



LÝ THUYẾT TRƯỜNG ĐIỆN TỪ



Chương 2: Khái niệm cơ bản về trường điện từ

I. Khái niệm cơ bản

II. Thông số cơ bản của trường điện từ & môi trường mang điện

III. Cường độ điện trường của điện tích điểm

IV. Cường độ điện trường của điện tích khối liên tục

V. Cường độ điện trường của điện tích đường

VI. Cường độ điện trường của điện tích mặt

VII. Đường sức - Ống sức

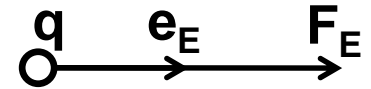
I. Khái niệm cơ bản

- **Định nghĩa:** Trường điện từ là một **dạng vật chất cơ bản**, chuyển động với vận tốc c trong mọi hệ quy chiếu quán tính trong chân không, nó thể hiện sự **tồn tại** và **vận động** qua những **tương tác với một dạng vật chất khác** là những hạt hoặc những môi trường mang điện.
- **Tính tồn tại:** Trường điện từ có khả năng **tác dụng động lực học** lên các vật thể, trường điện từ có **năng lượng**, **động lượng** phân bố, **chuyển động trong không gian**, với vận tốc hữu hạn.
- **Tính vận động:** Thể hiện ở **khả năng tác dụng lên các vật thể, môi trường** (vd: lực lorenx) và **sự lan truyền tác dụng đó**.

I. Khái niệm cơ bản

- Trong hệ quy chiếu có quán tính, trường điện từ có hai mặt tương tác (*lực Lorentz*) với hạt (vật) mang điện tùy theo cách chuyển động của vật trong hệ.

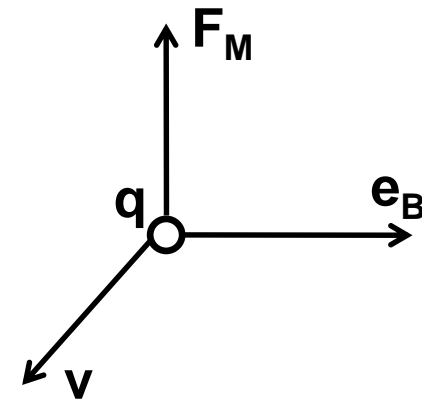
❖ **Lực điện F_E** : Thay đổi theo vị trí, không phụ thuộc vào vận tốc của vật (*mặt điện trường*).



❖ **Lực từ F_M** : tác động khi vật chuyển động (*mặt từ trường*).

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_E + \mathbf{F}_M$$

- Điện trường, từ trường, lực Lorentz & năng lượng của chúng là khái niệm tương đối (xét theo sự chuyển động của vật mang điện trong một hệ quy chiếu).





LÝ THUYẾT TRƯỜNG ĐIỆN TỪ



Chương 2: Khái niệm cơ bản về trường điện từ

I. Khái niệm cơ bản

II. Thông số cơ bản của trường điện từ & môi trường mang điện

III. Cường độ điện trường của điện tích điểm

IV. Cường độ điện trường của điện tích khối liên tục

V. Cường độ điện trường của điện tích đường

VI. Cường độ điện trường của điện tích mặt

VII. Đường sức - Ống sức



Chương 2: Khái niệm cơ bản về trường điện từ



II. Thông số cơ bản của trường điện từ & môi trường mang điện

- Để xây dựng mô hình hệ Trường - Môi trường mang điện, cần xác định những thông số biểu diễn & mô tả hệ:
 - ❖ **Biến trạng thái:** Đo & biểu diễn *trạng thái* và *quá trình động lực học* của hệ hoặc năng lực tương tác của các thành viên trong hệ.
 - ❖ **Biến hành vi:** Biểu diễn tính *quy luật các hoạt động*, hành vi của một thực thể trong quá trình tương tác với thực thể khác.



Chương 2: Khái niệm cơ bản về trường điện từ



II. Thông số cơ bản của trường điện từ & môi trường mang điện

1. Biến trạng thái cơ bản của vật mang điện

- Biến trạng thái cơ bản của vật mang điện là *điện tích q* .
- Đo năng lực tương tác lực (chịu tác dụng lực) với trường điện từ.
- Có 02 loại hạt (vật) mang điện:
 - ❖ *Hạt mang điện tích âm*: $e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ (C)}$
 - ❖ *Hạt mang điện tích dương*
- Hạt (vật) không mang điện (điện tích bằng không) nếu không có khả năng tương tác lực với trường điện từ.



Chương 2: Khái niệm cơ bản về trường điện từ



II. Thông số cơ bản của trường điện từ & môi trường mang điện

2. Biến trạng thái cơ bản của trường điện từ

a. Vector cường độ điện trường E :

➤ Xét vật nhỏ mang điện tích dq , đặt tĩnh trong hệ quy chiếu có quán tính, chịu một lực $d\mathbf{F}_E \rightarrow$ ở **lân cận vật mang điện có điện trường**.

➤ Vector trạng thái **cường độ điện trường** là biến trạng thái đo & biểu diễn **năng lực tác động về điện của lực Lorenx** ở lân cận vật mang điện trong trường điện từ: $d\mathbf{F}_E = dq\mathbf{E}$

➤ Thứ nguyên: $[E] = \frac{[F]}{[q]} = \frac{N}{C} = \frac{Nm}{Cm} = \frac{V}{m}$



Chương 2: Khái niệm cơ bản về trường điện từ



II. Thông số cơ bản của trường điện từ & môi trường mang điện

2. Biến trạng thái cơ bản của trường điện từ

b. Vector cường độ từ cảm \mathbf{B} :

- Xét vật nhỏ mang điện tích dq , chuyển động trong hệ quy chiếu có quán tính, chịu lực $d\mathbf{F}_M \rightarrow$ ở **lân cận vật mang điện có từ trường**.
- Lực $d\mathbf{F}_M$ hướng theo chiều \mathbf{e}_F , vuông góc với vận tốc \mathbf{v} của hạt mang điện, vuông góc với vector đơn vị \mathbf{e}_B xác định theo mỗi điểm trong hệ quy chiếu.

$$d\mathbf{F}_M = dq(\mathbf{v} \times \mathbf{B}) = dqvB\mathbf{e}_v \times \mathbf{e}_B$$

$$\text{Mặt khác: } dqv = dq \frac{dl}{dt} = idl$$

$$\text{Ta có: } d\mathbf{F}_M = iBdl\mathbf{e}_v \times \mathbf{e}_B \quad [\text{T}]$$



Chương 2: Khái niệm cơ bản về trường điện từ



II. Thông số cơ bản của trường điện từ & môi trường mang điện

3. Tính tương đối của \mathbf{E} & \mathbf{B}

➤ Điện trường \mathbf{E} & từ trường \mathbf{B} :

- Những thể hiện của trường điện từ trong hệ quy chiếu. Trường điện từ được “cảm nhận” thông qua \mathbf{E} & \mathbf{B} .
- Xác định theo sự chuyển động của hạt mang điện (mang tính tương đối).

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_E + \mathbf{F}_M = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

➤ Lực Lorentz gồm 2 thành phần:

❖ Không đổi: $\mathbf{F}_E = q\mathbf{E}$

❖ Phụ thuộc vào hệ quy chiếu: $\mathbf{F}_M = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$

Chương 2: Khái niệm cơ bản về trường điện từ

II. Thông số cơ bản của trường điện từ & môi trường mang điện

4. Quan hệ giữa điện tích q & lực tĩnh điện - Luật Coulomb

- Luật Coulomb là luật về tương tác giữa các hạt mang điện: *Độ lớn lực tương tác giữa 2 hạt mang điện tỷ lệ thuận với điện tích q_1, q_2 , và tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa chúng.*

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

ϵ_0 : hằng số điện môi trong chân không

Q_1, Q_2 : điện tích của hạt mang điện

trong đó: $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ với $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi 10^{-7} c^2} \approx 8,854.10^{-12} F / m$

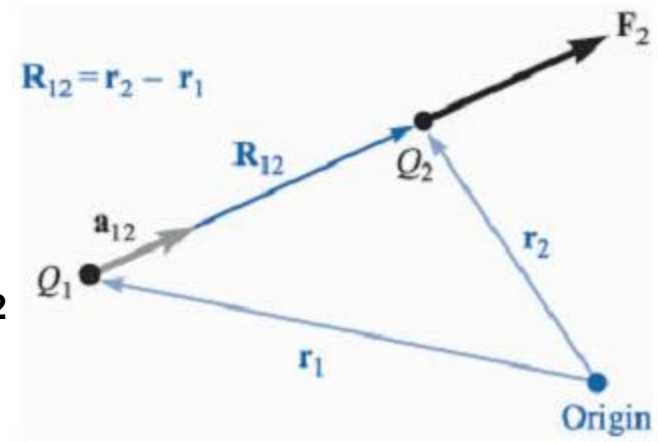
Chương 2: Khái niệm cơ bản về trường điện từ

II. Thông số cơ bản của trường điện từ & môi trường mang điện

4. Quan hệ giữa điện tích q & lực tĩnh điện - Luật Coulomb

- Xét 2 điện tích cùng dấu Q_1 và Q_2 trong chân không, xác định bởi vector \mathbf{r}_1 & \mathbf{r}_2 .
- Lực \mathbf{F}_2 đặt trên điện tích Q_2 có:

❖ **Phương**: Cùng phương với vector \mathbf{R}_{12} nối giữa Q_1 & Q_2 .



$$\mathbf{R}_{12} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1$$

❖ **Hướng**: Cùng hướng với vector \mathbf{R}_{12} .

$$\mathbf{F}_2 = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 R_{12}^2} \mathbf{a}_{12}$$

\mathbf{a}_{12} là vector đơn vị của vector \mathbf{R}_{12}

$$\mathbf{a}_{12} = \frac{\mathbf{R}_{12}}{|\mathbf{R}_{12}|} = \frac{\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1}{|\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1|}$$

Chương 2: Khái niệm cơ bản về trường điện từ

II. Thông số cơ bản của trường điện từ & môi trường mang điện

4. Quan hệ giữa điện tích q & lực tĩnh điện - Luật Coulomb

Ví dụ 2.1: Cho điện tích $Q_1 = 3 \cdot 10^{-4}$ (C) đặt tại $A(1, 2, 3)$, điện tích $Q_2 = -10^{-4}$ (C) đặt tại $B(2, 0, 5)$ trong chân không. Tính lực tác dụng của Q_1 lên Q_2 .

$$\mathbf{F}_2 = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 R_{12}^2} \mathbf{a}_{12}$$

$$\mathbf{R}_{12} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 = (2-1)\mathbf{a}_x + (0-2)\mathbf{a}_y + (5-3)\mathbf{a}_z = \mathbf{a}_x - 2\mathbf{a}_y + 2\mathbf{a}_z$$

$$\rightarrow \begin{cases} R_{12} = \sqrt{1^2 + (-2)^2 + 2^2} = 3 \\ \mathbf{a}_{12} = \frac{\mathbf{R}_{12}}{R_{12}} = \frac{1}{3}\mathbf{a}_x - \frac{2}{3}\mathbf{a}_y + \frac{2}{3}\mathbf{a}_z \end{cases}$$

$$\mathbf{F}_2 = -10\mathbf{a}_x + 20\mathbf{a}_y - 20\mathbf{a}_z \text{ (N)}$$

$$\mathbf{F}_2 = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 R_{12}^2} \mathbf{a}_{12} = \frac{3 \cdot 10^{-4} (-10^{-4})}{4\pi \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 3^2} \left(\frac{1}{3}\mathbf{a}_x - \frac{2}{3}\mathbf{a}_y + \frac{2}{3}\mathbf{a}_z \right) = -30 \left(\frac{1}{3}\mathbf{a}_x - \frac{2}{3}\mathbf{a}_y + \frac{2}{3}\mathbf{a}_z \right)$$



LÝ THUYẾT TRƯỜNG ĐIỆN TỪ



Chương 2: Khái niệm cơ bản về trường điện từ

I. Khái niệm cơ bản

II. Thông số cơ bản của trường điện từ & môi trường mang điện

III. Cường độ điện trường của điện tích điểm

IV. Cường độ điện trường của điện tích khối liên tục

V. Cường độ điện trường của điện tích đường

VI. Cường độ điện trường của điện tích mặt

VII. Đường sức - Ống sức

Chương 2: Khái niệm cơ bản về trường điện từ

III. Cường độ điện trường của điện tích điểm

- Xét điện tích điểm Q_1 đặt cố định, điện tích thử Q_t đặt trong không gian xung quanh điện tích $Q_1 \rightarrow Q_t$ chịu sự tác dụng lực tĩnh điện Coulomb

$$\mathbf{F}_t = \frac{Q_1 Q_t}{4\pi\epsilon_0 R_{1t}^2} \mathbf{a}_{1t} \rightarrow \frac{\mathbf{F}_t}{Q_t} = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 R_{1t}^2} \mathbf{a}_{1t}$$

- **Cường độ điện trường của điện tích điểm tạo ra trong chân không:**

❖ Vector lực tác dụng lên một điện tích thử 1C

❖ Thứ nguyên: V/m

❖ Vector: $\mathbf{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^2} \mathbf{a}_R$ - \mathbf{R} : vector hướng từ Q đến điểm xét
- \mathbf{a}_R : vector đơn vị của \mathbf{R}

III. Cường độ điện trường của điện tích điểm

➤ Hệ tọa độ cầu:

- ❖ Xét điện tích điểm Q đặt tại tâm hệ tọa độ cầu
- ❖ Xét cường độ điện trường tại một điểm trên mặt cầu bán kính r

$$\mathbf{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \mathbf{a}_r \quad \mathbf{a}_r : \text{vector đơn vị hệ tọa độ cầu}$$

➤ Hệ tọa độ descartes:

- ❖ Xét điện tích điểm Q đặt tại gốc tọa độ.
- ❖ Cường độ điện trường tại một điểm bất kỳ có tọa độ (x, y, z)

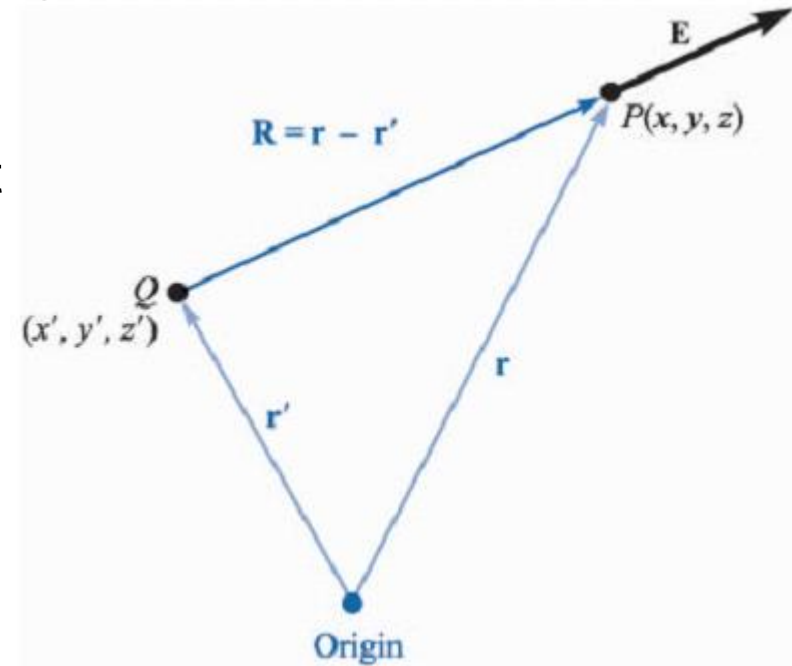
$$\mathbf{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 (x^2 + y^2 + z^2)} \left(\frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \mathbf{a}_x + \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \mathbf{a}_y + \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \mathbf{a}_z \right)$$

Chương 2: Khái niệm cơ bản về trường điện từ

III. Cường độ điện trường của điện tích điểm

➤ Hệ tọa độ descartes:

- ❖ Xét điện tích điểm Q đặt tại điểm bất kỳ có tọa độ (x', y', z') .
- ❖ Cường độ điện trường tại $P(x, y, z)$



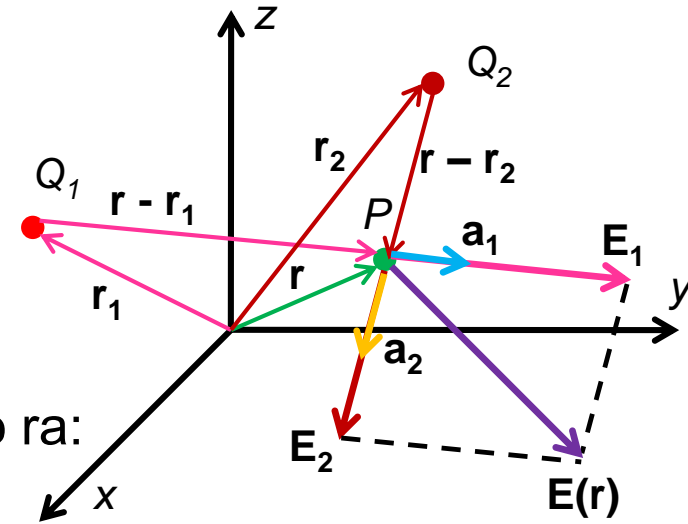
$$\mathbf{R} = \mathbf{r} - \mathbf{r}' \rightarrow \begin{cases} R = |\mathbf{r} - \mathbf{r}'| \\ \mathbf{a}_R = \frac{\mathbf{r} - \mathbf{r}'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} \end{cases}$$

$$\mathbf{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 |\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^2} \frac{\mathbf{r} - \mathbf{r}'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} = \frac{Q(\mathbf{r} - \mathbf{r}')}{4\pi\epsilon_0 |\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3} = \frac{Q[(x - x')\mathbf{a}_x + (y - y')\mathbf{a}_y + (z - z')\mathbf{a}_z]}{4\pi\epsilon_0 [(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2]^{3/2}}$$

Chương 2: Khái niệm cơ bản về trường điện từ

III. Cường độ điện trường của điện tích điểm

- Xét điện tích điểm Q_1 & Q_2 trong chân không.
- Xét điểm P bất kỳ trong chân không
- Theo tính chất tuyến tính của lực Coulomb → cường độ điện trường do 2 điện tích điểm tạo ra:



$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 |\mathbf{r} - \mathbf{r}_1|^2} \mathbf{a}_1 + \frac{Q_2}{4\pi\epsilon_0 |\mathbf{r} - \mathbf{r}_2|^2} \mathbf{a}_2$$

- Tổng quát:

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \sum_{k=1}^n \frac{Q_k}{4\pi\epsilon_0 |\mathbf{r} - \mathbf{r}_k|^2} \mathbf{a}_k$$

III. Cường độ điện trường của điện tích điểm

Ví dụ 2.2: Cho $Q_1 = 4 \cdot 10^{-9} \text{C}$ tại điểm $P_1(3, -2, 1)$, $Q_2 = 3 \cdot 10^{-9} \text{C}$ tại điểm $P_2(1, 0, -2)$, $Q_3 = 2 \cdot 10^{-9} \text{C}$ tại điểm $P_3(0, 2, 2)$, $Q_4 = 10^{-9} \text{C}$ đặt tại điểm $P_4(-1, 0, 2)$.

Tính cường độ điện trường tại điểm $P(1, 1, 1)$.

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 |\mathbf{r} - \mathbf{r}_1|^2} \mathbf{a}_1 + \frac{Q_2}{4\pi\epsilon_0 |\mathbf{r} - \mathbf{r}_2|^2} \mathbf{a}_2 + \frac{Q_3}{4\pi\epsilon_0 |\mathbf{r} - \mathbf{r}_3|^2} \mathbf{a}_3 + \frac{Q_4}{4\pi\epsilon_0 |\mathbf{r} - \mathbf{r}_4|^2} \mathbf{a}_4$$

Trong đó:

$$\mathbf{r} - \mathbf{r}_1 = (x - x_1)\mathbf{a}_x + (y - y_1)\mathbf{a}_y + (z - z_1)\mathbf{a}_z = -2\mathbf{a}_x + 3\mathbf{a}_y \rightarrow \begin{cases} |\mathbf{r} - \mathbf{r}_1| = \sqrt{(2)^2 + 3^2} = 3,32 \\ \mathbf{a}_1 = \frac{\mathbf{r} - \mathbf{r}_1}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_1|} = \frac{-2}{3,32}\mathbf{a}_x + \frac{3}{3,32}\mathbf{a}_y \end{cases}$$

$$|\mathbf{r} - \mathbf{r}_2| = 3,16 \quad \mathbf{a}_2 = 0,32\mathbf{a}_y + 0,95\mathbf{a}_z$$

$$|\mathbf{r} - \mathbf{r}_3| = 1,73 \quad \mathbf{a}_3 = 0,58\mathbf{a}_x - 0,58\mathbf{a}_y - 0,58\mathbf{a}_z$$

$$|\mathbf{r} - \mathbf{r}_4| = 2,45 \quad \mathbf{a}_4 = 0,82\mathbf{a}_x + 0,41\mathbf{a}_y - 0,41\mathbf{a}_z$$

$$\mathbf{E} = 24,66\mathbf{a}_x + 9,99\mathbf{a}_y - 32,4\mathbf{a}_z$$



LÝ THUYẾT TRƯỜNG ĐIỆN TỪ



Chương 2: Khái niệm cơ bản về trường điện từ

I. Khái niệm cơ bản

II. Thông số cơ bản của trường điện từ & môi trường mang điện

III. Cường độ điện trường của điện tích điểm

IV. Cường độ điện trường của điện tích khối liên tục

V. Cường độ điện trường của điện tích đường

VI. Cường độ điện trường của điện tích mặt

VII. Đường sức - Ống sức

IV. Cường độ điện trường của điện tích khối liên tục

- Xét vùng không gian được lấp đầy bằng các hạt mang điện (không gian giữa lưới điều khiển & cực cathode của ống phóng điện tử trong tivi, màn hình CRT...)
- Coi sự phân bố của các hạt mang điện là liên tục, mô tả bằng hàm **mật độ điện tích khối** (C/m³).

$$\rho_v = \lim_{\Delta v \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta v}$$

- Tổng số điện tích tồn tại trong một không gian hữu hạn thể tích V là:

$$Q = \int_V \rho_v dv$$

IV. Cường độ điện trường của điện tích khối liên tục

Ví dụ 2.3: Tính điện tích tổng của chùm điện tử dạng hình trụ, biết $\rho_v = -5e^{-10^5 \rho z} \mu C / m^3$

Giải: Áp dụng công thức:

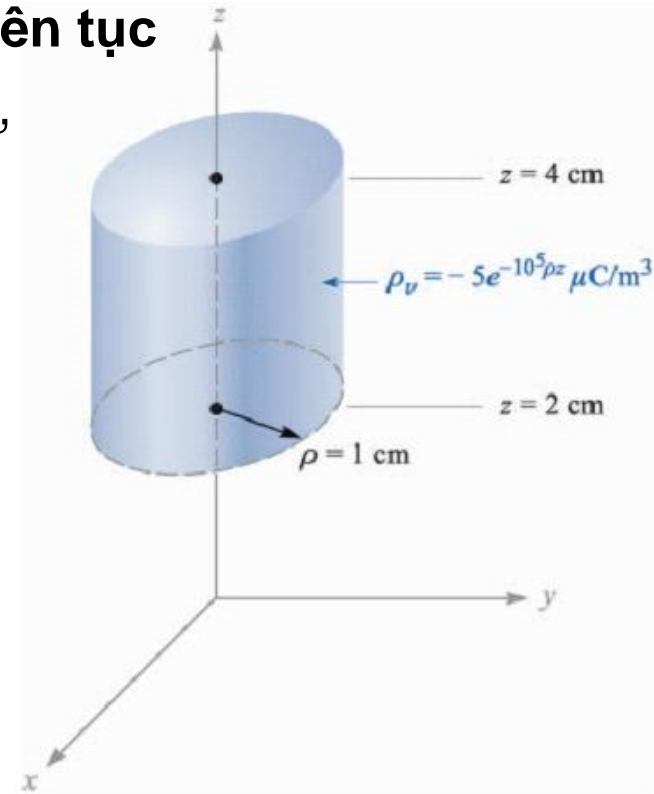
$$Q = \int_V \rho_v dV = \int_V -5.10^{-6} . e^{-10^5 \rho z} dV$$

Thể tích của trụ tròn: $dV = \rho d\rho d\phi dz$

$$\text{Vậy: } Q = \int_{0,02}^{0,04} \int_0^{2\pi} \int_0^{0,01} -5.10^{-6} . e^{-10^5 \rho z} \rho d\rho d\phi dz$$

$$Q = \int_{0,02}^{0,04} \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{0,01} -5.10^{-6} . e^{-10^5 \rho z} \rho d\rho dz = \int_{0,02}^{0,04} \int_0^{0,01} -10^{-5} \pi e^{-10^5 \rho z} \rho d\rho dz$$

$$Q = \int_0^{0,01} \rho d\rho \int_{0,02}^{0,04} -10^{-5} \pi e^{-10^5 \rho z} dz = \int_0^{0,01} 10^{-10} \frac{\pi}{\rho} e^{-10^5 \rho z} \Big|_{0,02}^{0,04} \rho d\rho = \int_0^{0,01} 10^{-10} \frac{\pi}{\rho} (e^{-4000\rho} - e^{-1000\rho}) \rho d\rho$$



Chương 2: Khái niệm cơ bản về trường điện từ

IV. Cường độ điện trường của điện tích khối liên

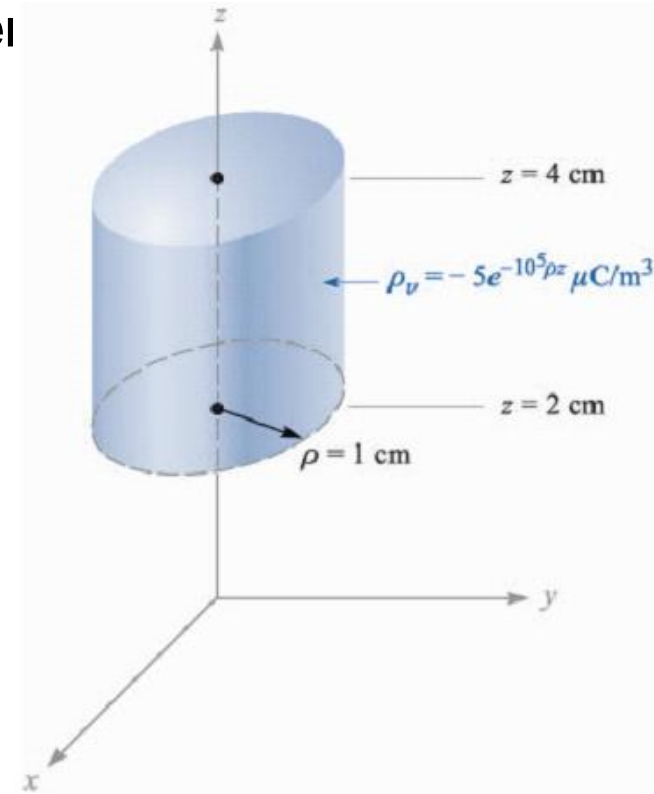
Ví dụ 2.3: Tính điện tích tổng của chùm điện tử dạng hình trụ, biết $\rho_v = -5e^{-10^5 \rho z} \mu C / m^2$

Giải:

$$Q = 10^{-10} \pi \left(\frac{e^{-4000 \rho}}{-4000} - \frac{e^{-2000 \rho}}{-2000} \right) \Bigg|_0^{0,01}$$

Vậy điện tích tổng có giá trị là:

$$Q = -10^{-10} \pi \left(\frac{1}{2000} - \frac{1}{4000} \right) = \frac{-\pi}{40} = 0,0785 pC$$



Chương 2: Khái niệm cơ bản về trường điện từ

IV. Cường độ điện trường của điện tích khối liên tục

- Cường độ điện trường tại \mathbf{r} do một điện tích khối ΔQ gây ra được tính theo công thức:

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 |\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^2} \frac{\mathbf{r} - \mathbf{r}'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} \rightarrow \Delta\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{\Delta Q}{4\pi\epsilon_0 |\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^2} \frac{\mathbf{r} - \mathbf{r}'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} = \frac{\rho_v \Delta v}{4\pi\epsilon_0 |\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^2} \frac{\mathbf{r} - \mathbf{r}'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|}$$

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \int_V \frac{\rho_v(\mathbf{r}') dv'}{4\pi\epsilon_0 |\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3} (\mathbf{r} - \mathbf{r}')$$

Trong đó:

\mathbf{r} : vector định vị cường độ điện trường \mathbf{E}

\mathbf{r}' : vector định vị nguồn điện tích khối $\rho(\mathbf{r}') dv'$

- Tích phân 3 lớp với biến x' , y' , z' trong hệ tọa độ Descartes



LÝ THUYẾT TRƯỜNG ĐIỆN TỪ



Chương 2: Khái niệm cơ bản về trường điện từ

I. Khái niệm cơ bản

II. Thông số cơ bản của trường điện từ & môi trường mang điện

III. Cường độ điện trường của điện tích điểm

IV. Cường độ điện trường của điện tích khối liên tục

V. Cường độ điện trường của điện tích đường

VI. Cường độ điện trường của điện tích mặt

VII. Đường sức - Ống sức

V. Cường độ điện trường của điện tích đường

➤ Xét tia điện tử trong ống phóng cathode (hoặc dây dẫn tích điện). Giả thiết:

- ❖ Các điện tử chuyển động đều
- ❖ Bỏ qua từ trường sinh ra bởi các điện tử

→ Coi tia điện tử (dây dẫn tích điện) có **mật độ điện tích đường** ρ_L (C/m)

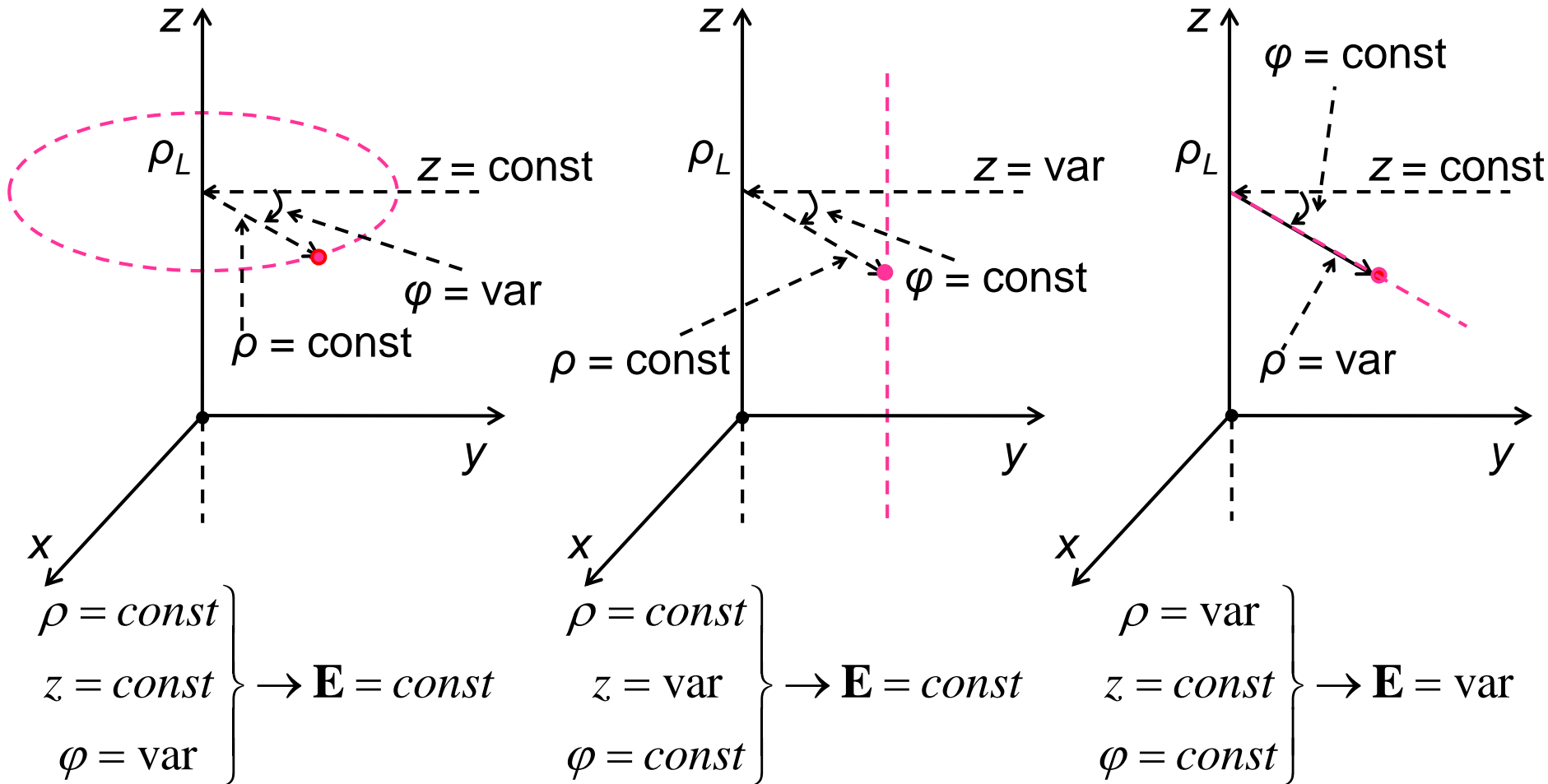
$$\rho_L = \lim_{\Delta L \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta L}$$

- Xét dây dẫn thẳng, tích điện, dài vô hạn nằm trên trục $z \rightarrow \mathbf{E}$.
- Để đơn giản hóa việc tính \mathbf{E} của điện tích đường:
 - ❖ Xét **\mathbf{E} thay đổi theo các trục tọa độ**: ρ, φ, z
 - ❖ **$\mathbf{E} = \mathbf{E}_\rho + \mathbf{E}_\varphi + \mathbf{E}_z$, thành phần nào triệt tiêu.**

Chương 2: Khái niệm cơ bản về trường điện từ

V. Cường độ điện trường của điện tích đường

➤ Sự thay đổi của E theo các các trục tọa độ: ρ , φ , z



Chương 2: Khái niệm cơ bản về trường điện từ

V. Cường độ điện trường của điện tích đường

➤ $\mathbf{E} = \mathbf{E}_\rho + \mathbf{E}_\varphi + \mathbf{E}_z$, thành phần nào triệt tiêu:

- ❖ Mỗi **vi phân độ dài** của điện tích đường đều **tạo ra \mathbf{E}** .
- ❖ Mỗi vi phân độ dài của điện tích đường **chỉ tạo ra thành phần \mathbf{E}_ρ , \mathbf{E}_z , không tạo ra thành phần \mathbf{E}_φ ($\mathbf{E}_\varphi = 0$)**.
- ❖ Thành phần **\mathbf{E}_z tạo bởi hai vi phân độ dài đối xứng trên trục z có độ lớn bằng nhau và ngược chiều \rightarrow thành phần \mathbf{E}_z bị triệt tiêu**.

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_\rho(\rho)$$

Chương 2: Khái niệm cơ bản về trường điện từ

V. Cường độ điện trường của điện tích đường

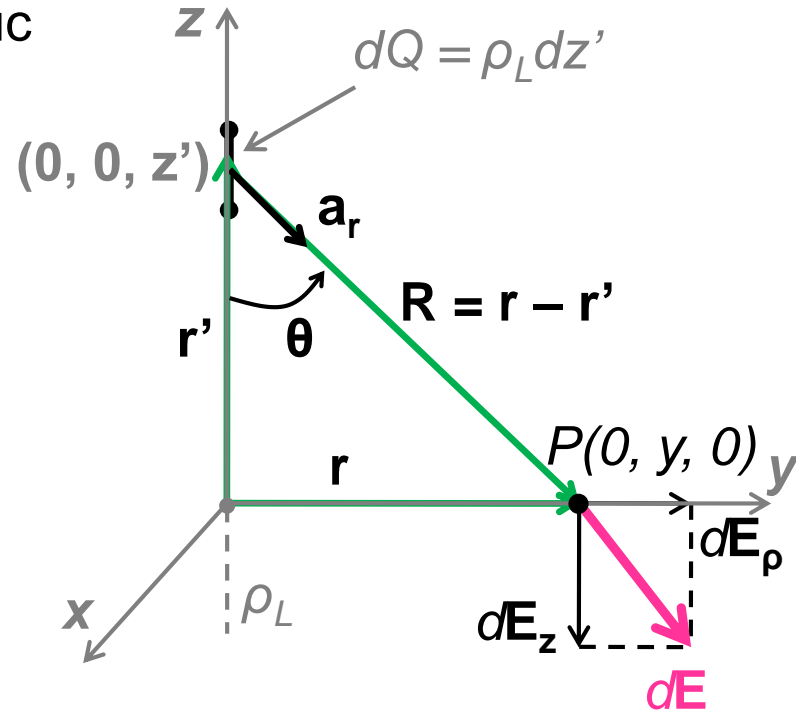
- Xét đường dây dài vô hạn ρ_L nằm trên trục z hệ tọa độ trụ. Tính \mathbf{E} tại điểm $P(0, y, 0)$.
- Vi phân cường độ điện trường $d\mathbf{E}$ tại P do vi phân điện tích $dQ = \rho_L dz'$ được tính theo công thức:

$$d\mathbf{E} = \frac{dQ(\mathbf{r} - \mathbf{r}')}{4\pi\epsilon_0 |\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3}$$

Trong đó: $\mathbf{r} = y\mathbf{a}_y = \rho\mathbf{a}_\rho$; $\mathbf{r}' = z'\mathbf{a}_z$

$$\mathbf{r} - \mathbf{r}' = \rho\mathbf{a}_\rho - z'\mathbf{a}_z$$

$$\rightarrow d\mathbf{E} = \frac{\rho_L dz'(\rho\mathbf{a}_\rho - z'\mathbf{a}_z)}{4\pi\epsilon_0 (\rho^2 + z'^2)^{3/2}} \xrightarrow[\mathbf{E}_z \text{ triệt tiêu}]{\mathbf{E}_\phi = 0} dE_\rho = \frac{\rho_L \rho dz'}{4\pi\epsilon_0 (\rho^2 + z'^2)^{3/2}}$$



V. Cường độ điện trường của điện tích đường

$$E_\rho = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\rho_L \rho dz'}{4\pi\epsilon_0 (\rho^2 + z'^2)^{3/2}} = \frac{\rho_L}{4\pi\epsilon_0} \rho \left(\frac{1}{\rho^2} \frac{z'}{\sqrt{\rho^2 + z'^2}} \right) \Bigg|_{-\infty}^{\infty} = \frac{\rho_L}{2\pi\epsilon_0 \rho} \rightarrow \mathbf{E}_\rho = \frac{\rho_L}{2\pi\epsilon_0 \rho} \mathbf{a}_\rho$$

➤ Tổng quát: Tính \mathbf{E} của điểm $P(\rho, \varphi, z)$ bất kỳ.

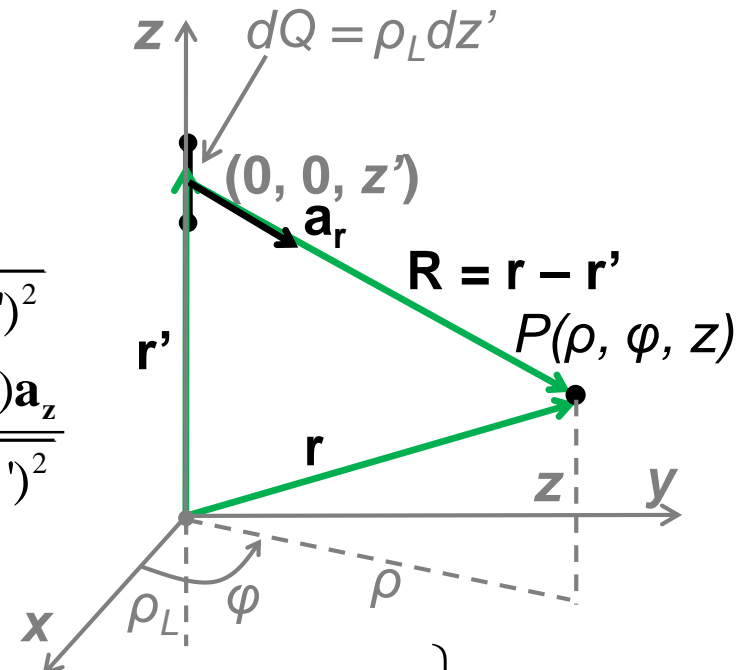
$$\mathbf{E} = \int_V \frac{\rho_L dz' (\mathbf{r} - \mathbf{r}')}{4\pi\epsilon_0 |\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3} \quad \text{Trong đó: } \mathbf{r} = \rho \mathbf{a}_\rho + z \mathbf{a}_z$$

$$\mathbf{r}' = z' \mathbf{a}_z$$

$$\mathbf{R} = \mathbf{r} - \mathbf{r}' = \rho \mathbf{a}_\rho + (z - z') \mathbf{a}_z \rightarrow \begin{cases} R = \sqrt{\rho^2 + (z - z')^2} \\ \mathbf{a}_R = \frac{\rho \mathbf{a}_\rho + (z - z') \mathbf{a}_z}{\sqrt{\rho^2 + (z - z')^2}} \end{cases}$$

$$\mathbf{E} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\rho_L dz' [\rho \mathbf{a}_\rho + (z - z') \mathbf{a}_z]}{4\pi\epsilon_0 [\rho^2 + (z - z')^2]^{3/2}}$$

$$\rightarrow \mathbf{E} = \frac{\rho_L}{4\pi\epsilon_0} \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\rho dz' \mathbf{a}_\rho}{[\rho^2 + (z - z')^2]^{3/2}} + \int_{-\infty}^{\infty} \frac{(z - z') dz' \mathbf{a}_z}{[\rho^2 + (z - z')^2]^{3/2}} \right\}$$



V. Cường độ điện trường của điện tích đường

$$\mathbf{E} = \frac{\rho_L}{4\pi\epsilon_0} \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\rho dz' \mathbf{a}_\rho}{[\rho^2 + (z - z')^2]^{3/2}} + \int_{-\infty}^{\infty} \frac{(z - z') dz' \mathbf{a}_z}{[\rho^2 + (z - z')^2]^{3/2}} \right\}$$

$\mathbf{a}_\rho, \mathbf{a}_z$ là hàm của z' ???

➤ Vector đơn vị $\mathbf{a}_\rho, \mathbf{a}_z$ luôn const (giá trị và hướng) khi z' thay đổi.

$$\mathbf{E} = \frac{\rho_L}{4\pi\epsilon_0} \left\{ \mathbf{a}_\rho \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\rho dz'}{[\rho^2 + (z - z')^2]^{3/2}} + \mathbf{a}_z \int_{-\infty}^{\infty} \frac{(z - z') dz'}{[\rho^2 + (z - z')^2]^{3/2}} \right\}$$

$$\mathbf{E} = \frac{\rho_L}{4\pi\epsilon_0} \left\{ \mathbf{a}_\rho \rho \frac{1}{\rho^2} \frac{-(z - z')}{\sqrt{\rho^2 + (z - z')^2}} \Bigg|_{-\infty}^{\infty} + \mathbf{a}_z \frac{1}{\sqrt{\rho^2 + (z - z')^2}} \Bigg|_{-\infty}^{\infty} \right\}$$

$$\mathbf{E} = \frac{\rho_L}{4\pi\epsilon_0} \left[\mathbf{a}_\rho \frac{2}{\rho} + \mathbf{a}_z 0 \right] \longrightarrow \mathbf{E} = \frac{\rho_L}{2\pi\epsilon_0 \rho} \mathbf{a}_\rho$$

Vector cường độ điện trường \mathbf{E} của điện tích đường **tỉ lệ nghịch với khoảng cách.**

V. Cường độ điện trường của điện tích đường

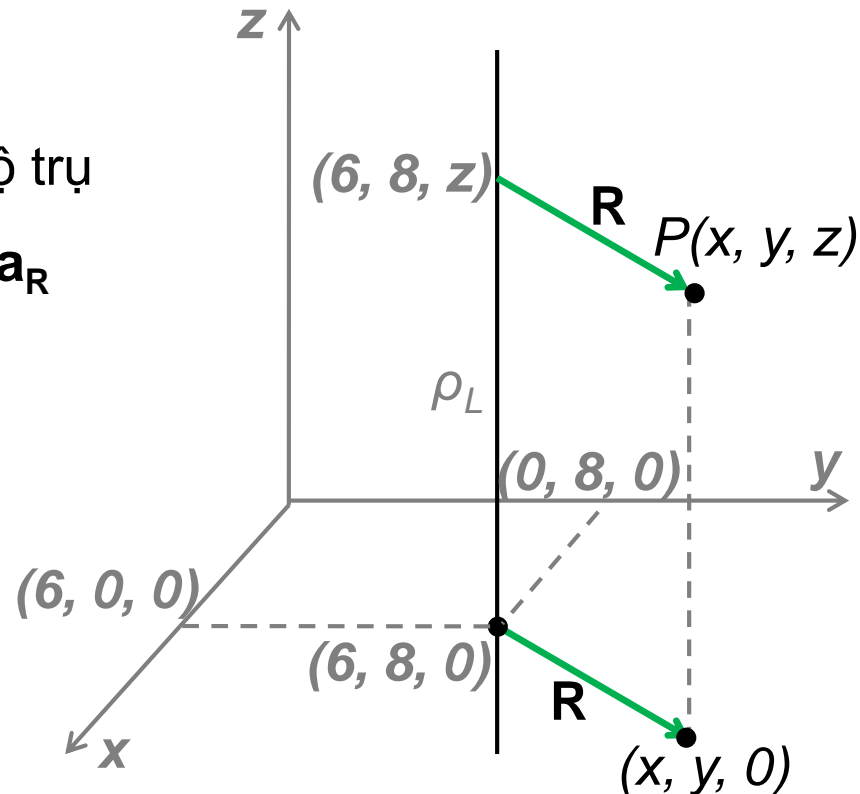
Ví dụ 2.4: Xét đường dây tích điện dài vô hạn nằm song song với trục z , tại điểm $x = 6, y = 8$. Tính vector cường độ điện trường \mathbf{E} tại điểm $P(x, y, z)$.

- Xuất phát từ công thức: $\mathbf{E} = \frac{\rho_L}{2\pi\epsilon_0\rho} \mathbf{a}_\rho$
- Thay ρ bằng R (bán kính trong hệ tọa độ trụ với trục của trụ là dây tích điện) $\rightarrow \mathbf{a}_\rho = \mathbf{a}_R$

$$\mathbf{E} = \frac{\rho_L}{2\pi\epsilon_0\sqrt{(x-6)^2 + (y-8)^2}} \mathbf{a}_R$$

Trong đó: $\mathbf{a}_R = \frac{\mathbf{R}}{|\mathbf{R}|} = \frac{(x-6)\mathbf{a}_x + (y-8)\mathbf{a}_y}{\sqrt{(x-6)^2 + (y-8)^2}}$

$$\rightarrow \mathbf{E} = \frac{\rho_L}{2\pi\epsilon_0} \frac{(x-6)\mathbf{a}_x + (y-8)\mathbf{a}_y}{(x-6)^2 + (y-8)^2}$$





LÝ THUYẾT TRƯỜNG ĐIỆN TỪ



Chương 2: Khái niệm cơ bản về trường điện từ

I. Khái niệm cơ bản

II. Thông số cơ bản của trường điện từ & môi trường mang điện

III. Cường độ điện trường của điện tích điểm

IV. Cường độ điện trường của điện tích khối liên tục

V. Cường độ điện trường của điện tích đường

VI. Cường độ điện trường của điện tích mặt

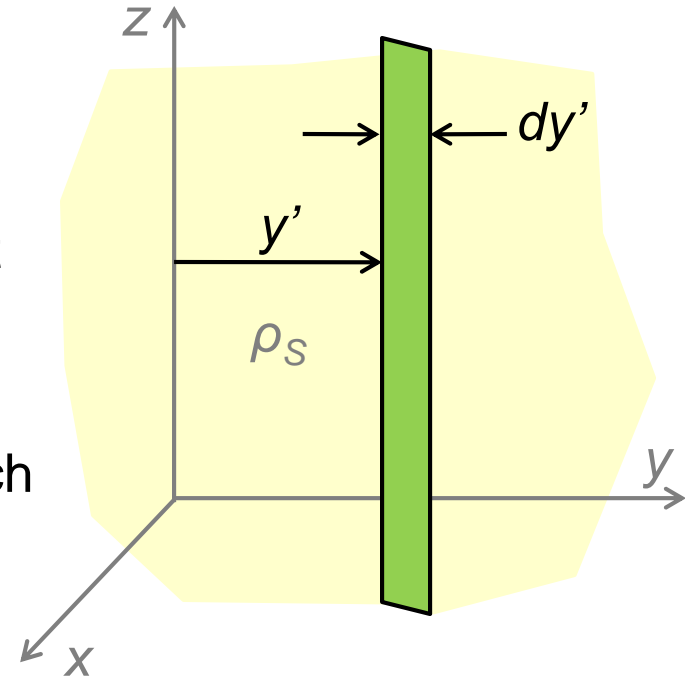
VII. Đường sức - Ống sức

VI. Cường độ điện trường của điện tích mặt

- **Điện tích mặt** là mặt phẳng (vd: bản cực của tụ điện) có điện tích phân bố đều, đặc trưng bởi **hàm mật độ điện tích mặt** ρ_s (C/m²).

$$\rho_s = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta S}$$

- Xét tấm phẳng tích điện rộng vô hạn, có mật độ điện tích mặt ρ_s đặt trên mặt phẳng yOz.
- Chia mặt phẳng tích điện thành các dải điện tích dài vô hạn, có độ rộng dy' rất nhỏ ($dy' \rightarrow 0$).
- Coi mỗi dải điện tích là một điện tích đường.



$$\rho_L = \frac{dQ}{L} = \frac{\rho_s dS}{L} = \frac{\rho_s L dy'}{L} \rightarrow \rho_L = \rho_s dy'$$

Chương 2: Khái niệm cơ bản về trường điện từ

VI. Cường độ điện trường của điện tích mặt

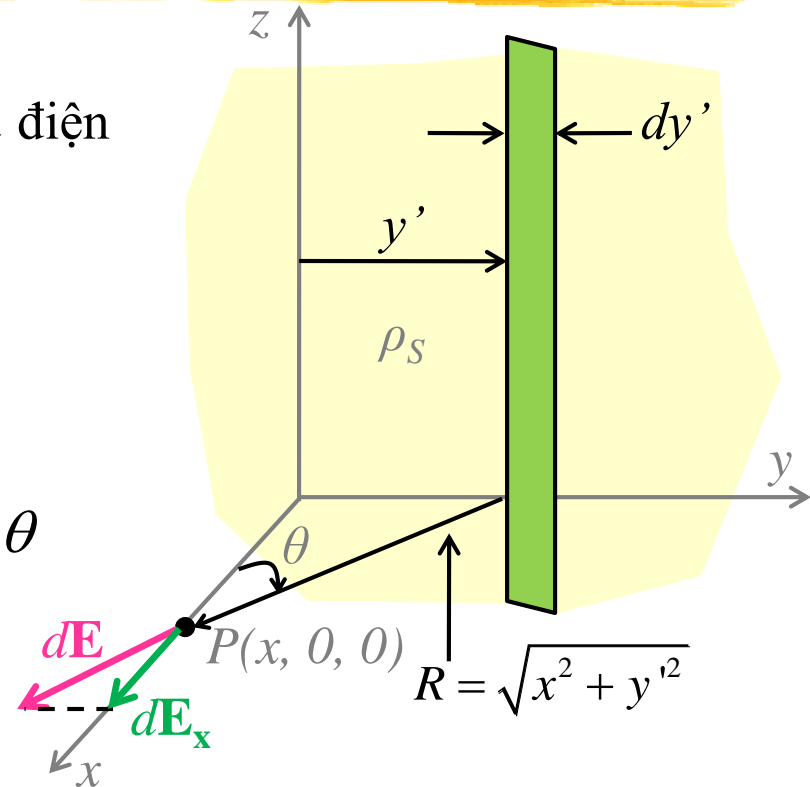
➤ Xét $P(x, 0, 0)$, áp dụng công thức tính \mathbf{E} của điện tích đường:

$$\mathbf{E} = \frac{\rho_L}{2\pi\epsilon_0 R} \mathbf{a}_R \rightarrow d\mathbf{E} = \frac{\rho_s dy' \mathbf{a}_R}{2\pi\epsilon_0 \sqrt{x^2 + y'^2}}$$

$$d\mathbf{E}_x = d\mathbf{E} \cos \theta \rightarrow dE_x = \frac{\rho_s dy'}{2\pi\epsilon_0 \sqrt{x^2 + y'^2}} \cos \theta$$

$$\cos \theta = \frac{x}{\sqrt{x^2 + y'^2}} \rightarrow dE_x = \frac{\rho_s}{2\pi\epsilon_0} \frac{x dy'}{x^2 + y'^2}$$

$$\rightarrow E_x = \frac{\rho_s}{2\pi\epsilon_0} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x}{x^2 + y'^2} dy' = \frac{\rho_s}{2\pi\epsilon_0} \operatorname{artg} \frac{y'}{x} \Big|_{-\infty}^{\infty} = \frac{\rho_s}{2\epsilon_0} \rightarrow \mathbf{E} = \frac{\rho_s}{2\epsilon_0} \mathbf{a}_N$$



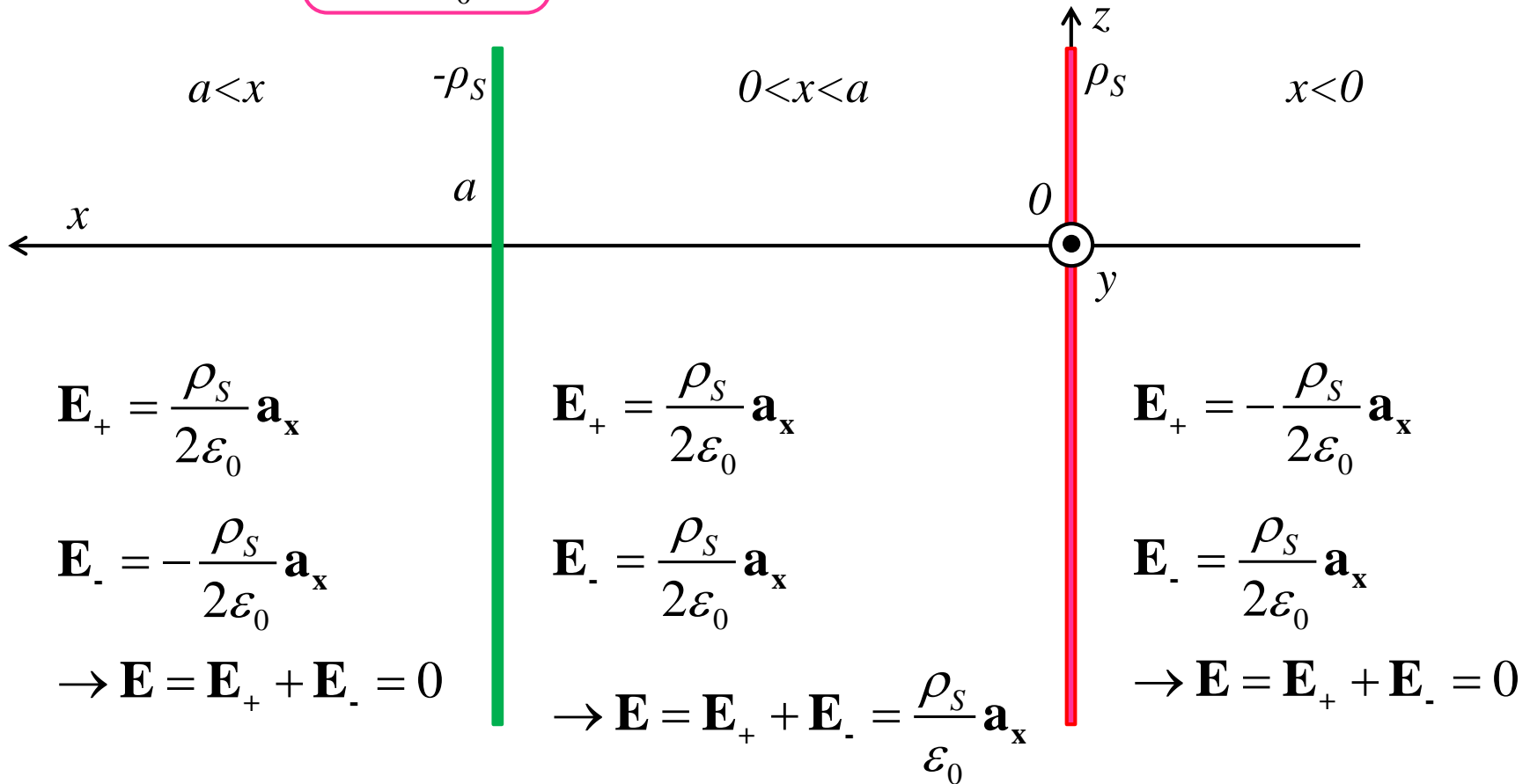
\mathbf{a}_N là vector pháp tuyến của mặt phẳng tích điện

Chương 2: Khái niệm cơ bản về trường điện từ

VI. Cường độ điện trường của điện tích mặt

$$\mathbf{E} = \frac{\rho_s}{2\epsilon_0} \mathbf{a}_N$$

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_+ + \mathbf{E}_-$$



Chương 2: Khái niệm cơ bản về trường điện từ

Cường độ điện trường của các vật mang điện

Điện tích điểm

$$\mathbf{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 |\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3} (\mathbf{r} - \mathbf{r}')$$

Điện tích khối

$$\mathbf{E} = \int_V \frac{\rho_v(\mathbf{r}') dV'}{4\pi\epsilon_0 |\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3} (\mathbf{r} - \mathbf{r}')$$

Điện tích đường

$$\mathbf{E} = \frac{\rho_L}{2\pi\epsilon_0 \rho} \mathbf{a}_\rho$$

Điện tích mặt

$$\mathbf{E} = \frac{\rho_S}{2\epsilon_0} \mathbf{a}_N$$



LÝ THUYẾT TRƯỜNG ĐIỆN TỪ



Chương 2: Khái niệm cơ bản về trường điện từ

I. Khái niệm cơ bản

II. Thông số cơ bản của trường điện từ & môi trường mang điện

III. Cường độ điện trường của điện tích điểm

IV. Cường độ điện trường của điện tích khối liên tục

V. Cường độ điện trường của điện tích đường

VI. Cường độ điện trường của điện tích mặt

VII. Đường sức - Ống sức

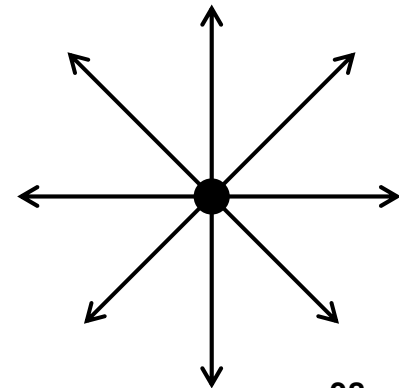
VII. Đường sức - Ống sức

➤ Đường sức:

- ❖ Đường sức là một *đường hình học* minh họa một cách trực quan *sự phân bố chiều của cường độ trường* trong không gian.
- ❖ Các *tiếp tuyến* tại mọi điểm trong không gian của đường sức đều trùng với *phương của vector cường độ điện trường*.
- ❖ Đường sức *xuất phát từ miền mang hạt điện dương & tận cùng ở miền mang hạt điện âm* → đường sức cho ta biết sự phân bố của chất và trường.

Ví dụ: Xét \mathbf{E} của một dây dẫn thẳng, dài vô hạn: $\mathbf{E} = \frac{\rho_L}{2\pi\epsilon_0\rho} \mathbf{a}_\rho$

- Đặt một điện tích dương, tự do trên một đường sức, điện tích đó sẽ tăng tốc theo hướng của đường sức tại điểm đặt.

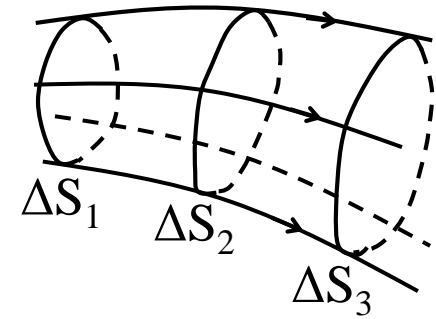


Chương 2: Khái niệm cơ bản về trường điện từ

VII. Đường sức - Ống sức

➤ Ống sức:

- ❖ Cho một mặt ΔS và vẽ một tập những đường sức từ lên chu vi của mặt ΔS
→ các đường sức sẽ làm thành một mặt hình ống bao lấy một miền không gian, gọi là **ống sức**.



- ❖ Ống sức cho biết **chiều của cường độ trường** ở lân cận mỗi điểm và sự phân bố **độ lớn tương đối** của cường độ trường \mathbf{E} dọc theo ống (cường độ điện trường tỉ lệ nghịch với tiết diện của ống sức).