

Tổng hợp kiến thức về Lực tương tác tĩnh điện (Định luật Coulomb)

Trong chương trình Vật Lý lớp 11, Định luật Coulomb là một trong những kiến thức nền tảng quan trọng nhất của phần Tĩnh điện học. Định luật này mô tả lực tương tác (hút hoặc đẩy) giữa các vật mang điện đứng yên. Tài liệu này sẽ tổng hợp đầy đủ và chi tiết các công thức, khái niệm liên quan.

1. Điện tích điểm

a. Khái niệm

Điện tích điểm là một vật mang điện có kích thước rất nhỏ so với khoảng cách tới điểm mà ta xét. Trong các bài toán, khi không nói gì thêm, ta coi các điện tích là điện tích điểm.

b. Ví dụ

Một quả cầu kim loại nhỏ mang điện tích được coi là một điện tích điểm khi ta xét lực tương tác của nó với một quả cầu khác ở khoảng cách xa (lớn hơn nhiều lần bán kính của quả cầu).

2. Định luật Coulomb (Định luật Cu-lông)

Định luật Coulomb do nhà vật lý người Pháp Charles Augustin de Coulomb phát biểu năm 1785, mô tả định lượng về lực tương tác giữa hai điện tích điểm đứng yên.

a. Nội dung định luật

Lực hút hay lực đẩy giữa hai điện tích điểm đứng yên trong chân không có phương trùng với đường thẳng nối hai điện tích điểm đó, 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 của Định luật Coulomb

Công thức tính độ lớn lực tương tác giữa hai điện tích điểm q_1, q_2 đặt cách nhau một khoảng r trong môi trường có hằng số điện môi ϵ là:

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

- **F**: Độ lớn lực tương tác tĩnh điện (đơn vị: Newton - N).
- **k**: Hằng số Coulomb, trong hệ SI có giá trị **$k = 9 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$** .
- **q_1, q_2** : Độ lớn của hai điện tích điểm (đơn vị: Coulomb - C).
- **r**: Khoảng cách giữa hai điện tích điểm (đơn vị: mét - m).
- **ϵ** (epsilon): Hằng số điện môi của môi trường. Đây là một đại lượng không có thứ nguyên, đặc trưng cho tính chất cách điện của môi trường. Trong chân không, $\epsilon = 1$. Trong không khí, $\epsilon \approx 1$.

c. Đặc điểm của lực Coulomb (vector lực)

Lực Coulomb là một đại lượng vector, được xác định bởi 4 yếu tố:

- **Điểm đặt**: Trên điện tích chịu tác dụng của lực.
- **Phương**: Nằm trên đường thẳng nối hai điện tích.

- **Chiều:**

- **Lực đẩy:** Nếu hai điện tích cùng dấu ($q_1 q_2 > 0$). Lực tác dụng lên mỗi điện tích sẽ hướng ra xa điện tích kia.
- **Lực hút:** Nếu hai điện tích trái dấu ($q_1 q_2 < 0$). Lực tác dụng lên mỗi điện tích sẽ hướng vào điện tích kia.

- **Độ lớn:** Được tính bằng công thức $F = k * |q_1 q_2| / (\epsilon * r^2)$.

d. Ví dụ minh họa

1. **Ví dụ 1 (Lực đẩy):** Hai điện tích điểm $q_1 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ và $q_2 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ đặt cách nhau 10 cm trong không khí ($\epsilon \approx 1$). Tính lực tương tác giữa chúng.

Giải:

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

Vì $q_1 q_2 > 0$, đây là lực đẩy.

Độ lớn lực tương tác: $F = (9 \cdot 10^9 * |2 \cdot 10^{-6} * 3 \cdot 10^{-6}|) / (1 * 0.1^2) = 5.4 \text{ N}$.

2. **Ví dụ 2 (Lực hút):** Một điện tích $q_1 = -4 \text{ } \mu\text{C}$ và $q_2 = 5 \text{ } \mu\text{C}$ đặt cách nhau 20 cm trong chân không ($\epsilon = 1$). Xác định độ lớn lực tương tác.

Giải:

Đổi: $q_1 = -4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$, $q_2 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ C}$, $r = 20 \text{ cm} = 0.2 \text{ m}$.

Vì $q_1 q_2 < 0$, đây là lực hút.

Độ lớn lực tương tác: $F = (9 \cdot 10^9 * |-4 \cdot 10^{-6} * 5 \cdot 10^{-6}|) / (1 * 0.2^2) = 4.5 \text{ N}$.

3. **Ví dụ 3 (Thay đổi khoảng cách):** Hai điện tích điểm tương tác với nhau một lực F . Nếu giữ nguyên độ lớn hai điện tích và tăng khoảng cách giữa chúng lên 3 lần thì lực tương tác mới F' sẽ bằng bao nhiêu?

Giải:

Ta có $F = k|q_1q_2| / r^2$.

Khi khoảng cách là $r' = 3r$, lực tương tác mới là $F' = k|q_1q_2| / (3r)^2 = k|q_1q_2| / (9r^2) = F/9$.

Vậy lực tương tác mới giảm đi 9 lần.

3. Hằng số điện môi (ϵ)

a. Khái niệm và ý nghĩa

Hằng số điện môi (ϵ) là một đại lượng vật lý đặc trưng cho khả năng cách điện của một vật liệu. Nó cho biết lực tương tác giữa các điện tích trong môi trường đó sẽ giảm đi bao nhiêu lần so với khi chúng đặt trong chân không.

- Trong chân không, $\epsilon = 1$ (nhỏ nhất).
- Trong các môi trường khác, $\epsilon > 1$.

b. Bảng hằng số điện môi của một số chất (tham khảo)

Môi trường	Hằng số điện môi (ϵ)
Chân không	1
Không khí (điều kiện chuẩn)	1.00059
Dầu hỏa	2.1
Nước nguyên chất	81
Thủy tinh	5 - 10

c. Ví dụ minh họa

Hai điện tích điểm $q_1 = 10^{-8}$ C và $q_2 = -10^{-8}$ C đặt cách nhau 5 cm. Tính lực tương tác giữa chúng khi đặt trong: a) Chân không ($\epsilon = 1$), b) Dầu hỏa ($\epsilon = 2.1$).

Giải:

Đổi $r = 5 \text{ cm} = 0.05 \text{ m}$. Đây là lực hút vì hai điện tích trái dấu.

a) Trong chân không: $F_{\text{ck}} = (9 \cdot 10^9 * |10^{-8} * (-10^{-8})|) / (1 * 0.05^2) = 3.6 * 10^{-3}$ N.

b) Trong dầu hỏa: $F_{\text{dầu}} = (9 \cdot 10^9 * |10^{-8} * (-10^{-8})|) / (2.1 * 0.05^2) = F_{\text{ck}} / 2.1 \approx 1.71 * 10^{-3}$ N.

Nhận xét: Khi đặt trong dầu hỏa, lực tương tác đã giảm đi 2.1 lần so với trong chân không.

4. Nguyên lý chồng chất điện trường (Áp dụng cho lực điện)

a. Nội dung nguyên lý

Nếu một điện tích điểm q_0 chịu tác dụng của nhiều lực điện $F_1, F_2, F_3, \dots$ do các điện tích điểm $q_1, q_2, q_3, \dots$ gây ra thì lực điện tổng hợp tác dụng lên q_0 sẽ bằng tổng hợp tất cả các vectơ lực này.

$$\mathbf{F}_{\text{tổng hợp}} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 + \dots \text{ (phép cộng vectơ)}$$

b. Các trường hợp tổng hợp lực thường gặp

Xét trường hợp đơn giản một điện tích q_0 chịu tác dụng của hai lực F_1 và F_2 . Vectơ lực tổng hợp $F = F_1 + F_2$ có độ lớn được xác định như sau:

1. Hai lực cùng phương, cùng chiều ($F_1 \uparrow \uparrow F_2$):

- Khi q_0 nằm ngoài đoạn thẳng nối q_1q_2 và cùng phía với điện tích có độ lớn nhỏ hơn (trường hợp q_1, q_2 trái dấu).
- Độ lớn: $F = F_1 + F_2$

2. Hai lực cùng phương, ngược chiều ($F_1 \uparrow \downarrow F_2$):

- Khi q_0 nằm trong đoạn thẳng nối q_1q_2 .
- Độ lớn: $F = |F_1 - F_2|$. Chiều của F cùng chiều với vectơ lực có độ lớn lớn hơn.

3. Hai lực vuông góc ($F_1 \perp F_2$):

- Khi ba điện tích tạo thành một tam giác vuông.
- Độ lớn: $F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$ (áp dụng định lý Pytago).

4. Hai lực hợp với nhau một góc α bất kỳ:

- Độ lớn: $F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha}$ (áp dụng định lý hàm số cos).

5. Trường hợp đặc biệt: $F_1 = F_2$ và hai lực hợp với nhau góc α :

- Độ lớn: $F = 2F_1\cos(\alpha/2)$.

c. Ví dụ minh họa

1. **Ví dụ 1 (3 điện tích thẳng hàng):** Cho hai điện tích $q_1 = 4 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ và $q_2 = -4 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ đặt tại hai điểm A, B cách nhau 4 cm trong không khí. Đặt điện tích $q_0 = 2 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ tại trung điểm M của AB. Tính lực điện tổng hợp tác dụng lên q_0 .

Giải:

$$MA = MB = 2 \text{ cm} = 0.02 \text{ m.}$$

Lực do q_1 tác dụng lên q_0 : F_{10} là lực đẩy, hướng từ A đến B. Độ lớn $F_{10} = (9.10^9 * |4.10^{-8} * 2.10^{-9}|) / 0.02^2 = 1.8 * 10^{-3} \text{ N.}$

Lực do q_2 tác dụng lên q_0 : F_{20} là lực hút, hướng từ M đến B. Độ lớn $F_{20} = (9.10^9 * |-4.10^{-8} * 2.10^{-9}|) / 0.02^2 = 1.8 * 10^{-3} \text{ N.}$

Vì F_{10} và F_{20} cùng phương, cùng chiều (cùng hướng từ A đến B) nên lực tổng hợp là: $F = F_{10} + F_{20} = 1.8 * 10^{-3} + 1.8 * 10^{-3} = 3.6 * 10^{-3} \text{ N.}$

2. **Ví dụ 2 (3 điện tích tạo thành tam giác đều):** Ba điện tích điểm $q_1 = q_2 = q_3 = 5.10^{-7} \text{ C}$ đặt tại ba đỉnh A, B, C của một tam giác đều cạnh $a = 10 \text{ cm}$ trong không khí. Xác định lực tổng hợp tác dụng lên điện tích q_3 .

Giải:

$$\text{Đổi } a = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m.}$$

Lực do q_1 tác dụng lên q_3 : F_{13} là lực đẩy, có phương AC. Độ lớn $F_{13} = (9.10^9 * |5.10^{-7} * 5.10^{-7}|) / 0.1^2 = 0.225 \text{ N.}$

Lực do q_2 tác dụng lên q_3 : F_{23} là lực đẩy, có phương BC. Độ lớn $F_{23} = (9.10^9 * |5.10^{-7} * 5.10^{-7}|) / 0.1^2 = 0.225 \text{ N.}$

$$\text{Vậy } F_{13} = F_{23} = 0.225 \text{ N.}$$

Lực tổng hợp tác dụng lên q_3 là $F_3 = F_{13} + F_{23}$.

Vì tam giác ABC đều nên góc giữa hai vectơ F_{13} và F_{23} là $\alpha = 60^\circ$.

Áp dụng công thức tổng hợp lực khi $F_{13} = F_{23}$: $F_3 = 2 * F_{13} * \cos(60^\circ/2) = 2 * 0.225 * \cos(30^\circ) = 0.225\sqrt{3} \approx 0.39 \text{ N.}$