

CHƯƠNG 9

ĐIỆN MÔI

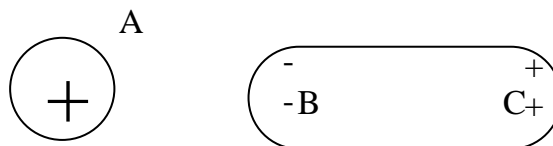
Điện môi là những chất bình thường hầu như không không dẫn điện. Theo quan niệm của vật lý cổ điển, khác với kim loại và chất điện phân, trong điện môi không có các hạt mang điện tích tự do. Điện môi có thể là tất cả các chất khí không bị ion hóa, một số chất lỏng (như benzen, nước cất, dầu mỏ, dầu thực vật...) và các chất rắn (thủy tinh, đồ sứ, mica...). Điện trở suất của các chất điện môi $\rho \approx 10^6 \div 10^{15} \Omega.m$. Tuy nhiên, khi đặt điện môi vào trong điện trường ngoài, thì cả điện môi và điện trường đều có những biến đổi.

Điện môi có nhiều ứng dụng quan trọng và rộng rãi trong kỹ thuật và đời sống. Hầu hết các hợp chất oxyt đều là điện môi và được sử dụng phổ biến trong kỹ thuật điện - điện tử. Các tụ điện đều phải dùng chất điện môi ghép vào giữa hai bản cực. Các linh kiện điện tử như transistor trường (FET), vi mạch CMOS.v.v... trong cấu tạo đều phải sử dụng đến điện môi điôxyt silic (SiO_2), nguyên lý hoạt động của chúng là dựa trên hiện tượng phân cực điện môi của lớp SiO_2 trong điện trường phân cực bên ngoài. Do đó khảo sát về điện môi và các tính chất của điện môi và những biến đổi của nó trong điện trường là nội dung của chương này.

9.1. SỰ PHÂN CỰC ĐIỆN MÔI

9.1.1. Hiện tượng phân cực điện môi

Khi đưa thanh điện môi đồng chất và đẳng hướng vào trong điện trường gây bởi vật mang điện A thì tại các mặt giới hạn của thanh điện môi có xuất hiện những điện tích trái dấu. Mặt giới hạn gần với A có xuất hiện các điện tích trái dấu với A, còn mặt giới hạn của thanh



Hình 9-1
Hiện tượng phân cực điện môi

ở xa A xuất hiện các điện tích 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.

Hiện tượng trên gọi là hiện tượng phân cực điện môi. Hiện tượng này bề ngoài có vẻ giống hiện tượng điện hưởng trong vật dẫn kim loại, song xét về bản chất hai hiện tượng hoàn toàn khác nhau. Trong điện môi không có điện tích tự do, các điện tích xuất hiện trên các mặt giới hạn của thanh đều là các điện tích liên kết.

Đại lượng đặc trưng cho chất điện môi là hằng số điện môi ϵ . Chất có hằng số điện môi ϵ càng lớn thì hiện tượng phân cực càng mạnh.

9.1.2. Phân loại điện môi

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.

Mỗi phân tử của chất điện môi gồm hai phần: hạt nhân mang điện dương và các electron mang điện âm. Bình thường các phân tử trung hoà về điện. Căn cứ vào sự phân bố của các electron quanh hạt nhân, người ta phân điện môi làm hai loại:

- **Loại thứ nhất:** là chất điện môi có phân tử tự phân cực. Trong loại này, các phân tử có phân bố electron không đối xứng quanh hạt nhân nên tâm điện tích âm cách tâm điện tích dương một khoảng l . Mỗi phân tử tự hình thành một lưỡng cực điện có mô men lưỡng cực phân tử $\vec{p}_e = q\vec{l}$. Bình thường mô men lưỡng cực của các phân tử sắp xếp hỗn loạn đối với nhau. Đó là các chất như H_2O , HCl , NH_3 , CH_3Cl .v.v...

- **Loại thứ hai:** là chất điện môi có phân tử không phân cực. Trong phân tử, các electron có phân bố đối xứng quanh hạt nhân khiến tâm điện tích âm trùng với tâm điện tích dương. Phân tử của điện môi loại này không phải là lưỡng cực điện. Đó là các chất như H_2 , N_2 , Cl_2 , khí hiếm,v.v...

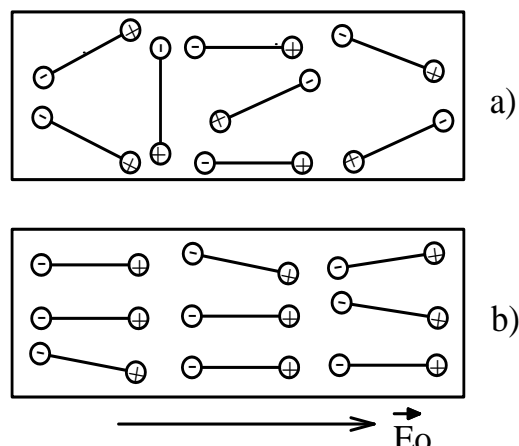
Riêng các chất điện môi tinh thể (rắn) có các ion dương sắp xếp một cách trật tự và liên kết chặt chẽ với nhau. Ta có thể xem toàn bộ tinh thể điện môi rắn như một “phân tử khổng lồ” mà mạng ion dương và mạng ion âm lồng vào nhau. Đó là các hợp chất như $NaCl$, $CsCl$.v.v...

9.1.3. Quá trình phân cực điện môi

a. Điện môi có phân tử tự phân cực

- Khi chưa đặt khối chất điện môi trong điện trường ngoài: các phân tử sắp xếp hỗn loạn, do chuyển động nhiệt. Trong một thể tích bất kỳ, tổng mômen lưỡng cực của các phân tử bằng không. Toàn bộ khối điện môi chưa tích điện (hình 9-2a).

- Khi đặt chất điện môi vào điện trường ngoài thì các mômen lưỡng cực phân tử sẽ quay theo chiều điện trường, hướng tới vị trí cân bằng ($\vec{p}_e \nearrow \vec{E}_0$). Điện trường \vec{E}_0 càng mạnh và chuyển động nhiệt của các phân tử càng yếu (nhiệt độ chất điện môi càng thấp) thì sự định hướng của các mômen lưỡng cực càng mạnh mẽ. Nếu điện trường ngoài đủ lớn, các lưỡng cực phân tử có thể xem như nằm song song nhau theo phương \vec{E}_0 .



Hình 9-2. Điện môi phân tử tự phân cực
a) Khi chưa đặt trong điện trường ngoài.
b) Khi đặt trong điện trường ngoài.

- *Kết quả:* ở trong lòng chất điện môi, các tâm điện tích dương và âm của các phân tử trung hoà nhau nên không xuất hiện điện tích. Còn ở trên các mặt giới hạn có thể xuất hiện các điện tích trái dấu (hình 9-2b): ở mặt giới hạn mà các đường sức điện trường đi vào xuất hiện điện tích âm, ở mặt mà các đường sức điện trường đi ra xuất hiện điện tích dương. Đây là các điện tích liên kết, chúng không tự do dịch chuyển được. Ta nói rằng chất điện môi đã bị phân cực.

b. Điện môi có phân tử không phân cực

- *Khi chưa đặt khối chất điện môi trong điện trường ngoài:* các tâm điện tích dương và âm của phân tử trùng nhau. Trong chất điện môi không có các lưỡng cực phân tử, do đó trong toàn khối điện môi cũng không có điện tích nào cả.

- *Khi đặt chất điện môi vào điện trường ngoài \vec{E}_0 ,* điện trường sẽ tác dụng lên các tâm điện tích của mỗi phân tử: tâm điện tích âm bị đẩy ngược chiều với \vec{E}_0 , còn tâm điện tích dương bị kéo cùng chiều với \vec{E}_0 .

- *Kết quả* là phân tử trở thành lưỡng cực điện có mômen lưỡng cực \vec{p}_e cùng hướng với \vec{E}_0 . Quá trình xảy ra giống với trường hợp trên: chất điện môi đã bị phân cực.

c. Điện môi tinh thể rắn

Dưới tác dụng của điện trường ngoài, các mạng ion dương bị xô dịch theo chiều điện trường, còn các mạng ion âm bị xô dịch ngược chiều điện trường, gây ra hiện tượng phân cực điện môi. Dạng phân cực này gọi là “phân cực ion”.

Tóm lại, dù là điện môi loại nào, khi được đặt trong điện trường ngoài thì tại hai mặt giới hạn đối diện của nó đều xuất hiện hai lớp điện tích trái dấu, gọi là các điện tích phân cực hay điện tích liên kết. Mật độ điện tích phân cực lớn hay bé (chất điện môi bị phân cực mạnh hay yếu) phụ thuộc vào bản chất của chất điện môi và vào cường độ điện trường ngoài.

9.2. VÉCTƠ PHÂN CỰC ĐIỆN MÔI

9.2.1. Định nghĩa: Để đặc trưng cho mức độ phân cực chất điện môi, người ta định nghĩa khái niệm véctor phân cực điện môi, ký hiệu là \vec{P}_e : Véctor phân cực điện môi \vec{P}_e là tổng véctor mômen lưỡng cực điện \vec{p}_e của các phân tử có trong một đơn vị thể tích của chất điện môi.

Biểu thức: Xét một thể tích ΔV của chất điện môi đã bị phân cực (bởi trường ngoài), thể tích này đủ lớn để chứa một số lớn n các phân tử. Khi đó theo định nghĩa trên thì:

$$\vec{P}_e = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{p}_{ei}}{\Delta V} \quad (9-1)$$

Véctor \vec{P}_e hướng dọc theo chiều của véctor cường độ điện trường \vec{E}_0 .

Đối với loại điện môi có phân tử không phân cực đặt trong điện trường ngoài thì mọi phân tử điện môi đều có cùng véc tơ mômen điện, khi đó véc tơ phân cực điện môi được xác định:

$$\vec{P}_e = \frac{n\vec{p}_e}{\Delta V} = n_0 \vec{p}_e = n_0 e_0 \alpha \vec{E} \text{ hay } \vec{P}_e = e_0 C_e \vec{E} \quad (9.2)$$

Trong đó $\chi_e = n_0 \alpha$ là hệ số phân cực của một đơn vị thể tích điện môi (hay gọi là độ cảm điện môi)

Đối với loại điện môi có phân tử phân cực, người ta cũng chứng minh được trong trường hợp điện trường ngoài yếu công thức trên vẫn đúng, nhưng trong đó: $\chi_e = \frac{n_0 p_e^2}{3\epsilon_0 kT}$, trong đó k là hằng số Boltzman. Trong trường hợp điện trường ngoài mạnh tới một giá trị đủ lớn thì tất cả các véc tơ mômen điện đều song song với điện trường ngoài, khi đó dù tăng điện trường ngoài thì P_e không tăng, ta nói hiện tượng phân cực điện môi đạt trạng thái bão hòa.

Đối với điện môi tinh thể người ta chứng minh công thức (9.2) vẫn đúng.

Đối với điện môi cấu tạo bởi các phân tử tự phân cực (điện môi phân cực cứng): có xảy ra hiện tượng phân cực bão hòa, quá trình phân cực chịu sự ảnh hưởng của nhiệt độ.

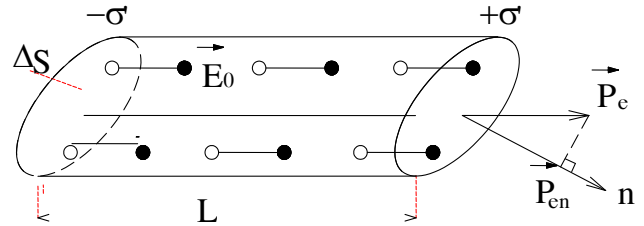
Đối với điện môi cấu tạo bởi các phân tử không tự phân cực (điện môi phân cực mềm): không có hiện tượng phân cực bão hòa, quá trình phân cực không chịu sự ảnh hưởng của nhiệt độ.

9.2.2. Liên hệ giữa véc tơ phân cực điện môi với mật độ điện tích liên kết

Trong khối điện môi đồng nhất ta tưởng tượng tách ra một khối trụ xiên có đường sinh song song với véc tơ cường độ điện trường tổng hợp \vec{E} trong điện môi (tức là song song với \vec{P}_e) có hai đáy song song với nhau và có diện tích là ΔS , đường sinh có chiều dài L (hình 9-2). Gọi \vec{n} là pháp tuyến ngoài của đáy mang điện tích dương và α là góc giữa \vec{n} và \vec{E} , $-\sigma'$ và $+\sigma'$ là mật độ điện tích trên hai đáy.

Điện tích tổng cộng xuất hiện ở hai đáy là $+(\sigma'\Delta S)$ và $-(\sigma'\Delta S)$. Ta xem toàn bộ khối trụ như một lưỡng cực điện “không lồ” mà độ lớn mômen điện của nó bằng $\sigma\Delta S.L$. Theo định nghĩa của véc tơ phân cực điện môi, ta có:

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



Hình 9-3.

Trong đó $\left| \sum_{i=1}^n \vec{p}_{ei} \right| = \sigma' \Delta S.L$,

còn thể tích của khối trụ xiên $\Delta V = \Delta S.L.\cos\alpha$.

$$\text{Do đó: } P_e = \frac{\sigma' \cdot \Delta S \cdot L}{\Delta S \cdot L \cos\alpha} = \frac{\sigma'}{\cos\alpha}$$

$$\text{Suy ra: } \sigma' = P_e \cos\alpha = P_{en}$$

Với P_{en} là hình chiếu của véc tơ phân cực điện môi trên phương pháp tuyến \vec{n}

Vậy: Mật độ σ' của các điện tích phân cực xuất hiện trên mặt giới hạn của khối điện môi có giá trị bằng hình chiếu của véc tơ phân cực điện môi trên pháp tuyến của mặt giới hạn đó.

9.3. ĐIỆN TRƯỜNG TỔNG HỢP TRONG CHẤT ĐIỆN MÔI

Xét một tụ điện phẳng, mật độ điện tích trên hai bản cực là $+\sigma$ và $-\sigma$ gây ra điện trường đều \vec{E}_0 trong lòng tụ điện. Đặt một khối điện môi đồng chất, đẳng hướng vào giữa hai bản cực của tụ điện (hình 9-4). Khối điện môi bị phân cực: xuất hiện hai lớp điện tích phân cực có mật độ là $+\sigma'$ và $-\sigma'$. Các điện tích phân cực này sinh ra điện trường phụ \vec{E}' ngược chiều với điện trường \vec{E}_0 . Vì vậy điện trường tổng hợp trong lòng chất điện môi sẽ là: $\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}'$

$$\text{Chiếu biểu thức trên lên phương của } \vec{E}_0 \text{ ta được: } E = E_0 - E'$$

Vì hai lớp điện tích phân cực lại có thể xem như hai bản cực của một tụ điện phẳng mới mà độ lớn của cường độ điện trường do nó sinh ra là $E' = \sigma'/\epsilon_0$

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

$$\text{Do vậy } E = E_0 - E' \text{ hay } E = E_0 - \chi_e E \quad (9-3)$$

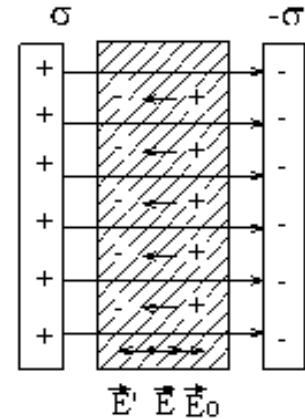
$$\text{Hay: } E = \frac{E_0}{1 + \chi_e} = \frac{E_0}{\epsilon} \quad (9-4)$$

Vậy điện trường tổng hợp trong chất điện môi giảm đi ϵ lần so với điện trường trong chân không.

Ta cũng dễ dàng tìm được mối liên hệ giữa véc tơ điện cảm \vec{D} và véc tơ phân cực điện môi \vec{P}_e . Muốn vậy, theo định nghĩa ta có $\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E}$, với $\epsilon = 1 + \chi_e$

$$\text{Do đó } \vec{D} = \epsilon_0 (1 + \chi_e) \vec{E}$$

$$\text{hay } \vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \epsilon_0 \chi_e \vec{E} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}_e \quad (9-5)$$



Hình 9-4
Điện trường tổng hợp
trong chất điện môi

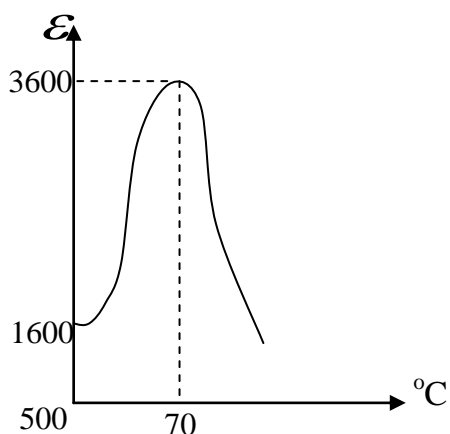
9.4. ĐIỆN MÔI ĐẶC BIỆT

9.4.1. Điện môi Sécnhét

Khoảng những năm 1930 – 1934 hai nhà Vật lý Nga là Cuốcsatốp và Côiécô đã tìm thấy một hợp chất tinh thể có công thức $\text{NaK}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (bitátrat natri Kali ngâm nước), gọi tắt là muối Sécnhét, có nhiều tính chất đặc biệt. Sau đó người ta đã tìm thấy một nhóm những điện môi tinh thể khác cũng có các tính chất tương tự và gọi tên chung cho chúng là điện môi Sécnhét.

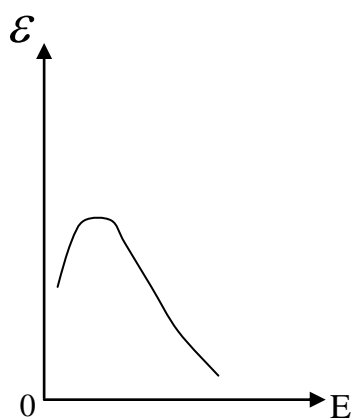
Sau đây là những tính chất đặc biệt của điện môi Sécnhét:

a. Trong một khoảng nhiệt độ nào đó, hằng số điện môi của điện môi Sécnhét rất lớn, có thể đạt tới 10^4 . Sự phụ thuộc của BaTiO_3 vào nhiệt độ được biểu diễn trên hình vẽ (Hình 9-5a). Hằng số điện môi có giá trị gần 2000 tại nhiệt độ khoảng 120°C , nhưng lại tăng vọt tới gần 6000 khi nhiệt độ giảm tới 80°C . Khi nhiệt độ giảm xuống nữa thì ε lại giảm xuống.



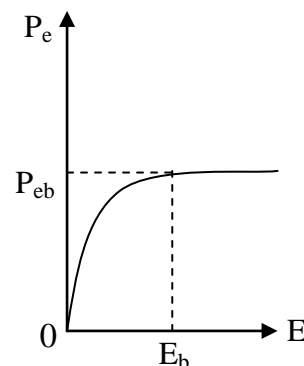
Hình 9-5a

Sự phụ thuộc của ε vào nhiệt độ



Hình 9-5b

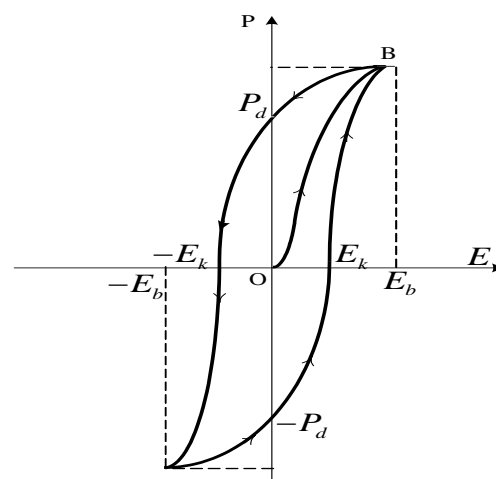
Sự phụ thuộc của ε vào E



Hình 9-5c

Sự phụ thuộc của P_e vào E

b. Hằng số ε của séc nhét không những phụ thuộc vào nhiệt độ mà còn phụ thuộc vào điện trường E trong điện môi (hình 9-5b). Do đó, đối với điện môi séc nhét véc tơ phân cực điện môi \vec{P}_e không phụ thuộc bậc nhất vào điện trường. Hình 9-5c cho ta thấy sự phụ thuộc của \vec{P}_e vào \vec{E} . Từ hình vẽ, ta nhận thấy khi \vec{E} tăng tới một giá trị E_b nào đó, thì \vec{P}_e không tăng nữa. Lúc này sự phân cực điện môi của séc nhét đã đạt tới trạng thái bão hòa; $\vec{P}_e = \text{const}$. Từ công thức $\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}_e$ ta suy ra với những giá trị $E > E_b$ khi đó $\vec{P}_e = \text{const}$, thì cảm ứng \vec{D} phụ thuộc bậc nhất vào \vec{E} .



Hình 9 - 6
Chu trình điện trễ

c. Véc tơ phân cực \vec{P}_e của điện môi séc nhét không những phụ thuộc vào điện trường \vec{E} mà còn phụ thuộc vào trạng thái phân cực trước đó của điện môi (hình 9-5c).

Khi đặt điện môi chưa bị phân cực vào trong một điện trường ngoài \vec{E} thực nghiệm đã chứng tỏ, khi tăng điện trường tới giá trị E_b thì P_e đạt giá trị bão hòa. Vẫn giữ nguyên chiều điện trường nhưng giảm E xuống tới giá trị bằng không thì P_e không giảm bằng không mà vẫn còn bằng một giá trị P_d nào đó. Hiện tượng này gọi là hiện tượng phân cực còn dư hay hiện tượng điện trễ. Sau đó ta đổi chiều của điện trường \vec{E} và tăng tới giá trị E_k thì P_e mới đạt giá trị bằng không, sự phân cực của điện môi séc nhét bị khử đi và E_k được gọi là điện trường khử.

Nếu tiếp tục tăng E tới giá trị $-E_b$, sau đó giảm điện trường từ E_b về không, rồi lại đổi chiều điện trường từ không tới E_b thì đường biểu diễn không theo đường OB, mà theo đường ở phía dưới OB để tạo thành đường cong khép kín gọi là chu trình điện trễ (hình 9 -6).

Sự biến đổi tuần hoàn của quá trình phân cực của điện môi séc nhét có tiêu tốn năng lượng. Phần năng lượng này sẽ tỏa thành nhiệt làm nóng điện môi. Diện tích của chu trình điện trễ tỷ lệ với nhiệt lượng tỏa ra trong một đơn vị thể tích khối séc nhét sau mỗi chu trình phân cực.

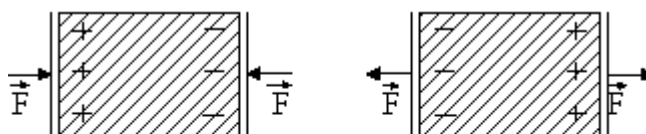
d. Khi nhiệt độ điện môi đạt tới nhiệt độ T_c nào đó (gọi là nhiệt độ Curie) thì điện môi séc nhét mất hết các tính chất phân cực trên và trở thành điện môi phân cực bình thường. Nhiệt độ T_c của một số điện môi séc nhét: Titanat bari có $T_c = 133^\circ\text{C}$, LiNbO_3 có $T_c = 1210^\circ\text{C}$. Muối séc nhét chỉ có tính chất của điện môi séc nhét trong khoảng nhiệt độ T_c từ -18°C đến 24°C

Điện môi séc nhét có hằng số điện môi lớn, do đó nó được dùng để chế tạo các tụ điện có kích thước nhỏ nhưng điện dung lớn, rất cần thiết cho các ngành kỹ thuật điện và vô tuyến điện.

9.4.2. Hiệu ứng áp điện

1. Hiệu ứng áp điện thuận

Năm 1880 hai nhà Vật lý Pháp là Pie Curie và Giắc Curie đã tìm thấy một hiện tượng mới: khi nén hoặc kéo dãn một số tinh thể điện môi theo những phương đặc biệt trong tinh thể thì trên các mặt giới hạn của tinh thể xuất hiện những điện tích trái dấu, tương tự như những điện tích xuất hiện trong hiện tượng phân cực điện môi. Hiện tượng này gọi là hiệu ứng áp điện thuận, xảy ra với các tinh thể thạch anh, tuamalin, muối sécnhét, đường, titanat bari, v.v...



Hình 9-7
Hiệu ứng áp điện

Nếu đổi dấu của biến dạng (từ nén sang giãn hoặc ngược lại) thì điện tích xuất hiện trên hai mặt giới hạn cũng đổi dấu (hình 9-7). Do có điện tích trái dấu xuất hiện nên giữa hai mặt giới hạn này có một hiệu điện thế.

Hiệu ứng áp điện thuận được áp dụng trong kỹ thuật để biến đổi những dao động cơ (âm) thành những dao động điện.

2. Hiệu ứng áp điện nghịch

Trong các tinh thể đã nêu ở trên, người ta còn quan sát thấy hiện tượng áp điện nghịch: Nếu ta đặt lên hai mặt đối diện của một tinh thể một hiệu điện thế thì nó sẽ bị giãn ra hoặc bị nén lại. Nếu đây là một hiệu điện thế xoay chiều thì tinh thể sẽ bị giãn, nén liên tiếp và sẽ dao động theo tần số của hiệu điện thế xoay chiều. Tính chất này được ứng dụng để chế tạo các nguồn phát siêu âm.

HƯỚNG DẪN HỌC CHƯƠNG 9

I. MỤC ĐÍCH - YÊU CẦU

1. Phân biệt được hiện tượng phân cực điện môi và hiện tượng hưởng ứng điện của vật dẫn.
2. Phân biệt được hai loại phân tử điện môi: phân tử tự phân cực và phân tử không tự phân cực. Phân biệt được ba loại: Phân cực định hướng, phân cực electron và phân cực ion.
3. Nắm được mối liên hệ giữa véc tơ phân cực điện môi và mật độ điện tích liên kết.
4. Tìm được điện trường tổng hợp trong chất điện môi đồng chất và đẳng hướng.
5. Nắm được hiệu ứng áp điện và ứng dụng của nó.

II. TÓM TẮT NỘI DUNG

Điện môi là những chất không dẫn điện trong điều kiện bình thường. Trong điện môi không có các điện tích tự do. Điện trở suất ρ của chất điện môi rất lớn ($\rho \approx 10^6 \div 10^5 \Omega m$) trong khi điện trở suất của kim loại rất nhỏ ($\rho \approx 10^{-8} \div 10^{-6} \Omega m$). Khi đặt trong khối điện môi đồng chất và đẳng hướng vào trong điện trường ngoài, thì tại các mặt giới hạn của chất điện môi có xuất hiện những điện tích trái dấu. Nhưng khác với hiện tượng hưởng ứng điện của vật dẫn, các điện tích xuất hiện ở đây là những điện tích liên kết.

Để giải thích hiện tượng phân cực điện môi, người ta dựa theo sự phân bố các electron quanh hạt nhân và chia ra hai loại phân tử điện môi: loại phân tử không tự phân cực, đối với loại này, trọng tâm điện tích âm và trọng tâm điện tích dương trùng nhau, và loại phân tử tự phân cực, đối với loại này, trọng tâm điện tích âm và trọng tâm điện tích dương trọng tâm điện tích dương trùng

nhau, và loại phân tử tự phân cực, đối với loại này, trọng tâm điện tích âm và trọng tâm điện tích dương không trùng nhau, mà cách nhau một đoạn l . Do đó, ngay khi không đặt trong điện trường ngoài E_o , phân tử tự phân cực đã được coi như một lưỡng cực điện.

Ta giới hạn chỉ xét chất điện môi đồng chất đẳng hướng. Khi đặt chất điện môi vào trong điện trường ngoài, có ba sự phân cực khác nhau:

- Phân cực định hướng xảy ra đối với loại điện môi được tạo bởi các phân tử tự phân cực.
- Phân cực electron còn được gọi là phân cực do biến dạng xảy ra đối với loại điện môi được tạo bởi các phân tử không tự phân cực.
- Phân cực ion xảy ra đối điện môi tinh thể.

Khi đặt trong điện trường ngoài, dưới tác dụng của điện trường ngoài, các lưỡng cực điện sẽ định hướng (loại phân tử tự phân cực) hoặc trọng tâm điện tích âm bị kéo dẫn (phân tử không tự phân cực trở nên có momen lưỡng cực điện định hướng theo \vec{E}_o) hoặc mang các ion âm và dương sẽ dịch chuyển (loại điện môi tinh thể). Kết quả là, trên mặt giới hạn của chất điện môi đồng chất và đẳng hướng sẽ xuất hiện các điện tích liên kết trái dấu có mật độ điện mặt $\pm \sigma'$. Các điện tích liên kết này gây ra một điện trường \vec{E}' ngược chiều \vec{E}_o và điện trường tổng hợp trong chất điện môi giảm đi ε lần so với điện trường trong chân không: $\vec{E} = \frac{\vec{E}_o}{\varepsilon}$; trong đó $\varepsilon = 1 + \chi$ được gọi là hằng số điện môi.

Để đặc trưng cho mức độ phân cực của phân tử chất điện môi, người ta đưa ra véc tơ phân cực điện môi \vec{P}_e . Hình chiếu của \vec{P}_e lên pháp tuyến \vec{n} của khối điện môi bằng σ' : $P_n = \sigma'$. Giữa véc tơ điện cảm $\vec{D} = \varepsilon_o \varepsilon \vec{E}$ và \vec{P}_e có mối liên hệ: $\vec{D} = \varepsilon_o \vec{E} + \vec{P}_e$.

Đối với chất điện môi không đồng chất và đẳng hướng, véc tơ \vec{P}_e không tỷ lệ với \vec{E} . Trong trường hợp này để xác định \vec{D} , ta phải dùng công thức vừa nêu cho \vec{D} , chứ không dùng được công thức $\vec{D} = \varepsilon_o \varepsilon \vec{E}$

Ta xét thêm chất điện môi séc nhét. Đặc điểm nổi bật của loại điện môi này là ε không phải là hằng số mà phụ thuộc vào điện trường ngoài E và nhiệt độ. Trong một khoảng nhiệt độ nào đó ε có thể lên tới 10 000. Tính chất này được dùng để tăng điện dung cho tụ điện. Cuối cùng, người ta tìm thấy một số tinh thể như Tuamalin, muối séc nhét, thạch anh có tính chất là không cần điện trường ngoài, mà chỉ cần làm biến dạng theo những phương đặc biệt thì các tinh thể này cũng bị phân cực (hiệu ứng áp điện thuận), hoặc đặt một hiệu thế ở hai mặt bản thạch anh thì thạch anh sẽ bị nén hay giãn. Đó là hiệu ứng áp điện nghịch. Các ứng dụng này có nhiều ứng dụng trong kỹ thuật.

III. CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Hiện tượng phân cực điện môi và hiện tượng điện hưởng của vật dẫn khác nhau những điểm nào? Phân tích.
2. Nêu sự khác nhau giữa phân tử tự phân cực và phân tử không tự phân cực.
3. Thế nào là chất điện môi đồng chất và đẳng hướng.
4. Phân biệt ba loại phân cực. Nêu sự khác nhau giữa chúng và vận dụng chúng để giải thích sự phân cực của chất điện môi đồng chất và đẳng hướng.
5. Định nghĩa véc tơ phân cực điện môi, tìm mối liên hệ giữa véc tơ phân cực điện môi và mật độ điện tích liên kết mặt.
6. Chứng minh rằng cường độ điện trường trong chất điện giảm đi ε lần so với trong chân không.
7. Nêu những đặc tính của điện môi séc nhét.
8. Trình bày hiệu ứng áp điện thuận, áp điện nghịch và nêu những ứng dụng của nó.
9. Tìm mối liên hệ giữa \vec{D} và \vec{P}_e

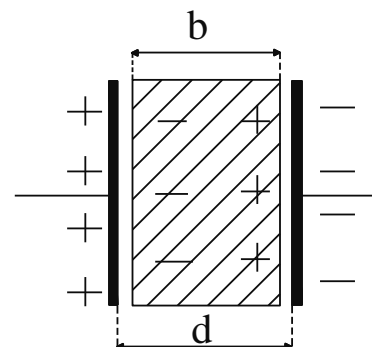
IV. BÀI TẬP

Thí dụ 1:

Một tụ điện phẳng có các bản cực với diện tích $S = 115\text{cm}^2$ và cách nhau một khoảng $d = 1,24\text{cm}$. Một hiệu điện thế $U = 85,5\text{V}$ được đặt vào giữa hai bản tụ điện. Sau đó ngắt nó ra khỏi hiệu điện thế trên và một tấm điện môi dày $b = 0,78\text{cm}$ và có hằng số điện môi $\varepsilon = 2,61$ được đưa vào giữa các bản cực của tụ điện (xem hình bên). Tính:

- a) Điện dung C_0 của tụ trước khi tấm điện môi được đưa vào.
- b) Điện tích tự do xuất hiện trên các bản cực.
- c) Điện trường E_0 trong khe giữa các bản tụ và tấm điện môi.
- d) Điện trường E trong tấm điện môi.
- e) Hiệu điện thế giữa các bản tụ sau khi đã đưa tấm điện môi vào.
- f) Điện dung khi có tấm điện môi

Bài giải:



a) Tính C_0 : Trước khi đưa tấm điện môi vào, đây là tụ điện không khí ($\epsilon \approx 1$) nên:

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 S}{d} = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 115 \cdot 10^{-4}}{1,24 \cdot 10^{-2}} = 8,21 pF$$

b) Tính $q = C_0 U = 8,21 \cdot 10^{-12} \cdot 85,5 = 7,02 \cdot 10^{-10} C$

Điện tích tự do này không đổi khi đưa tấm điện môi vào tụ điện.

c) Tính E_0 theo công thức $E_0 = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{q}{\epsilon_0 S} = \frac{7,02 \cdot 10^{-10}}{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 115 \cdot 10^{-4}} = 6900 (V/m)$

d) Tính E theo công thức (9-5)

$$E = \frac{E_0}{\epsilon} = \frac{6900}{2,61} = 2640 (V/m)$$

e) Tính $U' = U_1 + U_2$, trong đó U_1 là hiệu điện thế trên khe giữa các bản tụ và tấm điện môi; Còn U_2 là hiệu điện thế giữa hai mặt giới hạn của tấm điện môi.

Ta có $U_1 = E_0 (d - b)$, $U_2 = E b$ nên:

$$\begin{aligned} U' &= E_0 (d - b) + E b = E_0 d - (E_0 - E) b \\ &= 6.900 \cdot 1,24 \cdot 10^{-2} - (6900 - 2640) \cdot 0,78 \cdot 10^{-2} \\ &= 52,3 V. \end{aligned}$$

f) Tính C' theo công thức

$$C' = \frac{q}{U'} = \frac{7,02 \cdot 10^{-10}}{52,3} = 1,34 \cdot 10^{-11} F$$

Thí dụ 2:

Cho hai mặt phẳng kim loại A, B song song tích điện đều, đặt cách nhau một khoảng $D = 1 cm$, lần lượt có mật độ điện mặt $\sigma_A = (2/3) \cdot 10^{-9} C/cm^2$ và $\sigma_B = (1/3) \cdot 10^{-9} C/cm^2$. Hằng số điện môi của lớp môi trường có độ dài $d = 5 mm$ giữa chúng là $\epsilon = 2$. Xác định hiệu điện thế giữa hai mặt đó.

Bài giải:

Vì hai mặt phẳng mang điện tích cùng dấu nên véc tơ cường độ điện trường do hai mặt phẳng mang điện đó gây ra có hướng ngược nhau. Cường độ điện trường tổng hợp ở trong lớp môi

trường có hằng số điện môi ϵ và bề dày d có giá trị bằng $E_d = \frac{\sigma_A - \sigma_B}{2\epsilon_0 \epsilon}$

Cường độ điện trường tổng hợp ở trong khoảng không gian còn lại giữa hai mặt phẳng mang điện trên có trị số bằng:

$$E_o = \frac{\sigma_A - \sigma_B}{2\varepsilon_o}$$

Hiệu điện thế ứng với lớp điện môi bề dày d có trị số bằng:

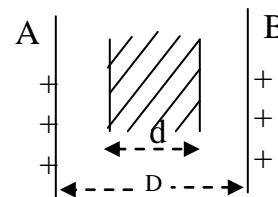
$$U_o = E_d d = \frac{(\sigma_A - \sigma_B)d}{2\varepsilon_o \varepsilon}$$

Hiệu điện thế ứng với lớp không khí còn lại có bề dày $D - d$ bằng:

$$U_o = E_o(D - d) = \frac{(\sigma_A - \sigma_B)(D - d)}{2\varepsilon_o}$$

Hiệu điện thế giữa hai mặt phẳng mang điện A, B song song trên có trị số bằng:

$$\begin{aligned} U = U_o + U_d &= \frac{(\sigma_A - \sigma_B)(D - d)}{2\varepsilon_o} + \frac{(\sigma_A - \sigma_B)d}{2\varepsilon_o \varepsilon} \\ &= \frac{(\sigma_A - \sigma_B) \left(D - d + \frac{d}{\varepsilon} \right)}{2\varepsilon_o} = 1413 \text{ V} \end{aligned}$$



Thí dụ 3:

Có hai mặt phẳng song song vô hạn mang điện đều trái dấu mật độ điện mặt bằng nhau. Người ta lấp đầy giữa hai mặt phẳng đó một lớp thủy tinh dày 3 mm ($\varepsilon = 7$). Hiệu điện thế giữa hai mặt phẳng trên là 1000 V. Xác định mật độ điện tích liên kết ở trên mặt chất điện môi.

Bài giải:

Vì hai mặt phẳng mang điện là vô hạn và mật độ điện đều nên các véc tơ \vec{D} và đều vuông góc với hai mặt phẳng. Ta có $D_n = D$, $E_n = E$, $\sigma = D - \varepsilon_o E$.

Thay $D = \varepsilon_o \varepsilon E$ và $E = \frac{U}{d}$ vào biểu thức trên ta có:

$$\sigma' = \varepsilon_o (\varepsilon - 1) E = \varepsilon_o (\varepsilon - 1) \frac{U}{d}$$

Thay ε_o , ε , U , d bằng những trị số của chúng ta có:

$$\sigma' = 8,86 \cdot 10^{-12} \cdot 6000 / 3 \cdot 10^{-3} \text{ C/m}^2 = 1,77 \cdot 10^{-5} \text{ C/m}^2$$

BÀI TẬP TỰ GIẢI

1. Một tụ điện phẳng có chứa điện môi ($\varepsilon = 6$) khoảng cách giữa hai bản là 0,4 cm, hiệu điện thế giữa hai bản là 1200 V. Tính:

- Cường độ điện trường trong chất điện môi.
- Mật độ điện mặt trên hai bản tụ điện.
- Mật độ điện mặt trên chất điện môi.

HD: $E = \frac{U}{d}$; $\sigma = \varepsilon_o \varepsilon E$; $\sigma = \varepsilon_o (\varepsilon - 1) E$

2. Cho một tụ điện phẳng, môi trường giữa hai bản ban đầu là không khí ($\varepsilon_1 = 1$), diện tích mỗi bản là $0,01\text{m}^2$, khoảng cách giữa hai bản là 0,5 cm, hai bản được nối với một hiệu điện thế 300 V. Sau đó bỏ nguồn đi rồi lấp đầy khoảng không gian giữa hai bản bằng một chất điện môi có $\varepsilon_2 = 3$.

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

HD: a. Vì lấp khoảng không gian giữa hai bản bằng điện môi sau khi bỏ nguồn nên điện tích trên các bản trước và sau khi lấp không thay đổi ($q = \text{const}$), do đó mật độ điện mặt trên các bản $\sigma = \frac{q}{s}$ cũng không đổi.

Vì $E = \frac{\sigma}{\varepsilon_o \varepsilon} = \frac{U}{d}$ nên trước khi lấp đầy điện môi ta có $\varepsilon_o \varepsilon_2 U_2 = \sigma d$

Rút ra: $U_2 = \frac{\varepsilon_1 U_1}{\varepsilon_2} = 100\text{V}$

b. $q = C_1 U_1 = 5,8 \cdot 10^{-9} \text{ C}$

3. Cho một tụ điện phẳng với các bản cách nhau 5mm và diện tích mỗi bản là 100 cm^2 . Hiệu điện thế giữa hai bản là 300V. Sau khi ngắt tụ khỏi nguồn, người ta lấp đầy khoảng không gian giữa hai bản bằng êbônít.

- Tìm hiệu điện thế giữa hai bản sau khi lấp đầy êbônít.
- Tìm điện dung của hai bản sau khi lấp đầy êbônít.
- Tìm mật độ điện mặt trước và sau khi lấp đầy êbônít. Cho biết hằng số điện môi của êbônít $\varepsilon = 2,6$.

HD: Trong trường hợp bài toán $q_1 = q_2$, trong đó q_1 và q_2 là điện tích trên bản tụ điện trước và sau khi lấp đầy điện môi (vì cắt tụ khỏi nguồn). Như vậy $q = \text{const}$ và mật độ điện mặt trên các

$$\text{bản } \sigma = \frac{q}{S} = \text{const}.$$

a. Vì $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon} = \frac{U}{d}$ nên trước khi lấp đầy điện môi $\sigma d = U_1 \epsilon_0 \epsilon_1$ và sau khi lấp đầy điện môi

$$\sigma d = U_2 \epsilon_0 \epsilon_2. \text{ Vì } \sigma = \text{const} \text{ và } d = \text{const} \text{ nên } U_1 \epsilon_1 = U_2 \epsilon_2 \text{ và } U_2 = \frac{U_1 \epsilon_1}{\epsilon_2} = 115V.$$

$$\text{b. } C_1 = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d} = 1,77 \cdot 10^{-11} F \text{ và } C_2 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_2 S}{d} = 4,6 \cdot 10^{-11} F.$$

$$\text{c. } \sigma_1 = \sigma_2 = \frac{q}{S} = \frac{CU}{S} = 5,31 \cdot 10^{-7} C/m^2.$$

4. Tìm mật độ khối năng lượng của điện trường tại một điểm:

a. Cách 2 cm mặt một quả cầu dẫn điện tích điện có bán kính $R = 1\text{cm}$.

b. Sát một mặt phẳng vô hạn tích điện đều.

c. Cách 2 cm một dây dẫn tích điện dài vô hạn.

Cho biết mật độ điện mặt trên quả cầu và mặt phẳng vô hạn bằng $1,67 \cdot 10^{-5} C/m^2$ và mật độ điện dài trên dây tích điện bằng $1,67 \cdot 10^{-7} C/m$. Cho hằng số điện môi là 2.

$$\text{HD:- Mật độ năng lượng điện trường } w = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon E^2 \quad (1)$$

- Điện trường gây bởi quả cầu mang điện đều tại một điểm cách quả cầu một đoạn x

$$: E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 \epsilon} \frac{q}{(R+x)^2} \text{ thay } q = \sigma 4\pi R^2 \text{ và kết hợp với (1) ta được}$$

$$W = \frac{\sigma^2 R^4}{2\epsilon_0 \epsilon (R+x)^4} = 9,7 \cdot 10^{-2} J/m^3$$

$$\text{- Điện trường gây bởi một mặt phẳng vô hạn: } E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0 \epsilon} \Rightarrow W = \frac{\sigma^2}{8\epsilon_0 \epsilon} = 1,97 J/m^3$$

- Điện trường gây bởi một dây dẫn tích điện với mật độ điện dài tại một điểm cách dây một đoạn x

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 \epsilon x} \Rightarrow W = \frac{\lambda^2}{8\pi^2 \epsilon_0 \epsilon x} = 0,05 J/m^3$$

5. Hai tụ điện phẳng, mỗi tụ có điện dung $C = 10^{-6} \mu F$ được mắc nối tiếp với nhau. Tìm sự thay đổi điện dung của hệ nếu lấp đầy một trong hai tụ điện đó bằng một chất điện môi có hằng số điện môi $\varepsilon = 2$.

HD: Điện dung của hệ hai tụ điện mắc nối tiếp: $C_1 = \frac{C}{2}$

Sau khi lấp đầy tụ điện thứ hai bằng chất điện môi ta có: $C_2 = \frac{\varepsilon C}{\varepsilon + 1}$

Như vậy sự thay đổi điện dung của hệ là:

$$\Delta C = C_2 - C_1 = \frac{(\varepsilon - 1)C}{2(\varepsilon + 1)} = 1,7 \cdot 10^{-7} \mu F.$$

6. Giữa hai bản của một tụ điện phẳng cách nhau một đoạn $d = 3 \text{ mm}$, người ta thiết lập một hiệu điện thế $U = 1000 \text{ V}$. Sau đó cắt tụ khỏi nguồn và lấp đầy tụ điện bằng một chất điện môi $\varepsilon = 7$. Tìm mật độ điện tích liên kết xuất hiện trên mặt điện môi.

HD: Điện trường trong tụ điện $E = \frac{\sigma'}{\varepsilon_o \varepsilon}$. Gọi ε_1 và ε_2 là hằng số điện môi của không khí và của một chất điện môi nào đó thì trước khi lấp đầy điện môi, $\sigma d = U_1 \varepsilon_o \varepsilon_1$, và sau khi lấp đầy điện môi ε_2 , ta có: $\sigma d = U_2 \varepsilon_o \varepsilon_2$. Nếu tụ vẫn nối với nguồn thì $U_1 = U_2 = U$. Nếu tụ cắt khỏi nguồn thì $\sigma = \text{const}$, $d = \text{const}$ và ta có $U_1 \varepsilon_o \varepsilon_1 = U_2 \varepsilon_o \varepsilon_2$, tức là hiệu điện thế giữa hai bản tụ sẽ giảm $U_2 = \frac{U_1 \varepsilon_1}{\varepsilon_2}$. Gọi σ' là mật độ điện mặt xuất hiện trên điện môi, ta viết được:

$$\begin{aligned} \sigma' &= P_n = D - \varepsilon_o E = \varepsilon_o \varepsilon_2 E - \varepsilon_o E = \varepsilon_o (\varepsilon_2 - 1) E = \frac{\varepsilon_o (\varepsilon_2 - 1) U_2}{d} \\ &= \varepsilon_o (\varepsilon_2 - 1) \frac{\varepsilon_1 U_1}{\varepsilon_2 d} = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 6 \cdot 10^3}{7,3 \cdot 10^{-3}} = 2,53 \cdot 10^{-6} \text{ C/m}^2 \end{aligned}$$

7. 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 $\varepsilon = 6$. Tìm mật độ điện tích tự do σ ở trên các bản tụ điện và mật độ điện tích liên kết σ' ở trên mặt bản thủy tinh.

HD: Khi lấp đầy tụ điện bằng một chất điện môi (thủy tinh) có $\varepsilon = 6$ thì điện trường giữa hai bản giảm đi ε lần. Nhưng điện trường giữa hai bản là điện trường đều $E = \frac{U}{d}$; do đó ta có

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_o \varepsilon} = \frac{U}{d}. \text{ Từ đó rút ra: } \sigma = \frac{\varepsilon_o \varepsilon U}{d} = 6,3.10^6 \text{ C/m}^2$$

Véc tơ phân cực \vec{P} cùng chiều với \vec{E} , hướng vuông góc từ bản dương sang bản âm của tụ điện, do đó cũng vuông góc với bản thủy tinh. Vì thế $P = P_n = \sigma'$. Ta biết:

$$\vec{D} = \vec{P} + \varepsilon_o \vec{E}, \text{ trong đó } \vec{D} \text{ là véc tơ điện cảm } \vec{D} = \varepsilon \vec{E}. \text{ Do đó:}$$

$$\sigma' = P = \varepsilon_o \varepsilon E - \varepsilon_o E = \frac{\varepsilon_o (\varepsilon - 1)U}{d} = 4,4.10^{-6} \text{ C/m}^2.$$

8. Cho một tụ điện phẳng, diện tích mỗi bản là S, khoảng cách giữa hai bản d_o . Người ta đưa vào trong tụ điện một bản điện môi có bề dày $d < d_o$. Tìm điện dung của tụ khi đó.

HD: Trong trường hợp này, ta có hai tụ mắc nối tiếp với nhau. Điện dung C của hệ bằng:

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{\frac{\varepsilon_o S}{d} \left(\frac{\varepsilon_o \varepsilon S}{d_o} - d \right)}{\frac{\varepsilon_o \varepsilon S}{d} + \left(\frac{\varepsilon_o S}{d_o} - d \right)} \approx \frac{\varepsilon_o \varepsilon S}{d}$$

Nhưng do $d \approx d_o$, nghĩa là nếu ta đặt lên mặt điện môi (bề dày d) một lá rất mỏng có bề dày $d' = d_o - d$ rất nhỏ thì điện dung của tụ điện có lớp điện môi d ban đầu sẽ không đổi, nghĩa là C vẫn bằng $\frac{\varepsilon_o \varepsilon S}{d}$

9. Trong một tụ điện phẳng, khoảng cách giữa các bản là d, người ta đặt một tấm điện môi dày $d_1 < d$ song song với các bản tụ điện. Tìm điện dung tụ điện trên. Cho biết hằng số điện môi của điện môi là ε , diện tích của tấm đó bằng diện tích S của bản tụ.

HD: Hệ tụ gồm ba tụ mắc nối tiếp: $C_1 = \frac{\varepsilon_o \varepsilon S}{d}$; $C_2 = \frac{\varepsilon_o S}{d_2}$; $C_3 = \frac{\varepsilon_o S}{d_3}$, trong đó d_2 và d_3 là khoảng cách giữa các mặt của tấm điện môi và các bản tụ điện, rõ ràng $d_2 + d_3 = d - d_1$. Điện dung của tụ được tính từ:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \Rightarrow C = \frac{\varepsilon_o \varepsilon S}{\varepsilon d + d_1(1 - \varepsilon)}$$

10. Một điện tích q được phân bố đều trong khắp thể tích của một quả cầu bán kính R. Tính:

a. Năng lượng điện trường bên trong quả cầu.

b. Năng lượng điện trường bên ngoài quả cầu.

HD:

a. Điện trường bên trong quả cầu tại những điểm cách tâm quả cầu một khoảng r bằng:

$$E_1 = \frac{qr}{4\pi\epsilon_o\epsilon R^3}$$

Vậy năng lượng tại những điểm bên trong quả cầu: $W_1 = \int_0^R \frac{1}{2}\epsilon_o\epsilon E_1^2 \cdot 4\pi r^2 dr = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_o\epsilon \cdot 10R}$

b. Điện trường tại những điểm bên ngoài quả cầu: $E_1 = \frac{q}{4\pi\epsilon_o\epsilon r^2}$

Vậy năng lượng tại những điểm bên ngoài quả cầu: $W_2 = \int_0^\infty \frac{1}{2}\epsilon_o\epsilon E_2^2 \cdot 4\pi r^2 dr = \frac{q^2}{8\pi\epsilon_o\epsilon \cdot R}$