

CHƯƠNG 7: ĐIỆN MÔI & VẬT DẪN

Điện môi hay chất cách điện có cấu tạo số điện tử ngoài cùng lớn hơn 4, liên kết mạnh với hạt nhân nên không bứt ra thành những điện tử tự do. Dưới tác dụng của điện trường ngoài hay điện thế thì các điện tích chịu tác dụng của lực điện chỉ làm lệch vị trí của điện tích chứ không chuyển động nên điện môi không dẫn điện. Nếu điện trường ngoài rất mạnh thì các điện tử bị bứt ra khỏi nguyên tử thành những điện tử tự do di chuyển ngược chiều với điện trường, ta nói điện môi bị phá hủy $\Rightarrow$ vật dẫn.

7.1 HIỆN TƯỢNG PHÂN CỰC ĐIỆN MÔI

1) Định nghĩa:

Đặt thanh điện môi trong điện trường ngoài hay gần vật tích điện thì hai bề mặt A và B đối diện với điện trường của chất môi tích điện trái dấu gọi là điện tích liên kết.

2) Giải thích

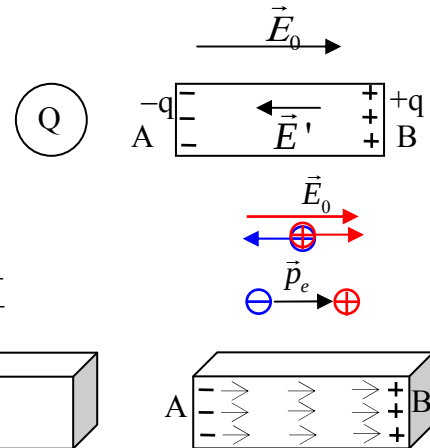
a. Điện môi phân tử không phân cực:

Gồm phân tử có phân bố electron đối xứng (Ex: H_2 ; $O_2, \dots$), nên trọng tâm của điện tích dương (G+), và âm (G-) trùng nhau $\Rightarrow$ phân tử không phân cực.

Dưới tác dụng của điện trường ngoài $\vec{E}_0$ sẽ làm lệch trọng tâm của hai điện tích: Trọng tâm của điện tích (G+), (G-) chịu tác dụng của lực điện nên không

trùng nhau tạo thành một mômen lưỡng cực điện phân tử $\vec{p}_e$ cùng phương chiều với $\vec{E}_0$: **sự phân cực electron**. Ở bên trong chất điện môi sẽ trung hòa, và hai mặt A, B đối diện với điện trường tích điện trái dấu.

$\vec{p}_e = \epsilon_0 \cdot \alpha \cdot \vec{E}_0$ phụ thuộc $\vec{E}_0$: **lưỡng cực điện phân tử đàn hồi** (α : độ phân cực phân tử)



b. Điện môi phân tử phân cực

Được cấu tạo bởi phân tử có phân bố electron không đối xứng (Ex: HCl ; CH_3Cl ; $NH_3, \dots$) nên trọng tâm điện tích (G+), (G-) không trùng nhau tạo thành một mômen điện phân tử $\vec{p}_e$ có phương chiều hỗn loạn trong chất điện môi nhưng $\sum \vec{p}_e = 0$.

Dưới tác dụng của điện trường ngoài $\vec{E}_0$, trọng tâm của điện tích (G+), (G-) chịu tác dụng của lực điện tạo thành một mômen ngẫu lực, làm cho **các $\vec{p}_e$ quay** (định hướng)

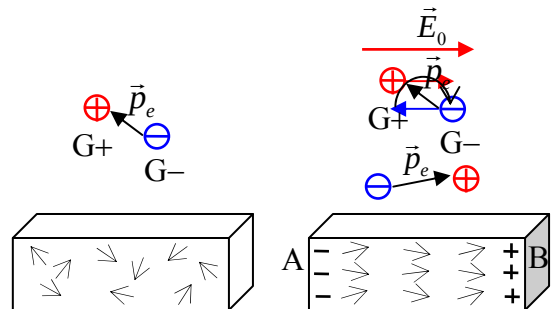
sao cho có phương chiều gần trùng với $\vec{E}_0$ nhưng

$|\vec{p}_e|$ **không đổi (lưỡng cực cứng)**: **sự phân cực định hướng**. Ở bên trong vẫn trung hòa và hai mặt A, B tích điện trái dấu.

Nếu điện trường $\vec{E}_0$ rất mạnh, lúc này $\vec{p}_e$ cùng phương chiều $\vec{E}_0$.

c. Điện môi tinh thể: có cấu tạo mạng tinh thể ion dương và âm lồng vào nhau. Dưới tác dụng của điện trường ngoài $\vec{E}_0$, các mạng ion dương dịch chuyển theo chiều của $\vec{E}_0$ còn ion âm ngược chiều gây hiện tượng phân cực: **sự phân cực ion**.

Đối với ba điện môi trên thì hiện tượng phân cực điện môi biến mất khi cắt điện trường ngoài.



7.2 Vector phân cực điện môi Điện trường trong chất điện môi.

1) Định nghĩa: Vector phân cực điện môi bằng tổng moment điện của các phân tử có trong một đơn

vị thể tích khối điện môi: $\vec{P} = \frac{\sum \vec{p}_e}{\Delta V}$

*Đối với điện môi phân tử không phân cực và điện môi tinh thể $\vec{p}_e \uparrow \uparrow \vec{E}_0$

$$\vec{P}_e = \frac{n \cdot \vec{p}_e}{\Delta V} = n_0 \cdot \vec{p}_e = n_0 \cdot \epsilon \cdot \alpha \cdot \vec{E} = \epsilon_0 \cdot \chi_e \cdot \vec{E}$$

Với : n_0 : mật độ phân tử

$\chi_e = n_0 \cdot \alpha$: hệ số phân cực của một đơn vị thể tích chất điện môi hay độ cảm điện môi.

*Đối với điện môi phân tử phân cực; $\chi_e = \frac{n_0 \cdot p_e^2}{3\epsilon_0 \cdot k \cdot T}$ (k; hằng số Boltzmann; T nhiệt độ tuyệt đối).

2) Liên hệ giữa vector phân cực điện môi $\vec{P}_e$ và mật độ điện tích của điện tích liên kết

Mật độ điện tích mặt σ của các điện tích liên kết xuất hiện trên mặt phẳng giới hạn của khối điện môi:

$$|\vec{P}_{en}| = \sigma = P_e \cdot \cos \alpha$$

7.3 Điện trường trong chất điện môi.

1) Điện trường tổng hợp trong điện môi đồng nhất, đẳng hướng.

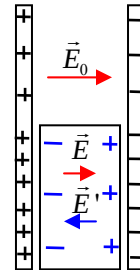
Do hai bề mặt A, B trái dấu nên xuất hiện điện trường phụ $\vec{E}'$ ngược chiều $\vec{E}_0$,

điện trường tổng hợp bên trong chất điện môi $\vec{E}$: $\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}'$ và

$$\left(E = E_0 - E' = \frac{E_0}{\epsilon} \right)$$

$$\text{Với } \sigma' = P_{en} = \epsilon_0 \cdot \chi_e \cdot E_n = \epsilon_0 \cdot \chi_e \cdot E \Rightarrow E' = \frac{\sigma'}{\epsilon_0} = \chi_e \cdot E$$

$$\Rightarrow (E = E_0 - E' = E_0 - \chi_e \cdot E \Rightarrow E_0 = (1 + \chi_e) \cdot E = \epsilon \cdot E)$$



2) Vector điện cảm $\vec{D}$ và vector phân cực điện môi $\vec{P}_e$

* Đối với điện môi bất kỳ: $\vec{D} = \epsilon_0 \cdot \vec{E} + \vec{P}_e$

* Đối với điện môi đồng nhất, đẳng hướng:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \cdot \vec{E} + \epsilon_0 \cdot \chi_e \cdot \vec{E} = \epsilon_0 \cdot \vec{E} (1 + \chi_e)$$

$$\text{với: } \epsilon = 1 + \chi_e$$

$$\text{hay: } \vec{D} = \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot \vec{E}$$

3) Đường sức của $\vec{E}, \vec{D}$ khi qua mặt phân cách của 2 môi trường:

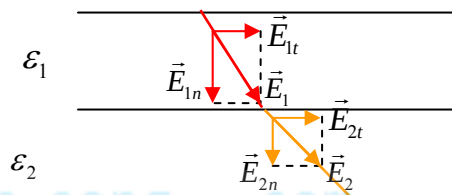
Khi qua mặt phân cách 2 môi trường:

a) Đối với $\vec{E}$: ϵ_2

$$E_{1t} = E_{2t} ; E_{1n} \neq E_{2n} \quad \frac{E_{1n}}{E_{2n}} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}$$

KL:

- Thành phần tiếp tuyến của $\vec{E}$ là liên tục khi qua mặt phân cách 2 môi trường.
- Thành phần pháp tuyến của $\vec{E}$ không liên tục khi qua mặt phân cách 2 môi trường.

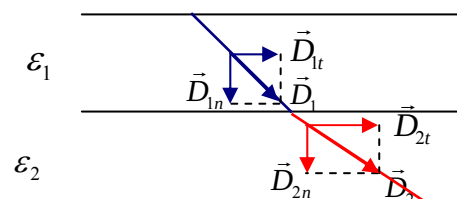


Đối với $\vec{D}$:

$$D_{1n} = D_{2n} ; D_{1t} \neq D_{2t} \quad \frac{D_{1t}}{D_{2t}} = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}$$

KL:

Thành phần tiếp tuyến của $\vec{D}$ không liên tục khi qua mặt phân cách 2 môi trường.
Thành phần pháp tuyến của $\vec{D}$ là liên tục khi qua mặt phân cách 2 môi trường.



VẬT DẪN

Vật dẫn (kim loại) được cấu tạo bởi các nguyên tử có số điện tử ở lớp ngoài cùng nhỏ hơn 4 liên kết yếu với hạt nhân, dễ biến thành những điện tử tự do. Dưới tác dụng của điện trường ngoài, $\vec{E}_0$ hay hiệu điện thế thì các điện tử tự do chịu tác dụng của lực điện $\vec{F}_E = -e\vec{E}_0$ di chuyển ngược chiều với điện trường tạo thành dòng điện tử, nên kim loại dễ dẫn điện.

7.4 VẬT DẪN CÂN BẰNG TĨNH ĐIỆN

1) Điều kiện để vật dẫn cân bằng tĩnh điện

- Điện trường bên trong vật dẫn phải bằng 0.
- Điện trường $\vec{E}$ trên bề mặt vật dẫn phải luôn luôn vuông góc với bề mặt vật dẫn.

$$\vec{E}_t = 0 \Rightarrow \vec{E} = \vec{E}_n.$$

2) Tính chất

- Vật dẫn là một vật đẳng thế.

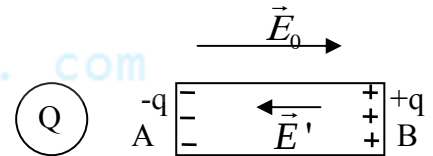
$$-dV = E \cdot dr = 0 \Rightarrow V = \text{hằng số}$$

- Khi ta truyền cho vật dẫn 1 điện tích q thì toàn bộ điện tích này sẽ phân bố trên bề mặt vật dẫn (bên trong trung hòa). Nếu vật dẫn là mặt phẳng, mặt trụ, mặt cầu thì điện tích phân bố đều trên bề mặt $\left(\sigma = \frac{Q}{S}\right)$. Nếu bề mặt vật dẫn lồi lõm khác nhau thì điện tích tập trung nhiều ở phần lồi và hầu như không tích điện ở phần lõm.

7.5 HIỆN TƯỢNG ĐIỆN HƯỚNG

1) Định nghĩa

Đặt thanh vật dẫn AB trung hòa trong điện trường $\vec{E}_0$ hoặc đặt gần vật tích điện $Q > 0$ thì hai mặt A, B đối diện với điện trường tích điện trái dấu q và $+q$ (gọi là điện tích cảm ứng)



Giải thích: các điện tử tự do trong vật dẫn dưới tác dụng của

điện trường ngoài $\vec{E}_0$ sẽ chịu 1 lực $\vec{F}_E$ di chuyển ngược chiều $\vec{E}_0$, tích điện $-q$ ở mặt A và $+q$ ở mặt B

Khi tích điện thì hai mặt A, B xuất hiện điện trường phụ $\vec{E}'$ ngược chiều $\vec{E}_0$. Điện trường tổng hợp bên trong vật dẫn: $\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}'$. Hiện tượng tích điện vật dẫn tiếp tục khi E' chưa bằng E_0 và tăng dần cho đến lúc $E' = E_0$ thì điện trường bên trong vật dẫn bằng 0. Ta có vật dẫn cân bằng tĩnh điện.

2) Phân loại

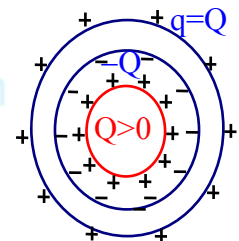
a. Điện hưởng một phần:

Khi vật dẫn AB không bao trùm hết vật tích điện Q thì ta có hiện tượng điện hưởng một phần, khi đó $q < Q$.

b. Điện hưởng toàn phần

Điện trường $\vec{E}_0$ ảnh hưởng toàn bộ lên vật dẫn.

Vật dẫn AB bao trùm hết vật tích điện Q , khi đó $q = Q$.



7.6 VẬT DẪN CÔ LẬP (VDCL)

1) Định nghĩa:

Vật dẫn cô lập về phương diện điện khi nó đặt cách xa vật khác có gây ảnh hưởng đến sự phân bố điện tích của vật dẫn.

2) Điện dung của vật dẫn cô lập

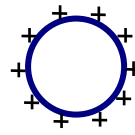
Truyền cho vật dẫn cô lập một điện tích Q thì vật dẫn có điện thế V , tăng Q thì V tăng theo và ngược

lại, nhưng tỉ số $\frac{Q}{V}$ luôn luôn là hằng số gọi là điện dung của vật dẫn cô lập. $C = \frac{Q}{V} (F) = \frac{Q}{V}$

VD: Vật dẫn hình cầu có $C = 1\text{F}$, tính R

Quả cầu chỉ phân bố điện tích Q trên bề mặt $\Rightarrow$ có thể xem là cầu rỗng có:

$$V = \frac{k.Q}{\epsilon.R} \Rightarrow R = \frac{k}{\epsilon} \cdot \frac{Q}{V} = \frac{k.C}{\epsilon} \Rightarrow R = 9.10^9 \text{ m}$$

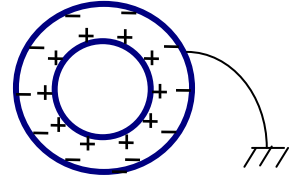


7.7 TỤ ĐIỆN

1) Định nghĩa

Khi vật dẫn B bao trùm hết vật dẫn A, ta tích cho vật dẫn A một điện tích $+Q$, thì hai bề mặt trong và ngoài của vật dẫn B sẽ tích điện $-Q$, $+Q$.

Nối mặt ngoài cùng của vật dẫn B xuống đất (mặt ngoài cùng trung hòa) ta có hai bề mặt kim loại tích điện trái dấu $-Q$, $+Q$ gọi là hai bản (cốt) của tụ điện.



2) Điện dung của tụ điện

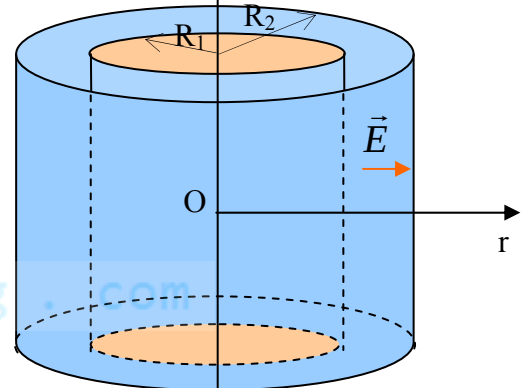
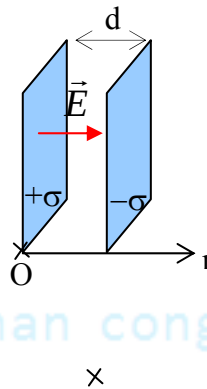
Ta tích điện cho tụ điện một điện tích Q thì hai bản tụ có hiệu điện thế U . Tăng Q thì U tăng và ngược lại, nhưng tỉ số $\frac{Q}{U}$ luôn luôn là hằng số, gọi là điện dung của tụ điện: $C = \frac{Q}{U} = hs$

3) Điện dung của các tụ điện đặc biệt

a. Tụ phẳng: $C = \frac{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot S}{d}$

$$E_1 = E_2 = \frac{\sigma}{2 \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0} \Rightarrow E = \frac{\sigma}{\epsilon \cdot \epsilon_0}$$

$$\int_{V_A}^{V_B} -dV = \int E \cdot dr = \int_0^d \frac{\sigma}{\epsilon \cdot \epsilon_0} \cdot dr = \frac{Q \cdot d}{S \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0} = U$$

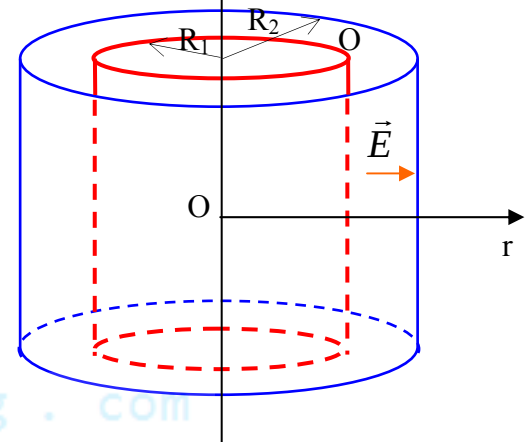


b. Tụ trụ: $C = \frac{2\pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot l}{\ln \frac{R_2}{R_1}}$

$$D \cdot S_3 = D \cdot 2\pi \cdot r \cdot l = +Q$$

$$\Rightarrow D = \frac{Q}{2\pi \cdot r \cdot l} \Rightarrow E = \frac{Q}{2\pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot l \cdot r}$$

$$U = \int_{V_A}^{V_B} -dV = \int E \cdot dr = \frac{Q}{2\pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot l} \int_{R_1}^{R_2} \frac{dr}{r} = \frac{Q}{2\pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot l} \cdot \ln \frac{R_2}{R_1}$$

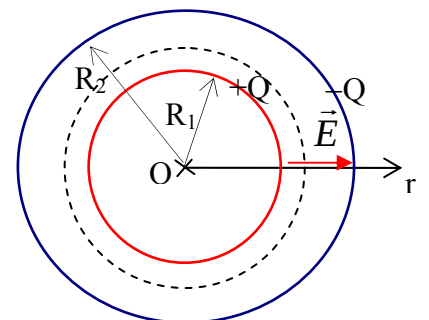


c. Tụ cầu: $C = \frac{4\pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot R_1 \cdot R_2}{R_2 - R_1}$

$$\oint D \cdot dS = D \cdot 4\pi \cdot r^2 = +Q \Rightarrow D = \frac{Q}{4\pi \cdot r^2} \Rightarrow E = \frac{Q}{4\pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot r^2}$$

$$\Rightarrow U = \int_{V_A}^{V_B} -dV = \int E \cdot dr = \frac{Q}{4\pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0} \int_{R_1}^{R_2} \frac{dr}{r^2} = \frac{Q}{4\pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0} \left(-\frac{1}{r} \right)_{R_1}^{R_2}$$

$$\Leftrightarrow U = \frac{Q}{4\pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0} \left(\frac{R_2 - R_1}{R_1 \cdot R_2} \right)$$



7.8 NĂNG LƯỢNG ĐIỆN TRƯỜNG

1) Năng lượng điện trường của hệ hai điện tích điểm: q_1, q_2 .

$$W_E = W_t = \frac{k \cdot q_1 \cdot q_2}{\epsilon \cdot r}$$

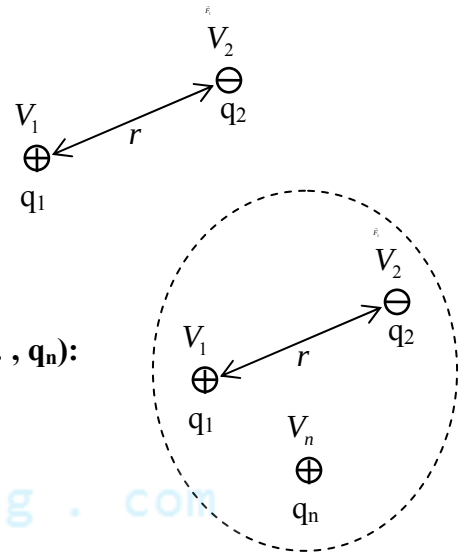
Chính là công của điện tích q_2 di chuyển từ r ra vô cùng trong điện trường của q_1 , hay công người ta di chuyển điện tích q_2 từ ∞ đến r trong điện trường của q_1 và hoán đổi ngược lại.

$$\Leftrightarrow W_E = W_t = \frac{1}{2} \cdot q_1 \frac{k \cdot q_2}{\epsilon \cdot r} + \frac{1}{2} \cdot q_2 \frac{k \cdot q_1}{\epsilon \cdot r} = \frac{1}{2} \cdot q_1 \cdot V_1 + \frac{1}{2} \cdot q_2 \cdot V_2$$

Đặt:

$$V_1 = \frac{k \cdot q_2}{\epsilon \cdot r} \quad \text{điện thế tại } q_1 \text{ do } q_2 \text{ gây ra.}$$

$$V_2 = \frac{k \cdot q_1}{\epsilon \cdot r} \quad \text{điện thế tại } q_2 \text{ do } q_1 \text{ gây ra}$$



2) Năng lượng điện trường của hệ điện tích điểm ($q_1, q_2, \dots, q_n$):

$$W_E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i \cdot V_i = \frac{1}{2} (q_1 \cdot V_1 + q_2 \cdot V_2 + \dots + q_n \cdot V_n)$$

V_i là điện thế tại q_i do các điện tích khác q_i gây ra.

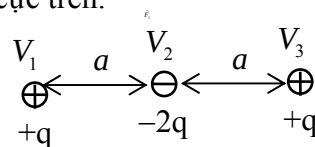
VD: Cho một tứ cực tuyến tính như hình vẽ. Tính công tạo tứ cực trên.

$$W = \frac{1}{2} (q_1 \cdot V_1 + q_2 \cdot V_2 + q_3 \cdot V_3)$$

$$V_1 = \frac{k \cdot (-2q)}{\epsilon \cdot a} + \frac{k \cdot (q)}{\epsilon \cdot 2a} = V_3$$

$$V_2 = \frac{2 \cdot k \cdot (q)}{\epsilon \cdot a}$$

$$\Rightarrow W = \frac{1}{2} \left[2 \frac{k \cdot (-2q) \cdot (q)}{\epsilon \cdot a} + 2 \frac{k \cdot (q^2)}{\epsilon \cdot 2a} + \frac{2 \cdot k \cdot (q) \cdot (-2q)}{\epsilon \cdot a} \right]$$



3) Năng lượng điện trường của VDCL.

$$dW = \frac{1}{2} dq \cdot V \Leftrightarrow \int dW = \frac{1}{2} \int dq \cdot V$$

$$W = \frac{1}{2} Q \cdot V = \frac{1}{2} C \cdot V^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

4) Năng lượng điện trường của tụ điện:

$$W = \frac{1}{2} Q \cdot U = \frac{1}{2} C \cdot U^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

5) Năng lượng điện trường:

Trong khoảng không gian điện trường, năng lượng điện trường định xứ tại mọi điểm trong không gian điện trường và mật độ năng lượng điện trường tại mọi điểm được xác định:

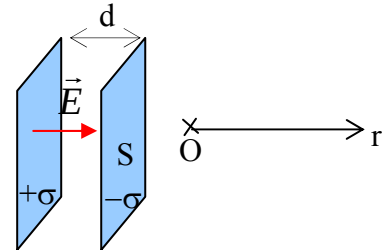
$$\omega_E = \frac{1}{2} E \cdot D = \frac{1}{2} \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot E^2 = \frac{1}{2} \frac{D^2}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0}$$

$$\omega_E = \frac{dW_E}{dV} \quad \text{và} \quad W_E = \int_{(V)} dW_E = \int_V \omega_E \cdot dV$$

*Tụ điện phẳng:

$$\omega_E = \frac{W_E}{V} = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{S}{d}}}{S \cdot d} = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S^2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma^2}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0} = \frac{1}{2} \cdot E \cdot D$$

*



$$V_A = \frac{K \cdot Q}{R}$$

$$E_A = \frac{K \cdot Q}{R^2}$$

$$V_{M(r>R)} = \frac{K \cdot Q}{r}$$

$$E_M = \frac{K \cdot Q}{r^2}$$

* 2 vật được nối với nhau:

$$V_A = \frac{K \cdot Q}{R_A}$$

$$V_B = \frac{K \cdot Q}{R_B}$$

Nối A, B:

$$V'_A = V'_B$$

$$\Leftrightarrow \frac{K \cdot Q'_A}{R_A} = \frac{K \cdot Q'_B}{R_B}$$

Với: $Q'_A + Q'_B = Q_A + Q_B$

Hay: $\frac{Q'_A}{Q'_B} = \frac{R_A}{R_B}$