

Phương pháp giải bài tập Điện trường - Từ trường (Lực điện, Lực Lorentz)

Tài liệu này tổng hợp toàn bộ kiến thức lý thuyết và các phương pháp giải bài tập cốt lõi liên quan đến Lực điện trong điện trường và Lực Lorentz trong từ trường. Đây là những phần kiến thức quan trọng trong chương trình Vật Lý lớp 12, thường xuất hiện trong các bài kiểm tra và kỳ thi THPT Quốc gia.

Phần I: Điện trường và Lực điện

Điện trường là môi trường tồn tại xung quanh điện tích, tác dụng lực lên các điện tích khác đặt trong nó. Lực tương tác này được gọi là lực điện.

1. Định luật Coulomb và Lực tương tác tĩnh điện (Lực điện)

a. Nội dung định luật

Lực hút hoặc đẩy giữa hai điện tích điểm đặt trong chân không có phương trùng với đường thẳng nối hai điện tích điểm, có độ lớn tỉ lệ thuận với tích độ lớn của hai điện tích và tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa chúng.

b. Biểu thức

Độ lớn của lực tương tác giữa hai điện tích điểm q_1, q_2 đặt cách nhau một khoảng r :

$$F = k * |q_1 q_2| / (\epsilon * r^2)$$

- **F**: Độ lớn lực tương tác tĩnh điện (N).

- **k**: Hằng số Coulomb, $k = 9.10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$.
- **q_1, q_2** : Độ lớn của các điện tích (C).
- **r**: Khoảng cách giữa hai điện tích (m).
- **ϵ** : Hằng số điện môi của môi trường. Trong chân không hoặc không khí, $\epsilon \approx 1$.

c. Đặc điểm của vectơ lực Coulomb

- **Điểm đặt**: Tại điện tích chịu tác dụng lực.
- **Phương**: Trùng với đường thẳng nối hai điện tích.
- **Chiều**:
 - Hướng ra xa nhau nếu hai điện tích cùng dấu (lực đẩy).
 - Hướng lại gần nhau nếu hai điện tích trái dấu (lực hút).

d. Ví dụ minh họa

Ví dụ 1: Hai điện tích điểm $q_1 = 2.10^{-8} \text{ C}$ và $q_2 = -4.10^{-8} \text{ C}$ đặt cách nhau 5 cm trong không khí. Tính độ lớn lực tương tác giữa chúng.

Giải:

Áp dụng công thức Định luật Coulomb:

$$r = 5 \text{ cm} = 0.05 \text{ m}$$

$$F = (9.10^9 * |2.10^{-8} * (-4.10^{-8})|) / 0.05^2 = (9.10^9 * 8.10^{-16}) / 0.0025 = 0.00288 \text{ N.}$$

Vì q_1 và q_2 trái dấu nên đây là lực hút.

Ví dụ 2: Hai quả cầu kim loại nhỏ giống hệt nhau, mang điện tích $q_1 = 4 \mu\text{C}$ và $q_2 = -10 \mu\text{C}$. Cho chúng tiếp xúc với nhau rồi tách ra, đặt cách nhau 10 cm trong chân không. Xác định lực tương tác giữa chúng sau khi tiếp xúc.

Giải:

Khi hai quả cầu giống hệt nhau tiếp xúc, điện tích sẽ phân bố lại đều. Điện tích mỗi quả cầu sau khi tiếp xúc là:

$$q' = (q_1 + q_2) / 2 = (4 \mu\text{C} - 10 \mu\text{C}) / 2 = -3 \mu\text{C} = -3 \cdot 10^{-6} \text{ C}.$$

Lực tương tác sau khi tách ra:

$$r = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$$

$$F = (9 \cdot 10^9 * |-3 \cdot 10^{-6} * (-3 \cdot 10^{-6})|) / 0.1^2 = (9 \cdot 10^9 * 9 \cdot 10^{-12}) / 0.01 = 8.1 \text{ N}.$$

Vì hai điện tích sau khi tiếp xúc cùng dấu âm nên đây là lực đẩy.

2. Lực điện trường tác dụng lên điện tích

a. Khái niệm và biểu thức

Điện trường tại một điểm là đại lượng vật lý đặc trưng cho khả năng tác dụng lực của điện trường tại điểm đó. Lực điện trường **F** tác dụng lên một điện tích **q** đặt trong điện trường có vectơ cường độ điện trường **E** được xác định bởi:

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E}$$

- **F**: Vectơ lực điện (N).
- **q**: Điện tích chịu tác dụng lực (C).
- **E**: Vectơ cường độ điện trường (V/m).

b. Đặc điểm của lực

- **Phương**: Trùng với phương của vectơ cường độ điện trường **E**.

- **Chiều:**

- Nếu $q > 0$: **F** cùng chiều với **E**.
- Nếu $q < 0$: **F** ngược chiều với **E**.

- **Độ lớn:** $F = |q|E$.

c. Ví dụ minh họa

Ví dụ 1: Một electron ($q = -1.6 \cdot 10^{-19}$ C) được đặt trong một điện trường đều có cường độ $E = 2000$ V/m. Xác định độ lớn và hướng của lực điện tác dụng lên electron.

Giải:

Độ lớn lực điện: $F = |q|E = |-1.6 \cdot 10^{-19}| \cdot 2000 = 3.2 \cdot 10^{-16}$ N.

Vì electron có điện tích âm ($q < 0$) nên lực điện **F** ngược chiều với vectơ cường độ điện trường **E**.

Ví dụ 2: Một hạt bụi có khối lượng $m = 10^{-8}$ g, mang điện tích $q = 4 \cdot 10^{-10}$ C nằm lơ lửng trong một điện trường đều có phương thẳng đứng. Xác định chiều và độ lớn của cường độ điện trường. Lấy $g = 10$ m/s².

Giải:

Để hạt bụi nằm lơ lửng, lực điện phải cân bằng với trọng lực: **F** + **P** = 0.

Điều này có nghĩa là lực điện **F** phải có phương thẳng đứng, hướng lên trên và có độ lớn bằng trọng lực P.

$$P = mg = (10^{-8} \cdot 10^{-3} \text{ kg}) \cdot 10 = 10^{-10} \text{ N}.$$

$$\text{Vậy } F = P = 10^{-10} \text{ N}.$$

Vì điện tích $q > 0$ và lực điện **F** hướng lên trên, nên vectơ cường độ điện trường

E cũng phải hướng lên trên.

Độ lớn cường độ điện trường: $E = F / q = 10^{-10} / (4 \cdot 10^{-10}) = 0.25 \text{ V/m}$.

Phần II: Từ trường và Lực Lorentz

Từ trường là môi trường tồn tại xung quanh nam châm, dòng điện, hoặc các điện tích chuyển động. Từ trường tác dụng lực lên các điện tích chuyển động trong nó, lực này gọi là lực Lorentz.

1. Lực Lorentz

a. Định nghĩa

Lực Lorentz là lực do từ trường tác dụng lên một hạt điện tích chuyển động. Lực này chỉ xuất hiện khi hạt có điện tích và đang chuyển động trong từ trường.

b. Biểu thức

Độ lớn của lực Lorentz được tính bằng công thức:

$$f = |q|vB\sin(\alpha)$$

- **f**: Độ lớn lực Lorentz (N).
- **q**: Điện tích của hạt (C).
- **v**: Vận tốc của hạt (m/s).
- **B**: Cảm ứng từ của từ trường (T - Tesla).
- **α** : Góc hợp bởi vectơ vận tốc **v** và vectơ cảm ứng từ **B**.

c. Đặc điểm của lực Lorentz (Phương, Chiều, Độ lớn)

Vectơ lực Lorentz **f** có các đặc điểm sau:

- **Phương:** Vuông góc với mặt phẳng chứa vectơ vận tốc $\mathbf{v}$ và vectơ cảm ứng từ $\mathbf{B}$. Do đó, $\mathbf{f} \perp \mathbf{v}$ và $\mathbf{f} \perp \mathbf{B}$.
- **Chiều:** Được xác định bằng quy tắc bàn tay trái.
- **Độ lớn:** $f = |q|vB\sin(\alpha)$.

d. Quy tắc bàn tay trái

Để xác định chiều của lực Lorentz, ta sử dụng quy tắc bàn tay trái:

1. Để bàn tay trái mở rộng, sao cho các đường cảm ứng từ ($\mathbf{B}$) xuyên vào lòng bàn tay.
2. Chiều từ cổ tay đến ngón tay giữa là chiều của vectơ vận tốc ($\mathbf{v}$).
3. Khi đó:
 - Nếu $q > 0$ (điện tích dương), ngón tay cái choãi ra 90° chỉ chiều của lực Lorentz ($\mathbf{f}$).
 - Nếu $q < 0$ (điện tích âm), ngón tay cái choãi ra 90° chỉ chiều ngược lại với chiều của lực Lorentz ($\mathbf{f}$).

e. Ví dụ minh họa

Ví dụ 1: Một proton ($q = 1.6 \cdot 10^{-19}$ C) bay vào một từ trường đều có $B = 0.5$ T với vận tốc $v = 2 \cdot 10^6$ m/s. Vectơ vận tốc hợp với vectơ cảm ứng từ một góc 30° . Tính độ lớn lực Lorentz tác dụng lên proton.

Giải:

Áp dụng công thức tính độ lớn lực Lorentz:

$$f = |q|vB\sin(\alpha) = (1.6 \cdot 10^{-19}) * (2 \cdot 10^6) * 0.5 * \sin(30^\circ)$$

$$f = (1.6 \cdot 10^{-19}) * (2 \cdot 10^6) * 0.5 * 0.5 = 8 \cdot 10^{-14} \text{ N.}$$

Ví dụ 2: Một electron bay vào không gian có từ trường đều $B = 0.2 \text{ T}$ với vận tốc ban đầu $v_0 = 2 \cdot 10^5 \text{ m/s}$ vuông góc với **B**. Xác định chiều và độ lớn của lực Lorentz.

Giải:

Độ lớn lực Lorentz:

$$\text{Góc } \alpha = 90^\circ, \sin(90^\circ) = 1.$$

$$f = |q|vB\sin(\alpha) = |-1.6 \cdot 10^{-19}| * (2 \cdot 10^5) * 0.2 * 1 = 6.4 \cdot 10^{-15} \text{ N.}$$

Chiều của lực Lorentz: Áp dụng quy tắc bàn tay trái. Giả sử **B** hướng thẳng đứng từ dưới lên, **v** hướng từ trái sang phải. Đặt bàn tay trái sao cho **B** đâm vào lòng bàn tay, chiều từ cổ tay đến ngón giữa theo chiều **v**. Vì electron có $q < 0$, nên lực Lorentz **f** sẽ ngược chiều ngón tay cái choãi ra, tức là hướng từ ngoài vào trong mặt phẳng hình vẽ.

2. Chuyển động của điện tích trong từ trường đều

Khi một hạt điện tích chuyển động trong từ trường đều, lực Lorentz luôn vuông góc với vận tốc. Do đó, lực Lorentz không sinh công và không làm thay đổi độ lớn vận tốc (tức không làm thay đổi động năng) của hạt, nó chỉ làm thay đổi hướng chuyển động.

a. Trường hợp **v** song song với **B** ($\alpha = 0^\circ$ hoặc $\alpha = 180^\circ$)

$\sin(\alpha) = 0 \rightarrow f = 0$. Lực Lorentz bằng không. Hạt không chịu tác dụng của từ trường, do đó nó sẽ tiếp tục chuyển động thẳng đều.

b. Trường hợp $\mathbf{v}$ vuông góc với $\mathbf{B}$ ($\alpha = 90^\circ$)

$\sin(\alpha) = 1 \rightarrow f = |q|vB$ (độ lớn không đổi).

Lực Lorentz $\mathbf{f}$ luôn vuông góc với $\mathbf{v}$ và có độ lớn không đổi. Lực này đóng vai trò là lực hướng tâm, khiến hạt chuyển động tròn đều trong mặt phẳng vuông góc với $\mathbf{B}$.

- **Lực hướng tâm:** $F_{ht} = mv^2/R$
- **Lực Lorentz:** $f = |q|vB$
- **Ta có:** $mv^2/R = |q|vB$
- **Bán kính quỹ đạo:** $R = mv / (|q|B)$
- **Chu kỳ chuyển động:** $T = 2\pi R / v = 2\pi m / (|q|B)$
- **Tần số chuyển động:** $f_{freq} = 1/T = |q|B / (2\pi m)$

Nhận xét: Chu kỳ và tần số chuyển động của hạt không phụ thuộc vào vận tốc và bán kính quỹ đạo.

c. Ví dụ minh họa

Ví dụ: Một electron có khối lượng $m = 9.1 \cdot 10^{-31}$ kg bay vào một từ trường đều $B = 10^{-4}$ T với vận tốc $v = 3.2 \cdot 10^6$ m/s. Vận tốc ban đầu vuông góc với các đường sức từ. Tính bán kính quỹ đạo của electron.

Giải:

Khi $v \perp B$, electron sẽ chuyển động tròn đều dưới tác dụng của lực Lorentz.

Áp dụng công thức tính bán kính quỹ đạo:

$$R = mv / (|q|B) = (9.1 \cdot 10^{-31} * 3.2 \cdot 10^6) / (|-1.6 \cdot 10^{-19}| * 10^{-4})$$

$$R = (29.12 * 10^{-25}) / (1.6 * 10^{-23}) = 18.2 * 10^{-2} \text{ m} = 18.2 \text{ cm}.$$

Phần III: So sánh và Tổng kết

1. Bảng so sánh Lực điện và Lực Lorentz

Tiêu chí	Lực điện (F)	Lực Lorentz (f)
Điều kiện tác dụng	Tác dụng lên điện tích q đặt trong điện trường E (dù đứng yên hay chuyển động).	Chỉ tác dụng lên điện tích q khi nó chuyển động trong từ trường B.
Biểu thức	$F = qE$	$f = q vB\sin(\alpha)$
Phương	Trùng với phương của vectơ cường độ điện trường E.	Vuông góc với cả v và B.
Chiều	Cùng chiều E nếu $q > 0$. Ngược chiều E nếu $q < 0$.	Theo quy tắc bàn tay trái.
Công của lực	Có thể sinh công ($A \neq 0$), làm thay đổi động năng của hạt.	Không sinh công ($A = 0$), chỉ làm thay đổi hướng vận tốc, không thay đổi động năng.

2. Phương pháp giải bài tập tổng hợp

Khi một điện tích chuyển động trong vùng có cả điện trường và từ trường, nó sẽ chịu tác dụng đồng thời của cả lực điện và lực Lorentz. Lực tổng hợp tác dụng lên điện tích là:

F_t