



## CHƯƠNG VII: TRƯỜNG TỈNH DIÊN

# Bài giảng môn Vật lý 1 và thí nghiệm

Giảng viên: Tô Thi Thảo

Ngày 18 tháng 4 năm 2023

## 1 Những khái niệm mở đầu

- 1. Sự nhiễm điện của các vật. Hai loại điện tích
- 2. Phân loại vật liệu theo khả năng truyền điện của điện tích

## 2 Định luật Coulomb

- 1. Định luật Coulomb trong chân không
- 2. Định luật Coulomb trong môi trường
- 3. Nguyên lý chồng chất các lực điện

## 3 Điện trường và vectơ cường độ điện trường

- 1. Khái niệm điện trường
- 2. Vectơ cường độ điện trường
- 3. Vectơ cường độ điện trường gây ra bởi một hệ vật mang điện - Nguyên lý chồng chất điện trường
- 4. Ví dụ:

## 4 Điện thông - Định lý ÔXTRÔGRATXKI – GAUSS đối với điện trường

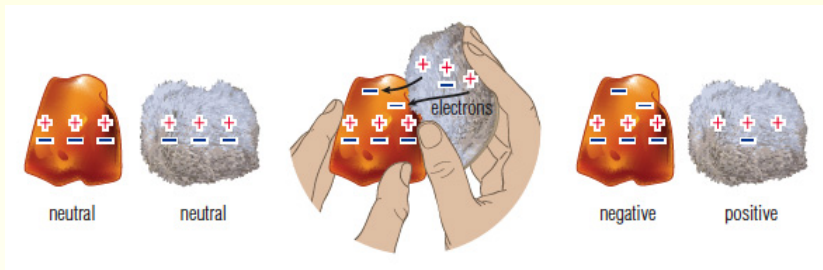
- 1. Đường sức điện trường
- 2. Tính chất
- 4. Thông lượng cảm ứng điện (điện thông)
- 5. Định lý Ôxtrôgratxki-gauss đối với điện trường (Định lý O-G)

## 5 Điện thế

- 1. Công của lực tĩnh điện. Tính chất của trường tĩnh điện.
- 2. Thế năng của một điện tích trong điện trường
- 3. Điện thế - Hiệu điện thế

## 6 Liên hệ giữa vectơ cường độ điện trường và điện thế

- 1. Mặt đẳng thế
- 2. Hệ thức liên hệ giữa điện trường và điện thế
- 3. Ứng dụng



- **Thalès de Milet** (624 – 546 TCN) nhà toán học, triết gia thời Hy Lạp
- Hiện tượng nhiễm điện do cọ xát: Elektra (hỗ phách)
- Mất điện tử  $\Rightarrow$  nhiễm điện dương: Thủy tinh
- Nhận điện tử  $\Rightarrow$  nhiễm điện âm: lụa

**Điện tích nguyên tố:** điện tử

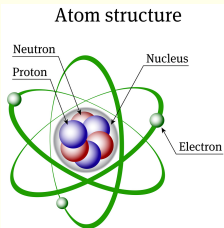
$$-e = 1,6 \cdot 10^{-19} C, m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} kg, \text{proton} : +e, m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} kg$$

## 1. Sự nhiễm điện của các vật. Hai loại điện tích

**Điện tích của vật thể tích điện:** Đại lượng vô hướng được xác định bằng một số nguyên (kết quả sự chênh lệch số các proton và electron) lần điện tích nguyên tố trong vật thể, tức là  $Q = e.(Np - Ne) = n.e$

# 1. Mở đầu

**Nguyên tử:** Phần tử cơ sở cấu tạo vật chất:



- Trạng thái bình thường: trung hòa điện số e và p bằng nhau,
- p gắn cố định trong hạt nhân nguyên tử, e có thể dễ dàng di chuyển để tạo ra sự mất cân bằng điện tích giữa 2 vật trung hòa điện khi được cho tiếp xúc với nhau tạo ra i-ôn

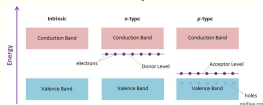
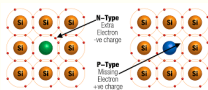
**Điện tích điểm:** Điện tích có kích thước không đáng kể so với khoảng cách giữa điện tích và 1 điểm trong không gian nằm trong vùng ảnh hưởng của nó.



- Định luật bảo toàn điện tích: Tổng đại số điện tích của hệ cô lập là không đổi!!!

## Phân loại vật liệu theo khả năng truyền điện của điện tích

- **Vật liệu dẫn điện:** Điện tích có thể chuyển động tự do trong toàn bộ thể tích vật (kim loại)
- **Vật liệu cách điện – điện môi:** Điện tích định xứ cố định tại những miền nào đó, và không thể di chuyển tự do trong vật liệu (cao su, chất dẻo, gỗ, giấy, không khí khô ...)
- **Vật liệu bán dẫn:** Điện tích cũng định xứ cố định tại những miền nào đó, nhưng có thể di chuyển tự do trong vật liệu dưới tác động của nhiệt độ, ánh sáng/điện trường ngoài (silicon, germanium...)



- **Vật liệu siêu dẫn:** điện tích khi chuyển động qua chúng không gặp bất cứ sự cản trở nào. Năm 1911, nhà vật lí người Hà Lan, Kammerlingh Onnes (1853 – 1926) đã phát hiện thủy ngân rắn mất hoàn toàn điện trở ở nhiệt độ dưới 4,2K.

## 1.1 Lực tương tác giữa 2 điện tích điểm

Điện tích điểm: vật mang điện tích có kích thước  $\ll$  khoảng cách từ điện tích đó tới những điểm hoặc những vật mang điện khác.



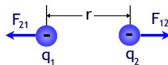
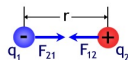
### Định nghĩa:

Lực tương tác tĩnh điện giữa 2 điện tích  $q_1, q_2$  đặt trong chân không, có phương nằm trên đường thẳng nối 2 điện tích, có chiều phụ thuộc vào dấu 2 điện tích, có độ lớn tỉ lệ thuận tích số  $q_1, q_2$  và tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa chúng.

$$\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\vec{r}_{12}}{r};$$

$$\vec{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\vec{r}_{21}}{r}$$

(1)



- $\vec{F}_{12}$ : lực do  $q_1 \rightarrow q_2$ ;  $\vec{F}_{21}$ : lực do  $q_2 \rightarrow q_1$
- $\vec{r}_{21}$ : bán kính vector từ điện tích  $q_2 \rightarrow$  điện tích  $q_1$ .
- $\vec{r}_{12}$ : bán kính vector từ điện tích  $q_1$  đến điện tích  $q_2$ .

## Lực tương tác giữa 2 điện tích điểm

Tổng quát:

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\vec{r}}{r} \quad (2)$$

hệ số tỉ lệ:  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$ ,

$$\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi} 10^{-9} \approx 8,86 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}: \text{hằng số điện.}$$

- Lực tương tác tĩnh điện giữa 2 điện tích  $q_1, q_2$  đặt trong môi trường giảm đi  $\epsilon$  lần so với lực tương tác giữa chúng trong chân không.

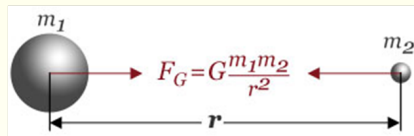
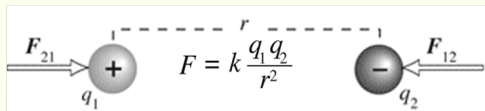
Tổng quát:

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2} \frac{\vec{r}}{r}; \quad (3)$$

$\epsilon$ : đại lượng không thứ nguyên đặc trưng cho tính chất điện của môi trường và được gọi là **hằng số điện môi**.



# Lực Coulomb và lực hấp dẫn



$$\frac{F_e}{F_G} = \frac{q_1 q_2}{m_1 m_2} \frac{k}{G}$$

Với electron  $q = 1,6 \cdot 10^{-19} C$ ,  $m = 9,1 \cdot 10^{-31} kg \Rightarrow \frac{F_e}{F_G} = 4,17 \cdot 10^{42}$

### 3. Nguyên lý chồng chất các lực điện

- Xét hệ điện tích  $q_1, q_2, \dots, q_n$  phân bố rời rạc và điện tích  $q_0$ ;  $q_0$  chịu tác dụng của các lực  $F_1, F_2, \dots, F_n$  gây bởi hệ điện tích

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i \quad (4)$$

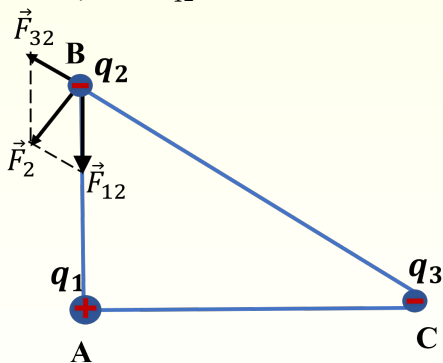
- Vật mang điện tích  $q$  bất kỳ tác dụng lực lên điện tích điểm  $q_0$ . Vật mang điện được coi như một hệ vô số các điện tích điểm  $dq$  phân bố liên tục.

$$F = \frac{q_0}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \int_V \frac{dq}{r^2} \quad (5)$$

- Hai quả cầu đồng chất phân bố điện tích đều ( $Q_1$  và  $Q_2$ )  $\Leftrightarrow$  2 điện tích điểm có vị trí tại tâm 2 quả cầu và  $r$  là khoảng cách tính từ tâm của chúng.

### Ví dụ 1:

Cho ba điện tích  $q_1, q_2, q_3$  nằm trên ba đỉnh của tam giác ABC. Biết  $AB = 3\text{cm}$ ,  $AC = 4\text{cm}$  và  $BC = 5\text{cm}$ . Điện tích của các hạt là  $q_1 = 3\mu\text{C}$ ,  $q_3 = -6\mu\text{C}$  và  $q_2 = -2\mu\text{C}$ . Hãy xác định lực điện tác dụng lên điện tích  $q_2$ .



# 1. Khái niệm điện trường

Tương tác giữa hai điện tích điểm xảy ra như thế nào?

- *Thuyết tác dụng xa*: Tức thời, không thông qua môi trường nào cả  
⇒ Sai
- *Thuyết tác dụng gần*: Quanh điện tích có môi trường đặc biệt → điện trường truyền với vận tốc vận tốc hữu hạn → vận tốc tương tác giới hạn. Điện trường này giữ vai trò truyền tương tác từ điện tích này đến điện tích khác.

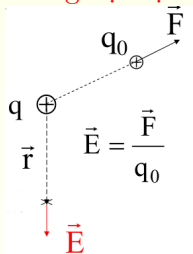


## Định nghĩa:

Điện trường là một dạng tồn tại của vật chất bao quanh các điện tích. Đặc điểm cơ bản của điện trường là tác dụng lực lên các điện tích đặt trong nó.

## 2. Vectơ cường độ điện trường

Định nghĩa: Vectơ cường độ điện trường  $\vec{E}$  tại một điểm là đại lượng đặc trưng cho điện trường tại điểm đó về phương diện tác dụng lực, có trị vectơ bằng lực tác dụng của điện trường lên một đơn vị điện tích dương đặt tại điểm đó.



Xét điện tích thử  $q_0$  đặt trong điện trường của  $q$

- Lực Coulomb

$$\vec{F} = k \frac{qq_0}{r^2} \frac{\vec{r}}{r} = q_0 k \frac{q}{r^2} \frac{\vec{r}}{r} = q_0 \vec{E}$$

$$\Rightarrow \vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = k \frac{q}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

Cường độ điện trường tại 1 điểm nào đó là đại lượng vật lý có độ lớn bằng độ lớn của lực điện trường tác dụng lên 1 đơn vị điện tích  $+1$  đặt tại điểm đó.

$$E = k \frac{q}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{q}{r^2}; [E] = \left(\frac{V}{m}\right). \quad (6)$$

## 2. Vectơ cường độ điện trường gây ra bởi một điện tích điểm

Lực Coulomb tác dụng của điện tích  $q$  lên điện tích  $q_0$  bằng:

$$\vec{F} = k \frac{qq_0}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

Vectơ cường độ điện trường do điện tích điểm  $q_0$  gây ra tại điểm M:

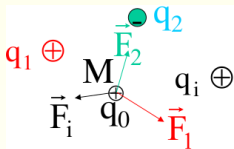
$$\vec{E} = k \frac{q}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}, \quad (7)$$

$\vec{r}$ : bán kính vectơ hướng từ điện tích  $q$  đến điểm M.

- $q > 0 \rightarrow \vec{E} \uparrow \uparrow \vec{r}$ :  $\vec{E}$  hướng ra xa khỏi điện tích  $q$ .
- $q < 0 \rightarrow \vec{E} \uparrow \downarrow \vec{r}$ :  $\vec{E}$  hướng vào điện tích  $q$ .

### 3. Vectơ cường độ điện trường gây ra bởi hệ vật mang điện - Nguyên lý chồng chất điện trường

- Lực tổng hợp tác dụng lên điện tích  $q_0$  đặt trong điện trường của hệ điện tích điểm



$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

- Vectơ cường độ điện trường tổng hợp tại M bằng:

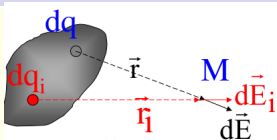
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \sum_{i=1}^n \frac{\vec{F}_i}{q_0} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i$$



#### Nguyên lý chồng chất điện trường:

Vectơ cường độ điện trường gây ra bởi một hệ điện tích điểm bằng tổng các vectơ cường độ điện trường gây ra bởi từng điện tích điểm của hệ.

## 2. Cường độ điện trường gây bởi hệ điện tích điểm phân bố liên tục



$$\vec{E} = \int_{\text{toàn bộ vật}} d\vec{E} = \int_{\text{tbn}} \frac{dq}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

Trong trường hợp cụ thể phương chiều phải xác định bằng hình vẽ, tích phân chỉ xác định độ lớn của  $E$ .

- Dây tích điện dài ( $L$ ), mật độ điện tích dài  $\lambda$  (C/m)  $\rightarrow$  điện tích trên một vi phân độ dài  $d\ell$  là  $dq = \lambda d\ell$ .
- Mặt tích điện diện tích  $S$ , mật độ điện tích mặt  $\sigma$  (C/m<sup>2</sup>)  $\rightarrow$  điện tích / vi phân diện tích  $dS$  là  $dq = \sigma dS$
- Khối tích điện thể tích  $V$ , mật độ điện tích khối  $\rho$  (C/m<sup>3</sup>)  $\rightarrow$  điện tích trong một thể tích vi phân  $dV$  là  $dq = \rho dV$ .

$$\vec{E} = \int_L d\vec{E} = \int_L \frac{\lambda d\ell}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} \frac{\vec{r}}{r} \quad (8)$$

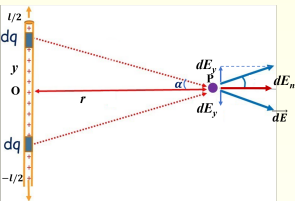
$$\vec{E} = \int_{dS} d\vec{E} = \int_{dS} \frac{\sigma dS}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} \frac{\vec{r}}{r} \quad (9)$$

$$\vec{E} = \int_{dV} d\vec{E} = \int_{dV} \frac{\rho dV}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} \frac{\vec{r}}{r} \quad (10)$$



# 1. Cường độ điện trường gây bởi hệ điện tích điểm phân bố liên tục

Dây: độ dài  $\ell$ , điện tích  $Q$ , mật độ điện tích dài  $\lambda$ .



- Chia dây thành các phần tử độ dài  $dy \rightarrow 0$ , điện tích:  $dq = \frac{Q}{\ell} dy = \lambda dy$

- Điện trường tại P:  $dE = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0\epsilon(r^2 + y^2)}$

$$E = E_n = \int dE_n = \int dE \cos \alpha = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \int_{-\ell/2}^{\ell/2} \frac{\lambda dy \cos \alpha}{r^2 + y^2}$$

$$\text{mà } \cos \alpha = \frac{r}{\sqrt{r^2 + y^2}}, \quad y = r \tan \alpha$$

$$\rightarrow dy = r \frac{d\alpha}{\cos^2 \alpha}$$

$$E = \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0\epsilon r} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \cos \alpha \cdot d\alpha = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0\epsilon r}$$

Tổng quát:  $E = \frac{|\lambda|}{2\pi\epsilon_0\epsilon r}$  (11)

## 2. lưỡng cực điện

Hệ 2 điện tích điểm trái dấu có độ lớn bằng nhau cách nhau một khoảng  $\ell$  (rất nhỏ). Vectơ mômen lưỡng cực điện:  $\vec{p}_e = q\vec{\ell}$ ;  $\ell$ : vectơ hướng từ  $-q \rightarrow +q$ .

**Cường độ điện trường tại điểm M nằm trên mặt phẳng trung trực của lưỡng cực:**

- Theo nguyên lý chồng chất điện trường thì cường độ điện trường tại M:

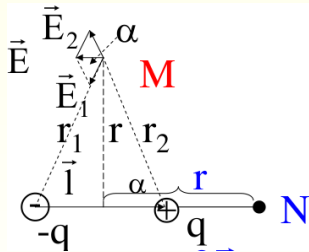
$$\vec{E}_M = \vec{E}_1 + \vec{E}_2, E = 2E_1 \cos \alpha$$

$$E = 2 \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r_1^2} \frac{\ell}{2r_1} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q\ell}{r_1^3}$$

- $r \gg \ell \rightarrow r_1 = \sqrt{r^2 + \frac{\ell^2}{4}} \approx r; p_e = q\ell, \vec{E} \updownarrow \vec{\ell} \Rightarrow$

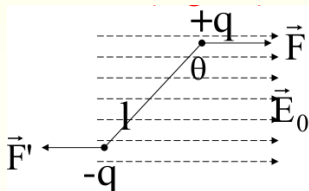
$$\vec{E}_M = -k \frac{\vec{p}_e}{\epsilon r^3}$$

Tại N:  $\vec{E}_N = k \frac{2\vec{p}_e}{\epsilon r^3}$



# Lưỡng cực điện đặt trong điện trường đều

Cường độ điện trường tại điểm M nằm trên mặt phẳng trung trực của lưỡng cực

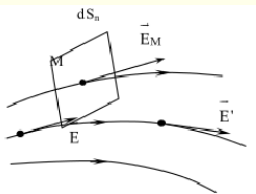


- Mômen của ngẫu lực  $\vec{\mu} = \vec{\ell} \times \vec{F} = \vec{\ell} \times q\vec{E}_0$

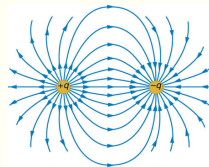
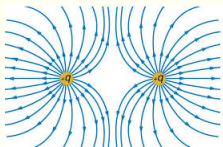
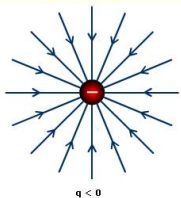
$$\vec{\mu} = p_e \times \vec{E}_0$$

- Ý nghĩa  $p_e$ : Biết  $p_e$  có thể xác định được vectơ cường độ điện trường do lưỡng cực gây ra nên  $p_e$  đặc trưng cho tính chất điện của lưỡng cực .

# 1. Đường sức điện trường



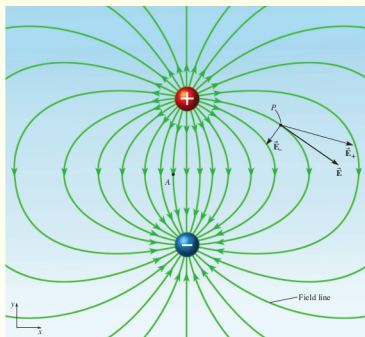
- Đường sức điện trường là **đường mà tiếp tuyến tại mỗi điểm** của nó trùng với phương của vectơ cường độ điện trường tại điểm đó; chiều của đường sức điện trường là chiều của vectơ cường độ điện trường.



**Quy ước:** vẽ số đường sức điện trường qua một đơn vị diện tích đặt vuông góc với đường sức bằng cường độ điện trường  $E$ .

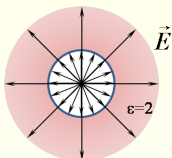
**Điện phổ:** tập hợp các đường sức điện trường.

## 2. Tính chất



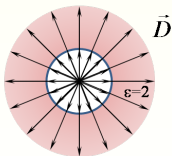
- Các đường sức điện trường là những đường không khép kín, bị hở tại các điện tích. Chúng xuất phát từ các điện tích dương và tận cùng trên các điện tích âm; đi đến từ vô cùng hoặc đi ra vô cùng.
- Các đường sức điện trường không cắt nhau: tại mỗi điểm trong điện trường, vectơ cường độ điện trường chỉ có một hướng xác định.

### 3. Sự gián đoạn của đường sức điện trường. Vector điện cảm.



- Độ lớn của phụ thuộc vào hằng số điện môi  $\epsilon \Leftrightarrow$  phụ thuộc vào tính chất của môi trường.
- Tại mặt phân cách giữa hai môi trường có hằng số điện môi  $\epsilon$  khác nhau  $\Rightarrow$  cường độ điện trường có sự thay đổi đột ngột về độ lớn.
- Phổ các đường sức điện trường bị gián đoạn ở mặt phân cách của hai môi trường: trên mặt phân cách sẽ có một số đường sức mất đi hoặc một số đường sức mới xuất hiện.

$\Rightarrow$  vectơ cảm ứng điện (vectơ điện cảm)  $\vec{D}$ :  $\vec{D} = \epsilon\epsilon_0\vec{E}$   $[D] = \frac{C}{m^2}$

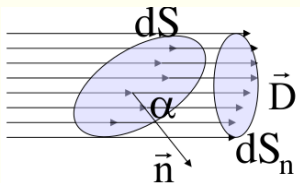


- Đường cảm ứng điện là đường mà tiếp tuyến tại mỗi của nó trùng với phương của vectơ  $\vec{D}$ , chiều của đường ứng điện là chiều của  $\vec{D}$ .

- Điện tích điểm:  $\vec{D} = \frac{q}{4\pi r^2} \frac{\vec{r}}{r}$ ;  $D = \frac{|q|}{4\pi r^2}$

## 4. Thông lượng cảm ứng điện (điện thông)

Khái niệm: Thông lượng vector điện cảm gửi qua một thiết diện có trị số tỉ lệ với số đường sức cắt vuông góc thiết diện đó.



$$d\vec{S} = dS \cdot \vec{n}$$

Diện tích S đặt trong điện trường  $\vec{D}$ .

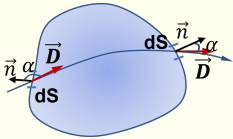
- Chia S thành những phần tử diện tích  $dS$  vô cùng nhỏ sao cho  $D$  là không đổi
- Thông lượng cảm ứng điện gửi qua diện tích  $dS$  là đại lượng có giá trị:

$$d\Phi_e = \vec{D}d\vec{S} = DdS \cos \alpha = D_n dS, \quad (12)$$

$D_n = D \cos \alpha$ : hình chiếu của trên pháp tuyến  $\vec{D}$  trên pháp tuyến  $\vec{n}$ ,  $\alpha$ : góc hợp bởi trên pháp tuyến  $\vec{n}$  và  $\vec{D}$

## 4. Thông lượng cảm ứng điện (điện thông)

- Chọn chiều của  $\vec{n}$  là chiều hướng ra phía ngoài của mặt đó ( $\Rightarrow \vec{n}$  được gọi là pháp tuyến dương).



$$\left\{ \begin{array}{ll} \alpha < \frac{\pi}{2} & \Rightarrow \Phi_e > 0 \\ \alpha > \frac{\pi}{2} & \Rightarrow \Phi_e < 0 \\ \alpha = \frac{\pi}{2} & \Rightarrow \Phi_e = 0 \end{array} \right.$$

Thông lượng cảm ứng điện gửi qua toàn bộ diện tích S bằng:

$$\Phi_e = \int_S d\Phi_e = \int_S \vec{D} d\vec{S} = \int_S D_n dS$$

Thông lượng cảm ứng điện qua diện tích  $dS$  là một đại lượng có độ lớn tỉ lệ với số đường cảm ứng điện vẽ qua diện tích đó.





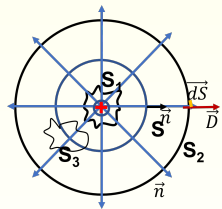
## Định lý Ôxtrôgratxki-gauss:

Điện thông qua một mặt kín bằng tổng đại số các điện tích nằm trong mặt kín đó:

$$\Phi_e = \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \sum_i q_i, \quad (13)$$

$\sum_i q_i$ : phép lấy tổng đại số các điện tích chứa trong mặt kín  $S$ .

**Thiết lập định lý:**



- Xét trường hợp một điện tích điểm dương  $q$  đặt cố định tại điểm  $O$  trong chân không.
- Mặt cầu  $S$  (tâm  $O$ , bao quanh  $q$ ) có bán kính  $r$ .
- Do tính đối xứng điện thông qua mặt cầu  $S$ :

$$\Phi_e = \int_S d\Phi_e = \int_S \vec{D} d\vec{S} = \int_S D_n dS; S = 4\pi r^2; D = \frac{|q|}{4\pi r^2}$$

$$\Phi_e = \frac{|q|}{4\pi r^2} \cdot 4\pi r^2 = q > 0 \text{ (điện thông dương vì đi ra khỏi mặt kín } S).$$

## Thiết lập định lý:

Khi  $q < 0 \Rightarrow \vec{D} \uparrow \downarrow d\vec{S} \Rightarrow \Phi_e = -\frac{|q|}{4\pi r^2} \cdot 4\pi r^2 = -|q| = q < 0$ .

- Điện thông  $\Phi_e$  không phụ thuộc vào bán kính mặt cầu và có giá trị bằng nhau đối với các mặt cầu đồng tâm với S.
  - $\Rightarrow$  Khoảng không gian giữa hai mặt cầu  $S$  và  $S_1$  nơi không có các điện tích, các đường sức là liên tục, không mất đi hoặc thêm ra.
  - $\Phi_e(S_2)$  bất kỳ bao quanh điện tích  $q = \Phi_e(S; S_1)$ , không phụ thuộc (hình dạng của mặt  $S_2$ , vị trí của điện tích  $q$  bên trong).
- Mặt kín  $S_3$  không bao quanh  $q$ : có bao nhiêu đường cảm ứng điện đi vào  $S_3 \Rightarrow$  có bấy nhiêu đường cảm ứng điện đi ra khỏi  $S_3$ ;  $\Phi_e$  (vào)  $< 0$  ( $\alpha = (\vec{D}, \vec{n}) > \frac{\pi}{2}$ ):  $\Phi_e = \Phi_e(\text{vào}) + \Phi_e(\text{ra}) = 0$
- Trong mặt kín ( $q_i \in S$ ), từ nguyên lý chồng chất điện trường,  $\Rightarrow \Phi_e$  qua S bằng tổng đại số các điện thông thành phần:

$$\Phi_e = \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \sum_i q_i$$

## Định lý Gauss cho phân bố điện tích liên tục

- Định lý O-G theo công thức (13):  $\vec{D}$  qua S với  $(q_i \in V)$  giới hạn S.
- $(q_i \in V)$  phân bố liên tục với mật độ điện tích khối  $\rho(x, y, z) \Rightarrow$

$$\vec{D} \in M(x, y, z): \sum_i q_i = \int \rho dV$$

$$\Phi_e = \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \int_V \rho dV ; \text{ vì } \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \int_V \text{div} \vec{D} . dV$$

$$\boxed{\text{div} \vec{D} = \rho}, \quad (14)$$

Phương trình Poisson.  
trong hệ toạ độ Đềcác:

$$\text{div} \vec{D} = \frac{\partial D_x}{\partial x} + \frac{\partial D_y}{\partial y} + \frac{\partial D_z}{\partial z}$$

# Phương pháp sử dụng định lý O - G

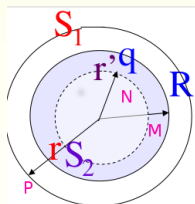
Điện trường có tính chất đối xứng (đối xứng cầu, đối xứng trụ, đối xứng phẳng).

- **Bước 1:** Nhận xét về sự đối xứng trong sự phân bố của hệ điện tích.
- **Bước 2:** Xác định dạng đối xứng của hệ đường sức và xác định quỹ tích những điểm mà các vectơ  $D$  (hoặc vectơ  $E$ ) có cùng độ lớn và bằng với  $D$  hoặc  $E$  tại điểm ta cần khảo sát.
- **Bước 3:** Xây dựng mặt kín  $S$  (gọi là mặt Gauss) là quỹ tích nói trên. Nếu quỹ tích đó chưa tạo thành mặt kín thì ta làm kín lại bằng các mặt khác tùy ý sao cho việc tính toán là đơn giản nhất.
- **Bước 4:** Tính từng vế của biểu thức (14) để rút ra đại lượng cần xác định.

# Định lý Gauss

## 1. Quả cầu rỗng (R) tích điện đều ( $Q > 0$ ) trên bề mặt

Điểm P bên ngoài, cách O khoảng r.



- Dựng mặt Gauss bao quanh, bán kính  $r > R$ .

$$\Phi_e = \oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \oint_S D dS = D \oint_S dS = D \cdot 4\pi r^2$$

- Áp dụng định lý O – G:  $\Phi_e = \oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \sum_i q_i = Q$

$$\Rightarrow D = \frac{1}{4\pi} \frac{Q}{r^2} \Rightarrow E = \frac{D}{\epsilon\epsilon_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$$

# Định lý Gauss

- Điểm N bên trong, cách O khoảng  $r'$ . - Mặt Gauss sát mặt cầu, bk  $r' < R$ .

$$- D \cdot 4\pi r'^2 = Q \Rightarrow D = \frac{1}{4\pi} \frac{Q}{r'^2}$$

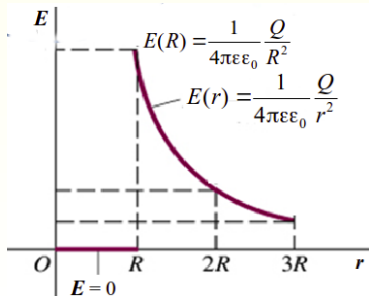
Bên trong q/cầu ko có điện

$$\text{tích: } Q = 0 \Rightarrow E = 0$$

- Điểm M trên mặt cầu, cách O khoảng  $R$ .

$$D = \frac{Q}{4\pi R^2}$$

$$E = \frac{D}{\epsilon\epsilon_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{Q}{R^2}$$



## Định lý Gauss

**Ứng dụng định lý Gauss xác định cường độ điện trường:**

2. Quả cầu đặc (R) tích điện đều ( $Q > 0$ ) trong toàn bộ thể tích

Mật độ điện tích khối của quả cầu:  $\rho = \frac{Q}{V_{\text{khối cầu}}} = \frac{Q}{\frac{4}{3}\pi R^3}$

Điểm P bên trong, cách O khoảng  $r$ .

- Dụng mặt Gauss, bán kính  $r < R$ .

- Điện tích của quả cầu Gauss:

$$Q' = \rho V_{\text{mặt cầu Gauss}} = \rho \frac{4}{3} \pi r^3 = Q \frac{r^3}{R^3}.$$

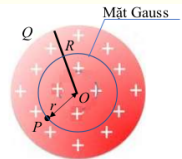
- Thông lượng điện cảm ứng qua mặt Gauss, bán kính  $r$ :

$$\Phi_e = \oint D_n . dS = D \oint dS = D . 4\pi r^2$$

- Định lý Gauss:  $\Phi_e = Q' \Leftrightarrow Q' = D.4\pi r^2 \Rightarrow D = \frac{1}{4\pi} \frac{Q'}{r^2} = \frac{1}{4\pi} \frac{Qr}{R^3}$

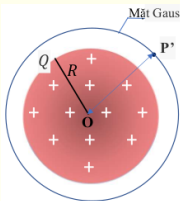
- Cường độ điện trường bên trong quả cầu:

$$E = \frac{D}{\epsilon\epsilon_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{Qr}{R^3}$$



# Định lý Gauss

**Ứng dụng định lý Gauss xác định cường độ điện trường:**  
**Điểm P' bên ngoài, cách O khoảng  $r'$ .**



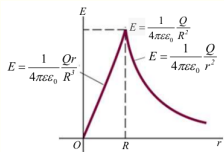
- Đặt mặt Gauss bao quanh, bán kính  $r' > R$ .
- Tương tự ta có:  $D \cdot 4\pi r'^2 = Q \Rightarrow D = \frac{1}{4\pi} \frac{Q}{r'^2}$

- Cường độ điện trường bên ngoài quả cầu:

$$E = \frac{D}{\epsilon\epsilon_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{Q}{r'^2}$$

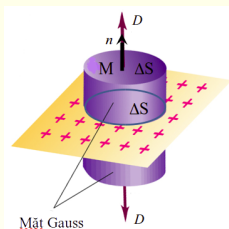
- Trên bề mặt:  $r = R$ :

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{Q}{R^2}$$





# Mặt phẳng vô hạn mang điện đều $Q > 0$



- Vector điện cảm (điện trường) có chiều và phương vuông góc mặt phẳng.
- Xét điểm M nằm trên một đáy hình trụ (mặt bên là mặt Gauss) cắt vuông góc mặt phẳng tích điện.  $\Delta S$  là giao diện trụ và mặt phẳng tích điện.
- Khi đó:

$$\Phi_e = \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \oint_{\text{mặt trụ}} D_n dS = \int_{\text{2 đáy}} D_n dS + \int_{\text{xq}} D_n dS = 2D \cdot \Delta S$$

- Áp dụng định lí Ostrogradsky-Gauss:  $\Phi_e = D \cdot 2\Delta S = \sigma \cdot \Delta S$

$$\Rightarrow D = \frac{\sigma}{2}$$

$$\Rightarrow E = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0}$$

# Mặt phẳng vô hạn mang điện đều $Q > 0$

## Nhận xét:

- Các vectơ  $\vec{D}$  ( $\vec{E}$ ) không phụ thuộc vào khoảng cách từ điểm M đến mặt phẳng  $\Rightarrow$  điện trường là điện trường đều:  $\vec{E} = \text{const}$
- Điện trường do mặt phẳng hữu hạn tích điện đều tạo ra ở những vị trí rất gần mặt đó cũng được xem như là đều.
- Mặt phẳng tích điện âm các vectơ  $\vec{D}$ ,  $\vec{E}$  hướng vào mặt phẳng tích điện.

Mặt phẳng vô hạn mang điện đều  $Q > 0$

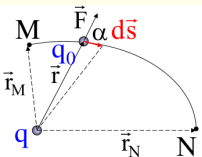
Vector cảm ứng điện:  $\vec{D} = \vec{D}_1 + \vec{D}_2$ ;  $D = D_1 = D_2 = \frac{\sigma}{2}$

- Ở khoảng giữa hai mặt phẳng  $\vec{D}_1 \uparrow \uparrow \vec{D}_2$ :

$$D = D_1 + D_2 \Rightarrow E = \frac{D}{\epsilon\epsilon_0} = \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0}$$

- Ở ngoài hai mặt phẳng  $\vec{D}_1 \uparrow \downarrow \vec{D}_2$  :  $D = D_1 + D_2 = 0$

## 1. Công của lực tĩnh điện. Tính chất của trường tĩnh điện.



- Điện tích  $q_0$  chịu tác dụng của lực tĩnh điện do  $q$ :

$$\vec{F} = q_0 \cdot \vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_0 q}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

- Công của lực tĩnh điện trong chuyển dời  $ds$ :

$$ds \cos \alpha = dr \quad dA = \vec{F} \cdot d\vec{s} = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^3} \cdot \vec{r} \cdot d\vec{s} = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2} ds \cdot \cos \alpha = \frac{q_0 q dr}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2}$$

Công của lực tĩnh điện

$$A_{MN} = \int_M^N dA = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \int_M^N \frac{dr}{r^2} = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_M} - \frac{qq_0}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_N}$$

Công của lực tĩnh điện trong sự dịch chuyển điện tích điểm  $q_0$  trong một điện trường bất kì không phụ thuộc vào dạng đường đi mà chỉ phụ thuộc vào điểm đầu và điểm cuối của đường cong dịch chuyển.

Công của lực tĩnh điện trên một đường cong kín bằng không.

## Trong điện trường bất kỳ

$q_0$  chuyển động trong điện trường của hệ  $q_1, q_2, \dots, q_n$

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = q_0 \sum_{i=1}^n \vec{E}_i$$

Công của lực điện trường trong chuyển dời MN:

$$A_{MN} = \int_M^N \vec{F} \cdot d\vec{s} = \sum_{i=1}^n \int_M^N \vec{F}_i \cdot d\vec{s} = \sum_{i=1}^n \frac{q_i q_0}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_{iM}} - \sum_{i=1}^n \frac{q_i q_0}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_{iN}}$$

Công của lực tĩnh điện trong sự dịch chuyển của điện tích  $q_0$  trong điện trường bất kỳ:

- Không phụ thuộc vào dạng đường cong dịch chuyển
- Chỉ phụ thuộc vào điểm đầu và điểm cuối của chuyển dời

Trường tĩnh điện là một trường thế.  $A = \oint \vec{F} \cdot d\vec{s} = q_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = 0$

$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s}$ : lưu số của vectơ cường độ điện trường.

Lưu số của cường độ điện trường (tĩnh) dọc theo một đường cong kín bằng không.

## 2. Thế năng của một điện tích trong điện trường

Đối với trường thế: Công của lực trong trường = độ giảm thế năng

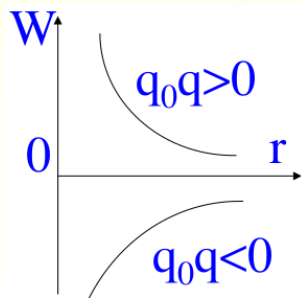
$$A_{MN} = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r_M} - \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r_N} = W_M - W_N$$

$$W_M = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r_M} + C; W_N = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r_N} + C$$

$$W = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r} + C, \quad (15)$$

trong đó:  $W_\infty = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r_\infty} + C = 0 \Rightarrow C = 0$

$$W = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (16)$$



## 2. Thế năng của điện tích trong điện trường

- Thế năng của điện tích  $q_0$  trong điện trường của hệ điện tích điểm  $q_1, q_2, \dots, q_n$ :

$$W = \sum_{i=1}^n \frac{q_i q_0}{4\pi\epsilon_0 r_i} \quad (17)$$

$r_i$ : khoảng cách từ điện tích  $q_0$  đến điện tích  $q_i$ .

- Thế năng của điện tích  $q_0$  trong điện trường bất kỳ:

$$W_M = \int_M^\infty q_0 \vec{E} d\vec{s} = q_0 \int_M^\infty \vec{E} d\vec{s} \quad (18)$$

Thế năng của điện tích  $q_0$  trong trường tĩnh điện của điện tích  $q$  tại 1 điểm nào đó có giá trị bằng công của lực tĩnh điện khi dịch chuyển  $q_0$  từ điểm đó ra vô cực.

## 5.1. Điện thế

**Định nghĩa:**  $W/q_0$  không phụ thuộc vào điện tích  $q_0$  mà chỉ phụ thuộc vào vị trí trong điện trường và điện tích gây ra điện trường.

Điện thế của điểm đang xét trong điện trường:  $V = \frac{W}{q_0}$

- Điện thế do một điện tích điểm  $q$  gây ra tại một điểm cách  $q$  một khoảng bằng  $r$ :

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r} \quad (19)$$

- Điện thế do một hệ điện tích điểm gây ra tại một điểm trong điện trường:

$$V = \sum V_i = \sum \frac{q_i}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_i} \quad (20)$$



## 5.1. Điện thế

- Hệ phân bố điện tích liên tục (vật mang điện):
  - Chia vật thành vô số các phần tử điện tích  $dq$  (điện tích điểm)
    - Điện thế gây bởi  $dq$ : 
$$dV = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r}$$
    - Điện thế gây bởi cả vật tại điểm M:

$$V_M = \int_{tbv} dV = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq}{r} \quad (21)$$

- Điện thế tại một điểm M trong điện trường bất kỳ:

$$A_{MN} = \int_M^N \vec{F} \cdot \vec{ds} = \int_M^N q_0 \vec{E} \cdot \vec{ds} = W_M - W_N$$

$$\Rightarrow A_{M\infty} = W_M = \int_M^\infty q_0 \vec{E} \cdot \vec{ds}$$

$$V_M = \frac{A_{M\infty}}{q_0} = \int_M^\infty \vec{E} \cdot \vec{ds} \quad (22)$$

## 5.2. Hiệu điện thế

- $q_0$  dịch chuyển trong điện trường gây bởi điện tích và hệ điện tích:

Công của lực tĩnh điện khi di chuyển  $q_0$  giữa M và N

$$A_{MN} = W_M - W_N \Rightarrow \frac{A_{MN}}{q_0} = \frac{W_M}{q_0} - \frac{W_N}{q_0} = V_M - V_N$$

$V_M$  và  $V_N$  là điện thế do điện tích/hệ điện tích gây ra tại M và N.

- $q_0$  dịch chuyển trong điện trường bất kỳ

$$\begin{aligned} A_{MN} &= \int_M^N \vec{F} \cdot d\vec{s} = \int_M^N q_0 \vec{E} \cdot d\vec{s} = W_M - W_N \\ \Rightarrow V_M - V_N &= \frac{A_{MN}}{q_0} = \int_M^N \vec{E} \cdot d\vec{s} \end{aligned}$$

Công của lực tĩnh điện:

$$A_{MN} = q_0(V_M - V_N) \quad (23)$$

Công của lực tĩnh điện trong sự dịch chuyển điện tích điểm  $q_0$  từ điểm M tới điểm N trong điện trường bằng tích số của điện tích  $q_0$  với hiệu điện thế giữa hai điểm M và N đó.

$$- q_0 = +1 \Rightarrow V_M - V_N = A_{MN}$$

Hiệu điện thế giữa hai điểm M và N trong điện trường là một đại lượng bằng công của lực tĩnh điện trong sự dịch chuyển một đơn vị điện tích dương từ điểm M đến điểm N.

$$\begin{aligned} - q = +1 \text{ đơn vị điện tích và chọn điểm } N \rightarrow \infty \\ \Rightarrow V_M - V_\infty = A_{M\infty} \Rightarrow V_M = A_{M\infty} \end{aligned}$$

Điện thế tại một điểm trong điện trường là một đại lượng về trị số bằng công của lực tĩnh điện trong sự dịch chuyển một đơn vị điện tích dương từ điểm đó ra xa vô cùng.

**Ví dụ :** Cho hai điện tích điểm  $q_1 = 8.10^{-8} \text{ C}$ ;  $q_2 = -3.10^{-8} \text{ C}$  đặt trong không khí tại hai điểm M , N cách nhau 10 cm. Tại điểm A đặt một điện tích thử  $q_0$ , điểm B nằm giữa M và N. Cho  $MA = 9 \text{ cm}$ ;  $NA = 7 \text{ cm}$ ;  $MB = 4 \text{ cm}$ ;  $NB = 6 \text{ cm}$ ;  $q_0 = 5.10^{-10} \text{ C}$ .

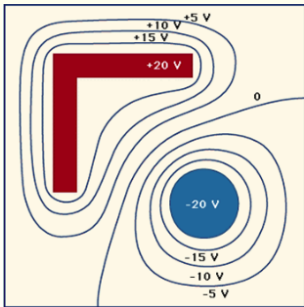
- Tính cường độ điện trường tại hai điểm A và B.
- Tính điện thế tại A và B.
- Tính công dịch chuyển điện tích  $q_0$  từ A đến B.

**Ví dụ 3:** Một đĩa tròn bán kính  $R = 8\text{cm}$  tích điện đều với mật độ điện mặt  $\sigma = 10^{-3} \text{ C/m}^2$ .

- Xác định cường độ điện trường tại một điểm nằm trên trục của đĩa và cách tâm đĩa một đoạn  $h = 6 \text{ cm}$ .
- Chứng minh rằng nếu  $h \rightarrow 0$  thì biểu thức thu được sẽ chuyển thành biểu thức tính cường độ điện trường gây bởi một mặt phẳng vô hạn mang điện đều.
- Chứng minh rằng nếu  $h \gg R$  thì biểu thức thu được chuyển thành biểu thức tính cường độ điện trường gây bởi một điện tích điểm.

# 1. Định nghĩa

**Định nghĩa:** Mặt đẳng thế là quỹ tích những điểm có cùng điện thế.



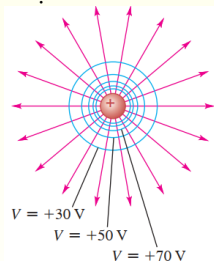
- Được mô tả bằng những đường đồng mức 2 chiều, mỗi điểm trên đó biểu diễn cùng 1 giá trị điện thế (hình ảnh nhận được giống như bản đồ địa hình).
- Phương trình của mặt đẳng thế:
- Thí dụ:

$$V(r) = \frac{W}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q}{r}$$

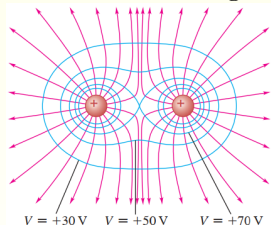
Tất cả những điểm cách q một khoảng r đều có cùng điện thế  $\Rightarrow$  phương trình của mặt đẳng thế  $r = \text{const.}$

# Mặt đẳng thế

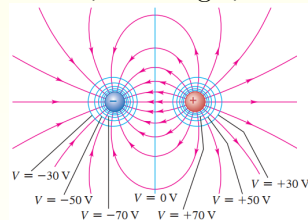
## Điện tích điểm



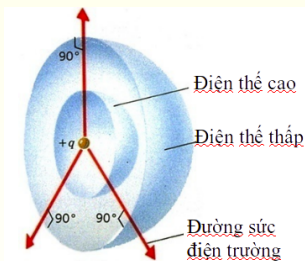
## Hai điện tích cùng dấu



## Hai điện tích ngược dấu

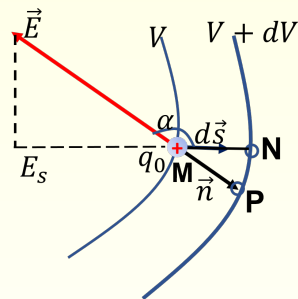


## 2. Tính chất của mặt đẳng thế



- Công lực tĩnh điện khi dịch chuyển 1 điện tích trên mặt đẳng thế  
$$A_{MN} = q_0(V_M - V_N) = 0 .$$
- Vector  $\vec{E}$  tại mỗi điểm trên mặt đẳng thế  $\perp$  mặt đẳng thế tại điểm đó,
- Các mặt đẳng thế không cắt nhau
- Mật độ đường đẳng thế xác định cường độ điện trường.

# Hệ thức liên hệ giữa điện trường và điện thế



- Xét M và N tương ứng điện thế  $V$  và  $V + dV$ , với  $dV > 0$  trong điện trường  $\vec{E}$ .
- Công của lực tĩnh điện để dịch chuyển  $q_0$  từ  $M \rightarrow N$ :

$$dA = q_0[V - (V + dV)] = -q_0 dV$$

$$dA = q_0 \vec{E} d\vec{s} \Rightarrow \vec{E} d\vec{s} = E ds \cos \alpha = -dV < 0$$

- $\cos \alpha < 0 \Rightarrow \alpha$  là góc tù:

Véc tơ cường độ điện trường luôn luôn hướng theo chiều giảm của điện thế.

- Chiều lên phương dịch chuyển  $ds$  có:  $E \cdot ds \cdot \cos \alpha = E_s ds = -dV$   
 $\Rightarrow E_s = -\frac{dV}{ds}$ ,  $-dV$ : độ giảm điện thế trên  $ds$

Hình chiếu của vector cường độ điện trường trên một phương nào đó về trị số bằng độ giảm điện thế trên một đơn vị dài của phương đó.



# Mối liên hệ giữa cường độ điện trường và điện thế

Do phương  $\vec{ds}$  là bất kì nên kết quả trên cũng đúng với mọi phương khác.

$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x}; E_y = -\frac{\partial V}{\partial y}; E_z = -\frac{\partial V}{\partial z} \quad (24)$$

Như vậy:

$$\begin{aligned} \vec{E} &= E_x \vec{i} + E_y \vec{j} + E_z \vec{k} = - \left( \frac{\partial V}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial V}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial V}{\partial z} \vec{k} \right) \\ &= - \left( \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k} \right) V \end{aligned} \quad (25)$$

$$\vec{E} = -\text{grad}V \quad (26)$$

Vector cường độ điện trường tại một điểm bất kì trong điện trường bằng và ngược dấu với gradient của điện thế tại điểm đó.

# Kết luận

- Véc tơ cường độ điện trường  $\vec{E}$  luôn luôn hướng theo chiều giảm của điện thế (góc  $\alpha$  tù).
- Hình chiếu của  $\vec{E}$  lên một phương nào đó về trị số bằng độ giảm điện thế trên một đơn vị dài của phương đó:

$$E_s = -\frac{dV}{ds} \quad (27)$$

Trong hệ tọa độ Descartes, biểu thức (27) được tổng quát hoá như sau:

$$\vec{E} = -\text{grad}V = -\left(\vec{i}\frac{\partial V}{\partial x} + \vec{j}\frac{\partial V}{\partial y} + \vec{k}\frac{\partial V}{\partial z}\right) \quad (28)$$

- Lân cận một điểm trong điện trường, điện thế biến thiên nhiều (nhanh) nhất theo phương pháp tuyến với mặt đẳng thế (hay theo phương của đường sức điện trường vẽ qua điểm đó).

$$\left|\frac{dV}{dn}\right| \geq \left|\frac{dV}{ds}\right|$$

### 3. Ứng dụng

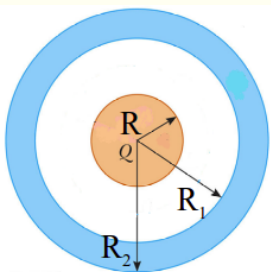
- ① Hiệu điện thế giữa hai mặt phẳng song song vô hạn mang điện đều, trái dấu, cách nhau một khoảng  $d$ :  
Theo (27) cường độ điện trường về trị số bằng độ giảm điện thế trên một đơn vị chiều dài:

$$E = \frac{V_1 - V_2}{d} = \frac{U}{d}$$

**Định nghĩa (V/m):** Cường độ điện trường của một điện trường đều mà hiệu thế dọc theo mỗi mét đường sức bằng một Vôn (Volt).

### 3. Ứng dụng

- ② Hiệu điện thế giữa hai điểm cách mặt mặt cầu  $R_1$  và  $R_2$  trong điện trường của một mặt cầu mang điện đều bán kính  $R$  ( $R_2 > R_1 > R$ )



$$-dV = Edr = k \frac{Qdr}{\epsilon r^2}$$

$$V_1 - V_2 = \int_{R_1}^{R_2} k \frac{Qdr}{\epsilon r^2} = \frac{kQ}{\epsilon} \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

- Khi  $R_1 = R, R_2 = \infty$

$$\Rightarrow V = \frac{kQ}{\epsilon R}$$

### 3. Ứng dụng

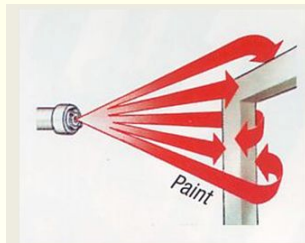
- ③ Hiệu điện thế giữa hai điểm trong điện trường của mặt trụ thẳng dài vô hạn mang điện đều

$$E = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0\epsilon\ell r}$$

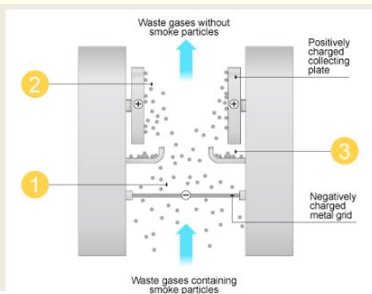
Hiệu điện thế tại hai điểm M, N nằm cách trục của mặt trụ những đoạn  $r_M, r_N$  được xác định

$$V_M - V_N = \int_{V_M}^{V_N} -dV = \int_{r_M}^{r_N} E dr = \int_{r_M}^{r_N} \frac{Q}{2\pi\epsilon\epsilon_0\ell} \frac{dr}{r} = \frac{Q}{2\pi\epsilon\epsilon_0\ell} \ln \frac{r_N}{r_M}$$

### 3. Ứng dụng



electrostatic spray painting



electrostatic precipitator



electrostatic duster

**Ví dụ 4:** Cho một vành tích tròn tích điện đều.

a). Tính điện thế tại điểm P, nằm trên trục đối xứng của vành tròn, cách tâm O một đoạn  $h$ .

b). Tính biểu thức của cường độ điện trường tại P.