



LÝ THUYẾT TRƯỜNG ĐIỆN TỪ



Chương 5: Vật dẫn - Điện môi - Điện dung

- I. Dòng điện - Mật độ dòng điện
- II. Vật dẫn kim loại
- III. Phương pháp soi ảnh
- IV. Bán dẫn
- V. Chất điện môi
- VI. Điện dung
- VII. Phương pháp đường sức - đẳng thế
- VIII. Phương pháp lưới

I. Dòng điện - Mật độ dòng điện

- **Dòng điện** là dòng chuyển dời có hướng của các hạt mang điện dương (tốc độ biến thiên của điện tích theo thời gian).

$$I = \frac{dQ}{dt} [A]$$

- **Mật độ dòng điện \mathbf{J} [A/m^2]** đo sự phân bố dòng điện trên một đơn vị diện tích.
- Dòng điện chảy ra khỏi mặt ΔS vuông góc với mật độ dòng điện, được tính theo công thức: $\Delta I = J_N \Delta S$
- Nếu ΔS không vuông góc với mật độ dòng điện: $\Delta I = \mathbf{J} \cdot \Delta \mathbf{S}$
- Tổng dòng điện qua mặt S có mật độ dòng điện \mathbf{J} được tính theo công thức:

$$I = \int_S \mathbf{J} \cdot d\mathbf{S}$$

I. Dòng điện - Mật độ dòng điện

- Vật mang điện có hàm mật độ điện tích khối ρ_V

$$\Delta Q = \rho_V \Delta V = \rho_V \Delta S \Delta L$$

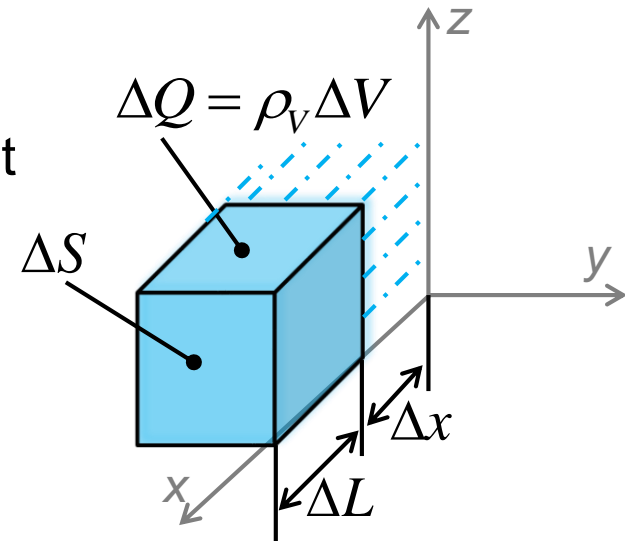
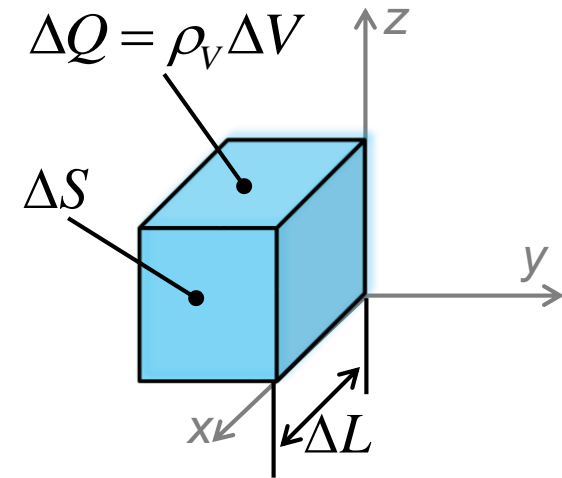
- Đơn giản hóa: Coi vật dịch chuyển song song với trục x: Δx trong khoảng thời gian Δt

$$\Delta Q = \rho_V \Delta S \Delta x$$

- Vậy trong Δt , lượng dòng điện ΔI chảy qua mặt vuông góc với phương Δx là:

$$\Delta I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \rho_V \Delta S \frac{\Delta x}{\Delta t} \rightarrow \Delta I = \rho_V \Delta S v_x = J_x \Delta S$$

- Vậy ta có: **$\mathbf{J} = \rho_V \mathbf{v}$**



I. Dòng điện - Mật độ dòng điện

Ví dụ: Cho vector mật độ dòng điện $\mathbf{J} = 10\rho^2 z \mathbf{a}_\rho - 4\rho \cos^2 \varphi \mathbf{a}_\varphi$ A/m²

Tính tổng dòng điện chảy qua mặt tròn $\rho = 3$, $0 < \varphi < 2\pi$, $1 < z < 2$

Giải:

➤ Áp dụng công thức: $I = \int_S \mathbf{J} \cdot d\mathbf{S} = \int_S \mathbf{J}|_{\rho=3} \cdot d\mathbf{S}$

➤ Ta có: $\mathbf{J}|_{\rho=3} = 10 \cdot 3^2 z \mathbf{a}_\rho - 4 \cdot 3 \cos^2 \varphi \mathbf{a}_\varphi = 90z \mathbf{a}_\rho - 12 \cos^2 \varphi \mathbf{a}_\varphi$
 $d\mathbf{S} = \rho d\varphi dz \mathbf{a}_\rho = 3 d\varphi dz \mathbf{a}_\rho$

➤ Suy ra:

$$I = \int_S \mathbf{J} \cdot d\mathbf{S} = \int_S 270z d\varphi dz = \int_{z=1}^{z=2} \int_{\varphi=0}^{\varphi=2\pi} 270z d\varphi dz = \int_{z=1}^{z=2} 2\pi \cdot 270z dz = 2,54A$$

I. Dòng điện - Mật độ dòng điện

➤ Xét một mặt kín S : $I = \oint_S \mathbf{J} \cdot d\mathbf{S}$

➤ Theo định nghĩa: Dòng điện chảy ra khỏi mặt kín tỷ lệ với độ giảm của hạt mang điện tích dương (tỷ lệ với độ tăng của hạt mang điện tích âm).

➤ Gọi Q_i là các hạt mang điện trong một mặt kín.

$$I = \int_S \mathbf{J} \cdot d\mathbf{S} = -\frac{dQ_i}{dt} \quad \text{trong đó } Q_i = \int_V \rho_V dv$$

➤ Định lý Dive: $\oint_S \mathbf{J} \cdot d\mathbf{S} = \int_V (\nabla \cdot \mathbf{J}) dv \rightarrow \int_V (\nabla \cdot \mathbf{J}) dv = -\frac{d}{dt} \int_V \rho_V dv = \int_V -\frac{\partial \rho_V}{\partial t} dv$

$$\rightarrow (\nabla \cdot \mathbf{J}) \Delta v = -\frac{\partial \rho_V}{\partial t} \Delta v \quad \rightarrow \boxed{\nabla \cdot \mathbf{J} = -\frac{\partial \rho_V}{\partial t}}$$

I. Dòng điện - Mật độ dòng điện

Ví dụ: Khảo sát mật độ dòng điện: $\mathbf{J} = \frac{e^{-t}}{r} \mathbf{a}_r \text{ A/m}^2$

➤ Tại $t = 1\text{s}$, tổng dòng điện chảy ra khỏi mặt cầu kín bán kính

❖ Bán kính $r = 5\text{m}$: $I = J_r S = \frac{1}{5} e^{-1} 4\pi 5^2 = 23,1 \text{ A}$

❖ Bán kính $r = 6\text{m}$: $I = J_r S = \frac{1}{6} e^{-1} 4\pi 6^2 = 27,7 \text{ A}$

➤ Mật độ điện tích khối: $-\frac{\partial \rho_V}{\partial t} = \nabla \cdot \mathbf{J} = \nabla \cdot \left(\frac{1}{r} e^{-t} \mathbf{a}_r \right) = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{1}{r} e^{-t} \right) = \frac{1}{r^2} e^{-t}$

$$\rho_V = -\int \frac{1}{r^2} e^{-t} dt + K(r) = \frac{1}{r^2} e^{-t} + K(r) \xrightarrow[\rho_V \rightarrow 0]{\text{khi } r \rightarrow \infty} \rho_V = \frac{1}{r^2} e^{-t} \text{ C/m}^3$$

➤ Vận tốc dịch chuyển của điện tích: $\mathbf{J} = \rho_V \mathbf{v} \rightarrow v_r = \frac{J_r}{\rho_V} = \frac{\frac{1}{r} e^{-t}}{\frac{1}{r^2} e^{-t}} = r \text{ m/s}$

II. Vật dẫn kim loại

1. Khái niệm

- Cấu tạo của một nguyên tử: **Năng lượng = Động năng + thế năng**
- ❖ Hạt nhân mang điện tích dương.
 - ❖ Các electron mang điện tích âm chuyển động xung quanh.
 - ❖ Electron ở mức năng lượng thấp có quỹ đạo chuyển động gần hạt nhân (và ngược lại).
 - ❖ Khi electron chuyển từ mức năng lượng này sang mức năng lượng khác thì nó sẽ nhận (hoặc phát) ra năng lượng.
 - ❖ Các electron hóa trị có mức năng lượng cao nhất → dễ bị kích thích, thoát ra khỏi trạng thái cân bằng và trở thành các electron tự do (dòng các electron tự do).



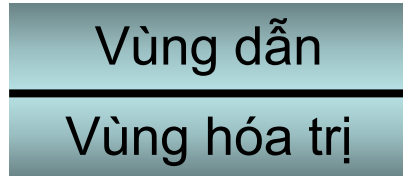
Chương 5: Vật Dẫn - Điện Môi - Điện Dung



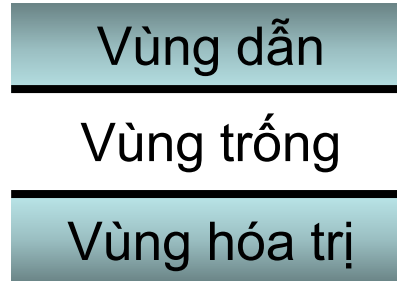
II. Vật dẫn kim loại

1. Khái niệm

Năng lượng ↑



Vật dẫn điện



Vật bán dẫn



Vật cách điện

➤ Xét electron tự do trong vật dẫn điện, đặt ở trong cường độ trường E

$$F = -eE$$

- ❖ Chân không: Vận tốc electron sẽ tăng liên tục
- ❖ Vật dẫn: Vận tốc electron tiến đến giá trị trung bình

$$\mathbf{v}_d = -\mu_e \mathbf{E} \xrightarrow{J=\rho_v \mathbf{v}} \mathbf{J} = -\rho_e \mu_e \mathbf{E}$$

$\mu_e [m^2/Vs]$: độ cơ động của electron (luôn dương)

Chương 5: Vật Dẫn - Điện Môi - Điện Dung

II. Vật dẫn kim loại

1. Khái niệm

$$\mathbf{J} = -\rho_e \mu_e \mathbf{E}$$

ρ_e : mật độ điện tử tự do (luôn âm)

➤ Trong các vật dẫn kim loại, ta có quan hệ:

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$$

σ [S/m]: độ dẫn điện (điện dẫn suất)

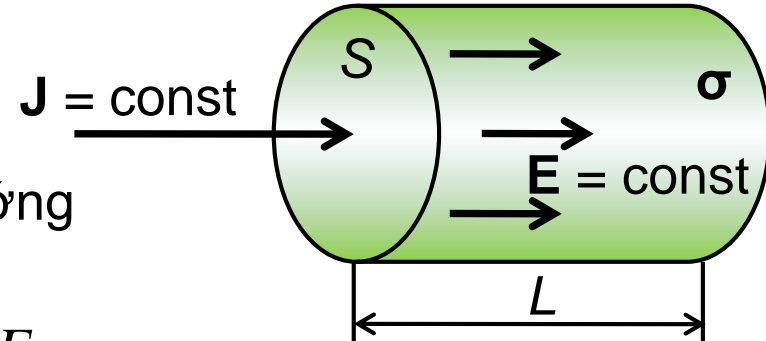
- ❖ Độ dẫn điện (điện trở suất) của vật dẫn thay đổi theo nhiệt độ (VD: Điện trở suất của đồng nhôm bạc thay đổi khoảng 0,4% khi nhiệt độ tăng 1⁰K).
- ❖ Nhiều vật dẫn trở thành siêu dẫn (điện trở suất $\rightarrow 0$) khi nhiệt độ xấp xỉ 0⁰K (VD: Nhôm trở siêu dẫn ở $t^0 \sim 1,14^0\text{K}$).

$$\sigma = -\rho_e \mu_e$$

II. Vật dẫn kim loại

1. Khái niệm

- Xét dây dẫn hình trụ, có \mathbf{J} và \mathbf{E} đẳng hướng



$$I = \int_S \mathbf{J} \cdot d\mathbf{S} = JS \rightarrow J = \frac{I}{S} = \sigma E$$

- Ta có: $V_{ab} = -\int_a^b \mathbf{E} \cdot d\mathbf{L} = -\mathbf{E} \cdot \int_a^b d\mathbf{L} = -\mathbf{E} \cdot \mathbf{L}_{ba} = \mathbf{E} \cdot \mathbf{L}_{ab} \rightarrow V = EL$

- Suy ra: $\rightarrow \frac{I}{S} = \sigma \frac{V}{L} \rightarrow V = \frac{L}{\sigma S} I$
 với $R = \frac{L}{\sigma S}$ } $\rightarrow V = RI$ (Luật Ohm)

- Điện trở của dây dẫn có thể tính theo công thức: $R = \frac{V_{ab}}{I} = \frac{-\int_a^b \mathbf{E} \cdot d\mathbf{L}}{\int_S \sigma \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S}}$



Chương 5: Vật Dẫn - Điện Môi - Điện Dung



II. Vật dẫn kim loại

2. Tính chất vật dẫn - Điều kiện bờ

- Xét điều kiện tĩnh: Giả thiết tồn tại các electron bên trong một vật dẫn.
- Cường độ trường của các electron làm chúng chuyển động ra bề mặt của vật dẫn và có xu hướng tách rời nhau.
 - ❖ *Mật độ điện tích tại mọi điểm bên trong vật dẫn bằng không, bề mặt vật dẫn xuất hiện một điện tích mặt.*
 - ❖ *Tại mọi điểm trong vật dẫn, dòng điện bằng không → cường độ điện trường tại mọi điểm trong vật dẫn bằng không (theo luật Ohm)*

II. Vật dẫn kim loại

2. Tính chất vật dẫn - Điều kiện bờ

- Xét bề mặt phân cách vật dẫn và chân không.

- Vector: $\mathbf{E} = \mathbf{E}_N + \mathbf{E}_t$; $\mathbf{D} = \mathbf{D}_N + \mathbf{D}_t$

- Ta có: $\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{L} = 0$

$$\rightarrow \int_a^b + \int_b^c + \int_c^d + \int_d^a = 0$$

- Trong vật dẫn: $\mathbf{E} = 0$ $\left\{ \begin{array}{l} \rightarrow E_t \Delta w - E_{N, \text{tai b}} \frac{\Delta h}{2} + E_{N, \text{tai a}} \frac{\Delta h}{2} = 0 \\ \Delta h \rightarrow 0 \end{array} \right\} \rightarrow \boxed{\begin{array}{l} E_t = 0 \\ D_t = 0 \end{array}}$

- Áp dụng luật Gauss: $Q = \int_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{S} = \int_{\text{trên}} + \int_{\text{duoi}} + \int_{\text{xung quanh}}$ $\left\{ \begin{array}{l} \rightarrow D_N \Delta S = Q = \rho_S \Delta S \\ \int_{\text{trên}} = D_N \Delta S ; \int_{\text{duoi}} = 0 ; \int_{\text{xung quanh}} = 0 \end{array} \right\} \rightarrow \boxed{D_N = \rho_S = \epsilon_0 E_N}$

Chân không

Vật dẫn

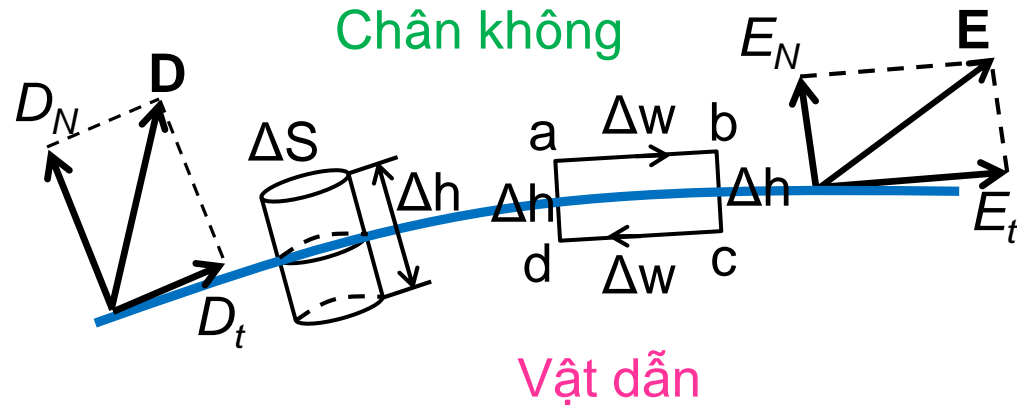
II. Vật dẫn kim loại

2. Tính chất vật dẫn - Điều kiện bờ

$$E_t = D_t = 0$$

$$D_N = \varepsilon_0 E_N = \rho_s$$

$$V_{xy} = -\int_y^x \mathbf{E} \cdot d\mathbf{L} = 0$$



➤ Tính chất của vật dẫn trong điện trường tĩnh

- ❖ Cường độ điện trường tĩnh bên trong vật dẫn bằng không.
- ❖ Tại mọi điểm trên bề mặt của vật dẫn, vector cường độ điện trường tĩnh luôn vuông góc với bề mặt tại điểm đó.
- ❖ Bề mặt của vật dẫn có tính đẳng thế.

II. Vật dẫn kim loại

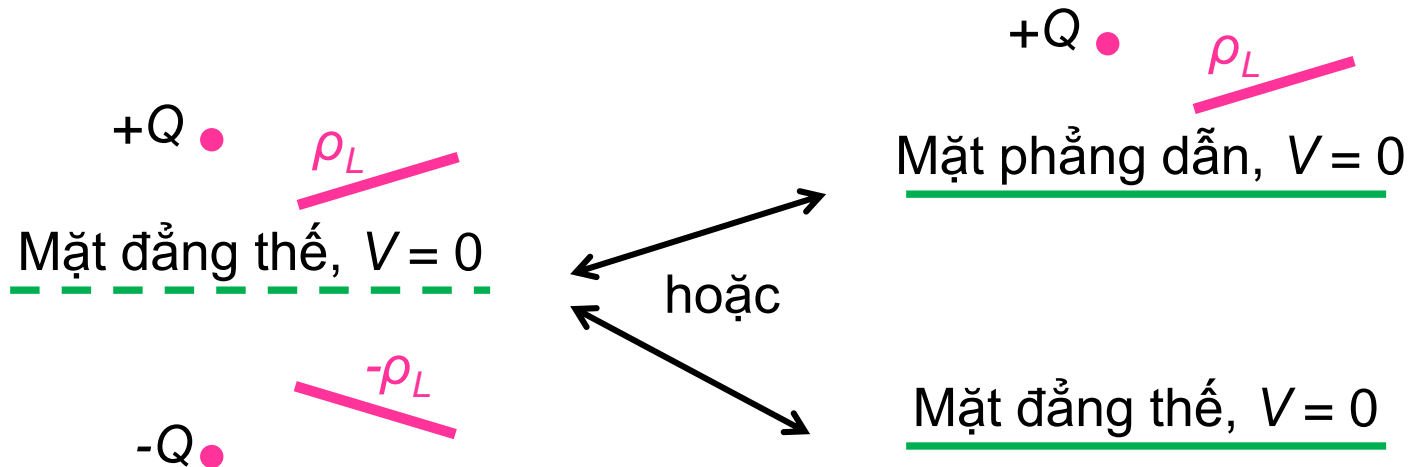
2. Tính chất vật dẫn - Điều kiện bờ

Ví dụ: Cho trường thế $V = 100(x^2 - y^2)$, điểm $P(2, -1, 3)$ nằm trên mặt phân cách. Tính V , \mathbf{E} , \mathbf{D} , ρ_S tại P . Viết phương trình của mặt dẫn.

- Điện thế tại P : $V_P = 100[2^2 - (-1)^2] = 300V$
- Do mặt vật dẫn đẳng thế \rightarrow mọi điểm trên mặt của vật có $V=300V \rightarrow$ quỹ tích các điểm có điện thế $V = 300V = 100(x^2 - y^2) \rightarrow x^2 - y^2 = 3$
- Tính $\mathbf{E} = -\nabla V = -100\nabla(x^2 - y^2) = -200x\mathbf{a}_x + 200y\mathbf{a}_y$
 $\rightarrow \mathbf{E}_P = -400\mathbf{a}_x - 200\mathbf{a}_y \text{ V/m} \rightarrow \mathbf{D}_P = \varepsilon_0 \mathbf{E}_P = -3,54\mathbf{a}_x - 1,771\mathbf{a}_y \text{ nC/m}^2$
 $\rightarrow D_{N,P} = |\mathbf{D}_P| = 3,96 \text{ nC / m}^2$
 $\rightarrow \rho_{S,P} = D_{N,P} = 3,96 \text{ nC / m}^2$

III. Phương pháp soi ảnh

- Một đặc điểm quan trọng của lưỡng cực điện là mặt phẳng nằm giữa lưỡng cực điện luôn có thế bằng không \rightarrow có thể biểu diễn bằng một mặt phẳng dẫn có độ rộng vô hạn và độ dày tiến tới không.
- Có thể thay một lưỡng cực điện bằng một điện tích và một mặt phẳng dẫn mà không làm thay đổi các cường độ trường trên mặt dẫn.



III. Phương pháp soi ảnh

Ví dụ: Tính mật độ điện tích mặt ρ_S tại $P(2, 5, 0)$ trên mặt phẳng dẫn $z = 0$ nếu có một điện tích đường $\rho_L = 30\text{nC/m}$ đặt tại $x = 0$ và $z = 3$

➤ Áp dụng phương pháp soi ảnh.

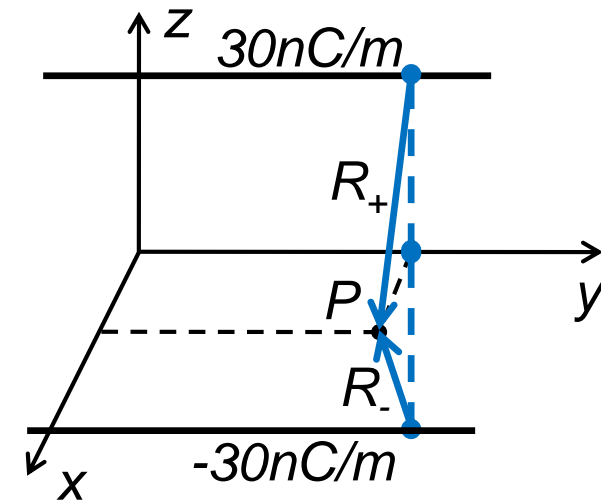
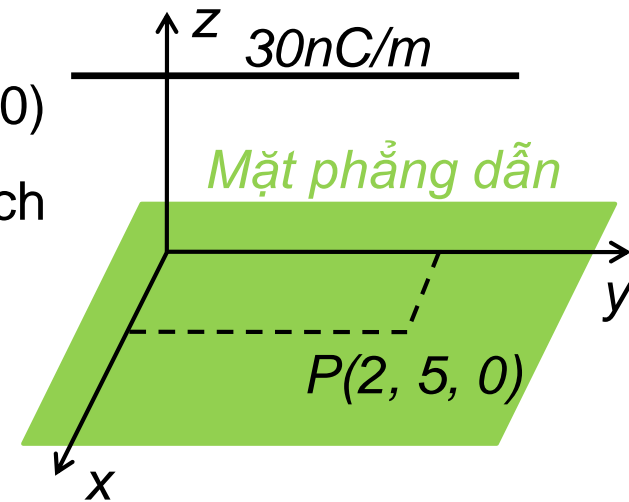
$$\mathbf{R}_+ = 2\mathbf{a}_x - 3\mathbf{a}_z \quad \mathbf{R}_- = 2\mathbf{a}_x + 3\mathbf{a}_z$$

$$\mathbf{E}_+ = \frac{\rho_L}{2\pi\epsilon_0 R_+} \mathbf{a}_{R_+} = \frac{30 \cdot 10^{-9}}{2\pi\epsilon_0 \sqrt{13}} \frac{2\mathbf{a}_x - 3\mathbf{a}_z}{\sqrt{13}}$$

$$\mathbf{E}_- = \frac{\rho_L}{2\pi\epsilon_0 R_-} \mathbf{a}_{R_-} = \frac{-30 \cdot 10^{-9}}{2\pi\epsilon_0 \sqrt{13}} \frac{2\mathbf{a}_x + 3\mathbf{a}_z}{\sqrt{13}}$$

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_+ + \mathbf{E}_- = \frac{-180 \cdot 10^{-9} \mathbf{a}_z}{2\pi\epsilon_0 (13)} = -249 \mathbf{a}_z \text{ V/m}$$

$$\rightarrow \rho_S = \epsilon_0 E_N = -2,20 \text{ nC} / \text{m}^2$$

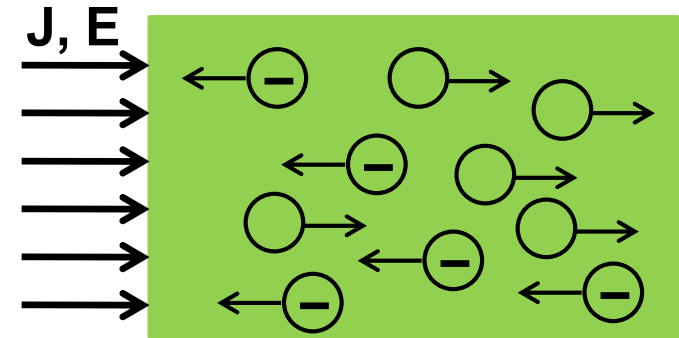


IV. Bán dẫn

➤ Trong các vật liệu bán dẫn, có 2 hạt mang điện: *Electron*, và *lỗ trống*

❖ Các electron ở vùng hóa trị nhận năng lượng kích thích → vượt qua vùng cấm để tới vùng dẫn.

❖ Trong chất bán dẫn, các khoảng trống do electron để lại (*lỗ trống*) cũng di chuyển (ngược hướng với electron).



➤ Độ dẫn điện của chất bán dẫn: $\sigma = -\rho_e \mu_e + \rho_h \mu_h$

➤ Độ dẫn điện chất bán dẫn tăng khi nhiệt độ tăng (ngược với kim loại)

➤ Điện dẫn chất bán dẫn tăng lên khi có lẫn tạp chất (*n-type, p-type*)



Chương 5: Vật Dẫn - Điện Môi - Điện Dung



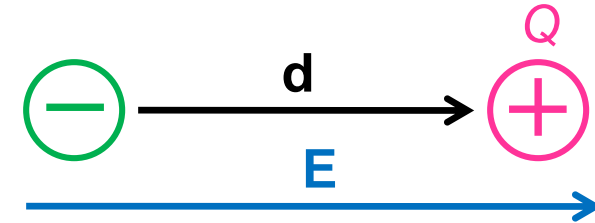
V. Chất điện môi

1. Khái niệm

- Các chất điện môi được cấu tạo bởi nhiều các phân cực điện đặt trong chân không.
 - ❖ Phân cực điện không thể phân bố như quá trình dẫn đối với kim loại/bán dẫn do chúng chịu lực tương tác của nguyên tử & phân tử.
 - ❖ Ở trạng thái bình thường, các phân cực điện sẽ xoay theo các hướng khác nhau.
 - ❖ Khi có tác động của điện trường ngoài, các phân cực điện sẽ sắp xếp lại theo hướng của điện trường, tạo ra trường điện từ tĩnh.
 - ❖ Tính chất: Các chất điện môi đều có khả năng tích lũy năng lượng điện năng.

V. Chất điện môi

1. Khái niệm



➤ Gọi \mathbf{p} là momen lưỡng cực điện: $\mathbf{p} = Q\mathbf{d} [Cm]$

➤ Nếu vi phân thể tích Δv có n lưỡng cực điện $\mathbf{p} \rightarrow$ momen lưỡng cực điện tổng:

$$\mathbf{p}_{\text{tổng}} = \sum_{i=1}^{n\Delta v} \mathbf{p}_i$$

❖ Ở trạng thái tự nhiên, \mathbf{p}_i sắp xếp ngẫu nhiên $\rightarrow \mathbf{p}_{\text{tổng}}$ xấp xỉ không.

❖ Nếu \mathbf{p}_i cùng hướng (do điện từ trường ngoài) $\rightarrow \mathbf{p}_{\text{tổng}}$ khá lớn.

➤ Vector phân cực \mathbf{P} cho biết số lượng momen lưỡng cực trên một đơn vị thể tích

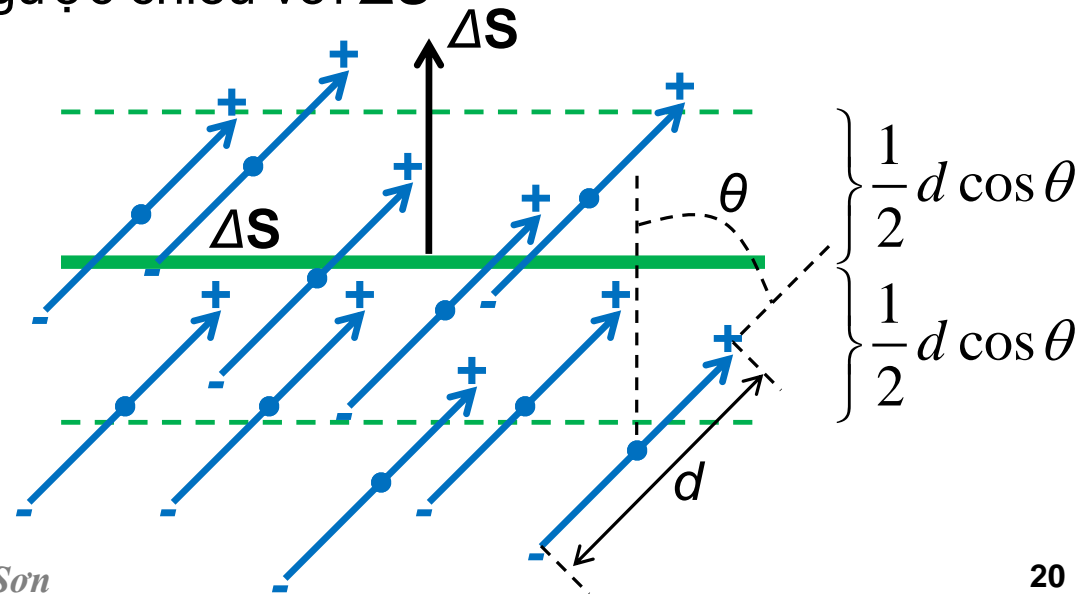
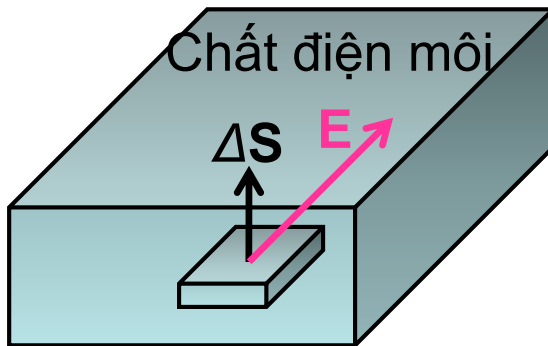
$$\mathbf{P} = \lim_{\Delta v \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta v} \sum_{i=1}^{n\Delta v} \mathbf{p}_i [C/m^2]$$

Chương 5: Vật Dẫn - Điện Môi - Điện Dung

V. Chất điện môi

1. Khái niệm

- Xét vật liệu điện môi có $\mathbf{P} = 0$
 - ❖ Xét vi phân diện tích $\Delta \mathbf{S}$ chịu tác động của cường độ điện trường \mathbf{E}
 - ❖ Dưới tác động của \mathbf{E} , mỗi phân tử điện môi có: $\mathbf{p} = Q\mathbf{d}$
 - ❖ Mỗi điện tích sẽ dịch chuyển theo hướng $\Delta \mathbf{S}$ một khoảng $\frac{1}{2} d \cos \theta$
 - ❑ Điện tích dương dịch cùng chiều với $\Delta \mathbf{S}$
 - ❑ Điện tích âm dịch ngược chiều với $\Delta \mathbf{S}$



V. Chất điện môi

1. Khái niệm

➤ Với mật độ: n phân tử / m^3

❖ Số phân tử dịch theo hướng $\Delta \mathbf{S}$ trong một vi phân thể tích:

$$\left. \begin{aligned} \Delta Q_b &= nQd \cos \theta \Delta S = nQ \mathbf{d} \cdot \Delta \mathbf{S} \\ \mathbf{p} &= Q \mathbf{d} \rightarrow \mathbf{P} = nQ \mathbf{d} \end{aligned} \right\} \rightarrow \Delta Q_b = \mathbf{P} \cdot \Delta \mathbf{S} \rightarrow Q_b = - \oint_S \mathbf{P} \cdot d\mathbf{S}$$

❖ Áp dụng luật Gauss cho một mặt kín: $Q_{\text{tong}} = \oint_S \epsilon_0 \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = Q + Q_b$

$$\rightarrow Q = Q_{\text{tong}} - Q_b = \oint_S (\epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P}) \cdot d\mathbf{S}$$

$$\rightarrow \boxed{\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P}}$$

➤ Theo định lý Dive: $\left. \begin{aligned} \oint_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{S} &= \int_V \nabla \cdot \mathbf{D} dv \\ Q &= \int_V \rho_V dv \end{aligned} \right\} \rightarrow \boxed{\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_V}$

V. Chất điện môi

1. Khái niệm

- Trong vật liệu đẳng hướng, \mathbf{E} luôn cùng chiều \mathbf{P} , không phụ thuộc hướng của trường.

$$\mathbf{P} = \chi_e \varepsilon_0 \mathbf{E} \quad \chi_e : \text{hệ số phân cực điện môi } (k_p)$$

❖ Ta có: $\mathbf{D} = \varepsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P} = \varepsilon_0 \mathbf{E} + \chi_e \varepsilon_0 \mathbf{E} = (1 + \chi_e) \varepsilon_0 \mathbf{E}$

❖ Gọi: $\varepsilon_r = 1 + \chi_e$ hằng số phân cực điện của vật liệu

❖ Vậy: $\mathbf{D} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \mathbf{E} = \varepsilon \mathbf{E}$ với $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$ là hằng số điện môi của vật liệu

- Trong vật liệu dị hướng, \mathbf{E} không cùng chiều \mathbf{P}

$$\begin{aligned} \mathbf{D} &= \varepsilon \mathbf{E} \\ \varepsilon &= \varepsilon_0 \varepsilon_R \end{aligned} \rightarrow \begin{aligned} D_x &= \varepsilon_{xx} E_x + \varepsilon_{xy} E_y + \varepsilon_{xz} E_z \\ D_y &= \varepsilon_{yx} E_x + \varepsilon_{yy} E_y + \varepsilon_{yz} E_z \\ D_z &= \varepsilon_{zx} E_x + \varepsilon_{zy} E_y + \varepsilon_{zz} E_z \end{aligned}$$

Chương 5: Vật Dẫn - Điện Môi - Điện Dung

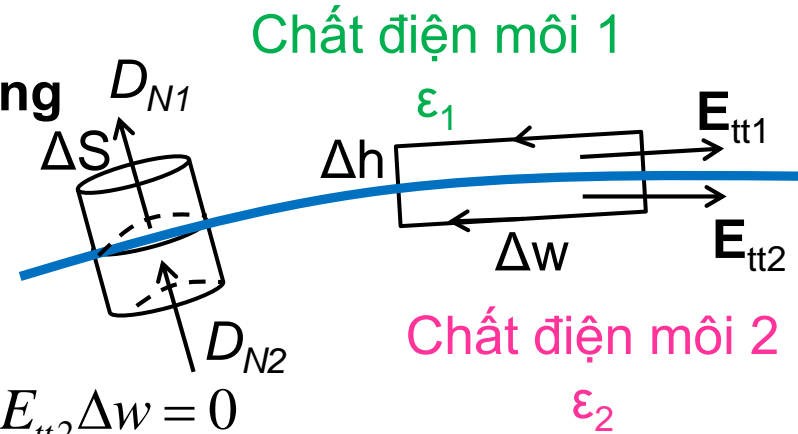
V. Chất điện môi

2. Điều kiện bờ của chất điện môi lý tưởng

- Xét mặt phân cách 2 chất điện môi

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{L} = 0$$

$$\left. \begin{aligned} \rightarrow E_t \Delta w - E_N \frac{\Delta h}{2} + E_N \frac{\Delta h}{2} = 0 \\ \Delta h \rightarrow 0 \end{aligned} \right\} \rightarrow E_{tt1} \Delta w - E_{tt2} \Delta w = 0 \rightarrow \boxed{E_{tt1} = E_{tt2}} \text{ (biến thiên liên tục)}$$



- Mật độ dòng điện \mathbf{D} : $\frac{D_{tt1}}{\epsilon_1} = E_{tt1} = E_{tt2} = \frac{D_{tt2}}{\epsilon_2} \rightarrow \boxed{\frac{D_{tt1}}{D_{tt2}} = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}}$ (biến thiên không liên tục)

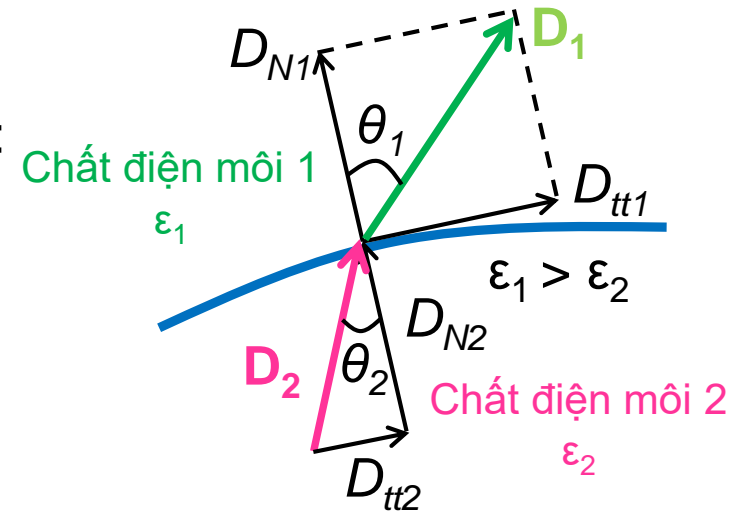
- Xét \mathbf{E}_N : $D_{N1} \Delta S - D_{N2} \Delta S = \Delta Q = \rho_s \Delta S$
 $\rightarrow D_{N1} - D_{N2} = \rho_s \xrightarrow{\rho_s=0} \boxed{D_{N1} = D_{N2}} \rightarrow \boxed{\frac{E_{N1}}{E_{N2}} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}}$
 (Trên bề mặt chất điện môi không có các điện tích tự do)

V. Chất điện môi

2. Điều kiện bờ của chất điện môi lý tưởng

➤ Xét mặt phân cách giữa 2 chất điện môi có:

- \mathbf{D}_1 lệch với phương pháp tuyến góc θ_1
- \mathbf{D}_2 lệch với phương pháp tuyến góc θ_2



$$\left. \begin{aligned} D_{N1} &= D_{N2} \\ D_{N1} &= D_1 \cos \theta_1 \\ D_{N2} &= D_2 \cos \theta_2 \end{aligned} \right\} \rightarrow D_1 \cos \theta_1 = D_2 \cos \theta_2$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{D_{tt1}}{\epsilon_1} &= \frac{D_{tt2}}{\epsilon_2} \\ D_{tt1} &= D_1 \sin \theta_1 \\ D_{tt2} &= D_2 \sin \theta_2 \end{aligned} \right\} \rightarrow \epsilon_2 D_1 \sin \theta_1 = \epsilon_1 D_2 \sin \theta_2$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\tan \theta_1}{\tan \theta_2} &= \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \rightarrow \theta_2 \\ D_1 \cos \theta_1 &= D_2 \cos \theta_2 \end{aligned} \right\} \rightarrow D_2$$

V. Chất điện môi

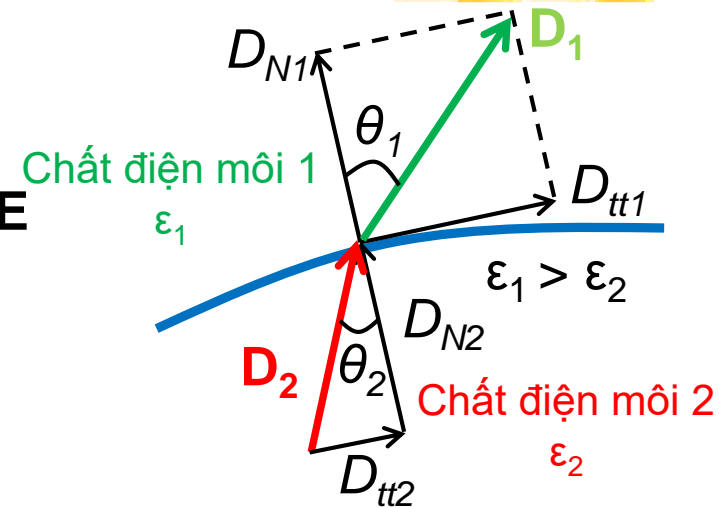
2. Điều kiện bờ của chất điện môi lý tưởng

- Trên mỗi bề mặt của mặt phân cách: $\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E}$
(\mathbf{D} và \mathbf{E} luôn cùng hướng)

$$D_2 = D_1 \sqrt{\cos^2 \theta_1 + \left(\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \right)^2 \sin^2 \theta_1}$$

$$E_2 = E_1 \sqrt{\sin^2 \theta_1 + \left(\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \right)^2 \cos^2 \theta_1}$$

$$\theta_2 = \arctg \left(\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \tg \theta_1 \right)$$



➤ Nhận xét:

- ❖ Nếu biết (\mathbf{E} , \mathbf{D}) của một bên → tính được bên còn lại.
- ❖ Chất điện môi có ϵ lớn thì \mathbf{D} lớn
- ❖ Chất điện môi có ϵ nhỏ thì \mathbf{E} lớn

V. Chất điện môi

2. Điều kiện bờ của chất điện môi lý tưởng

Ví dụ: Xét vùng $z < 0$ có chất điện môi 1: $\varepsilon_1 = 3,2$; $\mathbf{D}_1 = -30\mathbf{a}_x + 50\mathbf{a}_y + 70\mathbf{a}_z$ nC/m^2 , vùng $z > 0$ có chất điện môi 2: $\varepsilon_2 = 2$. Tính \mathbf{D}_{N1} , \mathbf{D}_{tt1} , D_{tt1} , \mathbf{D}_{N2} , \mathbf{D}_{tt2} , \mathbf{D}_2 , θ_2

Giải:

$$\mathbf{D}_{N1} = \mathbf{D}_{1z} = 70\mathbf{a}_z \rightarrow D_{N1} = 70nC / m^2 \rightarrow D_{N1} = D_{N2} \rightarrow \mathbf{D}_{N2} = 70\mathbf{a}_z \quad nC / m^2$$

$$\mathbf{D}_{tt1} = -30\mathbf{a}_x + 50\mathbf{a}_y \quad nC / m^2 \rightarrow D_{tt1} = \sqrt{(-30)^2 + 50^2} = 58,31nC / m^2$$

$$\frac{D_{tt1}}{D_{tt2}} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \rightarrow \mathbf{D}_{tt2} = \frac{\varepsilon_2 \mathbf{D}_{tt1}}{\varepsilon_1} = \frac{2}{3,2} (-30\mathbf{a}_x + 50\mathbf{a}_y) = -18,75\mathbf{a}_x + 31,25\mathbf{a}_y \quad nC/m^2$$

$$\rightarrow \mathbf{D}_2 = \mathbf{D}_{N2} + \mathbf{D}_{tt2} = -18,75\mathbf{a}_x + 31,25\mathbf{a}_y + 70\mathbf{a}_z \quad nC/m^2$$

$$\theta_1 = \arctg \frac{D_{tt1}}{D_{1z}} = \arctg \frac{58,3}{70} = 39,8^\circ \rightarrow \theta_2 = \arctg \left(\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \tg \theta_1 \right) = 27,5^\circ$$

VI. Điện dung

1. Khái niệm

➤ Xét 2 vật dẫn đặt trong điện môi:

- ❖ Vật dẫn M_1 : $+Q$
 - ❖ Vật dẫn M_2 : $-Q$
- $$\sum Q = -Q + Q = 0$$

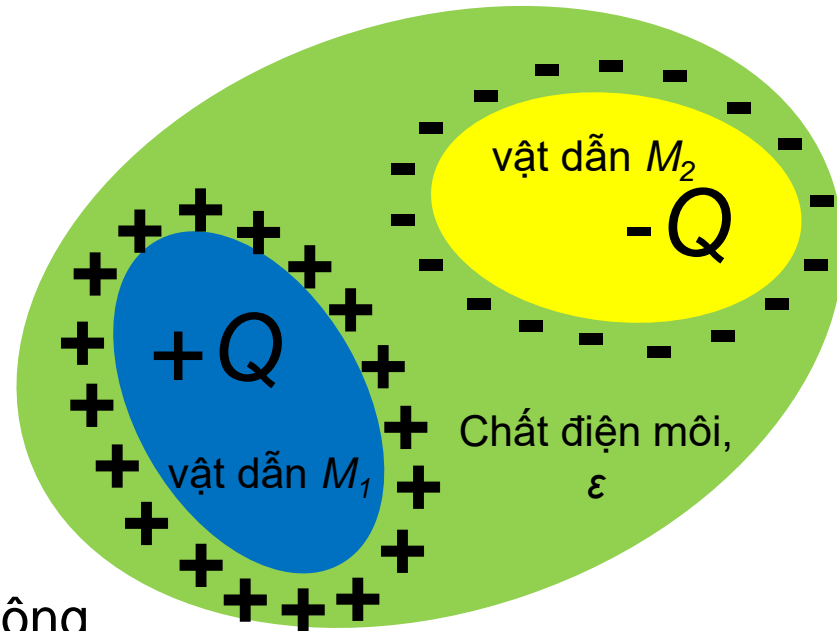
➤ Nhận xét:

- ❖ Bề mặt vật dẫn đóng vai trò như điện tích mặt, và mặt đẳng thế.
- ❖ Vector cường độ điện trường vuông góc với bề mặt vật dẫn tại điểm xét.
- ❖ M_1 tích điện dương \rightarrow cường độ trường hướng từ M_1 sang M_2 , và điện thế của mặt M_1 dương hơn so với điện thế của mặt M_2

➤ **Định nghĩa:** Điện dung C giữa hệ hai vật dẫn có giá trị bằng tỉ số điện tích của vật dẫn với hiệu điện thế giữa hai vật dẫn đó.

$$C = \frac{Q}{V_0}$$

V_0 : hiệu điện thế giữa 2 vật dẫn M_1 và M_2



VI. Điện dung

1. Khái niệm

$$C = \frac{Q}{V_0} \quad \left[\frac{C}{V} = F \right]$$

➤ Tổng quát:

- ❖ Điện tích Q được tích cho toàn bộ mặt kín của vật mang điện M_1 :

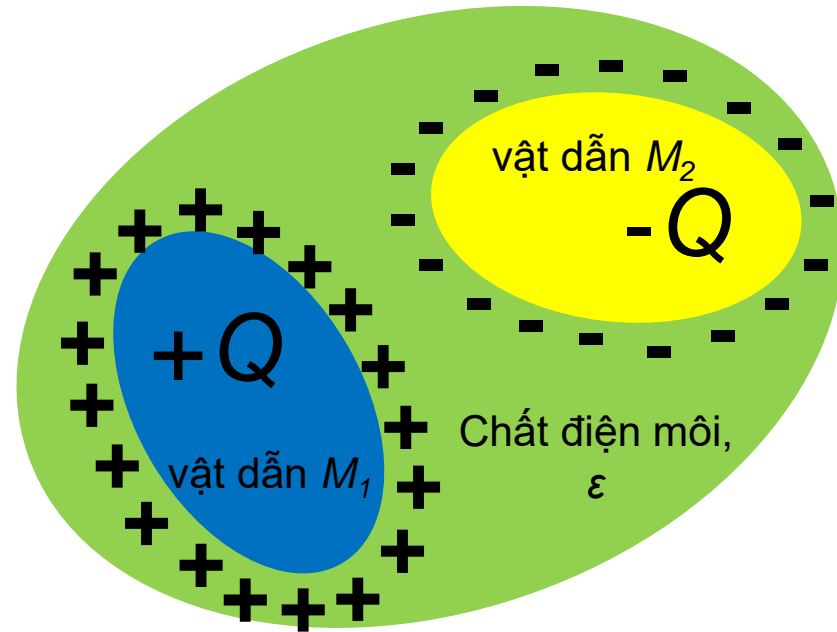
$$Q = \oint_S \epsilon \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S}$$

- ❖ Hiệu điện thế V_0 là công sinh ra để di chuyển điện tích thử từ M_2 sang M_1

$$V_0 = - \int_{-}^{+} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{L}$$

➤ Vậy: $C = \frac{\oint_S \epsilon \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S}}{- \int_{-}^{+} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{L}}$

Giá trị điện dung phụ thuộc vào kích thước vật lý của hệ vật dẫn và phụ thuộc vào hằng số điện môi của chất điện môi.



VI. Điện dung

1. Khái niệm

- Xét 2 mặt dẫn phẳng, rộng vô hạn, đặt song song, cách nhau 1 khoảng d

- ❖ Mặt trên có mật độ điện tích mặt $+\rho_S$
- ❖ Mặt dưới có mật độ điện tích mặt $-\rho_S$

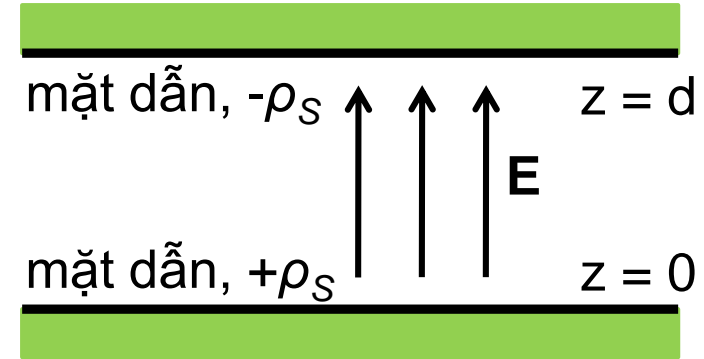
- Cường độ trường giữa 2 mặt dẫn:

$$\mathbf{E} = \frac{\rho_S}{\epsilon} \mathbf{a}_z \rightarrow \mathbf{D} = \rho_S \mathbf{a}_z$$

ϵ : hằng số điện môi của chất điện môi giữa 2 mặt phẳng dẫn điện

- Hiệu điện thế giữa 2 mặt dẫn điện:

$$V_0 = - \int_{tr^n}^{d-i} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{L} = - \int_d^0 \frac{\rho_S}{\epsilon} dz = \frac{\rho_S}{\epsilon} d$$



VI. Điện dung

1. Khái niệm

- Thực tế: Xét 2 mặt phẳng dẫn điện có độ rộng hữu hạn, có diện tích S lớn hơn nhiều khoảng cách d giữa chúng.

$$\rightarrow Q = \rho_s S$$

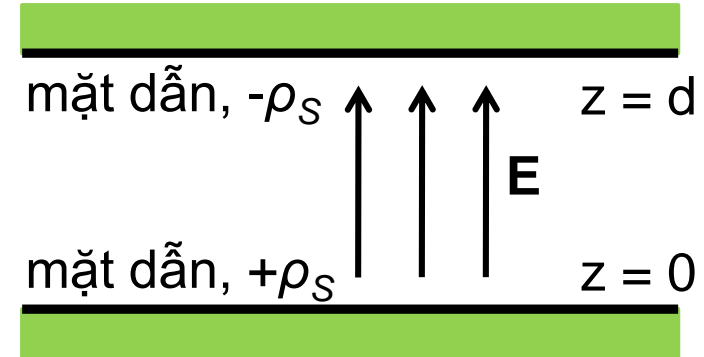
- Vậy điện dung giữa 2 mặt phẳng dẫn điện là:

$$C = \frac{Q}{V_0} = \frac{\epsilon S}{d}$$

- Năng lượng:

$$W_E = \frac{1}{2} \int_V \epsilon E^2 dv = \frac{1}{2} \int_0^S \int_0^d \frac{\epsilon \rho_s^2}{\epsilon^2} dz dS = \frac{1}{2} \frac{\rho_s^2}{\epsilon} S d = \frac{1}{2} \frac{\epsilon S}{d} \frac{\rho_s^2 d^2}{\epsilon^2}$$

$$W_E = \frac{1}{2} C V_0^2 = \frac{1}{2} Q V_0 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$



VI. Điện dung

2. Một số bài toán tính điện dung

➤ Cáp đồng trục, dài L :

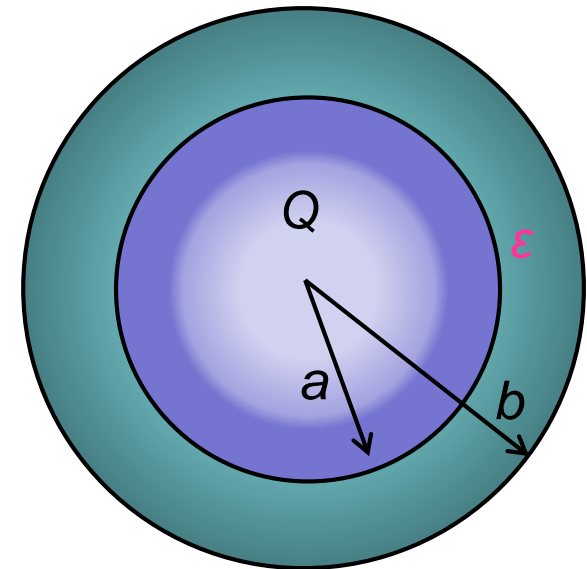
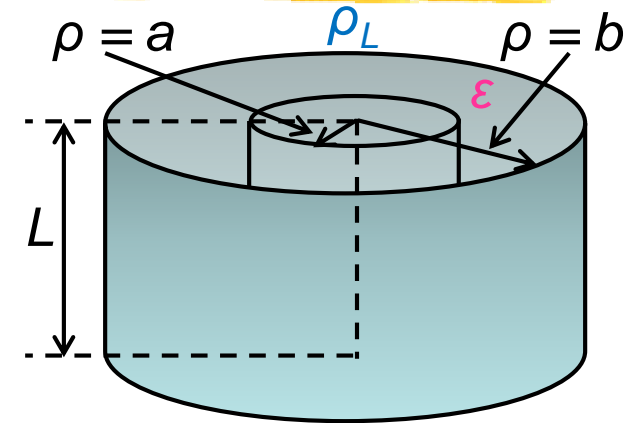
- ❖ Lõi bán kính a
- ❖ Vỏ bán kính b

$$\left. \begin{aligned} V_{ab} &= \frac{\rho_L}{2\pi\epsilon} \ln \frac{b}{a} \\ Q &= \rho_L L \end{aligned} \right\} \rightarrow C = \frac{Q}{V_{ab}} = \frac{2\pi\epsilon L}{\ln \frac{b}{a}}$$

➤ Tụ cầu đồng tâm:

- ❖ Mặt cầu trong, bán kính a
- ❖ Mặt cầu ngoài, bán kính b

$$V_{ab} = \frac{Q}{4\pi\epsilon} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right) \rightarrow C = \frac{Q}{V_{ab}} = \frac{4\pi\epsilon}{\frac{1}{a} - \frac{1}{b}}$$



VI. Điện dung

2. Một số bài toán tính điện dung

- Xét 2 mặt dẫn song song, diện tích S , cách nhau d ($d \ll S$), tích điện Q

- ❖ Hiệu điện thế giữa 2 mặt dẫn:

$$V_0 = V_1 + V_2 = E_1 d_1 + E_2 d_2$$

- ❖ Tại mặt phân cách giữa 2 điện môi, vector dịch chuyển điện \mathbf{D} theo phương pháp tuyến: $D_{N1} = D_{N2} = D$

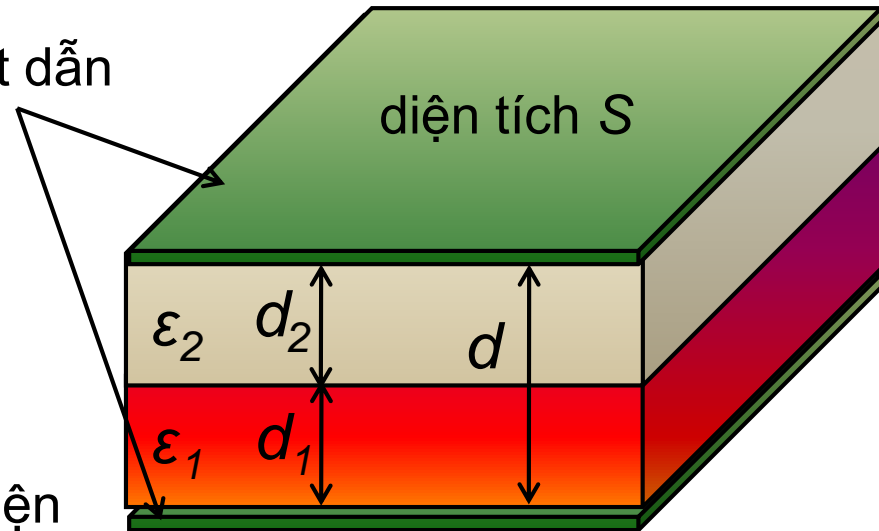
- ❖ Ta có:

$$E_1 = \frac{D}{\epsilon_1} = \frac{Q}{\epsilon_1 S} \rightarrow V_1 = E_1 d_1 = \frac{Q d_1}{\epsilon_1 S}$$

$$E_2 = \frac{D}{\epsilon_2} = \frac{Q}{\epsilon_2 S} \rightarrow V_2 = \frac{Q d_2}{\epsilon_2 S}$$

$$\rightarrow C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{V_1 + V_2} = \frac{1}{\frac{d_1}{\epsilon_1 S} + \frac{d_2}{\epsilon_2 S}} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}}$$

Mặt dẫn



VI. Điện dung

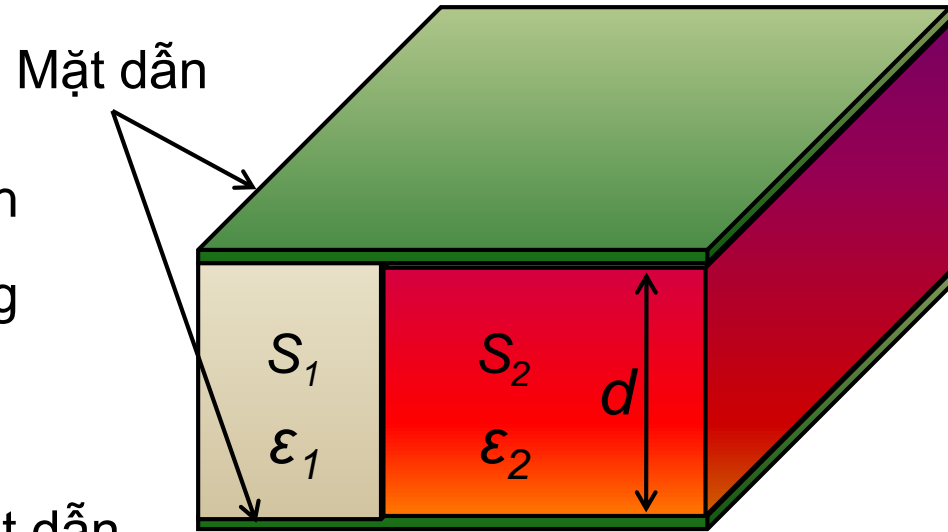
2. Một số bài toán tính điện dung

- Xét trường hợp, mặt phân cách của 2 chất điện môi theo phương pháp tuyến với mặt dẫn
- Giả thiết V_0 là điện thế giữa 2 mặt dẫn

$$\rightarrow E_1 = E_2 = \frac{V_0}{d}$$

- Điện dung C được tính theo công thức:

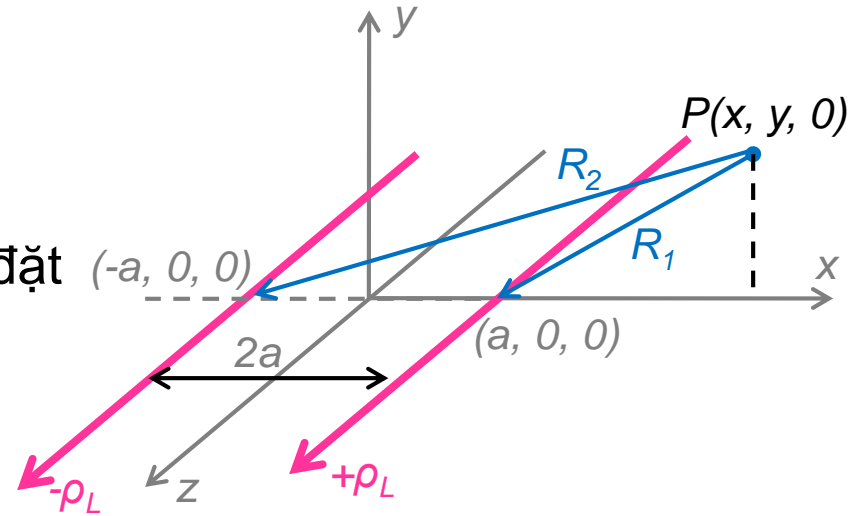
$$\rightarrow C = \frac{\epsilon_1 S_1 + \epsilon_2 S_2}{d} = C_1 + C_2$$



VI. Điện dung

2. Một số bài toán tính điện dung

- Xét 2 dẫn dẫn thẳng dài vô hạn, đặt song song với nhau trong không gian
- Điện thế điểm $P(x, y, 0)$



$$V = V_1 + V_2 = \frac{\rho_L}{2\pi\epsilon} \ln \frac{R_{01}}{R_1} - \frac{\rho_L}{2\pi\epsilon} \ln \frac{R_{02}}{R_2} = \frac{\rho_L}{2\pi\epsilon} \ln \frac{R_{01}R_2}{R_{02}R_1}$$

- Chọn $R_{01} = R_{02}$
- $$\left. \begin{array}{l} R_1 = \sqrt{(x-a)^2 + y^2} \\ R_2 = \sqrt{(x+a)^2 + y^2} \end{array} \right\} \rightarrow V = \frac{\rho_L}{2\pi\epsilon} \ln \sqrt{\frac{(x+a)^2 + y^2}{(x-a)^2 + y^2}} = \frac{\rho_L}{4\pi\epsilon} \ln \frac{(x+a)^2 + y^2}{(x-a)^2 + y^2}$$

VI. Điện dung

2. Một số bài toán tính điện dung

$$V = \frac{\rho_L}{4\pi\epsilon} \ln \frac{(x+a)^2 + y^2}{(x-a)^2 + y^2}$$

➤ Giả sử V_1 là mặt đẳng thế, đặt: $K_1 = e^{\frac{4\pi\epsilon}{\rho_L} V_1}$

$$K_1 = e^{\frac{4\pi\epsilon}{\rho_L} \ln \frac{(x+a)^2 + y^2}{(x-a)^2 + y^2}} = \frac{(x+a)^2 + y^2}{(x-a)^2 + y^2}$$

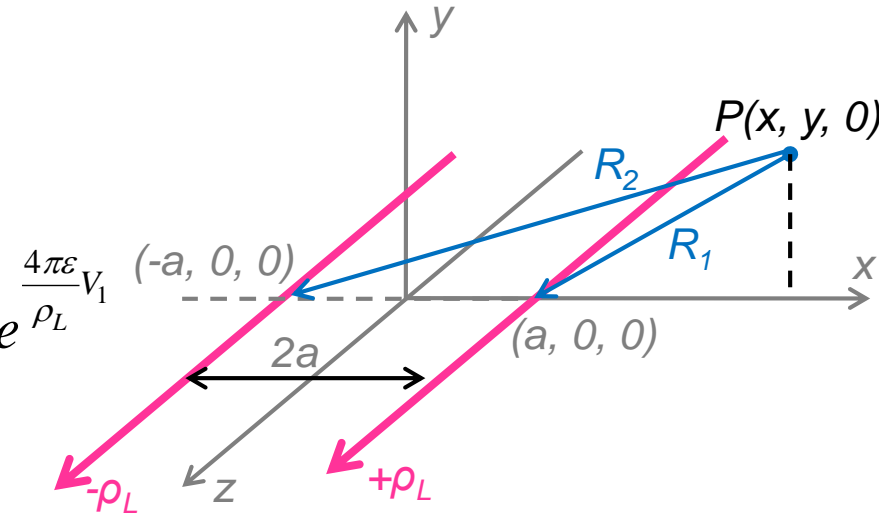
$$\rightarrow x^2 - 2ax \frac{K_1 + 1}{K_1 - 1} + y^2 + a^2 = 0 \rightarrow \left(x - a \frac{K_1 + 1}{K_1 - 1} \right)^2 + y^2 = \left(\frac{2a\sqrt{K_1}}{K_1 - 1} \right)^2$$

➤ Nhận xét:

- ❖ Mặt đẳng thế $V = V_1$ không phụ thuộc $z \rightarrow V_1$ có dạng một mặt trụ
- ❖ Giao giữa mặt V_1 với mặt xOy là đường tròn:

❑ Bán kính: $b = \frac{2a\sqrt{K_1}}{K_1 - 1}$

❑ Tọa độ tâm: $y = 0$; $h = a \frac{K_1 + 1}{K_1 - 1}$



Chương 5: Vật Dẫn - Điện Môi - Điện Dung

VI. Điện dung

2. Một số bài toán tính điện dung

➤ Nhận xét:

- ❖ Mặt đẳng thế $V = V_1$ có dạng một mặt trụ
- ❖ Giao giữa mặt V_1 với mặt xOy là đường tròn:

❑ Bán kính: $b = \frac{2a\sqrt{K_1}}{K_1 - 1}$

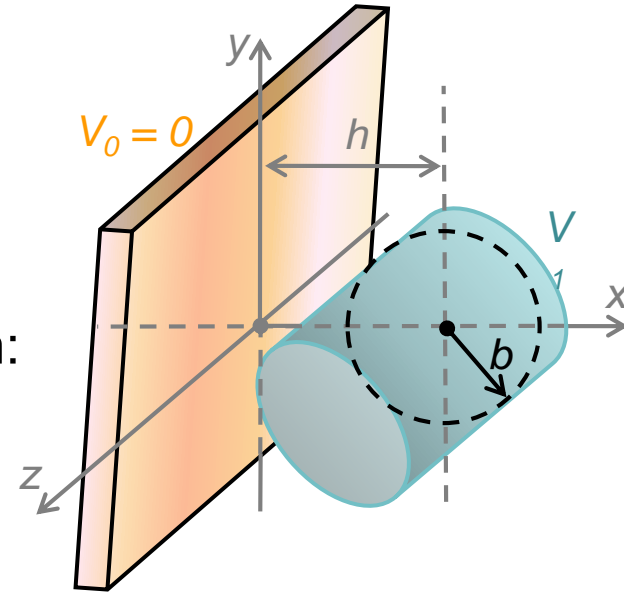
❑ Tọa độ tâm: $y = 0$; $h = a \frac{K_1 + 1}{K_1 - 1}$

$$\rightarrow \begin{cases} a = \sqrt{h^2 - b^2} \\ \sqrt{K_1} = \frac{h + \sqrt{h^2 - b^2}}{b} \end{cases} \xrightarrow{K_1 = e^{\frac{4\pi\epsilon V_1}{\rho_L}}} \rho_L = \frac{4\pi\epsilon V_1}{\ln K_1}$$

Biết h, b, V_1
xác định được a, ρ_L

$$C_{\text{matphang, tru}} = \frac{\rho_L L}{V_1} = \frac{4\pi\epsilon L}{\ln K_1} = \frac{2\pi\epsilon L}{\ln \frac{h + \sqrt{h^2 - b^2}}{b}} = \frac{2\pi\epsilon L}{\cosh^{-1} \frac{h}{b}}$$

L chiều dài của trụ
tròn theo phương z



Chương 5: Vật Dẫn - Điện Môi - Điện Dung

VI. Điện dung

2. Một số bài toán tính điện dung

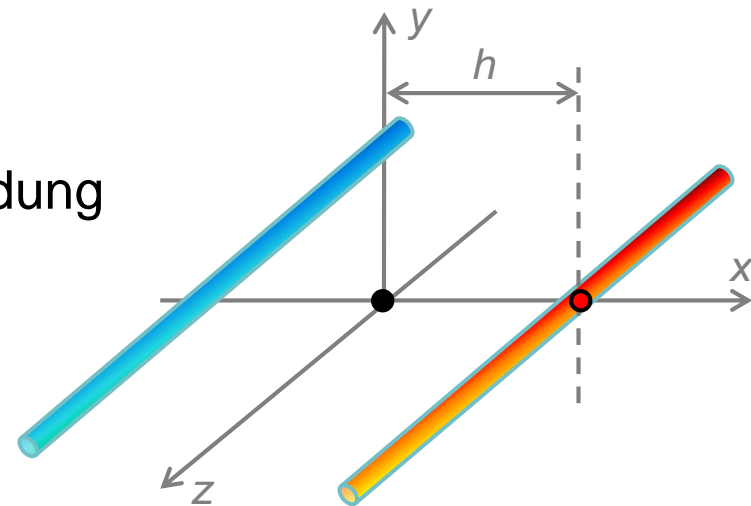
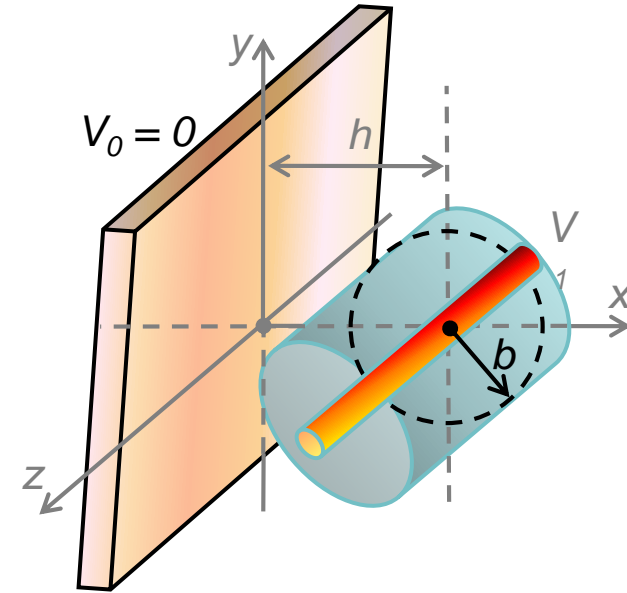
$$C_{\text{matphang, tru}} = \frac{\rho_L L}{V_1} = \frac{4\pi\epsilon L}{\ln K_1} = \frac{2\pi\epsilon L}{\ln \frac{h + \sqrt{h^2 - b^2}}{b}} = \frac{2\pi\epsilon L}{\cosh^{-1} \frac{h}{b}}$$

➤ Nếu $b \ll h \rightarrow \ln \frac{h + \sqrt{h^2 - b^2}}{b} \approx \ln \left(\frac{h + h}{b} \right) = \ln \frac{2h}{b}$

$$\rightarrow C_{\text{matphang, tru}} = C_{\text{matphang, day}} = \frac{2\pi\epsilon L}{\ln \frac{2h}{b}}$$

➤ Tổng quát, ta có công thức tính điện dung giữa 2 dây dẫn thẳng đặt song song:

$$\rightarrow C_{\text{day, day}} = \frac{\pi\epsilon L}{\ln \frac{2h}{b}}$$



VI. Điện dung

2. Một số bài toán tính điện dung

Ví dụ 1: Cho đường tròn có tâm $x = 13, y = 0$, bán kính $b = 5$ là giao của mặt xOy với mặt trụ đẳng thế $V = 100V$.

a. Tìm vị trí, độ lớn điện tích đường tương đương

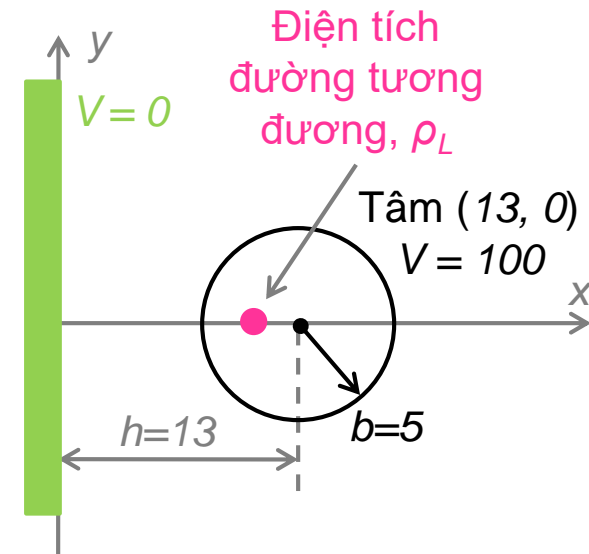
$$a = \sqrt{h^2 - b^2} = \sqrt{13^2 - 5^2} = 12m$$

$$\sqrt{K_1} = \frac{h + \sqrt{h^2 - b^2}}{b} = \frac{13 + 12}{5} = 5 \rightarrow K_1 = 25$$

$$\rightarrow \rho_L = \frac{4\pi\epsilon V_1}{\ln K_1} = \frac{4\pi \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 100}{\ln 25} = 3,46nC / m$$

b. Tính điện dung giữa mặt đẳng thế $V = 0$ & điện tích đường tương đương.

$$C_{\text{matphang,tru}} = \frac{2\pi\epsilon}{\cosh^{-1} \frac{h}{b}} = \frac{2\pi \cdot 8,854 \cdot 10^{-12}}{\cosh^{-1} \frac{13}{5}} = 34,6pF / m$$



VI. Điện dung

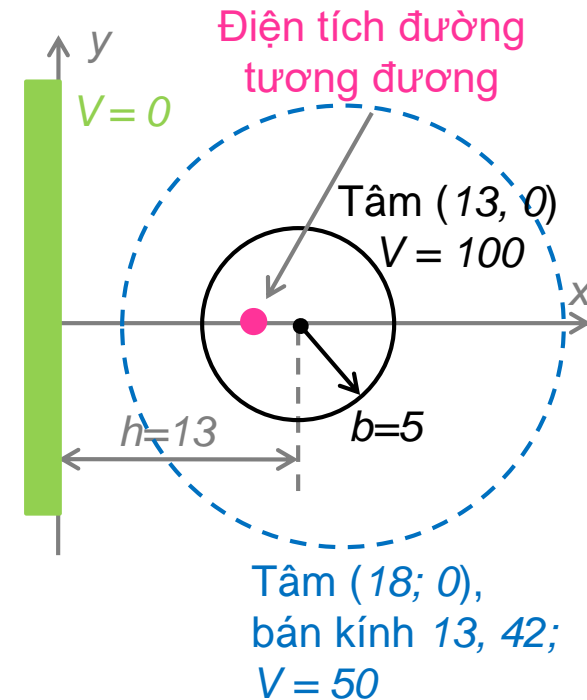
2. Một số bài toán tính điện dung

c. Biết mặt đẳng thế $V_1 = 50V$ của điện tích đường. Tìm tọa độ tâm của đường tròn giao giữa mặt trụ đẳng thế với mặt phẳng xOy

$$K_1 = e^{\frac{4\pi\epsilon V_1}{\rho_L}} = e^{\frac{4\pi \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 50}{3,46 \cdot 10^{-9}}} = 5$$

$$b = \frac{2a\sqrt{K_1}}{K_1 - 1} = \frac{2 \cdot 12\sqrt{5}}{5 - 1} = 13,42m$$

$$h = a \frac{K_1 + 1}{K_1 - 1} = 12 \frac{5 + 1}{5 - 1} = 18m$$

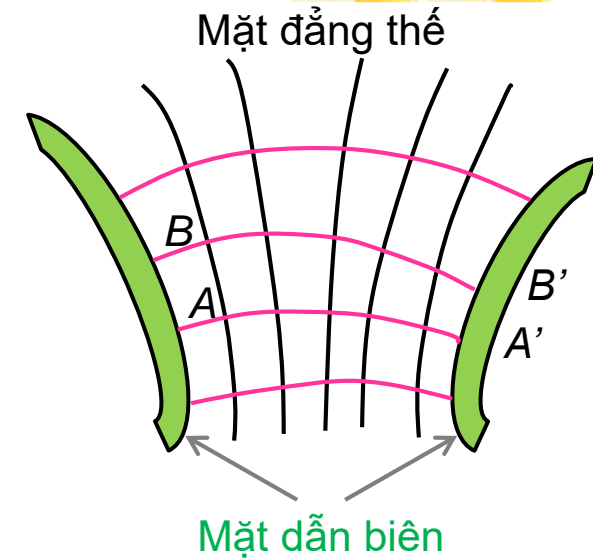


Chương 5: Vật Dẫn - Điện Môi - Điện Dung

VII. Phương pháp đường sức – đẳng thế

➤ Các kết quả đã chứng minh:

- ❖ Mặt dẫn là một mặt đẳng thế
- ❖ Vector cường độ điện trường \mathbf{E} và vector mật độ dịch chuyển điện \mathbf{D} luôn vuông góc với mặt đẳng thế.
- ❖ Cường độ điện trường \mathbf{E} và mật độ dịch chuyển điện \mathbf{D} vuông mặt dẫn phân cách và có thành phần tiếp tuyến bằng không.
- ❖ Các đường sức (*biểu diễn dòng điện dịch*) luôn bắt đầu và kết thúc trên 1 điện tích, do đó đối với các chất điện môi đồng chất (không có các điện tích tự do), các đường sức sẽ bắt đầu và kết thúc trên các mặt dẫn phân cách.



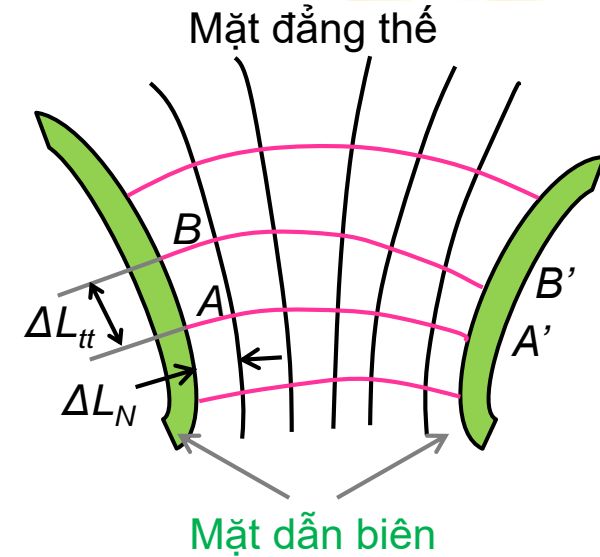
VII. Phương pháp đường sức – đẳng thế

- Giả thiết, tổng đường sức trong ống AB là: $\Delta\psi$
 - ❖ Coi ΔL_{tt} là chiều ngang của ống AB
 - ❖ Độ sâu của ống AB là 1m
 - ❖ Cường độ điện trường E tại điểm giữa của ống AB được tính theo công thức

$$E = \frac{1}{\varepsilon} \frac{\Delta\psi}{\Delta L_{tt}}$$

- ❖ Mặt khác: $E = \frac{\Delta V}{\Delta L_N}$ ΔV : hiệu điện thế giữa 2 mặt đẳng thế kề nhau
 ΔL_N : khoảng cách 2 mặt đẳng thế kề nhau
- ❖ Do các mặt đẳng thế rất gần nhau (ΔV nhỏ) và khoảng cách giữa 2 đường sức nhỏ ($\Delta\psi$ nhỏ)

$$\frac{1}{\varepsilon} \frac{\Delta\psi}{\Delta L_{tt}} = \frac{\Delta V}{\Delta L_N} \xrightarrow[\Delta\psi = \text{const}]{\varepsilon = \text{const}, \Delta V = \text{const}} \frac{\Delta L_{tt}}{\Delta L_N} = \text{const} = \frac{1}{\varepsilon} \frac{\Delta\psi}{\Delta V}$$



VII. Phương pháp đường sức – đẳng thế

$$\frac{\Delta L_{tt}}{\Delta L_N} = \text{const} = \frac{1}{\epsilon} \frac{\Delta \psi}{\Delta V} = 1$$

➤ Tỷ số trên sẽ luôn không đổi:

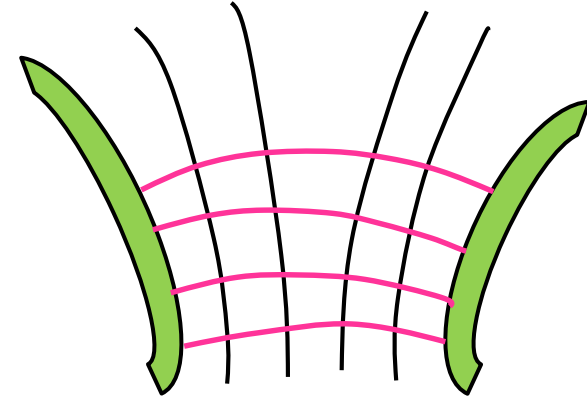
- ❖ Trong khoảng cách giữa 2 đường sức dọc theo một mặt đẳng thế
- ❖ Trong khoảng giữa các mặt đẳng thế dọc theo một đường sức.
- ❖ Đơn giản, chọn: $\Delta L_{tt} = \Delta L_N$

➤ Điện dung C giữa 2 mặt dẫn:

$$C = \frac{Q}{V_0} = \frac{N_Q \Delta Q}{N_V \Delta V} = \frac{N_Q \Delta \psi}{N_V \Delta V}$$

$$\rightarrow C = \frac{N_Q}{N_V} \epsilon \frac{\Delta L_{tt}}{\Delta L_N} = \epsilon \frac{N_Q}{N_V}$$

N_Q : Số các ống sức nối 2 mặt dẫn
 N_V : số các bước điện thế giữa 2 mặt dẫn



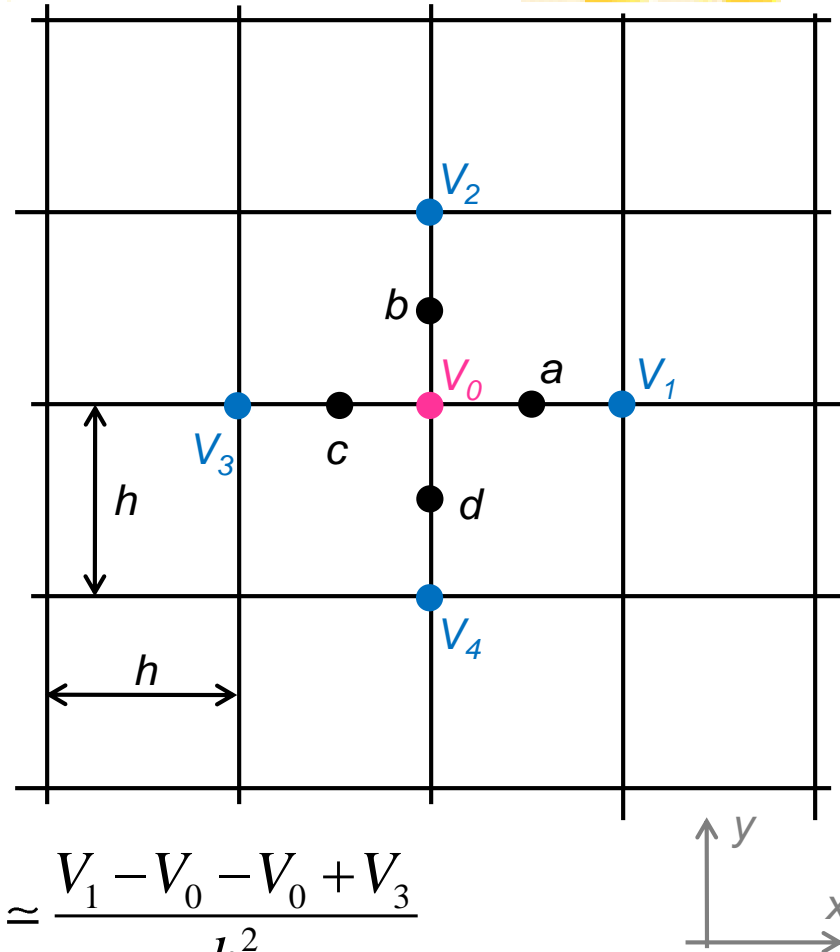
VIII. Phương pháp lưới

- Xét trường thế: $V = V(x, y)$
 - ❖ Trường thế phân bố đều trên mặt lưới kích thước h
 - ❖ Không gian chứa chất điện môi đồng chất.
- Ta có: $\nabla \cdot \mathbf{D} = 0$; $\nabla \cdot \mathbf{E} = 0$

$$\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} = 0 \xrightarrow{E_x = -\frac{\partial V}{\partial x}, E_y = -\frac{\partial V}{\partial y}} \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} = 0$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial x} \Big|_a &\simeq \frac{V_1 - V_0}{h} \\ \frac{\partial V}{\partial x} \Big|_c &\simeq \frac{V_0 - V_3}{h} \end{aligned} \right\} \rightarrow \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} \Big|_0 \simeq \frac{\frac{\partial V}{\partial x} \Big|_a - \frac{\partial V}{\partial x} \Big|_c}{h} \simeq \frac{V_1 - V_0 - V_0 + V_3}{h^2}$$

$$\text{Tương tự: } \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \Big|_0 \simeq \frac{V_2 - V_0 - V_0 + V_4}{h^2} \rightarrow V_0 \simeq \frac{1}{4}(V_1 + V_2 + V_3 + V_4)$$



VIII. Phương pháp lưới

➤ Xét miền giới hạn bởi các mặt dẫn đẳng thế:

❖ Chia thành 16 ô vuông bằng nhau.

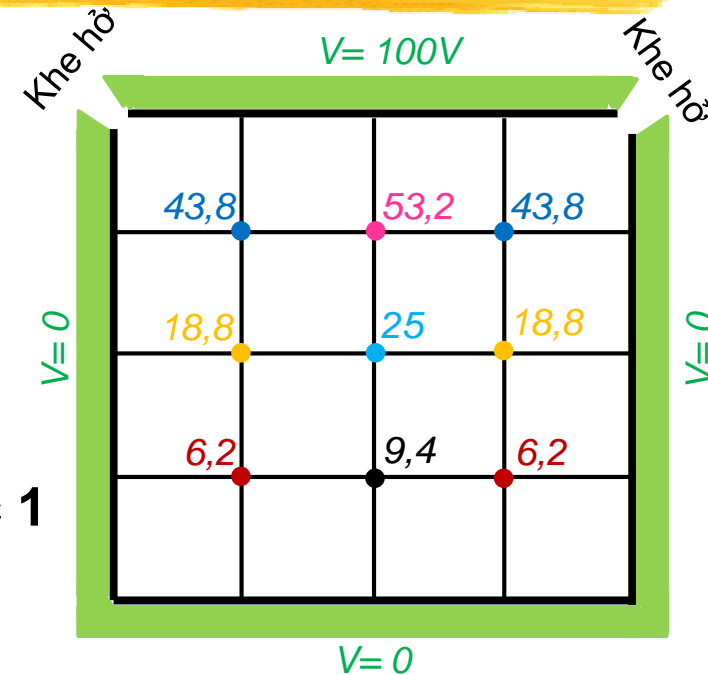
$$V_0 = \frac{1}{4}(V_1 + V_2 + V_3 + V_4)$$

$$\frac{1}{4}(100 + 0 + 0 + 0) = 25$$

$$\frac{1}{4}(100 + 50 + 0 + 25) = 43,8$$

$$\frac{1}{4}(0 + 0 + 0 + 25) = 6,2$$

Bước 1



$$\frac{1}{4}(43,8 + 43,8 + 25 + 100) = 53,2$$

$$\frac{1}{4}(43,8 + 25 + 6,2 + 0) = 18,8$$

$$\frac{1}{4}(6,2 + 25 + 6,2 + 0) = 9,4$$

VIII. Phương pháp lưới

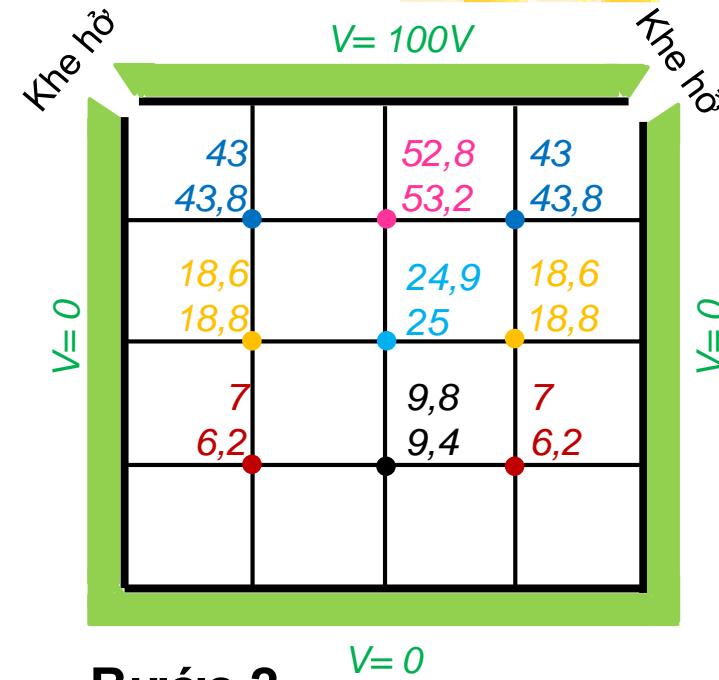
$$V_0 = \frac{1}{4}(V_1 + V_2 + V_3 + V_4)$$

$$\frac{1}{4}(100 + 53,2 + 18,8 + 0) = 43$$

$$\frac{1}{4}(43 + 43 + 25 + 100) = 52,8$$

$$\frac{1}{4}(43 + 25 + 0 + 6,2) = 18,6$$

$$\frac{1}{4}(18,6 + 52,8 + 18,6 + 9,4) = 24,9$$



Bước 2

$$\frac{1}{4}(18,6 + 9,4 + 0 + 0) = 7$$

$$\frac{1}{4}(7 + 24,9 + 7 + 0) = 9,8$$

VIII. Phương pháp lưới

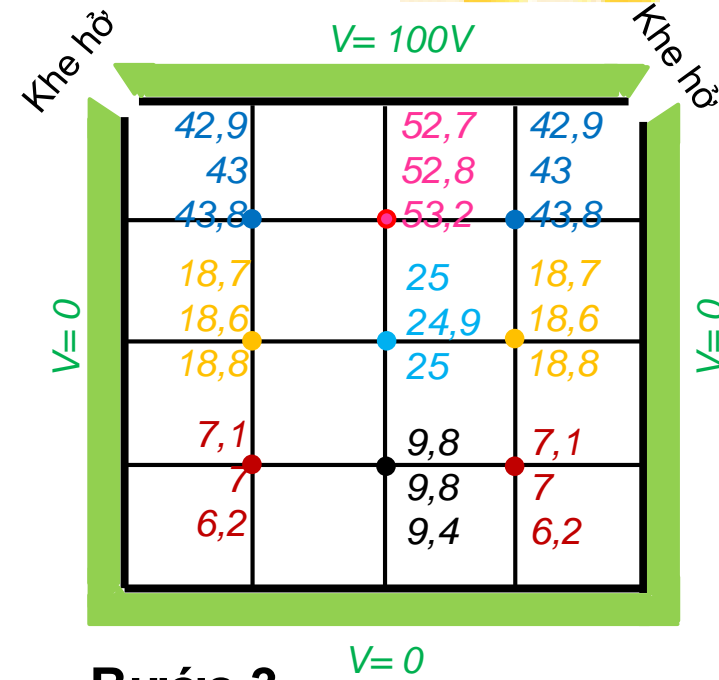
$$V_0 = \frac{1}{4}(V_1 + V_2 + V_3 + V_4)$$

$$\frac{1}{4}(100 + 52,8 + 18,6 + 0) = 42,9$$

$$\frac{1}{4}(42,9 + 42,9 + 24,9 + 100) = 52,7$$

$$\frac{1}{4}(42,9 + 24,9 + 7 + 0) = 18,7$$

$$\frac{1}{4}(18,7 + 52,7 + 18,7 + 9,8) = 25$$



Bước 3

$$\frac{1}{4}(18,7 + 9,8 + 0 + 0) = 7,1$$

$$\frac{1}{4}(7,1 + 25 + 7,1 + 0) = 9,8$$

Chương 5: Vật Dẫn - Điện Môi - Điện Dung

IX. Sự tương đồng giữa chất điện môi và vật dẫn

Vật dẫn	Chất điện môi
$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}_\sigma$ $\mathbf{E}_\sigma = -\nabla V_\sigma$	$\mathbf{D} = \varepsilon \mathbf{E}_\varepsilon$ $\mathbf{E}_\varepsilon = -\nabla V_\varepsilon$
$I = \oint_S \mathbf{J} \cdot d\mathbf{S} = \sigma \oint_S \mathbf{E}_\sigma \cdot d\mathbf{S}$ $V_{\sigma 0} = -\int \mathbf{E}_\sigma \cdot d\mathbf{L}$	$\left\{ \begin{array}{l} R = \frac{V_{\sigma 0}}{I} = \frac{-\int \mathbf{E}_\sigma \cdot d\mathbf{L}}{\sigma \oint_S \mathbf{E}_\sigma \cdot d\mathbf{S}} \\ C = \frac{Q}{V_{\varepsilon 0}} = \frac{\varepsilon \oint_S \mathbf{E}_\varepsilon \cdot d\mathbf{S}}{-\int \mathbf{E}_\varepsilon \cdot d\mathbf{L}} \end{array} \right.$
$\xrightarrow[\mathbf{E}_\varepsilon = \mathbf{E}_\sigma]{V_{\varepsilon 0} = V_{\sigma 0}} \boxed{RC = \frac{\varepsilon}{\sigma}}$	