

TỤ ĐIỆN

A. TÓM TẮT LÝ THUYẾT

1. Các kiến thức chung về tụ điện

- + Tụ điện là một hệ hai vật dẫn đặt gần nhau và ngăn cách nhau bằng một lớp cách điện. Mỗi vật dẫn đó gọi là một bản của tụ điện.
- + Tụ điện dùng để chứa điện tích.
- + Tụ điện là dụng cụ được dùng phổ biến trong các mạch điện xoay chiều và các mạch vô tuyến. Nó có nhiệm vụ tích và phóng điện trong mạch điện.
- + Độ lớn điện tích trên mỗi bản của tụ điện khi đã tích điện gọi là điện tích của tụ điện.
- + Điện dung của tụ điện là đại lượng đặc trưng cho khả năng tích điện của tụ điện và được đo bằng thương số giữa điện tích của tụ và hiệu điện thế giữa hai bản tụ.

Kí hiệu: C

Biểu thức: $C = \frac{Q}{U}$

+ Đơn vị điện dung là fara (F).

+ Điện dung của tụ điện phẳng $C = \frac{\epsilon S}{9 \cdot 10^9 \cdot 4\pi d}$.

Trong đó S là diện tích của mỗi bản (phần đối diện); d là khoảng cách giữa hai bản và ϵ là hằng số điện môi của lớp điện môi chiếm đầy giữa hai bản.

+ Mỗi tụ điện có một hiệu điện thế giới hạn. Khi hiệu điện thế giữa hai bản tụ vượt quá hiệu điện thế giới hạn thì lớp điện môi giữa hai bản tụ bị đánh thủng, tụ điện bị hỏng.

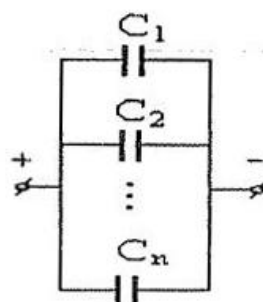
2. Ghép các tụ điện

* Ghép song song:

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n;$$

$$Q = q_1 + q_2 + \dots + q_n;$$

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n.$$



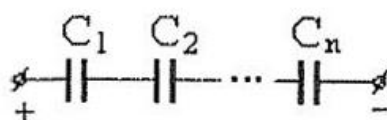
Điện dung của bộ tụ ghép song song lớn hơn điện dung của các tụ thành phần; ghép song song để tăng điện dung của bộ tụ.

* Ghép nối tiếp:

$$Q = q_1 = q_2 = \dots = q_n;$$

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n;$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}.$$



Điện dung của bộ tụ ghép nối tiếp nhỏ hơn điện dung của mỗi tụ thành phần; ghép nối tiếp để tăng hiệu điện thế giới hạn của bộ tụ.

3. Năng lượng tụ điện đã tích điện: $W = \frac{1}{2} QU = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} CU^2$.

B. CÁC DẠNG BÀI TẬP VÀ VÍ DỤ MINH HỌA

Dạng 1: Tính điện dung, điện tích của tụ điện, hiệu điện thế giữa hai bản tụ,...

** Phương pháp:*

Vận dụng các công thức:

- Điện dung của tụ điện: $C = \frac{Q}{U}$

- Điện dung của tụ điện phẳng $C = \frac{\epsilon S}{9 \cdot 10^9 \cdot 4\pi d}$.

- Hiệu điện thế giữa hai bản của tụ điện: $U = \frac{Q}{C}$

- Điện tích của tụ điện: $Q = C \cdot U$

Lưu ý:

- Khi vẫn nối tụ với nguồn điện thì hiệu điện thế giữa hai bản tụ là không đổi.

- Khi ngắt tụ ra khỏi nguồn thì điện tích của tụ là không đổi.

** Các ví dụ minh họa*

Ví dụ 1: Tụ điện phẳng gồm hai bản tụ có diện tích $0,05 \text{ m}^2$ đặt cách nhau $0,5 \text{ mm}$, điện dung của tụ là 3 nF . Tính hằng số điện môi của lớp điện môi giữa hai bản tụ.

Hướng dẫn giải

Điện dung của tụ điện phẳng $C = \frac{\epsilon S}{9 \cdot 10^9 \cdot 4\pi d}$.

Suy ra hằng số điện môi của lớp điện môi giữa hai bản tụ là:

$$\epsilon = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot C \cdot 4 \cdot \pi \cdot d}{S} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 10^{-9} \cdot 4 \cdot \pi \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}}{0,05} = 3,4$$

Ví dụ 2: Một tụ điện phẳng điện dung 12 pF – 24 V , điện môi là không khí. Khoảng cách giữa hai bản tụ $0,5 \text{ cm}$. Tích điện cho tụ điện dưới hiệu điện thế 20 V . Tính:

a) Điện tích của tụ điện.

b) Cường độ điện trường trong tụ.

c) Điện tích lớn nhất mà tụ điện có thể tích được và điện trường cực đại trong tụ điện.

Hướng dẫn giải

a) Điện tích của tụ: $Q = C.U = 12.10^{-12}.20 = 24.10^{-11}(\text{C})$

b) Cường độ điện trường trong tụ: $E = \frac{U}{d} = \frac{20}{0,5.10^{-2}} = 4000(\text{V} / \text{m})$

c) Điện tích lớn nhất mà tụ có thể tích được:

$$Q_{\max} = C.U_{\max} = 12.10^{-12}.24 = 288.10^{-12}(\text{C})$$

$$\text{Điện trường cực đại của tụ: } E_{\max} = \frac{U_{\max}}{d} = \frac{24}{0,5.10^{-2}} = 4800(\text{V} / \text{m})$$

Ví dụ 3: Tụ điện phẳng không khí có điện dung $C = 2\text{pF}$ được tích điện ở hiệu điện thế $U = 600\text{V}$

a) Tính điện tích của tụ điện

b) Ngắt tụ ra khỏi nguồn, đưa hai bản tụ ra xa để khoảng cách giữa hai bản tụ tăng gấp đôi. Tính điện dung của tụ, điện tích của tụ và hiệu điện thế giữa hai bản tụ

c) Vẫn nối tụ với nguồn, đưa hai bản tụ ra xa để khoảng cách giữa hai bản tụ tăng gấp đôi. Tính điện dung của tụ, điện tích của tụ và hiệu điện thế giữa hai bản tụ

Hướng dẫn giải

a) Điện tích của tụ: $Q = C.U = 2.10^{-12}.600 = 12.10^{-10}(\text{C})$

b) Ban đầu điện dung của tụ điện: $C = \frac{\epsilon S}{4\pi k.d}$

Đưa hai bản tụ ra xa để khoảng cách giữa hai bản tụ tăng gấp đôi thì điện dung của tụ khi đó: $C' = \frac{\epsilon S}{4\pi k.2d} \Rightarrow C' = \frac{C}{2} = 1\text{pF}.$

Ngắt tụ điện ra khỏi nguồn nên điện tích của tụ là không đổi:

$$Q' = Q = 12.10^{-10}(\text{C})$$

$$\text{Hiệu điện thế giữa hai bản tụ khi đó: } U' = \frac{Q'}{C'} = \frac{12.10^{-10}}{1.10^{-12}} = 1200(\text{V})$$

c) Đưa hai bản tụ ra xa để khoảng cách giữa hai bản tụ tăng gấp đôi thì điện dung của tụ khi đó: $C' = \frac{\epsilon S}{4\pi k.2d} \Rightarrow C' = \frac{C}{2} = 1\text{pF}.$

Vẫn nối tụ với nguồn nên hiệu điện thế giữa hai bản tụ là không đổi:

$$U'' = U = 600(\text{V}).$$

$$\text{Điện tích của tụ khi đó: } Q'' = C'.U'' = 1.10^{-12}.600 = 6.10^{-10}(\text{C}).$$

Ví dụ 4: Tụ điện phẳng không khí được tích điện bằng nguồn điện có hiệu điện thế là U . Hỏi năng lượng của tụ điện thay đổi như thế nào, nếu tăng khoảng cách giữa hai bản tụ điện lên gấp đôi? Cho biết trước khi d tăng:

- Vẫn nối tụ với nguồn điện
- Tụ được ngắt ra khỏi nguồn điện

Hướng dẫn giải

Năng lượng của tụ điện: $W = \frac{1}{2} C U^2$

Khi tăng khoảng cách giữa hai bản tụ tăng gấp đôi thì điện dung của tụ khi đó:

$$C' = \frac{\epsilon S}{4\pi k \cdot 2d} \Rightarrow C' = \frac{C}{2}$$

- Vẫn nối tụ với nguồn điện thì hiệu điện thế giữa hai bản của tụ là không đổi

$$U' = U. \text{ Năng lượng tụ điện khi đó: } W' = \frac{1}{2} C' U'^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{C}{2} \cdot U^2 = \frac{W}{2}$$

Như vậy năng lượng tụ khi đó giảm một nửa.

- Ngắt tụ điện ra khỏi nguồn nên điện tích của tụ là không đổi: $Q'' = Q = C \cdot U$

$$\text{Năng lượng tụ điện khi đó: } W'' = \frac{Q''^2}{2C'} = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{\frac{C}{2}} = 2W$$

Như vậy năng lượng tụ khi đó tăng gấp đôi.

Dạng 2: Ghép các tụ chưa tích điện

** Phương pháp:*

Với dạng bài tập này, ta cần nhận dạng mạch điện (gồm những phần tử nào, ghép với nhau ra sao) rồi vận dụng các công thức của mạch nối tiếp và song song như:

** Ghép song song:*

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n;$$

$$Q = q_1 + q_2 + \dots + q_n;$$

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n.$$

Điện dung của bộ tụ ghép song song lớn hơn điện dung của các tụ thành phần; ghép song song để tăng điện dung của bộ tụ.

** Ghép nối tiếp:*

$$Q = q_1 = q_2 = \dots = q_n;$$

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n;$$

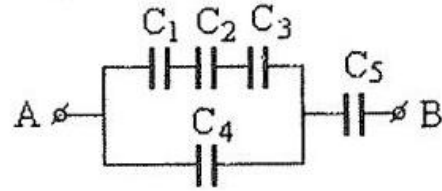
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Điện dung của bộ tụ ghép nối tiếp nhỏ hơn điện dung của mỗi tụ thành phần; ghép nối tiếp để tăng hiệu điện thế giới hạn của bộ tụ.

* *Các ví dụ minh họa*

Ví dụ 1: Cho bộ tụ được mắc như hình vẽ. Trong đó: $C_1 = C_2 = C_3 = 6 \mu\text{F}$; $C_4 = 2 \mu\text{F}$; $C_5 = 4 \mu\text{F}$; $q_4 = 12 \cdot 10^{-6} \text{ C}$.

- Tính điện dung tương đương của bộ tụ.
- Tính điện tích, hiệu điện thế trên từng tụ và hiệu điện thế giữa hai đầu đoạn mạch.



Hướng dẫn giải

Đoạn mạch gồm: $[(C_1 \text{ nt } C_2 \text{ nt } C_3) // C_4] \text{ nt } C_5$.

$$\text{a) } C_{123} = \frac{C_1 C_2 C_3}{C_1 C_2 + C_2 C_3 + C_3 C_1} = 2 \mu\text{F}; C_{1234} = C_{123} + C_4 = 4 \mu\text{F};$$

$$\text{Điện dung tương đương của bộ tụ: } C = \frac{C_{1234} C_5}{C_{1234} + C_5} = 2 \mu\text{F}.$$

$$\text{b) } U_4 = U_{123} = U_{1234} = \frac{q_4}{C_4} = 6 \text{ V};$$

$$q_{1234} = q_5 = Q = C_{1234} U_{1234} = 24 \cdot 10^{-6} \text{ C}; U_5 = \frac{q_5}{C_5} = 6 \text{ V};$$

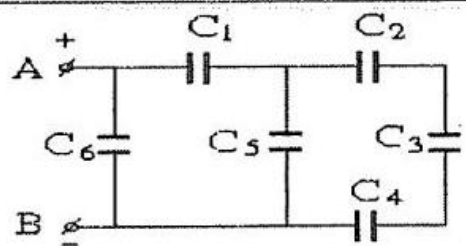
$$q_{123} = q_1 = q_2 = q_3 = C_{123} \cdot U_{123} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ C};$$

$$U_1 = \frac{q_1}{C_1} = 2 \text{ V} = U_2 = U_3; U_{AB} = \frac{Q}{C} = 12 \text{ V}.$$

Ví dụ 2: Cho bộ tụ được mắc như hình vẽ.

Trong đó $C_1 = C_2 = 2 \mu\text{F}$; $C_3 = 3 \mu\text{F}$; $C_4 = 6 \mu\text{F}$; $C_5 = C_6 = 5 \mu\text{F}$. $U_3 = 2 \text{ V}$. Tính:

- Điện dung của bộ tụ.
- Hiệu điện thế và điện tích trên từng tụ.



Hướng dẫn giải

Đoạn mạch gồm: $\{[(C_2 \text{ nt } C_3 \text{ nt } C_4) // C_5] \text{ nt } C_1\} // C_6$.

$$\text{a) } C_{234} = \frac{C_2 C_3 C_4}{C_2 C_3 + C_3 C_4 + C_4 C_2} = 1 \mu\text{F}; C_{2345} = C_{234} + C_5 = 6 \mu\text{F};$$

$$C_{12345} = \frac{C_1 C_{2345}}{C_1 + C_{2345}} = 1,5 \mu\text{F};$$

$$\text{Điện dung của bộ tụ: } C = C_{12345} + C_6 = 6,5 \mu\text{F};$$

$$b) q_3 = q_2 = q_4 = q_{234} = C_3 U_3 = 6 \cdot 10^{-6} \text{ C};$$

$$U_{234} = U_5 = U_{2345} = \frac{q_{234}}{C_{234}} = 6 \text{ V}; q_5 = C_5 U_5 = 30 \cdot 10^{-6} \text{ C};$$

$$q_{2345} = q_1 = q_{12345} = C_{2345} U_{2345} = 36 \cdot 10^{-6} \text{ C}; U_1 = \frac{q_1}{C_1} = 18 \text{ V};$$

$$U_{12345} = U_6 = U_{AB} = \frac{q_{12345}}{C_{12345}} = 24 \text{ V}; q_6 = C_6 U_6 = 120 \cdot 10^{-6} \text{ C}.$$

Dạng 3: Ghép các tụ đã tích điện

* Phương pháp:

- Khi ghép các tụ đã tích điện với nhau, các kết quả về điện tích đối với bộ tụ ghép không tích điện trước là không áp dụng được.

- Với dạng bài tập này, ta sử dụng hai loại phương trình:

+ Phương trình về hiệu điện thế:

$$U = U_1 + U_2 + \dots \text{ (với đoạn mạch nối tiếp)}$$

$$U = U_1 = U_2 = \dots \text{ (với đoạn mạch song song)}$$

+ Phương trình bảo toàn điện tích của hệ cô lập: $\sum_1^n Q_i = \text{const}$

- Điện lượng di chuyển qua một đoạn mạch được xác định:

$$\Delta Q = |\sum Q_2 - \sum Q_1|$$

Trong đó: $\sum Q_1$ là tổng điện tích trên các bản tụ nối với một đầu của đoạn mạch lúc đầu.

$\sum Q_2$ là tổng điện tích trên các bản tụ nối trên của đoạn mạch lúc sau.

* Các ví dụ minh họa

Ví dụ 1: Có hai tụ điện, tụ điện thứ nhất có điện dung $C_1 = 1 \mu\text{F}$ tích điện đến hiệu điện thế $U_1 = 100 \text{ V}$; tụ điện thứ hai có điện dung $C_2 = 2 \mu\text{F}$ tích điện đến hiệu điện thế $U_2 = 200 \text{ V}$

a) Nối các bản tích điện cùng dấu với nhau. Tính hiệu điện thế và điện tích của mỗi tụ điện sau khi nối; Tính lượng điện lượng đã dịch chuyển qua dây nối hai tụ và nhiệt lượng toả ra sau khi nối các bản.

b) Hỏi như ý a) nhưng chỉ khác ta nối các bản trái dấu của 2 tụ với nhau.

Hướng dẫn giải

Điện tích trên mỗi tụ trước khi nối với nhau:

$$Q_1 = C_1 \cdot U_1 = 1 \cdot 10^{-6} \cdot 100 = 10^{-4} \text{ (C)}; \quad Q_2 = C_2 \cdot U_2 = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 200 = 4 \cdot 10^{-4} \text{ (C)}$$

a) Khi nối các bản tích điện cùng dấu với nhau:

Sau khi nối hai bản bằng dây dẫn sẽ có sự di chuyển điện tích giữa hai tụ. Giả sử điện tích của hai tụ khi đó là Q'_1 và Q'_2 ; Hiệu điện thế giữa hai bản mỗi tụ khi đó là U'_1 và U'_2 .

Theo định luật bảo toàn điện tích: $Q_1 + Q_2 = Q'_1 + Q'_2$

Mặt khác:

$$U'_1 = U'_2 \Rightarrow \frac{Q'_1}{C_1} = \frac{Q'_2}{C_2} = \frac{Q'_1 + Q'_2}{C_1 + C_2} = \frac{5 \cdot 10^{-4}}{3 \cdot 10^{-6}} = \frac{500}{3} (V)$$

$$\Rightarrow Q'_1 = U'_1 \cdot C_1 = \frac{500}{3} \cdot 10^{-6} = \frac{5}{3} \cdot 10^{-4} (C)$$

$$Q'_2 = U'_2 \cdot C_2 = \frac{500}{3} \cdot 2 \cdot 10^{-6} = \frac{10}{3} \cdot 10^{-4} (C)$$

- Vậy hiệu điện thế hai tụ sau khi nối với nhau là: $U'_1 = U'_2 = \frac{500}{3} (V)$

- Điện tích trên bản A trước và sau khi nối dây dẫn là $Q_1 = 10^{-4} (C)$;

Và $Q'_1 = \frac{5}{3} \cdot 10^{-4} (C)$.

Suy ra lượng điện tích đã dịch chuyển qua dây nối là:

$$\Delta Q = |Q_1 - Q'_1| = \left| 10^{-4} - \frac{5}{3} \cdot 10^{-4} \right| = \frac{2}{3} \cdot 10^{-4} (C);$$

- Nhiệt lượng tỏa ra sau khi nối các bản tụ:

$$\begin{aligned} \Delta W = W - W' &= \frac{1}{2} C_1 U_1^2 + \frac{1}{2} C_2 U_2^2 - \frac{1}{2} (C_1 + C_2) \cdot U'^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 10^{-6} \cdot 100^2 + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 200^2 - \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{500}{3} \right)^2 = \frac{1}{300} (J) \end{aligned}$$

b) Khi nối hai bản tích điện trái dấu với nhau

Sau khi nối hai bản bằng dây dẫn sẽ có sự di chuyển điện tích giữa hai tụ. Giả sử điện tích của hai tụ khi đó là Q'_1 và Q'_2 ; Hiệu điện thế giữa hai bản mỗi tụ khi đó là U'_1 và U'_2 .

Theo định luật bảo toàn điện tích $Q'_2 + Q'_1 = Q_2 - Q_1$

$$\text{Mặt khác: } U'_1 = U'_2 \Rightarrow \frac{Q'_1}{C_1} = \frac{Q'_2}{C_2} = \frac{Q'_1 + Q'_2}{C_1 + C_2} = \frac{3 \cdot 10^{-4}}{3 \cdot 10^{-6}} = 100 (V)$$

$$\Rightarrow Q'_1 = U'_1 \cdot C_1 = 100 \cdot 10^{-6} = 10^{-4} (C)$$

$$Q'_2 = U'_2 \cdot C_2 = 100 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 2 \cdot 10^{-4} (C)$$

- Vậy hiệu điện thế hai tụ sau khi nối với nhau là: $U'_1 = U'_2 = 100 (V)$

- Điện tích trên bản A trước và sau khi nối dây dẫn là $Q_1 = 10^{-4}(C)$;

Và $Q'_1 = -10^{-4}(C)$.

Suy ra lượng điện tích đã dịch chuyển qua dây nối là:

$$\Delta Q = |Q_1 - Q'_1| = |10^{-4} + 10^{-4}| = 2 \cdot 10^{-4}(C)$$

- Nhiệt lượng tỏa ra sau khi nối các bản tụ:

$$\begin{aligned}\Delta W &= W - W' = \frac{1}{2}C_1 U_1^2 + \frac{1}{2}C_2 U_2^2 - \frac{1}{2}(C_1 + C_2) \cdot U_1'^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 10^{-6} \cdot 100^2 + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 200^2 - \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 10^{-6} \cdot (100)^2 = 0,03(J)\end{aligned}$$

Ví dụ 2: Một tụ điện nạp điện tới hiệu điện thế $U_1=100\text{ V}$ được nối với với tụ điện thứ hai cùng điện dung nhưng được nạp điện tới hiệu điện thế $U_2=200\text{V}$. Tính hiệu điện thế giữa các bản của mỗi tụ điện trong hai trường hợp sau:

- Các bản tích điện cùng dấu nối với nhau.
- Các bản tích điện trái dấu nối với nhau.

Hướng dẫn giải

Điện tích trên mỗi tụ trước khi nối với nhau:

$$Q_1 = C_1 \cdot U_1 = 100 \cdot C; \quad Q_2 = C_2 \cdot U_2 = 200 \cdot C$$

- a) Khi nối các bản tích điện cùng dấu với nhau:

Sau khi nối hai bản bằng dây dẫn sẽ có sự di chuyển điện tích giữa hai tụ. Giả sử điện tích của hai tụ khi đó là Q'_1 và Q'_2 ; Hiệu điện thế giữa hai bản mỗi tụ khi đó là U'_1 và U'_2 .

Theo định luật bảo toàn điện tích: $Q_1 + Q_2 = Q'_1 + Q'_2 = 300 \cdot C$

$$\text{Mặt khác: } U'_1 = U'_2 \Rightarrow \frac{Q'_1}{C_1} = \frac{Q'_2}{C_2} = \frac{Q'_1 + Q'_2}{C_1 + C_2} = \frac{300C}{2C} = 150(V)$$

- Vậy hiệu điện thế hai tụ sau khi nối với nhau là: $U'_1 = U'_2 = 150(V)$

Khi nối hai bản tích điện trái dấu với nhau

Sau khi nối hai bản bằng dây dẫn sẽ có sự di chuyển điện tích giữa hai tụ. Giả sử điện tích của hai tụ khi đó là Q'_1 và Q'_2 ; Hiệu điện thế giữa hai bản mỗi tụ khi đó là U'_1 và U'_2 .

Theo định luật bảo toàn điện tích $Q'_2 + Q'_1 = Q_2 - Q_1 = 100C$

$$\text{Mặt khác: } U'_1 = U'_2 \Rightarrow \frac{Q'_1}{C_1} = \frac{Q'_2}{C_2} = \frac{Q'_1 + Q'_2}{C_1 + C_2} = \frac{100C}{2C} = 50(V)$$

- Vậy hiệu điện thế hai tụ sau khi nối với nhau là: $U'_1 = U'_2 = 50(V)$

Ví dụ 3: Tụ điện $C_1 = 0,5 \mu\text{F}$ được tích điện đến hiệu điện thế $U_1 = 90\text{V}$ rồi ngắt tụ ra khỏi nguồn. Sau đó tụ C_1 được nối song song với tụ $C_2 = 0,4 \mu\text{F}$ chưa tích điện. Tính năng lượng của tia lửa điện phát ra khi nối hai tụ với nhau.

Hướng dẫn giải

Điện tích trên mỗi tụ trước khi nối với nhau:

$$Q_1 = C_1 \cdot U_1 = 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot 90 = 45 \cdot 10^{-6} (\text{C}); Q_2 = C_2 \cdot U_2 = 0$$

Khi nối các bản tụ C_1 với các bản tụ C_2 ta có sự di chuyển điện tích giữa hai tụ. Giả sử điện tích của hai tụ khi đó là Q'_1 và Q'_2 ; Hiệu điện thế giữa hai bản mỗi tụ khi đó là U'_1 và U'_2 .

Theo định luật bảo toàn điện tích: $Q_1 + Q_2 = Q'_1 + Q'_2 = 45 \cdot 10^{-6} (\text{C})$

$$\text{Mặt khác: } U'_1 = U'_2 \Rightarrow \frac{Q'_1}{C_1} = \frac{Q'_2}{C_2} = \frac{Q'_1 + Q'_2}{C_1 + C_2} = \frac{45 \cdot 10^{-6}}{0,9 \cdot 10^{-6}} = 50 (\text{V})$$

$$\Rightarrow Q'_1 = U'_1 \cdot C_1 = 50 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6} = 25 \cdot 10^{-6} (\text{C})$$

$$Q'_2 = U'_2 \cdot C_2 = 50 \cdot 0,4 \cdot 10^{-6} = 20 \cdot 10^{-6} (\text{C})$$

- Vậy hiệu điện thế hai tụ sau khi nối với nhau là: $U'_1 = U'_2 = 50 (\text{V})$

- Năng lượng của tia lửa điện phóng ra sau khi nối các bản tụ:

$$\begin{aligned} \Delta W &= W - W' = \frac{1}{2} C_1 U_1^2 + \frac{1}{2} C_2 U_2^2 - \frac{1}{2} (C_1 + C_2) \cdot U'^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot 90^2 + 0 - \frac{1}{2} \cdot 0,9 \cdot 10^{-6} \cdot 50^2 = 0,9 \cdot 10^{-3} (\text{J}) = 0,9 (\text{mJ}) \end{aligned}$$

Dạng 4: Hiệu điện thế giới hạn của tụ điện

** Phương pháp:*

- Trường hợp một tụ điện: $U_{gh} = E_{gh} \cdot d$

- Trường hợp nhiều tụ:

+ Xác định hiệu điện thế giới hạn với mỗi tụ

Khi đó $(U_b)_{gh} = \min\{(U_{gh})_i\}$

Các ví dụ minh họa

Ví dụ 1: Hai bản của một tụ điện phẳng có dạng hình tròn bán kính $R = 30\text{cm}$, khoảng cách giữa hai bản là $d = 5\text{mm}$, giữa hai bản là không khí.

a) Tính điện dung của tụ.

b) Biết rằng không khí chỉ cách điện khi cường độ điện trường tối đa là $3 \cdot 10^5 \text{V/m}$. Hỏi:

- Hiệu điện thế giới hạn của tụ điện.

- Có thể tích cho tụ điện một điện tích lớn nhất là bao nhiêu để tụ không bị đánh thủng?

Hướng dẫn giải

a) Điện dung của tụ điện phẳng:

$$C = \frac{\epsilon S}{4\pi k d} = \frac{1 \cdot \pi \cdot 0,3^2}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 5 \cdot 10^{-3}} = 5 \cdot 10^{-10} \text{ F}$$

b) Hiệu điện thế giới hạn của tụ điện: $U_{gh} = E_{gh} \cdot d = 3 \cdot 10^5 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 1500 \text{ (V)}$

- Điện tích lớn nhất có thể tích cho tụ điện này là:

$$Q_{\max} = C \cdot U_{gh} = 5 \cdot 10^{-10} \cdot 1500 = 75 \cdot 10^{-6} \text{ (C)}$$

Ví dụ 2: Hai tụ điện có điện dung lần lượt $C_1 = 5 \cdot 10^{-10} \text{ F}$ và $C_2 = 15 \cdot 10^{-10} \text{ F}$, được mắc nối tiếp với nhau. Khoảng cách giữa hai bản của mỗi tụ điện là $d = 2 \text{ mm}$. Điện trường giới hạn của mỗi tụ $E_{gh} = 1800 \text{ V}$. Tính hiệu điện thế giới hạn của bộ tụ. $U_{gh} = 4,8 \text{ V}$

Hướng dẫn giải

Hai tụ ghép nối tiếp nhau nên: $Q_1 = Q_2 = Q_b$.

Điện dung tương đương của bộ tụ: $C_b = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$

Hiệu điện thế mỗi tụ khi đó:

$$U_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{Q_b}{C_1} = \frac{C_2 \cdot U}{C_1 + C_2} = \frac{5U}{20} = \frac{U}{4}$$

$$U_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{Q_b}{C_2} = \frac{C_1 \cdot U}{C_1 + C_2} = \frac{15U}{20} = \frac{3U}{4}$$

$$\text{Mà: } \begin{cases} U_1 \leq U_{gh1} = E_{gh} \cdot d = 1800 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 3,6 \text{ (V)} \\ U_2 \leq U_{gh2} = E_{gh} \cdot d = 1800 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 3,6 \text{ (V)} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \frac{U}{4} \leq 3,6 \\ \frac{3U}{4} \leq 3,6 \end{cases} \Rightarrow U \leq 4,8 \text{ (V)} \Rightarrow U_{gh} = 4,8 \text{ (V)}$$

Vậy hiệu điện thế giới hạn của bộ tụ là $U_{gh} = 4,8 \text{ (V)}$

Ví dụ 3: Hai tụ có $C_1 = 5 \mu\text{F}$, $C_2 = 10 \mu\text{F}$; $U_{gh1} = 500 \text{ V}$, $U_{gh2} = 1000 \text{ V}$; Ghép hai tụ điện thành bộ. Tìm hiệu điện thế giới hạn của bộ tụ điện nếu hai tụ:

a) Ghép song song

b) Ghép nối tiếp

Hướng dẫn giải

a) Hai tụ ghép song song $U_1 = U_2 = U$

$$\text{Mà: } \begin{cases} U_1 \leq U_{gh1} = 500(V) \\ U_2 \leq U_{gh2} = 1000(V) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} U \leq 500 \\ U \leq 1000 \end{cases} \Rightarrow U \leq 500(V) \Rightarrow U_{gh} = 500(V)$$

Vậy hiệu điện thế giới hạn của bộ tụ ghép song song là $U_{gh} = 500(V)$

b) Hai tụ ghép nối tiếp nhau nên: $Q_1 = Q_2 = Q_b$.

$$\text{Điện dung tương đương của bộ tụ: } C_b = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

Hiệu điện thế mỗi tụ khi đó:

$$U_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{Q_b}{C_1} = \frac{C_2 \cdot U}{C_1 + C_2} = \frac{10U}{15} = \frac{2U}{3}$$

$$U_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{Q_b}{C_2} = \frac{C_1 \cdot U}{C_1 + C_2} = \frac{5U}{15} = \frac{U}{3}$$

$$\text{Mà: } \begin{cases} U_1 \leq U_{gh1} = 500(V) \\ U_2 \leq U_{gh2} = 1000(V) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{2U}{3} \leq 500 \\ \frac{U}{3} \leq 1000 \end{cases} \Rightarrow U \leq 750(V) \Rightarrow U_{gh} = 750(V)$$

Vậy hiệu điện thế giới hạn của bộ tụ ghép nối tiếp là $U_{gh} = 750(V)$

Ví dụ 4: Ba tụ điện có điện dung $C_1=2 \mu F$; $C_2=4 \mu F$; $C_3=6 \mu F$ được mắc nối tiếp thành bộ. Hiệu điện thế đánh thủng của mỗi tụ điện là 40 V. Hỏi bộ tụ điện trên có thể chịu được hiệu điện thế $U=110 V$ không?

Hướng dẫn giải

Ba tụ ghép nối tiếp nhau nên: $Q_1 = Q_2 = Q_b$.

$$\text{Điện dung tương đương của bộ tụ: } C_b = \frac{C_1 C_2 C_3}{C_1 C_2 + C_2 C_3 + C_3 C_1} = \frac{12}{11} \mu F$$

$$\text{Hiệu điện thế mỗi tụ khi đó: } U_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{Q_b}{C_1} = \frac{\frac{12}{11} \cdot U}{2} = \frac{6U}{11}$$

$$U_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{Q_b}{C_2} = \frac{\frac{12}{11} \cdot U}{4} = \frac{3U}{11}; U_3 = \frac{Q_3}{C_3} = \frac{Q_b}{C_3} = \frac{\frac{12}{11} \cdot U}{6} = \frac{2U}{11}$$

$$\text{Mà: } \begin{cases} U_1 \leq U_{gh1} = 40(V) \\ U_2 \leq U_{gh2} = 40(V) \\ U_3 \leq U_{gh3} = 40(V) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{6U}{11} \leq 40 \\ \frac{3U}{11} \leq 40 \\ \frac{2U}{11} \leq 40 \end{cases} \Rightarrow U \leq 73,33(V) \Rightarrow U_{gh} = 73,33(V)$$

Vậy bộ tụ không thể chịu được hiệu điện thế 110V.

Ví dụ 5: Một bộ tụ gồm năm tụ điện giống hệt nhau nối tiếp, mỗi tụ có $C=10\mu\text{F}$ được nối vào hiệu điện thế 100 V. Hỏi năng lượng của bộ thay đổi ra sao nếu một tụ bị đánh thủng? Tìm năng lượng tiêu hao đó.

Hướng dẫn giải

Ban đầu mạch gồm 5 tụ giống nhau mắc nối tiếp, nên hiệu điện thế giữa hai bản mỗi tụ bằng: $U = \frac{U_b}{5} = 20(\text{V})$

Năng lượng ban đầu của cả bộ tụ là:

$$W = \frac{1}{2} \cdot C_1 \cdot U^2 + \frac{1}{2} \cdot C_2 \cdot U^2 + \frac{1}{2} \cdot C_3 \cdot U^2 + \frac{1}{2} \cdot C_4 \cdot U^2 + \frac{1}{2} \cdot C_5 \cdot U^2 = \frac{5}{2} \cdot C \cdot U^2$$

$$W = \frac{5}{2} \cdot 10^{-5} \cdot 20^2 = 10 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

Khi một tụ bị đánh thủng thì đoạn mạch chỉ còn lại 4 tụ giống nhau ghép nối tiếp, nên hiệu điện thế giữa hai bản tụ là $U' = \frac{U_b}{4} = 25(\text{V})$

Năng lượng của cả bộ tụ khi đó là:

$$W' = \frac{1}{2} \cdot C_1 \cdot U'^2 + \frac{1}{2} \cdot C_2 \cdot U'^2 + \frac{1}{2} \cdot C_3 \cdot U'^2 + \frac{1}{2} \cdot C_4 \cdot U'^2 = \frac{4}{2} \cdot C \cdot U'^2$$

$$W' = \frac{4}{2} \cdot 10^{-5} \cdot 25^2 = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

Như vậy khi đánh thủng năng lượng của bộ tụ đã tiêu hao một lượng:

$$\Delta W = W - W' = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

Dạng 5: Mạch cầu tụ điện

*** Phương pháp:**

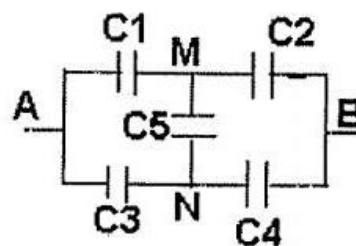
Mạch gồm các tụ được mắc như hình vẽ được gọi là mạch cầu tụ điện.

- Nếu $\frac{C_1}{C_2} = \frac{C_3}{C_4}$ thì ta có mạch cầu cân bằng.

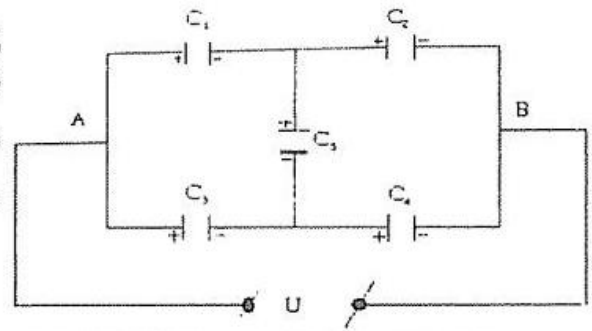
Khi đó $Q_5 = 0$ (hoặc $U_5 = 0$, $V_M = V_N$), lúc đó mạch tụ của ta xem như còn lại $[(C_1 \text{ nt } C_2) // (C_3 \text{ nt } C_4)]$

- Ngược lại khi mắc bộ tụ vào mạch điện, nếu $Q_5 = 0$ hay $V_M = V_N$ ($U_5 = 0$) thì ta

$$\text{có } \frac{C_1}{C_2} = \frac{C_3}{C_4}$$



- Trường hợp mạch cầu tụ điện không cân bằng thì ta dùng phương trình về bảo toàn điện tích và phương trình hiệu điện thế của đoạn mạch nối tiếp, song song để giải bài toán.



* Các ví dụ minh họa

Ví dụ 1: Cho mạch tụ như hình, biết: $C_1 = 6 \mu F$, $C_2 = 3 \mu F$, $C_3 = 8 \mu F$, $C_4 = 4 \mu F$, $C_5 = 2 \mu F$. Hãy tính điện dung của bộ.

Hướng dẫn giải

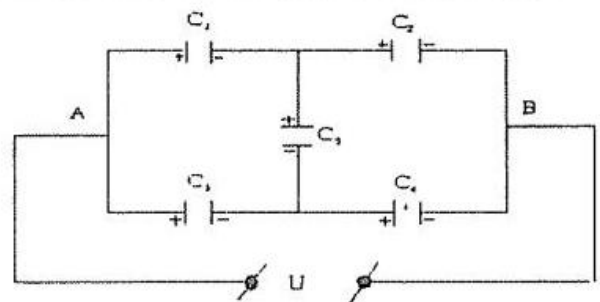
Ta có: $\frac{C_1}{C_3} = \frac{6}{8} = \frac{3}{4}$; $\frac{C_2}{C_4} = \frac{3}{4}$. Như vậy $\frac{C_1}{C_3} = \frac{C_2}{C_4}$ nên mạch tụ đã cho là mạch tụ cân bằng.

Điện dung của bộ tụ khi đó là $C = C_{12} + C_{34}$

$$\text{Với } C_{12} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{6 \cdot 3}{6 + 3} = 2 \mu F; \quad C_{34} = \frac{C_3 \cdot C_4}{C_3 + C_4} = \frac{8 \cdot 4}{8 + 4} = \frac{8}{3} \mu F$$

$$\text{Suy ra: } C = C_{12} + C_{34} = 2 + \frac{8}{3} = \frac{14}{3} \mu F$$

Ví dụ 2: Cho mạch tụ như hình, biết: $C_1 = 6 \mu F$, $C_2 = 6 \mu F$, $C_3 = 2 \mu F$, $C_4 = 4 \mu F$, $C_5 = 4 \mu F$, $U = 18V$. Hãy tính điện dung của bộ tụ và hiệu điện thế hai đầu mỗi tụ.



Hướng dẫn giải

Ta có: $\frac{C_1}{C_3} = \frac{6}{2} = 3$; $\frac{C_2}{C_4} = \frac{6}{4} = \frac{3}{2}$. Như vậy $\frac{C_1}{C_3} \neq \frac{C_2}{C_4}$ nên mạch tụ đã cho là mạch tụ không cân bằng.

Giả sử điện thế trên các bản tụ được bố trí như hình vẽ, ta có các phương trình:

$$\begin{cases} -Q_1 + Q_2 + Q_5 = 0 \\ -Q_3 + Q_4 - Q_5 = 0 \\ U_1 + U_2 = U \\ U_3 + U_4 = U \\ U_1 + U_5 + U_4 = U \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} -6U_1 + 6U_2 + 4U_5 = 0 \\ -2U_3 + 4U_4 - 4U_5 = 0 \\ U_1 + U_2 = 18 \\ U_3 + U_4 = 18 \\ U_1 + U_5 + U_4 = 18 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} U_1 = 9,5V \\ U_2 = 8,5V \\ U_3 = 11V \\ U_4 = 7V \\ U_5 = 1,5V \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} Q_1 = 57 \mu C \\ Q_3 = 22 \mu C \end{cases}$$

$$\text{Vậy điện dung tương đương của bộ tụ là: } C_b = \frac{Q_b}{U} = \frac{57 + 22}{18} = \frac{79}{18} \mu F$$

C. BÀI TẬP TỰ LUYỆN CÓ HƯỚNG DẪN GIẢI

Câu 1: Tụ điện phẳng không khí được tích điện rồi ngắt ra khỏi nguồn. Hỏi năng lượng của tụ thay đổi như thế nào khi nhúng tụ vào điện môi lỏng có hằng số điện môi là $\epsilon = 2$

Hướng dẫn giải

$$\text{Năng lượng của tụ điện: } W = \frac{Q^2}{2C}$$

Khi nhúng tụ vào điện môi lỏng có hằng số điện môi là $\epsilon = 2$:

$$C' = \frac{\epsilon S}{4\pi k \cdot d} = 2C.$$

Ngắt tụ điện ra khỏi nguồn nên điện tích của tụ là không đổi: $Q' = Q$

$$\text{Năng lượng tụ điện khi đó: } W' = \frac{Q'^2}{2C'} = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{2C} = \frac{W}{2}$$

Như vậy năng lượng tụ khi đó giảm đi một nửa.

Câu 2: Một tụ điện phẳng không khí có điện dung 20 pF. Tích điện cho tụ điện đến hiệu điện thế 250 V.

- a) Tính điện tích và năng lượng điện trường của tụ điện.
- b) Sau đó tháo bỏ nguồn điện rồi tăng khoảng cách giữa hai bản tụ điện lên gấp đôi. Tính hiệu điện thế giữa hai bản khi đó.

Hướng dẫn giải

a) Điện tích của tụ điện $Q = CU = 5 \cdot 10^{-9} \text{ C};$

$$\text{Năng lượng điện trường của tụ } W = \frac{1}{2} CU^2 = 625 \cdot 10^{-9} \text{ J}.$$

b) Ban đầu điện dung của tụ: $C = \frac{\epsilon S}{4\pi k d};$

Khi tăng khoảng cách giữa hai bản tụ điện lên gấp đôi thì điện dung của tụ:

$$C' = \frac{\epsilon S}{4\pi k 2d} = \frac{C}{2} = 10 \text{ pF};$$

Ngắt tụ điện ra khỏi nguồn nên điện tích của tụ là không đổi: $Q' = Q$

$$\text{Hiệu điện thế giữa hai bản tụ điện khi đó: } U' = \frac{Q'}{C'} = \frac{2 \cdot Q}{C} = 500 \text{ (V)}.$$

Câu 3: Bộ tụ điện gồm hai tụ điện: $C_1 = 20 \text{ (}\mu\text{F)}$, $C_2 = 30 \text{ (}\mu\text{F)}$ mắc nối tiếp với nhau, rồi mắc vào hai cực của nguồn điện có hiệu điện thế $U = 60 \text{ (V)}$. Xác định điện tích và hiệu điện thế của mỗi tụ điện.

Hướng dẫn giải

Điện dung tương đương của bộ tụ $C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{20 \cdot 30}{20 + 30} = 12 \mu\text{F}$

Điện tích của mỗi tụ: $Q_1 = Q_2 = Q = C \cdot U = 12 \cdot 60 = 720 \mu\text{C}$.

Hiệu điện thế của mỗi tụ:

$$U_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{720}{20} = 36\text{V}; U_2 = U - U_1 = 60 - 36 = 24\text{V}$$

Câu 4: Bộ tụ điện gồm hai tụ điện: $C_1 = 20 (\mu\text{F})$, $C_2 = 30 (\mu\text{F})$ mắc song song với nhau, rồi mắc vào hai cực của nguồn điện có hiệu điện thế $U = 60 (\text{V})$. Xác định điện dung tương đương của bộ tụ, điện tích và hiệu điện thế của mỗi tụ điện.

Hướng dẫn giải

Điện dung tương đương của bộ tụ $C = C_1 + C_2 = 50 \mu\text{F}$

Hiệu điện thế của mỗi tụ: $U_1 = U_2 = U = 60\text{V}$

Điện tích của mỗi tụ:

$$Q_1 = C_1 U_1 = 20 \cdot 60 = 1200 \mu\text{C}; \quad Q_2 = C_2 U_2 = 30 \cdot 60 = 1800 \mu\text{C}.$$

Câu 5: Hai tụ điện không khí phẳng có điện dung là $C_1 = 0,2 \mu\text{F}$ và $C_2 = 0,4 \mu\text{F}$ mắc song song. Bộ được tích điện đến hiệu điện thế $U = 450\text{V}$ rồi ngắt khỏi nguồn. Sau đó lắp đầy hai bản tụ điện C_2 bằng điện môi có hằng số điện môi là 2. Tính hiệu điện thế của bộ tụ và điện tích của mỗi tụ khi đó.

Hướng dẫn giải

Điện dung tương đương của bộ tụ $C = C_1 + C_2 = 0,6 \mu\text{F}$

Hiệu điện thế của mỗi tụ: $U_1 = U_2 = U = 450\text{V}$

Điện tích của mỗi tụ:

$$Q_1 = C_1 U_1 = 0,2 \cdot 450 = 90 \mu\text{C}; \quad Q_2 = C_2 U_2 = 0,4 \cdot 450 = 180 \mu\text{C}.$$

Lắp đầy hai bản tụ điện C_2 bằng điện môi có hằng số điện môi là 2, khi đó điện dung của tụ là $C'_2 = 2C_2$.

Ngắt tụ ra khỏi nguồn nên điện tích là không đổi, vậy hiệu điện thế của bộ tụ sau khi lắp đầy hai bản tụ C_2 một lớp điện môi là:

$$U' = \frac{Q_1 + Q_2}{C_1 + C'_2} = \frac{90 + 180}{0,2 + 2 \cdot 0,4} = 270\text{V}$$

Điện tích mỗi tụ lúc đó là :

$$Q'_1 = C_1 U' = 0,2 \cdot 270 = 54 \mu\text{C}; \quad Q'_2 = C'_2 U' = 0,8 \cdot 270 = 216 \mu\text{C}$$

Câu 6: Hai tụ điện phẳng có $C_1 = 2C_2$, mắc nối tiếp vào nguồn U không đổi. Cường độ điện trường trong C_1 thay đổi bao nhiêu lần nếu nhúng C_2 vào chất điện môi có $\epsilon = 2$.

Hướng dẫn giải

$$\text{Điện dung tương đương của bộ tụ } C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{2}{3} C_2$$

$$\text{Hiệu điện thế của tụ } C_1: U_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{Q_b}{C_1} = \frac{\frac{2}{3} C_2 \cdot U}{2C_2} = \frac{1}{3} U;$$

Nhúng C_2 vào chất điện môi lỏng có $\epsilon = 2$ thì điện dung $C'_2 = 2C_2 = C_1$. Hiệu điện thế trên các tụ khi đó $U'_1 = U'_2 = \frac{1}{2} U$;

$$\text{Cường độ điện trường trong tụ } C_1 \text{ thay đổi: } \frac{E'_1}{E_1} = \frac{U'_1}{U_1} = \frac{\frac{1}{2} U}{\frac{1}{3} U} = 1,5$$

Như vậy cường độ điện trường trong tụ C_1 tăng 1,5 lần.

Câu 7: Tụ điện phẳng không khí $C = 2\text{pF}$. Nhúng chìm một nửa vào trong điện môi lỏng $\epsilon = 3$. Tìm điện dung của tụ điện nếu khi nhúng, các bản đặt:

- Thẳng đứng
- Nằm ngang

Hướng dẫn giải

$$\text{Điện dung ban đầu của tụ } C = \frac{S}{4\pi k d}$$

- Nhúng chìm một nửa vào trong điện môi lỏng $\epsilon = 3$ theo phương thẳng đứng ta được hệ gồm 2 tụ C_1 và C_2 ghép song song với:

$$C_1 = \frac{\frac{S}{2}}{4\pi k d} = \frac{C}{2}; \quad C_2 = \frac{3 \cdot \frac{S}{2}}{4\pi k d} = \frac{3}{2} C \Rightarrow C' = C_1 + C_2 = \frac{C}{2} + \frac{3}{2} C = 2C = 4\text{pF};$$

- Nhúng chìm một nửa vào trong điện môi lỏng $\epsilon = 3$ theo phương nằm ngang ta được hệ gồm 2 tụ C_1 và C_2 ghép nối tiếp với

$$C_1 = \frac{S}{4\pi k \frac{d}{2}} = 2C; \quad C_2 = \frac{3S}{4\pi k \frac{d}{2}} = 6C \Rightarrow C' = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{2C \cdot 6C}{8C} = \frac{3}{2} C = 3\text{pF};$$

Câu 8: Cho mạch điện như hình vẽ. Biết $C_1 = 2 \mu\text{F}$, $C_2 = 4 \mu\text{F}$, $C_3 = 6 \mu\text{F}$. $U_{AB} = 100 \text{ V}$. Tính điện dung tương đương, hiệu điện thế và điện tích trên mỗi tụ.

Hướng dẫn giải

Mạch gồm $C_1 // C_2 // C_3$ nên điện dung tương đương:

$$C_{td} = C_1 + C_2 + C_3 = 2 + 4 + 6 = 12 \mu F$$

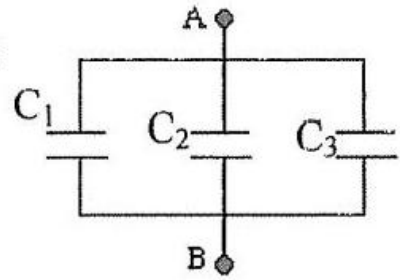
Hiệu điện thế hai đầu mỗi tụ:

$$U_1 = U_2 = U_3 = U_{AB} = 100V.$$

Điện tích trên mỗi tụ: $Q_1 = C_1 \cdot U_1 = 2 \cdot 100 = 200 \mu C$

$$Q_2 = C_2 \cdot U_2 = 4 \cdot 100 = 400 \mu C$$

$$Q_3 = C_3 \cdot U_3 = 6 \cdot 100 = 600 \mu C$$



Câu 9: Cho mạch điện như hình vẽ. Biết $C_1 = 1 \mu F$, $C_2 = 1,5 \mu F$, $C_3 = 3 \mu F$, $U_{AB} = 120 V$.

Tính điện dung tương đương, hiệu điện thế và điện tích trên mỗi tụ.

Hướng dẫn giải

Mạch gồm C_1 nt C_2 nt C_3 nên điện dung tương đương:

$$\frac{1}{C_{td}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{1} + \frac{1}{1,5} + \frac{1}{3} \Rightarrow C_{td} = 0,5 \mu F$$

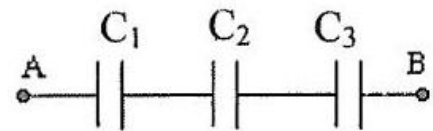
Hiệu điện thế hai đầu mỗi tụ:

$$U_1 = U_2 = U_3 = U_{AB} = 100V.$$

Điện tích trên mỗi tụ: $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_b = C_{td} \cdot U_{AB} = 0,5 \cdot 120 = 60 \mu C$.

Hiệu điện thế hai đầu mỗi tụ:

$$U_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{60}{1} = 60V; U_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{60}{1,5} = 40V; U_3 = \frac{Q_3}{C_3} = \frac{60}{3} = 20V$$



Câu 10: Cho mạch điện như hình vẽ. Biết $C_1 = 0,25 \mu F$, $C_2 = 1 \mu F$, $C_3 = 3 \mu F$.

$U_{AB} = 12 V$. Tính điện dung tương đương, hiệu điện thế và điện tích trên mỗi tụ.

Hướng dẫn giải

Mạch gồm $(C_1$ nt $C_2) // C_3$ ta có:

$$\frac{1}{C_{12}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \Rightarrow C_{12} = 0,2 \mu F$$

Điện dung tương đương:

$$C_{td} = C_{12} + C_3 = 0,2 + 3 = 3,2 \mu F$$

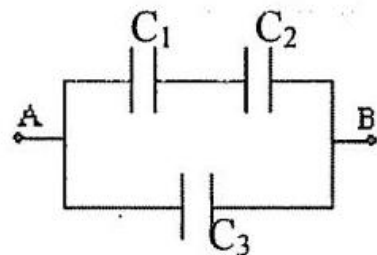
Hiệu điện thế hai đầu tụ C_3 : $U_{12} = U_3 = U_{AB} = 12V$.

Điện tích trên mỗi tụ: $Q_1 = Q_2 = Q_{12} = C_{12} \cdot U_{AB} = 0,2 \cdot 12 = 2,4 \mu C$.

Hiệu điện thế hai đầu tụ C_1 và C_2 :

$$U_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{2,4}{0,25} = 9,6V; U_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{2,4}{1} = 2,4V$$

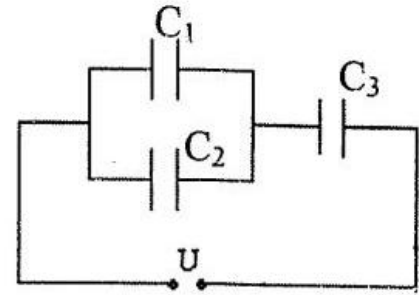
Điện tích trên tụ C_3 : $Q_3 = C_3 \cdot U_3 = 3 \cdot 12 = 36 \mu C$.



Câu 11. Có ba tụ điện $C_1 = 10 \mu\text{F}$, $C_2 = 5 \mu\text{F}$, $C_3 = 4 \mu\text{F}$ được mắc như hình vẽ.

Hiệu điện thế hai đầu bộ tụ là $U = 38 \text{ V}$.

- Tính điện dung tương đương của bộ tụ và hiệu điện thế, điện tích trên mỗi tụ.
- Tụ C_3 bị đánh thủng, tính điện tích và hiệu điện thế trên mỗi tụ.



Hướng dẫn giải

- Mạch gồm $(C_1 // C_2)$ nt C_3 ta có: $C_{12} = C_1 + C_2 = 10 + 5 = 15 \mu\text{F}$

$$\text{Điện dung tương đương: } \frac{1}{C_{td}} = \frac{1}{C_{12}} + \frac{1}{C_3} \Rightarrow C_{td} = \frac{60}{19} \mu\text{F}$$

$$\text{Điện tích trên tụ } C_3: Q_3 = Q_{12} = C_{td} \cdot U = \frac{60}{19} \cdot 38 = 120 \mu\text{C}.$$

$$\text{Hiệu điện thế hai đầu tụ } C_3: U_3 = \frac{Q_3}{C_3} = \frac{120}{4} = 30 \text{ V}$$

$$\text{Hiệu điện thế hai đầu tụ } C_1 \text{ và } C_2: U_1 = U_2 = U_{12} = \frac{Q_{12}}{C_{12}} = \frac{120}{15} = 8 \text{ V}$$

$$\text{Điện tích trên tụ } C_1 \text{ và } C_2 \text{ là: } Q_1 = C_1 \cdot U_1 = 10 \cdot 8 = 80 \mu\text{C}.$$

$$Q_2 = C_2 \cdot U_2 = 5 \cdot 8 = 40 \mu\text{C}$$

- Tụ C_3 bị đánh thủng, mạch chỉ còn lại $C_1 // C_2$ ta có: $C_{td}' = C_1 + C_2 = 15 \mu\text{F}$

$$\text{Hiệu điện thế hai đầu tụ } C_1 \text{ và } C_2: U_1 = U_2 = U_{12} = U = 38 \text{ V}$$

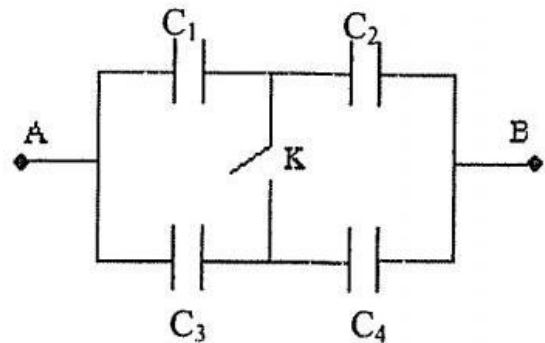
$$Q_1 = U_1 \cdot C_1 = 38 \cdot 10 = 380 \mu\text{C}; Q_2 = U_2 \cdot C_2 = 38 \cdot 5 = 190 \mu\text{C}$$

Câu 12. Cho bộ tụ mắc như hình vẽ: Biết

$C_1 = 1 \mu\text{F}$, $C_2 = 3 \mu\text{F}$, $C_3 = 6 \mu\text{F}$, $C_4 = 4 \mu\text{F}$.

$U_{AB} = 20 \text{ V}$. Tính điện dung tương đương của bộ tụ, hiệu điện thế, điện tích trên mỗi tụ trong hai trường hợp:

- K mở
- K đóng



Hướng dẫn giải

- Trường hợp K mở:

Mạch gồm $(C_1 \text{ nt } C_2) // (C_3 \text{ nt } C_4)$ ta có:

$$\frac{1}{C_{12}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \Rightarrow C_{12} = 0,75 \mu\text{F}$$

$$\frac{1}{C_{34}} = \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} \Rightarrow C_{34} = 2,4 \mu\text{F}$$

$$\text{Điện dung tương đương: } C_{td} = C_{12} + C_{34} = 0,75 + 2,4 = 3,15 \mu\text{F}$$

Điện tích trên các tụ:

$$Q_1 = Q_2 = Q_{12} = C_{12}.U_{AB} = 0,75.20 = 15\mu C.$$

$$Q_3 = Q_4 = Q_{34} = C_{34}.U_{AB} = 2,4.20 = 48\mu C.$$

Điện tích hai đầu mỗi tụ:

$$U_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{15}{1} = 15V; \quad U_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{15}{3} = 5V$$

$$U_3 = \frac{Q_3}{C_3} = \frac{48}{6} = 8V; \quad U_4 = \frac{Q_4}{C_4} = \frac{48}{4} = 12V$$

b) Trường hợp K đóng:

Mạch gồm $(C_1 // C_3)$ nt $(C_2 // C_4)$ ta có:

$$C_{13} = C_1 + C_3 = 1 + 6 = 7\mu F$$

$$C_{24} = C_2 + C_4 = 3 + 4 = 7\mu F$$

$$\frac{1}{C_{td}} = \frac{1}{C_{13}} + \frac{1}{C_{24}} \Rightarrow C_{td} = 3,5\mu F$$

$$Q_{13} = Q_{24} = Q_{AB} = C_{td}.U_{AB} = 3,5.20 = 70\mu C.$$

$$U_1 = U_3 = U_{13} = \frac{Q_{13}}{C_{13}} = \frac{70}{7} = 10V; \quad U_{24} = \frac{Q_{24}}{C_{24}} = \frac{70}{7} = 10V$$

Như vậy $U_1 = U_2 = U_3 = U_4 = 10V$.

Điện tích trên các tụ:

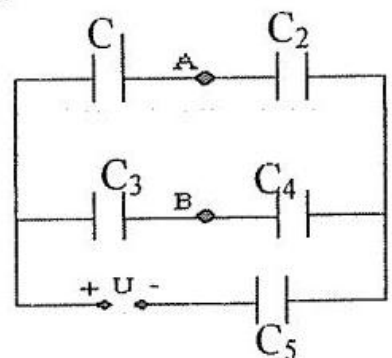
$$Q_1 = C_1.U_1 = 1.10 = 10\mu C; \quad Q_2 = C_2.U_2 = 3.10 = 30\mu C.$$

$$Q_3 = C_3.U_3 = 6.10 = 60\mu C; \quad Q_4 = C_4.U_4 = 4.10 = 40\mu C.$$

Câu 13. Cho mạch tụ như hình vẽ $C_1 = 3 \mu F$,

$C_2 = 6 \mu F$, $C_3 = C_4 = 4 \mu F$, $C_5 = 8 \mu F$.

$U = 900 V$. Tính hiệu điện thế giữa hai điểm A và B ?



Hướng dẫn giải

Mạch gồm $(C_1$ nt $C_2) // (C_3$ nt $C_4)$ nt C_5 ta có:

$$\frac{1}{C_{12}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \Rightarrow C_{12} = 2\mu F; \quad \frac{1}{C_{34}} = \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} \Rightarrow C_{34} = 2\mu F$$

$$C_{1234} = C_{12} + C_{34} = 2 + 2 = 4 \mu F$$

$$\text{Điện dung tương đương: } \frac{1}{C} = \frac{1}{C_{1234}} + \frac{1}{C_5} \Rightarrow \frac{1}{C} = \frac{1}{4} + \frac{1}{8} \Rightarrow C = \frac{8}{3} \mu F$$

$$Q_5 = Q_{1234} = C.U = \frac{8}{3}.900 = 2400\mu C; \quad U_{1234} = \frac{Q_{1234}}{C_{1234}} = \frac{2400}{4} = 600V$$

$$Q_1 = Q_{12} = C_{12} \cdot U_{1234} = 2.600 = 1200 \mu\text{C}; U_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{1200}{3} = 400\text{V}$$

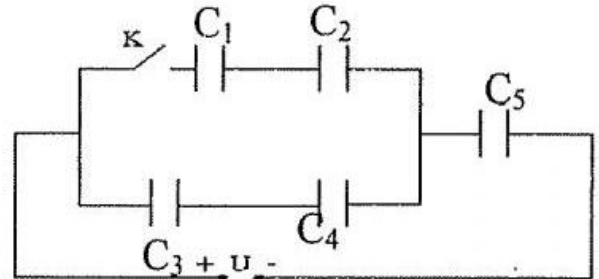
$$Q_3 = Q_{34} = C_{34} \cdot U_{1234} = 2.600 = 1200 \mu\text{C}; U_3 = \frac{Q_3}{C_3} = \frac{1200}{4} = 300\text{V}$$

Hiệu điện thế giữa hai điểm A và B: $U_{AB} = -U_1 + U_3 = -400 + 300 = -100\text{ (V)}$

Câu 14. Cho mạch tụ như hình vẽ:

$C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = 1 \mu\text{F}$, $U = 15\text{ V}$.

Tính điện dung của bộ tụ, điện tích và hiệu điện thế hai đầu mỗi tụ trong hai trường hợp:



a) K mở.

b) K đóng.

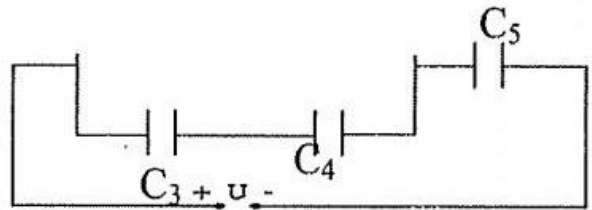
Hướng dẫn giải

a) Khi K mở:

Mạch gồm C_3 nt C_4 nt C_5 ta có:

Điện dung tương đương:

$$\frac{1}{C_a} = \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_5} \Rightarrow C_a = \frac{1}{3} \mu\text{F}$$



$$Q_3 = Q_4 = Q_5 = C_a \cdot U = \frac{1}{3} \cdot 15 = 5 \mu\text{C}$$

$$U_3 = \frac{Q_3}{C_3} = \frac{5}{1} = 5\text{V}; U_4 = \frac{Q_4}{C_4} = \frac{5}{1} = 5\text{V}; U_5 = \frac{Q_5}{C_5} = \frac{5}{1} = 5\text{V}$$

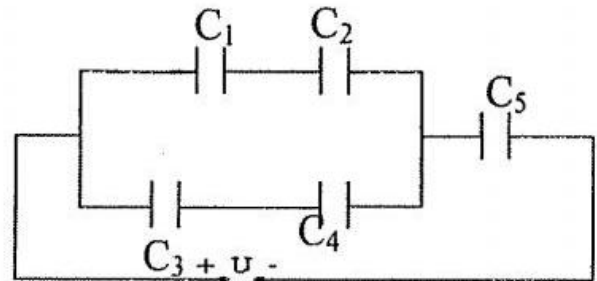
b) Khi K đóng:

Mạch gồm $(C_1 \text{ nt } C_2) // (C_3 \text{ nt } C_4) \text{ nt } C_5$ ta có:

$$\frac{1}{C_{12}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \Rightarrow C_{12} = \frac{1}{2} \mu\text{F}$$

$$\frac{1}{C_{34}} = \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} \Rightarrow C_{34} = \frac{1}{2} \mu\text{F}$$

$$C_{1234} = C_{12} + C_{34} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1 \mu\text{F}$$



$$\text{Điện dung tương đương: } \frac{1}{C} = \frac{1}{C_{1234}} + \frac{1}{C_5} \Rightarrow \frac{1}{C} = \frac{1}{1} + \frac{1}{1} \Rightarrow C = \frac{1}{2} \mu\text{F}$$

$$Q_5 = Q_{1234} = C \cdot U = \frac{1}{2} \cdot 15 = 7,5 \mu\text{C}; U_5 = \frac{Q_5}{C_5} = \frac{7,5}{1} = 7,5\text{V};$$

$$U_{1234} = \frac{Q_{1234}}{C_{1234}} = \frac{7,5}{1} = 7,5V; Q_1 = Q_2 = Q_{12} = C_{12} \cdot U_{1234} = \frac{1}{2} \cdot 7,5 = 3,75\mu C$$

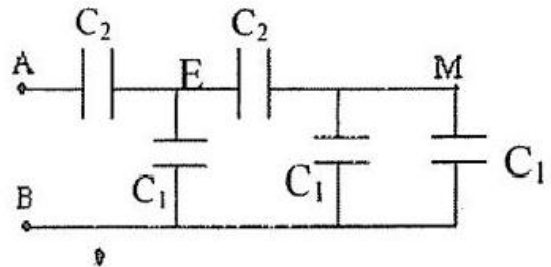
$$U_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{3,75}{1} = 3,75V; U_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{3,75}{1} = 3,75V$$

$$Q_3 = Q_4 = Q_{34} = C_{34} \cdot U_{1234} = \frac{1}{2} \cdot 7,5 = 3,75\mu C$$

$$U_3 = \frac{Q_3}{C_3} = \frac{3,75}{1} = 3,75V; U_4 = \frac{Q_4}{C_4} = \frac{3,75}{1} = 3,75V$$

Câu 14. Cho mạch tụ như hình vẽ: $C_2 = 2C_1$,

$U_{AB} = 16V$. Tính U_{MB} .



Hướng dẫn giải

Mạch gồm C_2 nt $[(C_2 \text{ nt } (C_1 // C_1)) // C_1]$ ta có:

$$C_{MB} = C_1 + C_1 = 2C_1; C_{EB} = C_1 + C_1 = 2C_1 = C_2$$

$$\text{Suy ra: } U_{MB} = \frac{U_{AB}}{4} = 4V$$

Câu 15. Cho bộ gồm 4 tụ giống nhau ghép như hình vẽ (theo hai cách khác nhau), biết điện dung mỗi tụ $C = 2\mu F$. Tính điện dung tương đương của bộ tụ trong mỗi trường hợp.

Hướng dẫn giải

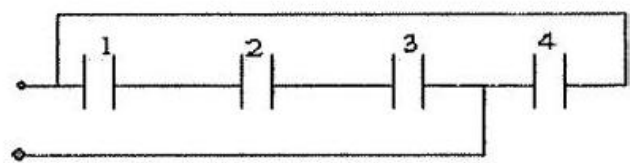
Ở hình a, mạch gồm $(C_1 \text{ nt } C_2 \text{ nt } C_3) // C_4$ ta có:

$$\frac{1}{C_{123}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

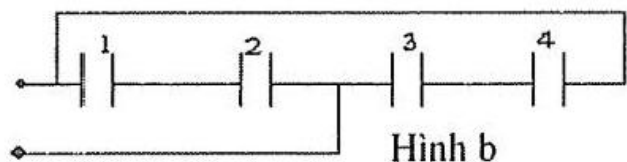
$$\Rightarrow \frac{1}{C_{123}} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = \frac{3}{2}$$

$$\Rightarrow C_{123} = \frac{2}{3}\mu F$$

$$C_{td} = C_{123} + C_4 = \frac{2}{3} + 2 = \frac{8}{3}\mu F$$



Hình a



Hình b

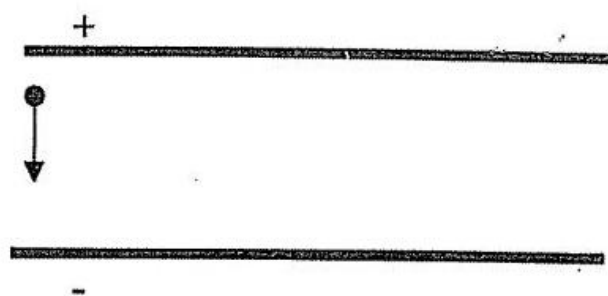
Ở hình b, mạch gồm $(C_1 \text{ nt } C_2) // (C_3 \text{ nt } C_4)$ ta có:

$$\frac{1}{C_{12}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \Rightarrow \frac{1}{C_{12}} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1 \Rightarrow C_{12} = 1\mu F$$

$$\frac{1}{C_{34}} = \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} \Rightarrow \frac{1}{C_{34}} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1 \Rightarrow C_{34} = 1\mu F$$

$$C_{td} = C_{12} + C_{34} = 1 + 1 = 2\mu F$$

Câu 16: Một hạt bụi có khối lượng là $m = 0,2\text{g}$ mang điện tích $q = 5 \cdot 10^{-6}\text{ C}$ đặt sát bản dương của tụ điện phẳng không khí. Hai bản tụ cách nhau $d = 5\text{cm}$ và hiệu điện thế giữa hai bản tụ là $U = 500\text{V}$. Tìm thời gian hạt bụi chuyển động giữa hai bản tụ và vận tốc của nó khi đến bản tụ âm. Bỏ qua tác dụng của trọng lực.



Hướng dẫn giải

Lực tác dụng lên hạt bụi lực điện $\vec{F}$.

Gia tốc mà hạt bụi thu được $a = \frac{F}{m} = \frac{|q|E}{m} = \frac{|q|U}{m \cdot d}$

Phương trình tọa độ của hạt bụi $x = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{|q|U}{m \cdot d} \cdot t^2$

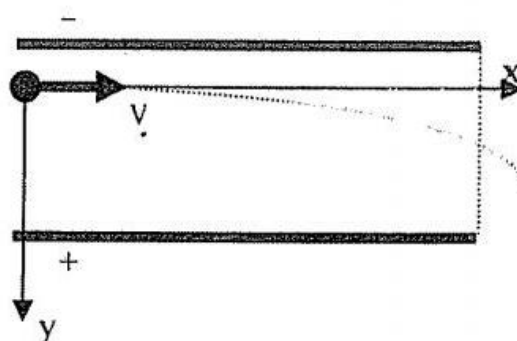
Suy ra thời gian hạt bụi chuyển động giữa hai bản:

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot d^2}{|q| \cdot U}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot (5 \cdot 10^{-2})^2}{5 \cdot 10^{-6} \cdot 500}} = 2 \cdot 10^{-2}\text{ s}$$

Vận tốc của hạt khi đến bản âm:

$$v = a \cdot t = \frac{|q|U}{m \cdot d} \cdot t = \frac{5 \cdot 10^{-6} \cdot 500}{0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^{-2}} \cdot 2 \cdot 10^{-2} = 5\text{ m/s}$$

Câu 17: Tụ điện phẳng không khí, hai bản tụ có khoảng cách $d = 1\text{cm}$, chiều dài mỗi bản tụ là $L = 5\text{cm}$, hiệu điện thế giữa hai bản tụ là $U = 91\text{V}$. Một electron bay vào điện trường giữa hai bản tụ theo phương song song với các bản tụ với vận tốc ban đầu $v_0 = 2 \cdot 10^7\text{ m/s}$ và bay ra khỏi điện trường của tụ. Bỏ qua tác dụng của trọng lực.



- Viết phương trình quỹ đạo của electron.
- Tìm độ dời của electron theo phương vuông góc với các bản tụ khi nó vừa bay ra khỏi tụ.
- Tính vận tốc của electron khi nó bay ra khỏi tụ.
- Tính công của lực điện trường khi electron bay trong tụ.

Hướng dẫn giải

Chọn gốc tọa độ O tại vị trí hạt electron bắt đầu đi vào tụ điện, trục tọa độ Ox cùng chiều với $\vec{v}_0$, trục Oy hướng từ bản âm sang bản dương. Gốc thời gian từ lúc hạt bắt đầu đi vào tụ điện.

Lực tác dụng lên hạt bụi là lực điện $\vec{F} = q\vec{E}$, $\vec{F}$ có hướng trùng với hướng của Oy.

Phương trình chuyển động của hạt $\vec{F} = m\vec{a}$

$$\begin{cases} F_x = 0 \\ F_y = F = ma_y \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = \frac{F}{m} = \frac{|q|E}{m} = \frac{|q|U}{m.d} \end{cases}$$

a) Phương trình tọa độ của electron:
$$\begin{cases} x = v_0 t \\ y = \frac{1}{2} a_y t^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{|q|U}{m.d} \cdot t^2 \end{cases}$$

Suy ra phương trình quỹ đạo của electron:
$$y = \frac{1}{2} \frac{a}{v_0^2} \cdot x^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{|q|U}{m.d.v_0^2} \cdot x^2$$

Thay số vào ta được:
$$y = \frac{1}{2} \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 91}{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 10^{-2} \cdot (2 \cdot 10^7)^2} \cdot x^2 = 2x^2$$

b) Độ di chuyển của electron:

Khi electron rời tụ: $x = L = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

Độ dời của electron theo phương Oy: $y = 2 \cdot (5 \cdot 10^{-2})^2 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 5 \text{ mm}$.

c) Vận tốc của electron khi rời tụ điện: $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$

Trong đó $v_x = v_0 = 2 \cdot 10^7 \text{ (m/s)}$.

$$v_y = a_y t = \frac{|q|U}{md} \cdot t = \frac{|q|U}{md} \cdot \frac{L}{v_0} = 0,4 \cdot 10^7 \text{ m/s}$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{(2 \cdot 10^7)^2 + (0,4 \cdot 10^7)^2} = 2,04 \cdot 10^7 \text{ m/s}$$

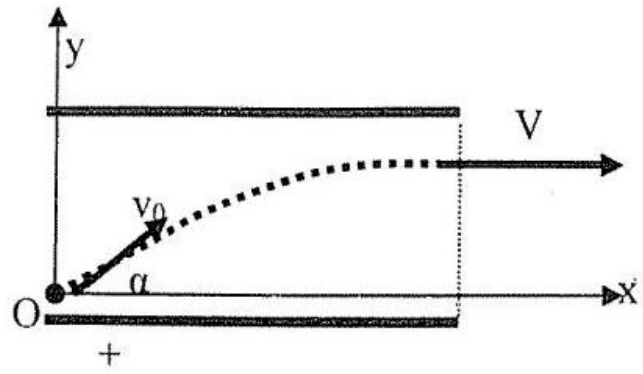
Gọi α là góc hợp bởi $\vec{v}$ và trục Ox khi electron rời khỏi tụ, ta có:

$$\tan \alpha = \frac{v_y}{v_x} = 0,2 \Rightarrow \alpha = 11^\circ$$

d) Công của lực điện trường khi electron bay trong tụ:

$$A = F \cdot y = |q| \cdot E \cdot y = |q| \cdot \frac{U}{d} \cdot y = 7,28 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

Câu 18: Một electron có động năng ban đầu là $W_0 = 1500\text{eV}$ bay vào trong điện trường của tụ điện phẳng theo hướng hợp với bản dương một góc 15° . Chiều dài mỗi bản tụ là $L = 5\text{cm}$, khoảng cách giữa hai bản tụ là $d = 1\text{cm}$. Tính hiệu điện thế giữa hai bản tụ để electron rời khỏi tụ theo phương song song với các bản tụ.



Hướng dẫn giải

Chọn gốc tọa độ O tại vị trí hạt electron bắt đầu đi vào tụ điện, trục tọa độ Ox cùng chiều với $\vec{v}_0$, trục Oy hướng từ bản dương sang bản âm (như hình vẽ). Gốc thời gian từ lúc hạt bắt đầu đi vào tụ điện.

Lực tác dụng lên hạt electron là lực điện $\vec{F} = q\vec{E}$, $\vec{F}$ có hướng ngược với hướng của Oy.

Phương trình chuyển động của hạt $\vec{F} = m\vec{a}$

$$\begin{cases} F_x = 0 \\ F_y = F = ma_y \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -\frac{F}{m} = -\frac{|q|E}{m} = -\frac{|q|U}{m.d} \end{cases}$$

Phương trình vận tốc của electron:
$$\begin{cases} v_x = v_0 \cdot \cos \alpha \\ v_y = a_y \cdot t + v_0 \sin \alpha = -\frac{|q|U}{m.d} \cdot t + v_0 \sin \alpha \end{cases}$$

Phương trình tọa độ của electron:
$$\begin{cases} x = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t \\ y = \frac{1}{2} a_y \cdot t^2 + v_0 \sin \alpha \cdot t = -\frac{1}{2} \cdot \frac{|q|U}{m.d} \cdot t^2 + v_0 \sin \alpha \cdot t \end{cases}$$

Suy ra phương trình quỹ đạo của electron:

$$y = -\frac{1}{2} \cdot \frac{|q|U}{m.d.v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} \cdot x^2 + \tan \alpha \cdot x$$

Điều kiện để hạt bụi rời tụ theo phương song song với các bản tụ là $v_y = 0$ khi $x = L$.

$$\text{Suy ra: } t = \frac{L}{v_0 \cdot \cos \alpha} \Rightarrow v_y = -\frac{|q|U}{m.d} \cdot \frac{L}{v_0 \cdot \cos \alpha} = 0 \Rightarrow m.v_0^2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha = \frac{eUL}{d}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2} m.v_0^2 \cdot \sin 2\alpha = \frac{eUL}{d} \Leftrightarrow W_0 \cdot \sin 2\alpha = \frac{eUL}{d}$$

$$\Rightarrow U = \frac{W_0 \cdot \sin 2\alpha \cdot d}{e.L} = \frac{1500 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,5 \cdot 10^{-2}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 5 \cdot 10^{-2}} = 150\text{V}$$