

CHƯƠNG 3

VẬT DẪN

Vật dẫn điện là những vật có chứa những điện tích tự do (có thể là ion hoặc electron). Đó là những điện tích chuyển động tự do bên trong vật mà không thể thoát ra bề mặt vật, ở đây ta chỉ xét xem vật dẫn kim loại, khi đó các điện tích tự do chính là các electron tự do.

NỘI DUNG

1. ĐIỀU KIỆN CÂN BẰNG TĨNH ĐIỆN VÀ TÍNH CHẤT CỦA VẬT DẪN ĐIỆN Ở TRẠNG THÁI CÂN BẰNG TĨNH ĐIỆN.
2. VẬT DẪN TRONG ĐIỆN TRƯỜNG NGOÀI.
3. ĐIỆN DUNG CỦA MỘT VẬT DẪN CÔ LẬP.
4. TỤ ĐIỆN.
5. NĂNG LƯỢNG TRƯỜNG TĨNH

3.1

ĐIỀU KIỆN CÂN BẰNG TĨNH ĐIỆN VÀ TÍNH CHẤT CỦA VẬT DẪN ĐIỆN Ở TRẠNG THÁI CÂN BẰNG TĨNH ĐIỆN

3.1.1 Điều kiện cân bằng tĩnh điện

Khi chưa có điện trường tác dụng vào vật dẫn thì các e tự do luôn luôn chuyển động hỗn loạn.

Khi tác dụng vào vật dẫn một điện trường ngoài thì các electron tự do chuyển động hỗn độn trong vật sẽ phân bố lại để tạo ra một điện trường làm mất tác dụng của điện trường ngoài xâm nhập vào.

Trạng thái mà điện trường trong vật dẫn bằng không gọi là trạng thái cân bằng tĩnh điện

3.1.2. Tính chất của vật dẫn ở trạng thái cân bằng tĩnh điện

Vì điện trường trong lòng vật dẫn bằng 0 nên một vật dẫn nằm trong vật dẫn rỗng sẽ không bị ảnh hưởng của điện trường bên ngoài.

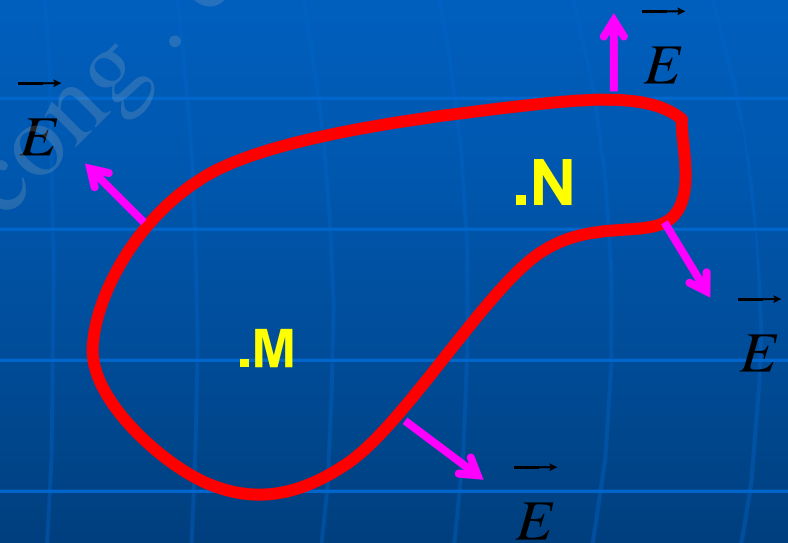
Đây là nguyên tắc hoạt động của màn chắn điện được ứng dụng rộng rãi trong kỹ thuật và đời sống.

Điện thế bằng nhau tại mọi điểm của vật dẫn điện

Xét hai điểm M và N bất kì trên vật dẫn

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

$$\vec{E} = 0 \Rightarrow V = \text{const}$$



**Hình 3.1: Vật dẫn
là một khối đẳng thế**

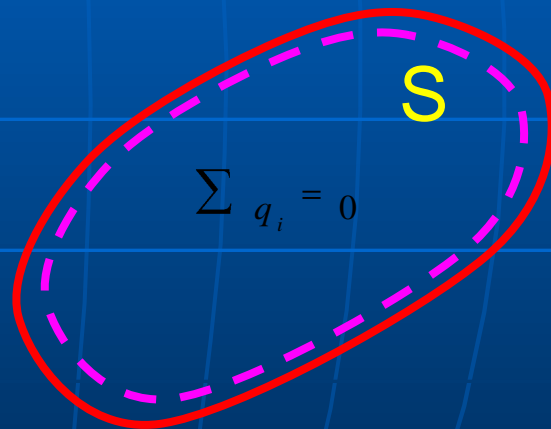
Điện tích, nếu có chỉ phân bố trên bề mặt vật dẫn.

Từ một vật dẫn tích điện bất kì ta lấy một mặt S nằm trong lòng vật dẫn và sát mặt ngoài, ứng dụng định lý Gauss cho mặt S .

$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_i q_i$$

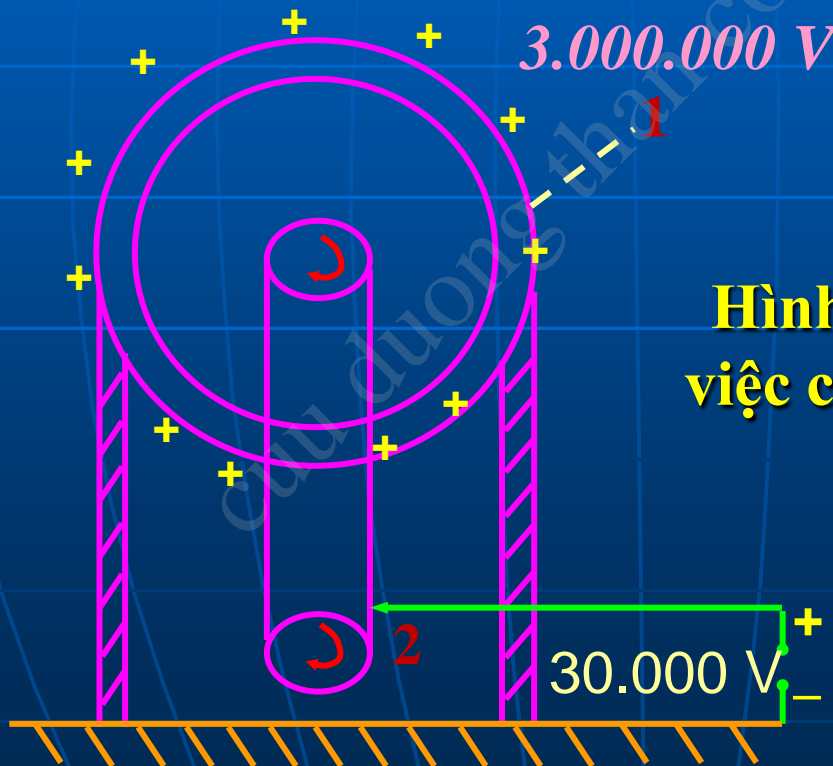
Ta có:

$$\vec{E} = 0 \Rightarrow \sum_i q_i = 0$$



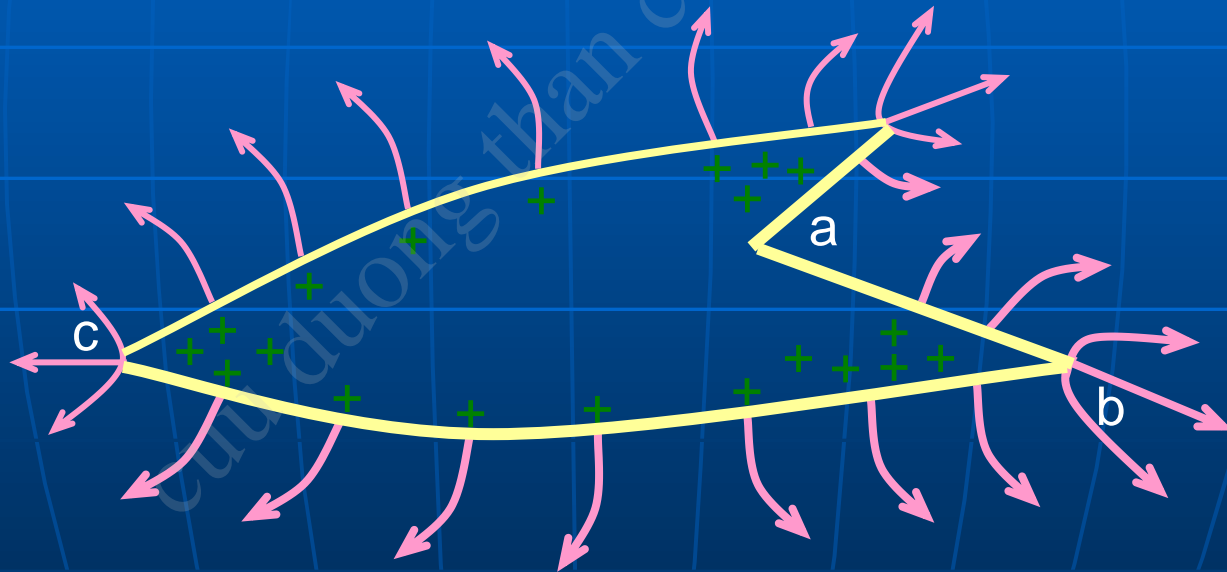
Hình 3.2: Điện tích chỉ phân bố trên mặt vật dẫn

Vậy toàn bộ điện tích q dư của vật dẫn sẽ chuyển hết ra mặt ngoài vật dẫn. Nguyên tắc này được dùng để tạo ra các vật dẫn có điện thế cao và đây cũng là nguyên lý hoạt động của máy phát máy phát tĩnh điện Van de Graaff.



Hình 3.3: Nguyên tắc làm việc của máy phát tĩnh điện Van de Graaff

Sự phân bố điện tích trên mặt vật dẫn chỉ phụ thuộc hình dạng vật dẫn. Đối với vật dẫn đối xứng như hình cầu, phẳng, trụ, điện tích được phân bố đều trên toàn mặt vật, ngược lại đối với các vật dẫn dạng bất kì, sự phân bố của điện tích là không đều, điện tích hầu như chỉ tập trung ở chỗ mũi nhọn.



**Hình 3.4: Phân bố điện tích
trên mặt vật dẫn bất đối xứng**

Vector cường độ điện trường ở sát mặt ngoài vật dẫn thì vuông góc với mặt vật dẫn tại đó và có cường độ σ/ϵ_0 .

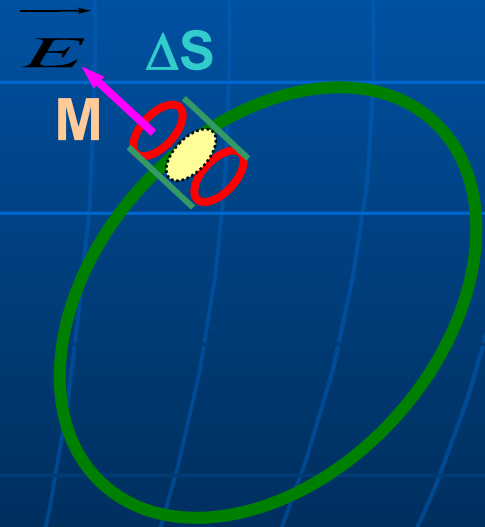
Bề mặt vật dẫn là một mặt đẳng thế nên véctor ở một điểm gần ngoài vật dẫn thì vuông góc với mặt vật dẫn.

Xét điện trường tại M ở sát mặt ngoài vật dẫn như hình 3.5. Ta có:

$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = \oint_{\Delta S} \vec{E} d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \sigma \Delta S$$

$$E \Delta S = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \Delta S$$

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



Hình 3.5: Tính E ở sát mặt ngoài vật dẫn

3.2

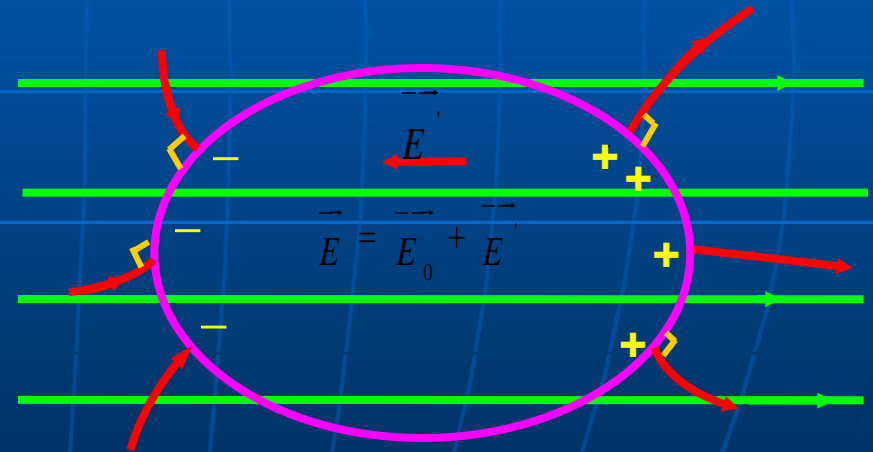
VẬT DẪN TRONG ĐIỆN TRƯỜNG NGOÀI

Hiện tượng: Cho một vật dẫn không tích điện đặt trong một điện trường ngoài thì các điện tích có trong vật sẽ chuyển động. Các điện tích dương đi theo hướng của điện trường, còn các điện tích âm thì ngược lại, được gọi là các *điện tích cảm ứng*.



Trong vật dẫn sẽ tạo ra một điện trường ngược với điện trường ngoài làm cho vật trở lại trạng thái cân bằng tĩnh điện.

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

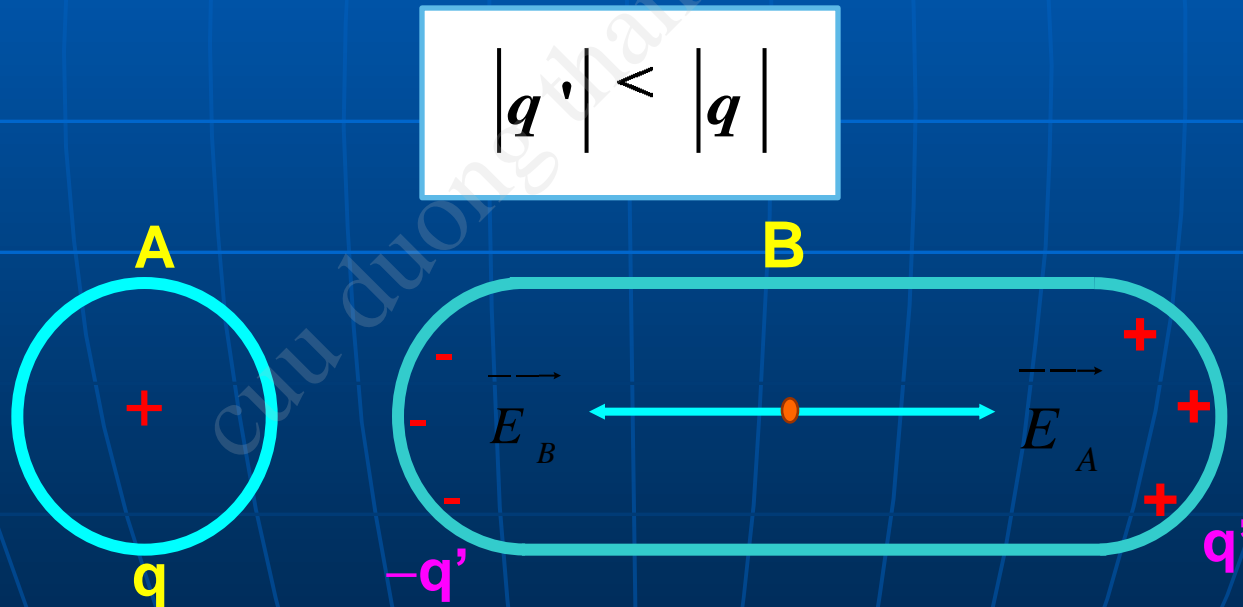


Hình 3.6: Vật dẫn trong điện trường ngoài

3.2.1. Điện hưởng một phần

Hiện tượng: Đưa vật dẫn điện A, mang điện tích dương đến gần một vật dẫn điện B trung hòa.

Kết luận: Độ lớn của điện tích cảm ứng nhỏ hơn độ lớn điện tích trên mặt vật mang điện.



Hình 3.7a: Điện hưởng một phần

3.2.2. Điện hưởng toàn phần

Xét vật dẫn điện A có điện tích q_A được bao quanh bằng vật dẫn điện B có điện tích q_B ở trạng thái cân bằng tĩnh điện.

$$q_B = q_{Btr} + q_{Bng} \quad (1)$$

Áp dụng định lý Gauss cho mặt kín S

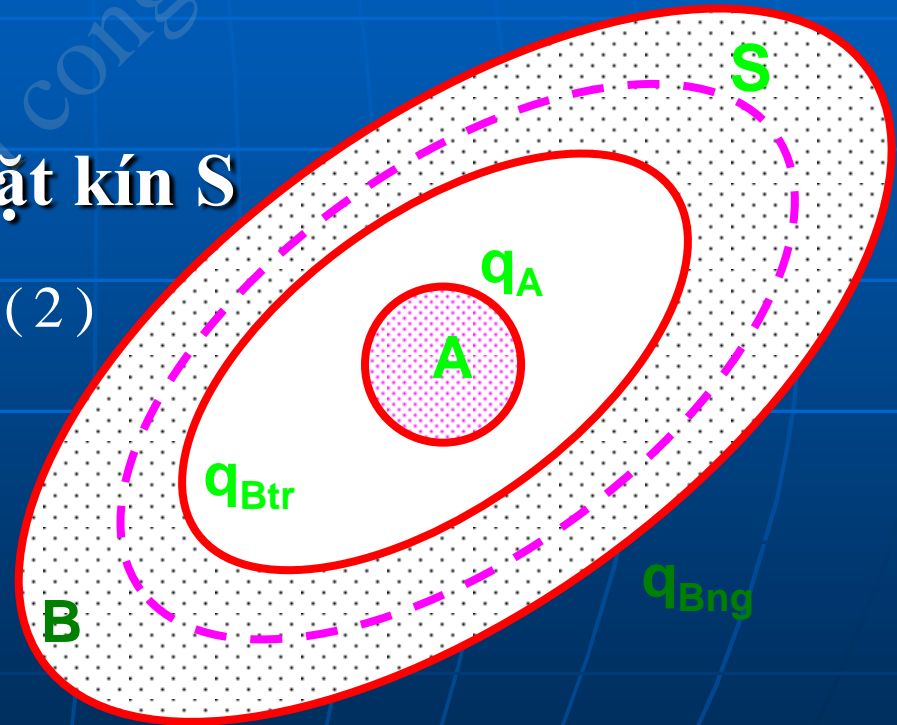
$$\Rightarrow q_A + q_{Btr} = 0 \Rightarrow q_{Btr} = -q_A \quad (2)$$

Từ (1), (2) ta có:

$$q_{Bng} = q_B + q_A$$

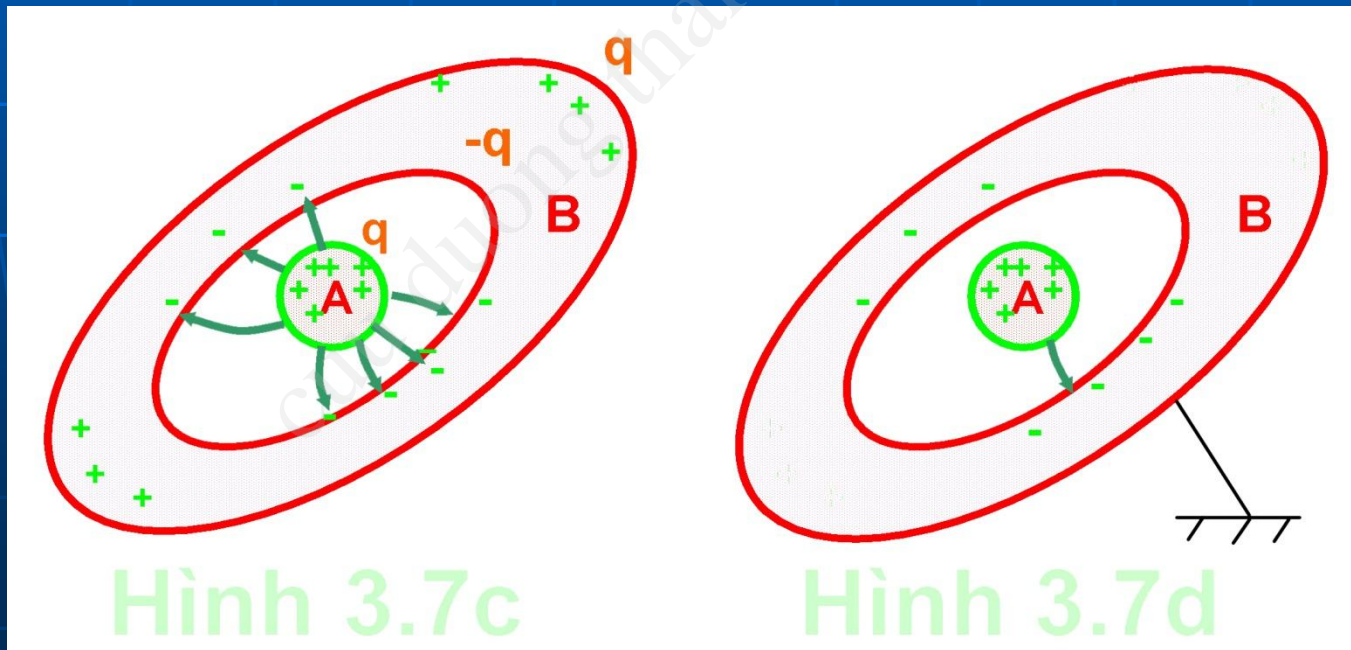
Nếu $q_B = 0$ thì:

$$q_{Bng} = q_A$$



Hình 3.7b: Điện hưởng toàn phần

- Nếu q là điện tích của A thì sẽ xuất hiện điện tích $-q$ ở mặt trong và điện tích $+q$ ở bên ngoài của B.
- Nếu phân bố điện tích $+q$ ở mặt ngoài của B không phụ thuộc vào vị trí của A. Nếu ta nối đất thì điện tích $+q$ sẽ biến mất, điện tích ở mặt trong của B và ở mặt ngoài của A vẫn không thay đổi.



3.3

ĐIỆN DUNG CỦA MỘT VẬT DẪN CÔ LẬP

Một điện tích q được truyền cho một vật dẫn cô lập về điện sẽ được phân bố trên mặt vật dẫn sao cho điện trường trong vật dẫn bằng 0.

Qua mối liên hệ giữa cường độ điện trường và điện thế ta kết luận rằng điện thế của vật dẫn tỷ lệ với điện tích mà vật dẫn có

$$q = C V$$

$$\Rightarrow C = \frac{q}{V} (F)$$

Vật dẫn cô lập hình cầu, điện thế quả cầu bằng điện thế tại tâm

$$V = \int_s \frac{\sigma dS}{4\pi\epsilon_0 R} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R}$$

Suy ra điện dung C của quả cầu bán kính R :

$$C = 4\pi\epsilon_0 R$$

3.4 TỰ ĐIỆN

3.4.1. Khái niệm về tụ điện

- Tụ điện là một hệ gồm hai vật dẫn được đặt rất gần nhau ngăn cách bởi một chất cách điện.
- Các vật dẫn tạo nên tụ điện được gọi là các bản tụ.
- Thông số cơ bản đặc trưng cho tụ điện là điện dung

Điện dung của tụ điện tỉ lệ với điện tích có trên một bản và hiệu điện thế giữa hai bản đó:

$$C = \frac{q}{V_1 - V_2}$$



$$C = \frac{q}{U}$$

3.4.2. Tính điện dung của một số tụ điện

- ❖ Điện dung của tụ điện là đại lượng đặc trưng cho khả năng tích điện của tụ.
- ❖ Điện dung của tụ điện phụ thuộc vào cấu tạo, hình dạng, kích thước hai bản và môi trường cách điện giữa hai bản tụ mà không phụ thuộc vào các vật dẫn bên ngoài.

1) Tụ điện phẳng

Cấu tạo: gồm hai bản phẳng bằng kim loại có cùng diện tích S đặt song song cách nhau một đoạn d rất nhỏ so với kích thước mỗi bản.

Điện trường giữa hai bản là điện trường đều và có giá trị:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon} = \frac{q}{\epsilon_0 \epsilon S}$$

Hiệu điện thế giữa hai bản:

$$V_1 - V_2 = \int_1^2 \vec{E} d\vec{l} \Rightarrow V_1 - V_2 = \frac{q}{\epsilon_0 \epsilon S} d$$

Mà: $U = V_1 - V_2 = \frac{q}{C}$



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



2) Tự điện cầu

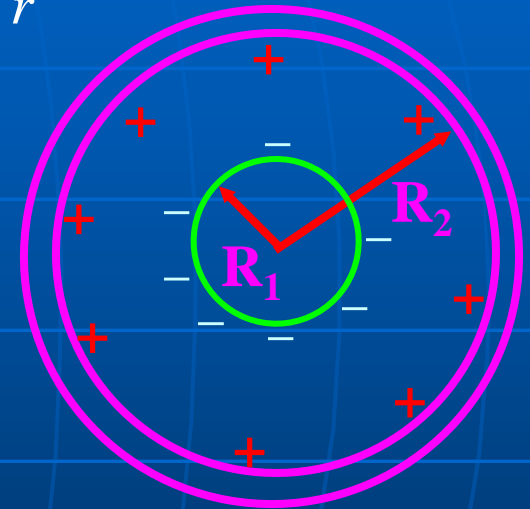
Cấu tạo: gồm hai quả cầu kim loại đồng tâm, quả cầu trong có bán kính R_1 , quả cầu ngoài rỗng có bán kính R_2 .

Điện trường giữa hai bản: $E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}; (R_1 < r < R_2)$

Hiệu điện thế giữa hai bản:

$$V_1 - V_2 = \int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{r} = \int_1^2 \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} dr$$

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



Vậy điện dung của tụ điện cầu :

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

3)Tụ điện trụ

Cấu tạo: gồm hai mặt kim loại đồng trục, mặt trụ trong có bán kính R_1 , mặt trụ ngoài có bán kính R_2 .

Điện trường giữa hai mặt trụ: $E = \frac{q}{2\pi\epsilon_0\epsilon_H r}; (R_1 < r < R_2)$

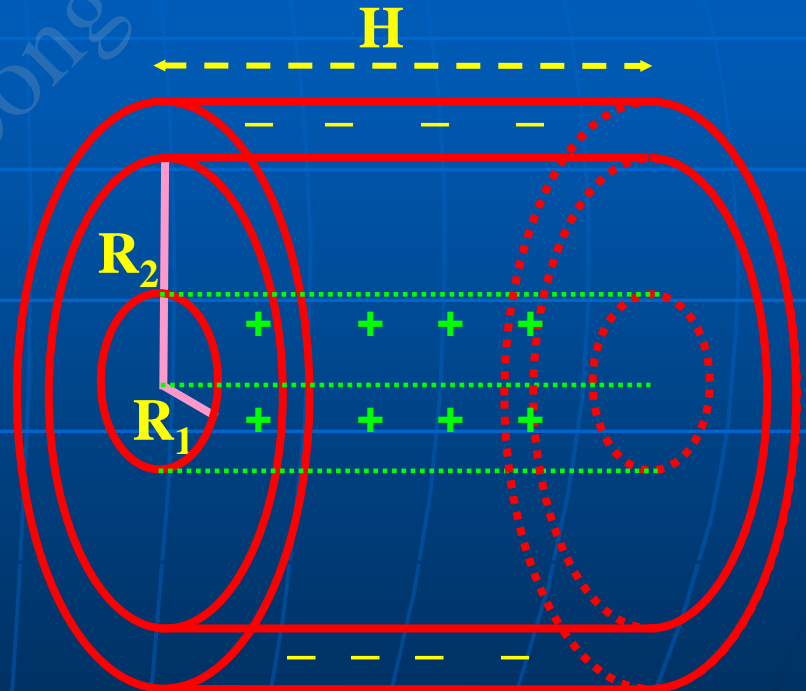
Hiệu điện thế giữa hai mặt trụ:

$$V_1 - V_2 = \int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{r} = \int_1^2 \frac{q}{2\pi\epsilon_0\epsilon_H r} dr$$

$$V_1 - V_2 = \frac{q}{2\pi\epsilon_0\epsilon_H} \ln \frac{R_2}{R_1}$$

Vậy điện dung của tụ điện trụ:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_H}{\ln \frac{R_2}{R_1}}$$



3.5. NĂNG LƯỢNG TRƯỜNG TĨNH ĐIỆN

Để thiết lập một hệ điện tích cần phải cung cấp một công để thắng lực tương tác giữa các điện tích. Do đó một hệ điện tích phải mang năng lượng.

3.5.1 Năng lượng của một hệ điện tích điểm

Năng lượng của hệ gồm hai điện tích điểm : $W_{ij} = \frac{q_i q_j}{4 \pi \epsilon_0 \epsilon r_{ij}}$

$$W_{ij} = \frac{1}{2} q_i V_i + \frac{1}{2} q_j V_j$$

$$V_i = \frac{q_j}{4 \pi \epsilon_0 \epsilon r_{ij}}$$

Điện thế q_j gây ra tại q_i

$$V_j = \frac{q_i}{4 \pi \epsilon_0 \epsilon r_{ij}}$$

Điện thế q_i gây ra tại q_j

Nếu xét hệ gồm n điện tích điểm q_1, q_2, \dots, q_n , thì năng lượng của n điện tích điểm là:

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

$$V_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{q_j}{4 \pi \epsilon_0 \epsilon \cdot r_{ij}}$$

3.5.2 Năng lượng của vật dẫn

Xét vật dẫn mang điện tích q và có điện thế là V .
Chia điện tích q thành các điện tích Δq sao cho có thể xem chúng như các điện tích điểm.

Năng lượng của vật dẫn:

$$W_e = \frac{1}{2} \sum V \Delta q = \frac{1}{2} V \sum \Delta q = \frac{1}{2} V q$$

$$W_e = \frac{1}{2} q V = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{q^2}{2C}$$

3.5.3 Năng lượng của tụ điện

Tụ điện là một hệ thống gồm hai vật dẫn nên khi được tích điện nó cũng mang năng lượng:

$$W_e = \frac{1}{2} q U = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}$$

3.5.4 Năng lượng trường tĩnh điện

Năng lượng của hệ điện tích điểm, vật dẫn hay tụ điện khi được tích điện được giữ ở đâu, chỗ có điện tích hay trong điện trường???



Từ kết quả thực nghiệm ta có kết luận là vật mang năng lượng điện trường chính là điện trường và nó được định xứ trong khoảng không gian có điện trường.



❑ Năng lượng của tụ điện, hệ điện tích điểm hay vật dẫn tích điện chính là năng lượng của điện trường gây bởi chúng.

➤ Năng lượng điện trường: $W_e = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon E^2 v$

➤ Mật độ năng lượng điện trường: $w_e = \frac{W_e}{v} = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon E^2$

❑ Trong trường hợp tổng quát, điện trường nói chung là không đều nên ta phải chia không gian có chứa điện trường thành các thể tích dv rất nhỏ!!!

□ Năng lượng điện trường chứa trong thể tích v :

$$W_e = \int_v \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon E^2 dv$$

□ Đối với điện môi đẳng hướng và \vec{D} là véc tơ cảm ứng điện:

$$W_e = \int_v \frac{1}{2} \vec{E} \cdot \vec{D} dv$$

$$\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E}$$