

CHƯƠNG 7

ĐIỆN TRƯỜNG TRONG VẬT DẪN – ĐIỆN MÔI

1. ĐIỆN TRƯỜNG TRONG VẬT DẪN

1.1. VẬT DẪN CÂN BẰNG TĨNH ĐIỆN

1.2. HIỆN TƯỢNG ĐIỆN HƯỞNG

1.3. VẬT DẪN CÔ LẬP

1.4. TỤ ĐIỆN

2. ĐIỆN TRƯỜNG TRONG ĐIỆN MÔI

2.1. PHÂN CỰC ĐIỆN MÔI

2.2. ĐIỆN TRƯỜNG TRONG ĐIỆN MÔI

1. ĐIỆN TRƯỜNG TRONG VẬT DẪN

1.1. VẬT DẪN CÂN BẰNG TĨNH ĐIỆN

- **Vật dẫn cân bằng tĩnh điện (VDCBTĐ)** là vật dẫn có các hạt mang điện tự do nằm ở trạng thái cân bằng bền.
- Vật dẫn chỉ tích điện trên bề mặt.
- Trên bề mặt VDCBTĐ vectơ cường độ điện trường vuông góc với bề mặt vật dẫn, điện trường tại mọi điểm trên bề mặt là như nhau.
- Bên trong VDCBTĐ cường độ điện trường bằng 0:

$$\vec{E} = 0 \rightarrow \text{grad}V = 0 \rightarrow V = \text{const}$$

→ Mọi điểm bên trong và trên bề mặt vật dẫn có cùng điện thế, VDCBTĐ là **vật đẳng thế**.

→ Ứng dụng: Một vật dẫn rỗng đóng vai trò như một màn chắn tĩnh điện (lồng Faraday) có tác dụng bảo vệ các vật dẫn khác đặt trong nó khỏi sự ảnh hưởng của điện trường ngoài.

- Trên bề mặt vật dẫn, điện tích tập trung nhiều ở mũi nhọn → trên bề mặt mặt cầu hoặc mặt phẳng điện tích phân bố đều.

BÀI TẬP VÍ DỤ 1

Hai quả cầu kim loại có bán kính lần lượt là 8 cm và 5 cm, được nối với nhau bằng một dây dẫn mảnh. Chúng được tích điện với điện tích tổng cộng là $13 \cdot 10^{-8} \text{ C}$. Tìm điện tích và điện thế của hai quả cầu.

HƯỚNG DẪN GIẢI

- Hai quả cầu kim loại nối với nhau bằng một dây dẫn trở thành một vật dẫn duy nhất. Ở trạng thái cân bằng, vật dẫn này là một vật đẳng thế, do đó hai quả cầu có cùng một điện thế: $V_1 = V_2$.
- Điện thế của 2 quả cầu kim loại tích điện là:

$$V_1 = k \frac{Q_1}{R_1}, \quad V_2 = k \frac{Q_2}{R_2} \rightarrow \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{8}{5}$$

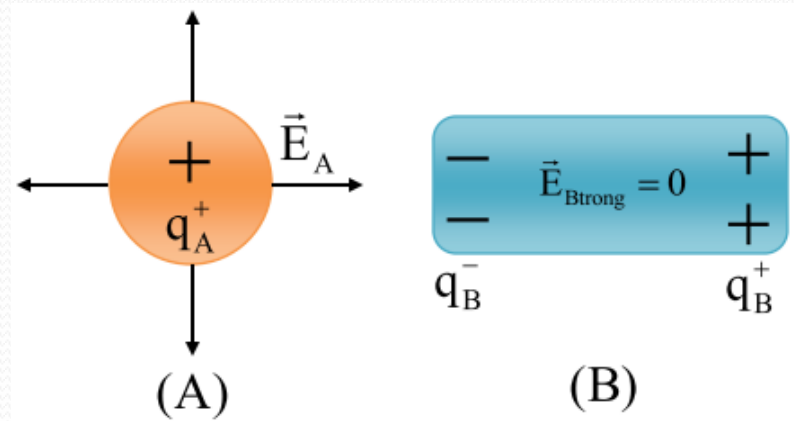
- Mặt khác: $Q_1 + Q_2 = 13 \cdot 10^{-8} \text{ C}$
- Vậy điện tích và điện thế của 2 quả cầu là:

$$Q_1 = 8 \cdot 10^{-8} \text{ C}, \quad Q_2 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ C}$$

$$V_1 = V_2 = 9 \cdot 10^3 \text{ V}$$

1.2. HIỆN TƯỢNG ĐIỆN HƯỞNG

- **Điện hưởng** là hiện tượng trên mặt vật dẫn xuất hiện các điện tích trái dấu khi đặt vật dẫn trong điện trường ngoài.
- Ví dụ: vật A tích điện dương nên sinh ra điện trường \vec{E}_A . Dưới tác dụng của điện trường này, các điện tích âm và dương bên trong vật B sẽ dịch chuyển ngược hướng nhau \rightarrow trên bề mặt vật B xuất hiện các điện tích trái dấu gọi là điện tích cảm ứng q_B^+ và q_B^- .
- Các điện tích cảm ứng q_B^+ và q_B^- sinh ra bên trong vật B một điện trường phụ \vec{E}' ngược chiều \vec{E}_A . Khi nào \vec{E}' và \vec{E}_A cân bằng nhau thì các điện tích ngừng dịch chuyển \rightarrow vật B đạt trạng thái cân bằng tĩnh điện.
- Điện hưởng một phần (BC không bao quanh A): $|q_B^+| = |q_B^-| < |q_A^+|$
- Điện hưởng toàn phần (BC bao quanh A): $|q_B^+| = |q_B^-| = |q_A^+|$

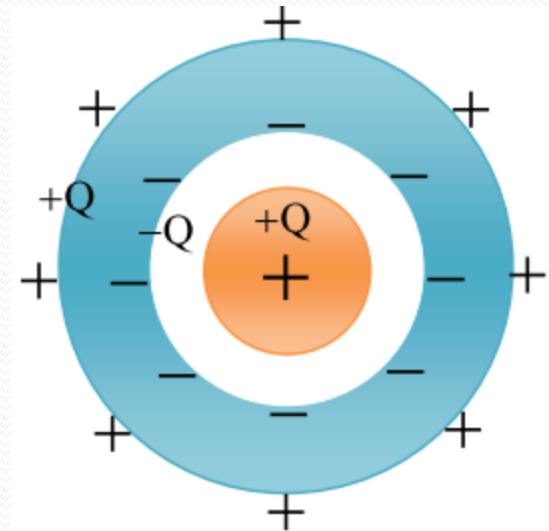


BÀI TẬP VÍ DỤ 2

Một quả cầu cách điện, bán kính a , điện tích $+Q$ phân bố đều trên toàn thể tích. Quả cầu này đặt trong quả cầu kim loại rỗng trung hòa về điện có bán kính mặt trong và mặt ngoài lần lượt là b và c . Tìm cường độ điện trường tại các khu vực sau: $r < a$, $a < r < b$, $b < r < c$, $r > c$.

HƯỚNG DẪN GIẢI

- Do hiện tượng điện hưởng nên quả cầu kim loại sẽ bị nhiễm điện như trên hình vẽ.
- $r < a$ (màu cam): điện trường E_1 do quả cầu cách điện $+Q$ sinh ra.
- $a < r < b$ (màu trắng): E_2 do quả cầu cách điện $+Q$ sinh ra.
- $b < r < c$ (màu xanh): E_3 do quả cầu cách điện $+Q$ và mặt trong của quả cầu kim loại $-Q$ sinh ra.
- $r > c$ (ngoài cùng): E_4 do cả 3 vật nhiễm điện sinh ra.



$$E_1 = k \frac{Qr}{a^3}, E_2 = k \frac{Q}{r^2}$$
$$E_3 = 0, E_4 = k \frac{Q}{r^2}$$

1.3. VẬT DẪN CÔ LẬP

- **Vật dẫn cô lập về điện** khi phân bố điện tích của nó không bị ảnh hưởng bởi các vật mang điện khác xung quanh.
- Nếu tích điện cho vật dẫn một điện tích Q thì vật dẫn có điện thế là V ; nếu Q thay đổi thì V cũng thay đổi theo nhưng tỉ số Q/V không đổi, đó chính là **điện dung** C của vật dẫn:

$$C = \frac{Q}{V} \quad (\text{Farad})$$

- Điện dung của vật dẫn cô lập đặc trưng cho khả năng tích điện của vật dẫn.
- Điện dung phụ thuộc vào hình dạng, kích thước và môi trường xung quanh vật dẫn.
- **Năng lượng** của vật dẫn cô lập tích điện là:

$$W = \frac{Q^2}{2C}$$

1.4. TỤ ĐIỆN

- Tụ điện là hệ gồm hai vật dẫn tích điện bằng nhau và ngược dấu.
- Nếu 2 bản tụ tích điện $+Q$ và $-Q$ và điện thế tương ứng là V_1 và V_2 thì điện dung của tụ điện được định nghĩa như sau:

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

Với $U = V_1 - V_2$ là hiệu điện thế giữa 2 bản tụ.

- Điện dung của hệ tụ điện mắc song song:

$$C = \sum_{i=1}^n C_i$$

- Điện dung của hệ tụ điện mắc nối tiếp:

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}$$

- Năng lượng tụ điện:

$$W = \frac{Q^2}{2C}$$

	Tụ điện phẳng	Tụ điện trụ	Tụ điện cầu
Cấu tạo	2 mặt phẳng diện tích S , cách nhau khoảng d .	2 mặt trụ đồng trục có chiều dài L và bán kính $R_1 < R_2$.	2 mặt cầu đồng tâm có bán kính $R_1 < R_2$.
Điện dung	$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$	$C = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 L}{\ln(R_2 / R_1)}$	$C = \frac{4\pi\epsilon\epsilon_0 R_1 R_2}{R_2 - R_1}$
Điện trường	Chỉ tồn tại giữa 2 bản tụ. $E = \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0}$	Chỉ tồn tại trong vùng $R_1 < r < R_2$. $E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon\epsilon_0 r}$	Chỉ tồn tại trong vùng $R_1 < r < R_2$. $E = \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}$

ϵ – hằng số điện môi của môi trường giữa 2 bản tụ.
 σ và λ – mật độ điện mặt và mật độ điện dài.

BÀI TẬP VÍ DỤ 3

Nạp điện cho một tụ điện phẳng, ở giữa hai bản là không khí, cho đến khi năng lượng của tụ điện bằng W . Ngắt tụ điện ra khỏi nguồn nạp, năng lượng của tụ sẽ thay đổi như thế nào nếu:

- a) Đưa 2 bản tụ ra xa nhau. b) Nhúng tụ vào nước có $\epsilon > 1$.

HƯỚNG DẪN GIẢI

- Năng lượng của tụ điện là: $W = \frac{Q^2}{2C}$
- Sau khi ngắt nguồn điện tích Q của tụ không thay đổi.

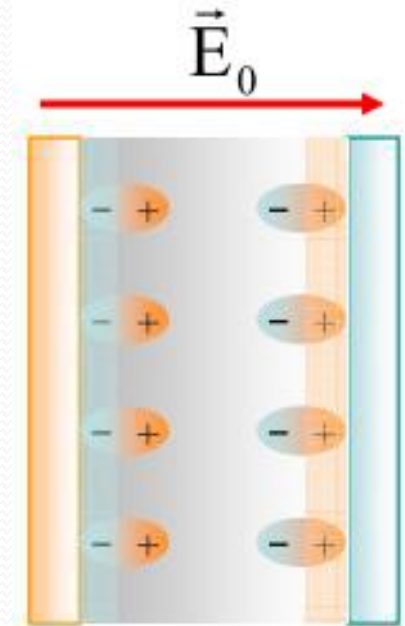
a) Đưa 2 bản tụ ra xa $\rightarrow d$ tăng $\rightarrow C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$ giảm $\rightarrow W$ tăng.

b) Nhúng tụ vào nước có $\epsilon > 1 \rightarrow C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$ tăng $\rightarrow W$ giảm.

2. ĐIỆN TRƯỜNG TRONG ĐIỆN MÔI

2.1. PHÂN CỰC ĐIỆN MÔI

- **Hiện tượng phân cực điện môi:** khi đặt điện môi trong điện trường ngoài, trên bề mặt điện môi xuất hiện các điện tích trái dấu gọi là điện tích liên kết.
- Giải thích:
 - ✓ Khi đặt điện môi trong điện trường ngoài \vec{E}_0 , các phân tử sẽ xoay theo hướng của điện trường ngoài do các điện tích âm và dương chuyển động ngược chiều nhau, mỗi phân tử là một lưỡng cực điện có momen $\vec{p}_e \nearrow \nearrow \vec{E}_0$ nếu \vec{E}_0 đủ lớn.
 - ✓ Trong lòng khối điện môi, các điện tích dương và âm của 2 lưỡng cực điện cạnh nhau sẽ trung hòa với nhau nên không xuất hiện điện tích.
 - ✓ Trên mặt giới hạn của điện môi xuất hiện các điện tích trái dấu. Các điện tích này nằm trong phân tử nên không phải điện tích tự do, mà là điện tích liên kết.



- **Vecto phân cực điện môi** là đại lượng đặc trưng cho sự phân cực của điện môi, bằng tổng momen lưỡng cực điện của các phân tử trong một đơn vị thể tích khối điện môi:

$$\vec{P}_e = \frac{\sum_i \vec{p}_{ei}}{\Delta V} \quad (\text{C/m}^2)$$

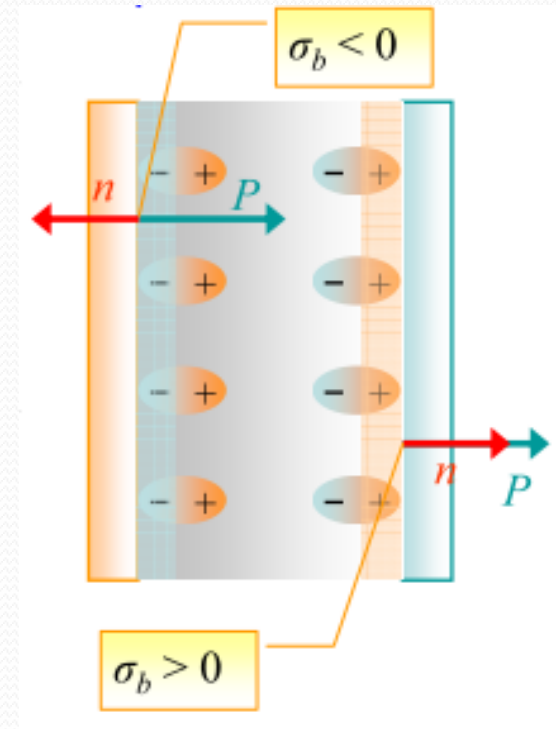
- Nếu điện môi đồng chất và đẳng hướng thì vecto phân cực tỷ lệ với điện trường trong điện môi:

$$\vec{P}_e = \epsilon_0 \chi \vec{E}$$

Với: χ – độ cảm điện của điện môi (không có thứ nguyên, luôn >0).

- Mật độ điện tích liên kết σ' xuất hiện trên mặt giới hạn của khối điện môi có giá trị bằng hình chiếu của vecto phân cực điện môi lên pháp tuyến \vec{n} của mặt giới hạn đó:

$$\sigma' = \vec{P}_e \cdot \vec{n}$$



2.2. ĐIỆN TRƯỜNG TRONG ĐIỆN MÔI

- Các điện tích liên kết tạo một điện trường phụ $\vec{E}' \nearrow \searrow \vec{E}_0$. Điện trường tổng hợp trong khối điện môi \vec{E} nhỏ hơn điện trường trong chân không \vec{E}_0 :

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}' < \vec{E}_0$$

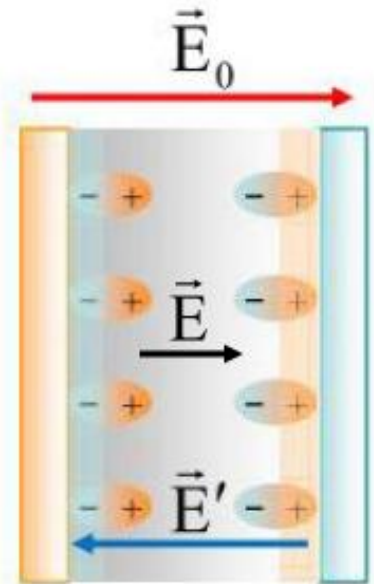
- Cường độ điện trường trong điện môi đồng chất và đẳng hướng nhỏ hơn cường độ điện trường trong chân không ϵ lần:

$$\vec{E} = \frac{\vec{E}_0}{\epsilon}$$

Với: $\epsilon = \chi + 1$ – hằng số điện môi tương đối.

- Vecto cảm ứng điện trong điện môi: $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}_e$
- Nếu điện môi đồng chất và đẳng hướng:

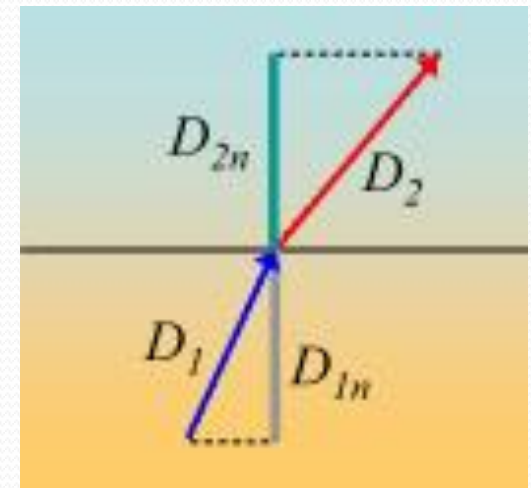
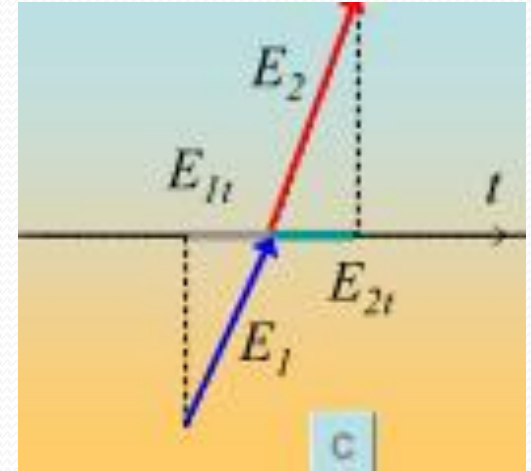
$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}_e = \epsilon_0 (1 + \chi) \vec{E} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E}$$



ĐIỆN TRƯỜNG TẠI MẶT PHÂN CÁCH HAI ĐIỆN MÔI

Khi qua mặt phân cách của 2 môi trường điện môi có hằng số điện môi khác nhau:

- Vecto \vec{E} có:
 - ✓ Thành phần tiếp tuyến biến thiên liên tục:
 $E_{1T} = E_{2T}$.
 - ✓ Thành phần pháp tuyến biến thiên không liên tục: $E_{1n} \neq E_{2n}$.
- Vecto \vec{D} có:
 - ✓ Thành phần tiếp tuyến biến thiên không liên tục: $D_{1T} \neq D_{2T}$.
 - ✓ Thành phần pháp tuyến biến thiên liên tục: $D_{1n} = D_{2n}$.



BÀI TẬP VÍ DỤ 4

Giữa 2 bản của tụ điện phẳng cách nhau một đoạn d được lấp đầy bởi một chất điện môi có ϵ . Hiệu điện thế giữa 2 bản tụ là U . Tìm:

- a) Cường độ điện trường \vec{E} giữa 2 bản tụ.
- b) Cường độ điện trường \vec{E}_0 trong khe hở giữa bản tụ và lớp điện môi.
- c) Mật độ điện tích tự do σ trên 2 bản tụ.
- d) Mật độ điện tích liên kết σ' trên mặt điện môi.

HƯỚNG DẪN GIẢI

- a) Cường độ điện trường giữa 2 bản tụ: $E = U / d$
- b) Cường độ điện trường trong khe hở giữa bản tụ và lớp điện môi:

$$E_0 = \epsilon E = \epsilon U / d$$

- c) Mật độ điện tích tự do trên 2 bản tụ: $\sigma = \epsilon \epsilon_0 E = \epsilon \epsilon_0 U / d$

- d) Mật độ điện tích liên kết trên mặt điện môi:

$$\sigma' = P_e = \epsilon_0 \chi E = \epsilon_0 (\epsilon - 1) \frac{U}{d}$$

BÀI TẬP VÍ DỤ 5

Giữa 2 bản của tụ điện phẳng cách nhau một đoạn d được thiết lập một hiệu điện thế U . Sau đó ngắt tụ ra khỏi nguồn và nhúng vào nước có ϵ . Tìm:

- a) Cường độ điện trường giữa 2 bản tụ trước và sau khi nhúng nước.
- b) Mật độ điện tích tự do σ trên 2 bản tụ.
- c) Mật độ điện tích liên kết σ' trên mặt điện môi.

HƯỚNG DẪN GIẢI

a) Cường độ điện trường giữa 2 bản tụ trước khi nhúng nước: $E_0 = U / d$

Cường độ điện trường giữa 2 bản tụ sau khi nhúng nước: $E = \frac{E_0}{\epsilon} = \frac{U}{\epsilon d}$

b) Mật độ điện tích tự do trên 2 bản tụ: $\sigma = \epsilon \epsilon_0 E = \epsilon_0 U / d$

c) Mật độ điện tích liên kết trên mặt điện môi:

$$\sigma' = P_e = \epsilon_0 \chi E = \epsilon_0 (\epsilon - 1) \frac{U}{\epsilon d}$$