

Chương 2: VẬT DẪN

2.1. Những tính chất của vật dẫn tích điện cân bằng.

2.2. Hiện tượng điện hưởng

2.3. Năng lượng điện trường

2.1. Những tính chất của vật dẫn tích điện cân bằng.

1. Vật dẫn tích điện cân bằng

- **Vật dẫn** là vật có chứa các hạt mang điện tự do, các hạt mang điện này có thể chuyển động trong toàn bộ vật dẫn (kim loại, dung dịch nước muối v.v.).
- **Vật dẫn tích điện cân bằng** là vật dẫn mà trong đó các hạt mang điện tự do nằm cân bằng, nghĩa là không chuyển dời có hướng tạo thành dòng điện.
- **Điều kiện cân bằng tĩnh điện:**
 - + Vectơ cường độ điện trường tại mọi điểm bên trong vật dẫn phải bằng không.

$$\vec{E}_{\text{trong}} = \vec{0}$$

- + Thành phần tiếp tuyến của vectơ cường độ điện trường tại mọi điểm trên mặt vật dẫn phải bằng không.

$$\vec{E}_t = \vec{0} \text{ hay } \vec{E}_n = \vec{E}$$

2.1. Những tính chất của vật dẫn tích điện cân bằng.

2. Những tính chất của vật dẫn mang điện

a) Vật dẫn là một khối đẳng thế

- Điện thế tại mọi điểm của vật dẫn đều bằng nhau.
- *Chứng minh:* Xét hai điểm M, N bất kỳ thuộc vật dẫn, ta có:

$$V_M - V_N = \int_M^N \vec{E} d\vec{s} \quad \begin{array}{l} \text{Mà + Bên trong vật dẫn } \vec{E} = 0 \rightarrow V_M = V_N \\ \text{+ Trên mặt vật dẫn } \vec{E} \perp d\vec{s} \rightarrow V_M = V_N \end{array}$$

Do tính chất liên tục của điện thế \rightarrow Điện thế tại một điểm sát mặt vật dẫn bằng điện thế tại một điểm trên mặt vật dẫn.

\rightarrow Vật dẫn cân bằng tĩnh điện là một khối đẳng thế.

2.1. Những tính chất của vật dẫn tích điện cân bằng.

2. Những tính chất của vật dẫn mang điện

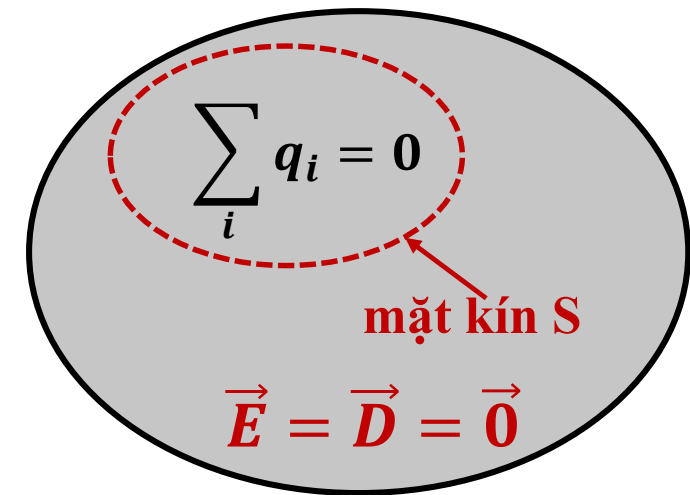
b) Khi vật dẫn tích điện cân bằng, điện tích chỉ phân bố trên bề mặt của vật dẫn, bên trong vật dẫn điện tích bằng không (trung hòa).

• *Chứng minh:*

Chọn mặt kín S bất kỳ trong lòng vật dẫn.

Áp dụng định lý O-G ta có:

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = \sum_i q_i$$



Bên trong vật dẫn $\vec{E} = \vec{D} = \vec{0} \rightarrow$ Tổng đại số các điện tích bên trong vật dẫn = 0.

\rightarrow Vật dẫn rỗng ở trạng thái cân bằng tĩnh điện, điện trường ở phần rỗng và trong thành của vật rỗng luôn luôn bằng không \rightarrow **Vật dẫn rỗng đóng vai trò màn chắn tĩnh điện** (bảo vệ các vật bên trong nó không bị ảnh hưởng bởi điện trường ngoài).

2.1. Những tính chất của vật dẫn tích điện cân bằng.

2. Những tính chất của vật dẫn mang điện

c) Sự phân bố điện tích trên mặt vật dẫn phụ thuộc vào hình dạng của mặt đó

- + Điện tích tập trung nhiều hơn ở chỗ lồi, đặc biệt tại các mũi nhọn. Điện tích hầu như bằng không ở những chỗ lõm. Mặt cầu, mặt phẳng rộng vô hạn, điện tích phân bố đều.
- + Tại các mũi nhọn điện tích tập trung nhiều nhất → Hiệu ứng mũi nhọn → Gió điện.

2.1. Những tính chất của vật dẫn tích điện cân bằng.

3. Điện dung của một vật dẫn cô lập

- Giả sử truyền cho vật A một điện tích $Q \rightarrow$ điện tích phân bố trên mặt vật dẫn, bên trong vật dẫn điện tích bằng không. Điện thế V của vật dẫn cô lập tỉ lệ điện tích Q .

\rightarrow *C là điện dung của vật dẫn:* $C = \frac{Q}{V}$

\rightarrow C phụ thuộc vào hình dạng, kích thước và tính chất của môi trường cách điện bao quanh vật dẫn.

Kết luận:

Điện dung của một vật dẫn cô lập là một đại lượng về giá trị bằng điện tích cần truyền cho vật dẫn để điện thế của vật tăng lên một đơn vị điện thế.

- Đơn vị: F

$$1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}; 1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}, 1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$$

2.1. Những tính chất của vật dẫn tích điện cân bằng.

3. Điện dung của một vật dẫn cô lập

** VD: Điện dung của quả cầu kim loại, bán kính R , đặt trong môi trường điện môi (ϵ)*

+ Truyền cho quả cầu điện tích Q

→ Điện tích phân bố trên mặt quả cầu

→ Điện thế V của quả cầu:

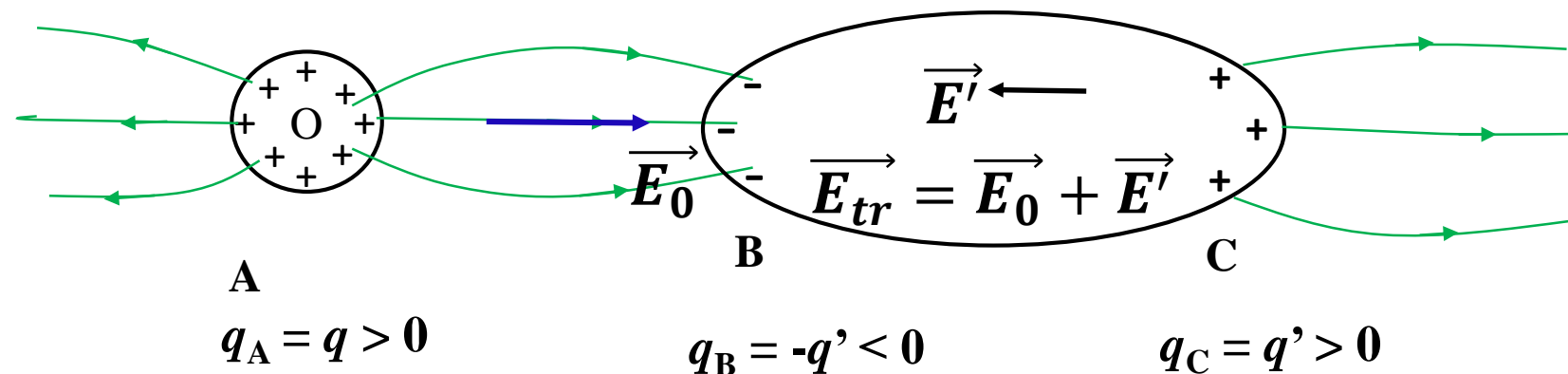
$$V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon R}$$

→ *Điện dung của quả cầu:* $C = \frac{Q}{V}$

→ $C = \frac{Q}{V} = 4\pi\epsilon_0\epsilon R$

2.2. Hiện tượng điện hưởng

1. Hiện tượng điện hưởng. Định lý các phần tử tương ứng

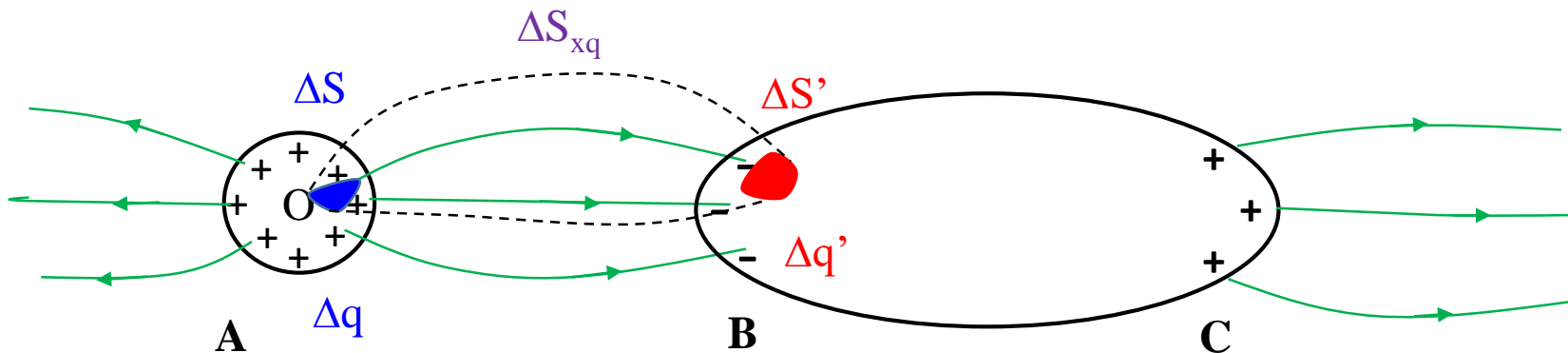


q' : điện tích cảm ứng

Hiện tượng điện hưởng là hiện tượng xuất hiện các điện tích cảm ứng trên bề mặt vật dẫn (lúc đầu không mang điện) khi đặt trong điện trường ngoài.

2.2. Hiện tượng điện hưởng

1. Hiện tượng điện hưởng. Định lý các phần tử tương ứng



+ Xét điện tích ΔS trên A, số đường cảm ứng điện xuất phát từ các điểm thuộc đường giới hạn của ΔS là N.

+ Nếu N đường cảm ứng điện này tập trung trên các điểm thuộc đường giới hạn của điện tích $\Delta S'$ thuộc mặt vật dẫn BC

→ Các phần tử ($\Delta S, \Delta S'$) là các phần tử tương ứng.

Định lý các phần tử tương ứng: Điện tích cảm ứng trên các phần tử tương ứng có độ lớn bằng nhau và trái dấu.

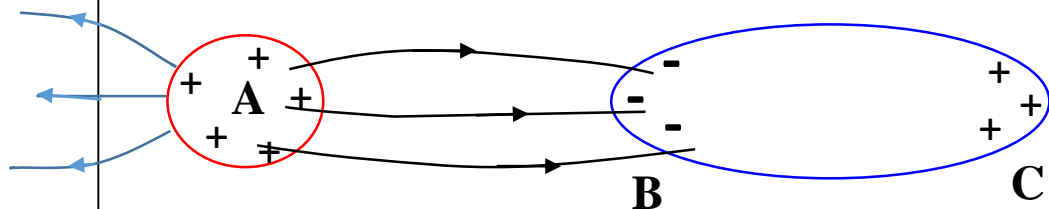
2.2. Hiện tượng điện hưởng

1. Hiện tượng điện hưởng. Định lý các phần tử tương ứng

Điện hưởng một phần

+ *Một số đường cảm ứng điện xuất phát từ A, tận cùng trên mặt B. Một số đường cảm ứng điện xuất phát từ A ra xa vô cùng.*

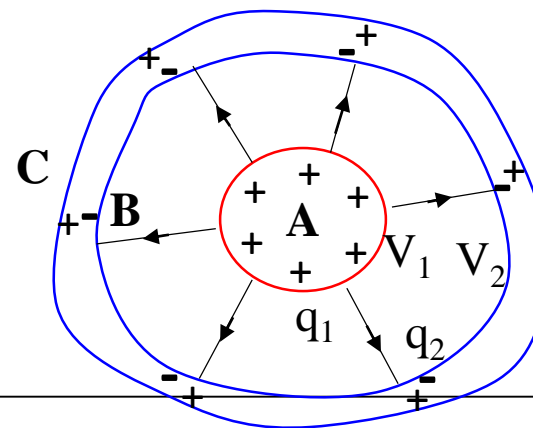
+ *Độ lớn của điện tích cảm ứng trên BC nhỏ hơn độ lớn điện tích trên vật mang điện A ($q' < q$)*



Điện hưởng toàn phần

+ *Tất cả đường cảm ứng điện xuất phát từ A, tận cùng trên mặt B*

+ *Độ lớn của điện tích cảm ứng trên BC bằng độ lớn điện tích trên vật mang điện A ($q' = q$)*



2.2. Hiện tượng điện hưởng

2. Tự điện

a. Định nghĩa:

Tự điện là một hệ gồm hai vật dẫn A và B cách điện với nhau và ở trạng thái điện hưởng toàn phần.

- A, B: hai bản tụ điện
- Bản dương A tích điện $Q_1 = Q > 0$, Bản âm B tích điện $Q_2 = -Q < 0$
- Điện tích của tụ là điện tích bản dương: Q
- V_1 : điện thế bản dương, V_2 : điện thế bản âm.

Hiệu điện thế giữa hai bản tụ: $U = V_1 - V_2$

- Hệ thức liên hệ giữa điện tích, điện dung và điện thế: $C = \frac{Q}{U}$

2.2. Hiện tượng điện hưởng

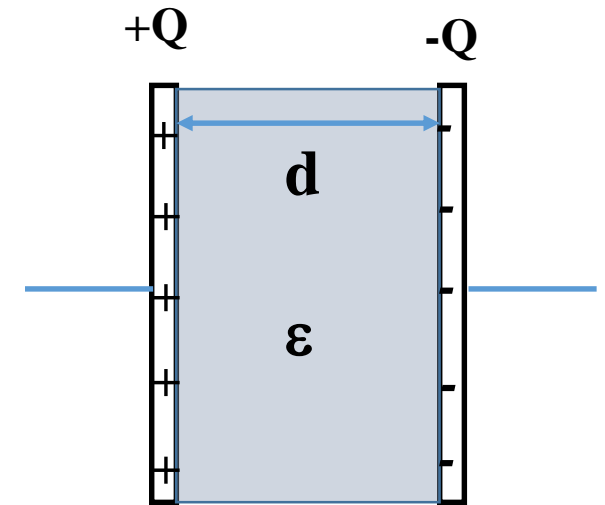
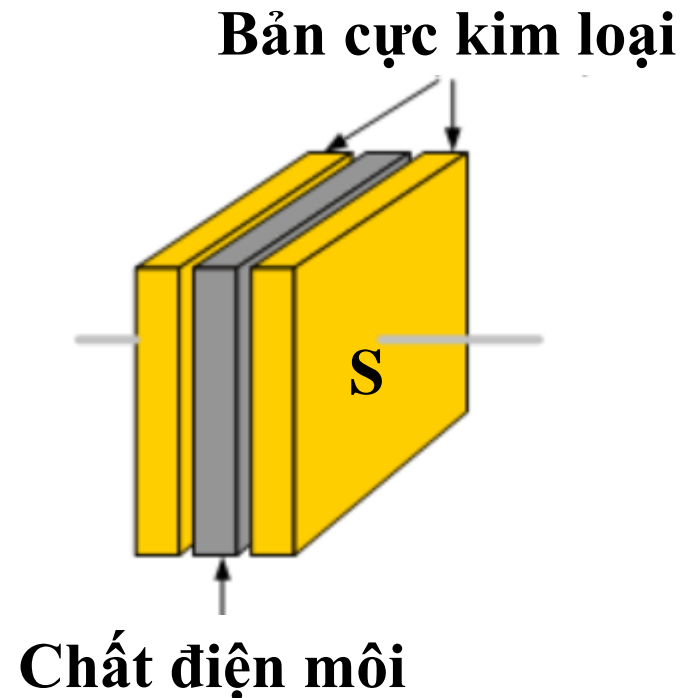
b. Điện dung của một số tụ điện

- Điện dung của tụ điện là đại lượng đặc trưng cho khả năng tích điện của tụ
 - + Phụ thuộc cấu tạo, hình dạng, kích thước hai bản, môi trường điện môi giữa 2 bản.
 - + Không phụ thuộc các vật dẫn bên ngoài

+ Không phụ thuộc các vật dẫn bên ngoài

* Tụ điện phẳng

+ Hai bản tụ là hai mặt phẳng kim loại, đặt song song, cách nhau khoảng d , diện tích mỗi bản S (d rất nhỏ so với kích thước mỗi bản).



2.2. Hiện tượng điện hưởng

c) Điện dung của một số tụ điện

* Tụ điện phẳng

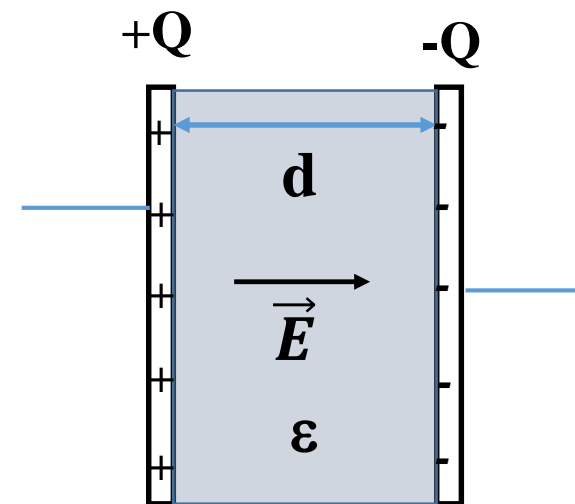
+ Điện trường giữa hai bản: Điện trường đều, gây ra bởi hai mặt phẳng song song, rộng vô hạn, tích điện đều, bằng nhau, trái dấu.

Ta có: $U = V_1 - V_2 = Ed$

Mà $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon}$

$$\Rightarrow U = \frac{\sigma d}{\epsilon_0 \epsilon} = \frac{dQ}{\epsilon_0 \epsilon S}$$

$$\Rightarrow C = \frac{Q}{U} = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$$



2.2. Hiện tượng điện hưởng

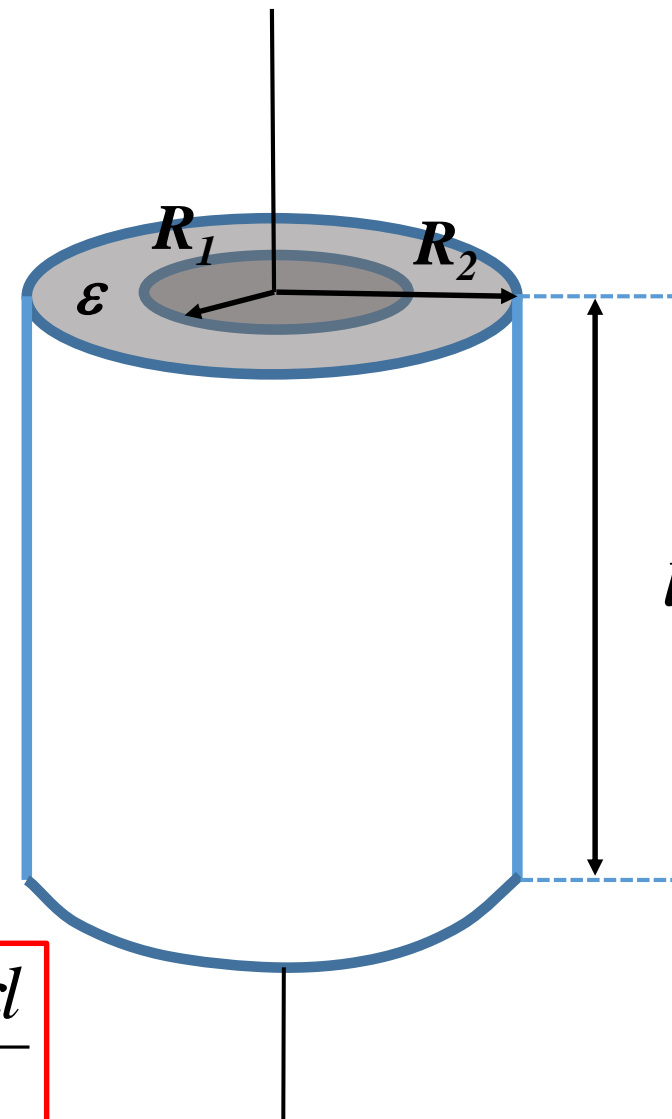
* Tụ điện trụ:

+ Hai bản tụ là hai mặt trụ kim loại đặt đồng trục, bán kính R_1 , R_2 , chiều cao l ($l \gg R_1, R_2$)

→ Điện trường giữa hai bản: Điện trường gây ra bởi hai mặt trụ dài vô hạn, mang điện đều, trái dấu, mật độ điện dài λ

$$\rightarrow U = V_1 - V_2 = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon\epsilon_0} \ln \frac{R_2}{R_1} = \frac{Q}{2\pi\epsilon\epsilon_0 l} \ln \frac{R_2}{R_1}$$

$$\Rightarrow C = \frac{Q}{U} = \frac{Q}{\frac{Q}{2\pi\epsilon_0\epsilon l} \ln \frac{R_2}{R_1}} = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon l}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \Rightarrow C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon l}{\ln \frac{R_2}{R_1}}$$



2.2. Hiện tượng điện hưởng

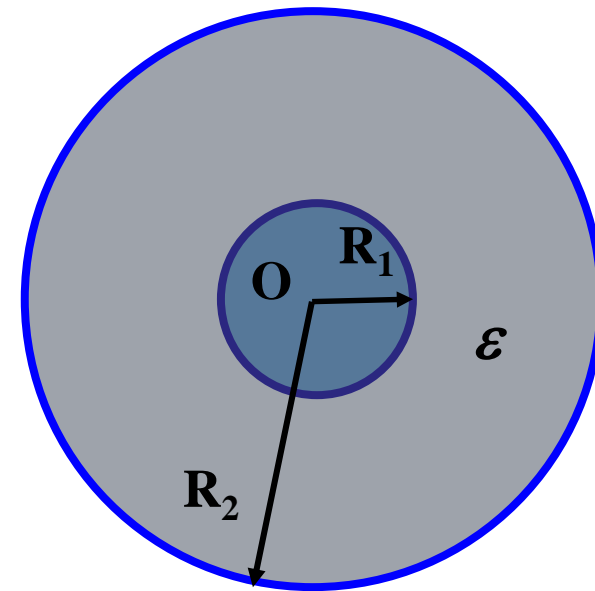
* Tụ điện cầu:

+ Hai bản tụ là hai mặt cầu kim loại đồng tâm, bán kính R_1, R_2

Ta có:

$$U = V_1 - V_2 = \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = \frac{Q(R_2 - R_1)}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R_1 R_2}$$

$$\Rightarrow C = \frac{Q}{U} = \frac{4\pi\epsilon_0\epsilon R_1 R_2}{R_2 - R_1}$$



2.3. Năng lượng điện trường

1. Năng lượng tương tác của một hệ điện tích điểm

- q_2 đặt trong điện trường của q_1 , cách q_1 khoảng r_{12}

→ Thế năng của q_2 :

$$W_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}} \quad (1)$$

- q_1 đặt trong điện trường của q_2 , cách q_2 một khoảng r_{21}

→ Thế năng của q_1 :

$$W_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q_2 q_1}{r_{21}} \quad (2)$$

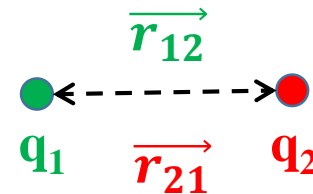
Từ (1) và (2):

$$\begin{aligned} W &= W_{12} = W_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}} \\ &= \frac{1}{2} q_1 \underbrace{\left(\frac{q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_{12}} \right)}_{V_1} + \frac{1}{2} q_2 \underbrace{\left(\frac{q_1}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_{12}} \right)}_{V_2} \end{aligned}$$

$$\rightarrow W_{12} = W_{21} = \frac{1}{2} (q_1 V_1 + q_2 V_2)$$

V_1 : Điện thế tại điểm đặt q_1 , do q_2 gây ra

V_2 : Điện thế tại điểm đặt q_2 , do q_1 gây ra

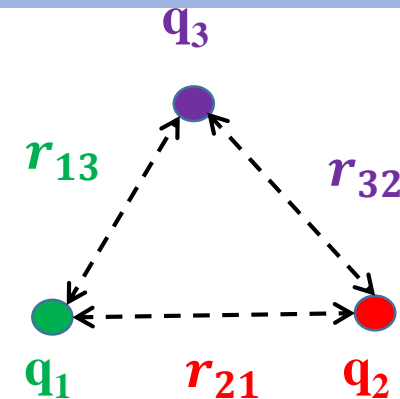


2.3. Năng lượng điện trường

1. Năng lượng tương tác của một hệ điện tích điểm

- Xét hệ 3 điện tích điểm q_1 , q_2 và q_3 :

$$\begin{aligned} W &= W_{12} + W_{23} + W_{31} \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}} + \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q_2 q_3}{r_{23}} + \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q_3 q_1}{r_{31}} \\ &= \frac{1}{2} q_1 \left(\underbrace{\frac{q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_{12}} + \frac{q_3}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_{13}}}_{V_1} \right) + \frac{1}{2} q_2 \left(\underbrace{\frac{q_3}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_{23}} + \frac{q_1}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_{12}}}_{V_2} \right) + \frac{1}{2} q_3 \left(\underbrace{\frac{q_1}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_{13}} + \frac{q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_{23}}}_{V_3} \right) \end{aligned}$$



V_1 : Điện thế tại điểm đặt q_1 do q_2 và q_3 gây ra

V_2 : Điện thế tại điểm đặt q_2 do q_1 và q_3 gây ra

V_3 : Điện thế tại điểm đặt q_3 do q_1 và q_2 gây ra

$$\Rightarrow W = W_{12} + W_{23} + W_{31} = \frac{1}{2} (q_1 V_1 + q_2 V_2 + q_3 V_3)$$

2.3. Năng lượng điện trường

1. Năng lượng tương tác của một hệ điện tích điểm

- Tổng quát, năng lượng tương tác hệ n điện tích điểm:

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i V_i$$

V_i : điện thế tại điểm đặt điện tích q_i do $n-1$ điện tích còn lại gây ra

2.3. Năng lượng điện trường

2. Năng lượng điện của một vật dẫn cô lập tích điện

- Chia vật dẫn thành từng phần tử có điện tích dq

$$W = \frac{1}{2} \int_{(\text{toàn vật})} V dq$$

- Vật dẫn tích điện cân bằng $\Rightarrow V = \text{const}$

$$W = \frac{1}{2} \int_{(\text{toàn vật})} V dq \Rightarrow W = \frac{1}{2} V \int_{(\text{toàn vật})} dq$$

$$\Rightarrow W = \frac{1}{2} VQ = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

(Q : điện tích của vật dẫn, C : điện dung của vật dẫn)

2.3. Năng lượng điện trường

3. Năng lượng tụ điện

* **Hệ vật dẫn tích điện cân bằng:** Điện tích Q_1, Q_2, \dots, Q_n
Điện thế V_1, V_2, \dots, V_n

→ **Năng lượng của hệ vật dẫn:**

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n Q_i V_i$$

* **Năng lượng tụ điện (hệ hai vật dẫn A, B cách điện đối với nhau)**

+ Điện tích, điện thế các bản tụ: Q_1, Q_2, V_1, V_2 .

+ Năng lượng của tụ:

$$W = \frac{1}{2} (Q_1 V_1 + Q_2 V_2)$$

2.3. Năng lượng điện trường

3. Năng lượng tụ điện

$$\text{Mà } Q_1 = -Q_2 = Q$$

$$\Rightarrow W = \frac{1}{2} Q(V_1 - V_2) = \frac{1}{2} QU$$

$$\Rightarrow W = \frac{1}{2} QU = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} CU^2$$

2.3. Năng lượng điện trường

4. Năng lượng tụ điện phẳng. Năng lượng điện trường

* Xét tụ điện phẳng, điện dung C

$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$$

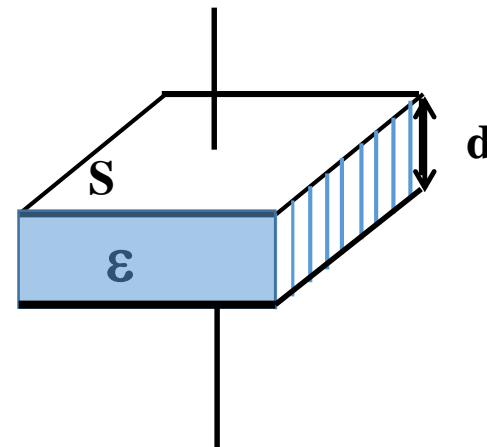
→ Năng lượng tụ điện - Năng lượng điện trường định xứ trong lòng tụ điện phẳng:

$$W = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d} \right) U^2 = \frac{1}{2} \epsilon\epsilon_0 S d \left(\frac{U}{d} \right)^2$$

Mà tụ điện phẳng:
$$\begin{cases} E = \frac{U}{d} \\ \Delta V = Sd \end{cases}$$

+ E : Điện trường đều giữa hai bản tụ

+ ΔV : Thể tích vùng không gian điện trường định xứ giữa 2 bản tụ



2.3. Năng lượng điện trường

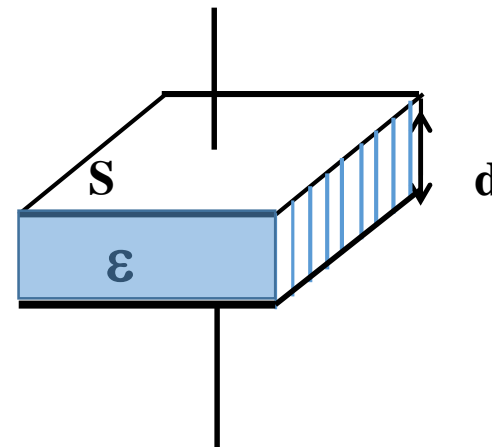
4. Năng lượng tụ điện phẳng. Năng lượng điện trường

$$\rightarrow W = \frac{1}{2} \epsilon \epsilon_0 (\Delta V) \cdot E^2$$

$$\Rightarrow \frac{W}{\Delta V} = \frac{1}{2} \epsilon \epsilon_0 E^2$$

$$\Rightarrow \omega = \frac{1}{2} \epsilon \epsilon_0 E^2 : \text{mật độ năng lượng điện trường}$$

→ Mật độ năng lượng điện trường: năng lượng định xứ trong một đơn vị thể tích của không gian có điện trường.



2.3. Năng lượng điện trường

4. Năng lượng tụ điện phẳng. Năng lượng điện trường

* Kết luận:

- Điện trường mang năng lượng, định xứ trong miền không gian có điện trường.
- Mật độ năng lượng điện trường:

$$\omega = \frac{1}{2} \epsilon \epsilon_0 E^2 = \frac{1}{2} \frac{D^2}{\epsilon \epsilon_0} = \frac{1}{2} E D \Rightarrow \omega = \frac{1}{2} \vec{E} \cdot \vec{D}$$

- Năng lượng điện trường trong thể tích dV : $dW = \omega dV = \frac{1}{2} \epsilon \epsilon_0 E^2 dV$
- Năng lượng điện trường trong thể tích V :

$$W = \int_{(V)} \omega dV = \int_{(V)} \frac{1}{2} \epsilon \epsilon_0 E^2 dV$$