

CHƯƠNG 2

VẬT DẪN

Chương 2: VẬT DẪN

Nội dung

- Vật dẫn
- Tính chất vật dẫn điện ở trạng thái cân bằng tĩnh điện
- Vật dẫn trong điện trường ngoài
- Điện dung của vật dẫn
- Tụ điện
- Năng lượng điện trường

Chuẩn đầu ra

- Hiểu được các khái niệm cơ bản về vật dẫn, điện dung.
- Giải thích được hiện tượng liên quan đến vật dẫn điện.
- Vận dụng giải các bài toán cụ thể về điện thế, tụ điện và năng lượng điện trường.

VẬT DẪN

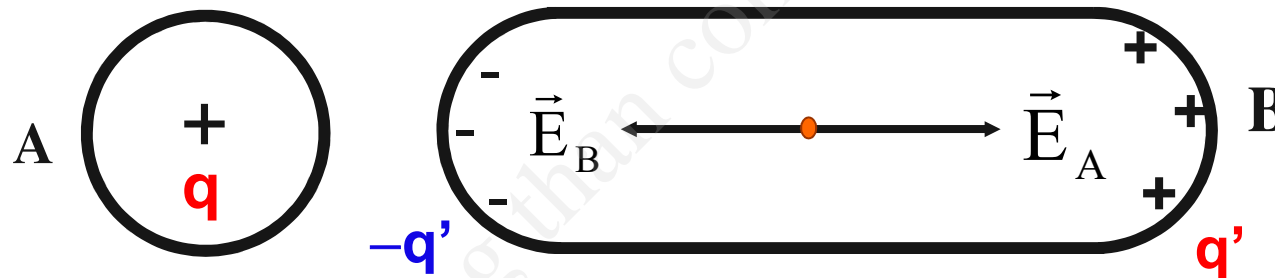
Vật dẫn điện (VDĐ) là những vật có chứa những điện tích tự do (có thể là ion hoặc electron). Đó là những điện tích chuyển động tự do bên trong VDĐ mà không thể thoát ra bề mặt VDĐ, ở đây ta chỉ xét xem VDĐ kim loại, khi đó các điện tích tự do chính là các điện tử tự do. Khi tác dụng bởi một điện trường các điện tử tự do di chuyển theo chiều hướng nhất định tạo thành dòng điện.

VDĐ ở trạng thái tự nhiên trung hòa về điện tích. Khi mất đi một số điện tử vật trở nên có điện tích dương nhiều hơn điện tích âm và có thể xem vật thực sự mang điện tích dương và ngược lại. Điện tích khác với điện tích trung hòa của VDĐ được gọi là điện tích thừa hay điện tích tự do.

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

ĐIỀU KIỆN CÂN BẰNG TĨNH ĐIỆN

Khi chưa có điện trường tác dụng vào VĐĐ thì các e tự do luôn luôn chuyển động hỗn loạn. Khi tác dụng vào VĐĐ một điện trường ngoài thì các e tự do chuyển động hỗn loạn trong VĐĐ sẽ phân bố lại để tạo ra một điện trường làm mất tác dụng của điện trường ngoài. Trạng thái mà điện trường trong VĐĐ bằng không gọi là trạng thái cân bằng tĩnh điện.



TÍNH CHẤT CỦA VĐĐ Ở TRẠNG THÁI CÂN BẰNG TĨNH ĐIỆN

1. Điện trường bằng không bên trong vật dẫn

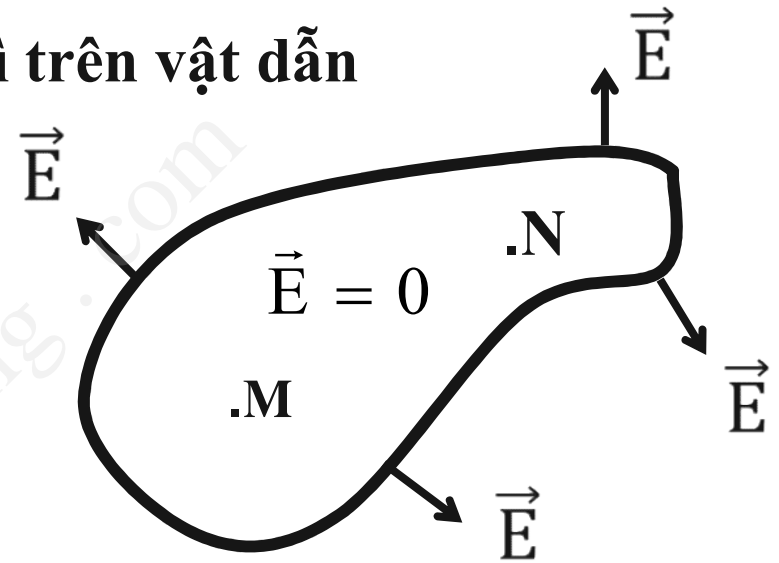
1. Vì điện trường trong lòng VĐĐ bằng không nên một VĐĐ nằm trong VĐĐ rỗng sẽ không bị ảnh hưởng của điện trường bên ngoài. Đây là nguyên tắc hoạt động của màn chắn điện được ứng dụng rộng rãi trong kỹ thuật và đời sống.

2. Vật dẫn là vật đẳng thế

Xét hai điểm M và N bất kì trên vật dẫn

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

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

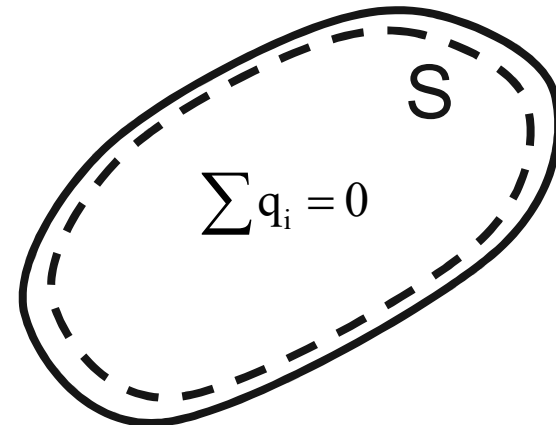


3. Điện tích thừa chỉ phân bố trên bề mặt VDD

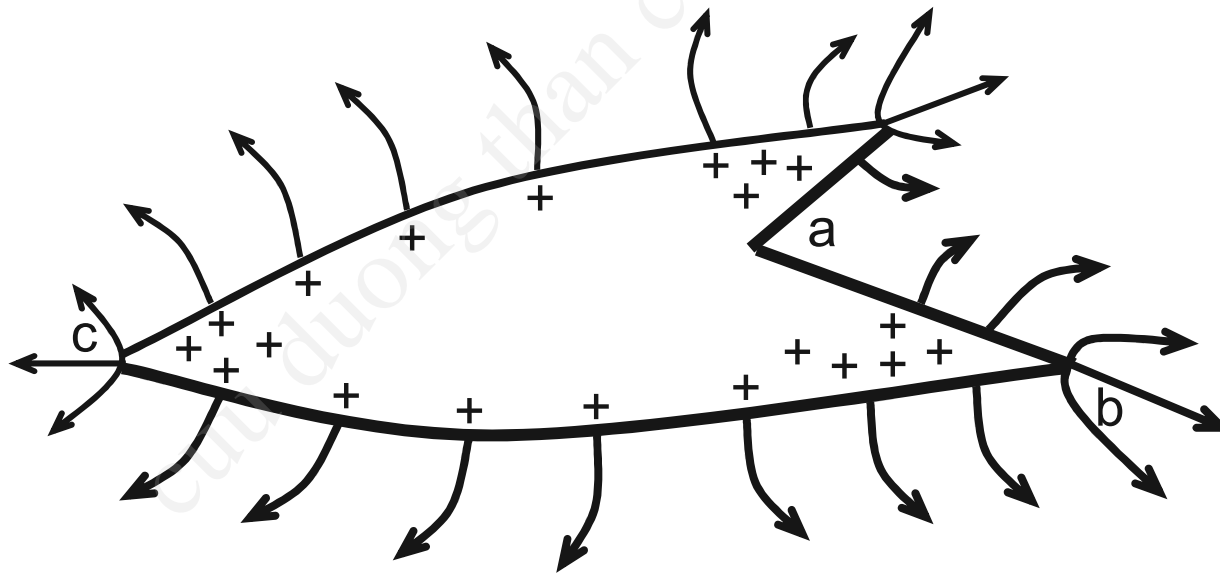
Chọn mặt S nằm trong lòng VDD và sát mặt ngoài. Định lý Gauss:

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

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



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



Phân bố điện tích trên mặt
vật dẫn bất đối xứng



4. Vectơ điện trường ở sát mặt ngoài VĐĐ thì vuông góc với mặt VĐĐ tại đó và có cường độ σ/ϵ_0 .

- VĐĐ là một mặt đẳng thế nên vectơ điện trường ở một điểm sát mặt ngoài VĐĐ thì vuông góc với mặt VĐĐ.

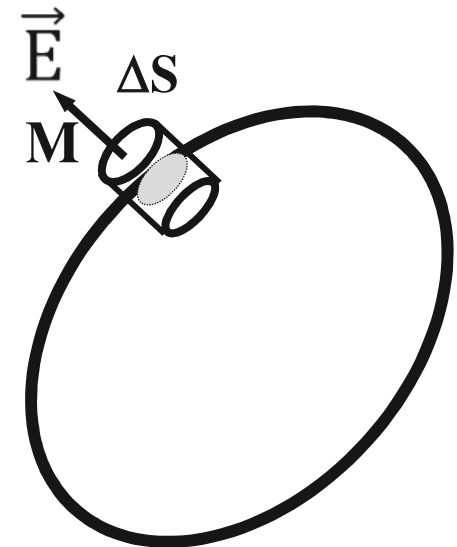
$$V_M - V_N = \int_M^N \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = 0 \Rightarrow \vec{E} \perp d\vec{\ell}$$

Điện trường ở sát mặt ngoài có giá trị σ/ϵ_0 .

Xét điện trường tại điểm M sát mặt ngoài VĐĐ

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

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

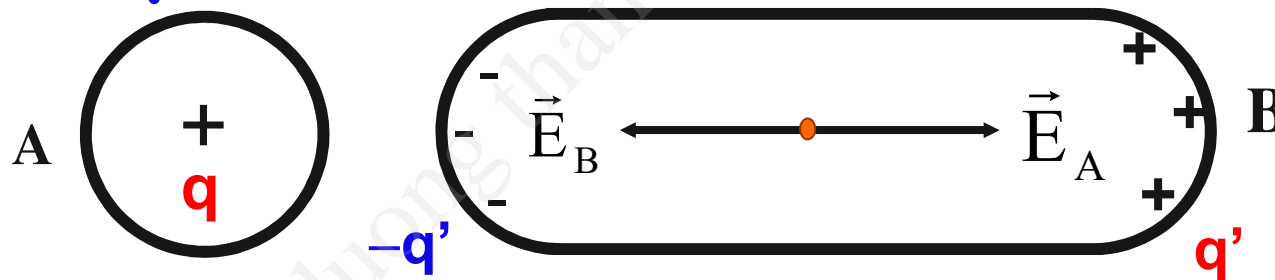


\vec{E} cận mặt ngoài VĐĐ

VĐĐ TRONG ĐIỆN TRƯỜNG NGOÀI

Cho VDD (B) trung hòa về điện tích đặt trong một điện trường của VDD (A, có mang điện tích q) thì các điện tích có trong VDD (B) sẽ chuyển động. Các điện tích dương (q') đi theo hướng của điện trường, còn các điện tích âm ($-q'$) thì ngược lại, q' và $-q'$ được gọi là các **điện tích cảm ứng**.

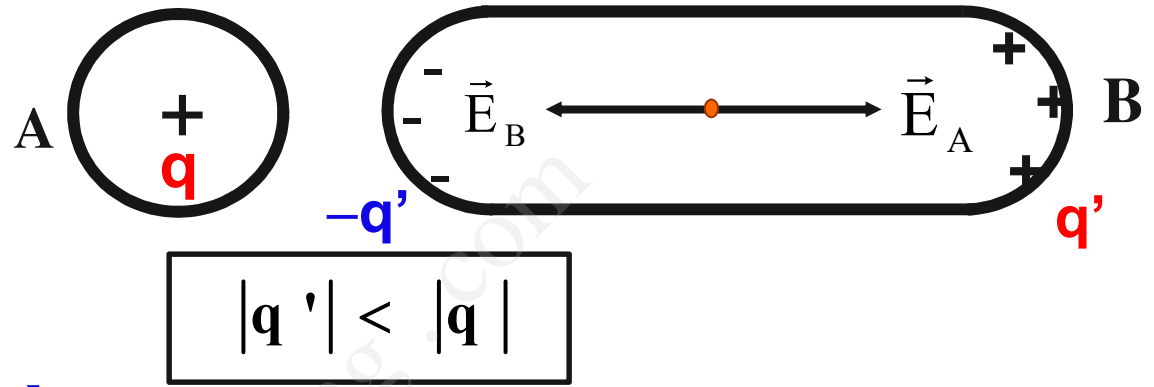
Trong VDD (B) sẽ tạo ra một điện trường ngược với điện trường ngoài (do A gây ra) làm cho VDD (B) trở lại trạng thái cân bằng tĩnh điện.



Hiện tượng các điện tích cảm ứng xuất hiện trên VDD (B, lúc đầu không mang điện) khi đặt trong điện trường ngoài (do A) được gọi là **hiện tượng điện hưởng (hưởng ứng tĩnh điện)**.

Điện hưởng một phần (sự hưởng ứng tĩnh điện một phần)

Độ lớn của điện tích cảm ứng (trên B) nhỏ hơn độ lớn điện tích của VDD mang điện (A)



Điện hưởng toàn phần

VDD (A) có điện tích q_A được bao quanh bởi VDD (B) có điện tích q_B ở trạng thái cân bằng tĩnh điện.

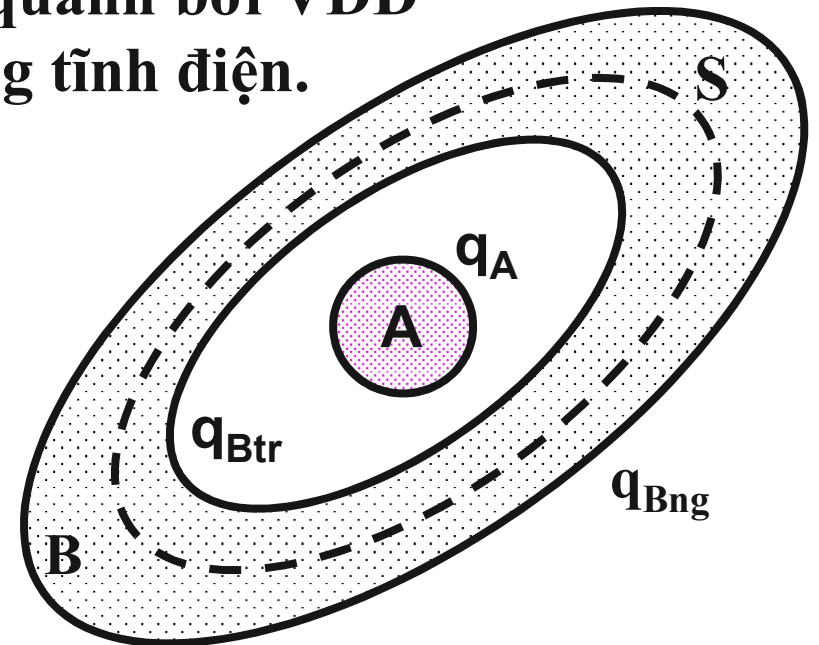
$$q_B = q_{Btr} + q_{Bng} \quad (1)$$

Áp dụng định lý Gauss cho mặt kín S

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

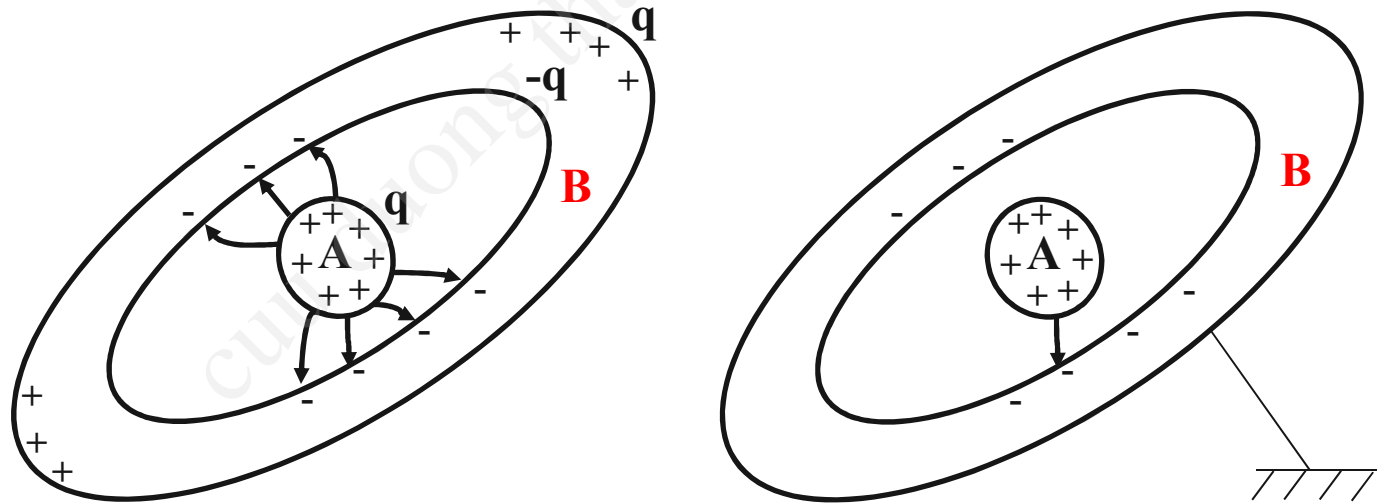
Từ (1), (2): $q_{Bng} = q_B + q_A$

Nếu $q_B = 0 \Rightarrow q_{Bng} = q_A$



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.



ĐIỆN DỤNG CỦA MỘT VẬT DẪN CÁCH LẬP

Một điện tích q được truyền cho một VDD cô lập về điện sẽ được phân bố trên mặt VDD sao cho điện trường bên trong VDD bằng không.

Điện tích tăng bao nhiêu lần trên VDD thì điện trường tại các điểm trong không gian do VDD gây ra cũng tăng bấy nhiêu lần. Qua mối liên hệ giữa điện trường và điện thế ta kết luận rằng điện thế của vật dẫn tỷ lệ với điện tích mà vật dẫn có. Vậy đối với VDD cô lập, điện thế của VDD luôn tỉ lệ với điện tích của nó

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

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 :

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

TỰ ĐIỆN

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:

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

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.

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:

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

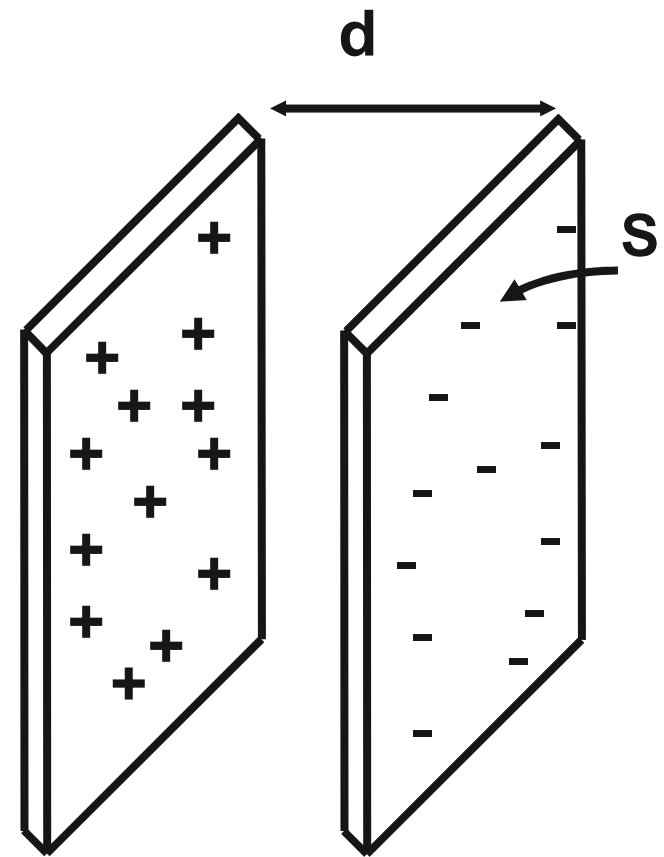
Hiệu điện thế giữa hai bản:

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

Mà: $U = V_1 - V_2 = \frac{q}{C}$



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



Tụ điện cầu

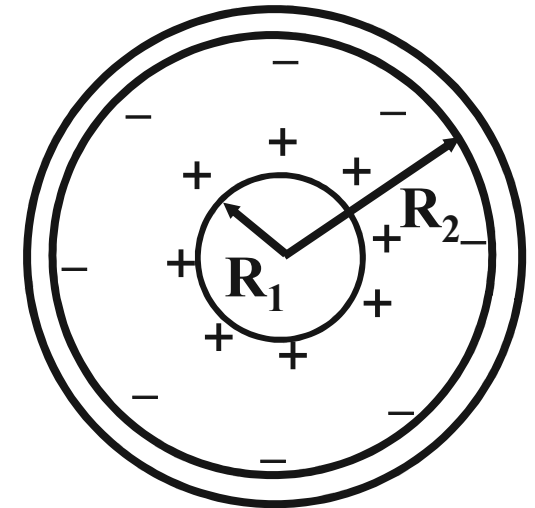
Cấu tạo: gồm hai quả cầu kim loại đồng tâm, quả cầu trong có bán kính R_1 , quả cầu ngoài rỗng có bán kính R_2 .

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:

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

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



Vậy điện dung của tụ điện cầu:

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

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: $E = \frac{q}{2\pi\epsilon_0\epsilon Hr}$; ($R_1 < r < R_2$)

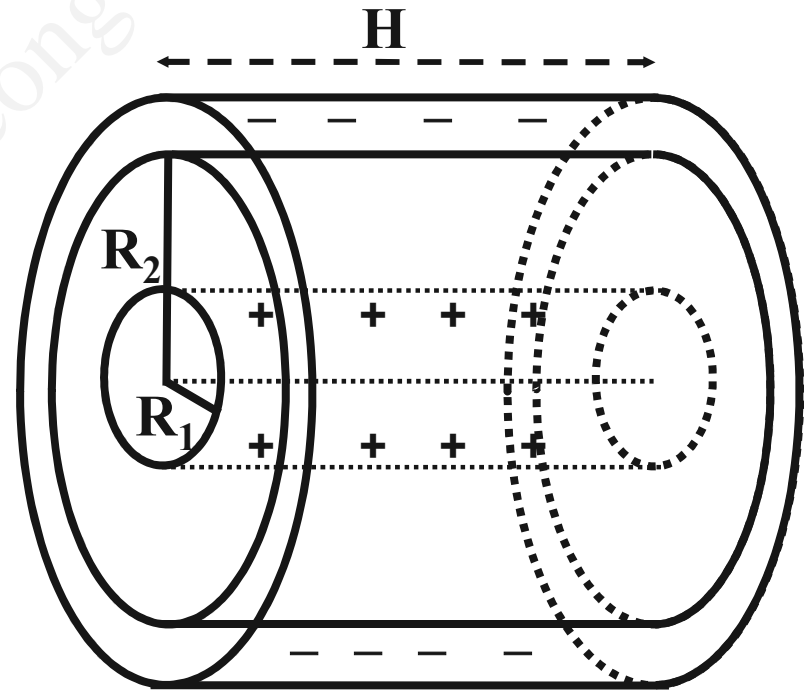
Hiệu điện thế giữa hai mặt trụ:

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

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

Vậy điện dung của tụ điện trụ:

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



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.

Năng lượng tĩnh điện của VDD cô lập mang điện

Giả sử ban đầu VDD không mang điện: $q = 0 \Rightarrow W = 0$

Muốn tích cho VDD điện tích Q thì điện thế trên VDD là V và cần tốn công W .

Theo định luật bảo toàn năng lượng, $W = W_e$ (thế năng tĩnh điện của VDD).

Đưa điện tích dq từ vô cùng $\{dW(\infty) = 0\}$ đến VDD có điện thế là V ta cần tốn công:

$$dA = dW(\infty) - dW = -dW = -dqV = -\frac{q}{C}dq$$
$$dW_e = -dA \Rightarrow W_e = \int_0^Q \frac{q}{C}dq = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

Năng lượng tĩnh điện W_e của VDD có điện dung C , mang điện tích Q và tồn tại ở điện thế V là:

$$W_e = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} QV$$

Năng lượng tĩnh điện của một hệ VDD

Xét hệ gồm n VDD có điện tích và điện thế trên VDD lần lượt là Q_1, Q_2, \dots, Q_n và V_1, V_2, \dots, V_n . Giả sử ban đầu các VDD đều có điện tích và điện thế bằng không

Gọi Q_1x, Q_2x, \dots, Q_nx và V_1x, V_2x, \dots, V_nx là điện tích và điện thế của các VDD ở trạng thái trung gian.

Muốn chuyển hệ từ trạng thái ban đầu đến trạng thái cuối cùng, ta cho x biến thiên từ 0 đến 1.

Muốn chuyển hệ từ trạng thái x sang trạng thái $x + dx$, ta cần mang từ vô cực tới các VDD những điện tích $Q_1dx, Q_2dx, \dots, Q_ndx$ và tốn công:

$$dW = V_1xQ_1dx, V_2xQ_2dx, \dots, V_nxQ_ndx = xdx \sum_{i=1}^n Q_i V_i$$

Tổng năng lượng ta đã tốn để thiết lập trạng thái cuối cùng của hệ hoặc năng lượng tĩnh điện của một hệ VĐĐ mang điện:

$$\Rightarrow W_e = W = \int_0^1 x dx \sum_{i=1}^n Q_i V_i = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n Q_i V_i$$

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

Suy ra năng lượng của tụ điện:

$$W_e = \frac{1}{2} Q V_1 + \frac{1}{2} (-Q) V_2 = \frac{1}{2} Q (V_1 - V_2) = \frac{1}{2} Q U = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

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

Năng lượng trường tĩnh điện

□ Năng lượng của tụ điện chính là năng lượng của điện trường giữa hai bản của tụ. Tương tự năng lượng của một hệ điện tích điểm hay năng lượng của VĐĐ tích điện chính là năng lượng của điện trường gây bởi chúng

➤ Năng lượng điện trường:

$$W_e = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon E^2 v$$

➤ Mật độ năng lượng điện trường:

$$w_e = \frac{W_e}{v} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon E^2$$

□ 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 và xem điện trường trong dv là đều.

❑ Năng lượng điện trường chứa trong thể tích dv :

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

❑ 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, véc tơ cảm ứng điện:

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

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