

CHƯƠNG 8

VẬT DẪN

Vật dẫn là những vật trong đó các điện tích có thể chuyển động tự do trong toàn bộ thể tích của vật. Vật dẫn có thể ở thể rắn, lỏng, hay khí. Trong chương này ta xét vật dẫn là kim loại. Đối với kim loại, các điện tích tự do chính là các electron hóa trị liên kết yếu với hạt nhân nên dễ dàng bứt khỏi nguyên tử để trở thành các electron tự do. Dưới tác dụng của điện trường ngoài, các electron tự do này sẽ chuyển dời có hướng để tạo thành dòng điện.

8.1. ĐIỀU KIỆN VÀ TÍNH CHẤT VẬT DẪN CÂN BẰNG TĨNH ĐIỆN

8.1.1. Định nghĩa

Một vật dẫn được tích điện mà các hạt mang điện của nó ở trạng thái đứng yên, được gọi là vật dẫn cân bằng tĩnh điện.

Trong kỹ thuật, vật dẫn cân bằng tĩnh điện là vật dẫn được nạp điện tích (thừa hoặc thiếu electron) hoặc vật dẫn được đặt trong điện trường khi tất cả điện tích trong nó đã đứng yên.

8.1.2. Điều kiện cân bằng tĩnh điện

1. Vector cường độ điện trường tại mọi điểm bên trong vật dẫn phải bằng không.

$$\vec{E}_{tr} = 0. \quad (8-1)$$

Thật vậy, nếu cường độ điện trường trong vật dẫn khác không thì dưới tác dụng của điện trường này các electron sẽ dịch chuyển, cân bằng tĩnh điện sẽ không còn nữa.

2. Thành phần tiếp tuyến của vector cường độ điện trường tại mọi điểm trên mặt vật dẫn phải bằng không.

$$\vec{E}_t = 0. \quad (8-2)$$

Nếu $\vec{E}_t \neq 0$ thì các electron tự do trên bề mặt vật dẫn sẽ chuyển dời có hướng, và do đó trái với điều kiện điện tích nằm cân bằng.

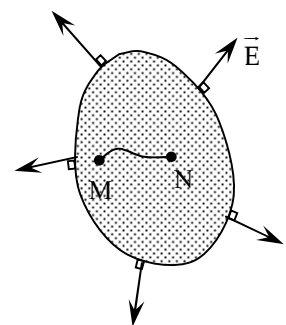
Ta có:

$$\vec{E} = \vec{E}_t + \vec{E}_n = \vec{E}_n. \quad (8-3)$$

Do đó, vector cường độ điện trường vuông góc với mặt vật dẫn tại mọi điểm.

8.1.3. Tính chất của vật dẫn cân bằng tĩnh điện

1. Vật dẫn là một khối đẳng thế



Hình 8-1. Tính chất của vật dẫn mang điện.

Xét hai điểm M và N bất kì trên vật dẫn. Hiệu điện thế giữa hai điểm M và N là:

$$V_M - V_N = \int_M^N \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = \int_M^N E_t \cdot d\ell, \quad (8-4)$$

trong đó E_t là hình chiếu của \vec{E} trên phương chuyển dời $d\vec{\ell}$.

Ở bên trong vật dẫn $\vec{E} = \vec{0}$, do đó $V_M = V_N$. Tuy nhiên, M và N là hai điểm bất kì nên ta cũng suy ra mọi điểm bên trong vật dẫn đều có cùng điện thế.

Trường hợp M và N ở trên bề mặt vật dẫn. Vì $E_t = 0$ nên ta cũng suy ra: Điện thế tại mọi điểm trên mặt vật dẫn đều bằng nhau.

Ngoài ra, do tính liên tục của điện thế nên điện thế tại một điểm sát mặt vật dẫn sẽ bằng điện thế tại một điểm trên mặt vật dẫn.

Vậy: *Vật dẫn cân bằng tĩnh điện là một khối đẳng thế. Mặt vật dẫn là một mặt đẳng thế.*

2. Điện tích q của vật chỉ được phân bố trên bề mặt; bên trong vật dẫn, điện tích bằng không

Trong phần trước ta biết rằng, các điện tích cùng dấu sẽ đẩy nhau. Do đó, nếu vật dẫn có chứa một lượng điện tích dư q thì các điện tích cùng dấu này sẽ đẩy nhau đến vị trí xa nhất có thể. Điều này chỉ có thể đạt được khi các điện tích được phân bố trên mặt ngoài vật dẫn. Ở đây, ta sẽ sử dụng định lý Ostrogradsky-Gauss để kiểm nghiệm lại lý luận trên.

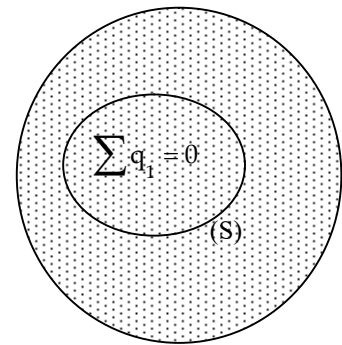
Xét một mặt Gauss S bất kì ở bên trong vật dẫn. Theo định lý Ostrogradsky-Gauss ta có:

$$\Phi_e = \oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \sum_i q_i \quad (8-5)$$

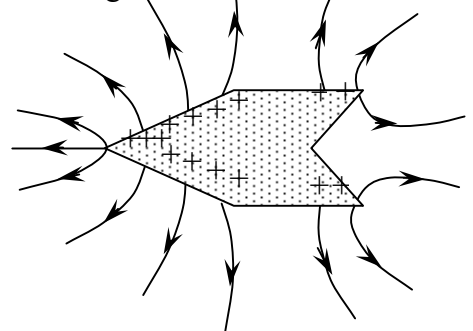
Do vật dẫn ở điều kiện cân bằng tĩnh điện, bên trong vật dẫn $\vec{D} = \epsilon\epsilon_0 \vec{E} = \vec{0}$, nên $\sum_i q_i = 0$.

Vì mặt S có thể chọn bất kì nên ta có kết luận: *Tổng đại số điện tích bên trong vật dẫn bằng không.* Nếu truyền cho vật dẫn một lượng điện tích nào đó thì điện tích này sẽ chuyển ra bề mặt vật dẫn và chỉ được phân bố trên bề mặt vật dẫn đó. Dựa trên tính chất này mà người ta chế tạo ra máy phát tĩnh điện Van de Graaff, cho phép tạo ra hiệu điện thế đến hàng triệu vôn.

Từ kết quả trên ta có nhận xét: Nếu ta khoét rỗng một vật dẫn đặc đã cân bằng điện thì sự phân bố điện tích trên mặt vật dẫn vẫn không thay đổi. Như vậy, *điện trường ở phần rỗng và thành trong của vật dẫn rỗng cũng luôn luôn bằng không.* Tính chất này làm cho vật dẫn rỗng có tác dụng như một màn bảo vệ những vật nằm trong phần rỗng của vật dẫn không bị ảnh hưởng của điện trường ngoài. Vì



Hình 8-2. Điện tích chỉ tập trung trên bề mặt của vật dẫn.



Hình 8-3. Sự phân bố điện tích trên vật dẫn.

thể, vật dẫn rỗng còn được gọi là *màn điện*.

3. Sự phân bố điện tích phụ thuộc vào hình dạng và tính chất của bề mặt vật dẫn

Lí thuyết và thực nghiệm chứng tỏ rằng, trên những vật dẫn có hình dạng đối xứng cao và đồng chất như mặt cầu, mặt phẳng vô hạn,... điện tích được phân bố đều trên mặt.

Đối với những vật dẫn có hình dạng bất kì thì điện tích phân bố không đều trên mặt. Nơi nào của vật dẫn có bán kính cong nhỏ thì mật độ điện tích sẽ lớn, đặc biệt là ở những mũi nhọn; ở những chỗ có bán kính cong lớn, điện tích hầu như bằng không. Chính tính chất này của vật dẫn tạo nên một hiện tượng được gọi là *hiệu ứng mũi nhọn*.

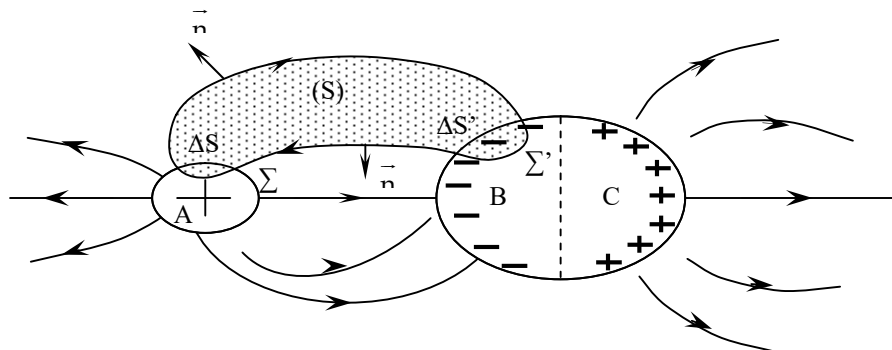
Tại những mũi nhọn của vật dẫn, do điện tích tập trung nhiều nên điện trường ở vùng xung quanh mũi nhọn rất lớn. Dưới tác dụng của điện trường này các ion dương và electron có sẵn trong không khí được gia tốc và nhanh chóng đạt vận tốc lớn. Các hạt này lại tiếp tục gây ion hóa lớp không khí xung quanh mũi nhọn. Các hạt mang điện tích trái dấu với điện tích trên mũi nhọn sẽ bị mũi nhọn hút vào, do đó điện tích trên mũi nhọn sẽ mất dần. Ngược lại, các hạt mang điện tích cùng dấu với điện tích trên mũi nhọn sẽ bị đẩy ra xa. Chúng kéo theo các phân tử không khí, tạo nên một luồng gió, gọi là *gió điện*. Hiện tượng mũi nhọn bị mất dần điện tích và tạo thành gió điện được gọi là hiệu ứng mũi nhọn.

Trong kĩ thuật, để tránh mất mát điện do hiệu ứng mũi nhọn gây ra, người ta thường chế tạo các bộ phận kim loại của máy ở dạng mặt cầu hay những mặt có bán kính cong lớn. Ngược lại, trong nhiều trường hợp, người ta sử dụng hiệu ứng mũi nhọn để phóng nhanh điện tích tập trung ở vật ra ngoài khí quyển như: cột chống sét, giải phóng điện trên thân máy bay,...

8.2. HIỆN TƯỢNG ĐIỆN HƯỞNG

8.2.1. Hiện tượng điện hưởng

Đặt một vật dẫn trung hòa điện BC trong điện trường ngoài \vec{E}_0 gây bởi quả cầu kim loại mang điện dương A. Dưới tác dụng của lực điện trường \vec{E}_0 , các electron trong vật dẫn BC sẽ chuyển dời có hướng, ngược chiều điện trường. Kết quả là trên các mặt giới hạn B, C của vật dẫn xuất hiện các điện tích trái dấu, được gọi là *các điện tích cảm ứng*.



Hình 8-4. Hiện tượng điện hưởng.

Hiện tượng các điện tích cảm ứng xuất hiện trên vật dẫn khi đặt trong điện trường ngoài được gọi là hiện tượng điện hưởng.

Các điện tích cảm ứng gây ra bên trong vật dẫn một điện trường phụ \vec{E}' tăng dần và ngược chiều với điện trường ngoài \vec{E}_0 . Khi điện trường tổng hợp $\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}'$ trong vật dẫn bằng không thì các điện tích sẽ ngừng chuyển động. Lúc đó, đường sức điện trường ở ngoài vuông góc với mặt vật dẫn, nghĩa là trạng thái cân bằng tĩnh điện được thiết lập.

Như vậy, do hiện tượng điện hưởng mà điện phổ của điện trường ngoài đã bị thay đổi. Các đường sức vuông góc và tận cùng trên mặt B có điện tích cảm ứng âm và xuất phát từ mặt C có điện tích cảm ứng dương. Vì thế, điện tích trên vật mang điện A và điện tích cảm ứng có mối quan hệ với nhau. Để thiết lập mối quan hệ đó người ta chứng minh *định lí các phần tử tương ứng*.

8.2.2. Định lí các phần tử tương ứng

Xét một tập hợp các đường cảm ứng điện xuất phát từ một phần tử điện tích ΔS của vật mang điện A và đến tận cùng trên phần tử điện tích $\Delta S'$ của vật BC. Các phần tử điện tích ΔS và $\Delta S'$ được chọn như trên gọi là *các phần tử tương ứng*.

Ta tưởng tượng vẽ một mặt kín (S) hợp bởi ống các đường cảm ứng điện và hai mặt Σ, Σ' lấy trong các vật A và BC: Mặt Σ tựa trên chu vi của ΔS , mặt Σ' tựa trên chu vi của $\Delta S'$.

Theo định lí Ostrogradsky-Gauss ta có:

$$\Phi_e = \oint_{(S)} \vec{D} \cdot d\vec{S} = \oint_{(S)} D_n \cdot dS = \sum_i q_i = \Delta q - \Delta q', \quad (8-6)$$

trong đó $\Delta q, -\Delta q'$ tương ứng là điện tích trên ΔS và $\Delta S'$.

Chú ý rằng, tại mọi điểm trên mặt ống đường cảm ứng điện $D_n = 0$, còn tại những điểm nằm trên các mặt Σ, Σ' ở trong vật dẫn A và BC thì $D = 0$. Do đó:

$$\Phi_e = \Delta q - \Delta q' = 0. \quad (8-7)$$

$$\text{hay: } \Delta q = \Delta q'. \quad (8-8)$$

Vậy: *Điện tích cảm ứng trên các phần tử tương ứng có độ lớn bằng nhau và trái dấu.*

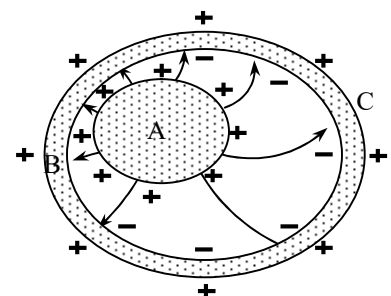
8.2.3. Điện hưởng một phần và điện hưởng toàn phần

1. Điện hưởng một phần

Gọi q là điện tích của vật mang điện A (hình 8-4), $-q'$ và $+q'$ lần lượt là điện tích cảm ứng xuất hiện tại đầu B và C của vật dẫn BC. Trong trường hợp này ta nhận thấy, chỉ một số đường cảm ứng điện xuất phát từ A tới tận cùng trên vật dẫn BC, một số khác đi ra xa vô cùng. Hiện tượng này gọi là *hiện tượng điện hưởng một phần*.

Sử dụng định lí các phần tử tương ứng ta thu được:

$$q' < q. \quad (8-9)$$



Hình 8-5 Điện hưởng toàn phần.

Vậy, trong trường hợp điện hưởng một phần, độ lớn của điện tích cảm ứng nhỏ hơn độ lớn điện tích trên vật mang điện.

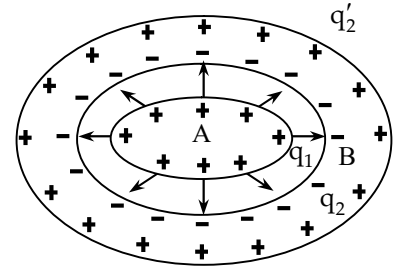
2. Điện hưởng toàn phần

Xét trường hợp vật mang điện A được bao bọc hoàn toàn bởi vật dẫn BC (hình 8-5). Khi đó, toàn bộ đường cảm ứng điện xuất phát từ A đều tận cùng trên vật dẫn BC. Khi này, ta có hiện tượng điện hưởng toàn phần.

Trong trường hợp này, định lý các phân tử tương ứng cho ta:

$$q' = q. \quad (8-10)$$

Vậy, trong trường hợp điện hưởng toàn phần, độ lớn của điện tích cảm ứng bằng độ lớn điện tích trên vật mang điện.



Hình 8- 6. Tự điện.

Màn chắn tĩnh điện

Dựa vào hiện tượng điện hưởng, người ta dùng màn chắn tĩnh điện (là hộp hoặc lưới kim loại) để bảo vệ thiết bị điện (đặc biệt là thiết bị vô tuyến) khỏi tác động của điện trường bên ngoài, nếu không dùng sẽ bị nhiễu rất mạnh. Trường hợp điện trường ngoài không quá mạnh, màn chắn chỉ cần có dạng lưới (ví dụ ở vỏ cáp điện, các dây điện thoại, dây micro, đèn điện tử thường được bọc ngoài bằng lưới thép) cũng đủ làm triệt tiêu ảnh hưởng của điện trường gây nhiễu.

Chú ý rằng màn chắn tĩnh điện chỉ ngăn cản không cho điện trường từ bên ngoài xâm nhập vào trong. Nếu đặt điện tích Q bên trong màn chắn thì do hiện tượng điện hưởng, mặt trong của màn chắn sẽ tích điện trái dấu với Q, còn mặt ngoài sẽ tích điện cùng dấu với Q. Khi đó phía ngoài màn chắn vẫn có điện trường (tức là màn mất tác dụng “chắn”).

8.3. ĐIỆN DUNG CỦA VẬT DẪN CÔ LẬP - TỰ ĐIỆN

8.3.1. Điện dung của vật dẫn cô lập

Một vật dẫn được gọi là cô lập về điện nếu nó không chịu ảnh hưởng điện của các vật mang điện khác.

Xét một vật dẫn cô lập trung hòa điện. Nếu ta tích cho nó một điện tích Q thì, theo như phân trên, điện tích này sẽ phân bố ở ngoài mặt vật dẫn sao cho điện trường bên trong vật dẫn bằng không. Vật dẫn khi này là một khối đẳng thế với điện thế bằng V. Thực nghiệm chứng tỏ rằng, nếu tăng thêm điện tích Q cho vật dẫn thì điện thế V cũng tăng nhưng tỉ số $\frac{Q}{V}$ luôn không đổi và bằng một hằng số C nào đó, được gọi là *điện dung* của vật dẫn cô lập. Ta có:

$$\frac{Q}{V} = C \quad (8-11)$$

hay:

$$Q = C.V. \quad (8-12)$$

Điện dung C phụ thuộc vào hình dạng, kích thước và tính chất của môi trường bao quanh vật dẫn.

Từ biểu thức trên ta nhận thấy, nếu cho $V = 1$ đơn vị điện thế thì $C = Q$. Vậy, *điện dung của một vật dẫn cô lập là một đại lượng về giá trị bằng điện tích cần truyền cho vật dẫn để điện thế của vật dẫn tăng lên một đơn vị điện thế.*

Như vậy, với cùng một điện thế V , vật nào có điện dung lớn hơn thì vật đó sẽ tích được một điện tích lớn hơn. Tức là, *điện dung của một vật dẫn là đại lượng đặc trưng cho khả năng tích điện của vật dẫn đó.*

Đơn vị của điện dung trong hệ SI: Fara (kí hiệu là F).

Đơn vị fara rất lớn, do đó trong thực tế người ta thường dùng các đơn vị ước của fara là microfara ($1\mu F = 10^{-6} F$), nanofara ($1nF = 10^{-9}F$), picofara ($1pF = 10^{-12}F$).

Để có cái nhìn rõ hơn về độ lớn của một đơn vị fara cũng như cách tính điện dung ta xét thí dụ sau:

Thí dụ: Tính điện dung của quả cầu kim loại bán kính R đặt trong một môi trường đồng nhất có hằng số điện môi ϵ .

Gọi Q là điện tích quả cầu. Theo tính chất của vật dẫn mang điện thì điện tích Q sẽ được phân bố đều trên mặt của quả cầu kim loại; điện thế tại mọi điểm của quả cầu là như nhau và bằng điện thế do điện tích Q , coi như đặt tại tâm quả cầu, gây ra tại điểm cách tâm một khoảng bằng bán kính R .

$$V = \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R}. \quad (8-13)$$

Vậy, điện dung của quả cầu kim loại là:

$$C = \frac{Q}{V} = 4\pi\epsilon\epsilon_0 R. \quad (8-14)$$

Giả sử quả cầu đặt trong không khí ($\epsilon = 1$). Nếu cho $C = 1F$ thì:

$$R = \frac{C}{4\pi\epsilon\epsilon_0} = 9.10^9 \text{ m}.$$

Với bán kính Trái Đất khoảng $R_{TD} \approx 6400\text{km}$ ta nhận thấy, để quả cầu kim loại có điện dung bằng $1F$ thì nó cần có bán kính gấp khoảng $\frac{R}{R_{TD}} \approx 1400$ lần bán kính Trái Đất!

8.3.2. Tụ điện

1. Định nghĩa

Tụ điện là một hệ gồm hai vật dẫn đặt cách điện nhưng rất gần nhau sao cho chúng ở trạng thái điện hưởng toàn phần.

2. Tính chất Xét tụ điện gồm hai vật dẫn A và B sao cho vật dẫn B bao bọc hoàn toàn vật dẫn A , khi đó hai vật dẫn A, B ở trạng thái điện hưởng toàn phần (hình 8-6).

Giả sử vật dẫn A tích điện q_1 (ở mặt ngoài) trên mặt trong của vật dẫn B xuất hiện điện tích q_2 và trên mặt ngoài của vật dẫn B xuất hiện điện tích q_2' . Khi đó, ta có một số tính chất sau:

Tính chất 1: $q_1 + q_2 = 0$. (8-15)

Tính chất 2:

Đối với tụ điện, mặt ngoài vật B thường được nối với đất nên điện tích q_2' bị triệt tiêu. Gọi V_1, V_2 lần lượt là điện thế của 2 vật dẫn A và B, khi đó ta có các hệ thức sau:

$$q_1 = C(V_1 - V_2) \text{ và } q_2 = -q_1 = -C(V_1 - V_2) \quad (8-16)$$

C được gọi là *điện dung của tụ điện*.

Đặt $q = q_1 = -q_2$ là *điện tích của tụ điện* và $U = V_1 - V_2$ là hiệu điện thế giữa bản tích điện dương và bản tích điện âm. Khi đó, các hệ thức (hình 8-6) có thể được viết lại:

$$q = CU. \quad (8-17)$$

Điện thế của bản tích điện dương cao hơn điện thế của bản tích điện âm.

Thật vậy, trong tụ điện $C > 0$, do đó nếu $q_1 > 0$ thì $V_1 > V_2$.

8.3.3. Điện dung của một số tụ điện

1. Tụ điện phẳng

Là hệ hai mặt phẳng kim loại có cùng diện tích S đặt song song cách nhau một khoảng d (hình 8-7) rất nhỏ so với kích thước mỗi bản.

Điện dung của tụ phẳng: $C = \frac{Q}{U} = \frac{Q}{Ed} = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$ (8-17)

2. Tụ điện cầu: Hai bản tụ là hai mặt cầu đồng tâm

Hiệu điện thế giữa hai bản tụ:

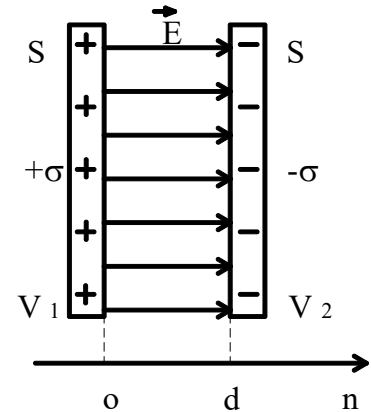
$$V_1 - V_2 = \frac{Q(R_2 - R_1)}{4\pi\epsilon_0\epsilon R_1 R_2}, \text{ điện dung của tụ: } C = \frac{Q}{V_1 - V_2} = \frac{4\pi\epsilon_0\epsilon R_1 R_2}{R_2 - R_1}, \text{ nếu } R_2 - R_1 = d \text{ rất nhỏ so}$$

với R_1 thì có thể coi $R_2 \approx R_1$ và khi đó: $C = \frac{4\pi\epsilon_0\epsilon R_1^2}{d} = \frac{\epsilon_0\epsilon S}{d}$

3. Tụ điện trụ: Hai bản tụ là mặt trụ đồng trục

Nếu chiều cao l rất lớn so với các bán kính R_1, R_2 của trụ thì coi như điện trường giữa hai bản tụ như điện trường gây bởi hai mặt trụ mang điện dài vô hạn:

$$V_1 - V_2 = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0\epsilon} \ln \frac{R_2}{R_1} \rightarrow C = \frac{Q}{V_1 - V_2} = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon l}{\ln \frac{R_2}{R_1}}$$



Hình 8-7. Tụ điện phẳng

Nếu $d = R_2 - R_1$ rất nhỏ so với R_1 thì:

$$\ln \frac{R_2}{R_1} = \ln \left(1 + \frac{R_2 - R_1}{R_1} \right) \approx \frac{R_2 - R_1}{R_1} = \frac{d}{R} \rightarrow C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$$

8.3.4. Cách ghép các tụ điện

Mỗi tụ điện chỉ chịu được một hiệu điện thế tối đa nhất định nào đó. Tùy theo yêu cầu sử dụng, có khi cần những điện dung khác nhau, hoặc những hiệu điện thế khác nhau. Do đó cần phải ghép các tụ điện: ghép song song, ghép nối tiếp hoặc ghép hỗn hợp.

1. Ghép song song

Trong cách ghép này, người ta nối tất cả các bản tích điện dương của các tụ vào một cực, tất cả các bản âm của các tụ vào một cực khác. Giả sử các bản dương được nối vào cực A có điện thế V_1 , các bản âm được nối vào cực B có điện thế V_2 . Như vậy các tụ điện đều có chung một hiệu thế $U = V_1 - V_2$. Đó chính là hiệu thế của cả hệ: $U_{\text{hệ}} = U$

Cụ thể, ta ghép song song hai tụ điện có điện dung lần lượt là C_1 và C_2 . Tụ 1 có điện tích trên các bản là Q_1 và $-Q_2$. Điện tích của cả hệ tụ điện bằng:

$$Q_{\text{hệ}} = Q_1 + Q_2$$

Điện dung Của của cả hệ các tụ mắc song song bằng:

$$C_{\text{hệ}} = \frac{Q_{\text{hệ}}}{U_{\text{hệ}}} = \frac{Q_1}{U_{\text{hệ}}} + \frac{Q_2}{U_{\text{hệ}}} = C_1 + C_2$$

Nếu hệ gồm n tụ mắc song song thì:

$$C_{\text{hệ}} = C_1 + C_2 + \dots + C_n = \sum_{i=1}^n C_i \quad (8-18)$$

$$\text{Còn } U_{\text{hệ}} = U_1 = U_2 = \dots = U_n \quad (8-19)$$

2. Ghép nối tiếp:

Trong cách ghép này, bản thứ hai của tụ 1 được nối với bản thứ nhất của tụ 2, còn bản thứ hai của tụ 2 được nối với bản thứ nhất của tụ 3.v.v.. Bản thứ nhất của tụ 1 được nối vào cực dương của nguồn, còn bản thứ hai của tụ cuối được nối với cực âm của nguồn. Giả sử các tụ ban đầu chưa được tích điện. Vì mỗi tụ điện là một hệ hai bản vật dẫn hưởng ứng tĩnh điện toàn phần với nhau, nên đối với hệ tụ ban đầu chưa tích điện mắc nối tiếp với nhau, dựa vào định luật bảo toàn điện tích ta sẽ dễ dàng tìm được điện tích của mỗi tụ trong hệ, khi mắc vào nguồn, đều bằng nhau và bằng điện tích của hệ, cụ thể là:

$$Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n = Q_{\text{hệ}}$$

Hiệu điện thế giữa hai bản của mỗi tụ được tính bằng:

$$U_1 = \frac{Q_1}{C_1}; \quad U_2 = \frac{Q_2}{C_2}; \dots; \quad U_n = \frac{Q_n}{C_n}$$

Hiệu điện thế ở hai đầu bộ tụ mắc nối tiếp bằng tổng hiệu điện thế của mỗi tụ:

$$U_{\text{hệ}} = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

Điện dung $C_{\text{hệ}}$ bằng:
$$C_{\text{hệ}} = \frac{Q_{\text{hệ}}}{U_{\text{hệ}}} = \frac{Q_{\text{hệ}}}{U_1 + U_2 + \dots + U_n}$$

Lấy nghịch đảo hai vế đẳng thức trên ta được:

$$\frac{1}{C_{\text{hệ}}} = \frac{U_1}{Q_{\text{hệ}}} + \frac{U_2}{Q_{\text{hệ}}} + \dots + \frac{U_n}{Q_{\text{hệ}}}$$

$$\frac{1}{C_{\text{hệ}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} \quad (8-20)$$

3. Ghép hỗn hợp

Hệ vừa ghép song song vừa ghép nối tiếp. Để tìm điện dung C hệ của hệ này ta sử dụng lần lượt hai cách ghép trên.

8.4. NĂNG LƯỢNG ĐIỆN TRƯỜNG

8.4.1. Năng lượng tương tác của một hệ điện tích điểm

Xét hệ gồm hai điện tích điểm q_1 và q_2 cách nhau một khoảng r trong không gian. Thế năng của q_1 trong điện trường của điện tích điểm q_2 là:

$$W = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 \cdot q_2}{r} \quad (8-21)$$

Đây cũng chính là biểu thức thế năng của q_2 trong điện trường của điện tích điểm q_1 . Ta gọi W là thế năng tương tác hay năng lượng tương tác điện của hệ hai điện tích điểm q_1 và q_2 .

Ta có:
$$W = \frac{1}{2} q_1 \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2}{r_{21}} \right) + \frac{1}{2} q_2 \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{r_{12}} \right) = \frac{1}{2} (q_1 V_1 + q_2 V_2) \quad (8-22)$$

Trong trường hợp hệ gồm n điện tích điểm $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$, năng lượng tương tác điện của hệ được cho bởi:
$$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i V_i \quad (8-23)$$

trong đó, V_i là điện thế tại điểm đặt điện tích q_i gây ra bởi $(n-1)$ điện tích còn lại.

8.4.2. Năng lượng tương tác của một vật dẫn cô lập tích điện

Xét một vật dẫn cô lập tích điện. Để tính năng lượng tương tác điện của vật dẫn này, ta chia vật thành những điện tích điểm dq .

Do vật dẫn tích điện là một vật đẳng thế ($V = \text{const}$) nên năng lượng điện của vật dẫn là:

$$W = \frac{1}{2} \int V dq = \frac{1}{2} V \int dq = \frac{1}{2} V q = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} \quad (8-24)$$

trong đó $q = CV$ là điện tích của vật dẫn, C là điện dung vật dẫn đó.

8.4.3. Năng lượng tụ điện

Tụ điện là hệ gồm hai vật dẫn tích điện có điện tích là q_1, q_2 và điện thế là V_1, V_2 . Theo trên, ta có năng lượng của tụ điện tích điện là:

$$W = \frac{1}{2}(q_1 V_1 + q_2 V_2) \quad (8-25)$$

trong đó $q_1 = -q_2 = q$ (giả sử $q > 0$).

$$\text{Vậy: } W = \frac{1}{2}q(V_1 - V_2) = \frac{1}{2}qU = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} = \frac{1}{2}CU^2 \quad (8-26)$$

8.4.4. Năng lượng điện trường

Xét một tụ điện phẳng có điện dung C cho bởi: $C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$

Năng lượng của tụ điện là:

$$W = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d} \right) U^2 \quad (8-27)$$

Mặt khác, ta có $U = Ed$ nên:

$$W = \frac{1}{2} \epsilon\epsilon_0 E^2 (S.d) = \frac{1}{2} \epsilon\epsilon_0 E^2 \Delta V \quad (8-28)$$

trong đó ΔV là thể tích không gian giữa hai bản, hay *thể tích không gian điện trường*.

Người ta cho rằng, *năng lượng của tụ điện chính là năng lượng của điện trường định xứ trong khoảng không gian giữa hai bản tụ điện*.

Mặt khác, vì điện trường của tụ là điện trường đều nên năng lượng của điện trường được phân bố đều trong khoảng không gian giữa các bản tụ. Vậy, *mật độ năng lượng điện trường, là năng lượng định xứ trong một đơn vị thể tích của không gian điện trường*, cho bởi:

$$W_e = \frac{W}{\Delta V} = \frac{1}{2} \epsilon\epsilon_0 E^2 \quad (8-29)$$

Kết quả này thu được đối với điện trường đều trong khoảng không gian giữa hai bản tụ điện nhưng vẫn đúng đối với điện trường bất kì.

Ta đi đến một số kết luận sau:

- *Điện trường mang năng lượng: năng lượng này định xứ trong không gian điện trường.*
- *Mật độ năng lượng điện trường tại một điểm là:*

$$W_e = \frac{1}{2} \epsilon\epsilon_0 E^2 = \frac{1}{2} \frac{D^2}{\epsilon\epsilon_0} = \frac{1}{2} ED = \frac{1}{2} \vec{E} \vec{D} \quad (8-30)$$

Như vậy, năng lượng điện trường định xứ trong một thể tích hữu hạn V là:

$$W = \int_V \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} dV = \int_V \frac{DE}{2} dV \quad (8-31)$$

8.5. DÒNG ĐIỆN KHÔNG ĐỔI

8.5.1. Bản chất của dòng điện

Dòng các hạt điện chuyển động có hướng gọi là dòng điện, còn các hạt điện được gọi chung là hạt tải điện.

Bản chất của dòng điện trong các môi trường khác nhau cũng khác nhau.

- **Trong kim loại:** vì chỉ có electron hoá trị là tự do nên dưới tác dụng của điện trường ngoài chúng sẽ chuyển động có hướng để tạo thành dòng điện.

- **Trong chất điện phân:** do các quá trình tương tác, các phân tử tự phân ly thành các ion dương và các ion âm. Dưới tác dụng của điện trường ngoài các ion này chuyển động có hướng để tạo thành dòng điện.

- **Trong chất khí:** khi có kích thích của bên ngoài (chiếu bức xạ năng lượng cao, phóng điện.v.v...) các phân tử khí có thể giải phóng electron. Các electron này có thể kết hợp với các phân tử trung hoà để tạo thành các ion âm. Như vậy trong khí bị kích thích có thể tồn tại các hạt tích điện là ion âm, ion dương và electron. Dưới tác dụng của điện trường ngoài, các hạt tích điện này sẽ chuyển động có hướng để tạo thành dòng điện.

Quy ước về chiều của dòng điện: là chiều chuyển động của các hạt điện dương dưới tác dụng của điện trường, hay ngược chiều với chiều chuyển động của các hạt điện âm.

Chú ý: Dưới tác dụng của điện trường ngoài, các hạt điện tự do sẽ chuyển động có hướng. Quỹ đạo của hạt điện trong môi trường dẫn được gọi là **đường dòng**. Tập hợp các đường dòng tựa trên một đường cong kín tạo thành một **ống dòng** (xem hình 8-8). Đây là hai khái niệm cần thiết để xây dựng hai đại lượng đặc trưng của dòng điện là cường độ dòng điện và véctơ mật độ dòng điện.

8.5.2. Các đại lượng đặc trưng của dòng điện không đổi

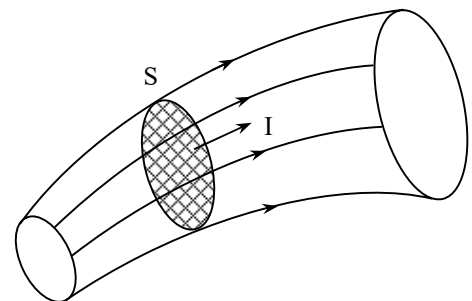
1. Cường độ dòng điện

Xét một diện tích S bất kì trong môi trường có dòng điện chạy qua. Ta có định nghĩa sau:

Cường độ dòng điện qua diện tích S là một đại lượng có trị số bằng điện lượng chuyển qua diện tích ấy trong một đơn vị thời gian. Nếu phương chiều và cường độ dòng điện không thay đổi theo thời gian thì dòng điện được gọi là *dòng điện không đổi*. Đối với dòng điện này ta có $i = I = \text{const}$.

Từ định nghĩa cường độ dòng điện, ta có thể suy ra điện lượng q chuyển qua diện tích S trong một khoảng thời gian t là:

$$q = \int_0^t dq = \int_0^t i dt. \quad (8-32)$$



Hình 8-8 Ống dòng

$$\text{Đối với dòng điện không đổi: } q = \int_0^t i dt = I \int_0^t dt = It.$$

$$i = \frac{dq}{dt}. \quad (8-33)$$

Nếu trong vật dẫn có hai loại hạt điện chuyển động và giả sử trong thời gian dt , qua diện tích S của vật dẫn, dòng hạt điện dương chuyển qua điện lượng dq_1 , dòng hạt điện âm chuyển qua điện lượng có độ lớn dq_2 theo chiều ngược lại, thì cường độ dòng điện qua diện tích S là:

$$i = \frac{dq_1}{dt} + \frac{dq_2}{dt}. \quad (8-34)$$

2. Vectơ mật độ dòng điện

Cường độ dòng điện là một đại lượng vô hướng, đặc trưng cho độ mạnh của dòng điện qua một diện tích cho trước. Để đặc trưng cho phương, chiều và độ mạnh của dòng điện tại từng điểm của môi trường có dòng điện chạy qua người ta đưa ra một đại lượng khác là vectơ mật độ dòng điện \vec{j}

Xét diện tích nhỏ dS_n đặt tại điểm M và vuông góc với phương chuyển động của dòng các hạt điện qua diện tích ấy.

Định nghĩa: Vectơ mật độ dòng điện \vec{j} tại một điểm M là một vectơ có:

- **Điểm đặt** tại điểm M .
- **Hướng (phương, chiều)** là hướng chuyển động của các hạt điện tích

dương đi qua tiết diện dS_n , chứa điểm M .

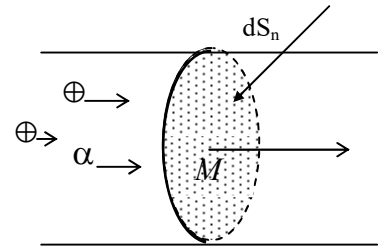
- **Độ lớn** bằng cường độ dòng điện qua một đơn vị diện tích đặt vuông góc với hướng ấy, tức là:

$$j = dI/dS_n \quad (8-35)$$

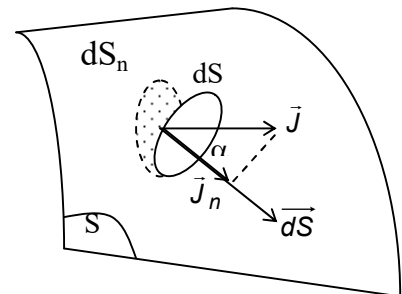
Đơn vị: Trong hệ SI, đơn vị đo của mật độ dòng điện là ampe/mét vuông, kí hiệu A/m^2 .

Để tính cường độ dòng điện qua một diện tích bất kỳ của môi trường, ta làm như sau:

Chia diện tích S bất kỳ thành những phần tử diện tích vô cùng nhỏ dS (hình 8 - 10), khi đó có thể xem vectơ mật độ dòng điện trên diện tích dS là không đổi ($\vec{j} = \overrightarrow{const}$).



Hình 8-9
Vectơ mật độ dòng



Hình 8-10
Dòng điện qua dS

Nếu gọi dS_n là hình chiếu của diện tích dS trên mặt phẳng vuông góc với đường dòng (tức là vuông góc với \vec{j}) thì ta nhận thấy rằng cường độ dòng điện qua dS cũng bằng cường độ dòng điện qua dS_n và bằng $dI = j dS_n$.

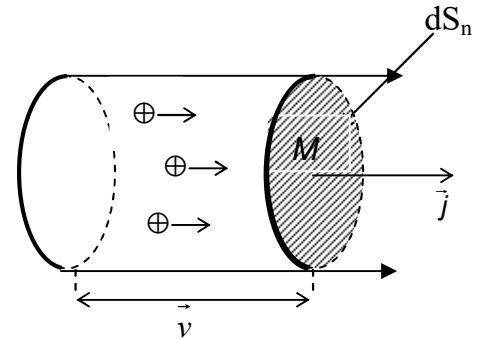
Gọi α là góc giữa vectơ pháp tuyến \vec{n} của diện tích dS với vectơ mật độ dòng \vec{j} , khi đó $dS_n = dS \cdot \cos \alpha$, cho nên: $dI = j dS \cos \alpha = j_n dS$, với $j_n = j \cos \alpha$ là hình chiếu của vectơ \vec{j} trên phương của vectơ pháp tuyến \vec{n} . Nếu gọi \vec{dS} là vectơ có cùng hướng với \vec{n} và có trị số bằng diện tích dS (\vec{dS} gọi là vectơ diện tích) thì ta viết được $dI = \vec{j} \cdot \vec{dS}$.

Như vậy cường độ dòng điện I qua diện tích S bất kì được tính theo công thức

$$I = \int_S dI = \int_S \vec{j} \cdot \vec{dS} \quad (8-36)$$

Mối liên hệ giữa vectơ mật độ dòng điện \vec{j} với mật độ hạt tải điện n_0 , điện tích của hạt tải điện q và vận tốc trung bình có hướng của hạt tải điện \vec{v} .

Giả sử trong vật dẫn chỉ có một loại hạt tải điện. Khi đó, trong một đơn vị thời gian, số hạt tải điện dn đi qua diện tích dS_n nói trên là số hạt nằm trong một đoạn ống dòng có đáy là dS_n và có chiều dài $dl = \vec{v}$ (hình 10-5).



Hình 8-11
Để tính mật độ dòng điện

Dưới dạng vectơ biểu thức trên có dạng:

$$\vec{j} = n_0 |q| \vec{v} \quad (8-37)$$

Từ đó ta suy ra biểu thức của mật độ dòng điện $j = \frac{dI}{dt} = n_0 |q| \bar{v}$ (8-38)

Biểu thức (10-7) phù hợp với định nghĩa về vectơ mật độ dòng điện: với hạt tải điện dương ($q > 0$) $\vec{j} \nearrow \vec{v}$, còn đối với hạt tải điện âm ($q < 0$) thì $\vec{j} \nwarrow \vec{v}$.

Nếu trong vật dẫn có cả hai loại hạt tải điện $q_1 > 0$ và $q_2 < 0$ thì biểu thức mật độ dòng sẽ là:

$$\vec{j} = n_{01} q_1 \vec{v}_1 + n_{02} q_2 \vec{v}_2 \quad (8-39)$$

và viết cho độ lớn $j = n_{01} |q_1| \bar{v}_1 + n_{02} |q_2| \bar{v}_2$

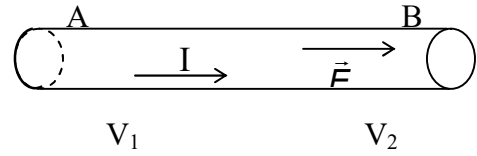
8.5.3. ĐỊNH LUẬT OHM VỚI ĐOẠN MẠCH THUẦN TRỞ

1. Định luật Ohm

Xét một đoạn dây dẫn kim loại đồng chất AB có điện trở là R và có dòng điện chạy qua nó với cường độ là I . Gọi V_1 và V_2 lần lượt là điện thế ở hai đầu A và B. Nếu dòng điện đi từ A sang B (tất nhiên là cùng chiều điện trường) thì theo §7, chương VII, ta sẽ thấy $V_1 > V_2$.

Bằng thực nghiệm, nhà vật lý người Đức G. Ohm đã phát minh ra định luật liên hệ giữa ba đại lượng I , R và $U = V_1 - V_2$ như sau:

$$I = \frac{V_1 - V_2}{R} \quad (8-40)$$



Hình 8-13
Đoạn mạch có dòng điện

* Điện trở và điện trở suất

Thực nghiệm chứng tỏ: Điện trở R của một đoạn dây dẫn đồng tính tiết diện đều tỉ lệ thuận với chiều dài l và tỉ lệ nghịch với diện tích tiết diện vuông góc S_n của đoạn dây đó.

$$R = \rho l / S_n \quad (8 - 41)$$

Trong đó hệ số ρ gọi là điện trở suất, phụ thuộc vào bản chất và trạng thái của dây dẫn.

Trong hệ đơn vị SI, đơn vị đo của R là Ôm (kí hiệu Ω), đơn vị đo của ρ là Ôm.mét (kí hiệu Ωm).

Chú ý: Thông thường khi nhiệt độ tăng thì dao động nhiệt của mạng tinh thể trong kim loại cũng mạnh lên nên điện trở của kim loại (và vật dẫn nói chung) tăng theo nhiệt độ.

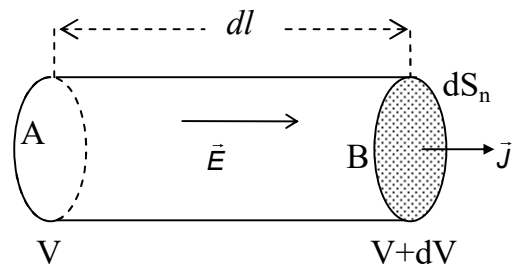
2. Dạng vi phân của định luật Ohm

Định luật Ohm dạng (10-9) chỉ áp dụng được với một đoạn dây dẫn có dòng điện chạy qua. Bây giờ ta hãy tìm một công thức khác biểu diễn định luật đó nhưng áp dụng được với mỗi điểm của dây dẫn.

Muốn vậy, ta xét hai diện tích nhỏ dS_n nằm vuông góc với các đường dòng và cách nhau một khoảng nhỏ dl (hình 8-13). Gọi V và $V + dV$ là điện thế tại hai diện tích ấy ($dV < 0$), dI là cường độ dòng điện chạy qua chúng. Theo định luật Ohm (8-40) ta có:

$$dI = \frac{[V - (V + dV)]}{R} = -\frac{dV}{R}$$

trong đó $-dV$ là độ giảm điện thế khi ta đi từ diện tích A sang diện tích B theo chiều dòng điện, R là điện trở đoạn mạch AB. Vì $R = \rho dl / dS_n$ nên ta có:



Hình 8-13. Để thiết lập dạng vi phân của định luật Ohm.

$$dI = -\frac{dV}{R} = \left(\frac{1}{\rho}\right) \left(-\frac{dV}{dl}\right) dS_n$$

$$j = \frac{dI}{dS_n} = \frac{1}{\rho} \left(-\frac{dV}{dl}\right) = \frac{E}{\rho} = \sigma E$$

σ gọi là *điện dẫn suất* của môi trường.

Ở trong 8.2 ta biết rằng hai vectơ \vec{j} và \vec{E} là cùng hướng, còn $\sigma = \frac{1}{\rho}$ luôn luôn dương nên ta có biểu thức vectơ sau đây:

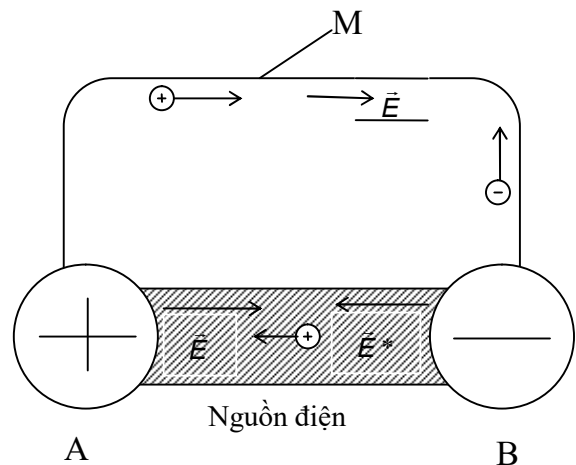
$$\vec{j} = \sigma \vec{E} \quad (8-41)$$

Đây là công thức ta cần tìm và định luật được mô tả bằng công thức này gọi là định luật Ohm dạng vi phân được phát biểu như sau: “Tại một điểm bất kỳ trong môi trường có dòng điện chạy qua, vectơ mật độ dòng điện tỉ lệ thuận với vectơ cường độ điện trường tại điểm đó”.

8.5.4. SUẤT ĐIỆN ĐỘNG

1. Nguồn điện

Xét hai vật dẫn A và B mang điện trái dấu: A mang điện dương, B mang điện âm (hình 8-14). Như vậy điện thế ở A cao hơn điện thế ở B, giữa A và B xuất hiện điện trường tĩnh hướng theo chiều điện thế giảm. Nếu nối A với B bằng vật dẫn M thì các hạt tải điện dương sẽ chuyển động theo chiều điện trường từ A về B, còn các hạt tải điện âm thì ngược lại. Kết quả là trong vật dẫn M xuất hiện dòng điện theo chiều từ A sang B, điện thế của A giảm xuống, điện thế của B tăng lên. Cuối cùng, khi điện thế của A và B bằng nhau thì dòng điện sẽ ngừng lại.



Hình 8-14

Muốn duy trì dòng điện trong vật dẫn M ta phải đưa các hạt tải điện dương từ B trở về lại A (và các hạt tải điện âm từ A trở về lại B) để làm cho $V_A > V_B$. Điện trường tĩnh \vec{E} không làm được việc này, trái lại còn ngăn cản quá trình đó (vì ta đã biết là các điện tích dương sẽ chuyển động cùng chiều với chiều điện trường tĩnh \vec{E} , còn hạt tải điện âm thì ngược lại). Vì vậy phải tác dụng lên hạt tải điện dương một lực làm cho nó chạy ngược chiều điện trường tĩnh, tức là từ nơi có điện thế thấp đến nơi có điện thế cao (lập luận tương tự đối với hạt tải điện âm). Rõ ràng lực này không thể là lực tĩnh điện mà là lực phi tĩnh điện, hay **lực lạ**. Trường lực gây ra lực lạ ấy gọi là **trường lạ** \vec{E}^* . Nguồn tạo ra trường lạ ấy gọi là **nguồn điện**.

Trong nguồn điện tồn tại cả trường lạ \vec{E}^* và trường tĩnh \vec{E} song chúng ngược chiều nhau, về cường độ thì $E^* > E$ thì mới đưa được các hạt tải điện dương từ cực (-) về lại cực (+) và các hạt tải điện âm từ cực (+) về lại cực (-).

Trong thực tế, nguồn điện có thể là pin, ắc quy, máy phát điện.v.v... Bản chất lực lạ trong các nguồn điện khác nhau là khác nhau (trong pin và ắc quy lực lạ là lực tương tác phân tử, trong máy phát điện dùng hiện tượng cảm ứng điện từ đó là lực điện từ). Muốn tạo thành dòng điện, nguồn điện và dây dẫn M phải tạo thành một mạch kín.

2. Suất điện động của nguồn điện

Để đặc trưng cho khả năng sinh công của nguồn điện, người ta đưa ra khái niệm suất điện động được định nghĩa như sau:

“Suất điện động của nguồn điện là một đại lượng có giá trị bằng công của lực điện trường do nguồn tạo ra làm dịch chuyển một đơn vị điện tích dương một vòng quanh mạch kín của nguồn đó”.

$$\xi = \frac{A}{q} \quad (8-42)$$

Xét mạch kín C có chứa nguồn điện và mạch ngoài (dây dẫn M chẳng hạn). Công của lực điện trường (do nguồn điện tạo ra) làm dịch chuyển điện tích q một vòng quanh mạch C bằng:

$$A = \oint_{(C)} q(\vec{E} + \vec{E}^*) \cdot d\vec{l}$$

Suy ra suất điện động của nguồn là:

$$\xi = \frac{A}{q} = \oint_{(C)} (\vec{E} + \vec{E}^*) \cdot d\vec{l} = \oint_{(C)} \vec{E} \cdot d\vec{l} + \oint_{(C)} \vec{E}^* \cdot d\vec{l}$$

Vì \vec{E} là trường tĩnh điện nên $\oint_{(C)} \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$. Do vậy:

$$\xi = \oint_{(c)} \vec{E}^* \cdot d\vec{l} \quad (8-43)$$

Nghĩa là: Suất điện động của nguồn điện có giá trị bằng công của lực lạ trong sự dịch chuyển một đơn vị điện tích dương một vòng quanh mạch kín của nguồn đó.

Nhận xét: Vì trường lạ \vec{E}^* chỉ tồn tại trên một đoạn L giữa hai cực của nguồn điện nên

$$\xi = \int_L \vec{E}^* \cdot d\vec{l} \quad (8-44)$$

Đơn vị: Trong hệ SI, suất điện động được đo bằng vôn (V).

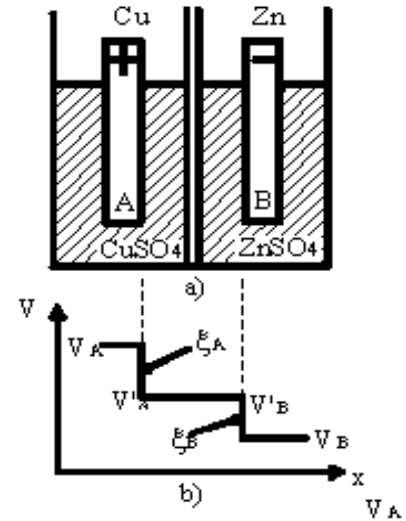
c. Suất phản điện

Trường hợp nguồn điện được mắc vào mạch điện sao cho dòng điện đi vào cực dương và đi ra từ cực âm nguồn thì lúc này nguồn điện không phát ra điện năng, trái lại nó thực hiện quá trình thu năng lượng. Khi đó nó được gọi là **nguồn thu điện** và giá trị ξ của nó được gọi là **suất phản điện**. Năng lượng điện trường được nguồn thu chuyển hoá thành năng lượng của trường lực lạ dự trữ trong nguồn. Trong quá trình nạp điện, acquy là một nguồn thu điện.

d. Pin Đanien

Để làm ví dụ về một nguồn điện đơn giản, ta xét cấu tạo và quá trình tạo năng lượng trong pin Đanien. Pin Đanien gồm một điện cực bằng kẽm (Zn) nhúng trong dung dịch kẽm sunfat (ZnSO_4) và một điện cực bằng đồng (Cu) nhúng trong dung dịch đồng sunfat (CuSO_4). Giữa hai dung dịch có vách xốp để ngăn không cho chúng trộn lẫn vào nhau nhưng vẫn cho các electron và ion chuyển động qua lại dễ dàng (hình 8-15). Tương tác phân tử giữa dung dịch và các điện cực xảy ra như sau:

Các phân tử nước (mỗi phân tử là một lưỡng cực điện gồm một ion âm O_2^- và hai ion dương H^+) trong dung dịch CuSO_4 lôi kéo các electron tự do của cực đồng chạy vào dung dịch, khiến cho cực đồng mất electron và trở thành cực mang điện dương. Vì vậy, đi từ cực đồng (điện thế V_A) vào dung dịch CuSO_4 (điện thế V'_A) điện thế giảm một lượng: $\xi_A = V_A - V'_A = +0,61\text{V}$



Hình 8 -15
Cấu tạo pin Đanien

. Tương tự, các phân tử nước trong dung dịch ZnSO_4 kéo các ion Zn^{2+} của cực kẽm vào dung dịch nên cực kẽm mang điện âm. Do đó khi đi từ dung dịch ZnSO_4 (có điện thế V'_B) vào cực kẽm (có điện thế V_B) điện thế giảm một lượng: $\xi_B = V'_B - V_B = +0,50\text{V}$.

Điện thế của hai dung dịch bằng nhau và không đổi. Nếu nối hai cực bằng một sợi dây dẫn thì có dòng điện chạy theo dây dẫn từ cực đồng sang cực kẽm, còn trong dung dịch thì dòng điện lại chạy từ cực kẽm sang cực đồng.

Lực lạ tồn tại trong pin chính là lực tương tác phân tử. Công của lực lạ trong sự chuyển dịch một đơn vị điện tích dương qua các hiệu điện thế nhảy vọt ξ_A và ξ_B (tức là đi từ cực kẽm về cực đồng ở trong dung dịch) về trị số bằng nhưng ngược dấu với công cản của điện trường tĩnh, tức là:

$$\begin{aligned} A(\text{lực lạ}) &= -A(\text{lực tĩnh điện}) = -[(+1)(V_B - V'_B) + (+1)(V'_A - V_A)] \\ &= (V'_B - V_B) + (V_A - V'_A) = \xi_B + \xi_A \end{aligned} \quad (8-45)$$

Đây chính là suất điện động của pin Đanien $\xi = \xi_A + \xi_B = 1,10\text{V}$.

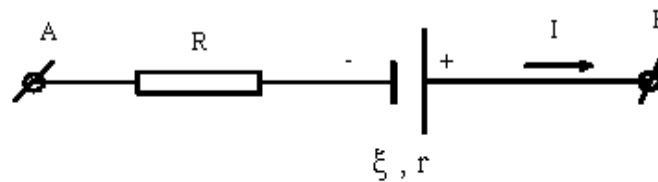
Vậy: Suất điện động của pin hoá điện (biến hoá năng thành điện năng) bằng tổng các điện thế nhảy vọt trong pin đó (cũng chính bằng công của lực lạ khi dịch chuyển một đơn vị

điện tích dương từ cực âm vào dung dịch và sau đó từ dung dịch vào cực dương của pin hoá điện).

Vì pin Đanien có suất điện động thấp lại ở dạng nước nên rất bất tiện. Ngày nay trong kỹ thuật và đời sống ta chủ yếu dùng pin khô Lơ Clăngse có suất điện động 1,50V.

8.5.5. Định luật Ohm đối với một đoạn mạch có nguồn

Xét một đoạn mạch AB trong đó có một nguồn điện với suất điện động ξ , điện trở trong r mắc nối tiếp với một điện trở R (hình 8-16).



Hình 8-16

Giả sử dòng điện chạy theo chiều từ A đến B, cường độ I . Công suất điện tiêu thụ trong đoạn mạch AB được đo bằng:

$$P = U_{AB}I.$$

Trong đoạn mạch này ta thấy công suất điện tiêu thụ trong điện trở R và điện trở r dưới dạng toả nhiệt, nhưng đồng thời nguồn điện lại sản sinh ra công suất $P_{\text{nguồn}} = \xi I$. Vậy theo định luật bảo toàn năng lượng ta có:

$$P = I^2(R + r) - P_{\text{nguồn}} = I^2(R + r) - \xi I$$

hay
$$U_{AB}I = I^2(R + r) - \xi I.$$

Do đó:

$$U = I(R + r) - \xi$$

(8-46)

Công thức (10-16) biểu thị định luật Ohm đối với một đoạn mạch có nguồn.

Trong trường hợp tổng quát công thức (10-16) có dạng như sau:

$$U_{AB} = \pm I(R + r) \pm \xi \tag{8-47}$$

Trong đó: I lấy dấu "+" khi dòng điện có chiều từ A đến B và lấy dấu "-" trong trường hợp ngược lại.

Nếu chọn chiều thuận qua mạch từ đầu A đến đầu B thì ξ lấy dấu "+" khi chiều thuận đi vào cực dương của nguồn và lấy dấu "-" khi chiều thuận từ cực dương đi ra.

8.5.6. Định luật Kirchhoff (Kiếc-sốp)

1. Các khái niệm cơ bản về mạch điện

Mạch phân nhánh

Là mạch điện phức tạp, gồm nhiều nhánh. Mỗi nhánh có một hay nhiều phân tử (nguồn, điện trở, tụ điện, máy thu.v.v...) mắc nối tiếp. Trong mỗi nhánh, dòng điện chạy theo một chiều với cường độ xác định. Nói chung, dòng điện trong các nhánh khác nhau có cường độ khác nhau.

Nút

Là chỗ nối các đầu nhánh (giao điểm của ba nhánh trở lên).

Vòng kín

Là tập hợp các nhánh nối liền nhau tạo thành một vòng kín (đơn liên) trong mạch điện.

2. Định luật Kirchhoff

Định luật 1 (về nút)

Tại mỗi nút của mạch điện, tổng cường độ các dòng điện đi vào nút bằng tổng cường độ các dòng điện từ nút đi ra:

$$\sum_i I_i = \sum_j I_j \quad (8-48)$$

Định luật này chính là hệ quả của định luật bảo toàn điện tích tại mỗi nút.

Định luật 2 (về vòng kín)

Trong một vòng kín, tổng đại số các độ giảm thế trên các phần tử bằng tổng đại số các suất điện động trong vòng.

$$\sum_i I_i R_i = \sum_j \xi_j \quad (8-49)$$

Định luật này là hệ quả của định luật bảo toàn năng lượng trong mỗi vòng mạch kín. Kí hiệu R_i trong (8-49) được hiểu là điện trở của mỗi phần tử của vòng kín (kể cả điện trở trong của nguồn điện).

Muốn viết phương trình cho một vòng kín cụ thể, ta phải chọn cho vòng kín một chiều thuận (cùng chiều kim đồng hồ hoặc ngược chiều kim đồng hồ). Dòng điện I_i sẽ mang dấu (+) nếu nó cùng chiều với chiều thuận và mang dấu (-) trong trường hợp ngược lại. Suất điện động ξ_j mang dấu (+) nếu chiều thuận đi vào cực âm, đi ra từ cực dương của nguồn và mang dấu (-) trong trường hợp ngược lại.

c. Các bước giải mạch điện theo định luật Kirchhoff

Bước 1: Giả định chiều cho các dòng điện và cách mắc cho các nguồn chưa biết, chọn chiều thuận cho mỗi vòng mạch kín.

Bước 2: Nếu bài toán có n ẩn cần tìm của I_i và ξ_j thì phải lập n phương trình độc lập, trong đó:

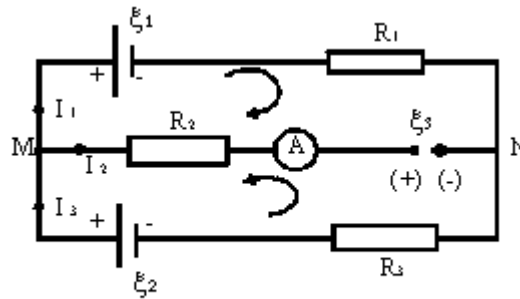
Nếu mạch có m nút thì viết $(m-1)$ phương trình dạng (8-48)

Viết $n - (m-1)$ phương trình dạng (8-49)

Bước 3: Giải hệ n phương trình. Nếu kết quả cho nghiệm $I_i > 0$ thì chiều giả định là đúng với thực tế, nếu $I_i < 0$ thì chiều thực tế của dòng điện I_i là ngược lại với chiều giả định ban đầu (tức là phải chữa lại chiều và dấu của dòng điện I_i cho phù hợp với thực tế). Tương tự đối với nguồn ξ_j .

Bước 4: Vẽ sơ đồ Đáp số, ghi rõ trị số và chiều (hoặc dấu) của các đại lượng.

Thí dụ: Cho mạch điện như hình vẽ với $\xi_1 = 8V$, $\xi_3 = 5V$, $R_1 = 2\Omega$, $R_2 = 4\Omega$, $R_3 = 3\Omega$. Điện trở trong các nguồn và dây nối không đáng kể. Phải mắc nguồn có suất điện động ξ_2 bằng bao nhiêu và đầu cực thế nào để tạo ra dòng $I_2 = 1A$ chạy từ M đến N? Khi đó I_1 và I_3 bằng bao nhiêu?



Hình 8-17

Giải: Giả sử chiều các dòng điện I_1 , I_3 và giả định cách mắc cực của nguồn ξ như hình vẽ. Bài toán có ba nghiệm cần tìm là I_1 , I_3 và ξ_3 do đó ta phải lập ba phương trình độc lập.

Đã biết chiều và độ lớn của I_2 như hình vẽ. Mạch có hai nút M và N cùng ba vòng kín. Ta lập ba phương trình đó như sau:

– Phương trình cho nút M: $I_1 + I_2 = I_3$ (a)

– Phương trình cho vòng kín MR_1NR_2M với chiều thuận được chọn là chiều kim đồng hồ:

$$I_1 R_1 - I_2 R_2 = -E_1 + E_2 \quad (b)$$

– Phương trình do vòng kín MR_2NR_3M với chiều thuận được chọn là ngược chiều kim đồng hồ:

$$-I_2 R_2 - I_3 R_3 = +E_2 - E_3 \quad (c)$$

Giải hệ (a), (b), (c) ta được $\xi_2 = +1,6V$; $I_1 = -1,2A$ và $I_3 = -0,2A$.

Trả lời: Cần phải mắc nguồn điện với $\xi_2 = 1,6V$ theo như đã giả định: a(+), b(-), còn các dòng $I_1 = 1,2A$; $I_3 = 0,2A$ có chiều thực tế là ngược với chiều đã giả sử trên (người học tự vẽ lại mạch điện trên với chiều ngược lại của I_1 và I_3).

HƯỚNG DẪN HỌC CHƯƠNG 8

I. MỤC ĐÍCH, YÊU CẦU

- 1- Hiểu được điều kiện của vật dẫn cân bằng tĩnh điện và chứng minh được các tính chất của nó
- 2- Hiểu được hiện tượng điện hưởng và ứng dụng của nó.
- 3- Tìm được biểu thức năng lượng điện trường.
- 4 - Hiểu được bản chất các dòng điện trong các môi trường khác nhau.
- 5- Hiểu được ý nghĩa của cường độ dòng điện và mật độ dòng điện \vec{J} .
- 6- Hiểu và áp dụng định luật Ohm dưới dạng vi phân.
7. Hiểu được ý nghĩa và bản chất của lực lạ, từ đó đi tới định nghĩa nguồn điện và thiết và thiết lập biểu thức suất điện động của nguồn điện.

II. TÓM TẮT NỘI DUNG

- 1- Điện dung của vật dẫn cô lập: Vật dẫn có điện tích Q, điện thế bằng V thì có điện dung:

$$C = \frac{Q}{V}.$$

- 2- Tụ điện: Tụ điện là một hệ hai vật dẫn ở trạng thái điện hưởng toàn phần.

$$q = CU.$$

- 3- Năng lượng điện trường

+ Năng lượng tương tác của một hệ điện tích điểm

Hệ gồm n điện tích điểm $q_1, q_2, q_3 \dots q_n$, năng lượng tương tác điện của hệ được cho bởi:

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i V_i$$

trong đó, V_i là điện thế tại điểm đặt điện tích q_i gây ra bởi (n-1) điện tích còn lại.

+ Năng lượng tương tác của một vật dẫn cô lập tích điện

$$W = \frac{1}{2} \int V dq = \frac{1}{2} V \int dq = \frac{1}{2} Vq = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}$$

+ Năng lượng tụ điện

$$W = \frac{1}{2} q(V_1 - V_2) = \frac{1}{2} qU = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} = \frac{1}{2} CU^2$$

+ Năng lượng điện trường bất kỳ

➤ Mật độ năng lượng điện trường: trường tại một điểm là:

$$W_e = \frac{1}{2} \epsilon \epsilon_0 E^2 = \frac{1}{2} \frac{D^2}{\epsilon \epsilon_0} = \frac{1}{2} ED = \frac{1}{2} \vec{E} \vec{D}$$

Năng lượng điện trường bất kỳ $W = \int_V \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} dV = \int_V \frac{DE}{2} dV$

4. Dòng điện là dòng chuyển dời có hướng của các điện tích. Theo qui ước, chiều của dòng điện là chiều dịch chuyển của các điện tích dương. Trong kim loại, các hạt tham gia tạo thành dòng điện là các electron chuyển động có hướng dưới tác dụng của điện trường. Các ion dương của các nút mạng tinh thể kim loại không tham gia tạo thành dòng điện. Cường độ dòng điện I trong kim loại tỷ lệ với hiệu điện thế U ở hai đầu đoạn mạch và tỷ lệ nghịch với điện trở ở hai đầu đoạn mạch:

$$I = \frac{U}{R}$$

Từ định nghĩa của i và j ta dễ dàng tìm được: $\vec{J} = n_0 q \vec{v}$, trong đó n_0 là mật độ hạt điện, q và v là điện tích và vận tốc của hạt điện.

Từ biểu thức định luật Ohm cho một đoạn mạch, ta dễ dàng tìm được biểu thức của định luật dưới dạng vi phân: $\vec{j} = \sigma \vec{E}$, trong đó \vec{E} là cường độ điện trường tại điểm dòng điện chạy qua trong môi trường.

Dưới tác dụng của lực tĩnh điện, các điện tích dương chuyển dịch từ nơi có điện thế cao đến nơi có điện thế thấp hơn.

Để duy trì và tạo dòng điện trong mạch kín. Muốn vậy, cần phải có lực lạ (lực phi tĩnh điện) có tác dụng đưa các điện tích dương từ điện thế thấp đến điện thế cao hơn (đối với các điện tích âm thì ngược lại)

Trường tạo ra lực lạ được gọi là trường lực lạ. Vật tạo ra trường lạ trong trường hợp này được gọi là nguồn điện. Gọi ξ là suất điện động của nguồn điện, ta tìm được biểu thức của nó:

$$\xi = \int_L \vec{E} * d\vec{l}$$

Trong đó \vec{E}^* là điện trường lạ (phi tĩnh điện) tạo ra lực lạ.

III. CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Chứng minh các tính chất của vật dẫn cân bằng tĩnh điện.
2. Giải thích hiệu ứng mũi nhọn. Nêu những ứng dụng thực tế của hiệu ứng đó.
3. Phân biệt hiện tượng điện hưởng một phần, hiện tượng điện hưởng toàn phần.
4. Định nghĩa màn điện. Nêu ứng dụng nó trong kỹ thuật và đời sống
5. Định nghĩa vật dẫn cô lập. Viết biểu thức điện dung C của nó.
6. Định nghĩa tụ điện, điện dung của tụ .điện. Viết biểu thức điện dung tụ điện phẳng.

7. Tìm năng lượng của hệ vật tích điện. Từ đó tìm năng lượng của tụ điện phẳng tích điện. Điện trường trong tụ điện phẳng là đều hay không. Tại sao? Tìm năng lượng của điện trường bất kỳ.
8. Định nghĩa và biểu thức của mật độ dòng điện.
9. Tìm định luật Ohm dưới dạng vi phân.
10. Trình bày về suất điện động của nguồn điện và thành lập biểu thức.

IV. BÀI TẬP

Thí dụ 1:

Một giọt thủy ngân hình cầu bán kính R có điện dung cho bởi $C = 4\pi\epsilon_0 R$. Nếu hai giọt như vậy kết hợp lại với nhau để tạo thành một giọt lớn hơn thì điện dung của nó bằng bao nhiêu?

Giải:

Giả sử giọt thủy ngân lớn có bán kính R_1 thì ta có: $2 \cdot \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi R_1^3 \Rightarrow R_1 = R\sqrt[3]{2}$.

Vậy, điện dung của giọt lớn là: $C_1 = 4\pi\epsilon_0 R_1 = 4\pi\epsilon_0 R\sqrt[3]{2} = C\sqrt[3]{2}$.

Thí dụ 2:

Cho một tụ điện phẳng với điện tích q , điện tích mỗi bản là S , khoảng cách giữa các bản là ℓ , hằng số điện môi giữa các bản là ϵ . Hãy tính lực hút giữa các bản của tụ điện.

Giải:

Giả sử dưới tác dụng của lực \vec{F} , bản tụ chuyển dời một vi phân $d\ell$. Công của lực F trong chuyển dời này là:

$$dA = Fd\ell.$$

Theo định luật bảo toàn năng lượng: Công này bằng độ giảm năng lượng của tụ điện. Tức là:

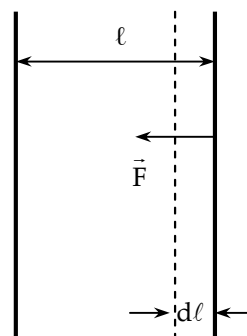
$$dA = -dW.$$

Vậy:

Thí dụ 3:

Ở chính giữa hai bản của một tụ điện phẳng có điện dung $C = 1,78 \cdot 10^{-11} \text{F}$, diện tích mỗi bản cực là $S = 100 \text{cm}^2$, nhúng trong chất lỏng điện môi $\epsilon = 2$, người ta đặt một điện tích $q = +4,5 \cdot 10^{-9} \text{C}$ thì thấy q chịu một lực $F = 9,81 \cdot 10^{-5} \text{N}$. Tính:

- a) Hiệu điện thế U giữa hai bản tụ điện.



Hình vẽ bài tập 2

b) Mật độ năng lượng điện trường.

c) Lực tương tác giữa hai bản cực của tụ điện.

Giải: a) Tụ điện phẳng nên $U = Ed \rightarrow d = U/E$.

$$\text{Mặt khác } F = qE \rightarrow E = F/q \Rightarrow d = qU/F \quad (1)$$

$$\text{Có } C = \epsilon_0 \epsilon S/d \rightarrow d = \epsilon_0 \epsilon S/C \quad (2)$$

$$\text{Kết hợp (1) và (2) rút ra: } U = \frac{\epsilon_0 \epsilon S F}{qC} \approx 217V.$$

b) Mật độ năng lượng điện trường:

$$\omega_e = (1/2)\epsilon_0 \epsilon E^2 = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon \left(\frac{F}{q} \right)^2 = 42,03 \cdot 10^{-4} \text{ J/m}^3$$

c) Hai bản cực hút nhau với lực f . Năng lượng điện trường của tụ điện sẽ biến thành công cần để không cho hai bản cực tiến tới gần nhau. Từ đó:

$$fd = \omega Sd \rightarrow f = \omega S = 42,03 \cdot 10^{-6} \text{ N}.$$

BÀI TẬP TỰ GIẢI

1. Cho hai mặt cầu kim loại đồng tâm bán kính $R_1 = 4\text{cm}$, $R_2 = 2\text{cm}$ mang điện tích $Q_1 = -(2/3) \cdot 10^{-9} \text{C}$; $Q_2 = 3 \cdot 10^{-9} \text{C}$. Tính cường độ điện trường và điện thế tại những điểm cách tâm cầu những khoảng bằng 1cm, 2cm, 3cm, 4cm, 5cm.

$$\text{HD: Đối với mặt cầu kim loại thì: } E_t = 0; E_{ngoài} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2};$$

$$V_{tr} \text{ bằng nhau tại mọi điểm; } V_{ngoài} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r}$$

Tại điểm	1cm	2 cm	3cm	4cm	5 cm
E (V/m)	0	202500	90000	50625	30000
V(V)	3900	3900	2550	1875	1500

2. Một quả cầu kim loại bán kính 10 cm, điện thế 300V. Tính mật độ điện mặt của quả cầu.

$$\text{HD: } V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon R}; q = \sigma S = \sigma 4\pi R^2 \Rightarrow \sigma = \frac{\epsilon_0 \epsilon V}{R} = 2,6 \cdot 10^{-8} \text{ C/m}^2$$

3. Hai quả cầu kim loại bán kính r bằng nhau và bằng 2,5 cm đặt cách nhau $a = 1\text{m}$, điện thế của một quả cầu là 1200 V, của quả cầu là -1200V. Tính điện tích của mỗi quả cầu.

HD: Điện thế của mỗi quả cầu bằng tổng điện thế do chính điện tích của nó gây ra và điện thế

Do điện tích quả cầu kia gây ra. Chú ý $r \ll a$. Ta có:

$$V_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q_1}{r} + \frac{q_2}{a} \right); V_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q_2}{r} + \frac{q_1}{a} \right)$$

Từ đó rút ra $q_1 = a.r \left(\frac{rV_2 - aV_1}{r^2 - a^2} \right) . 4\pi\epsilon_0$; $q_2 = a.r \left(\frac{rV_1 - aV_2}{r^2 - a^2} \right) . 4\pi\epsilon_0$ vì $r \ll a$ nên

$$q_1 = \frac{-r}{ka} (rV_2 - aV_1) = 3,41.10^{-9} C; q_2 = \frac{-r}{ka} (rV_1 - aV_2) = -3,41.10^{-9} C$$

4. Hai quả cầu kim loại bán kính 8cm và 5 cm nối với nhau bằng một sợi dây dẫn có điện dung không đáng kể, và được tích một điện lượng $Q = 13.10^{-8} C$. Tính điện thế và điện tích của mỗi quả cầu.

HD: Hai quả cầu được nối với nhau nên có cùng điện thế V .

- Điện tích quả cầu thứ nhất: $q_1 = C_1 V = 4\pi\epsilon_0 \epsilon_1 V$

- Điện tích quả cầu thứ hai: $q_2 = C_2 V = 4\pi\epsilon_0 \epsilon_2 V$; $Q = q_1 + q_2$

- Do đó: $V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 (r_1 + r_2)} \approx 9000V$; $q_1 = 8.10^{-8} C$ và $q_2 = 5.10^{-8} C$

5. Hai quả cầu kim loại đặt cách xa nhau. Một quả cầu có bán kính $R_1 = 2cm$ và điện thế $V_1 = 100V$, quả kia có bán kính $R_2 = 3cm$ và điện thế $V_2 = 200V$. Hỏi điện thế của hai quả cầu bằng bao nhiêu nếu nối chúng với nhau bằng một dây dẫn.

HD:

Điện thế của quả cầu trước khi nối:

$$V_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{R_1}; V_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2}{R_2}$$

$$q = q_1 + q_2 = 4\pi\epsilon_0 R_1 V_1 + 4\pi\epsilon_0 R_2 V_2$$

$$\text{Điện thế của hai quả cầu sau khi nối: } V'_1 = V'_2 = V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q'_1}{R_1} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q'_2}{R_2}$$

Áp dụng định luật bảo toàn điện tích cho hệ hai vật dẫn:

$$q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2 \Rightarrow V = \frac{R_1 V_1 + R_2 V_2}{R_1 + R_2} = 160V.$$

6. Hai quả cầu rỗng bằng kim loại đồng tâm được phân bố điện tích với cùng một mật độ điện mặt σ . Tìm điện tích tổng cộng Q phân bố trên hai mặt cầu đó, biết rằng khi dịch chuyển một điện tích một culông từ vô cực tới tâm của hai quả cầu đó cần phải tốn một công bằng $10^2 J$. Biết các bán kính của hai quả cầu đó lần lượt là 5cm và 10 cm.

HD: Điện tích trên hai mặt cầu lần lượt bằng $q_1 = 4\pi R^2 \sigma$ và $q_2 = 4\pi r^2 \sigma$. Điện tích tổng cộng bằng $Q = q_1 + q_2$.

Công dịch chuyển điện tích 1 Culông từ xa vô cực vào tâm O của hai quả cầu về trị số bằng điện thế tại tâm đó:

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q_1}{R} + \frac{q_2}{r} \right)$$

Thay q_1 và q_2 từ công thức trên vào các biểu thức của q_1 và q_2 , ta có:

$$\sigma = \frac{4\pi\epsilon_0 V}{4\pi(R+r)} \Rightarrow q_1 = \frac{4\pi\epsilon_0 R^2 V}{R+r}; q_2 = \frac{4\pi\epsilon_0 r^2 V}{R+r};$$

$$\text{Cũng từ trên ta có: } Q = q_1 + q_2 = \frac{r^2 + R^2}{r + R} \cdot V \cdot 4\pi\epsilon_0$$

Thay số ta được: $Q = 9,2 \cdot 10^{-10} \text{ C}$

7. Một quả cầu kim loại bán kính $R=1\text{m}$ mang điện tích $q=10^{-6} \text{ C}$. Tính:

- Điện dung của quả cầu.
- Điện thế của quả cầu.
- Năng lượng trường tĩnh điện của quả cầu.

Đáp số a. $C = 0,11 \cdot 10^{-9} \text{ F}$.

b. $V = 9 \cdot 10^3 \text{ V}$.

c. $W = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ J}$.

8. Xác định điện thế tại một điểm A nằm cách tâm một quả cầu kim loại mang điện một khoảng $d = 10 \text{ cm}$, bán kính của quả cầu $r = 1 \text{ cm}$. Xét hai trường hợp:

a. Mật độ điện mặt $\sigma = 10^{-11} \text{ C/cm}^2$.

b. Điện thế của quả cầu $V = 300 \text{ V}$.

Đáp số: a. $11,3 \text{ V}$; b. 30 V

9. Cho một tụ điện phẳng giữa hai bản là không khí, diện tích mỗi bản $S=1\text{m}^2$, khoảng cách giữa hai bản $d = 1,5\text{mm}$.

a. Tìm điện dung của tụ điện.

b. Tìm mật độ điện mặt σ trên bản khi tụ điện được mắc vào nguồn điện có hiệu điện thế không đổi $U= 300\text{V}$.

c. Cũng các câu hỏi trên khi ta lấp đầy không gian giữa hai bản tụ điện bằng lớp thủy tinh có hằng số điện môi $\epsilon = 6$.

Đáp số: a. $C = 5,9 \cdot 10^{-9} \text{ F}$;

b. $\sigma = 1,77 \cdot 10^{-6} \text{ C/m}^2$

c. $C' = 35,4 \cdot 10^{-9} \text{ F}$.

10. Điện tích $q = 45 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ nằm trong khoảng giữa hai bản của một tụ điện phẳng có điện dung $C = 1,78 \cdot 10^{-11} \text{ F}$, chịu tác dụng của lực $F = 9,81 \cdot 10^{-5} \text{ N}$. Điện tích mỗi bản tụ là $S = 100 \text{ cm}^2$. Khoảng không gian giữa hai bản tụ được lấp đầy bởi parafin có $\varepsilon = 2$. Xác định:

- Hiệu điện thế giữa hai bản tụ.
- Điện tích của tụ điện.
- Mật độ năng lượng và năng lượng điện trường giữa hai bản tụ điện.
- Lực tương tác giữa hai bản tụ.

HD: a. Hiệu điện thế giữa hai bản tụ: $U = Ed$; mà $E = F/q$; $d = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{C}$ do đó:

$$U = \frac{F \varepsilon \varepsilon_0 S}{qC} = 217 \text{ V}$$

b. Điện tích trên tụ điện: $Q = CU = 3,85 \cdot 10^{-9} \text{ C}$.

c. Mật độ năng lượng điện trường: $w = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon E^2 = \frac{1}{2} \varepsilon \varepsilon_0 \left(\frac{F}{q} \right)^2 = 42 \cdot 10^{-4} \text{ J/m}^3$

- Năng lượng điện trường giữa hai bản tụ: $W = \frac{1}{2} CU^2 = 4,19 \cdot 10^{-7} \text{ J}$

d. Công dịch chuyển hai bản tụ điện lại sát nhau có trị số bằng năng lượng của tụ điện

$$fd = W = wsd \rightarrow f = ws = 42,03 \cdot 10^{-6} \text{ N}$$

11. Một tụ điện phẳng có diện tích mỗi bản $S = 500 \text{ cm}^2$ mắc vào nguồn điện có suất điện động là 300 V. Hãy xác định công dịch chuyển hai bản tụ để khoảng cách d giữa chúng tăng từ giá trị $d_1 = 1 \text{ cm}$ đến $d_2 = 3 \text{ cm}$. Môi trường giữa hai bản tụ điện là không khí.

HD: Biến thiên năng lượng của tụ điện trước và sau khi dịch chuyển hai bản tụ điện có trị số bằng công làm dịch chuyển hai bản tụ từ khoảng cách d_1 đến d_2

$$A = W_2 - W_1 = \frac{1}{2} C_2 U^2 - \frac{1}{2} C_1 U^2 = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon S U^2 \left(\frac{1}{d_2} - \frac{1}{d_1} \right) = 1,33 \cdot 10^{-6} \text{ J}$$

12. Một quả cầu A bán kính $r_1 = 5 \text{ cm}$ mang điện tích $q_1 = 5 \cdot 10^{-7} \text{ C}$ và một quả cầu bán kính $r_2 = 10 \text{ cm}$ cũng mang điện tích $q_2 = 5 \cdot 10^{-7} \text{ C}$ được nối với nhau bằng dây dẫn. Các điện tích sẽ dịch chuyển trong dây dẫn theo hướng nào? Lượng điện tích dịch chuyển trong dây theo hướng nào? Lượng điện tích dịch chuyển trong dây bằng bao nhiêu? Điện thế của mỗi quả cầu sau khi nối? Cho biết các quả cầu ở khá xa nhau.

HD: Vì các quả cầu ở khá xa nhau, nên có thể viết:

$$V_1 = \frac{q_1}{4\pi \varepsilon_0 r_1}; V_2 = \frac{q_2}{4\pi \varepsilon_0 r_2}$$

Vì $V_1 > V_2$ nên các điện tích sẽ chuyển dịch trong dây dẫn từ quả cầu 1 sang quả cầu 2. Sự dịch chuyển sẽ ngừng khi điện thế của hai quả cầu bằng nhau. Khi đó ta có:

$V_1 = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 r_1} = \frac{q_2}{4\pi\epsilon_0 r_2}$; $q_1' + q_2' = q_1 + q_2$; q_1' và q_2' là điện tích của các quả cầu sau khi nối. Từ

các đẳng thức trên ta rút ra: $q_1' = \frac{r_1(q_1 + q_2)}{r_1 + r_2}$

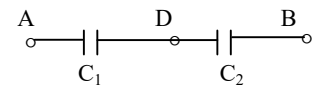
Điện lượng chạy từ quả cầu 1 sang quả cầu 2 bằng:

$$q_1 - q_1' = \frac{r_2 q_1}{r_1 + r_2} - \frac{r_1 q_2}{r_1 + r_2} \approx 1.67 \cdot 10^{-7} C$$

13. Hiệu điện thế giữa hai điểm A và B bằng 6V. Điện dung của tụ thứ nhất $C_1 = 2 \cdot 10^{-6} F$ và tụ điện thứ hai $C_2 = 4 \cdot 10^{-6} F$. Tính hiệu điện thế và điện tích trên các bản tụ điện.

HD: Gọi q là độ lớn điện tích của mỗi bản tụ điện ta có

$$q = CU = \frac{C_1 C_2 U}{C_1 + C_2} \quad (1)$$



$$\text{Mặt khác } q = C_1 U_1 \quad (2)$$

$$q = C_2 U_2 \quad (3)$$

thay giá trị của q từ (1) vào (2) và (3) ta được

$$U_1 = \frac{C_1 U}{C_1 + C_2} = 4V ; U_2 = \frac{C_2 U}{C_1 + C_2} = 2V ; q = 8 \cdot 10^{-6} V$$

14. Xác định nhiệt lượng tỏa ra khi nối các bản phía trên (bản không nối đất) của hai tụ điện bằng một dây dẫn. Hiệu điện thế giữa các bản phía trên của các tụ điện và đất lần lượt bằng $U_1 = 100V$, $U_2 = -50V$, điện dung của các tụ điện bằng $C_1 = 2\mu F$; $C_2 = 0,5 \mu F$

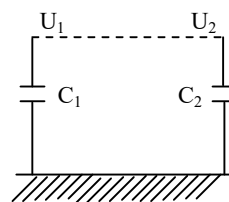
$$\text{HD: Năng lượng tổng cộng của hai tụ trước khi nối: } W = \frac{C_1 U_1^2}{2} + \frac{C_2 U_2^2}{2}$$

Điện tích q và điện dung C của hệ sau khi nối: $q = q_1 + q_2$; $C = C_1 + C_2$

$$\text{Hiệu điện thế của hệ sau khi nối: } U = \frac{C_1 U_1 + C_2 U_2}{C_1 + C_2}$$

$$\text{Năng lượng của hệ sau khi nối: } W = \frac{(C_1 + C_2) U^2}{2}$$

$$\text{Nhiệt lượng tỏa ra trong dây dẫn bằng: } W - W' = \frac{C_1 C_2 (U_1 - U_2)^2}{2(C_1 + C_2)} = 5 \cdot 10^{-4} J$$



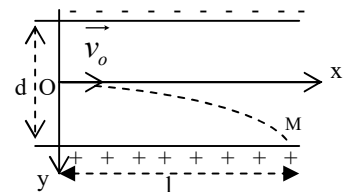
15. Một điện tử sau khi được gia tốc bởi hiệu điện thế $U_0 = 5000\text{V}$, bay vào điện trường của tụ điện phẳng tại điểm O cách đều hai bản tụ, theo phương vuông góc với điện trường. Hỏi cần phải đặt lên tụ một hiệu điện thế nhỏ nhất là bao nhiêu để điện tử không thể bay ra khỏi tụ? Biết chiều dài của các bản tụ là $l = 5\text{cm}$, khoảng cách giữa hai bản là $d = 1\text{cm}$. Bỏ qua ảnh hưởng của trọng trường.

Gọi v_0 là vận tốc của electron sau khi được gia tốc bởi hiệu điện thế U_0 , ta có: $eU_0 = \frac{1}{2}mv_0^2$

- Chọn hệ trục tọa độ như hình vẽ. Giả sử điện tử chạm bản dương tại điểm $M_{(s,d/2)}$ với $s = v_0 t$ và $\frac{d}{2} = \frac{1}{2}at^2$. Trong đó t là thời gian chuyển của điện tử

$a = \frac{eU}{m_e d}$ là gia tốc của điện tử trong điện trường.

- Từ các phương trình trên ta tìm được



$s^2 = \frac{2d^2U_0}{U}$ vì điện tử không ra khỏi tụ nên $s < l$.

Từ đó rút ra: $U \geq \frac{2d^2U_0}{l^2} = 400\text{ V}$

Vậy hiệu điện thế tối thiểu là $U_{\min} = 400\text{V}$