

CHƯƠNG II

VẬT DẪN

1§. Vật dẫn cân bằng tĩnh điện

2§. Điện hưởng và tụ điện

3§. Năng lượng điện trường

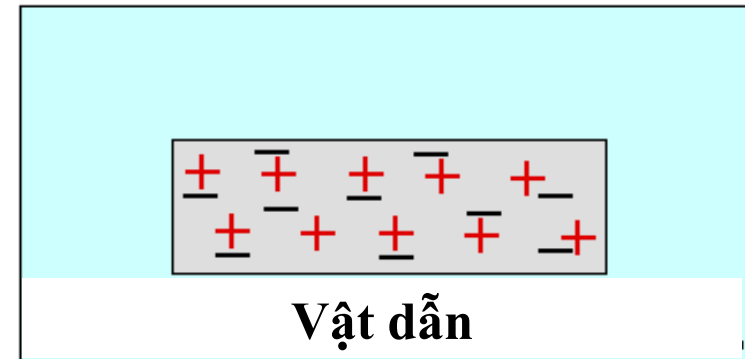
§1. Vật dẫn cân bằng tĩnh điện

1. Khái niệm mở đầu

a. Vật dẫn (vật liệu dẫn điện)

☞ Vật liệu có sẵn các điện tích tự do mà có thể dễ dàng di chuyển từ nguyên tử (phân tử) này tới nguyên tử (phân tử) khác \Rightarrow quá trình tái phân bố điện tích trên toàn bộ bề mặt khi bị nhiễm điện.

♦ Ví dụ: Kim loại, than chì, các dung dịch muối, nước, cơ thể sống...



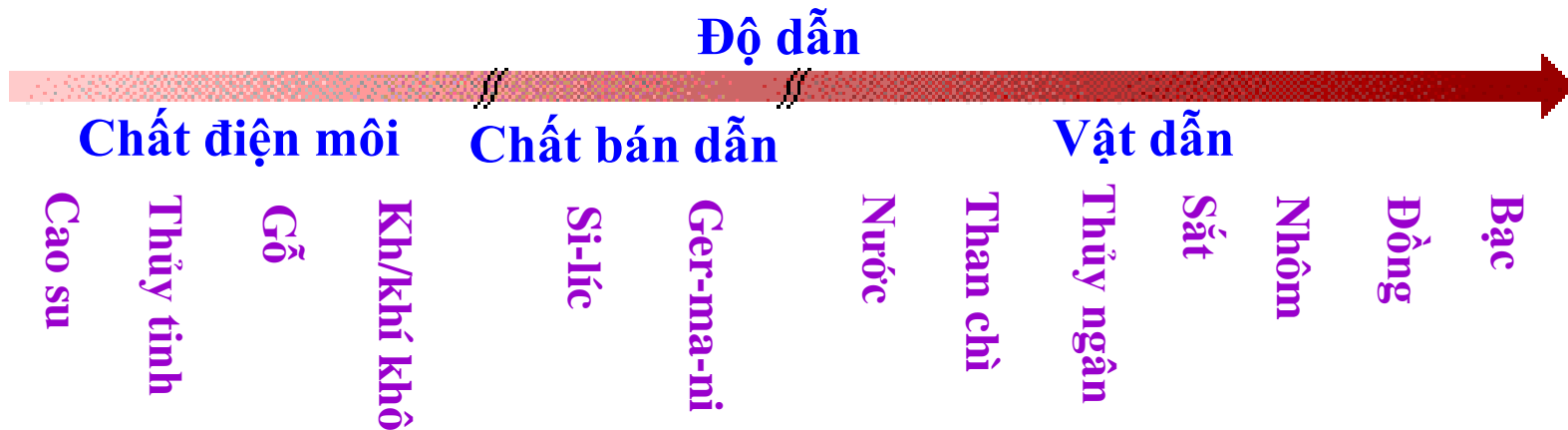
b. Chất bán dẫn (vật liệu bán dẫn)

☞ Vật liệu mà các điện tích tự do định xứ tại những vùng nhất định có thể tự do di chuyển khi chịu các tác động từ bên ngoài (ánh sáng, nhiệt độ...).

♦ Ví dụ: Si-líc, Germanium...

§1. Vật dẫn cân bằng tĩnh điện

c. Phân loại vật liệu theo độ dẫn (khả năng dẫn điện)



d. Vật dẫn kim loại

☞ Điện tích tự do chính là các điện tử (electron) hóa trị do liên kết yếu với hạt nhân nguyên tử mà dễ dàng bị bứt khỏi nguyên tử và trở thành điện tử tự do.

☞ Vật dẫn cân bằng tĩnh điện: vật có các điện tích tự do đứng yên.

§1. Vật dẫn cân bằng tĩnh điện

2. Điều kiện vật dẫn cân bằng tĩnh điện

☞ Vector cường độ điện trường bên trong vật dẫn (khối hoặc rỗng):

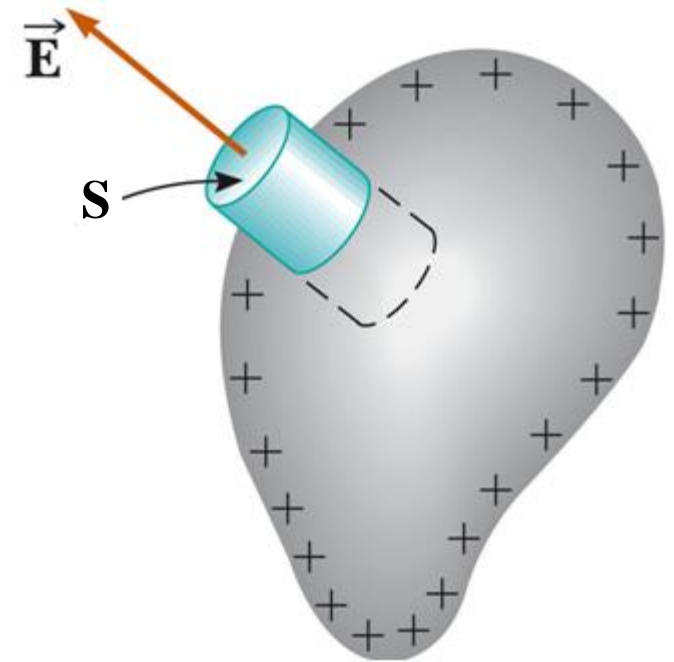
$$\vec{E}_{\text{trong}} = 0$$

☞ Tại \forall điểm trên bề mặt vật dẫn

◆ $E_t = 0$

◆ $\vec{E}_n = \vec{E}$

◆ Đường sức điện trường vuông góc với bề mặt vật dẫn tại \forall điểm



§1. Vật dẫn cân bằng tĩnh điện

3. Tính chất của vật dẫn cân bằng tĩnh điện

Vật dẫn là vật đẳng thế

☞ Bên trong vật dẫn, $E = 0$:

◆ Hiệu điện thế giữa M & N,

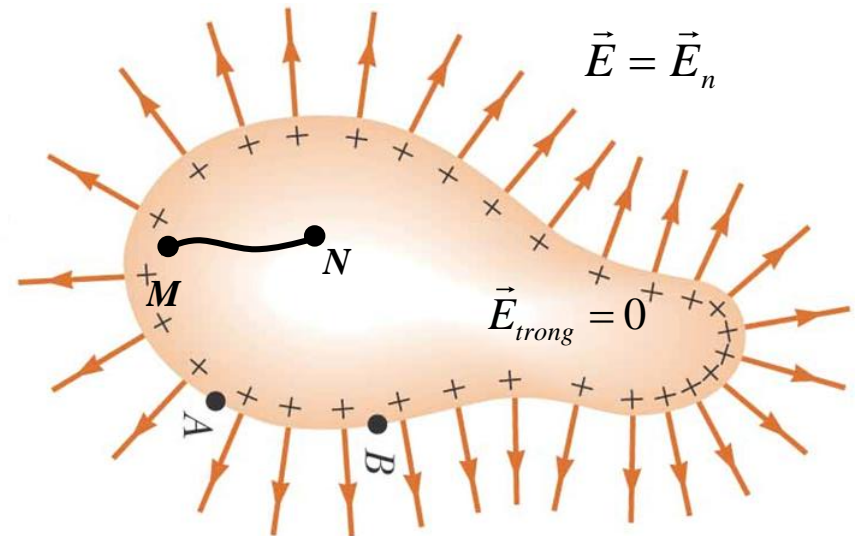
$$V_M - V_N = \int_M^N \vec{E} d\vec{s}$$

do $E = 0 \Rightarrow V_M - V_N = 0$

$$\Rightarrow V_M = V_N = V_A = V_B$$

☞ Trên bề mặt vật dẫn

$\vec{E} = \vec{E}_n \Rightarrow \mathbf{E} \perp$ mặt đẳng thế tại mọi điểm



§1. Vật dẫn cân bằng tĩnh điện

3. Tính chất của vật dẫn cân bằng tĩnh điện

Điện tích chỉ phân bố trên bề mặt

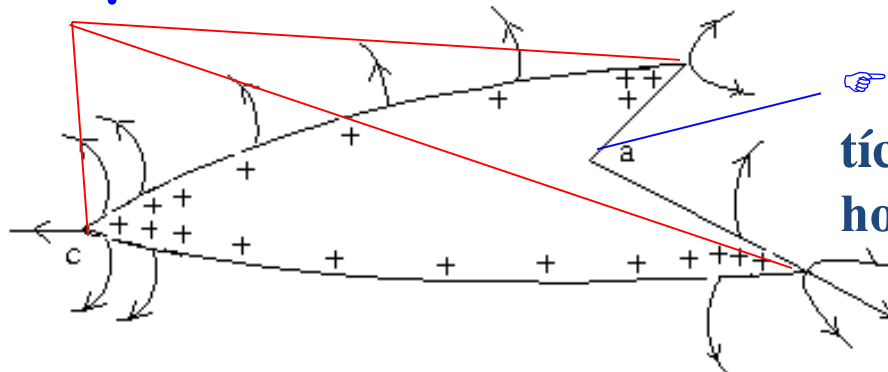
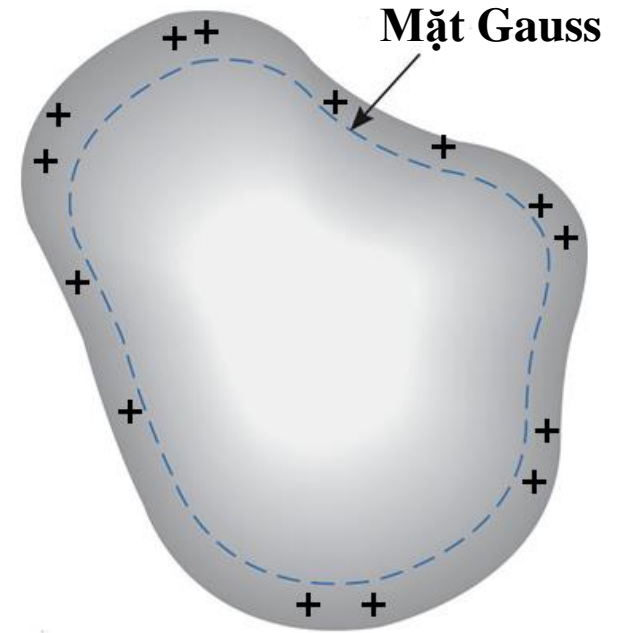
☞ Bên trong vật dẫn, áp dụng định lý Gauss

$$\epsilon\epsilon_0 \oint \vec{E} d\vec{S} = \sum_i q_i \text{ do } E = 0 \Rightarrow \sum_i q_i = 0$$

◆ Điện tích tập trung trên bề mặt vật dẫn

Phân bố điện tích phụ thuộc hình dạng bề mặt

☞ Điện tích tập trung chủ yếu tại các bề mặt lõm hoặc mũi nhọn



☞ Không có điện tích ở bề mặt lõm hoặc hốc

§1. Vật dẫn cân bằng tĩnh điện

4. Ứng dụng vật dẫn cân bằng tĩnh điện trong kỹ thuật

Máy phát tĩnh điện Van de Graaff

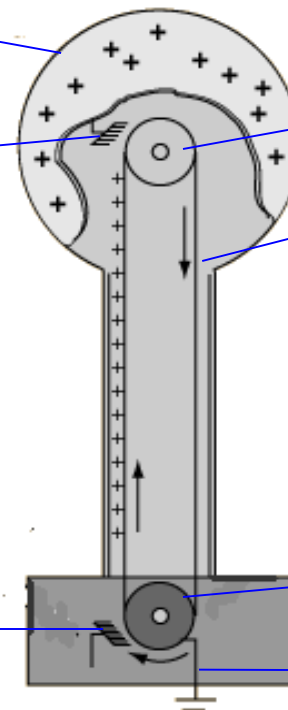


Quả cầu kim
loại rỗng

Điện cực trên có
các mũi nhọn để
hút các điện tích
(+)

Mô tơ điện

Điện cực dưới
có các mũi nhọn
để hút các điện
tích (-)

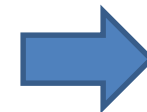


Trục quay trên

Băng truyền
bằng vật liệu
điện môi (cao
su hoặc chất
dẻo)

Trục quay dưới

Dây nối đất



§2. Điện hưởng và tụ điện

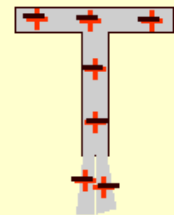
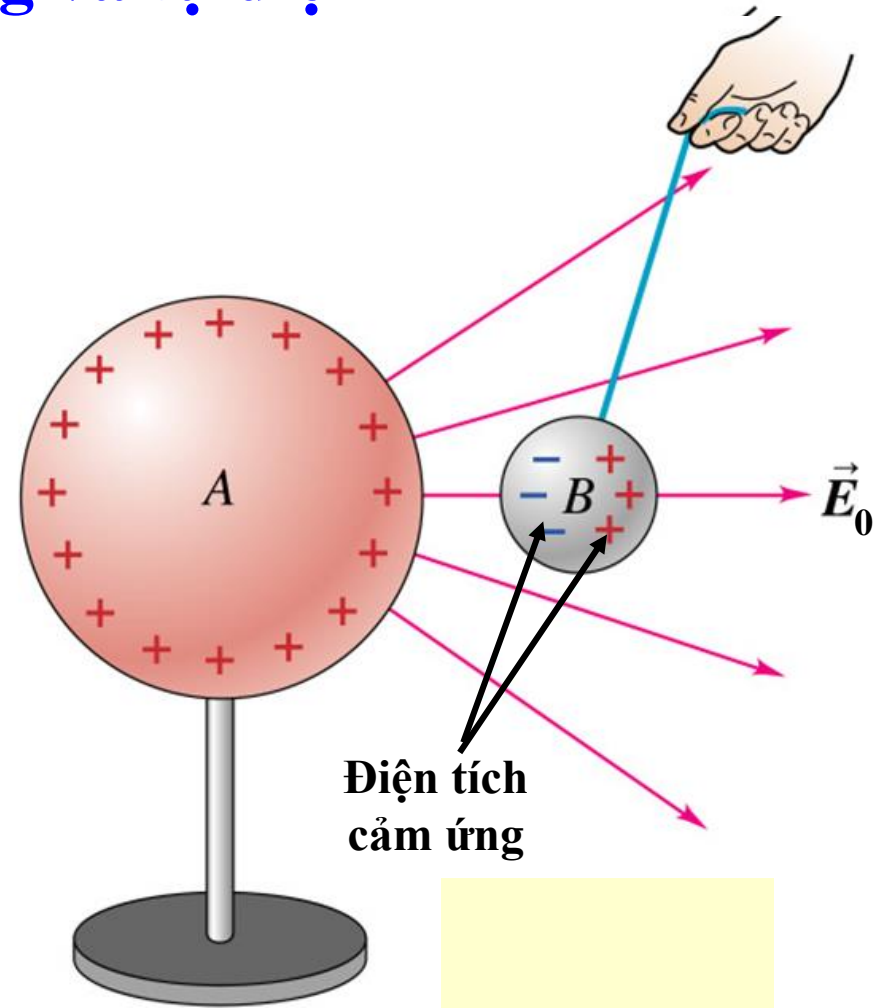
1. Hiện tượng điện hưởng

☞ Quả cầu B (trung hòa điện) đặt gần quả cầu A tích điện (đ/trường \vec{E}_0)

♦ Lực hút tĩnh điện \Rightarrow các điện tử (electron) dịch chuyển ngược chiều \vec{E}_0 về phía bề mặt gần A \Rightarrow tích điện (-), phía đối diện tích điện (+).

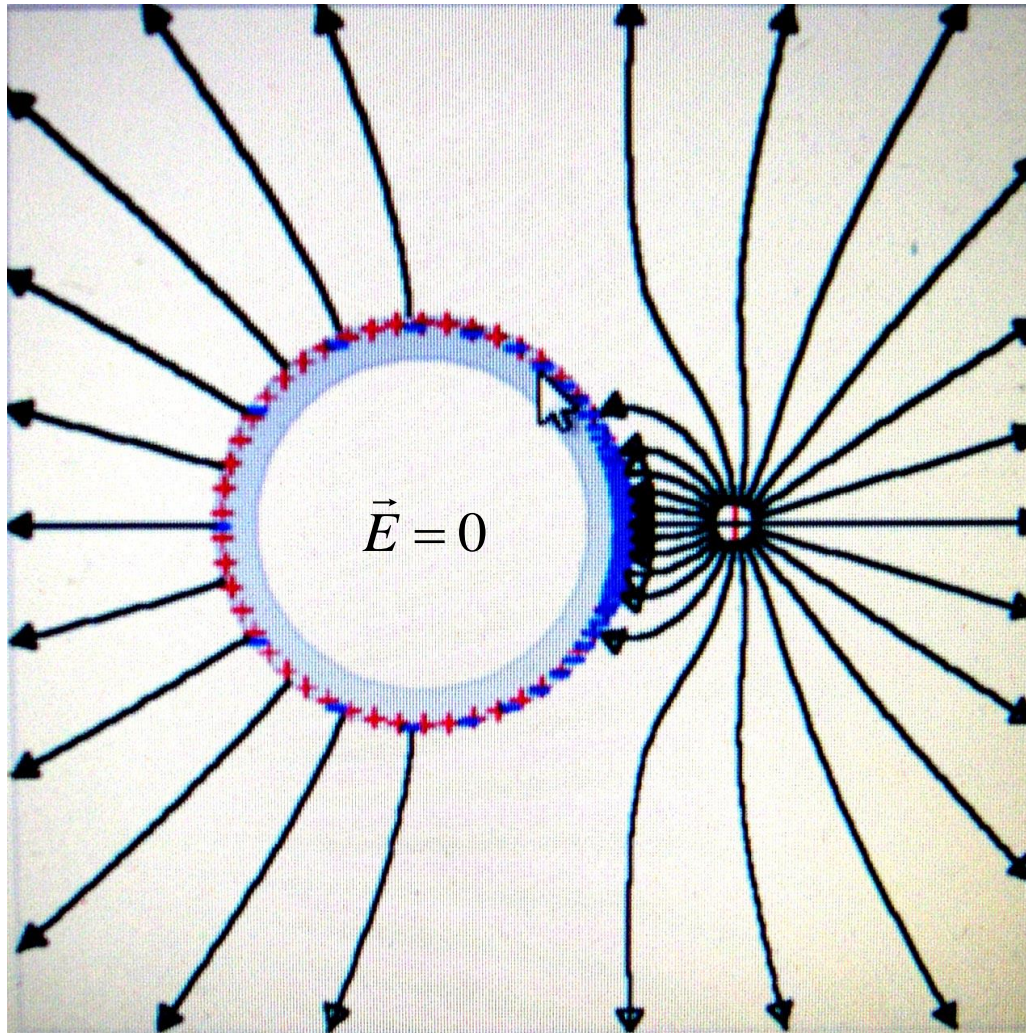
♦ Quá trình dịch chuyển các điện tích \Rightarrow hình thành \vec{E}' \Rightarrow chấm dứt khi \vec{E}' khử $\vec{E}_0 \Rightarrow \vec{E}_{trong} = 0$

♦ Quá trình phân bố lại các điện tích tự do trong vật dẫn dưới tác dụng của điện trường ngoài \Rightarrow hiện tượng cảm ứng điện tĩnh = điện hưởng.



§2. Điện hưởng và tụ điện

1. Hiện tượng điện hưởng



♦ Thời gian của quá trình tái phân bố điện tích $\sim 10^{-16}$ s \Rightarrow coi như tức thời.

§2. Điện hưởng và tụ điện

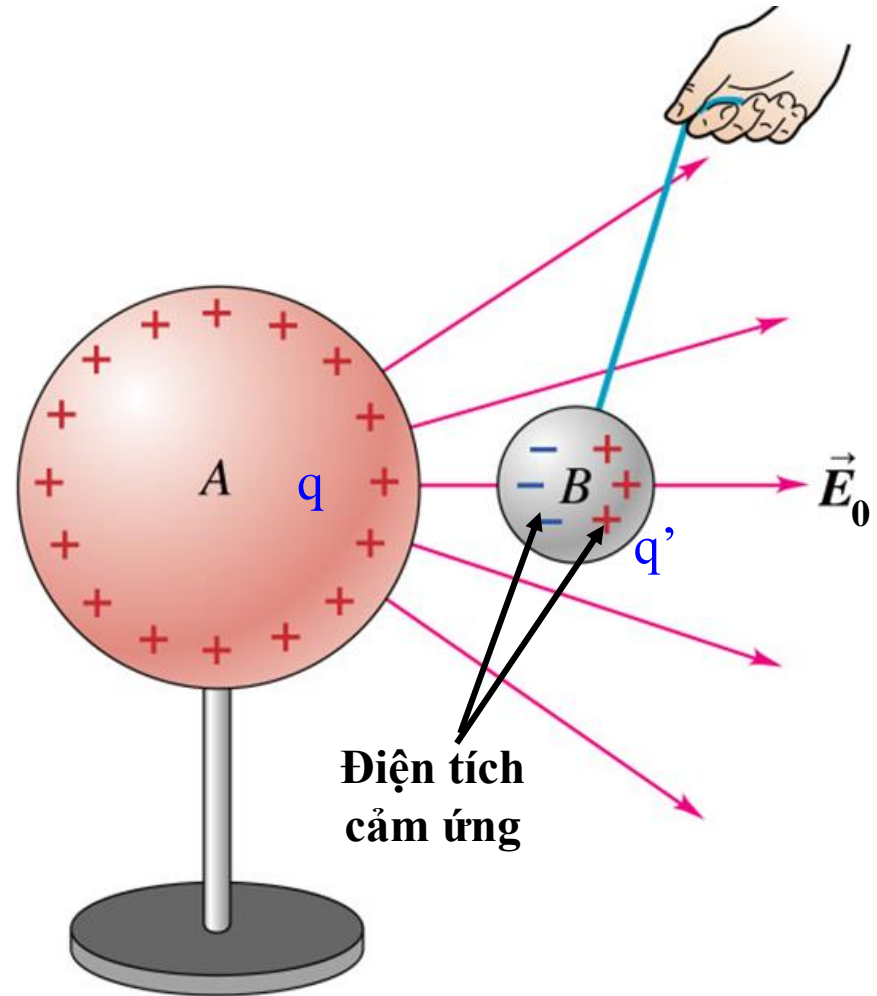
1. Hiện tượng điện hưởng

Điện hưởng một phần

☞ Chỉ một phần đường sức của A đi qua B còn một phần đi ra vô cùng.

☞ Điện tích cảm ứng có độ lớn nhỏ hơn độ lớn điện tích trên vật mang điện.

$$|q'| < |q|$$



§2. Điện hưởng và tụ điện

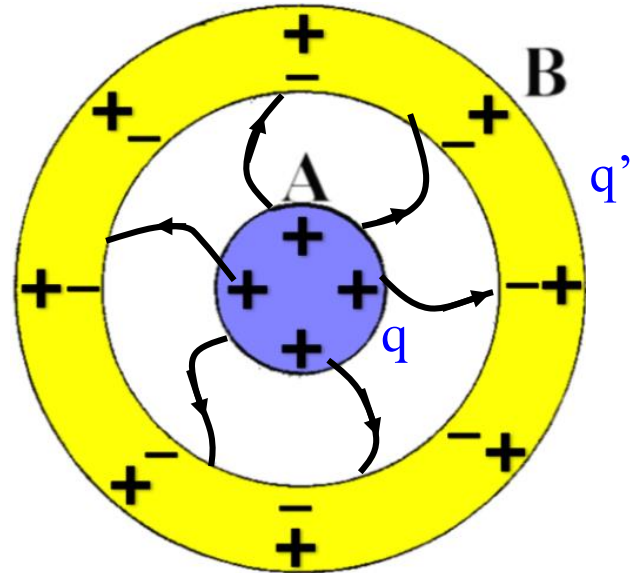
1. Hiện tượng điện hưởng

Điện hưởng toàn phần

☞ Vật dẫn B bao kín vật mang điện A \Rightarrow tất cả đường sức của A đều tận cùng trên vật dẫn B.

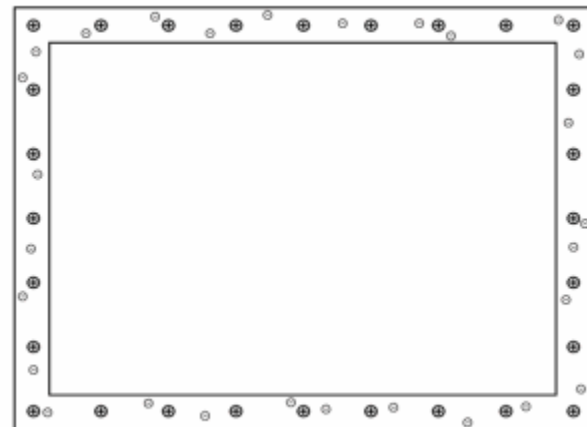
☞ Điện tích cảm ứng có độ lớn bằng độ lớn điện tích trên vật mang điện.

$$|q'| = |q|$$



Màn chắn tĩnh điện

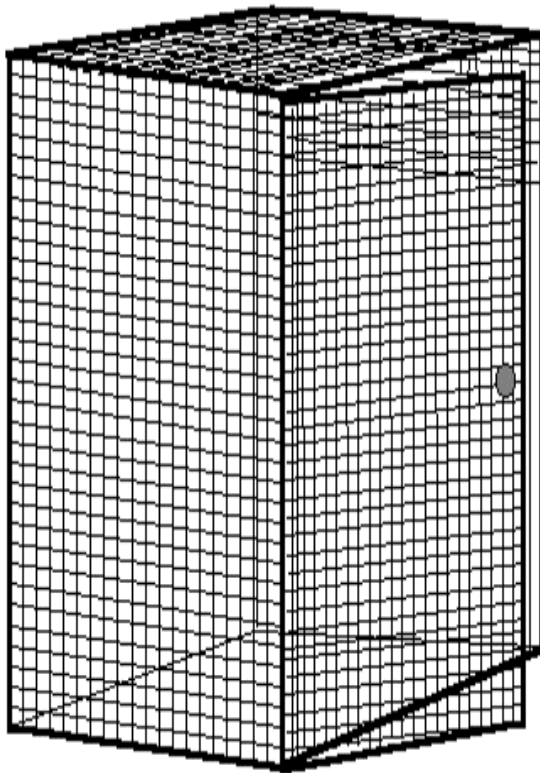
☞ Vật dẫn cân bằng tĩnh điện rỗng đặt trong trường ngoài \Rightarrow tái phân bố điện tích $\Rightarrow E_{\text{trong}} = 0$.



§2. Điện hưởng và tụ điện

Ứng dụng màn chắn tĩnh điện

Lồng Faraday



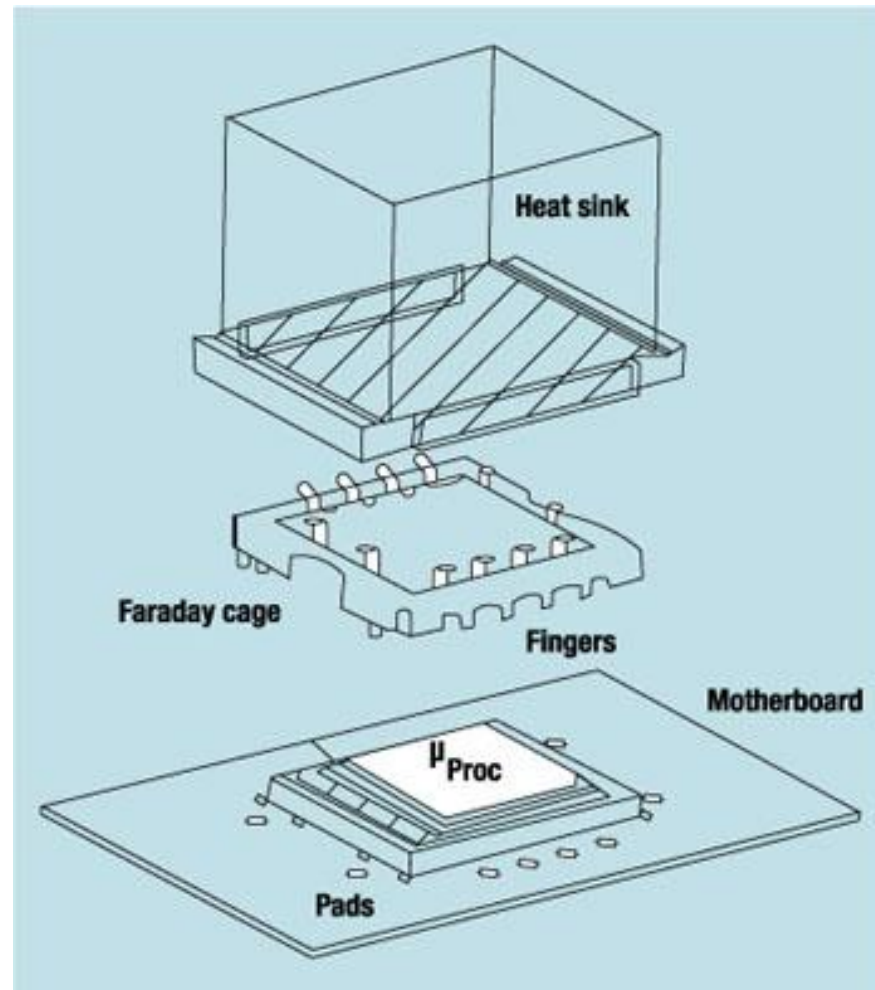
Faraday cage

Faradaykäfig

§2.Điện hưởng và tụ điện

Ứng dụng màn chắn tĩnh điện

Màn chắn tĩnh điện (lồng Faraday) bảo vệ chip vi xử lý của máy tính



§2. Điện hưởng và tụ điện

2. Điện dung vật dẫn cô lập

✎ Ở trạng thái cân bằng tĩnh điện \Rightarrow vật dẫn là vật đẳng thế với điện thế $V \Rightarrow V$ tỉ lệ với điện tích của vật, tức là: $V = k.Q$

$$\frac{1}{k} = \frac{Q}{V} = \text{const} = C \Rightarrow Q = C.V$$

♦ Điện dung C của một vật dẫn cô lập: đại lượng vật lý có giá trị bằng trị số điện tích mà vật dẫn tích được khi điện thế của nó bằng một đơn vị điện thế.

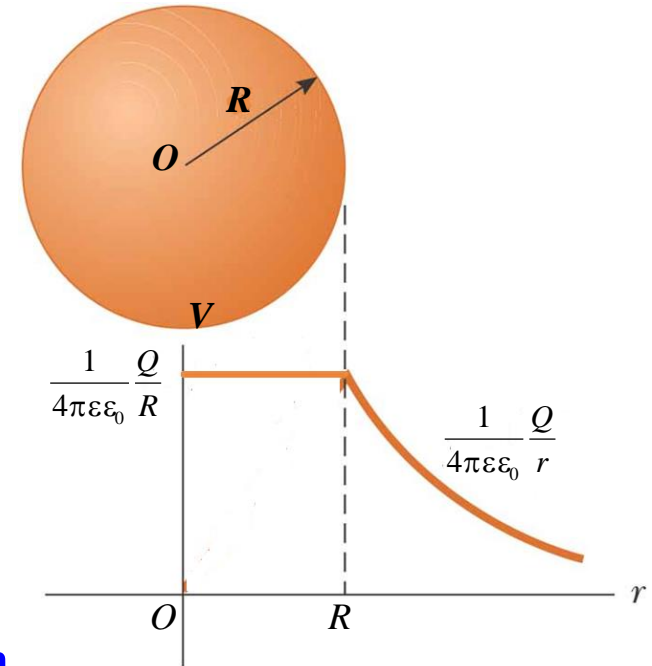
♦ C đặc trưng cho khả năng tích điện của vật dẫn

✎ Đơn vị điện dung: *Fara* (F), theo đó: $1 F = \frac{1 C}{1 V}$

♦ Với quả cầu tích điện đặt trong chân không, có: $C = \frac{Q}{V} = 4\pi\epsilon_0 R$

$$\text{Nếu } C = 1 F \Rightarrow R = \frac{C}{4\pi\epsilon_0} = \frac{1}{4.3,14.8,86.10^{-12}} = 9.10^9 (m)$$

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



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

§2. Điện hưởng và tụ điện

3. Tụ điện

a. Định nghĩa Tụ điện

☞ Hệ 2 vật dẫn cô lập ở điều kiện hưởng ứng điện toàn phần

☞ Mỗi vật dẫn là một bản cực của tụ điện, có điện tích $+Q$ và $-Q$ (ở trên bề mặt), điện thế $+V$ và $-V$.

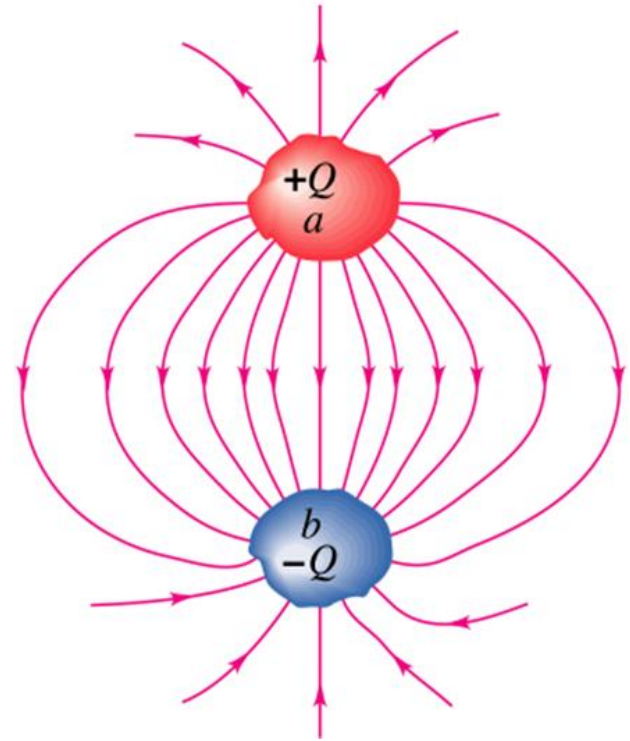
◆ Hiệu điện thế giữa 2 bản cực:

$$V_1 - V_2 = U$$

b. Điện dung tụ điện

☞ Điện dung C của tụ: $C = \frac{Q}{V_1 - V_2} = \frac{Q}{U}$

☞ Fara là điện dung của một tụ điện khi có điện lượng 1 Coulomb thì hiệu điện thế giữa 2 bản cực bằng 1 volt



§2. Điện hưởng và tụ điện

b. Điện dung tụ điện

Tụ điện phẳng

☞ Hệ 2 vật dẫn là 2 bản kim loại phẳng, diện tích S , điện tích Q , $-Q$ và điện thế V_1 , V_2 , cách nhau 1 khoảng d (rất nhỏ).

♦ Điện trường E giữa 2 bản cực coi như gây bởi 2 mặt phẳng song song vô hạn mang điện với mật độ điện mặt là $\sigma \Rightarrow$ điện trường đều.

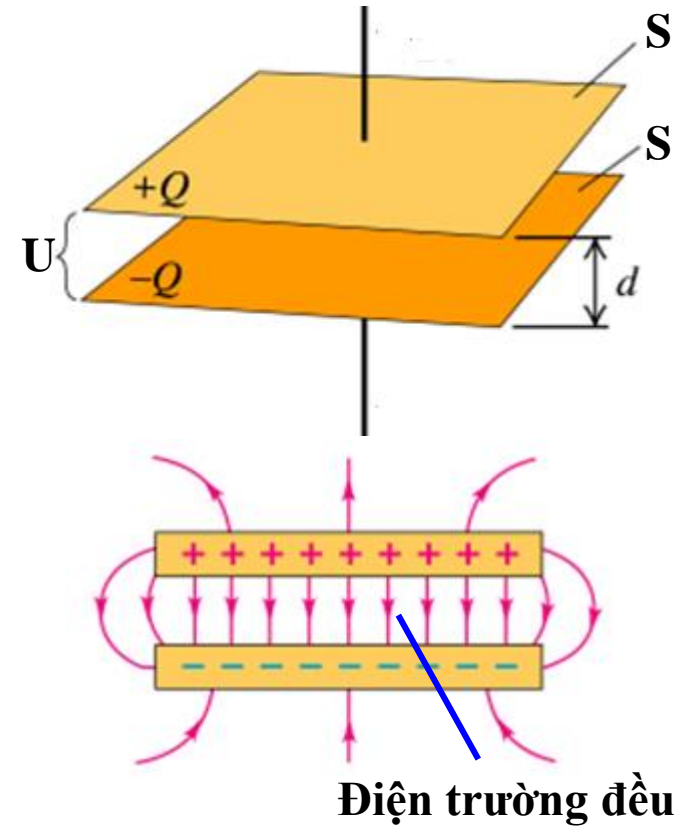
☞ Điện dung C của tụ: $C = \frac{Q}{V_1 - V_2} = \frac{Q}{U}$

Với: $U = E \cdot d$ và $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon} = \frac{Q}{\epsilon_0 \epsilon S}$

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

♦ Muốn tăng C {

- Tăng $S \Rightarrow$ nhược điểm: kích thước lớn
- Giảm $d \Rightarrow$ nhược điểm: U tăng \rightarrow phóng điện đánh thủng

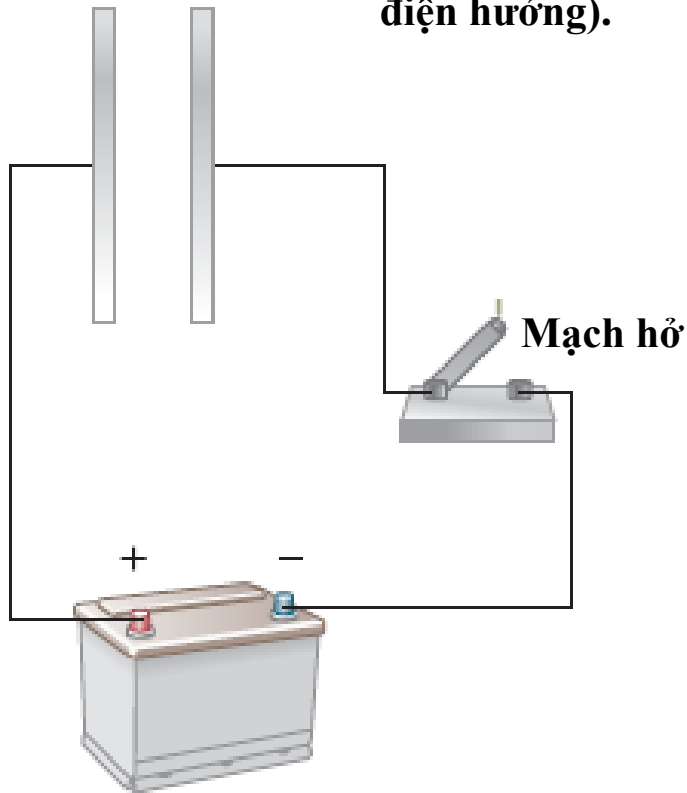


§2. Điện hưởng và tụ điện

b. Điện dung tụ điện

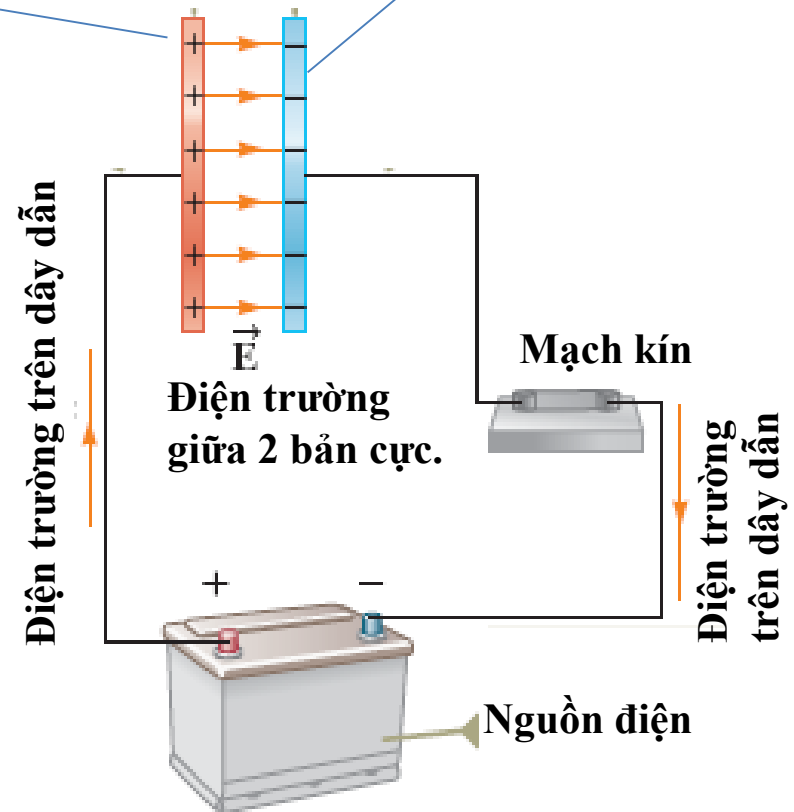
Tụ điện phẳng

Không có điện tích trên 2 bản cực.



Điện tử di chuyển từ bản cực ra dây dẫn để lại điện tích dương trên bản cực còn lại (hiệu ứng điện hưởng).

Điện tử di chuyển từ dây dẫn đến bản cực và định xứ ở đó.



☞ Quá trình điện tích được tạo ra trên các bản cực của tụ phẳng khi có trường ngoài

§2. Điện hưởng và tụ điện

b. Điện dung tụ điện

Tụ điện phẳng

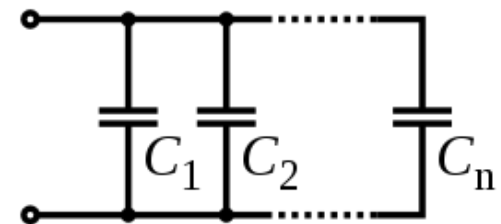
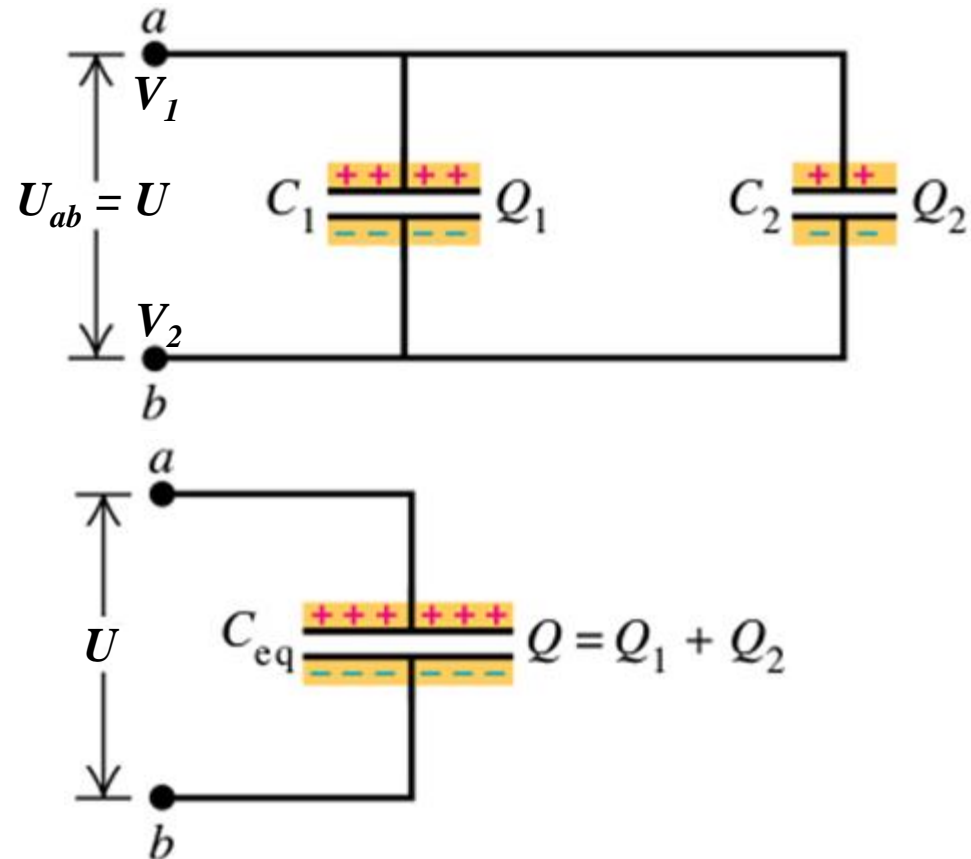
☞ Tổ hợp tụ ghép song song:
Các bản cực (+) nối chung với a có điện thế V_1 , các bản cực (-) nối chung với b có điện thế V_2
 \Rightarrow các tụ có chung 1 hiệu điện thế $U = V_1 - V_2$.

♦ Tụ 1 có điện dung C_1 , điện tích trên mỗi bản cực là Q_1 và $-Q_1$, tụ 2 có điện dung C_2 , điện tích trên mỗi bản cực là Q_2 và $-Q_2$.

♦ Điện tích hệ tụ: $Q_{\text{hệ}} = Q_1 + Q_2$

♦ Điện dung hệ tụ: $C_{\text{hệ}} = C_{\text{eq}} = \frac{Q_{\text{hệ}}}{U_{\text{hệ}}} = \frac{Q_1}{U} + \frac{Q_2}{U} = C_1 + C_2$

♦ Hệ n tụ: $C_{\text{hệ}} = C_{\text{eq}} = C_1 + C_2 + \dots + C_n = \sum_{i=1}^n C_i$



§2. Điện hưởng và tụ điện

b. Điện dung tụ điện

Tụ điện phẳng

☞ Tổ hợp tụ ghép nối tiếp: bản cực (+) của tụ này nối với bản cực (-) của tụ kế tiếp.

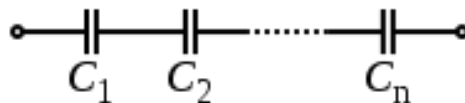
♦ Do hiện tượng điện hưởng \Rightarrow điện tích trên mỗi bản cực của mỗi tụ bằng nhau: $Q_1 = Q_2 = Q_{\text{hệ}}$

♦ Hiệu điện thế ở 2 đầu hệ tụ: $U_{\text{hệ}} = U_1 + U_2$

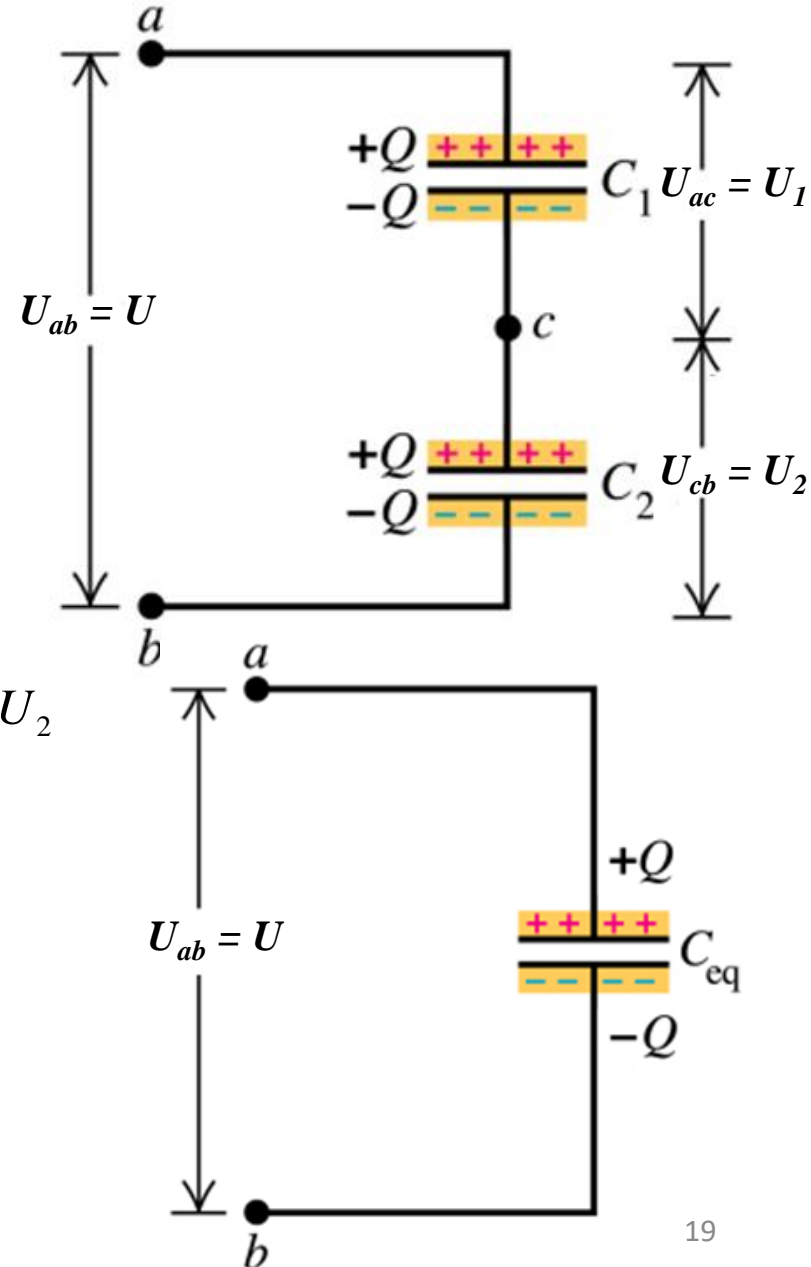
♦ Điện dung hệ tụ:

$$C_{\text{hệ}} = C_{\text{eq}} = \frac{Q_{\text{hệ}}}{U_{\text{hệ}}} = \frac{Q_{\text{hệ}}}{U_1 + U_2} = \frac{1}{\frac{U_1}{Q_{\text{hệ}}} + \frac{U_2}{Q_{\text{hệ}}}} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}}$$

♦ Hệ n tụ:



$$C_{\text{hệ}} = C_{\text{eq}} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}$$



§2. Điện hưởng và tụ điện

b. Điện dung tụ điện

Tụ điện cầu

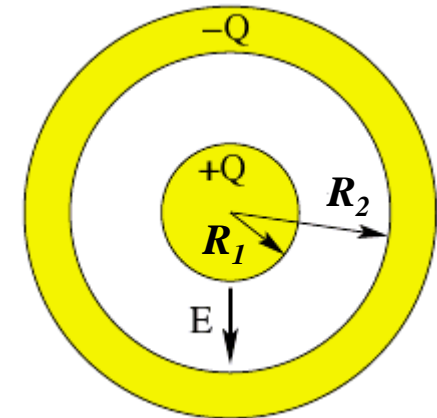
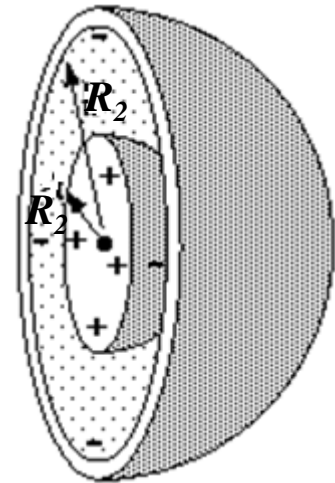
☞ Hệ 2 bản mặt cầu kim loại đồng tâm, bán kính R_1 và R_2 ($R_2 > R_1$), điện tích Q , $-Q$ và điện thế V_1 , V_2 .

◆ Hiệu điện thế giữa 2 bản cực tụ:

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

◆ Điện dung C của tụ:

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



§2. Điện hưởng và tụ điện

b. Điện dung tụ điện

Tụ điện trụ

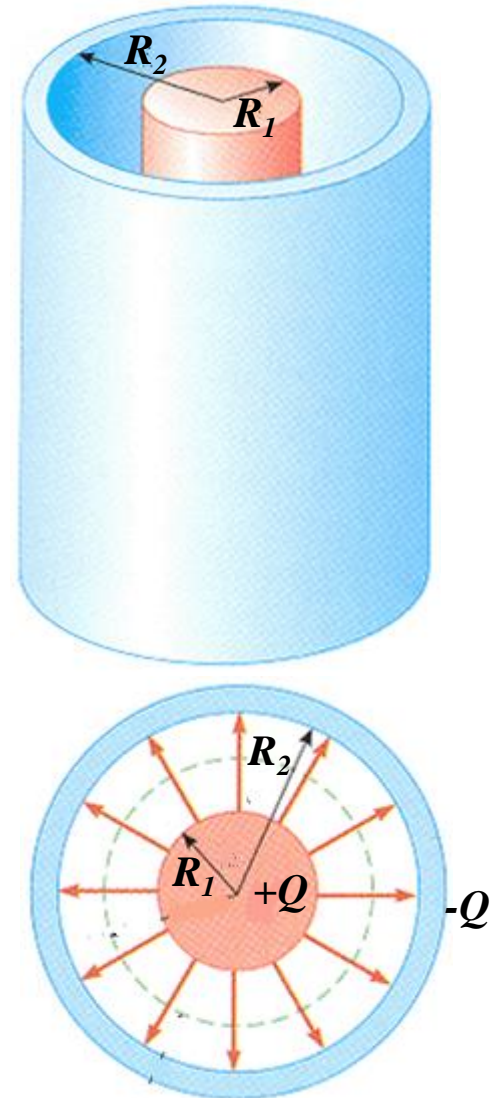
☞ Hệ 2 mặt trụ kim loại đồng trục, bán kính R_1 và R_2 ($R_1 < R_2$), độ cao l ($l \gg R_1$ và R_2), điện tích Q , $-Q$ và điện thế V_1 , V_2 .

◆ Hiệu điện thế giữa 2 bản cực tụ:

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

◆ Điện dung C của tụ:

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

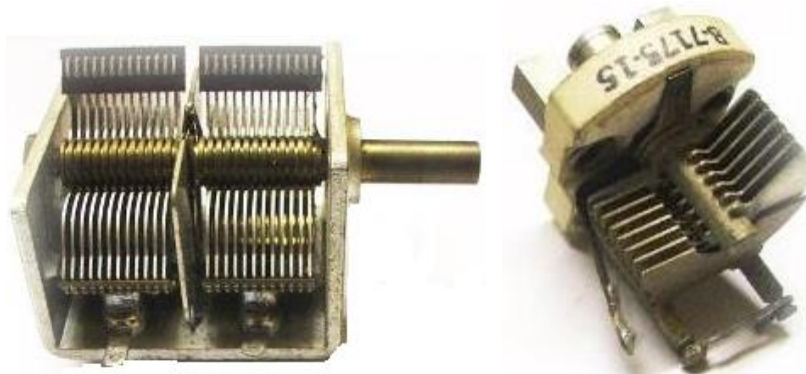
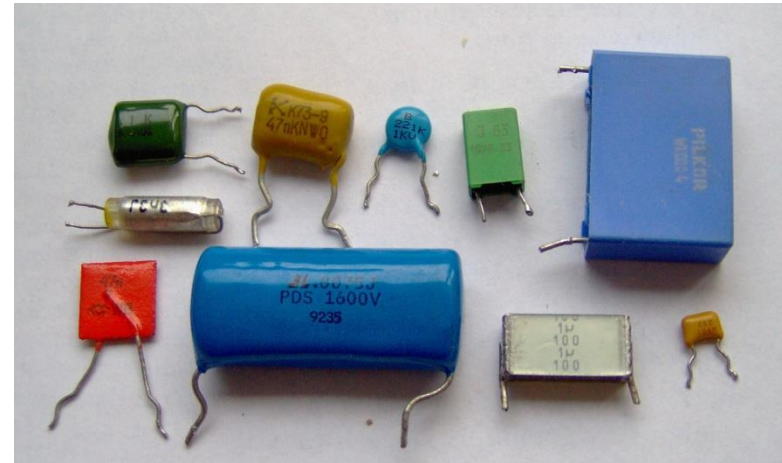


§2. Điện hưởng và tụ điện

c. Ứng dụng tụ điện trong kỹ thuật

Công nghệ điện/điện tử

- ☞ Lưu trữ điện năng cho các thiết bị điện.
- ☞ Công cụ chỉnh lưu dòng điện
- ☞ Mạch lọc nhiễu và xử lý tín hiệu
- ☞ Mạch cộng hưởng cho các thiết bị vô tuyến

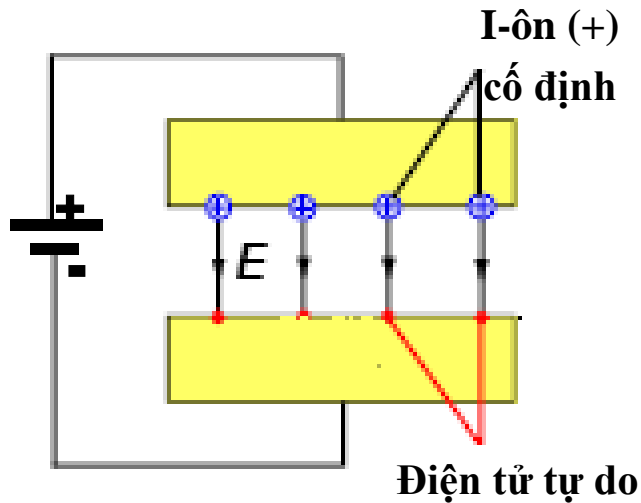


§2. Điện hưởng và tụ điện

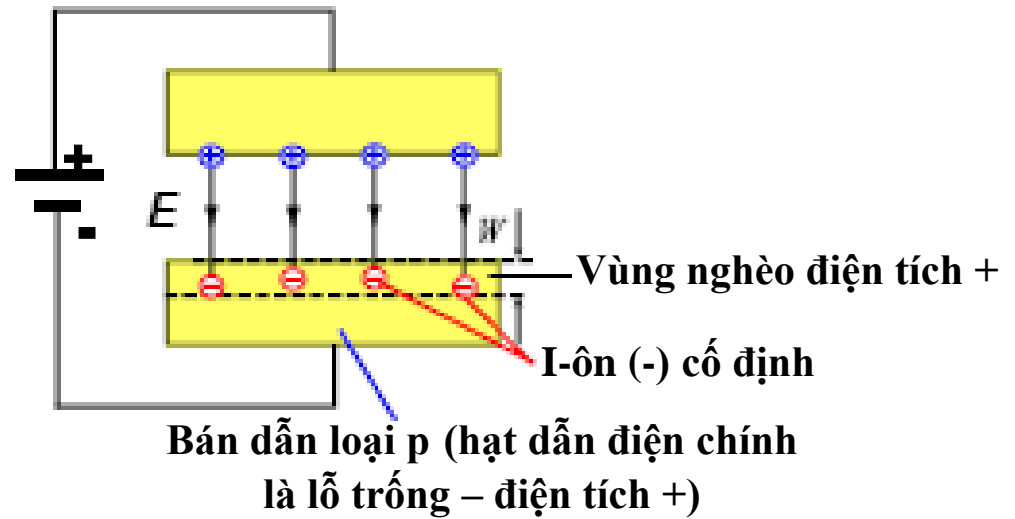
c. Ứng dụng tụ điện trong kỹ thuật

Công nghệ vi điện tử

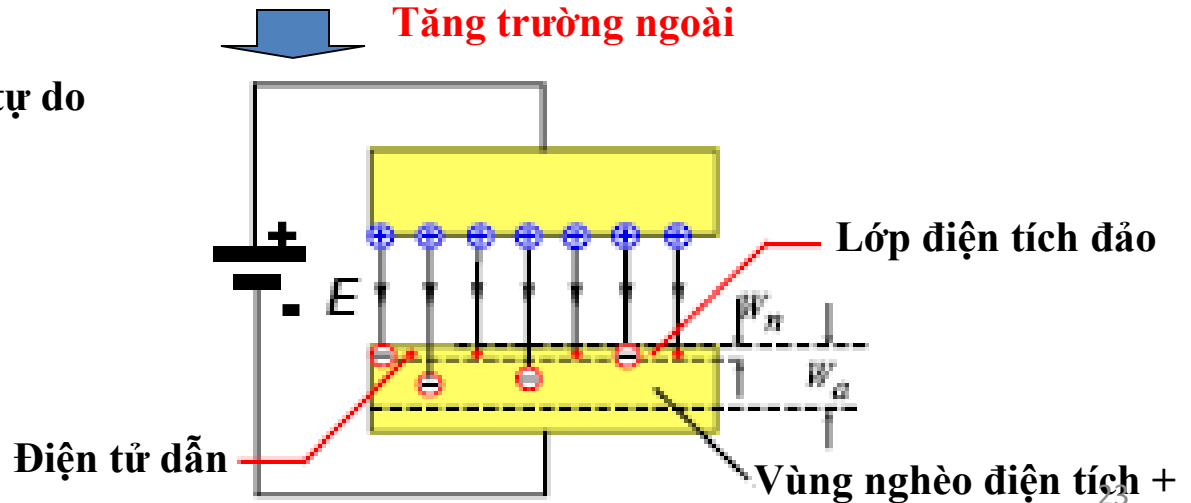
☞ Cấu trúc cơ sở



☞ Cấu trúc tụ vi điện tử CMOS



Tăng trường ngoài



§2. Điện hưởng và tụ điện

c. Ứng dụng tụ điện trong kỹ thuật

Bộ nhớ truy cập ngẫu nhiên (Random Access Memory – RAM)

☞ Mạch tổ hợp chứa hàng triệu tế bào nhớ (memory cell) \Rightarrow tên gọi khác: Chip nhớ (memory chip).

☞ Memory cell: chứa 1 transistor và 1 tụ điện CMOS \Leftrightarrow 1 bit đơn dữ liệu (single bit of data).

◆ Tụ điện: Lưu trữ bit thông tin dưới dạng số (digital) nhị phân (0 và 1).

◆ Transistor: dụng cụ chuyển mạch (đóng, mở) để mạch điều khiển trên chip nhớ đọc thông tin từ tụ hoặc thay đổi trạng thái của tụ.

☞ Nguyên lý hoạt động: Để lưu trữ bit 1 trong một tế bào nhớ, tụ được nạp đầy điện tích. Để lưu trữ bit 0, điện tích được phóng đi. Quá trình phóng nạp diễn ra liên tục \Rightarrow bộ điều khiển nhớ sẽ đọc và ghi lại với tần suất hàng nghìn lần/giây.

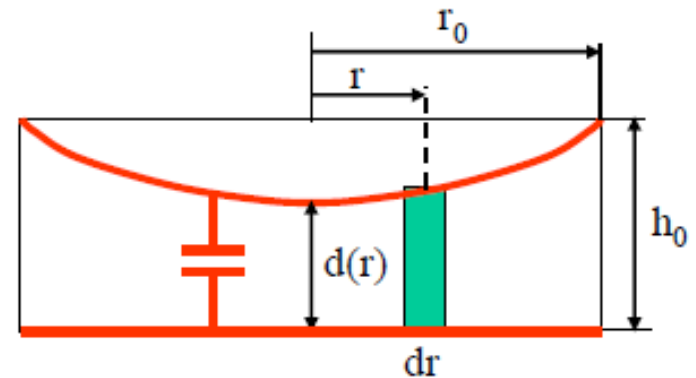
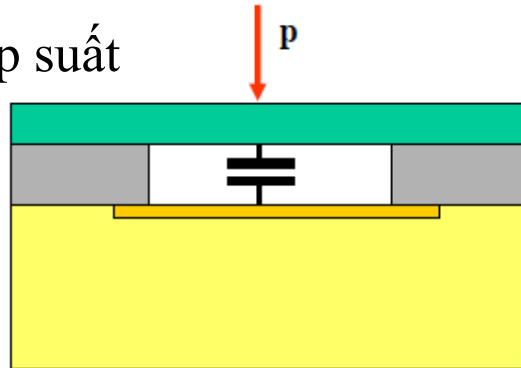


§2. Điện hưởng và tụ điện

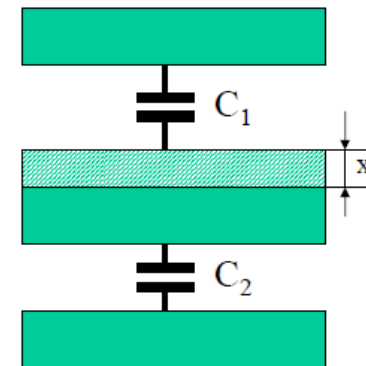
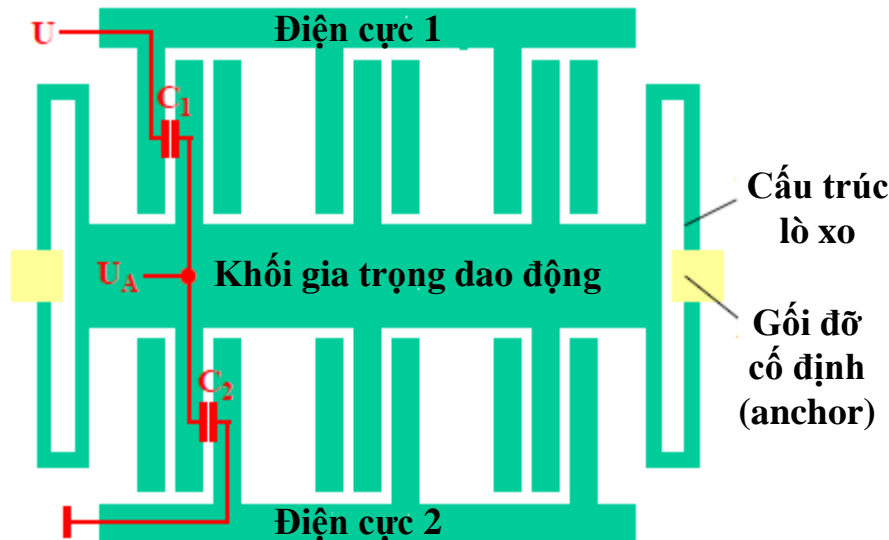
c. Ứng dụng tụ điện trong kỹ thuật

Vi cảm biến (microsensors) ứng dụng trong công nghiệp ô tô và y sinh

☞ Vi cảm biến đo áp suất



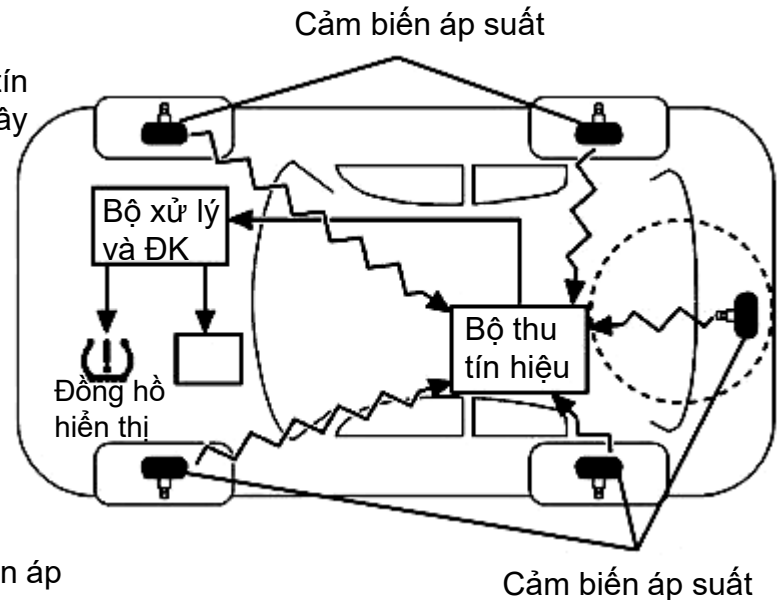
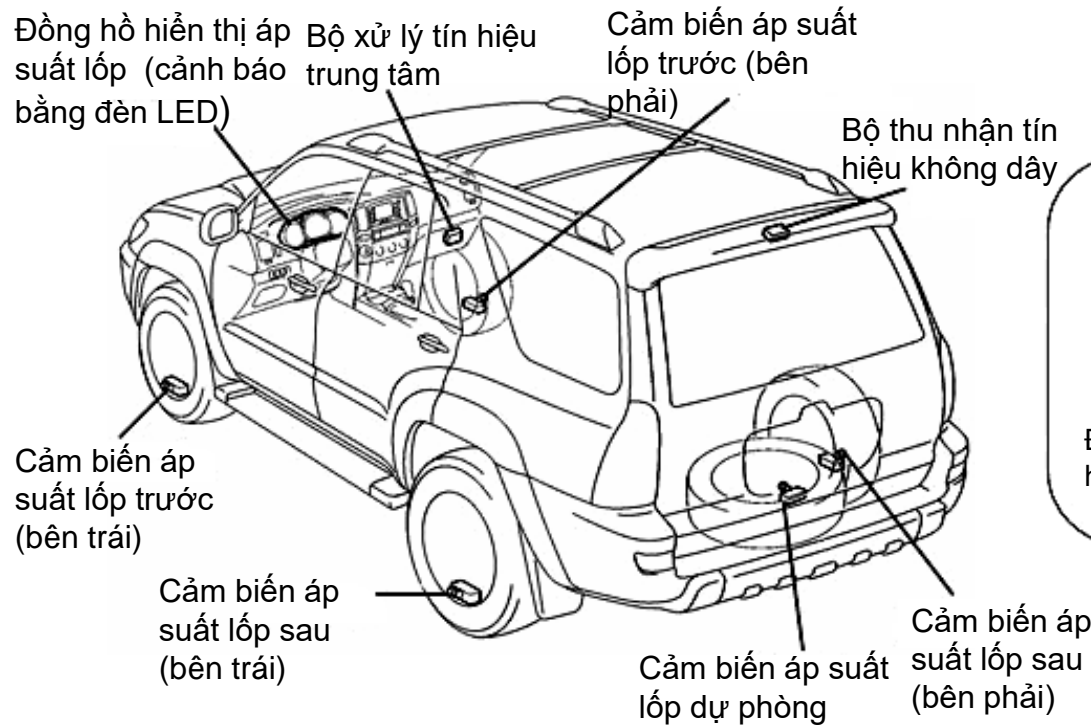
☞ Vi cảm biến đo gia tốc



§2. Điện hưởng và tụ điện

c. Ứng dụng tụ điện trong kỹ thuật

Vi cảm biến (microsensors) ứng dụng trong công nghiệp ô tô và y sinh



§2. Điện hưởng và tụ điện

c. Ứng dụng tụ điện trong kỹ thuật

Vì cảm biến (microsensors) ứng dụng trong công nghiệp ô tô và y sinh

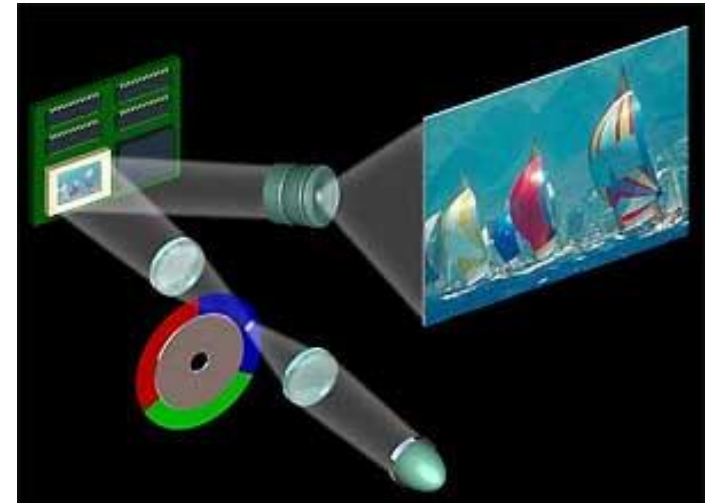
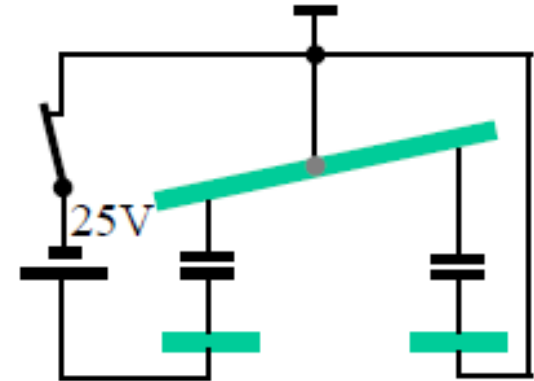
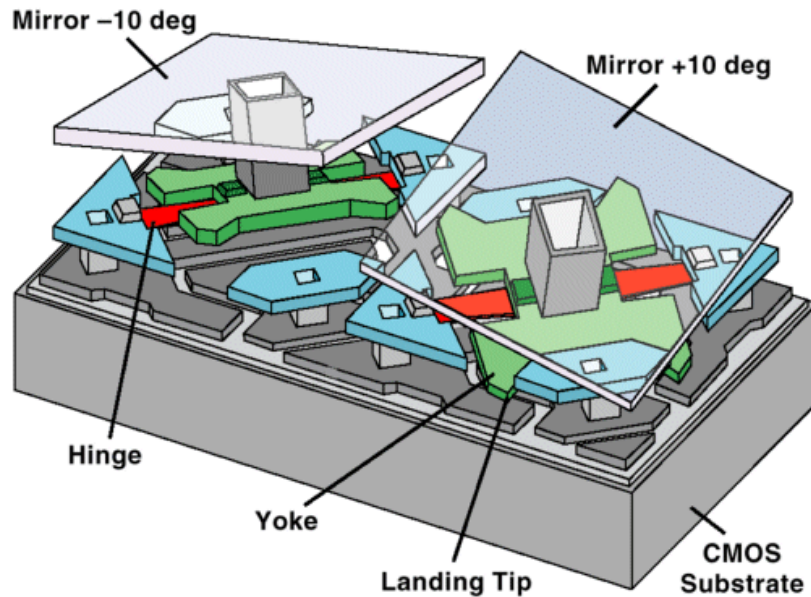


§2. Điện hưởng và tụ điện

c. Ứng dụng tụ điện trong kỹ thuật

Vi chấp hành (microactuators) ứng dụng trong thiết bị điện

☞ Hệ vi gương số (Digital Micromirror Device – DMD)

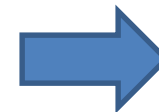
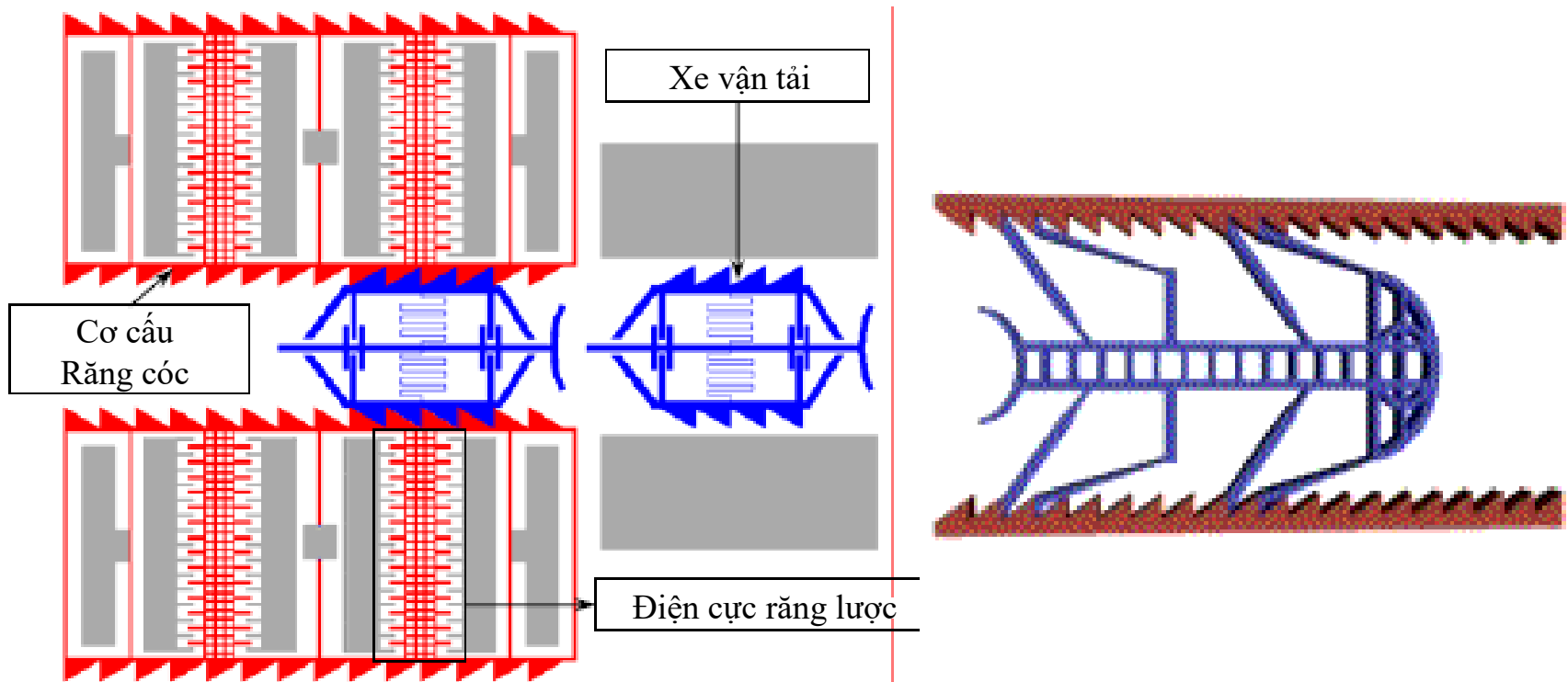


§2. Điện hưởng và tụ điện

c. Ứng dụng tụ điện trong kỹ thuật

Vi chấp hành (microactuators) ứng dụng trong kỹ thuật robot

☞ Hệ vi vận tải (MicroTransport System— MTS)



§3. Năng lượng điện trường

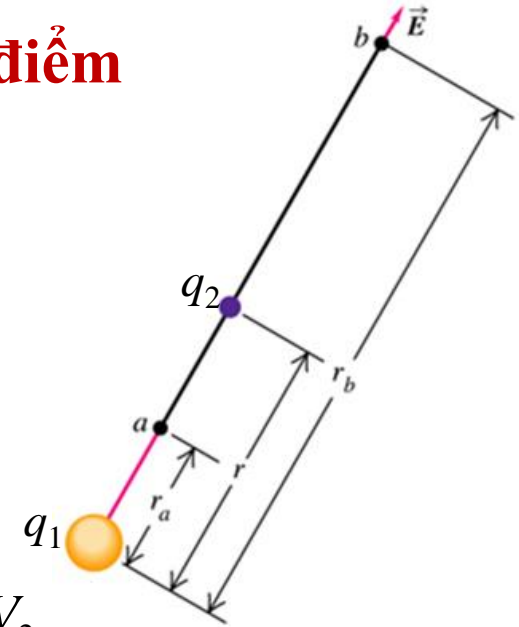
1. Năng lượng tương tác của một hệ điện tích điểm

Hệ 2 điện tích điểm

☞ Thế năng của q_2 trong trường gây bởi q_1 :

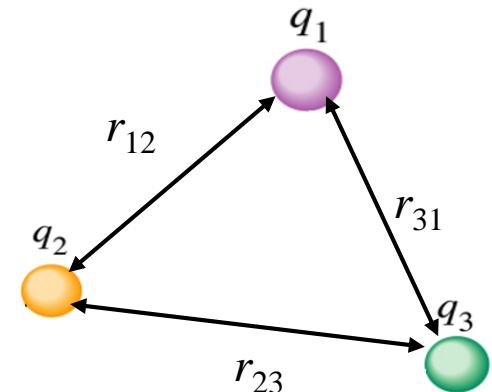
$$W = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r} = \frac{1}{2} q_1 \underbrace{\left(\frac{q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r} \right)}_{V_1} + \frac{1}{2} q_2 \underbrace{\left(\frac{q_1}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r} \right)}_{V_2}$$

♦ Năng lượng hệ 2 điện tích điểm: $W = \frac{1}{2} q_1 V_1 + \frac{1}{2} q_2 V_2$



Hệ 3 điện tích điểm

$$\begin{aligned} W &= W_{12} + W_{23} + W_{31} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \left(\frac{q_1 q_2}{r_{12}} + \frac{q_2 q_3}{r_{23}} + \frac{q_3 q_1}{r_{31}} \right) = \\ &= \frac{1}{2} q_1 \left[\frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \left(\frac{q_2}{r_{21}} + \frac{q_3}{r_{31}} \right) \right] + \frac{1}{2} q_2 \left[\frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \left(\frac{q_3}{r_{32}} + \frac{q_1}{r_{12}} \right) \right] + \\ &+ \frac{1}{2} q_3 \left[\frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \left(\frac{q_1}{r_{13}} + \frac{q_2}{r_{23}} \right) \right] = \frac{1}{2} (q_1 V_1 + q_2 V_2 + q_3 V_3) \end{aligned}$$



§3. Năng lượng điện trường

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

☞ Năng lượng hệ n điện tích điểm:
$$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i V_i$$

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

☞ Năng lượng vật dẫn:
$$W = \frac{1}{2} \int V dq = \frac{1}{2} V \int dq = \frac{1}{2} VQ = \frac{1}{2} CV^2$$

vì $Q = C.V \Rightarrow W = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$

3. Năng lượng điện của một hệ vật dẫn tích điện

☞ Hệ vật dẫn có điện tích Q_1, Q_2, \dots, Q_n và điện thế V_1, V_2, \dots, V_n

☞ Năng lượng hệ vật dẫn:
$$W = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} Q_i V_i$$

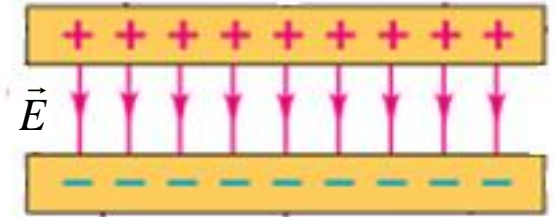
§3. Năng lượng điện trường

4. Năng lượng điện trường

a. Tụ điện phẳng

☞ Năng lượng điện của hệ 2 bản cực (vật dẫn):

$$W_e = \frac{1}{2} QV_1 + \left(-\frac{1}{2} QV_2 \right) = \frac{1}{2} Q(V_1 - V_2) = \frac{1}{2} QU = \frac{1}{2} CU^2$$



♦ Năng lượng điện trường giữa 2 bản cực:

$$W_e = \frac{1}{2} CU^2 = \left(\frac{1}{2} \varepsilon \varepsilon_0 E^2 \right) S.d$$

Với: $S.d$ = thể tích không gian giữa 2 bản tụ

♦ Năng lượng điện trường chứa trong một đơn vị thể tích của không gian điện trường:

$$w_e = \frac{1}{2} \varepsilon \varepsilon_0 E^2 \quad \text{hay:} \quad w_e = \frac{1}{2} E \cdot \varepsilon \varepsilon_0 E = \frac{1}{2} ED = \frac{1}{2} \vec{E} \vec{D}$$

§3. Năng lượng điện trường

4. Năng lượng điện trường

b. Điện trường bất kỳ

☞ Chia nhỏ không gian có điện trường thành vô số các phần tử thể tích dV vô cùng nhỏ sao cho điện trường E trong dV được coi là đều.

◆ Năng lượng điện trường trong một thể tích dV :

$$dW_e = w.dV = \frac{1}{2} \vec{E} \vec{D}.dV$$

◆ Năng lượng điện trường trong cả thể tích không gian điện trường:

$$W_e = \int dW_e = \int_V \frac{1}{2} \vec{E} \vec{D}.dV$$