ trường dọc theo một đường cong kín (C) bất kì (một vòng) bằng tổng đại số cường độ của các dòng điện xuyên qua diện tích giới hạn bởi đường cong đó $\oint_{congkin} \vec{H}d\vec{\ell} = \sum_{i=1}^{n} I_i$ trong đó I_i sẽ mang dấu dương (I_i> 0) nếu dòng điện thứ i nhận chiều dịch chuyển trên đường cong (C) làm chiều quay thuận xung quanh nó I_i sẽ mang dấu âm (I_i< 0) nếu dòng điện thứ i nhận chiều dịch chuyển trên đường cong (C) làm chiều quay nghịch xung quanh nó.

9.4.2. Ứng dụng của định lí về lưu số của véc tơ cường độ từ trường

Tính cường độ từ trường tại một điểm M ở bên trong cuộn dây hình xuyến

Một cuộn dây điện hình xuyến n vòng, trong đó dòng điện cường độ I chạy qua. Gọi R_1 và R_2 là bán kính ngoài và bán kính trong của hình xuyến đó. Vẽ đường cong (C) nằm trong trục ống dây hình xuyến và đi qua điểm M, nằm cách tâm cuộn dây một khoảng cách R với:



⊕ $R_1 < R < R_2$

Vì tính đối xứng của toàn bộ cuộn dây đối với tâm vòng dây, nên véc tơ cường độ từ trường $\vec{H}$ tại mọi điểm trên đường tròn (C) có n vòng dây coi như n dòng điện I chạy theo cùng một chiều xuyên qua diện tích giới hạn bởi vòng dây.

Lưu số véc vòng tơ cường độ từ trường một vòng dọc theo đường tròn kín (C), ta có:

$$\oint_{(C)} \vec{H}d\vec{\ell} = nI.$$

Khai triển vế trái của biểu thức, ta được:

$$\oint_{congkin} \vec{H}d\vec{\ell} = \oint_{C} Hd\ell\cos\left(\vec{H}, d\vec{\ell}\right) = H\oint_{(C)} d\ell = H2\pi R.$$

Cho hai vế bằng nhau, ta có:

$$nI = 2\pi RH \ \rightarrow \ H = \frac{nI}{2\pi R}. \qquad (9.18)$$

$$B = \mu\mu_o H = \mu\mu_o \frac{nI}{2\pi R} = \mu\mu_o n_o I, \qquad (9.19)$$

với n_o là số vòng dây trên một đơn vị chiều dài của chu vi, thay $\mu_o = 4\pi.10^{-7}$ vào ta có:

$$B = 4\pi.10^{-7} n_o I.$$

⊕ $R_2 < R$: Có bao nhiêu dòng đi vào thì có bấy nhiêu dòng đi ra do đó

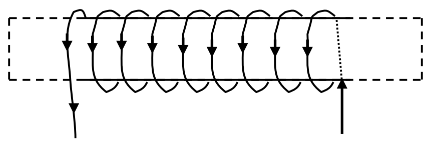
$$\oint_{congkin} \vec{H}d\vec{\ell} = 0.$$

⊕ $R < R_1$: Có bao nhiêu dòng đi vào thì có bấy nhiêu dòng đi ra do đó

$$\oint_{congkin} \vec{H}d\vec{\ell} = 0. \qquad (9.20)$$

Tính cường độ từ trường $\vec{H}$ tại một điểm bên trong một ống dây điện thẳng dài vô hạn:

Ống dây điện thẳng dài vô hạn có thể xem như cuộn dây hình xuyến có $R_1 = R_2 = \infty$

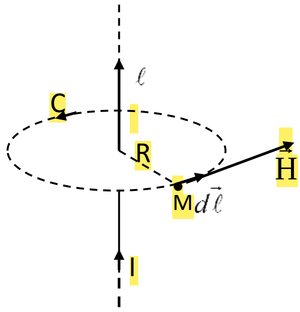


$$H = \frac{n.I}{2\pi R}$$

$H = n_0 I \Rightarrow B = \mu\mu_0 n_0 I$; n_0: số vòng dây trên một đơn vị độ dài

Một cách gần đúng $\frac{n}{2\pi R} = \frac{n}{L}$; n: số vòng dây; L: chiều dài ; R: bán kính ống, trong thực tế khi chiều dài ống gấp 10 lần bán kính thì ta áp dụng được công thức này

Tính cường độ từ trường tại một điểm M nằm cách dây dẫn thẳng dài vô hạn có dòng điện I chạy qua:



- Vẽ đường cong (C) đi qua điểm M và chọn chiều dương cho nó

- Xét tổng đại số dòng điện I chạy xuyên qua diện tích giới hạn

bởi đường cong (C), vì chỉ có một dây dẫn nên $\sum_i I_i = I$.

Lưu số véc tơ cường độ từ trường dọc theo một vòng đường cong (C), ta có:

$$\oint_{congkin} \vec{H}d\vec{\ell} = I,$$

vế trái của biểu thức, được khai triển như sau:

$$\oint_{congkin} \vec{H}d\vec{\ell} = \oint_{C} Hd\ell\cos\left(\vec{H}, d\vec{\ell}\right) = H2\pi R.$$

Cho hai vế bằng nhau, rút ra:

$$H_M = \frac{I}{2\pi R} \;\; ; \; B_M = \frac{2.10^{-7}\mu I}{R}.$$

Kết quả này hoàn toàn trùng hợp với kết quả thu được khi giải bài toán bằng phương pháp áp dụng nguyên lý chồng chất từ trường.

9.5. TÁC DỤNG CỦA TỪ TRƯỜNG LÊN DÒNG ĐIỆN, CHUYỂN ĐỘNG CỦA HẠT TRONG TỪ TRƯỜNG

9.5.1. Chuyển động của hạt điện tích trong từ trường

Lực Lorentz:

Giả sử có một hạt mang điện tích q chuyển động với vận tốc $\vec{v}$ trong từ trường $\vec{B}$. Ta có thể xác định được lực tác dụng của từ trường lên hạt điện tích chuyển động xuất phát từ biểu thức lực từ tác dụng lên dòng điện.

Lực từ tác dụng lên dòng điện: $d\vec{F} = I.d\vec{\ell} \times \vec{B}$,

phần tử dòng điện $Id\vec{\ell}$ có thể viết lại thành: $Id\vec{\ell} = \frac{q}{dt}d\vec{\ell} = q\vec{v}$,

q là điện tích của phần tử nhỏ, được coi như hạt điện tích, thay vào ta có:

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

lực này có biểu thức liên hệ với các đặc trưng của hạt điện tích chuyển động do Lorent tìm ra, nên được gọi là lực Lorent (có kí hiệu $\vec{F}_L$).

$$\vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B}. \qquad (9.21)$$

Lực Lorentz có điểm đặt tại hạt điện tích, phương vuông góc với mặt phẳng hợp bởi hai véc tơ $(\vec{v},\vec{B})$, có độ lớn: $F_L = |q| vB\sin\alpha$, và có chiều sao cho theo thứ tự, ba véc tơ $(\vec{v},\vec{B},\vec{F}_L)$ lập thành tam diện thuận, hoặc theo quy tắc bàn tay trái.

Chú ý: q> 0 thì chiều tuân theo quy tắc trên, nếu q < 0 thì $\vec{F}_L$ có chiều ngược lại.

Hạt chuyển động trong từ trường đều:

Nếu hạt chuyển động trong từ trường đều thì lực Lorentz $\vec{F}_L$ luôn luôn vuông góc với vận tốc $\vec{v}$ của hạt điện và do vậy $\vec{F}_L$ đóng vai trò lực hướng tâm. Ta có biểu thức định luật II Newton viết cho hạt điện chuyển động trong từ trường như sau:

$$\vec{F}_L = m\frac{d\vec{v}}{dt} = q\vec{v}\times\vec{B}. \qquad (9.22)$$

Quỹ đạo chuyển động của hạt là đường tròn nằm trong mặt phẳng vuông góc với véc tơ $\vec{B}$.

VD1: Một electron bay vào từ trường đều theo hướng hợp với các đường cảm ứng từ một góc 30^0. Tính độ lớn của lực Lorentz tác dụng lên electron. Biết cường độ từ trường là 10A/m và vận tốc của electron là 4.10^3 m/s.

HD giải: Áp dụng công thức $F_L = |q| vB\sin\alpha$, $B = \mu\mu_0.H$

VD2: Một electron bay vào từ trường đều B = 10^{-5} T, theo hướng vuông góc với đường sức từ. Tính bán kính quĩ đạo, biết vận tốc của electron là 1,6.10^6 m/s.

HD giải: Áp dụng công thức

Bán kính quĩ đạo: $\boxed{r = \dfrac{mv}{|q|B}}$

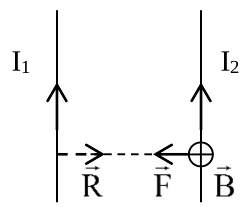
9.5.2. Tác dụng tương hỗ giữa 2 dòng điện thẳng song song dài vô hạn

Cho hai dòng điện thẳng song song dài vô hạn nằm cách nhau một khoảng R và có cường độ lần lượt là I_1, I_2, vì dòng điện này nằm trong từ trường của dòng điện kia nên hai dòng điện đó tác dụng lên nhau những từ lực.

Lấy trên I_2 một đoạn dài ℓ

Ta có: $\vec{F} = I_2\vec{\ell}\times\vec{B}$; $\vec{B}$ do I_1 gây ra

$\vec{B}$ có phương chiều như hình vẽ.



$B = \dfrac{\mu\mu_0}{2\pi.R}.I_1 \to \vec{F} = I_2\vec{\ell}\times\vec{B} \to F = I_2\ell B\sin\theta$ (sin θ =1 do $\vec{B}\perp\vec{\ell}$)

$$F = \frac{\mu\mu_0 I_1 I_2 \ell}{2\pi R} \qquad (9.23)$$

$\vec{F}$ có thể áp dụng quy tắc bàn tay trái hoặc vặn nút chai.

Vậy hai dòng điện song song cùng chiều hút nhau và cũng tương tự như trên ta sẽ thấy hai dòng điện song song ngược chiều đẩy nhau.

VD1: Hai dây dẫn thẳng song song, cách nhau 20cm trong không khí, có dòng điện I_1 = 2A và I_2 = 5A cùng chiều chạy qua. Tính độ lớn của lực tương tác lên mỗi mét chiều dài của chúng.

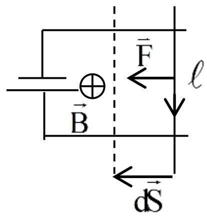
HD giải: Áp dụng công thức $f = \frac{F}{\ell} = \frac{\mu\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$

VD2: Một dây dẫn thẳng, đặt trong từ trường đều B = 0,1T và song song với các đường cảm ứng từ. Cho dòng điện I = 10A chay qua dây dẫn. Tính độ lớn của lực từ tác dụng lên mỗi mét chiều dài dây dẫn.

HD giải: Áp dụng công thức $f = \frac{F}{\ell} = \frac{\mu\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$

9.5.3. Công của từ lực

Khi dòng điện chuyển động trong từ trường từ lực tác dụng lên dòng điện sẽ sinh công. Để tính công của từ lực ta xét một thanh kim loại dài ℓ có thể trượt trên hai dây kim loại song song của một mạch điện. Mạch điện này nằm trong một từ trường đều và vuông góc với véc tơ cảm ứng từ. Từ lực F tác dụng lên thanh kim loại như hình vẽ



$\vec{F} = I\vec{\ell} \times \vec{B} \Rightarrow F = I\,\ell\,B\sin\theta = I\,\ell\,B.$

$dA = \vec{F}.d\vec{S} = F\,dS\cos\alpha = I\ell.ds = IB.dS_{quét}\,.$

$= IBd\Phi \Rightarrow A = I\,(\Phi_2 - \Phi_1)$, (9.24)

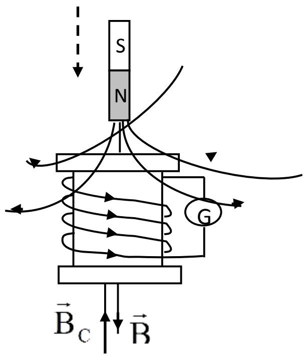
ds: quãng đường thanh dịch chuyển.

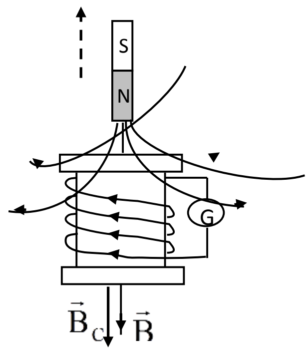
Định nghĩa: *Công của lực từ trong sự dịch chuyển một mạch điện bất kì trong từ trường bằng tích giữa cường độ dòng điện trong mạch và độ biến thiên của từ thông gửi qua diện tích mạch đó.*

9.6. HIỆN TƯỢNG CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ, NĂNG LƯỢNG TỪ TRƯỜNG

9.6.1. Hiện tượng cảm ứng điện từ

Thí nghiệm Faraday: Một ống dây dẫn mắc với điện kế làm thành mạch kín. Dùng một nam châm chữ I chuyển động tương đối trong lòng ống dây, ta thấy có hiện tượng sau:





Khi cực bắc của nam châm tiến vào trong lòng ống dây cảm ứng từ B trong lòng ống dây tăng, làm cho từ thông Φ tăng, trong ống dây xuất hiện dòng điện cảm ứng, ta nhận thấy từ trường (B_C) do dòng điện cảm ứng sinh ra ngược chiều với từ trường ngoài sinh ra nó.

Khi cực bắc của nam châm đi ra khỏi trong lòng ống dây cảm ứng từ B trong lòng ống dây giảm, làm cho từ thông Φ giảm, trong ống dây xuất hiện dòng điện cảm ứng, ta nhận thấy từ trường (B_C) do dòng điện cảm ứng sinh ra cùng chiều với từ trường ngoài sinh ra nó.

Dòng điện cảm ứng chỉ xuất hiện khi có từ thông Φ gửi qua ống dây biến thiên, và có cường độ tỉ lệ với tốc độ biến thiên từ thông $\frac{d\Phi}{dt}$. Tức là khi nam châm đứng yên trong ống dây thì không có dòng cảm ứng, và dòng điện cảm ứng càng mạnh khi nam châm chuyển động càng nhanh.

Định luật Lenz:

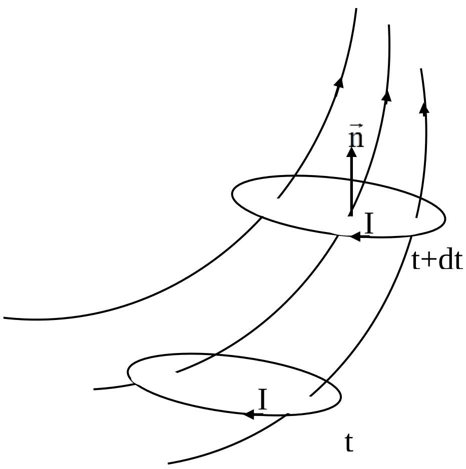
Dòng điện cảm ứng phải có chiều sao cho từ trường do nó sinh ra có tác dụng chống lại nguyên nhân đã sinh ra nó.

Định luật cảm ứng điện từ:

Qua hiện tượng cảm ứng điện từ, ta nhận thấy rằng: sự xuất hiện dòng điện cảm ứng, chứng tỏ trong ống dây có một suất điện động. Suất điện động ấy được gọi là *suất điện động cảm ứng.*

Biểu thức suất điện động cảm ứng:

Dịch chuyển một vòng dây dẫn kín (C) trong từ trường
sao cho từ thông Φ gửi qua vòng dây thay đổi trị số.



Trong thời gian dt từ thông biến thiên là $d\Phi$, dòng điện cảm ứng xuất hiện trong khung dây, độ lớn công của lực điện từ tác dụng lên dòng điện cảm ứng là:

$$dA = I_c.d\Phi,$$

lực điện từ có hướng ngược chiều chuyển động của khung

dây, do vậy có giá trị đại số âm:

$$dA=-I_c.d\Phi.$$

Theo định luật bảo toàn năng lượng thì công này chuyển thành năng lượng của dòng điện cảm, tức là có biểu thức:

$$dA=\varepsilon_c I_c.dt=-I_c.d\Phi.$$

$$\varepsilon_C = \frac{d\Phi}{dt}. \qquad (9.25)$$

Vậy khi từ trường qua khung dây biến thiên theo thời gian trong khung dây xuất hiện một suất điện động cảm ứng suất điện động cảm ứng này sinh ra dòng cảm ứng dòng cảm ứng (suất điện động cảm ứng) có chiều chống lại chiều biến thiên của từ thông.

$$\varepsilon \text{ cảm ứng } (\varepsilon_c) = -\frac{d\Phi}{dt}.$$

Định luật cảm ứng điện từ:

Suất điện động cảm ứng luôn luôn bằng về trị số, nhưng trái dấu với tốc độ biến thiên từ thông gửi qua diện tích của mạch điện.

9.6.2. Hiện tượng tự cảm

Là một trường hợp đặc biệt của hiện tượng cảm ứng, khi ta làm thay đổi cường độ dòng điện trong mạch thì sẽ xuất hiện một suất điện động cảm ứng thêm vào với suất điện động có sẵn trong mạch, có nghĩa là nó có thể làm tăng lên hoặc giảm đi cường độ dòng điện có sẵn trong mạch.

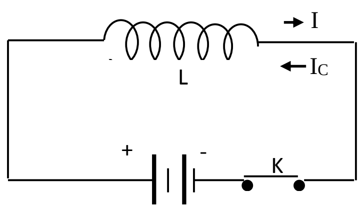
$$\varepsilon \text{ cảm ứng } \approx \frac{dI}{dt} \text{ hay } \varepsilon \text{ cảm ứng } = L\frac{dI}{dt}. \qquad (9.26)$$

Lưu ý: Trong mạch có cuộn dây thì mới có hiện tượng tự cảm, L được gọi là độ tự cảm của cuộn dây và $L = \frac{\mu\mu_0 N^2 S}{\ell}$. (9.27)

Định luật cảm ứng điện từ:

Suất điện động cảm ứng luôn luôn bằng về trị số, nhưng trái dấu với tốc độ biến thiên từ thông gửi qua diện tích của mạch điện.

9.6.3. Năng lượng từ trường



Mạch gồm một cuộn dây, một khóa K nối với nguồn một chiều. Giả sử ban đầu, mạch đã được đóng kín, trong mạch có dòng điện không đổi I. Khi ấy toàn bộ điện năng do nguồn sinh ra đều biến thành nhiệt. Điều này đúng khi trong mạch có dòng điện không đổi, nhưng không đúng trong lúc đóng hoặc ngắt mạch. Thực vậy khi K đóng, dòng điện I trong mạch tăng dần từ giá trị không đến giá trị ổn định, trong quá trình ấy trong mạch xuất hiện dòng điện tự cảm Ic ngược chiều dòng chính I làm cho dòng điện toàn phần ở trong mạch nhỏ hơn dòng mạch chính I. Như vậy chỉ có một phần điện năng do nguồn sinh ra là biến thành nhiệt mà thôi. Ngược lại khi K mở, dòng điện trong mạch chính giảm đột ngột từ giá trị I về không. Do đó trong mạch xuất hiện dòng tự cảm cùng chiều với dòng điện đó, làm cho dòng điện toàn phần trong mạch lớn lên và giảm chậm lại, nhiệt lượng tỏa ra trong mạch lúc này lớn hơn năng lượng do nguồn điện sinh ra. Vậy rõ ràng là, khi đóng mạch, một phần điện năng do nguồn điện sinh ra được tiềm tàng dưới một dạng năng lượng nào đó, để khi ngắt mạch, phần năng lượng này tỏa ra dưới dạng nhiệt trong mạch. Vì khi đóng mạch, dòng điện trong mạch tăng thì từ trường trong ống cũng tăng theo, cho nên phần năng lượng được tiềm tàng đó chính là từ trường của ống dây điện.

Áp dụng định luật Ohm cho mạch điện trong quá trình dòng điện đang được thành lập, ta có:

$$\varepsilon + \varepsilon_{TC} = Ri,$$

mà $\varepsilon_{TC} = -L \, . \, \dfrac{dI}{dt} \Leftrightarrow \varepsilon - L \, . \, \dfrac{dI}{dt} = Ri.$

Nhân cả 2 vế với i.dt ta có:

$$\varepsilon i.dt - Li.di = Ri^2.dt,$$

$$\varepsilon i.dt = Li.di + Ri^2.dt,$$

$Li.di$: Năng lượng chuyển hoá thành năng lượng từ trường

Ri^2dt : Nhiệt lượng sinh ra

εidt : Năng lượng từ trường do nguồn.

Vậy dW =Lidi, nên $W = \int_0^I Lidi = \dfrac{LI^2}{2}.$ (9.28)

9.6.4. Mật độ năng lượng từ trường

Thực nghiệm đã chứng tỏ năng lượng từ trường được phân bố trong khoảng không gian của từ trường.

$$w = \frac{W}{V}, \tag{9.29}$$

w : Mật độ năng lượng từ trường

W: Năng lượng từ trường

V: Thể tích không gian từ trường

$W = \dfrac{1}{2}\dfrac{LI^2}{V} = \dfrac{1}{2}\dfrac{LI^2}{\ell S}$ mà $L = \dfrac{\mu\mu_o N^2 S}{\ell}$,

ta được: $w = \dfrac{1}{2}\dfrac{\mu\mu_0 N^2 I^2}{\ell^2}$. N: Số vòng dây

n_o: mật độ vòng dây,

mà $B = \mu\mu_0 n_0 I$. Vậy $w = \frac{1}{2}\frac{B}{\mu\mu_0} = \frac{1}{2}\vec{B}\vec{H}.$ (9.30)

9.6.5. Năng lượng của từ trường bất kỳ

$$dW = wdV = \frac{BH}{2}dV \rightarrow W = \int \frac{1}{2}BHdV. \quad (9.31)$$

BÀI TẬP

Bài 1. Hai dòng điện thẳng dài vô hạn có cường độ $I_1 = I_2 = 5A$ được đặt vuông góc với nhau và cách nhau một đoạn AB =2cm. Xác định véc tơ cường độ từ trường tại M nằm trong mặt phẳng chứa I_1 và vuông góc với I_2 cách I_1 một đoạn MA=1cm .

Bài 2. Một thanh dây dẫn thẳng dài l=10cm, chuyển động với vận tốc v=15m/s trong một từ trường đều có B=0,1 T. Tìm suất điện động cảm ứng xuất hiện trong thanh dây dẫn biết phương đường sức từ, phương dịch chuyển luôn vuông góc với nhau.

Bài 3. Hai dây dẫn thẳng dài vô hạn đặt song song trong không khí cách nhau khoảng d=6cm có các dòng điện I_1=1A và I_2 =2A đi qua. Hai dòng này ngược nhau. Định vị trí những điểm có cảm ứng từ tổng hợp bằng 0.

Bài 4. Dây dẫn chiều dài l=20cm chuyển động với vận tốc v = 18 km/h theo phương vuông góc với véc tơ cảm ứng từ trường đều có cường độ từ trường =0,5 T.

Tính từ thông qua diện tích mà dây quét trong thời gian 1s và suất điện động xuất hiện ở hai đầu dây .

Bài 5. Máy bay có chiều dài l = 50 m bay theo phương ngang với vận tốc v = 720 km/h. Biết thành phần thẳng đứng của cảm ứng từ Trái Đất có giá trị 5.10^{-5} T.

a. Tìm hiệu điện thế xuất hiện ở hai đầu cánh.

b. Có thể dùng vôn kế trên máy bay đo hiệu điện thế này để suy ra vận tốc máy bay được không ? Vì sao?

Bài 6. Một dây dẫn vô hạn mang dòng điện I = 10A được uốn như hình vẽ. Hãy xác định véc tơ từ trường do dòng điện gây ra tại điểm *P* trên mỗi hình. Biết R = 20cm.