CHƯƠNG 10

TỪ TRƯỜNG CỦA DÒNG ĐIỆN KHÔNG ĐỔI

Chương này nghiên cứu từ trường do dòng điện không đổi gây ra, tác dụng giữa các dòng điện, và tác dụng của từ trường lên dòng điện. Nhờ đó, chúng ta ta sẽ hiểu được nguyên tắc hoạt động của các dụng cụ và thiết bị điện dựa trên tính chất từ của dòng điện.

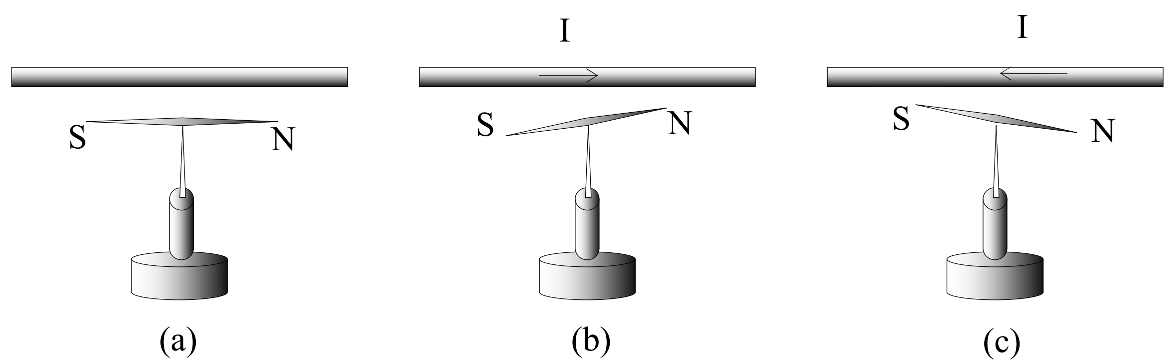
10.1. TƯƠNG TÁC TỪ CỦA DÒNG ĐIỆN. ĐỊNH LUẬT AMPÈRE

10.1.1. Thí nghiệm về tương tác từ

a. Tương tác từ giữa các nam châm

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*.

b. Tương tác giữa dòng điện với nam châm

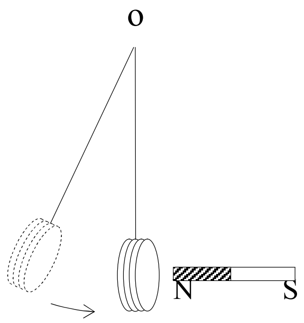


Hình 10-1.Tác dụng của dòng điện lên kim nam châm

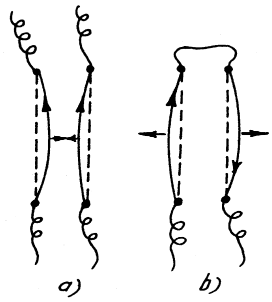
Thí nghiệm chứng tỏ *dòng điện cũng có từ tính như nam châm,* nghĩa là dòng điện có thể hút hoặc đẩy nam châm và ngược lại nam châm cũng có thể hút hoặc đẩy dòng điện. Thật vậy, ta đặt một kim nam châm gần một dây dẫn, song song với dây dẫn chưa có dòng điện (Hình 10-1a). Khi cho dòng điện chạy qua, kim nam châm quay lệch đi so với phương ban đầu (Hình10-1b). Nếu đổi chiều dòng điện, kim nam châm cũng lệch nhưng theo chiều ngược lại (Hình 10-1c).

Sau đó, ta đặt một nam châm gần một dây dẫn. Khi cho dòng điện chạy qua dẫn, nam châm sẽ hút hoặc đẩy dây dẫn tuỳ theo chiều của dòng điện. Thay dây dẫn bằng một cuộn dây dẫn có dòng điện chạy qua, ta cũng thu được kết quả tương tự (Hình 10-2).

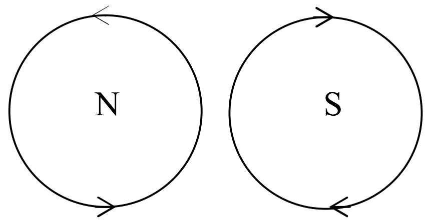
Khi chỉ có các dòng điện với nhau, chúng cũng tương tác với nhau. Thật vậy, thí nghiệm chứng tỏ: hai dây dẫn thẳng song song nhau, ở gần nhau, khi trong chúng có dòng điện cùng chiều chạy qua thì chúng hút nhau, khi trong chúng có dòng điện chạy ngược chiều nhau thì chúng đẩy nhau (Hình 10-3). Hai ống dây điện cũng hút nhau hoặc đẩy nhau tuỳ theo dòng điện ở hai đầu của chúng cùng chiều hay ngược chiều nhau. Mỗi cuộn dây như vậy tương đương với một nam châm: đầu cuộn dây nào mà khi nhìn vào, ta thấy có dòng điện chạy ngược chiều quay của kim đồng hồ thì đó là cực bắc (N) của nam châm, còn ngược lại thì đó là cực nam S (Hình 10-4). Vì thế người ta gọi ống dây có dòng điện là *nam châm điện.*



Hình 10-2
Nam châm tác dụng lên dòng điện



Hình10-3
Tác dụng giữa hai dòng điện



Hình 10-4
Cực bắc (N), cực nam (S) của nam châm điện

Kết luận

Qua các thí nghiệm trên, người ta kết luận: *tương tác giữa các dòng điện cũng là tương tác từ.*

10.1.2. Định luật Ampe (Ampère)

Để thuận lợi cho việc xác định lực từ, Ampère đưa ra khái niệm *phần tử dòng điện, gọi tắt là phần tử dòng.* Phần tử dòng điện là một đoạn rất ngắn của dòng điện. Về mặt toán học, người ta biểu diễn nó bằng một vectơ $I\vec{dl}$ nằm ngay trên phần tử dây dẫn, có phương chiều là phương chiều của dòng điện, và có độ lớn Idl (hình 10-5a).

Ta giả sử xét hai dòng điện hình dạng bất kỳ, có cường độ lần lượt là I, và I_0. Trên hai dòng điện đó, ta lấy hai phần tử dòng bất kỳ $I.\vec{dl}$ và $I_0\vec{dl_0}$ (hình 10-5b) có vị trí tương ứng là O và M. Đặt $\vec{r} = \vec{OM}$ và gọi θ là góc giữa phần tử $I.\vec{dl}$ và vectơ $\vec{r}$. Vẽ mặt phẳng P chứa $I.\vec{dl}$ và điểm M. Vẽ pháp tuyến $\vec{n}$ đối với mặt phẳng P tại M ($\vec{n}$ phải có chiều sao cho ba vectơ $I.\vec{dl}$, $\vec{r}$ và $\vec{n}$ theo thứ tự đó hợp thành một tam diện thuận). Gọi θ_0 là góc giữa phần tử dòng $I_0\vec{dl_0}$ và $\vec{n}$.

Từ khái niệm phần tử dòng, và với cách bố trí như trên, định luật thực nghiệm của Ampère phát biểu như sau:

Từ lực do phần tử dòng điện $I.\vec{dl}$ tác dụng lên phần tử dòng $I_0\vec{dl_0}$ là một vectơ $d\vec{F}$

- Có phương vuông góc với mặt phẳng chứa phần tử dòng $I_0\vec{dl_0}$ và pháp tuyến $\vec{n}$,
- Có chiều sao cho ba vectơ $I_0\vec{dl_0}$, $\vec{n}$, và $d\vec{F}$ theo thứ tự đó hợp thành một tam diện thuận,
- Có độ lớn bằng

$$dF = \frac{\mu_0\mu}{4\pi}\,\frac{I.dl.\sin\theta.I_0.dl_0.\sin\theta_0}{r^2} \qquad (10\text{-}1)$$

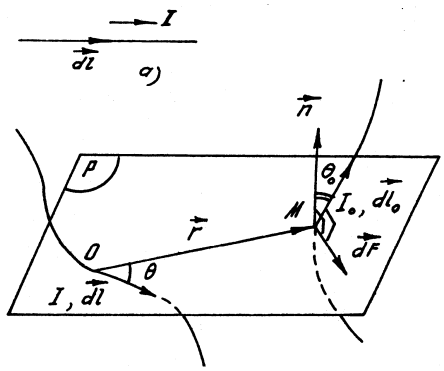
Với:

- μ_0 là một hằng số gọi là *hằng số từ,* trong hệ đơn vị *SI* nó có giá trị bằng:

$$\mu_0 = 4\pi.10^{-7}\ \text{H/m}\ \left(\frac{Henry}{met}\right) \qquad (10\text{-}2)$$

- μ là một số không thứ nguyên, phụ thuộc vào tính chất của môi trường bao quanh các phần tử dòng, được gọi là *độ từ thẩm của môi trường* hay là độ từ thẩm tỉ đối của môi trường so với chân không; Để đơn giản, ta gọi là *độ từ thẩm* của môi trường.

Với chân không μ=1, với không khí $\mu = 1+0{,}03.10^{-6}$, với nước: $\mu = 1- 0{,}72.10^{-6}$



Hình 10-5

Tương tác giữa phần tử dòng $I.\,d\vec{l}$ và phần tử dòng $I_0 d\vec{l}_0$

Vì μ của không khí gần bằng 1 nên trong những trường hợp không yêu cầu độ chính xác cao, có thể coi không khí có $\mu = 1$, tức là có thể coi các thí nghiệm về tương tác từ tiến hành trong không khí như là được thực hiên trong chân không.

Phát biểu định luật Ampère trên đây cũng có thể biểu diễn bằng biểu thức sau:

$$d\vec{F} = \frac{\mu_0\mu}{4\pi}.\frac{I_0 d\vec{l}_0 \wedge (Id\vec{l} \wedge \vec{r}\,)}{r^3}, \qquad (10\text{-}3)$$

Một cách tương tự, lực $d\vec{F}'$ do phần tử dòng $I_0 d\vec{l}_0$ *tác dụng lên phần tử dòng* $I.\,d\vec{l}$:

$$d\vec{F}' = \frac{\mu_0\mu}{4\pi}.\frac{Id\vec{l} \wedge (I_0 d\vec{l}_0 \wedge \vec{r}\,')}{r^3} \qquad (10\text{-}4)$$

và có độ lớn:

$$dF' = \frac{\mu_0\mu}{4\pi}\,\frac{I_0.dl_0.\sin\theta_0'.I.dl.\sin\theta'}{r^2} \qquad (10\text{-}5)$$

Trong công thức này:

- Vectơ $\vec{r}\,' = -\vec{r}$, cùng độ lớn nhưng ngược chiều với $\vec{r}$, r' = r.
- Góc θ_0' là góc giữa $I_0 d\vec{l}_0$ với $\vec{r}\,'$,
- Còn góc θ' là góc giữa vectơ $I.\,d\vec{l}$ với vectơ tích $I_0 d\vec{l}_0 \wedge \vec{r}\,'$.

<u>Chú ý:</u>

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.

Ta thấy hai lực $d\vec{F}$ và $d\vec{F}'$ không tuân theo định luật Newton III. Định luật Ampère phát biểu đối với phần tử dòng điện. Trong thực tế, ta chỉ có các dòng điện hữu hạn tương tác với nhau. Để xác định lực tác dụng của một dòng điện lên một dòng điện khác, ta 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, ta sẽ được $\vec{F}' = -\vec{F}$, tức là đối với tương tác giữa hai dòng điện hữu hạn, định luật Newon III vẫn nghiệm đúng. Thật vậy, các tính toán dựa vào định luật Ampère đối với tương tác giữa các dòng điện hữu hạn đều cho kết quả phù hợp với thực nghiệm và thoả mãn định luật Newton thứ III.

10.2. VECTƠ CẢM ỨNG TỪ, VECTƠ CƯỜNG ĐỘ TỪ TRƯỜNG

10.2.1. Khái niệm từ trường

Ta đã biết rằng, hai dòng điện ở cách nhau một khoảng nào đó trong chân không vẫn hút nhau hoặc đẩy nhau với một từ lực nào đó. Vậy có cần một môi trường nào đó đóng vai trò truyền lực tương tác từ dòng điện này lên dòng điện kia hay không?

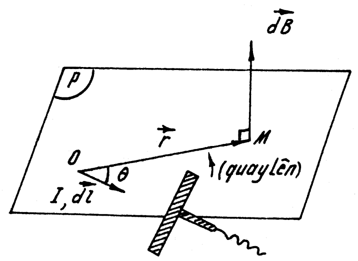
Người ta lập luận tương tự như với điện trường và thừa nhận rằng: dòng điện tạo ra trong không gian bao quanh nó *một dạng vật chất đặc biệt, gọi là từ trường*. Chính thông qua từ tường mà từ lực được truyền từ dòng điện này tới dòng điện khác. Tính chất cơ bản của từ trường là nó tác dụng lên bất kỳ dòng điện nào đặt trong nó.

Nhờ đó, ta có thể giải thích được sự tương tác giữa các dòng điện như sau: Khi có một dòng điện I_1, nó tạo ra xung quanh nó một từ trường. Nếu đặt một dòng điện I_2 khác vào từ trường của I_1, từ trường của I_1 sẽ tác dụng lên dòng điện I_2 một lực, ngược lại I_2 cũng tạo ra xung quanh nó một từ trường, từ trường này cũng tác dụng lên I_1 một từ lực. Kết quả là hai dòng điện này tương tác nhau thông qua từ trường của chúng.

10.2.2. Các đại lượng đặc trưng cho từ trường

a. Vectơ cảm ứng từ

Giả sử ta xét từ trường do phần tử dòng $I.\,d\vec{l}$ gây ra tại một điểm M cách nó một đoạn r (hình 10-6).



Hình 10-6

Cảm ứng từ gây bởi phần tử dòng

Từ biểu thức định luật Ampère về tương tác giữa hai phần tử dòng điện, ta có nhận xét: vectơ

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0\mu}{4\pi}.\frac{Id\vec{l} \wedge \vec{r}}{r^3} \qquad (10\text{-}6)$$

chỉ phụ thuộc vào:

- Phần tử dòng điện $I.\,d\vec{l}$, là phần tử gây ra từ trường,
- Bán kính vectơ $\vec{r}$ và μ, tức là vào vị trí của điểm M trong từ trường của $I.\,d\vec{l}$, tại đó ta đặt phần tử dòng điện $I_0 d\vec{l}_0$, *mà không phụ thuộc vào phần tử dòng điện* $I_0 d\vec{l}_0$.

Vậy vectơ $d\vec{B}$ được xác định theo (10-6), là vectơ đặc trưng về mặt tác dụng lực cho từ trường tại điểm M gây bởi phần tử dòng $I.\,d\vec{l}$, và được gọi là *vectơ cảm ứng từ* do phần tử dòng $I.\,d\vec{l}$ gây ra tại M.

Biểu thức (10-6) được gọi là định luật Biot-Xavart-Laplace, có thể phát biểu như sau:

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

- ***độ lớn*** $$dB = \frac{\mu_0\mu}{4\pi}.\frac{Idl\sin\theta}{r^2} \qquad (10\text{-}7)$$

(θ là góc giữa vectơ $I.\,d\vec{l}$ và vectơ $\vec{r}$)

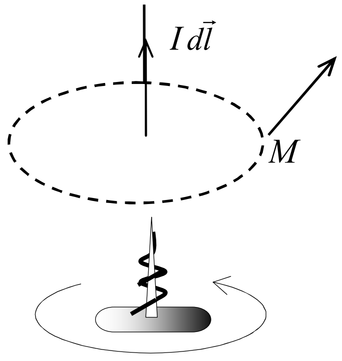
- ***phương*** *vuông góc với mặt phẳng chứa phần tử dòng điện* $I.\,d\vec{l}$ *và điểm M;*

- ***chiều*** *sao cho ba vectơ* $I.\,d\vec{l}$ *,* $\vec{r}$ *và* $d\vec{B}$ *theo thứ tự đó hợp thành tam diện thuận ;*

- ***gốc*** *tại điểm M.*

Người ta cũng có thể xác định chiều của vectơ $d\vec{B}$ bằng qui tắc vặn nút chai như sau:
Đặt cái vặn nút chai theo phương của dòng điện, nếu quay cái vặn nút chai sao cho nó tiến theo chiều của dòng điện thì chiều quay của nó sẽ chỉ chiều của vectơ cảm ứng từ tại điểm đó (hình 10-7).

Trong hệ đơn vị SI, cảm ứng từ được tính bằng đơn vị *Tesla* (ký hiệu là T), sẽ được định nghĩa sau này, từ công thức (10-26) ở mục §3.



Hình 10-7
Xác định vectơ $d\vec{B}$
theo qui tắc vặn nút chai

Từ định luật Ampère (10-3) và định luật Biot-Savart-Laplace (10-6) ta suy ra lực do phần tử dòng $I.\,d\vec{l}$ tác dụng lên phần tử dòng $I_0 d\vec{l}_0$ được xác định bằng công thức:

$$d\vec{F} = I_0 d\vec{l}_0 \wedge d\vec{B} \qquad (10\text{-}8)$$

b. Nguyên lý chồng chất từ trường

Giống như điện trường, từ trường cũng tuân theo nguyên lý chồng chất: *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 tổnghợp 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.* Tức là:

$$\vec{B} = \int_{(Ca\ dong)} d\vec{B} \qquad \text{(Tích phân lấy theo cả dòng điện)} \qquad (10\text{-}9)$$

Nếu từ trường do nhiều dòng điện gây ra thì theo nguyên lý chồng chất từ trường:
Vectơ cảm ứng từ tại một điểm M trong từ trường do nhiều dòng điện gây ra bằng tổng hợp các véctơ cảm ứng từ do tất cả các dòng điện gây ra tại điểm đó.

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + ...+ \vec{B}_n = \sum_{i=1}^{n} \vec{B}_i \qquad (10\text{-}10)$$

c. Vectơ cường độ từ trường

Ngoài vectơ cảm ứng từ $\vec{B}$ người ta còn đưa ra vectơ cường độ từ trường $\vec{H}$, được định nghĩa bởi biểu thức sau:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu\mu_0} \qquad (10\text{-}11)$$

Định nghĩa này chỉ đúng đối với môi trường đồng nhất và đẳng hướng. Theo (10-6), vectơ $\vec{B}$ phụ thuộc bậc nhất vào μ do đó theo (10-11), $\vec{H}$ không phụ thuộc vào μ. Điều đó có nghĩa là vectơ $\vec{H}$ đặc trưng cho từ trường do riêng dòng điện gây ra và không phụ thuộc vào tính chất của môi trường chứa dòng điện. Do đó cường độ từ trường không biến đổi đột ngột khi chuyển từ môi trường này sang môi trường khác (có μ khác nhau). Vì lẽ đó, các đường sức của vectơ $\vec{H}$ đi liên tục từ môi trường này sang môi trường khác có độ từ thẩm μ khác nhau.

Trong hệ đơn vị SI, đơn vị cường độ từ trường là $\frac{Ampe}{met}$ (ký hiệu là *A/m*). Đơn vị này sẽ được định nghĩa ở mục dưới đây (10-15).

10.2.3. Xác định vectơ cảm ứng từ $\vec{B}$ và cường độ từ trường $\vec{H}$

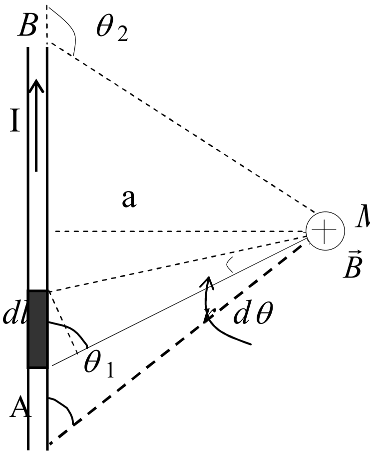
Sau đây ta sẽ xét một vài ví dụ tính cảm ứng từ $\vec{B}$ và véctơ $\vec{H}$.

a. Từ trường của dòng điện thẳng

Xét một đoạn dây dẫn thẳng AB, có dòng điện I chạy qua (Hình 10-8). Hãy xác định véctơ cảm ứng từ $\vec{B}$ và véctơ $\vec{H}$ do dòng điện đó gây ra tại một điểm M nằm cách dòng điện một khoảng a. Ta tưởng tượng chia AB thành những phần tử nhỏ, có chiều dài *dl*.

Theo định luật Biot-Savart-Laplace, vectơ cảm ứng từ $d\vec{B}$ do phần tử dòng $I.d\vec{l}$ gây ra tại điểm M có phương vuông góc với mặt phẳng chứa M và $I.d\vec{l}$ (mặt phẳng hình vẽ) và có độ lớn:

$$dB = \frac{\mu_0\mu}{4\pi}.\frac{Idl\sin\theta}{r^2}$$



Hình 10-8
Để xác định vectơ cảm ứng từ của dòng điện thẳng

Theo nguyên lý chồng chất từ trường, vectơ $\vec{B}$ do dòng điện trong đoạn mạch AB gây ra tại M bằng tổng hợp các vectơ $d\vec{B}$ do tất cả các phần tử dòng của đoạn AB gây ra:

$$\vec{B} = \int_{AB} d\vec{B} \qquad (10\text{-}12)$$

Vì trong trường hợp này, tất cả các vectơ $d\vec{B}$ có cùng phương chiều (vuông góc với mặt phẳng hình vẽ và hướng vào), nên $\vec{B}$ cũng có phương chiều như $d\vec{B}$ và có độ lớn:

$$B = \int_{AB} \frac{\mu_0\mu}{4\pi}\frac{Idl.\sin\theta}{r^2}$$

Thay $\sin\theta.dl \approx rd\theta$ và $r = \frac{a}{\sin\theta}$ vào biểu thức dưới dấu tích phân trên đây, ta được:

$$B = \frac{\mu_0\mu I}{4\pi a}\int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin\theta d\theta$$

Sau khi thực hiện tích phân, ta được:

$$B = \frac{\mu_0\mu}{4\pi a} I(\cos\theta_1 - \cos\theta_2) \qquad (10\text{-}13)$$

Nếu dòng điện thẳng dài vô hạn, ta có: $\theta_1 = 0$, $\theta_2 = \pi$, và từ (11-13) ta tính được:

$$B = \frac{\mu_0\mu I}{2\pi a} \qquad (10\text{-}14)$$

và suy ra:

$$H = \frac{I}{2\pi a} \qquad (10\text{-}15)$$

Trong hệ đơn vị SI, người ta dựa vào công thức (11-15) để định nghĩa đơn vị của cường độ từ trường là A/m. Trong công thức (11.15), nếu cho I = 1A, chu vi đường tròn bán kính a bằng 2π a =1mét thì:

$$H = \frac{1Ampe}{1met} = 1\ \frac{A}{m}$$

Vậy ta có định nghĩa như sau: *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.*

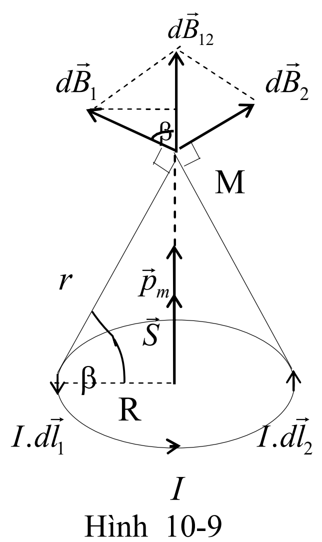
b. Dòng điện tròn

Ta hãy xác định véctơ $\vec{B}$ và $\vec{H}$ do dòng điện cường độ I chạy trong dây dẫn hình tròn bán kính R gây ra tại điểm M nằm trên trục của dòng điện, cách tâm O của dòng điện một khoảng h (Hình 10-9).

Ta có nhận xét, do tính đối xứng của dòng điện tròn, bao giờ cũng có thể chọn được những cặp phần tử dl_1 và dl_2 có chiều dài bằng nhau và nằm đối xứng với nhau qua tâm O của vòng tròn. Do đó các vectơ cảm ứng từ $d\vec{B}_1$ và $d\vec{B}_2$ do hai phần tử dòng $I.d\vec{l}_1$ và $I.d\vec{l}_2$ gây ra tại M sẽ đối xứng với nhau qua trục của dòng điện. Do đó tổng hợp hai vectơ này ta được 1 vectơ $d\vec{B}_{12}$:

$$d\vec{B}_{12} = d\vec{B}_1 + d\vec{B}_2$$

nằm trên trục của dòng điện, do đó vectơ $\vec{B}$ do cả dòng điện gây ra tại M cũng nằm trên trục ấy. Ta suy ra: cảm ứng từ tổng hợp do cả dòng điện tròn gây ra tại M:



Hình 10-9
Để xác định cảm ứng từ gây bởi dòng điện tròn

$$B = \int_{ca\ dong\ dien} dB_n,$$

trong đó

$$dB_n = \frac{\mu_0\mu}{4\pi}.\frac{Idl\sin\theta}{r^2}\cos\beta$$

dB_n là hình chiếu của $d\vec{B}$ lên trục của dòng điện do một phần tử dòng $I.dl$ gây ra tại M, β là góc giữa $d\vec{B}$ với trục của dòng điện. Trong đó $\theta = \frac{\pi}{2}$, $\sin\frac{\pi}{2} = 1$, $\cos\beta = \frac{R}{r}$. Do đó:

$$B = \int_{ca-dong-dien} \frac{\mu.\mu_0}{4\pi}.R\frac{I.dl}{r^3} = \frac{\mu_o\mu RI}{4\pi r^3}\oint_{ca\ dong\ dien} dl$$

$$= \frac{\mu.\mu_0.R.I}{4\pi r^3}2\pi R = \frac{\mu.\mu_0 I}{2\pi r^3}(\pi R^2)$$

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

Trong đó S = π.R^2 là diện tích bao bởi dòng điện tròn; $r = (R^2 + h^2)^{1/2}$.

Gọi vectơ $\vec{S}$ là vectơ nằm trên trục của dòng điện, có cường độ bằng S, có chiều là chiều tiến của cái vặn nút chai khi ta quay cán của nó theo chiều của dòng điện.

Như vậy vectơ $\vec{B}$ và $\vec{S}$ cùng chiều nhau. Khi đó có thể biểu diễn vectơ $\vec{B}$ như sau:

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

Tại tâm của dòng điện, h = 0 do đó:

$$\vec{B} = \frac{\mu.\mu_0 I.\vec{S}}{2\pi R^3}.$$

Để đặc tưng cho tính chất từ của dòng điện tròn, người ta đưa ra vectơ *mômen từ của dòng điện tròn* $\vec{p}_m$, được xác định bởi biểu thức:

$$\vec{p}_m = I.\vec{S}, \qquad (10\text{- }16)$$

trong đó $\vec{S}$ là vec tơ diện tích của dòng điện đã được xác định như trên. Theo đó, $\vec{p}_m$ cùng hướng với $\vec{B}$. Khi đó, vectơ $\vec{B}$ được xác định bởi:

$$\vec{B} = \frac{\mu.\mu_0}{2\pi(R^2 + h^2)^{3/2}}.\vec{p}_m \qquad (10\text{-}17)$$

Vì thế vectơ $\vec{p}_m$ đặc trưng cho tính chất từ của dòng điện tròn.

c. Từ trường gây bởi hạt điện tích chuyển động

Trong mục §2.2 ta đã biết phần tử dòng $Id\vec{l}$ gây ra từ trường có vectơ cảm ứng từ $d\vec{B}$ được xác định bởi định luật Biot-Savart-Laplace: $d\vec{B} = \frac{\mu_0\mu}{4\pi}.\frac{Id\vec{l} \wedge \vec{r}}{r^3}$.

Gọi *dS* là diện tích đáy của phần tử dòng dài *dl*, thể tích của phần tử dòng là *dV=dS.dl,* n_o là mật độ hạt điện trong phần tử dòng, số hạt trong cả phần tử dòng là $n=n_o dV$. Chú ý các mối liên hệ đã biết từ chương X: $I=jdS_n$, và $j= n_o qv$, ta có thể viết:

$$Id\vec{l} = jdS_n.d\vec{l} = n_o qvdS_n.d\vec{l}$$

Vì vận tốc chuyển động có hướng của hạt điện dương $\vec{v}$ cùng chiều với $d\vec{l}$ nên ta có thể hoán vị $\vec{v}$ với $d\vec{l}$ và có thể viết:

$$Id\vec{l} = n_o.qdS_n.dl\vec{v} = n_o.q.dV.\vec{v} = n.q\vec{v},$$

trong đó *dV=dS.dl* là thể tích của phần tử dòng, $n=n_o dV$ là số hạt điện trong thể tích dV của phần tử dòng.

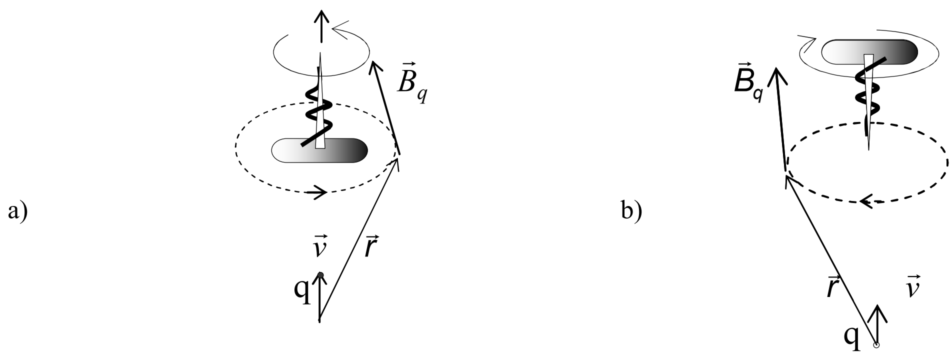
Tóm lại, ta thu được: $\quad Id\vec{l} = n.q\vec{v}. \qquad (10\text{-}18)$

Từ đó, ta tìm được vectơ cảm ứng từ gây bởi một hạt điện chuyển động với vận tốc:

$$\vec{B}_q = \frac{d\vec{B}}{n} = \frac{1}{n}\frac{\mu_0\mu}{4\pi}.\frac{Id\vec{l} \wedge \vec{r}}{r^3} = \frac{1}{n}\frac{\mu_0\mu}{4\pi}.\frac{n.q.\vec{v} \wedge \vec{r}}{r^3}$$

$$\vec{B}_q = \frac{\mu_0\mu}{4\pi}.\frac{q.\vec{v} \wedge \vec{r}}{r^3} \qquad (10\text{-}19)$$

Nếu q> 0, vectơ $\vec{B}_q$ có chiều sao cho 3 vectơ $\vec{v}, \vec{r}, \vec{B}_q$ theo thứ tự đó hợp thành tam diện thuận. Nếu q<o thì vectơ $\vec{B}_q$ có chiều ngược với $\vec{B}_q$ do điện tích dương gây ra (Hình 10-10b). Điều này tương đương với việc quay cái vặn nút chai để nó tiến theo chiều ngược với vận tốc $\vec{v}$, chiều quay của cán cái vặn nút chai sẽ chỉ chiều của $\vec{B}_q$.



Hình 10-10. Vectơ cảm ứng từ $\vec{B}_q$ do điện tích q chuyển động gây ra: a) q>0, b) q<0

10.3. TỪ THÔNG - ĐỊNH LÝ ÔXTRÔGRATSKI-GAUSS ĐỐI VỚI TỪ TRƯỜNG

10.3.1. Đường cảm ứng từ

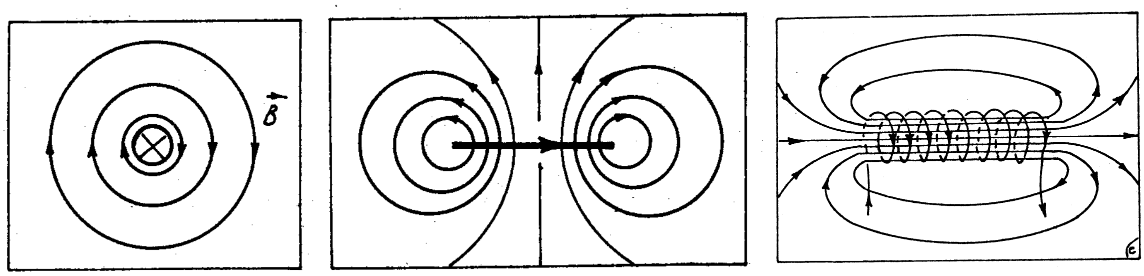
Nói chung, trong từ trường, vectơ cảm ứng từ thay đổi theo vị trí, để có một hình ảnh khái quát nhưng cụ thể về từ trường, người ta đưa ra khái niệm về đường cảm ứng từ.

Định nghĩa

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, *các đường cảm ứng từ là những đường cong kín.*

Người ta qui ước vẽ số đường cảm ứng từ qua một đơn vị diện tích vuông góc với



a) b) c)

Hình 10-11. Từ phổ: a) của dòng điện thẳng, b) của dòng điện tròn
c) của ống dây điện

phương của vectơ cảm ứng từ có trị số tỷ lệ với độ lớn B của vectơ $\vec{B}$. Nếu gọi $d\phi$ là số đường cảm ứng qua diện tích dS_n vuông góc với vectơ cảm ứng từ $\vec{B}$ thì theo qui ước trên ta viết được:

$$d\phi = BdS_n \qquad (10\text{-}20)$$

Tập hợp các đường cảm ứng từ của một từ trường được gọi là *từ phổ*. Để có từ phổ của một dòng điện thẳng, ta rắc vụn sắt nhỏ lên trên một tấm bìa cứng có dòng điện xuyên qua vuông góc với bìa. Dưới tác dụng của từ trường do dòng điện gây ra, các vụn sắt sẽ trở thành những thanh nam châm nhỏ. Gõ nhẹ vào tấm bìa, các nam châm nhỏ sẽ sắp xếp lại theo phương của vectơ cảm ứng từ và cho ta hình ảnh của từ phổ. Từ phổ cho ta biết một cách khái quát nhưng cũng tương đối đầy đủ sự biến đổi của từ trường từ điểm này qua điểm khác. Hình (10-11) cho ta từ phổ của một số dòng điện: thẳng, tròn, ống dây điện.

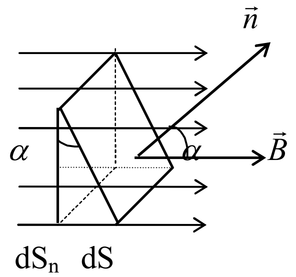
Từ trường đều là từ trường trong đó vectơ $\vec{B}$ có phương chiều và độ lớn như nhau tại mọi điểm trong từ trường. Như vậy, theo qui ước về cach vẽ đường cảm ứng từ, từ trường đều *có các đường cảm ứng từ song song và cách đều nhau.*

10.3.2. Từ thông

Ta giả sử xét một diện tích rất nhỏ dS sao cho có thể coi vectơ cảm ứng từ $\vec{B}$ tại mọi điểm của diện tích ấy là không đổi (từ trường đều).

Theo định nghĩa: *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.*

Theo qui ước (10-20) và theo định nghĩa của từ thông, ta có thể viết biểu thức từ thông gửi qua diện tích *dS:* $d\phi_m = BdS_n$ (10-21)



Hình 10-12

Để định nghĩa từ thông qua diện tích dS

Từ hình vẽ (10-12) ta thấy dS_n cũng chính là hình chiếu của diện tích *dS* lên phương vuông góc với vectơ $\vec{B}$, do đó:

$$dS_n = dS.\cos\alpha \qquad (10\text{-}22)$$

Gọi $\vec{n}$ là vectơ pháp tuyến đơn vị của diện tich *dS*, góc α hợp bởi hai vectơ $\vec{B}$ và $\vec{n}$ cũng bằng góc giữa diện tích *dS* và hình chiếu dS_n của nó lên phương vuông góc với các đường cảm từ $\vec{B}$. Kết hợp (10-21) với (10-22) và từ các nhận xét trên, ta có thể viết biểu thức từ thông qua diện tích *dS* như sau:

$$d\phi_m = B.dS\cos\alpha = \vec{B}.d\vec{S} \qquad (10\text{-}23)$$

Như vậy, từ thông có thể dương và cũng có thể âm hoặc bằng không tuỳ theo góc α giữa $\vec{B}$ và $d\vec{S}$ là góc nhọn hay góc tù, tức là tùy cách chọn chiều pháp tuyến $\vec{n}$ của *dS*:

$$d\phi_m > 0 \text{ nếu } \alpha < 90^0, \quad d\phi_m < 0 \text{ nếu } \alpha > 90^0, \; d\phi_m = 0 \text{ nếu } \alpha = 90^0.$$

Mặt khác, $B_n = B.\cos\alpha$ là hình chiếu của vectơ $\vec{B}$ lên phương của pháp tuyến $\vec{n}$, do đó cũng có thể viết lại (10-23) như sau:

$$d\phi_m = B.dS\cos\alpha = B_n.dS = \vec{B}.d\vec{S} \qquad (10\text{-}24)$$

Để tính từ thông qua diện tích S hữu hạn, ta chia diện tích đó thành những phần tử vô cùng nhỏ *dS* sao cho có thể coi mỗi phần tử đó là phẳng và trên đó, vectơ $\vec{B}$ không đổi, khi đó từ thông qua *dS* là $d\phi_m = \vec{B}.d\vec{S}$, và từ thông gửi qua toàn bộ diện tích *S* sẽ được tính bằng tổng của các từ thông gửi qua tất cả các phần tử diện tích được chia từ diện tích S ấy:

$$\phi_m = \int_{(S)} \vec{B}.d\vec{S} \qquad (10\text{-}25)$$

Nếu S là một mặt phẳng vuông góc với các đường cảm ứng từ $(\alpha = 0)$ và từ trường là đều ($\vec{B} = \overrightarrow{const}$) thì ta có:

$$\phi_m = \int_{(S)} \vec{B}.d\vec{S} = \mathrm{B}\int_{(\mathrm{S})} \mathrm{dS} = \mathrm{B.S} \qquad (10\text{-}26)$$

Trong hệ đơn vị SI, đơn vị của từ thông là *Vêbe*, ký hiệu là *Wb*. Đơn vị *Vêbe* sẽ được định nghĩa ở chương *cảm ứng điện từ* (chương11).

Từ đơn vị *Vêbe*, người ta định nghĩa đơn vị cảm ứng từ *Tesla* như sau. Trong công thức (10-26), nếu ϕ_m=1Wb, S = 1m^2, $\alpha = 0$ thì:

$$B_n = \frac{\Phi_m}{S} = \frac{1Wb}{1m^2} = 1\frac{Wb}{m^2} = 1Tesla \text{ (T)} \qquad (10\text{-}26b)$$

Vậy: *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.*

10.3.3. Tinh chất xoáy của từ trường

Nghiên cứu từ phổ của từ trường các dòng điện, ta thấy các đường cảm ứng từ là các đường cong kín. Theo định nghĩa tổng quát, một trường có các đường sức khép kín được gọi là một trường xoáy. Vậy từ trường là một *trường xoáy*, hay như người ta thường nói, từ trường có tính chất xoáy.

10.3.4. Định lý Oxtrogratxki - Gauss đối với từ trường

Ta hãy tính từ thông qua một mặt kín S bất kỳ đặt trong từ trường (hình 10-13).

Theo qui ước, đối với mặt kín, người ta chọn chiều dương của pháp tuyến là chiều hướng ra ngoài mặt đó. Vì vậy, từ thông ứng với đường cảm ứng từ đi vào mặt kín là âm (α>90^0, do đó cosα<0 và từ thông âm); từ thông ứng với đường cảm ứng đi ra khỏi mặt kín là dương (α<90^0, do đó cosα>0 và từ thông dương). Do các đường cảm ứng khép kín nên số đường đi vào mặt kín S bằng số đường ra khỏi mặt kín đó. Như vậy từ thông đi vào S có trị số bằng từ thông ra khỏi mặt S đó nhưng ngược dấu nhau, do đ ó:

Từ thông toàn phần gửi qua mặt kín bất kỳ luôn luôn bằng không.

Đó là nội dung của định lý Ôstrôgratski-Gaux.

Công thức biểu diễn định lý O-G như sau:

$$\oint_{(S)} \vec{B}.d\vec{S} = 0 \qquad (10\text{-}27)$$

Định lý O-G nói lên tính chất xoáy của từ trường, *các đường cảm ứng từ là những đường cong kín.* Như vậy trong thiên nhiên *không tồn tại các hạt "từ tích",*

Công thức (10-27) là một trong những công thức cơ bản của điện từ học.

Trong giải tích toán, người ta chứng minh được :

$$\oint_{(S)} \vec{B}.d\vec{S} = \int_{(V)} div\vec{B}.dV \qquad (10\text{-}27')$$

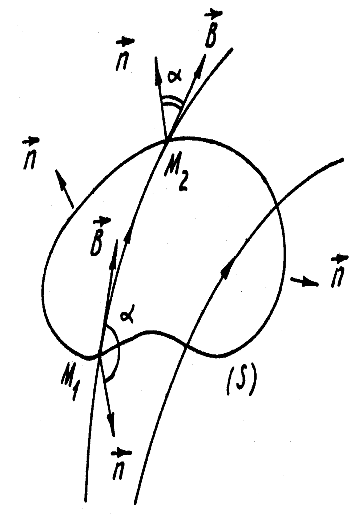
trong đó V là thể tích giới hạn bởi mặt kín S. Từ (10-27) và (10-27') ta suy ra:

$$\int_{(V)} div\vec{B}.dV = 0$$

Vì thể tích V được chọn bất kỳ nên:

$$div\vec{B} = 0 \qquad (10\text{-}28)$$

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



Hình 10-13: Để suy ra định lý O-G đối với từ trường

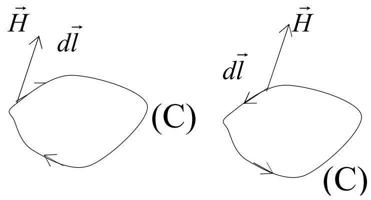
10.4. ĐỊNH LÝ AMPÈRE VỀ DÒNG ĐIỆN TOÀN PHẦN

10.4.1. Lưu số của vectơ cường độ từ trường

Ta tưởng tượng một đường cong (C) nằm trong một từ trường bất kỳ. Lấy trên đường cong đó một đoạn vô cùng nhỏ *dl*, lập một véctơ $\vec{dl}$ có độ dài bằng *dl* có phương trùng với phương của đoạn *dl*, có chiều trùng với chiều dịch chuyển

Giả sử cường độ từ trường trên $\vec{dl}$ là $\vec{H}$ (hình10-14). Người ta định nghĩa: *Lưu số của vectơ cường độ từ trường dọc theo một đường cong kín (C) là đại lượng bằng tích phân vectơ $\vec{H}$ dọc theo toàn bộ đường cong kín đó:*

$$\oint_{(C)} \vec{H}.\vec{dl}$$



(a) (b)

Hình 10-14

a) Lưu số có giá trị dương

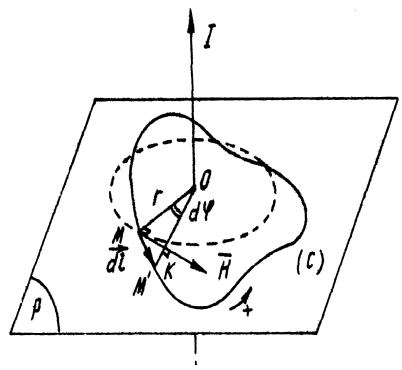
b) Lưu số có giá trị âm

Tích $\vec{H}.\vec{dl}$ là một tích vô hướng, vì thế ta có thể viết lại biểu thức của lưu số như sau:

$$\oint_{(C)} \vec{H}.\vec{dl} = \oint_{(C)} H.dl\cos\alpha = \oint_{(C)} H_l.dl$$

trong đó α là góc hợp bởi hai vectơ $\vec{H}$ và $\vec{dl}$, H_l là hình chiếu của vectơ $\vec{H}$ lên vectơ $\vec{dl}$.

Như vậy nếu α là góc nhọn, tức là nếu chiều dịch chuyển trên đường cong (C) thuận với chiều của các đường sức thì lưu số có giá trị dương, ngược lại nếu α là góc tù tức là chiều dịch chuyển trên đường cong (C) ngược chiều với các đường sức từ thì lưu số có giá trị âm.



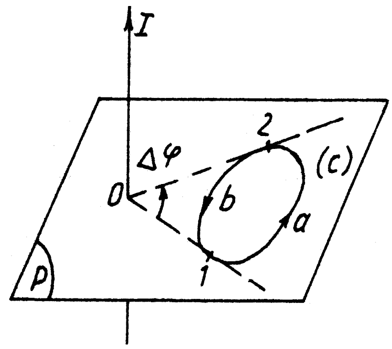
Hình 10-15: Để chứng minh định lý về dòng điện toàn phần

10.4.2. Định lý Ampère về dòng điện toàn phần

Giả sử ta xét từ trường gây bởi một dòng điện thẳng dài vô hạn có cường độ *I*.

Ta lấy một đường sức nằm trong mặt phẳng P vuông góc với dòng điện và một đường cong (C) (đường liền nét) có dạng bất kỳ cũng nằm trong mặt phẳng P (hình 10-15). Tại điểm M bất kỳ trên đường cong (C), cách dòng điện một khoảng r, véctơ cường độ từ trường tại M có trị số:

$$H = \frac{I}{2\pi r}$$



Hình 10-16. Đường cong kín không bao quanh dòng điện

Lưu số của véctơ cường độ từ trường dọc theo (C) là:

$$\oint_{(C)} \vec{H}.\vec{dl} = \oint_{(C)} H.dl.\cos\alpha = \frac{I}{2\pi} \oint_{(C)} \frac{dl.\cos\alpha}{r}$$

Nhưng $dl\cos\alpha \cong r\,d\varphi$, thay vào biểu thức đó, ta được:

$$\oint_{(C)} \vec{H}.d\vec{l} = \frac{I}{2\pi}\oint_{(C)} d\varphi \qquad (10\text{-}29)$$

Nếu (C) là đường cong bao quanh dòng điện, theo biểu thức (10-29) ta có:

$$\oint_{(C)} \vec{H}.d\vec{l} = \frac{I}{2\pi}\oint_{(c)} d\varphi = I \qquad (10\text{-}30)$$

Nếu chiều lấy tích phân trên đường cong (C) cùng chiều đường sức từ, thì kết quả sẽ là *+I*. Nếu chiều lấy tích phân trên đường cong (C) ngược chiều đường sức từ, thì kết quả là -*I.*

Nếu đường cong (C) không bao quanh dòng điện (hình 10-16), ta chia đường cong thành hai phần 1a2 và đoạn 2b1 bằng hai tiếp tuyến O1 và O2 vạch từ dòng điện đến đường cong. Góc giữa O1 và O2 là $\Delta\varphi$. Trên đoạn 1a2, góc giữa $\vec{H}$ và $d\vec{l}$ là góc nhọn, ta có:

$$\int_{(1a2)} d\varphi = \int_0^{\varphi} d\varphi = \Delta\varphi$$

Còn trên đoạn 2b1 góc giữa $\vec{H}$ và $d\vec{l}$ là góc là góc tù, ta có:

$$\int_{(2b1)} d\varphi = \int_{\varphi}^{0} d\varphi = -\Delta\varphi$$

Kết quả:

$$\oint_{(C)} \vec{H}.d\vec{l} = \frac{I}{2\pi}\left(\int_{(1a2)} d\varphi + \int_{(2b1)} d\varphi\right) = \frac{I}{2\pi}(\Delta\varphi - \Delta\varphi) = 0$$

Cuối cùng ta được:

$$\oint_{(C)} \vec{H}.d\vec{l} = 0 \qquad (10\text{-}31)$$

Có thể chứng minh được rằng: trong trường hợp từ trường gây bởi một dòng điện có hình dạng bất kỳ và dường cong kín (C) có hình dạng tuỳ ý, các công thức (10-30) và (10-31) vẫn đúng.

Trường hợp từ trường gây bởi nhiều dòng điện, có cường độ lần lượt là $I_1, I_2, I_3, \ldots I_n$ thì theo nguyên lý chồng chất từ trường, ta có thể viết:

$$\vec{H} = \vec{H}_1 + H_2 + \ldots\ldots + \vec{H}_n$$

Thay tổng này vào biểu thức tích phân (10-30), ta được:

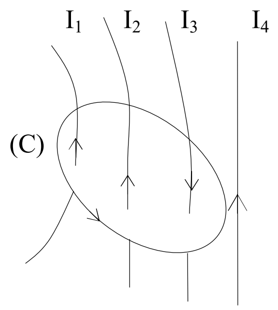
$$\oint_{(C)} \vec{H}.d\vec{l} = \oint_{(C)} (\vec{H}_1 + \vec{H}_2 + \ldots + \vec{H}_n)d\vec{l} = \sum_{k=1}^{n} I_k$$

Biểu thức này là định lý về dòng điện toàn phần (định lý Ampère) phát biểu như sau:

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:

$$\oint_{(C)} \vec{H}.d\vec{l} = \sum_{k=1}^{n} I_k \qquad (10\text{-}32)$$

Trong đó I_k sẽ có dấu dương nếu nó có chiều sao cho đường sức từ trường do nó gây ra cùng chiều với chiều dịch chuyển của dường cong (C), nếu ngược lại thì I_k sẽ có dấu âm.

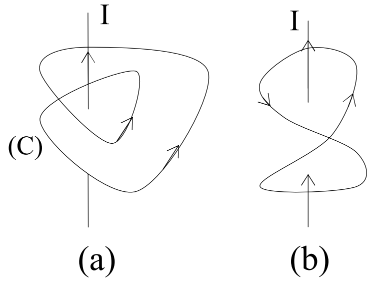


Hình 10-17
Thí dụ tính lưu số của vectơ cường độ từ trường

Ý nghĩa của định lý

Trong điện trường tĩnh, $\oint_{(C)} \vec{E}.d\vec{l} = 0$, các đường sức điện trường là những đường cong không kín, điện trường là trường thế.

Trong từ trường tích phân $\oint_{(C)} \vec{H}.d\vec{l} = \sum_{i=1}^{n} I_k$ nói chung là khác không. Điều này có nghĩa là từ trường không phải là trường thế, mà là một *trường xoáy*.



Hình 10-18.
Đường cong bao quanh dòng điện nhiều lần

Chú ý:

+ Trong tổng các dòng điện, không cần chú ý đến những dòng điện không xuyên qua diện tích giới hạn bởi đường cong kín.

+ Nếu đường cong kín bao quanh dòng điện nhiều lần thì phải chú ý đến dấu của cường độ dòng điện đối với mỗi vòng dịch chuyển trên đường cong đó.

Thí dụ (Hình 10-17) xuyên qua đường cong (C) có các dòng điện: $I_1 = 4A$, $I_2 = 2A$, $I_3 = 3A$, $I_4 = 5A$.

Áp dụng định lý Ampère ta tính được:

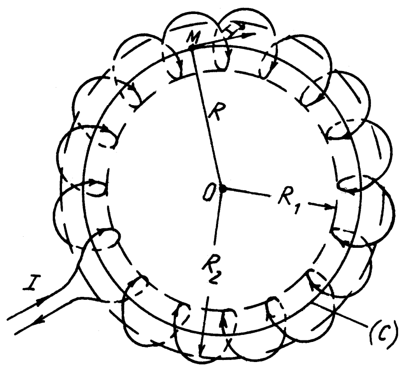
$$\oint_{(C)} \vec{H}.d\vec{l} = 4 + 2 - 3 = 3A.$$

Trường hợp hình (10-18a), ta được:

$$\oint_{(C)} \vec{H}.d\vec{l} = 2I$$

Trường hợp hình (10-18b), ta được:

$$\oint_{(C)} \vec{H}.d\vec{l} = 0$$



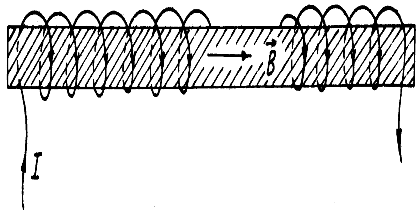
Hình 10-19
Cuộn dây điện hình xuyến

10.4.3. Ứng dụng định lý Ampère

Định lý về dòng điện toàn phần cho phép ta tính được một cách nhanh chóng cường độ trường H và cảm ứng từ B của một số dòng điện.

a. Cuộn dây hình xuyến

Áp dụng định lý về dòng điện toàn phần ta tính được cường độ từ trường tại một điểm trên đường tròn tâm O bán kính R ($R_1 < R < R_2$) của cuộn dây hình xuyến có n vòng (hình 10-19) quấn sít nhau, dòng điện có cường độ *I,* sẽ bằng:



Hình 10-20
Ống dây điện thẳng dài vô hạn

$$H = \frac{nI}{2\pi R} \quad (10\text{-}33)$$

và cảm ứng từ B:

$$B = \mu_0 \mu \frac{nI}{2\pi R} \quad (10\text{-}34)$$

b. Ống dây thẳng dài vô hạn

Từ biểu thức (10-33) và (10-34) có thể suy ra cường độ từ trường tại mọi điểm bên trong ống dây thẳng dài vô hạn (hình 10-20) đều bằng nhau và bằng:

$$H = n_0 I \quad (10\text{-}35)$$

và cảm ứng từ

$$B = \mu_0 \mu n_0 I \quad (10\text{-}36)$$

trong đó n_0 là số vòng dây trên một đơn vị dài của ống dây. Trong thực tế, những ống dây có chiều dài lớn hơn mười lần đường kính của nó đều có thể coi gần đúng là ống dây dài vô hạn, và có thể coi từ trường trong nó là đều.

10.5. TÁC DỤNG CỦA TỪ TRƯỜNG LÊN DÒNG ĐIỆN

10.5.1. Lực Ampère

Theo định luật Ampère, một phần tử dòng điện ở điểm *M* trong từ trường có cảm ứng từ $d\vec{B}$ sẽ chịu tác dụng một lực (biểu thức 10-8):

$$d\vec{F} = I_0.d\vec{l}_0 \wedge d\vec{B}.$$

Từ đó ta suy ra rằng, nếu ta đặt một phần tử dòng điện $I.d\vec{l}$ tại điểm M có vectơ cảm ứng từ $\vec{B}$ thì phần tử $I.d\vec{l}$ sẽ chịu tác dụng một từ lực:

$$d\vec{F} = I.d\vec{l} \wedge \vec{B} \quad (10\text{-}37)$$

Lực này được gọi là lực Ampère, có:

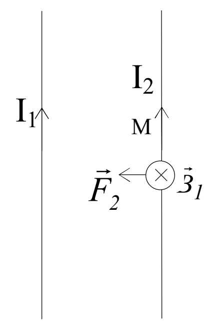
- *độ lớn:*

$$dF = I.\, dl.B.\sin\alpha \quad (10\text{-}38)$$

(α là góc hợp bởi các vectơ $I.d\vec{l}$ và $\vec{B}$),

- *phương:* vuông góc với các vectơ $I.d\vec{l}$ và $\vec{B}$,
- *chiều:* tuân theo qui tắc nhân có hướng hai vectơ $I.d\vec{l}$ và $\vec{B}$: Vectơ $d\vec{F}$ có chiều sao cho 3 vectơ $I.d\vec{l}$, $\vec{B}$, $d\vec{F}$ theo thứ tự đó hợp thành tam diện thuận.

Để xác định chiều của lực Ampère người ta còn dùng qui tắc bàn tay trái như sau: *Đặt bàn tay trái sao cho các đường sức từ xuyên vào lòng bàn tay, dòng điện đi từ cổ tay đến đầu các ngón tay, thì chiều của ngón tay cái choãi ra chỉ chiều của từ lực.*



Hình 10-21
Tương tác giữa hai dòng điện song song

10.5.2. Tương tác giữa hai dòng điện thẳng song song dài vô hạn

Cho hai dòng điện thẳng song song dài vô hạn nằm cách nhau một khoảng d, có cường độ lần lượt là I_1, I_2. Dòng điện I_1 gây ra một từ trường. Theo công thức (10-14), tại vị trí đặt dòng I_2 vectơ cảm ứng từ do I_1 gây ra có ***độ lớn*** bằng:

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

có ***phương*** vuông góc với mặt phẳng chứa hai dây dẫn, có ***chiều*** tuân theo qui tắc vặn nút chai (trong trường hợp hình vẽ 10-21, đi vào phía trong). Từ trường $\vec{B}_1$ tác dụng lên một đoạn dây có chiều dài l của dòng điện I_2 một lực:

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

lực $\vec{F}_2$ có phương vuông góc với dòng I_2 và với vectơ $\vec{B}_1$, có chiều hướng về I_1 và có trị số:

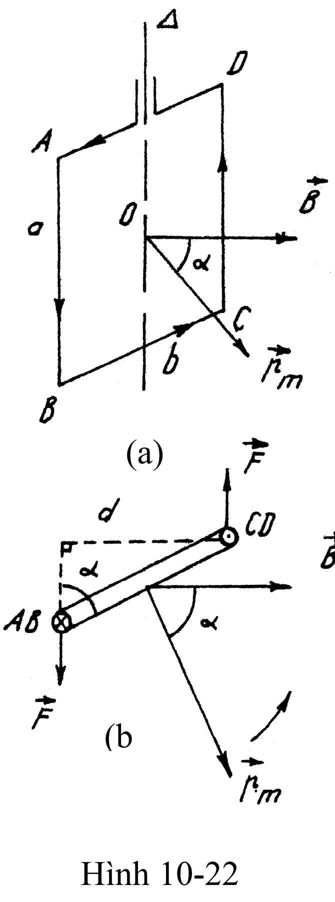
$$F_2 = \frac{\mu_o\mu}{2\pi d} I_1 I_2 l \qquad (10\text{-}39)$$

Như vậy dòng I_1 hút dòng I_2. Bằng lý luận tương tự ta sẽ thấy dòng I_2 hút dòng I_1 một lực cùng phương ngược chiều với $\vec{F}_2$ và có trị số $F_1=F_2$; Và nếu hai dòng ngược chiều thì đẩy nhau. Như vậy, định luật Newtơn III được nghiệm đúng với các tương tác từ giữa các dòng điện hữu hạn.

Trong hệ đơn vị *SI*, người ta dùng công thức (10-39) để định nghĩa đơn vị Ampère. Trong (10-39) nếu: $I_1=I_2 = I$, $l=1$ *mét*, $\mu =1$, $F_{12} =F_{21}= 2.10^{-7}N$, $d= 1$ *mét* *thì theo (10-39) I=1A.*

Từ đó có định nghĩa:

"*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 1mét, thì gây trên mỗi mét dài của mỗi dây dẫn một lực bằng* 2.10^{-7} *Newton*".



Hình 10-22
Từ trường tác dụng lên khung dây điện kín

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

Xét một khung dây dẫn kín hình chữ nhật ABCD có các cạnh là a và b. Dòng điện chạy trong khung có cường độ I (hình 10-22a). Khung được đặt trong từ trường đều $\vec{B}$ có phương vuông góc với các cạnh AB,CD. Giả sử khung rất cứng và chỉ có thể quay xung quanh trục đối xứng Δ của nó. Ban đầu, mặt khung không vuông góc với từ trường, vectơ mômen từ của nó hợp với vectơ $\vec{B}$ một góc α.

Nhờ qui tắc bàn tay trái ta xác định được:

- Các từ lực tác dụng lên hai cạnh *AD* và *BC* triệt tiêu nhau.
- Từ lực $\vec{F}$ tác dụng lên cạnh thẳng đứng AB hướng về phía trước, còn lực $\vec{F}$ tác dụng lên cạnh thẳng đứng *CD* hướng ra phía sau. Hai lực này luôn vuông góc với các cạnh *AB, CD* và với vectơ $\vec{B}$, hợp với các cạnh *AD, BC* một góc α, có độ lớn: *F=F'=IaB.*

Các lực này tạo thành một ngẫu lực có mômen $\vec{M}$, có tác dụng làm khung quay xung quanh trục Δ cho đến khi $\alpha = 0$, lúc đó mặt khung vuông góc với $\vec{B}$, vectơ mômen từ $\vec{P}_m$ của dòng điện cùng phương chiều với vectơ $\vec{B}$.

Để xét tác dụng của các lực này, trên hình (10-22b) ta ghép đầu A của cạnh AD với đầu B của cạnh BC, đầu C của cạnh BC với đầu D của cạnh AD. Rõ ràng là $d = b.\sin\alpha$, là khoảng cách giữa hai lực. Mômen ngẫu lực đối với trục quay Δ có độ lớn bằng: $M= F.d$.

Như vậy,

$$M=F.b.\sin\alpha=I.a.B.b.\sin\alpha=I.S.B.\sin\alpha =p_m.B.\sin\alpha.$$

trong đó, $p_m=I.S$ là độ lớn của vectơ mômen từ của khung dây. Vectơ mômen ngẫu lực $\vec{M}$ có phương vuông góc với hai vectơ $\vec{B}$, $\vec{p}_m$, có chiều hướng lên trên. Do đó, ta có thể viết:

$$\vec{M} = \vec{p}_m \wedge \vec{B} \tag{10-40}$$

Khi khung quay một góc $d\alpha$, mômen ngẫu lực thực hiện một công:

$$dA=-Md\alpha=-p_mB.\sin\alpha d\alpha \tag{10-41}$$

Có dấu trừ “-“ trong (10-41) vì khi ngẫu lực thực hiện công dương ($dA > 0$) thì góc α giảm ($d\alpha < 0$) còn khi ngẫu lực làm cho góc α tăng ($d\alpha>0$) thì ngẫu lực từ sinh công cản ($dA< 0$). Như vậy, công của mômen ngẫu lực thực hiện khi làm cho khung ở trạng thái ứng với góc lệch α về vị trí cân bằng ($\alpha=0$) là:

$$A=-\int_{\alpha}^{0} p_m B.\sin\alpha.d\alpha = p_mB(1-\cos\alpha) \tag{10-42}$$

Theo định luật bảo toàn và chuyển hoá năng lượng, công này bằng độ giảm năng lượng (thế năng) của khung dây điện trong từ trường:

$$W_{m\alpha} - W_{mo}=-(p_mB.\cos\alpha) - (- p_mB.\cos 0).$$

Ta suy ra năng lượng của khung dây điện ứng với góc α là:

$$W_m = -p_m.B.\cos\alpha =- \vec{p}_m.\vec{B} \tag{10-43}$$

Người ta chứng minh được rằng các kết quả thu được ở trên đúng đối với một mạch điện kín có hình dạng bất kỳ.

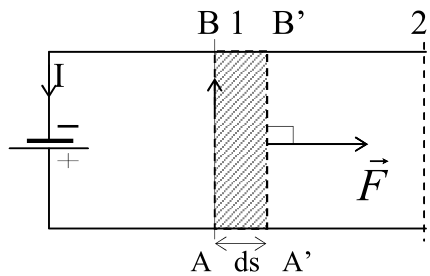
4. Công của từ lực

Khi dòng điện chuyển động trong từ trường, từ lực tác dụng lên dòng điện sẽ thực hiện công. Để tính công này, ta xét một thanh kim loại AB, dài l có thể trượt trên hai dây kim loại song song của một mạch điện. Giả sử mạch điện này nằm trong một từ trường đều và vuông góc với véctơ cảm ứng từ $\vec{B}$ của từ trường (hình 10-23). Lực Ampère tác dụng lên thanh này có độ lớn bằng: $F = I.l.B$.

Khi thanh l dịch chuyển một đoạn nhỏ $ds = \overline{AA'}$, công của lực Ampère là:

$$dA = F.ds = I.l.B.ds = I.B.dS = I.\, d\phi_m,$$

trong đó $dS = l.ds$ là diện tích quét bởi đoạn dòng điện AB khi dịch chuyển, $d\phi_m = B.dS$ là từ thông gửi qua diện tích bị quét dS. Vì vậy, ta có: $dA= I.d\phi_m$.



Hình 10-23. Tính công của từ lực

Nếu thanh AB dịch chuyển một đoạn hữu hạn, từ vị trí (1) ứng với từ thông ϕ_{m1} đến vị trí (2) có ϕ_{m2} và trong quá trình đó, cường độ dòng điện qua thanh AB có thể coi như không đổi, thì công của lực Ampère trong quá trình này là:

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

Trong đó, ϕ_{m1} và ϕ_{m2} là từ thông gửi qua diện tích lúc đầu và lúc cuối của đoạn dịch chuyển. $\Delta\phi_m = (\phi_{m2} - \phi_{m1})$. Tóm lại, ta có:

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

Người ta đã chứng minh được rằng các công thức trên cũng đúng cho mạch điện bất kỳ dịch chuyển trong một từ trường bất kỳ. 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.

10.6. TÁC DỤNG CỦA TỪ TRƯỜNG LÊN HẠT ĐIỆN CHUYỂN ĐỘNG

10.6.1. Lực Lorentz

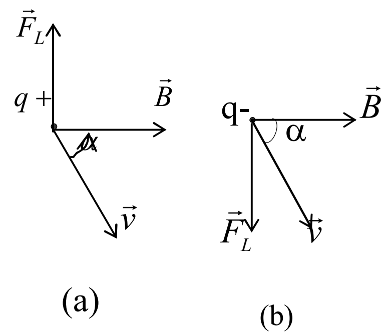
Như ta đã biết, phần tử dòng điện $Id\vec{l}$ nằm trong từ trường sẽ chịu tác dụng của một lực Ampère: $d\vec{F} = Id\vec{l} \wedge \vec{B}$. Từ (10-18) ta cũng đã biết $Id\vec{l} = n.q\vec{v}$, trong đó n là số hạt điện có trong phần tử dòng điện $Id\vec{l}$, $\vec{v}$ là vận tốc chuyển động có hướng của hạt điện, q là điện tích của mỗi hạt điện. Thay thế $Id\vec{l}$ bằng $nq\vec{v}$ ta sẽ được lực Ampère tác dụng lên n hạt điện chuyển động với vận tốc $\vec{v}$ ở trong từ trường bằng:

$$d\vec{F} = nq\vec{v} \wedge \vec{B},$$

và lực Ampère tác dụng lên một hạt điện:

$$\vec{F}_L = \frac{d\vec{F}}{n}.$$

Ta được: $$\vec{F}_L = q\vec{v} \wedge \vec{B} \quad (10\text{-}45)$$



Hình 10-24. Lực Lorentz

Lực $\vec{F}_L$ tác dụng lên mỗi hạt điện chuyển động trong từ trường được gọi là *lực Lorentz.*

Độ lớn, phương, chiều của lực $\vec{F}_L$ được xác định theo tích có hướng của hai vectơ $\vec{v}$ và $\vec{B}$ nếu q> 0. Nếu hạt điện mang điện âm (q< 0) thì chiều của $\vec{F}_L$ lấy ngượclại với trường hợp q>0 (xem hình 10-24).

Theo (10-45) lực Lorentz vuông góc với vận tốc chuyển động của hạt nên công thực hiện bởi lực này luôn bằng không.

10.6.2. Chuyển động của hạt điện trong từ trường đều

Ta xét chuyển động của hạt chuyển động với vận tốc $\vec{v}$ có khối lượng *m,* điện tích *q (q> 0)*, trong từ trường đều, không đổi theo thời gian, có cảm ứng từ $\vec{B}$. Vì lực Lorentz luôn vuông góc với vectơ vận tốc $\vec{v}$ và không thực hiện công nên động năng của hạt không biến đổi, độ lớn của vận tốc cũng không đổi, lực Lorentz chỉ làm cho phương của vectơ vận tốc thay đổi. Như vậy, lực Lorentz đóng vai trò của lực hướng tâm, nghĩa là:

$$F_L = qvB.\sin\alpha = \frac{mv^2}{R} \qquad (10\text{-}46)$$

Ta xét hai trường hợp sau đây.

a. Vận tốc $\vec{v}$ của hạt vuông góc với cảm ứng từ $\vec{B}$

Vì vận tốc $\vec{v}$ của hạt vuông góc với cảm ứng từ $\vec{B}$ nên lực Lorentz làm cho hạt chuyển động trong mặt phẳng vuông góc với vectơ cảm ứng từ $\vec{B}$, có quỹ đạo tròn (hình 10-25) bán kính R. Từ (10-46) ta suy ra:

$$F_L = qvB = \frac{mv^2}{R},$$

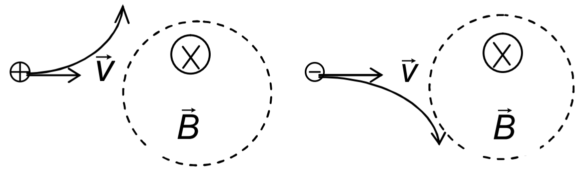
$$\Rightarrow R = \frac{mv}{qB} \qquad (10\text{-}47)$$

Chu kỳ quay của hạt:

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB} \qquad (10\text{-}48)$$

Và tần số quay:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{qB}{m} \qquad (10\text{-}49)$$



Hình 10-25

(a) (b)

Chuyển động của hạt điện trong từ trường, $\vec{v} \perp \vec{B}$

a. trường hợp q> 0. b. trường hợp q< 0

Các biểu thức (10-48), (10-49) chứng tỏ chu kỳ và tần số quay (T, ω) không phụ thuộc vào bán kính R và vận tốc *v* của hạt.

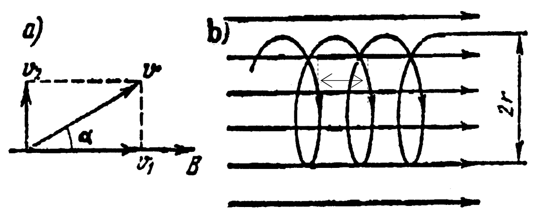
b. Trường hợp vectơ $\vec{v}$ hợp với vectơ $\vec{B}$ một góc α.

Trong trường hợp này, có thể phân tích vectơ $\vec{v}$ thành hai thành phần: thành phần $\vec{v}_\perp$ vuông góc với $\vec{B}$ và thành phần $\vec{v}_{//}$ song song với vectơ $\vec{B}$:

$$\vec{v} = \vec{v}_\perp + \vec{v}_{//} \qquad (10\text{-}50)$$

Thành phần vuông góc buộc hạt điện chuyển động theo quỹ đạo tròn với bán kính:

$$R = \frac{mv_\perp}{qB} \qquad (10\text{-}51)$$



Hình 10-26

Chuyển động của hạt điện trong từ trường, trường hợp $\vec{v}$ hợp với $\vec{B}$ một góc α

Còn thành phần song song $v_{//}$ có tác dụng làm cho hạt chuyển động theo phương của cảm ứng từ $\vec{B}$ với vận tốc $v_{//}$. Vậy hạt tham gia đồng thời hai chuyển động, kết quả là quỹ đạo của hạt là đường xoắn ốc, có bán kính như (10-51), bước của quỹ đạo xoắn ốc bằng:

$$h = v_{//}T \qquad (10\text{-}52)$$

Chuyển động của hạt điện trong từ trường có nhiều ứng dụng: để tạo ra vận tốc rất lớn của hạt điện trong các máy gia tốc hạt (cyclotron) trong việc nghiên cứu hạt nhân nguyên tử và các hạt cơ bản và các ứng dụng khác; Máy chọn vận tốc để đo tỉ số e/m của electron mà Joseph John Thomson tạo ra năm 1897 đã dựa trên sự chuyển động trong từ trường của các hạt điện có vận tốc khác nhau; Dựa trên hiện tượng chuyển động của hạt điện trong từ trường, năm 1879, Edwin Hall lần đầu tiên dùng dấu của hiệu điện thế Hall để xác định dấu của hạt điện chuyển động tạo nên dòng điện và ông đã chứng tỏ rằng các hạt điện chuyển động tạo nên dòng điện trong kim loại là các hạt mang điện âm v.v...

HƯỚNG DẪN HỌC CHƯƠNG 10

I. MỤC ĐÍCH, YÊU CẦU

Sau nghi nghiên cứu chương này, yêu cầu sinh viên:

1. Hiểu được và nhớ các định luật: Ampère, Biot-Savart-Laplace, các định lý: Oxtrogratxki-Gaux về từ thông qua mặt kín, định lý Ampère về dòng điện toàn phần.

2.Vận dụng được các định lý và định luật trên để tính được từ trường gây bởi: dòng điện thẳng, dòng điện tròn, cuộn dây hình xuyến, cuộn dây thẳng dài, khung dây điện kín...

3. Xác định được từ trường gây bởi hạt điện chuyển động và lực Lorentz tác dụng lên hạt điện chuyển động trong từ trường.

II. TÓM TẮT NỘI DUNG

1. Thực nghiệm xác nhận có lực tương tác giữa các dòng điện tương tự như tương tác giữa các nam châm. Lực này được gọi là lực từ.

Ampère đã dưa ra định luật thực nghiệm: lực từ $d\vec{F}$ do phần tử dòng $Id\vec{l}$ tác dụng lên phần tử dòng $I_o d\vec{l}_o$ cách nó một khoảng *r* được xác định bởi tích vectơ kép (11-3):

$$d\vec{F} = \frac{\mu\mu_o}{4\pi}\frac{I_0 d\vec{l}_0 \wedge (Id\vec{l} \wedge \vec{r})}{r^3} \qquad (1)$$

trong đó, μ_o là hằng số từ: $\mu_o = 4\pi.10^{-7}$H/m.

2. Dòng điện gây ra xung quanh nó một *từ trường*, từ trường truyền lực tương tác giữa các dòng điện, nó tác dụng lên bất kỳ dòng điện nào đặt trong nó. Đại lượng đặc trưng cho từ trường về mặt tác dụng lực là vectơ cảm ứng từ $\vec{B}$ và cường độ từ trường $\vec{H}$.

Phần tử dòng điện $Id\vec{l}$ 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 (11-6):

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0\mu}{4\pi}.\frac{Id\vec{l} \wedge \vec{r}}{r^3} \qquad (2)$$

Như vậy, lực do phần tử dòng $Id\vec{l}$ tác dụng lên phần tử dòng $I_o d\vec{l}_o$ biểu diễn qua cảm ứng từ là: $$d\vec{F} = I_o d\vec{l}_o \wedge d\vec{B} \qquad (3)$$

Người ta còn đưa ra 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: $\vec{B} = \mu_o \mu \vec{H}$

3. Từ trường tuân theo nguyên lý chồng chất: $\vec{B} = \int\limits_{(L)} d\vec{B}$

hay $$\vec{B} = \sum_i \vec{B}_i$$

Từ công thức (2), ta tìm được độ lớn của vectơ cảm ứng từ $\vec{B}$ gây bởi một đoạn dây dẫn điện thẳng có dòng điện *I* tại điểm cách nó một đoạn *a* bằng:

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

Nếu dòng điện thẳng dài vô hạn thì

$$B = \frac{\mu_o \mu I}{2\pi a} \quad \text{suy ra} \quad H = \frac{I}{2\pi a}$$

Cũng từ (2) ta tính được cảm ứng từ do dòng điện tròn cường độ *I* bán kính *R* gây ra tại điểm nằm trên trục cách tâm *O* một khoảng *h* (11-17):

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

trong đó $\vec{p}_m = I\vec{S}$ là mômen từ của dòng điện tròn, có phương trùng với trục đường tròn, có chiều trùng với chiều của vectơ $\vec{B}$. Nếu cho h=0, ta tìm được cảm ứng từ $\vec{B}$ gây bởi dòng điện tròn tại tâm *O*.

4. Từ (2), nếu chú ý đến mối liên hệ $Id\vec{l} = nq\vec{v}$, *với n* là tổng số hạt điện trong phần tử dòng $Id\vec{l}$ ta dễ dàng tìm được vectơ cảm ứng từ do hạt điện *q* chuyển động với vận tốc *v* gây ra tại điểm cách nó một đoạn *r* (11-19):

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

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:

$$\oint \vec{B}.d\vec{S} = 0 \quad \text{và suy ra} \quad div\,\vec{B} = 0.$$

Đó là 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) (10-32):

$$\oint\limits_{(C)} \vec{H}.d\vec{l} = \sum_{k=1}^{n} I_k$$

trong đó, $\sum_{k=1}^{n} I_k$ là tổng đại số các dòng điện xuyên qua diện tích giới hạn bởi đường cong kín C. 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 xuyến:

$$B = \mu_o \mu \frac{nI}{2\pi R}$$

trong đó, n là tổng số vòng dây quấn trên ống, R là bán kính của vòng tròn tâm *O* của vòng xuyến đi qua điểm tính B.

Từ đó ta tính được cảm ứng từ gây bởi ống dây thẳng dài vô hạn có số vòng dây trên một đơn vị dài n_o:

$$B = \mu_o \mu n_o I$$

7. Từ biểu thức (3) ta suy ra lực từ $d\vec{F}$ tác dụng lên phần tử dòng $Id\vec{l}$ đặt trong từ trường có cảm ứng từ $\vec{B}$:

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

Ta suy ra một đoạn dây dẫn dài *l* có dòng điện *I* đặt trong từ trường có cảm ứng từ B (trên *l* vectơ $\vec{B}$= const) sẽ chịu tác dụng một lực từ:

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

Đó là lực Ampère. Từ đó ta suy ra hai dòng điện I_1, I_2 song song nhau sẽ hút nhau nếu cùng chiều, sẽ đẩy nhau nếu ngược chiều. Lực do dòng điện này tác dụng lên một đoạn dài *l* của dòng điện kia là (10-39):

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

8. Một khung dây điện kín có dòng điện I đặt trong từ trường B sẽ sẽ chịu tác dụng của một mômen lực $\vec{M}$ (10-40):

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

trong đó, $\vec{p}_m = I\vec{S}$ là mômen từ của của dòng điện *I* chạy trong khung dây.

Khung dây như vậy ở trong từ trường B sẽ có một thế năng:

$$W_m = -\vec{P}_m . \vec{B}$$

9. Khi từ thông qua mạch điện thay đổi, lực từ thực hiện một công:

$$A = I(\phi_{m2} - \phi_{m1}) = I\Delta\phi_m,$$

trong đó, $\Delta\phi_m$ là độ biến thiên từ thông gửi qua diện tích của mạch điện có cường độ dòng *I* không đổi.

10. Nếu hạt điện q chuyển động trong từ trường $\vec{B}$ với vận tốc *v* sẽ chịu tác dụng của lực Lorentz:

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

Lực Lorentz $\vec{F}_L$ vuông góc với $\vec{v}$ và $\vec{B}$, nên công của lực này bằng không, nó chỉ làm đổi phương chuyển động của hạt điện, không làm cho động năng của hạt điện thay đổi và đóng vai trò của lực hướng tâm. Nếu từ trường là đều và vận tốc $\vec{v}$ vuông góc với $\vec{B}$ thì hạt điện sẽ chuyển động theo quĩ đạo tròn trong mặt phẳng vuông góc với $\vec{B}$, còn nếu $\vec{v}$ hợp với $\vec{B}$ một góc α thì hạt điện sẽ chuyển động theo đường xoắn ốc có trục cùng phương với $\vec{B}$, cùng chiều với $\vec{B}$ nếu α là góc nhọn, ngược chiều với $\vec{B}$ nếu α là góc tù.

III. CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Nêu thí nghiệm để minh hoạ tương tác giữa dòng điện và nam châm, giữa dòng điện và dòng điện.

2. Phát biểu định luật Ampère, viết biểu thức $d\vec{B}$ gây bởi phần tử dòng $Id\vec{l}$ tại một điểm trong từ trường của nó. Nêu rõ phương chiều và độ lớn của $d\vec{B}$.

3. Phát biểu nguyên lý chồng chất từ trường. Áp dụng nguyên lý này như thế nào để tính từ trường gây bởi các dòng điện.

4. Tính cảm ứng từ B và cường độ từ trường H gây bởi dòng điện thẳng nói chung, dòng điện thẳng dài vô hạn, bởi dòng điện tròn.

5. Xác định cảm ứng từ B gây bởi điện tích q chuyển động với vận tốc *v*.

6. Định nghĩa đường sức từ và từ phổ. Nêu tính chất của phổ đường sức từ. Vẽ phổ các đường sức của từ trường gây bởi một vài dòng điện.

7. Định nghĩa từ thông, rút ra định lý O-G đối với từ trường.

8. Tại sao nói từ trường có tính chất xoáy? Viết biểu thức toán học thể hiện tính chất xoáy của từ trường.

9. Định nghĩa lưu số của của vectơ cường độ từ trường $\vec{H}$. Thiết lập định lý Ampère. Cho ví dụ minh hoạ định lý này.

10. Ứng dụng định lý Ampère về dòng điện toàn phần để tính cường độ từ trường H (và tính B) tại một điểm bên trong cuộn dây hình xuyến. Từ đó suy ra biểu thức của cường độ từ trường H và cảm ứng từ B gây bởi ống dây điện thẳng dài vô hạn.

11. Viết biểu thức lực Ampère của từ trường B tác dụng lên phần tử dòng điện $Id\vec{l}$. Nêu rõ phương chiều độ lớn của lực này.

12. Tìm lực tác dụng giữa hai dòng điện thẳng song song dài vô hạn cùng chiều và ngược chiều nhau.

13. Tính công của từ lực khi làm di chuyển một mạch điện kín trong trong từ trường.

14. Tìm từ lực tác dụng lên hạt điện q chuyển động trong từ trường (lực Lorentz).

15. Hạt điện q chuyển động với vận tốc v có quỹ đạo như thế nào trong từ trường $\vec{B}$= const? Xét trường hợp $\vec{v} \perp \vec{B}$, và trường hợp $\vec{v}$ hợp với $\vec{B}$ một góc α.

IV. BÀI TẬP

1. Một dòng điện cường độ I = 6A chạy trong một dây dẫn điện uốn thành hình vuông ABCD có cạnh a = 10cm . Xác định vectơ cảm ứng từ $\vec{B}$ và cường độ từ trường $\vec{H}$ tại tâm O của mạch điện đó. Chiều dòng điện ngược chiều kim đồng hồ.

Đáp số: $B = 4B_1 = 6,67.10^{-5}$ T

$$H=\frac{B}{\mu_{\circ}\mu}=\frac{6,67.10^{-5}}{10^{-7}.4\pi}=53,50 \text{ A / m.}$$

2. Một dây dẫn đường kính d = 1mm quấn thành một ống dây thẳng sao cho vectơ cảm ứng từ $\vec{B}$ ở trong ống có giá trị bằng 3.10^{-2}T .Cường độ dòng điện chạy trong ống dây bằng 6A. Cuộn dây có mấy lớp, biết rằng các vòng dây quấn sát nhau.

Đáp số: Áp dụng công thức: $B=\mu_{\circ}\mu n_0 I$ => $n_o=\dfrac{B}{\mu_{\circ}\mu.\text{I}}=\dfrac{3.10^{-2}}{4\pi.10^{-7}.6}=4000$ vòng / m

Nếu đường kính d của sợi dây là 10^{-3} m thì mỗi lớp trên 1m sẽ có: $\dfrac{1}{d}=\dfrac{1}{10^{-3}}=10^3$ vòng

Vậy số lớp phải quấn là: $\dfrac{4000}{1000}=4$ lớp

3. Một dây dẫn được uốn thành một hình tam giác đều, mỗi cạnh là a = 50cm. Dòng điện chạy trong dây dẫn đó có cường độ I=3,14 A. Tính cường độ của vectơ cảm ứng từ $\vec{B}$ và cường độ từ trường $\vec{H}$ tại tâm của tam giác đó.

Đáp số: $B = 1,13.10^{-5}$ T ; H = 9 A/m.

4. Một dòng điện cường độ I chạy trong một dây dẫn uốn thành hình chữ nhật có cạnh là a và b. Xác định các vectơ $\vec{B}$ và $\vec{H}$ tại tâm 0 của hình chữ nhật đó. Cho biết I=12A, a=16cm, b = 30cm . Chiều dòng điện ngược chiều kim đồng hồ.

Đáp số: $B=\dfrac{2\mu_{\circ}\mu I}{2ab}\left(b^2+a^2\right)=68.10^{-6}\,T$

Chiều của $\vec{B}$ và $\vec{H}$ vuông góc với mặt hình vẽ và hướng ra phía ngoài.

5. Cho hai dòng điện thẳng dài vô hạn song song với nhau đặt cách nhau 5cm, cường độ của hai dòng điện đó bằng nhau và bằng I=10A. Xác định vectơ cảm ứng từ $\vec{B}$ gây bởi các dòng diện đó tại một điểm A nằm giữa hai dòng điện trong các trường hợp:

a) Các dòng điện chạy cùng chiều.

b) Các dòng điện chạy ngược chiều nhau.

Đáp số: a) B=0; b) $B=1,6.10^{-4}$ T.

6. Một ống dây điện thẳng được quấn bằng một sợi dây dẫn đường kính d=1mm, dòng điện chạy trong dây dẫn là 4A. Số lớp quấn trên ống dây là 3 lớp. Tính số vòng dây quấn trên một đơn vị dài của ống. Tính cường độ của vectơ cảm ứng từ $\vec{B}$ và cường độ từ trường $\vec{H}$ ở bên trong ống.

Đáp số: n = 3000 vòng/m; $B= 150,8.10^{-4}$ T; H=12000A/m

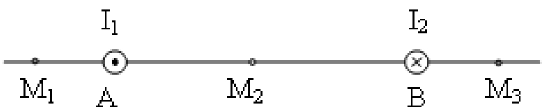
7. Tìm cường độ từ trường tại một điểm cách một dây dẫn thẳng dài vô hạn 2cm có dòng điện cường độ I=5A.

Đáp số: $H=\dfrac{I}{2\pi a}=\dfrac{5}{2.3{,}14.2.10^{-2}}=39{,}8A/m$

8. Tìm cường độ từ trường tại tâm một dòng điện tròn bán kính 1cm có dòng điện cường độ bằng 1A.

Đáp số: $H=\dfrac{I}{2R}=\dfrac{1}{2.10^{-2}}=50A/m$.

9. Hình vẽ biểu diễn tiết diện của hai dây dẫn điện thẳng dài vô hạn có mang dòng điện I_1, I_2. Khỏang cách giữa hai dây dẫn bằng 10cm, I_1=20A, I_2=30A. Tìm cường độ từ trường gây bởi các dòng I_1 và I_2 tại các điểm M_1, M_2, M_3. Cho biết AM_1=2cm, AM_2=4cm, BM_3 =3cm.



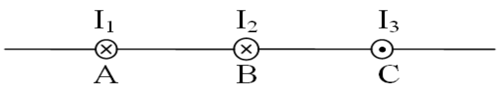
Đáp số: H_1=120 A/m; H_2=159A/m; H_3=135 A/m.

10. Giải bài tập trên, với điều kiện các dòng điện I_1 và I_2 chạy cùng chiều.

Đáp số: H_1=199A/m; H_2=0A/m; H_3=183 A/m.

11. Hình vẽ biểu diễn tiết diện của ba dòng điện thẳng dài vô hạn.

Cho biết: AB = BC = 5cm, $I_1 = I_2 = I$ và I_3=2I. Tìm một điểm trên AC tại đó cường độ từ trường gây bởi ba dòng điện bằng không.



Đáp số: Rõ ràng là trên đọan BC, từ trường tổng hợp gây bởi ba dòng điện không thể bằng không vì tại đó cả ba từ trường $\vec{H}_1$, $\vec{H}_2$, $\vec{H}_3$ đều cùng phương chiều. Điểm M cần tìm chỉ có thể nằm trong đọan AB. Đặt AM=x.Ta viết được:

$$H_1 - H_2 + H_3 = 0;\quad \frac{I}{2\pi x} - \frac{I}{2\pi(5-x)} + \frac{2I}{2\pi(10-x)} = 0$$

Phép tính cho ta: $x=\dfrac{50}{15}=3{,}3cm$

12. Cũng bài toán trên, nếu cả ba dòng điện I_1, I_2, I_3 đều cùng chiều.

Đáp số: Trong trường hợp này, điểm N cần tìm không thể nằm ngoài đọan AC vì khi đó $\vec{H}_1+\vec{H}_2+\vec{H}_3$ luôn luôn khác không. Điểm N cần tìm chỉ có thể nằm trên đường thẳng AC ở trong các khỏang AB hoặc BC. Đặt AN=x, ta viết được:

$$\vec{H}_1+\vec{H}_2+\vec{H}_3=0,\quad |H_1| = H_2 + H_3$$

$$\frac{I}{2\pi x} = \frac{I}{2\pi(5-x)} + \frac{2I}{2\pi(10-x)}$$

Ta thu được một phương trình bậc hai cho x, và có nghiệm bằng: x_1 =1,8cm ; x_2 = 6,96cm.

13. Hai dòng điện thẳng dài vô hạn song song đặt cách nhau 5cm. Dòng diện chạy trong các dây cùng chiều và có cùng cường độ $I_1 = I_2$ =10A .Tìm vectơ cường độ từ trường $\overrightarrow{H}$ gây bởi hai dòng điện tại điểm K cách đều mỗi dòng 3cm.

Đáp số: $H^2 = H_1^2 + H_2^2 + 2H_1H_2\cos\alpha$

Trong đó: $H_1 = H_2 = I/2\pi a$

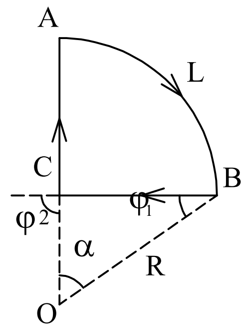
$$H = \frac{I}{2\pi a^2}\sqrt{4a^2 - d^2} = 58,68 \text{ A/m}$$

14. Cho hai dòng điện dài vô hạn nằm trong cùng một mặt phẳng và vuông góc với nhau. Cường độ hai dòng điện đều bằng 5A. Tìm cường độ từ trường $\overrightarrow{H}$ gây bởi hai dòng điện tại các điểm cách đều hai dòng 10cm.

Đáp số: $H_B = H_1 + H_2 = 2\frac{I}{2\pi a} = \frac{2.5}{2.3,14.10^{-1}} = 15,92 \text{A/m}$

Từ trường tại D có phương vuông góc với mặt phẳng hình vẽ và có chiều hướng vào phía trong hình vẽ, có độ lớn bằng:

$$H_D = 15,92 \text{A/m}, \; H_C = H_A = 0$$



15. Cho mạch điện như hình vẽ bên, dòng điện chạy trong mạch bằng I =10A. Xác định cảm ứng từ B tại điểm O. Cho biết bán kính R của cung tròn bằng R= 10cm và góc $\alpha = 60^0$.

Đáp số: $B = \left(\frac{\sqrt{3}}{4\pi} - \frac{1}{12}\right)\frac{\mu_o I}{R} = 6,9.10^{-6} T = 6,9 \mu T$

16. Người ta nối hai điểm A và B của một vòng dây dẫn hình tròn với hai cực của một nguồn điện. Phương của các dây nối đi qua tâm của vòng dây. Bỏ qua ảnh hưởng của các đoạn dây nối. Xác định cường độ từ trường tại tâm của vòng dây.

Đáp số: H_0=0.

17. Hai vòng dây dẫn tròn có tâm trùng nhau và được đặt sao cho trục của chúng vuông góc với nhau, bán kính mỗi vòng dây bằng R=2cm. Dòng điện chạy qua chúng có cường độ $I_1 = I_2$ =5A . Tìm cường độ từ trường tại tâm của các vòng dây đó.

Đáp số: $H = \sqrt{H_1^2 + H_2^2}$ = 176 A/m.

18. Hai vòng dây giống nhau bán kính r =10cm được đặt song song, trục trùng nhau và mặt phẳng của chúng cách nhau một đoạn a=20cm. Tính cảm ứng từ tại tâm mỗi vòng dây và tại điểm giữa của đoạn thẳng nối tâm của chúng trong hai trường hợp:

a) Các dòng điện chạy trên các vòng dây bằng nhau I = 3A và cùng chiều.

b) Các dòng điện chạy trên các vòng dây bằng nhau I = 3A và ngược chiều.

Đáp số: a) Trường hợp các dòng điện cùng chiều:

$$B_{o1} = B_{o2} = \frac{\mu_\circ \mathrm{I}}{2}\left[\frac{1}{R} - \frac{R^2}{\left[R^2 + a^2\right]^{3/2}}\right] = 2{,}1.10^{-5}T$$

Tại M, h=a/2 ta có: $B_M = \frac{\mu_\circ \mathrm{I}}{2}.\frac{R^2}{\left(R^2 + a^2\right)^{3/2}} = 1{,}35.10^{-5}T$

b) Trường hợp các dòng điện ngược chiều:

Tại O$_1$, h = 0, $B_{o1} = \frac{\mu_\circ \mathrm{I}}{2}\left[\frac{1}{R} - \frac{R^2}{\left[R^2 + a^2\right]^{3/2}}\right] = 1{,}7.10^{-5}T$

$\vec{B}_{01}$ hướng cùng chiều với $\vec{B}_1$. Tại 0$_2$, h = a, $\vec{B}_{O2}$ hướng cùng chiều với $\vec{B}_2$.

Tại M, h = a/2, $B_M = 0$.

19. Xác định cường độ điện trường tại các điểm nằm ở bên trong và bên ngoài một dây dẫn hình trụ đặc dài vô hạn có dòng điện cường độ I chạy qua. Cho biết bán kính tiết diện thẳng của hình trụ là R.

Đáp số: H=$\left(\frac{\mathrm{I}}{2\pi R^2}\right).r$. (H tỷ lệ bậc nhất với r), Với 0<r<R

H=$\frac{\mathrm{I}}{2\pi r}$ (H tỷ lệ nghịch với r), Với: r > R.

20. Tìm cường độ từ trường H gây bởi một đoạn AB của dây dẫn thẳng mang dòng điện tại một điểm C nằm trên đường trung trực của AB, Cách AB một đọan a=5cm. Dòng điện có cường độ I=20A. Đoạn AB được nhìn từ điểm C dưới góc 60^0.

Đáp số: H = 31,8 A/m

21. Cho một ống dây điện thẳng dài 30cm gồm 1000 vòng dây. Tìm cường độ từ trường trong ống dây, nếu cường độ dòng điện chạy qua ống dây bằng 2A. Coi đường kính ống dây rất nhỏ so với độ dài của ống.

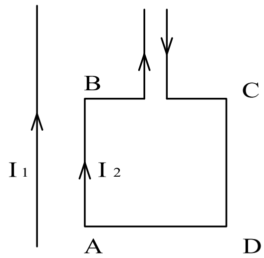
Đáp số: H=$n_0\mathrm{I} = \frac{1000}{3.10^{-1}}.2 = \frac{2.10^4}{3} = 6670A/m$.

22. Dây dẫn của ống dây điện thẳng có đường kính bằng 0,8 mm. Các vòng dây được quấn sát nhau. Coi ống dây rất dài. Tìm cường độ từ trường bên trong ống dây, nếu cường độ dòng điện chạy qua ống dây bằng 1A.

Đáp số: H=$n_0\mathrm{I} = \frac{1000}{0{,}8}.1 = \frac{2.10^4}{3} = 1250A/m$.

23. Một ống dây điện dài khi dòng điện chạy qua trong cuộn bằng 0,3A thì gây ra trên trục của ống một từ trường có cảm ứng từ B = $3{,}15.10^{-3}$T. Tìm đường kính d của sợi dây điện quấn quanh ống, cho biết ống dây được quấn một lớp và các vòng dây quấn sát nhau. Ống dây không có lõi.

Đáp số: $d = \dfrac{\mu_0 \mu I}{B} = \dfrac{1.4\pi.10^{-7}.0,5}{3,15.10^{-3}} = 0,2.10^{-3}\, m = 0,2mm$



24. Một dòng điện thẳng dài vô hạn cường độ I_1 = 10A đặt cạnh một khung dây điện uốn thành hình vuông mỗi cạnh dài l = 40 cm. Cạnh gần nhất của khung dây cách dây một khoảng bằng a = 2cm. Dòng điện I_2 chạy trong khung có cường độ I_2 = 2,5 A. Tính lực tác dụng của dòng điện thẳng dài vô hạn lên khung cho biết chiều dòng điện như hình vẽ.

Đáp số:

$$F = F_3 - F_4 = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi}\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{a+1}\right) I_1 I_2 l = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2 l^2}{2\pi(a+1)a} = 9,52.10^{-5}\, N.$$

Kết quả là khung bị hút về phía dòng điện I_1.

25. Một dòng điện thẳng dài vô hạn cường độ I_1 đặt cạnh một khung dây dẫn uốn thành hình chữ nhật, cạnh ngắn là a, cành dài là b, cạnh này song song với dòng điện I_1. Cạnh gần nhất của khung cách dòng điện một đoạn d có dòng điện ngược với I_1. Tìm lực F tác dụng lên khung. Lực đó là lực đẩy hay lực hút. Cho biết dòng điện chạy trong khung là I_2.

Đáp số: $F = \dfrac{\mu_0 \mu I_1 I_2 ab}{2\pi(a+d)d}$

26. Một dây dẫn thẳng dài 70 cm đặt trong một từ trường đều có B = 0,1T. Dây dẫn hợp với đường sức từ góc $\alpha = 30^0$. Tìm từ lực tác dụng lên dây dẫn khi cho dòng điện I = 70 A chạy qua.

Đáp số: $F = IlB\sin\alpha = 70.0,7.\dfrac{1}{2} = 2,45N$

27. Một hạt điện có vận tốc v = 10^6 m/s bay vào trong một từ trường đều có cảm ứng từ B = 0,3T. Vận tốc của hạt vuông góc với các đường sức từ trường. Tìm bán kính R của vòng tròn quỹ đạo của hạt và chu kỳ quay của nó.

Đáp số: $R = \dfrac{mv}{qB} = \dfrac{6,64.10^{-27}.10^6}{3,2.10^{-19}.0,3} \cong 7.10^{-2}\, m$

Chu kỳ quay T bằng: $T = \dfrac{2\pi R}{v} = \dfrac{2.3,14.7.10^{-2}}{10^6} \cong 4.10^{-7}\, s$

28. Một hạt electron có vận tốc 10^7 m/s bay song song với một dây dẫn thẳng mang dòng điện i và cách dòng điện một đoạn d = 2mm. Tìm lực từ của dòng điện tác dụng lên electron, cho biết dòng điện chạy trong dây dẫn bằng 10 A.

Đáp số: $B = \dfrac{\mu_0 \mu I_0}{2\pi d}$. F_L = evBsinα, ở đây α = π/2. Ta có:

$$F_L = \frac{ev\mu\mu_0 i}{2\pi d} = \frac{1,6.10^{-19}.10^7.4.3,14.10^{-6}.10}{2.3,14.2.10^{-3}} = 10^{-15}\, N.$$

29. Một electron được tăng tốc bởi hiệu điện thế U =10^3V bay vào trong một từ trường đều vuông góc với phương chuyển động của nó. Cảm ứng từ B = $1,19.10^{-3}$T. Tìm:

a) Bán kính cong của quỹ đạo êlectron.
b) Chu kỳ quay của electron trên vòng tròn.
c) Mômen động lượng của electron đối với tâm quỹ đạo.

Đáp số:

a) eU = $mv^2/2$, mv^2/R = evB => $R = \sqrt{\dfrac{2mU}{eB^2}} = 9.10^{-2}\,m$

b) Chu kỳ quay không phụ thuộc vào vận tốc của êlectron

$$T = \frac{2\pi m}{eB} = 3.10^{-8}\,s$$

c) Mômen động lượng đối với tâm quỹ đạo bằng

$$L = I\omega = \frac{mR^2.v}{R} = mRv = 1,5.10^{-24}\,kgm^2/s$$