

I. Lực từ tác dụng lên đoạn dây dẫn mang dòng điện

Khi một đoạn dây dẫn có dòng điện chạy qua được đặt trong một từ trường, nó sẽ chịu tác dụng của một lực gọi là lực từ. Lực này là kết quả của sự tương tác giữa từ trường bên ngoài và từ trường do chính dòng điện trong dây dẫn sinh ra.

1. Điểm đặt của lực từ

Lực từ tác dụng lên đoạn dây dẫn thẳng có điểm đặt tại **trung điểm** của đoạn dây đó.

2. Phương và chiều của lực từ - Quy tắc bàn tay trái

Để xác định phương và chiều của lực từ, chúng ta sử dụng quy tắc bàn tay trái.

Nội dung quy tắc:

"Đặt bàn tay trái sao cho các đường sức từ (vectơ cảm ứng từ **B**) hướng vào lòng bàn tay, chiều từ cổ tay đến ngón tay giữa hướng theo chiều dòng điện (**I**), khi đó ngón tay cái choãi ra 90° chỉ chiều của lực từ (**F**) tác dụng lên đoạn dây dẫn."

Các bước thực hiện:

- Bước 1:** Xác định chiều của các đường sức từ (vectơ **B**). Đặt bàn tay trái sao cho các đường sức từ này đâm xuyên vào lòng bàn tay.
- Bước 2:** Xác định chiều dòng điện (**I**). Xoay bàn tay sao cho chiều từ cổ tay đến ngón tay giữa trùng với chiều dòng điện.

3. **Bước 3:** Ngón tay cái choãi ra 90° sẽ chỉ chiều của lực từ **F**.

Đặc điểm về phương:

- Vectơ lực từ **F** luôn vuông góc với mặt phẳng chứa vectơ cảm ứng từ **B** và vectơ cường độ dòng điện **I** (hay đoạn dây dẫn).
- Nói cách khác: **F** $\perp$ **B** và **F** $\perp$ **I**.

Ví dụ minh họa:

- **Ví dụ 1:** Một đoạn dây dẫn thẳng đặt trong từ trường đều có các đường sức từ thẳng đứng hướng từ trên xuống. Dòng điện trong dây dẫn có chiều từ trái sang phải. Hỏi lực từ tác dụng lên dây có chiều như thế nào?

Giải: Áp dụng quy tắc bàn tay trái:

1. Đặt lòng bàn tay trái ngửa lên để hứng các đường sức từ (hướng từ trên xuống).
2. Hướng các ngón tay từ trái sang phải theo chiều dòng điện.
3. Khi đó, ngón tay cái choãi ra chỉ vào phía trong mặt phẳng trang giấy. Vậy lực từ có phương vuông góc với mặt phẳng trang giấy và có chiều từ ngoài vào trong.

- **Ví dụ 2:** Một dây dẫn mang dòng điện **I** được đặt trong từ trường đều sao cho dây dẫn vuông góc với các đường sức từ. Biết cảm ứng từ **B** có chiều từ phải sang trái, lực từ **F** có chiều từ trên xuống dưới. Xác định chiều dòng điện **I**.

Giải: Áp dụng quy tắc bàn tay trái:

1. Đặt bàn tay trái sao cho lòng bàn tay hứng các đường sức từ B (hướng từ phải sang trái).
2. Xoay bàn tay sao cho ngón cái choãi ra chỉ chiều lực từ F (hướng từ trên xuống dưới).
3. Khi đó, chiều từ cổ tay đến các ngón tay sẽ chỉ chiều dòng điện I, tức là chiều từ ngoài vào trong mặt phẳng hình vẽ.

3. Độ lớn của lực từ - Công thức Ampe (Ampere)

Độ lớn của lực từ F tác dụng lên đoạn dây dẫn có chiều dài L, mang dòng điện I, đặt trong từ trường đều B được xác định bởi công thức:

$$F = B * I * L * \sin(\alpha)$$

Trong đó:

- **F**: Độ lớn của lực từ (đơn vị: Newton, N).
- **B**: Độ lớn cảm ứng từ của từ trường (đơn vị: Tesla, T).
- **I**: Cường độ dòng điện chạy qua dây dẫn (đơn vị: Ampe, A).
- **L**: Chiều dài của đoạn dây dẫn nằm trong từ trường (đơn vị: mét, m).
- **α** : Góc hợp bởi hướng của dòng điện (vectơ **IL**) và hướng của đường sức từ (vectơ **B**).

Các trường hợp đặc biệt:

- Khi dây dẫn đặt song song với đường sức từ ($\alpha = 0^\circ$ hoặc $\alpha = 180^\circ$), thì $\sin(\alpha) = 0$. Do đó, **F = 0**. Dây dẫn không chịu tác dụng của lực từ.

- Khi dây dẫn đặt vuông góc với đường sức từ ($\alpha = 90^\circ$), thì $\sin(\alpha) = 1$. Lực từ có độ lớn cực đại: **$F_{\max} = B * I * L$** .

Ví dụ minh họa:

- **Ví dụ 1:** Một đoạn dây dẫn thẳng dài 20 cm mang dòng điện 5 A được đặt trong một từ trường đều có cảm ứng từ $B = 0,04$ T. Đoạn dây dẫn đặt vuông góc với các đường sức từ. Tính độ lớn lực từ tác dụng lên đoạn dây.

Giải:

Đổi $L = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$.

Vì dây dẫn đặt vuông góc với đường sức từ nên $\alpha = 90^\circ$, $\sin(\alpha) = 1$.

Áp dụng công thức: $F = B * I * L * \sin(\alpha) = 0,04 * 5 * 0,2 * \sin(90^\circ) = 0,04 \text{ N}$.

- **Ví dụ 2:** Một dây dẫn dài 50 cm, mang dòng điện 10 A, được đặt trong từ trường đều $B = 0,1$ T. Dây dẫn hợp với các đường sức từ một góc 30° . Tính độ lớn lực từ.

Giải:

Đổi $L = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$.

Góc $\alpha = 30^\circ$.

Áp dụng công thức: $F = B * I * L * \sin(\alpha) = 0,1 * 10 * 0,5 * \sin(30^\circ) = 0,5 * 0,5 = 0,25 \text{ N}$.

II. Lực từ tác dụng lên khung dây dẫn kín mang dòng điện

Khi một khung dây dẫn kín, phẳng, có dòng điện chạy qua được đặt trong một từ trường đều, các cạnh của khung sẽ chịu tác dụng của lực từ. Tổng hợp các lực này có thể làm cho khung dây quay.

1. Phân tích các lực từ tác dụng lên các cạnh của khung dây

Xét một khung dây hình chữ nhật MNPQ có dòng điện I chạy qua, được đặt trong từ trường đều $\mathbf{B}$ sao cho mặt phẳng khung dây song song với các đường sức từ.

- **Cạnh MN và PQ:** Hai cạnh này song song với các đường sức từ ($\alpha = 0^\circ$ và $\alpha = 180^\circ$). Do đó, lực từ tác dụng lên hai cạnh này bằng không ($F_{MN} = F_{PQ} = 0$).
- **Cạnh NP và QM:** Hai cạnh này vuông góc với các đường sức từ ($\alpha = 90^\circ$). Chúng chịu tác dụng của hai lực từ $\mathbf{F1}$ (tác dụng lên NP) và $\mathbf{F2}$ (tác dụng lên QM).

Sử dụng quy tắc bàn tay trái, ta xác định được:

- $\mathbf{F1}$ và $\mathbf{F2}$ có cùng phương (vuông góc với mặt phẳng khung dây).
- $\mathbf{F1}$ và $\mathbf{F2}$ ngược chiều nhau.
- $\mathbf{F1}$ và $\mathbf{F2}$ có cùng độ lớn: $F1 = F2 = B * I * L_{NP}$ (với L_{NP} là chiều dài cạnh NP).

Cặp lực $\mathbf{F1}$ và $\mathbf{F2}$ tạo thành một ngẫu lực, có tác dụng làm cho khung dây quay quanh trục đối xứng của nó.

2. Momen lực từ

Momen của ngẫu lực từ tác dụng lên khung dây làm nó quay được gọi là momen lực từ.

Công thức tính momen lực từ:

$$\mathbf{M} = \mathbf{N} * \mathbf{I} * \mathbf{B} * \mathbf{S} * \sin(\theta)$$

Trong đó:

- **M**: Momen lực từ (đơn vị: Newton mét, N.m).
- **N**: Số vòng dây của khung (nếu khung chỉ có 1 vòng thì $N = 1$).
- **I**: Cường độ dòng điện trong khung (A).
- **B**: Cảm ứng từ của từ trường (T).
- **S**: Diện tích mặt phẳng của khung dây (m^2).
- **θ** : Góc hợp bởi vectơ pháp tuyến **n** của mặt phẳng khung dây và vectơ cảm ứng từ **B**.

Lưu ý quan trọng về góc θ :

- Vectơ pháp tuyến **n** là vectơ có phương vuông góc với mặt phẳng khung dây. Chiều của nó được xác định bằng quy tắc nắm tay phải (nắm tay phải theo chiều dòng điện, ngón cái choãi ra chỉ chiều của **n**).
- Khi mặt phẳng khung dây song song với đường sức từ, thì **n** vuông góc với **B** ($\theta = 90^\circ$). Lúc này $\sin(\theta) = 1$ và momen lực từ đạt giá trị cực đại: **$M_{\text{max}} = N * I * B * S$** .

- Khi mặt phẳng khung dây vuông góc với đường sức từ, thì $\mathbf{n}$ song song với $\mathbf{B}$ ($\theta = 0^\circ$). Lúc này $\sin(\theta) = 0$ và momen lực từ bằng không: $\mathbf{M} = \mathbf{0}$. Đây là vị trí cân bằng bền của khung dây.

Ví dụ minh họa:

- **Ví dụ 1:** Một khung dây hình chữ nhật có kích thước 20 cm x 30 cm, gồm 50 vòng dây, có dòng điện $I = 2$ A chạy qua. Khung được đặt trong một từ trường đều $B = 0,5$ T. Mặt phẳng khung dây song song với các đường sức từ. Tính momen lực từ tác dụng lên khung.

Giải:

Diện tích khung dây: $S = 0,2 \text{ m} * 0,3 \text{ m} = 0,06 \text{ m}^2$.

Khi mặt phẳng khung dây song song với đường sức từ, góc giữa vectơ pháp tuyến $\mathbf{n}$ và vectơ $\mathbf{B}$ là $\theta = 90^\circ$.

Momen lực từ tác dụng lên khung là:

$$M = N * I * B * S * \sin(90^\circ) = 50 * 2 * 0,5 * 0,06 * 1 = 3 \text{ N.m.}$$

- **Ví dụ 2:** Một khung dây tròn bán kính 10 cm, có 100 vòng dây, được đặt trong từ trường đều $B = 0,1$ T. Dòng điện qua mỗi vòng dây là 5 A. Mặt phẳng khung dây hợp với đường sức từ một góc 60° . Tính momen lực từ tác dụng lên khung.

Giải:

$$S = \pi * r^2 = 3,14 * (0,1)^2 = 0,0314 \text{ m}^2.$$

Góc giữa mặt phẳng khung dây và đường sức từ là 60° , vậy góc giữa vectơ pháp tuyến $\mathbf{n}$ và vectơ $\mathbf{B}$ là $\theta = 90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$.

Momen lực từ tác dụng lên khung là:

$$M = N * I * B * S * \sin(\theta) = 100 * 5 * 0,1 * 0,0314 * \sin(30^\circ) = 50 * 0,0314 * 0,5 \approx 0,785 \text{ N.m.}$$

3. Ứng dụng

Hiện tượng khung dây mang dòng điện quay trong từ trường là nguyên tắc cơ bản để chế tạo nhiều thiết bị quan trọng, trong đó nổi bật là:

- **Động cơ điện một chiều:** Biến điện năng thành cơ năng, được sử dụng trong quạt điện, máy bơm, xe điện...
- **Điện kế khung quay (Galvanometer):** Dùng để đo các dòng điện yếu, là bộ phận chính trong các Ampe kế, Vôn kế kim chỉ thị.