



## CHƯƠNG IX: ĐIỆN MÔI

Bài giảng môn Vật lý 1 và thí nghiệm

Giảng viên: Tô Thị Thảo

Ngày 18 tháng 4 năm 2023

# Nội dung

## 1 Sự phân cực điện môi

- 1.1 Hiện tượng phân cực điện môi
- 1.2. Phân loại điện môi
- 1.3 Quá trình phân cực điện môi

## 2 Vector phân cực điện môi

- 2.1 Định nghĩa
- 2.2 Liên hệ giữa vectơ phân cực điện môi với mật độ điện tích liên kết

## 3 Điện trường tổng hợp trong chất điện môi

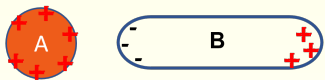
- 3.1 Cường độ điện trường trong chất điện môi
- 3.2 Liên hệ giữa vectơ điện cảm  $\vec{D}$  và vectơ phân cực điện môi  $\vec{P}_e$

## 4 Điện môi đặc biệt

- 4.1 Điện môi Sécnhét
- 4.2 Hiệu ứng áp điện

Trong chất điện môi không có điện tích tự do, các điện tích hầu như cố định tại chỗ, chúng chỉ có thể dịch chuyển trong khoảng cách rất nhỏ quanh vị trí cố định.

# 1. Hiện tượng phân cực điện môi

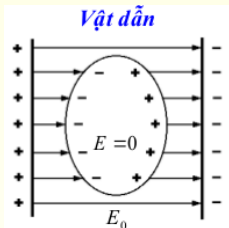


- Khi đưa thanh điện môi đồng chất BC và đẳng hướng vào trong điện trường gây bởi vật mang điện A  $\Rightarrow$  tại các mặt giới hạn của thanh điện môi có xuất hiện những điện tích trái dấu. Mặt đối diện gần với A được tích điện trái dấu với A, mặt còn lại được tích điện cùng dấu với A.
- Đối với thanh điện môi đồng chất và đẳng hướng thì trong lòng thanh không xuất hiện điện tích, còn đối với thanh điện môi không đồng chất và đẳng hướng thì trong lòng thanh có xuất hiện điện tích.

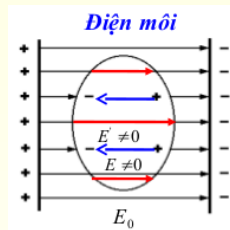


## Định nghĩa:

Hiện tượng thanh điện môi đặt trong điện trường có xuất hiện điện tích gọi là hiện tượng phân cực điện môi



- Xuất hiện phân bố các điện tích tự do trên toàn bộ bề mặt  $\Rightarrow$  mật độ điện mặt  $\sigma$
- $E$  không thể xuyên qua vật dẫn  $\Rightarrow$  hiệu ứng Màn chắn tĩnh điện
- Vật dẫn trở lại trạng thái trung hòa điện khi  $E_0 = 0$

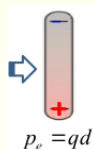
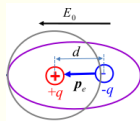
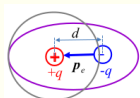
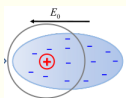
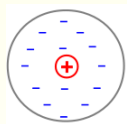


- Xuất hiện phân bố điện tích ở đầu định xứ tại đó  $\Rightarrow$  mật độ điện tích liên kết mặt  $\sigma'$
- Điện tích liên kết hình thành điện trường phụ  $E'$  ngược chiều  $E_0$
- Điện tích liên kết có thể vẫn tồn tại ngay cả sau khi  $E_0 = 0$

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

# Mô hình phân cực nguyên tử

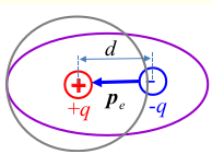
- **Trọng tâm điện tích âm:** Có thể coi tác dụng của các e trong phân tử tương đương như một điện tích  $-q$  đặt tại một điểm gọi là trọng tâm điện tích âm.
- **Trọng tâm điện tích dương:** Có thể coi tác dụng của hạt nhân như một điện tích  $+q$  đặt tại trọng tâm điện tích dương.



- Khi không có điện trường ngoài: Nguyên tử có điện tử liên kết chặt với hạt nhân  $\Rightarrow$  phân bố điện tích đối xứng  $\Rightarrow$  trung hòa về điện.
- Điện trường ngoài  $\vec{E}_0$ : Điện tử di chuyển  $\rightleftharpoons$  trường ngoài  $\Rightarrow$  hình thành một “đám mây” điện tử lệch về một phía mà tâm của nó  $\neq$  với hạt nhân nguyên tử  $\Rightarrow$  nguyên tử bị phân cực điện.
- Nguyên tử bị phân cực điện  $\Rightarrow$  lưỡng cực điện, với  $d$  là vector hướng từ trọng tâm “đám mây điện tử” đến hạt nhân nguyên tử.

# Phân loại điện môi

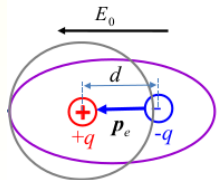
- a. **Phân tử tự phân cực:** Khi chưa có điện trường ngoài, tâm của hai loại điện tích đã không trùng nhau.



- Phân tử có phân bố điện tích không đối xứng  $\Rightarrow$  trọng tâm điện tích (+) và (-) cách nhau một  $d$  khi  $E_0 = 0 \Leftrightarrow p_e \neq 0$
- Ví dụ:  $H_2O$ ,  $NH_3$ ,  $NaCl$ ,...

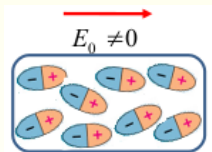
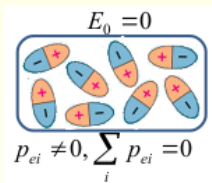
Điện trường ngoài không ảnh hưởng đến độ lớn của  $p_e$  mà chỉ làm **định hướng** nó theo tác dụng của điện trường.

- b. **Phân tử không phân cực:** Tâm điện tích âm và tâm điện tích dương trùng nhau.



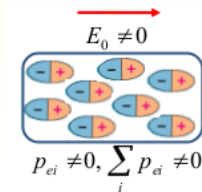
- $p_e = 0$  khi  $E_0 = 0$  và  $p_e \neq 0$  khi  $E_0 \neq 0$
- Ví dụ:  $H_2$ ,  $N_2$ ,  $Cl_2$ , ...
- Phân cực trong điện trường ngoài:  $\vec{p}_e = \epsilon_0 \alpha \vec{E}$   
 $\alpha$ : độ phân cực phân tử

## Điện môi cấu tạo bởi các phân tử tự phân cực: Phân cực định hướng



- Khi không có trường ngoài, từng phân tử có  $\vec{p}_{ei} \neq 0$  nhưng mỗi  $\vec{p}_{ei}$  có phương ngẫu nhiên  $\Rightarrow \sum_i p_{ei} = 0$ . Khối điện môi chưa tích điện.
- Khi có trường ngoài  $\Rightarrow$  các  $p_{ei}$  quay dần theo phương trường ngoài cho đến khi toàn bộ các  $\vec{p}_{ei}$  có phương trùng phương trường ngoài  $\Rightarrow \sum_i \vec{p}_{ei} \neq 0$ .

- Hình thành lớp điện tích tại bề mặt điện môi  $\Rightarrow$  không phải là điện tích tự do mà là **điện tích liên kết**.

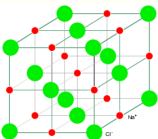




## Điện môi cấu tạo bởi các phân tử không tự phân cực: Phân cực điện tử

- Khi không có trường ngoài  $\Rightarrow$  từng phân tử có  $\vec{p}_{ei} = 0$  do trọng tâm điện tích (+) và (-) trùng nhau  $\Rightarrow \sum \vec{p}_{ei} = 0$ .
- Khi có trường ngoài  $\Rightarrow$  các lớp vỏ điện tử của từng phân tử bị biến dạng  $\Rightarrow$  trọng tâm điện tích (+) và (-) không trùng nhau, nên  $\vec{p}_{ei} \neq 0$  và đều cùng phương trường ngoài.
- Vector phân cực = tổng hợp các vector phân cực của các phân tử  $\Rightarrow \sum \vec{p}_{ei} \neq 0$ .
- Trên mặt giới hạn xuất hiện điện tích liên kết.

## Điện môi cấu tạo bởi các phân tử tinh thể: Phân cực ion



- Khối tinh thể được coi là như một phân tử khổng lồ có các mạng i-ôn (+) và (-) đan xen nhau.
- Dưới tác dụng của điện trường ngoài, các mạng ion dương bị xô dịch theo chiều điện trường, các mạng ion âm bị xô dịch ngược chiều điện trường  $\Rightarrow$  hiện tượng phân cực điện môi.

## 2.1. Định nghĩa:

Đại lượng vật lý đo bằng tổng lưỡng cực điện của các phân tử có trong một đơn vị thể tích của khối điện môi:

$$\vec{p}_e = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{p}_{ei}}{\Delta V}$$

(1)

**Điện môi không tự phân cực và điện môi tinh thể:**

- Khi  $\vec{E} \neq 0$  và không đổi, mọi phân tử đều có cùng  $p_e$ .

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

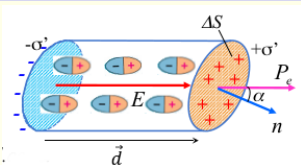
- Hay  $\vec{P}_e = \epsilon_0\chi_e\vec{E}$  ( $\chi_e = n_0\alpha$ : Độ cảm điện môi)

**Điện môi tự phân cực:**

- E thấp  $\Rightarrow \chi_e = n_0\alpha = \frac{n_0 p_e^2}{3\epsilon_0 kT}$

- Khi E lớn,  $P_e$  tiến tới bão hòa vì các vector phân cực đều song song với điện trường.

## 2. Liên hệ giữa vectơ phân cực điện môi với mật độ điện tích liên kết



Xét khối điện môi trụ phân cực với điện tích trên diện tích  $\Delta S : q = \pm \sigma' \cdot \Delta S$  ( $d \parallel E$ )

$$P_e = |\vec{P}_e| = \frac{\left| \sum_{i=1}^n p_{ei} \right|}{\Delta V}$$

Trong đó:  $\left| \sum_{i=1}^n p_{ei} \right| = \sigma' \cdot \Delta S \cdot d$  và  $\Delta V = \Delta S \cdot d \cdot \cos \alpha$

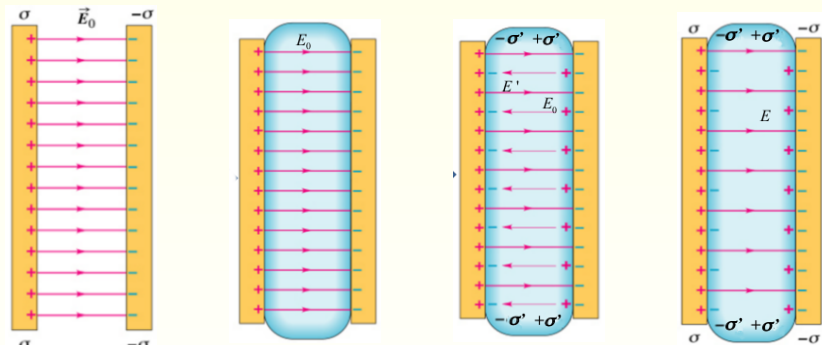
$$\text{Vì thế: } P_e = \frac{\sigma' \cdot \Delta S \cdot d}{\Delta S \cdot d \cdot \cos \alpha} = \frac{\sigma'}{\cos \alpha}$$

$$\Rightarrow \sigma' = P_e \cdot \cos \alpha = P_{en}$$

Mật độ điện mặt các điện tích liên kết của khối điện môi có giá trị bằng hình chiếu của vector phân cực trên pháp tuyến của mặt giới hạn đó.

- Đơn vị:  $[P_e] = C/m^2$

# Cường độ điện trường trong chất điện môi



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

# Cường độ điện trường trong chất điện môi

Chiều theo chiều của  $E_0$  :  $E = E_0 - E'$

- $E'$  là điện trường gây bởi 2 mặt phẳng vô hạn mang điện tích trái dấu  $-\sigma'$  và  $+\sigma'$ .
- Hai lớp điện tích phân cực  $\rightarrow$  hai bản cực của một tụ điện phẳng mới  $\Rightarrow$  độ lớn của cường độ điện trường do nó sinh ra:  $E' = \sigma' / \epsilon_0$

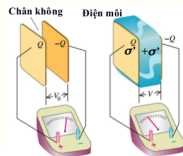
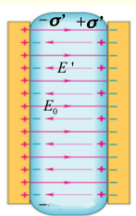
$$\sigma' = P_{en} = \epsilon_0 \chi_e E_n = \epsilon_0 \chi_e E$$

$$\Rightarrow E' = \chi_e E$$

$$- E = E_0 - E' \Rightarrow E = \frac{E_0}{1 + \chi_e} = \frac{E_0}{\epsilon}$$

- $\epsilon = 1 + \chi_e$ : hằng số điện môi, đặc trưng cho tính chất của môi trường.

Cường độ điện trường trong chất điện môi đồng chất và đẳng hướng giảm đi  $\epsilon$  lần so với cường độ điện trường trong chân không.



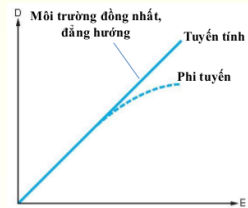
# Liên hệ giữa vectơ điện cảm $\vec{D}$ và vectơ phân cực điện môi $\vec{P}_e$

$$\begin{cases} \vec{D} &= \epsilon_0 \epsilon \vec{E} \\ \epsilon &= 1 + \chi_e \end{cases}$$

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

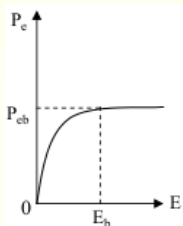
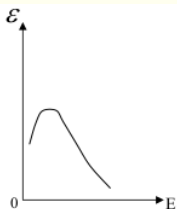
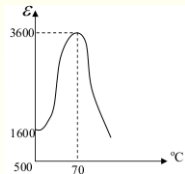
$$\Leftrightarrow \boxed{\vec{D} = \epsilon_0\vec{E} + \vec{P}_e}$$

Vector điện cảm  $\vec{D}$  trong môi trường không đồng nhất, không cùng phương, cùng chiều với  $\vec{E}$



## 1. Điện môi Sécnhét

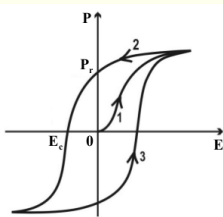
- Phát hiện năm 1930-1934.
- Công thức  $\text{NaK}(\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ .
- Tính chất đặc biệt: miền phân cực tự nhiên, mỗi miền này có vector phân cực tự phát khi  $E = 0$



- a. Trong một khoảng nhiệt độ nào đó, hằng số điện môi của điện môi Sécnhét rất lớn
- b. Hằng số điện môi  $\epsilon \Rightarrow \chi_e \in$  vào điện trường  $E$  trong điện môi.
- c.  $P_e \in E$ :  $P$  tăng tới giá trị bão hòa  $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}_e$  khi  $E > E_b \Rightarrow P_e$  bão hòa  $\Rightarrow D \sim E$

## 1. Điện môi Sécnhét

### a. Hiện tượng điện trễ



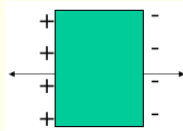
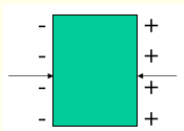
- Vectơ  $P$  phụ thuộc vào trạng thái phân cực trước đó của điện môi
- Khi  $E$  ngoài giảm  $\rightarrow 0 \Rightarrow$  vật liệu vẫn còn bị phân cực  $\Rightarrow$  có  $P = P_r$  : hiện tượng phân cực dư hay điện trễ.
- Khi  $E_{\text{ngoài}}$  thay đổi, các trị số của  $P$  thay đổi chậm hơn so với  $E \Rightarrow P$  được xác định không những bởi giá trị của  $E$  tại thời điểm đang xét mà còn phụ thuộc vào các trị số của  $E$  có trước đó  $\Leftrightarrow$  phụ thuộc vào lịch sử của chất điện môi.
- $P = 0$  khi  $E = -E_c$
- Tiếp tục thay đổi  $E \Rightarrow$  thu được một chu trình điện trễ.

- e. Nhiệt độ Curie  $T_c$ :  $T > T_c$  điện môi séc nhét mất hết các tính chất phân cực trên và trở thành điện môi phân cực bình thường.

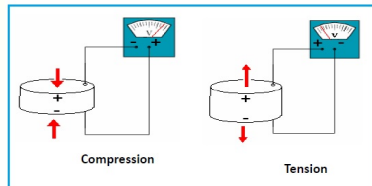
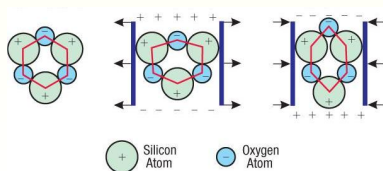


## 2. Hiệu ứng áp điện

### 1. Hiệu ứng áp điện thuận:



- Trên các mặt của tinh thể xuất hiện các điện tích trái dấu tương tự như các điện tích xuất hiện trong hiện tượng phân cực điện môi khi có một ứng suất cơ học (lực kéo hoặc lực nén) tác dụng lên các mặt này.
- Độ lớn của các điện tích cảm ứng tỉ lệ với ứng suất đặt vào, thay đổi dấu theo ứng suất và biến mất khi ngoại lực ngừng tác dụng.



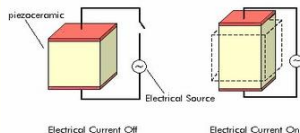
## 2. Hiệu ứng áp điện

### 2. Hiệu ứng áp điện nghịch.

- Khi đặt điện áp lên 2 mặt của tinh thể áp điện  $\Rightarrow$  sẽ bị biến dạng (dãn hoặc nén).
- Khi đặt điện áp xoay chiều lên 2 mặt của tinh thể áp điện  $\Rightarrow$  tinh thể sẽ bị dãn nén liên tiếp và tạo ra dao động theo tần số của điện áp đặt vào.

### 3. Ứng dụng hiệu ứng áp điện trong kỹ thuật:

- Chế tạo các vi cảm biến (microsensor) đo áp suất, gia tốc, khối lượng hoặc nhận biết khí độc...
- Chế tạo các dụng cụ vi chấp hành (microactuator) làm máy phát điện, máy phát siêu âm (ultrasound),...



### 3. Ứng dụng hiệu ứng áp điện trong kỹ thuật:

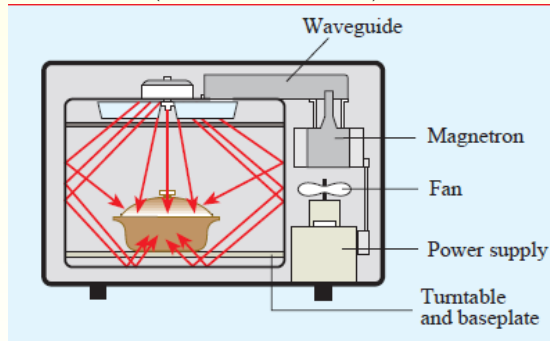
Cảm biến vi cân tinh thể thạch anh (Quartz Crystal Microbalance - QCM): linh kiện đo khối lượng chính xác đến  $\mu\text{g}$  và nano gram.



**Nguyên tắc hoạt động:** Dựa trên việc đo sự thay đổi tần số của bộ cộng hưởng thạch anh do hiệu ứng áp điện.

### 3. Ứng dụng hiệu ứng áp điện trong kỹ thuật:

#### Lò vi sóng (Microwave Oven)



**Nguyên lý hoạt động:** quá trình quay các moment lưỡng cực (phân tử nước) trong điện trường xoay chiều tần số cao  $\Rightarrow$  sinh ra nhiệt do sự va chạm của các moment lưỡng cực trong quá xoay làm nóng thức ăn.

**Ví dụ 1:** Cho một tụ điện phẳng, môi trường giữa hai bản ban đầu là không khí ( $\epsilon_1 = 1$ ), diện tích mỗi bản là  $0,01 \text{ m}^2$ , khoảng cách giữa hai bản là  $0,5 \text{ cm}$ , hai bản được nối với một hiệu điện thế  $300\text{V}$ . Sau đó bỏ nguồn đi rồi lấp đầy khoảng không gian giữa hai bản bằng một chất điện môi có  $\epsilon_2 = 3$ .

- Tính hiệu điện thế giữa hai bản tụ điện sau khi lấp đầy điện môi.
- Tính điện tích trên mỗi bản.

**Ví dụ 2:** Một tụ điện phẳng có các bản cách nhau một đoạn  $d = 2,0\text{mm}$  được tích điện tới hiệu điện thế  $U = 200\text{V}$ . Người ta lấp khoảng không gian giữa hai bản tụ bằng một lớp thủy tinh có  $\epsilon = 6$ . Tìm mật độ điện tích tự do  $\sigma$  ở trên các bản tụ điện và mật độ điện tích liên kết  $\sigma'$  ở trên mặt bản thủy tinh.