

CHƯƠNG 1

ĐIỆN TRƯỜNG TĨNH TRONG CHÂN KHÔNG

1.1. ĐIỆN TÍCH

A. Khái niệm điện tích

- Đã có từ thời cổ Hy Lạp, khi cọ xát thủy tinh với lụa thì thủy tinh hút được các vật nhẹ khác nên người ta đã nghĩ rằng thủy tinh đã nhiễm điện hay đã mang điện tích.
- Đến năm 1600, William Gibert khảo sát các vật thể và đi đến kết luận rằng: có hai loại điện tích một loại có tính chất như thủy tinh gọi là *chất cách điện* còn loại thứ hai không có tính chất đó gọi là *chất dẫn điện*.

- Khoảng năm 1700, Charles Dufay nhận thấy khi cọ xát nhiều vật cách điện với nỉ hay lụa thì chúng có thể đẩy nhau hoặc hút nhau.
- Benjamin Franklin gọi điện tích trên thanh thủy tinh là dương và của cao su là âm.
- Sự nhiễm điện của một vật khi cọ xát vào vật khác là do các ion hay electron chuyển từ vật này sang vật khác.

Vậy

Các điện tích không tự sinh ra và cũng không tự mất đi mà chỉ chuyển từ vật này sang vật khác hoặc bên trong vật mà thôi.

- Nếu xét một hệ gồm các điện tích cô lập thì tổng đại số điện tích trên các vật trong hệ không đổi (*định luật bảo toàn điện tích*). Trong tự nhiên tồn tại hai loại điện tích: điện tích âm và điện tích dương.

$$q = \pm Ne, \text{ (đơn vị là C trong hệ SI)}$$

- Các điện tích cùng dấu thì đẩy nhau, trái dấu thì hút nhau. Tương tác giữa các điện tích đứng yên gọi là tương tác tĩnh điện hay tương tác Coulomb.

B. Phân bố điện tích

Điện tích điểm là điện tích tập trung trong một vùng có kích thước nhỏ so với khoảng cách từ vùng đó đến điểm muốn khảo sát tác dụng của điện trường. Điện tích điểm là phân bố điện tích đơn giản nhất. Ngược lại ta có một phân bố điện tích.

➤ Biết được mật độ điện tích của một phân bố điện tích liên tục ta có thể tính được toàn thể điện tích Q của phân bố đó.

Có 3 loại mật độ điện tích

❖ Mật độ điện tích dài:



$$Q = \int_{\ell} \lambda \, d\ell$$

$$\lambda = \lim_{\Delta \ell \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta \ell} = \frac{dq}{d\ell} \quad \text{C/m}$$

❖ Mật độ điện mặt:



$$Q = \int_S \sigma \, dS$$

$$\sigma = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta S} = \frac{dq}{dS} \quad \text{C/m}^2$$

❖ Mật độ điện tích khối:



$$Q = \int_V \rho \, dV$$

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta V} = \frac{dq}{dV} \quad \text{C/m}^3$$

1.2. ĐỊNH LUẬT COULOMB

Năm 1785, Coulomb đã xác định luật tương tác giữa hai điện tích điểm đứng yên.

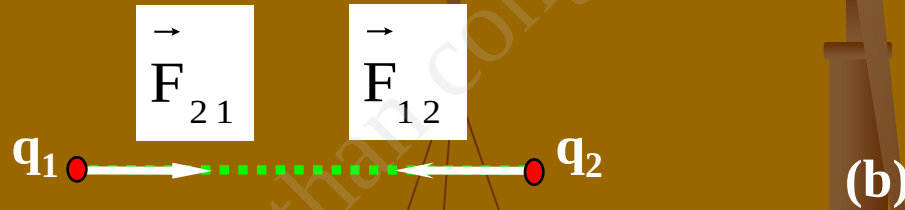
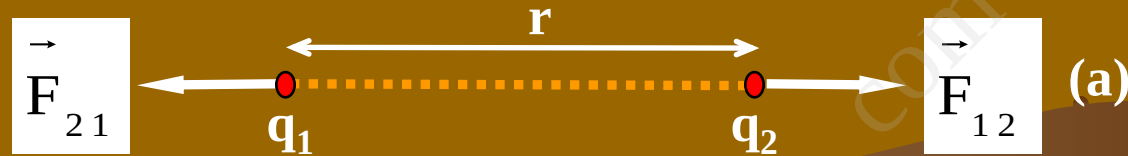
PHÁT BIỂU

Phương: là đường nối hai điện tích.

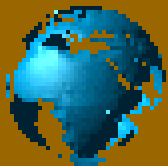
Chiều: là lực đẩy nếu hai điện tích cùng dấu và là lực hút nếu hai điện tích trái dấu.

Cường độ: tỉ lệ thuận với tích số độ lớn của hai điện tích và tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa hai điện tích.

Định luật Coulomb



Hình 2.1: Lực tương tác giữa hai điện tích điểm.
(a) $q_1 q_2 > 0$, (b) $q_1 q_2 < 0$



Định luật Coulomb

$$\vec{F}_{12} = \frac{q_1 q_2}{4 \pi \epsilon_0 r^3} \vec{r}$$

- Trong đó: q_1 và q_2 là giá trị đại số của các điện tích tương tác, r vectơ là vectơ vị trí xác định vị trí của điện tích chịu tác dụng lực đối với điện tích gây ra lực tác dụng.

$$|\vec{F}_{12}| = |\vec{F}_{21}| = \frac{|q_1 q_2|}{4 \pi \epsilon_0 r^2}$$

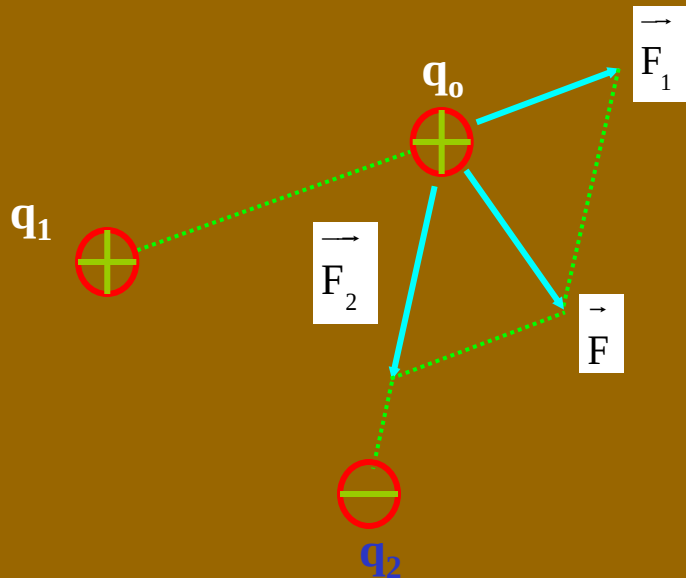
Định luật Coulomb

Giả sử ta có n điện tích điểm $q_1, q_2 \dots q_n$ tác dụng đồng thời lên điện tích điểm q_0 thì:

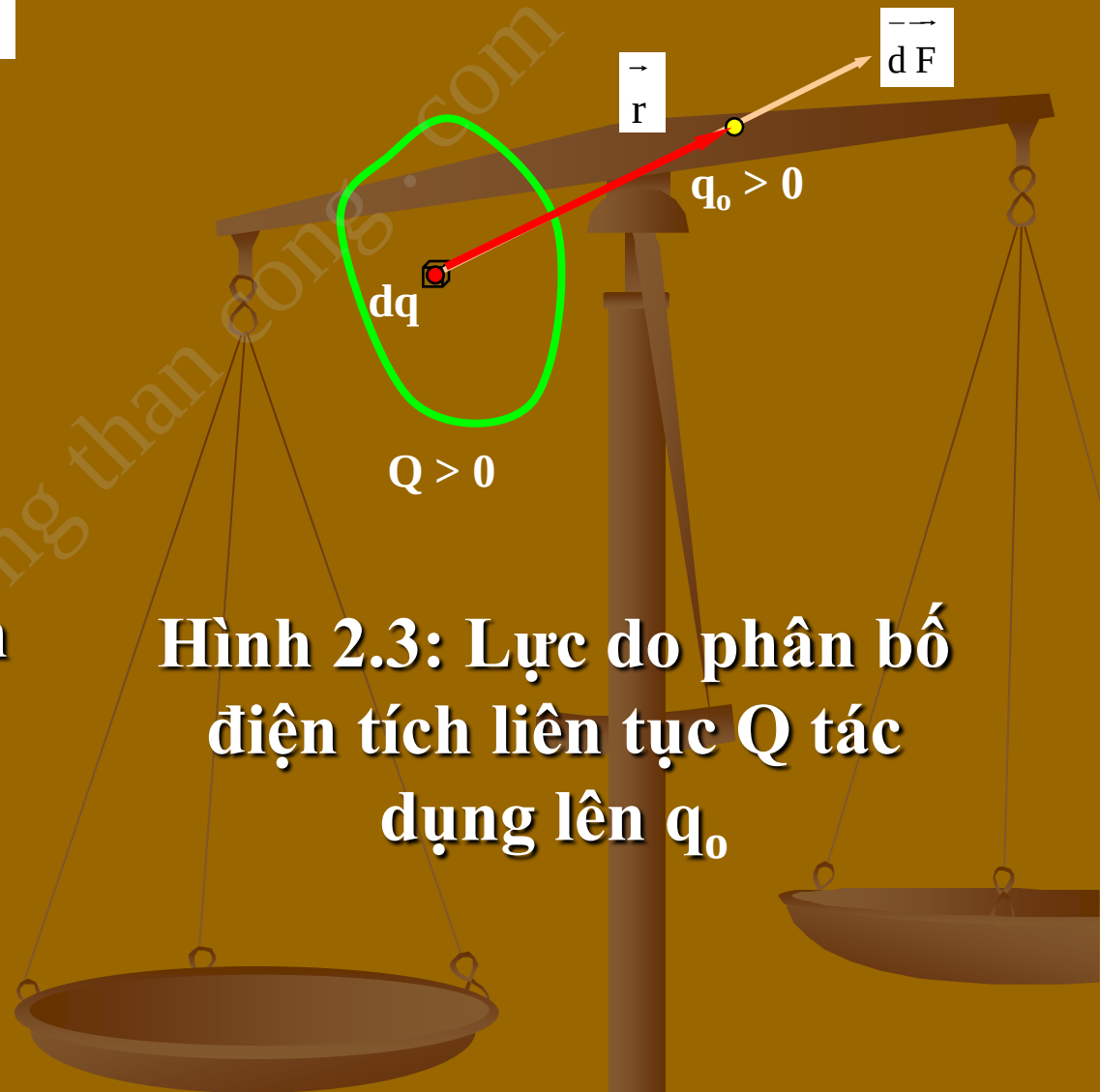
$$\vec{F}_i = \frac{q_i q_o}{4 \pi \epsilon_o r_i^3} \vec{r}_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$\Rightarrow \vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \sum_{i=1}^n \frac{q_i q_o}{4 \pi \epsilon_o r_i^3} \vec{r}_i$$

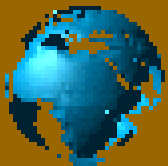
Định luật Coulomb



Hình 2.2: Lực do điện tích điểm q_1 và q_2 tác dụng lên q_0



Hình 2.3: Lực do phân bố điện tích liên tục Q tác dụng lên q_0



Định luật Coulomb

Để xác định lực do một phân bố điện tích liên tục tác dụng lên điện tích điểm q_0 ta có thể chia nó thành các điện tích điểm dq sao cho có thể xem chúng là các điện tích điểm.

➤ Lực do phân bố điện tích tác dụng lên q_0 là:

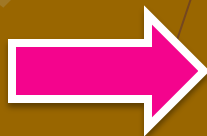
$$\vec{F} = \int_{P B D T} d\vec{F} = \int_Q \frac{q_0 dq}{4\pi\epsilon_0 r^3} \vec{r}$$

Giới hạn của r : từ 10^{-15}m đến vài km.

1.3. Điện trường

A) Khái niệm điện trường

Do đâu các điện tích có thể tương tác được với nhau?



Để giải thích điều đó người ta thừa nhận tồn tại một môi trường vật chất (trung gian) làm môi giới cho sự lan truyền tương tác giữa các điện tích.

ĐIỆN TRƯỜNG

Vùng không gian có điện trường là vùng không gian bị biến tính bởi sự hiện diện của điện tích.

B. Véc tơ cường độ điện trường

Xét điện trường gây ra bởi điện tích điểm Q.

- Lực tác dụng của điện trường lên một điện tích thử q_0 là:

$$\vec{F} = \frac{Q q_0}{4 \pi \epsilon_0 r^3} \vec{r}$$

- Xét tỉ số:

$$\frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{Q}{4 \pi \epsilon_0 r^3} \vec{r}$$

Tỉ số này chỉ phụ thuộc Q, r nên có thể đặt trung cho điện trường tại điểm khảo sát, được gọi là véc tơ cường độ dòng điện tại điểm đó.

Véc tơ cường độ điện trường

E là trường xuyên tâm và rời xa điện tích dương (hướng về điện tích âm), là đại lượng vật lý đặc trưng cho điện trường về phương diện tác dụng lực.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

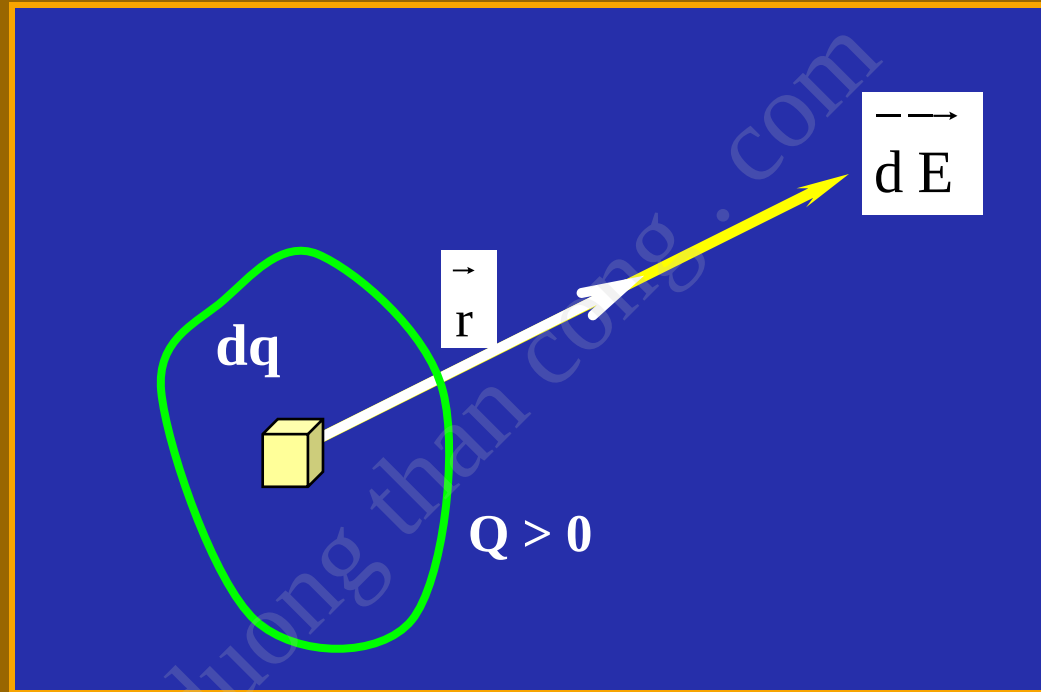
Ta nhận thấy một điện tích bất kì đặt tại điểm có cường độ điện trường E sẽ chịu một lực

$$\vec{F} = q \vec{E}$$

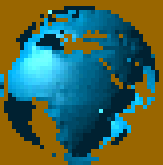
Áp dụng định luật Coulomb, ta có:

$$\vec{E} = \frac{q}{4 \pi \epsilon_0 r^3} \vec{r}$$

Véc tơ cường độ điện trường



Hình 2.4: Điện trường gây bởi một phân bố điện tích



Véc tơ cường độ điện trường

✓ Điện trường do một hệ nhiều điện tích điểm gây ra tại một điểm:

$$\Rightarrow \vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{4\pi\epsilon_0 r_i^3} \vec{r}_i$$

✓ Để tính điện trường gây ra bởi một phân bố điện tích liên tục ta có thể chia nhỏ nó ra thành nhiều điện tích nhỏ dq sao cho có thể xem nó là các điện tích điểm:

$$d\vec{E} = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r^3} \vec{r}$$

Véc tơ cường độ điện trường

Véc tơ cường độ điện trường gây ra bởi cả phân bố điện tích:

$$\vec{E} = \int_{PBDT} \vec{dE} = \int_Q \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r^3} \vec{r}$$

Nếu điện tích được phân liên tục trên một chiều dài, một mặt, một thể tích thì:

$$\vec{E} = \int_{PBDT} \vec{dE} = \int_V \frac{\rho dv}{4\pi\epsilon_0 r^3} \vec{r}$$

$$\vec{E} = \int_{PBDT} \vec{dE} = \int_S \frac{\sigma dS}{4\pi\epsilon_0 r^3} \vec{r}$$

$$\vec{E} = \int_{PBDT} \vec{dE} = \int_\ell \frac{\lambda d\ell}{4\pi\epsilon_0 r^3} \vec{r}$$

C. Đường sức điện trường:

❖ Định nghĩa:

Là những đường cong vẽ trong điện trường sao cho tiếp tuyến tại mọi điểm của nó trùng với phương vectơ cường độ điện trường.

❖ Đặc điểm:

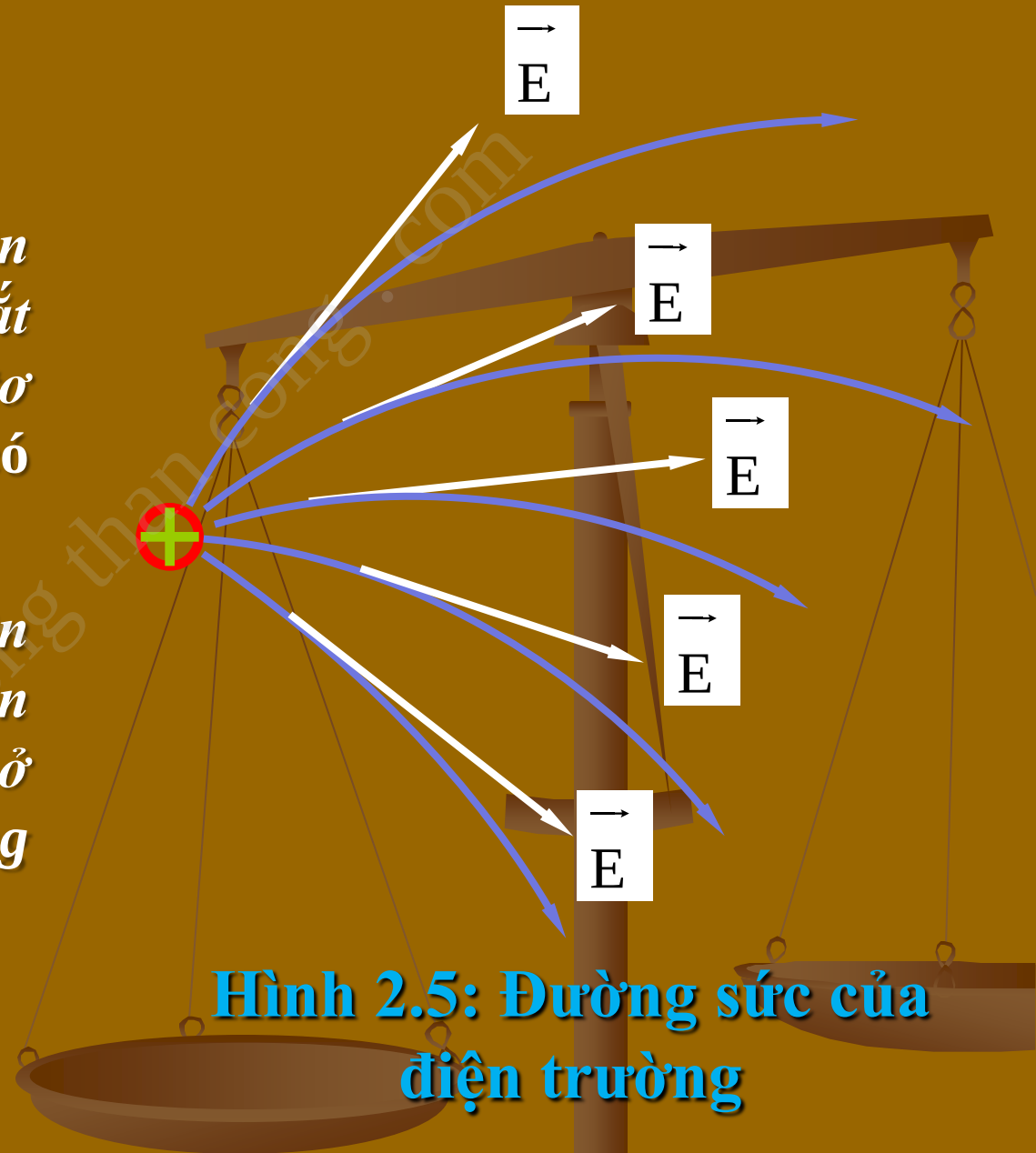
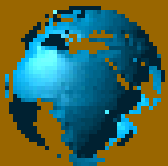
Chiều của đường sức là chiều của vectơ cường độ điện trường.

Số đường sức đi qua một đơn vị diện tích vuông góc với nó bằng trị số vectơ điện trường E tại đó:

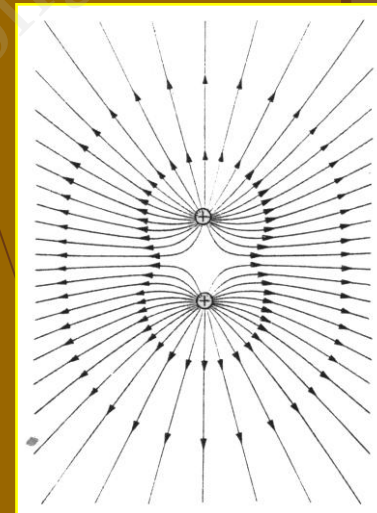
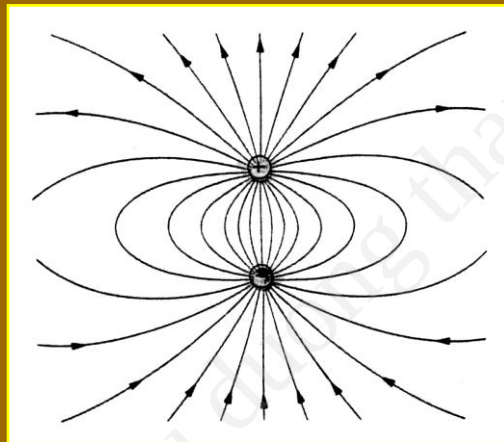
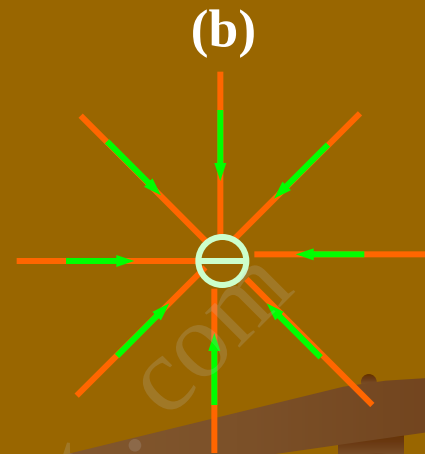
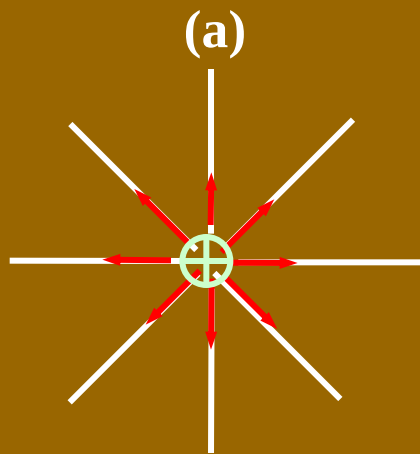
$$\frac{dN}{dS_n} = E$$

CHÚ Ý:

- + Các đường sức điện trường không bao giờ cắt nhau vì tại mỗi điểm véctơ cường độ điện trường chỉ có một giá trị xác định.
- + Các đường sức điện trường xuất phát từ các điện tích dương và kết thúc ở điện tích âm. Do đó, chúng là các đường cong hở.

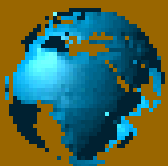


Hình 2.5: Đường sức của điện trường



Hình 2.6: Đường sức của điện trường:

**(a) Điện tích điểm dương. (b) Điện tích điểm âm.
(c) Hai điện tích trái dấu. (d) Hai điện tích cùng dấu**



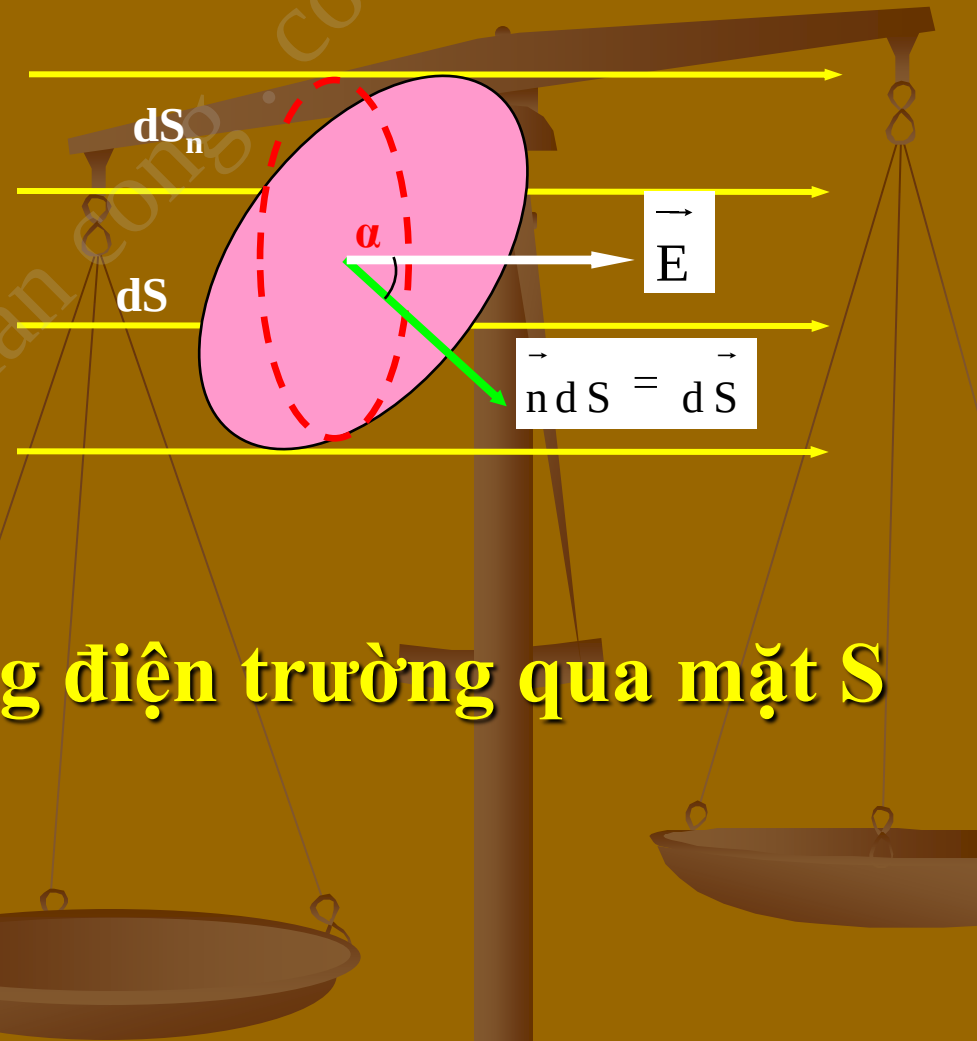
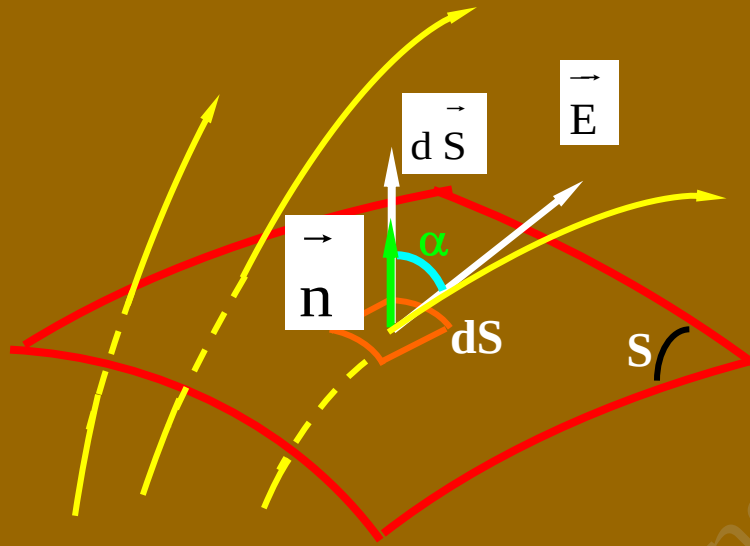
D. Thông lượng điện trường

- Xét một mặt kín S bất kỳ trong điện trường, chia nó thành các vùng dS nhỏ sao cho có thể xem đó là từ trường đều.
- Thông lượng điện trường qua dS là:

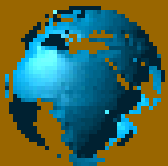
$$d\phi_e = \vec{E} \cdot d\vec{S} = \vec{E} \cdot \vec{n} dS = E \cdot dS \cdot \cos \alpha$$

$$\alpha = \angle \vec{E}, \vec{n}$$

Thông lượng điện trường



Hình 2.7: Thông lượng điện trường qua mặt S



Vậy thông lượng điện trường qua mặt dS là một đại lượng đại số có giá trị dương hay âm phụ thuộc vào chiều vectơ n trên dS (hướng ra ngoài là dương, vào trong là âm)

$$dS_n = dS \cos \alpha$$
$$\Rightarrow d\phi_e = E \cdot dS_n$$

Thông lượng điện trường qua toàn thể mặt S là:

$$\phi_e = \int_S \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

➤ Thông lượng qua mặt kín S:

$$\phi_e = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

➤ Ta thấy:

$$|d\phi_e| = dN$$



Giá trị thông lượng của điện trường qua diện tích S nào đó chính là số đường sức đi qua diện tích S đó.

1.4. ĐỊNH LÝ GAUSS

1.4.1. Phát biểu định lý

Thông lượng điện trường qua một mặt kín bất kỳ bằng tổng đại số các điện tích chứa trong mặt kín S chia cho ϵ_0 .



Carl Friedrich Gauss
(1777 – 1855)
(Đức)

1.4.2. Chứng minh định lý

1) Đối với điện trường tạo bởi điện tích điểm q tại O

a) Xét mặt kín S bao quanh điện tích q

Ta thấy số đường sức xuyên qua mặt S bằng số đường sức xuyên qua mặt cầu tưởng tượng S_1 , có tâm O tại điện tích điểm q và có bán kính r bao quanh S . Do đó, thông lượng điện trường Φ_e xuyên qua S cũng là thông lượng điện trường Φ_{e1} xuyên qua mặt cầu S_1 .

Định lý Gauss

Vậy:

$$\begin{aligned}\phi_{e_1} &= \oint_{S_1} \vec{E} \cdot d\vec{S}_1 = \oint_{S_1} E_1 \cdot dS_1 = E_1 \cdot \oint_{S_1} dS_1 = E_1 \cdot S_1 \\ &= \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cdot 4\pi r^2 = \frac{q}{\epsilon_0}\end{aligned}$$

Do đó:

$$\phi_e = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

b) Xét mặt kín không bao quanh điện tích q:

Giả sử $q > 0$, vẽ mặt nón đỉnh O tiếp xúc với mặt kín S. Giao tuyến giữa mặt nón và mặt kín S tạo thành một đường cong kín (C) chia mặt S thành 2 mặt S_1 và S_2 .

Thông lượng điện trường qua mặt kín S bằng tổng thông lượng qua hai mặt S_1 và S_2 .

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \oint_{S_1} \vec{E} \cdot d\vec{S} + \oint_{S_2} \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

$$\phi = \phi_{e1} + \phi_{e2}$$

:

$$\phi_{e1} = -|\phi_{e1}|$$

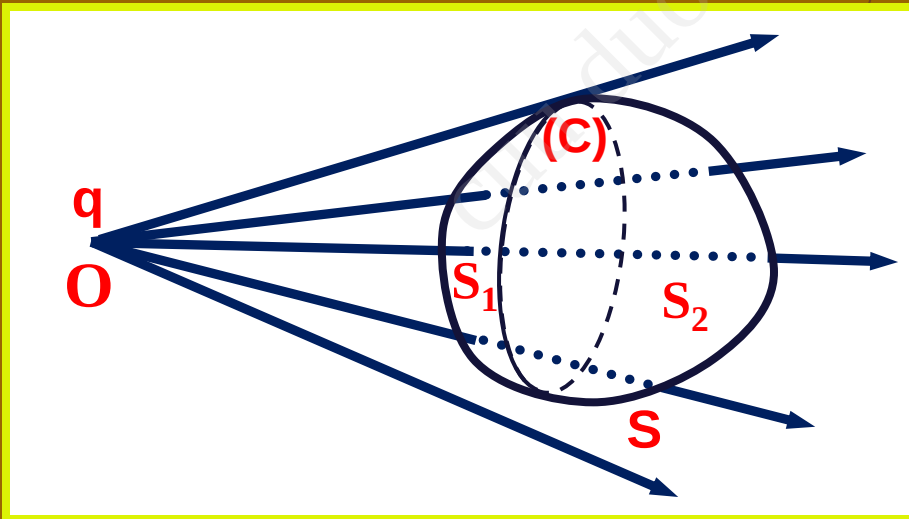
$$\phi_{e2} = |\phi_{e2}|$$

Mà số đường sức xuyên qua S_1 bằng số đường sức xuyên qua S_2 , nên:

$$|\phi_{e1}| = |\phi_{e2}|$$

Do đó :

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = 0$$



Hình 2.8b : Điện tích điểm ở ngoài mặt kín S

2) Đối với điện trường tạo bởi một hệ điện tích điểm:

Thông lượng điện trường qua một mặt kín S là:

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \oint_S \left(\sum_i \vec{E}_i \right) \cdot d\vec{S} = \sum_i \oint_S \vec{E}_i \cdot d\vec{S}$$

$$\oint_S \vec{E}_i \cdot d\vec{S} = \frac{q_i}{\epsilon_0}$$

Do đó:

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_i q_i$$

3) Đối với điện trường tạo bởi một phân bố điện tích liên tục

* Thông lượng điện trường qua mặt kín S là:

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

Với Q là tổng đại số điện tích chứa trong mặt kín S .

* Gọi ρ là mật độ khối điện tích trên phân bố điện tích và v là thể tích giới hạn bởi mặt kín S , ta có:

$$Q = \int_v \rho \cdot dv$$



$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \int_v \rho \cdot dv$$

Đặt:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \cdot \vec{E}$$

là vector cảm ứng điện.

$$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \oint_V \rho \cdot dv$$

Dạng tích phân
của định lý Gauss

Để xác định mối liên hệ giữa điện trường và ρ tại cùng một điểm, ta áp dụng định lý Ostrogradsky - Gauss:

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \oint_V \nabla \cdot \vec{E} \cdot dv$$

$$\oint_V \nabla \cdot \vec{E} \cdot dv = \frac{1}{\epsilon_0} \oint_V \rho \cdot dv$$



Vì S là mặt kín nên v cũng là một thể tích bất kỳ.

Từ đó ta có:

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$$

Các biểu thức trên là dạng vi phân của định lý Gauss hay còn gọi là *phương trình Poisson*.

1.4.3. Ứng dụng của định lý Gauss

1) Điện trường của mặt phẳng rộng vô hạn tích điện đều

Gọi σ là mật độ điện tích trên mặt phẳng và giả sử $\sigma > 0$.

Tưởng tượng mặt trụ S có đường sinh vuông góc với mặt phẳng, có hai đáy ΔS đối xứng nhau qua mặt phẳng. Áp dụng định lý Gauss cho mặt kín S này, ta có:

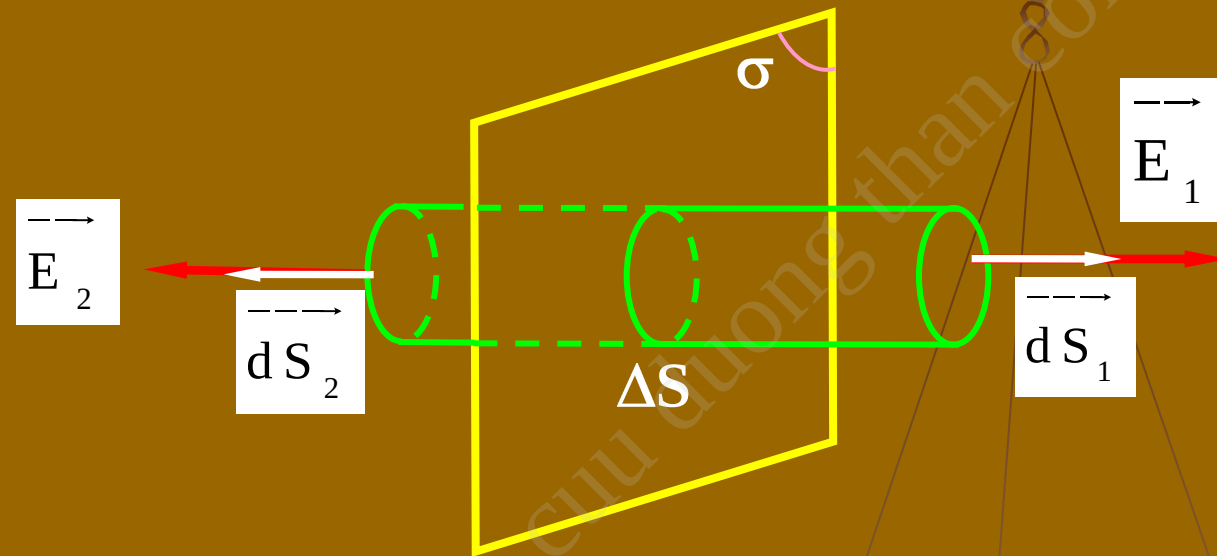
$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \oint_{m \times q} \vec{E} \cdot d\vec{S} + \oint_{\text{day 1}} \vec{E}_1 \cdot d\vec{S}_1 + \oint_{\text{day 2}} \vec{E}_2 \cdot d\vec{S}_2 = \oint_{\Delta S} \sigma \cdot dS$$

Điện trường của mặt phẳng rộng vô hạn tích điện đều

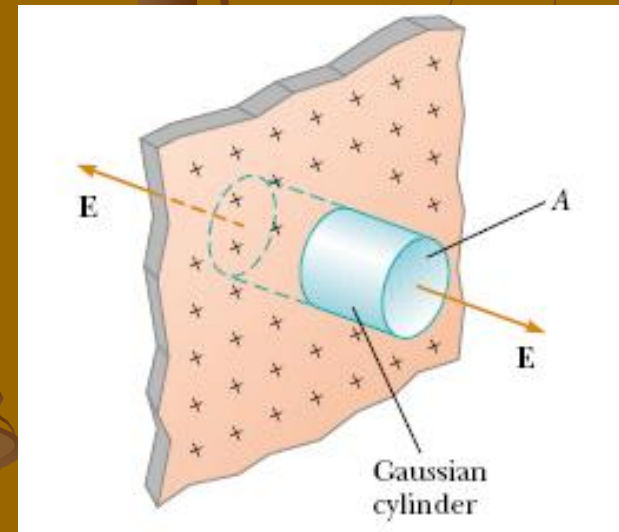
Dọc theo mặt xung quanh:

$$\vec{E} \perp d\vec{S}$$

Vậy: thông lượng của điện trường qua mặt xung quanh bằng 0.



Hình 2.9: Điện trường gây ra bởi mặt phẳng rộng vô hạn có mật độ σ .



Điện trường của mặt phẳng rộng vô hạn tích điện đều



$$2 E_1 \cdot \Delta S = 2 E \cdot \Delta S = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \cdot \Delta S$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

Véc tơ điện trường có phương vuông góc với mặt phẳng, có chiều hướng ra xa khỏi mặt phẳng nếu $\sigma > 0$ và chiều hướng vào mặt phẳng nếu $\sigma < 0$.

2) Điện trường tạo bởi hai mặt phẳng song song tích điện đều và trái dấu

Trong miền giữa hai mặt phẳng (hai bản), các điện trường $\vec{E}_+$, $\vec{E}_-$ của mỗi mặt có cùng phương, chiều và độ lớn nên điện trường tổng hợp là:

$$\vec{E} = \vec{E}_+ + \vec{E}_-$$
$$E = E_+ + E_- = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

➤ Điện trường đều, có phương vuông góc với các bản, có chiều hướng từ bản dương sang bản âm và có độ lớn $E = \sigma/\epsilon_0$. Các đường sức điện trường giữa hai bản song song, cách đều nhau và vuông góc với các bản.

➤ Ở ngoài thể tích giới hạn bởi hai bản, các điện trường của các bản có cùng phương, ngược chiều và cùng độ lớn nên điện trường tổng hợp bằng 0.

➤ Đối với mặt phẳng song song có kích thước hữu hạn, kết quả này chỉ đúng nếu khoảng cách giữa hai mặt phẳng rất nhỏ so với kích thước thẳng của mặt phẳng. Trong trường hợp này ở gần các mép của mặt phẳng, điện trường không đều.

3) Điện trường của quả cầu tích điện, đều trên bề mặt

Xét quả cầu tâm O, bán kính R mang điện tích $q > 0$, phân bố đều với mật độ điện mặt σ , ta tính điện trường tại một điểm ở bên ngoài mặt cầu cách tâm O một đoạn r. Áp dụng định lý Gauss cho mặt kín S là mặt cầu tâm O, bán kính $r \geq R$:

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$E \cdot 4\pi r^2 = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

$$E = 0$$

Với $r \geq R$

Với $r < R$

4) Điện trường của quả cầu tích điện đều trong thể tích

Xét quả cầu tâm O, bán kính R, mang điện tích $q > 0$ phân bố đều với mật độ điện tích khối ρ . Điện trường tại một điểm ở bên ngoài quả cầu giống với điện trường ở ngoài quả cầu tích điện đều trên bề mặt, còn điện trường tại một điểm bên trong thì khác 0. Điện tích chứa trong mặt kín S tâm O, bán kính $r < R$ là: $\rho = 4\pi r^3/3$.

$$E \cdot 4\pi r^2 = \frac{\rho}{\epsilon_0} \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi r^3$$

Suy ra:

$$E = \frac{q r}{4\pi \epsilon_0 R^3}$$

Với: $r \leq R$

5) Điện trường của mặt trụ đều

Xét mặt trụ rất dài, bán kính R , chiều cao $H \gg R$, mang điện tích phân bố đều với mật độ điện mặt $\sigma > 0$. Ta tính điện trường tại một điểm ở ngoài mặt trụ cách trục hình trụ một khoảng r .

Áp dụng định lý Gauss đối với mặt kín S là mặt trụ đồng trục với mặt trụ mang điện tích trên, có bán kính r và chiều cao h .

$\vec{E}$ có giá trị không đổi trên mặt xung quanh của mặt trụ S , ở hai mặt đáy: $\vec{E} \perp d\vec{S}$ nên thông lượng điện trường qua hai mặt đáy bằng 0.

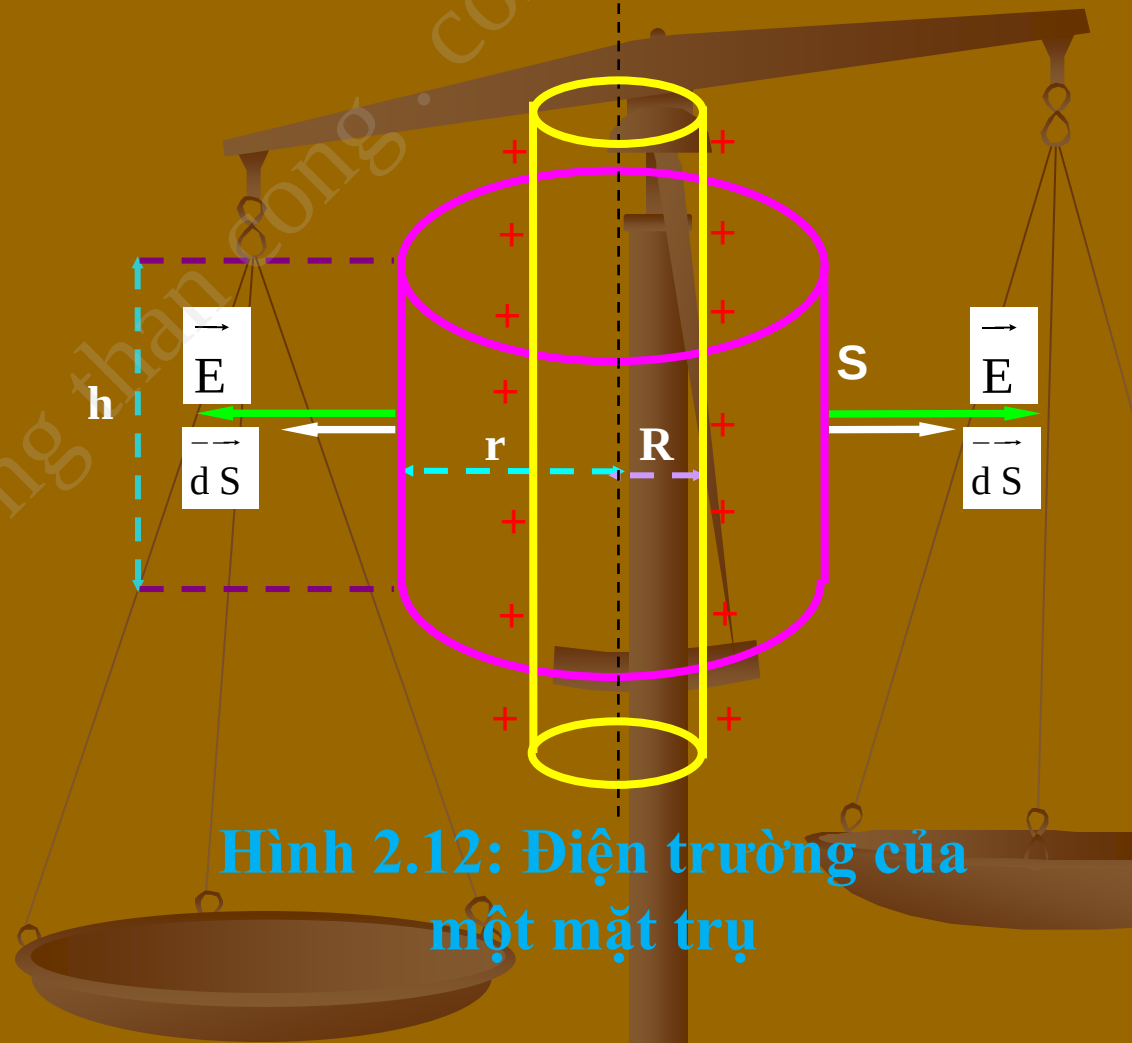
$$\oint_{m \times q} \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot 2\sigma\pi R h$$

$$E \cdot 2\pi r h = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \cdot 2\pi R h$$

$$E = \frac{\sigma R}{\epsilon_0 r}$$

$$E = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 H r}$$

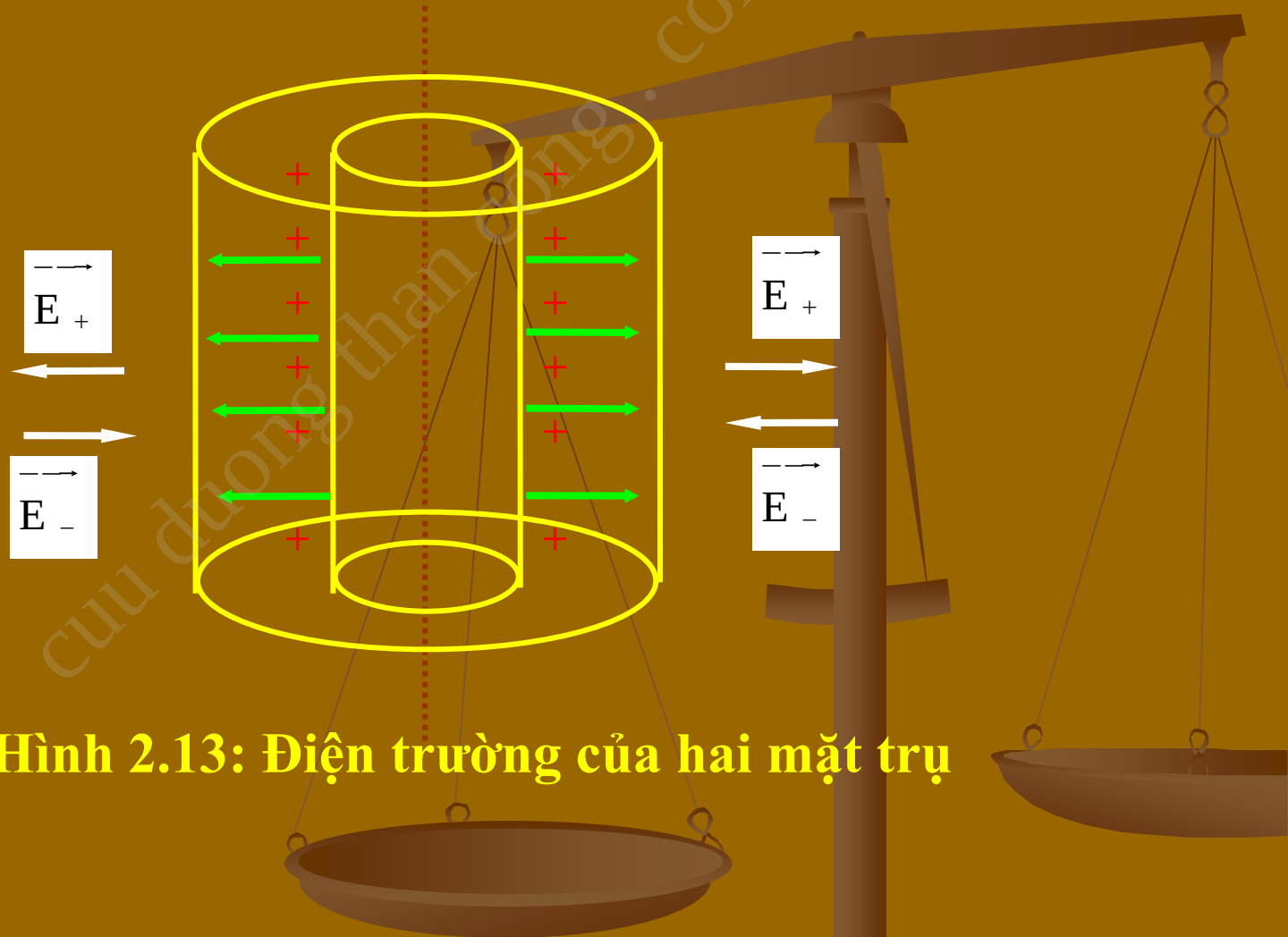
Với $r > R$



Hình 2.12: Điện trường của một mặt trụ

Điện trường của mặt trụ đều

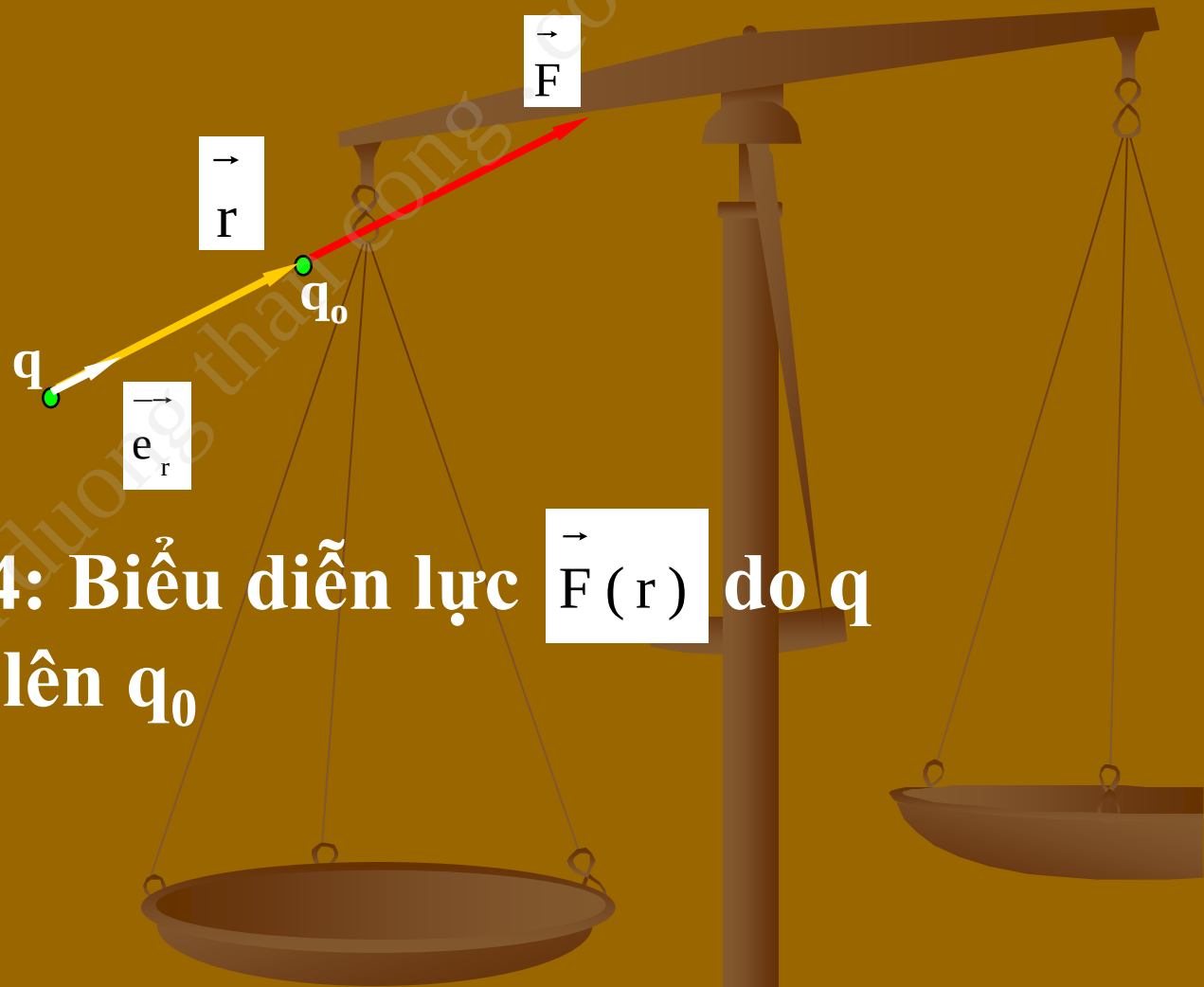
$$\mathbf{E} = 0 \quad (\text{với } r < R)$$



Hình 2.13: Điện trường của hai mặt trụ

1.5. ĐIỆN THỂ

1) Tính chất thể của trường tĩnh điện



Hình 2.14: Biểu diễn lực $\vec{F}(\vec{r})$ do q tác dụng lên q_0

1.5. ĐIỆN THẾ

1) Tính chất thế của trường tĩnh điện

Điện tích q_0 đặt trong điện trường do điện tích điểm q đứng yên gây ra sẽ chịu tác dụng của lực:

$$\vec{F}(\vec{r}) = \frac{qq_0\vec{r}}{4\pi\epsilon_0 r^3} = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{e}_r = F(r)\vec{e}_r$$

Trong đó $\vec{e}_r$ là vectơ đơn vị của vectơ vị trí còn $\vec{r}$ là vectơ có phương luôn đi qua q và q_0

Chứng minh trường tĩnh điện là trường thế

Công của lực tĩnh điện $\vec{F}(\vec{r})$ để dịch chuyển điện tích q_0 ($q_0, q > 0$) từ vị trí 1 đến vị trí 2:

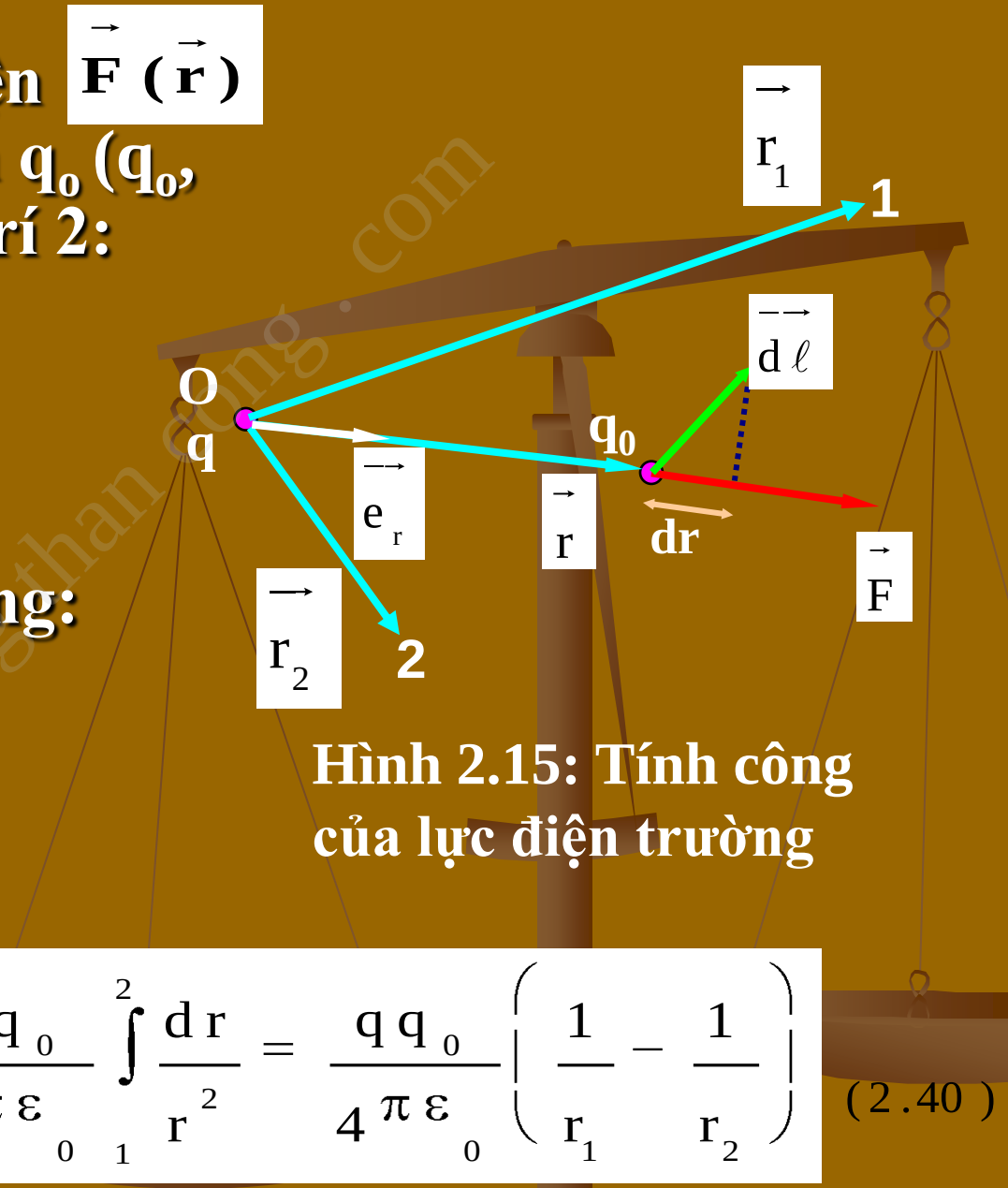
$$A_{12} = \int_1^2 \vec{F}(\vec{r}) \cdot \vec{e}_r \cdot d\ell$$

Theo hình ta thấy rằng:

$$\vec{e}_r \cdot d\vec{\ell} = dr$$

Nên:

$$A_{12} = \int_1^2 \frac{q q_0}{4 \pi \epsilon_0 r^2} dr = \frac{q q_0}{4 \pi \epsilon_0} \int_1^2 \frac{dr}{r^2} = \frac{q q_0}{4 \pi \epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.40)$$



Hình 2.15: Tính công của lực điện trường

Từ (2.40) ta thấy rằng công của lực tĩnh điện không phụ thuộc vào đường đi, chỉ phụ thuộc vị trí đầu và vị trí cuối.

$\vec{F}(\vec{r})$ là lực trường thế và trường tĩnh điện là một trường thế.

Biểu thức toán học mô tả tính chất thế của trường tĩnh điện:

$$\nabla \times \vec{E} = 0$$

2) Thế năng của điện tích trong điện trường

Ta đã biết, công của lực tĩnh điện bằng độ giảm thế năng:

$$A_{12} = W_1 - W_2$$

(2 . 41)

So sánh (2.40) và (2.41), ta thu được biểu thức thế năng của q_0 trong điện trường của điện tích điểm q :

$$W = \frac{q q_0}{4 \pi \epsilon_0 r} + \text{const}$$

-Nếu quy ước thế năng của q_0 ở rất xa q ($r=\infty$) bằng 0, thì thế năng của điện tích q_0 là:

$$W = \frac{q q_0}{4 \pi \epsilon_0 r}$$

Tương tự, ta có:

- Thế năng của q_0 trong điện trường của hệ gồm n điện tích điểm:

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

r_i : khoảng cách từ q_i đến q_0

- Thế năng của q_0 ở vị trí một trong điện trường gây ra bởi phân bố điện tích liên tục:

$$W_1 = \int_{\ell}^{\infty} q_0 \vec{E} \cdot d\vec{\ell}$$

3) Điện thế

Xét điện trường do điện tích q gây ra. Đặt q_0 trong điện trường đó (q_0 là điện tích rất nhỏ, điện trường nó gây ra không đáng kể)

Ta định nghĩa tỉ số:

$$\frac{W}{q_0} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} = V$$

là điện thế tại điểm khảo sát

Đơn vị: Volt = V.

r : là khoảng cách từ q đến điểm khảo sát.

Như vậy, điện thế là thế năng ứng với một đơn vị điện tích dương.

- Từ biểu thức định nghĩa điện thế ta suy ra điện thế của điện tích điểm q là:

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} + \text{const}$$

Nếu quy ước $V(r = \infty) = 0$ thì $\text{const} = 0$.

- Điện thế của điện tích q tại điểm cách nó khoảng r :

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$$

- Điện thế của hệ gồm n điện tích điểm gây ra tại điểm cách chúng khoảng r :

$$V = \sum_{i=1}^n \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r_i}$$

■ Điện thế của phân bố điện tích bất kì tạo ra điện trường $\vec{E}$ là:

$$V_1 = \int_1^{\infty} \vec{E} \cdot d\vec{\ell} \quad (2.51)$$

Điện thế là công của lực tĩnh điện để dịch chuyển một đơn vị điện tích dương dọc theo đường cong bất kì từ điểm đó ra xa vô cùng được quy ước điện thế bằng 0.

Điện thế tạo bởi phân bố điện tích là:

$$V = \int dV = \int_Q \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r}$$

HIỆU ĐIỆN THẾ (HĐT)

- HĐT giữa hai điểm 1 và 2 được kí hiệu:

$$U_{12} = V_1 - V_2 = \frac{W_1 - W_2}{q_0}$$

Hay:

$$U_{12} = \frac{A_{12}}{q_0}$$

- HĐT giữa hai điểm 1 và 2 trong điện trường được tính:

$$U_{12} = \int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{\ell}$$

❖ Chú ý

- ❑ $\int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{\ell}$: là lưu số của điện trường $\vec{E}$ từ 1 đến 2.
- ❑ Điện thế V là hàm vô hướng theo biến vector $\vec{r}$:
 $V(\vec{r}) = V(x, y, z)$, đặc trưng cho điện trường về phương diện năng lượng.
- ❑ Điện trường $\vec{E}$ là hàm vector theo biến vector $\vec{r}$:
 $\vec{E}(\vec{r}) = \vec{E}(x, y, z)$, đặc trưng cho điện trường về phương diện tác dụng lực.
- ❑ Việc khảo sát điện trường thông qua đại lượng vô hướng thì đơn giản hơn trong tính toán và đo lường.

4) Mặt đẳng thế

Khái niệm: Mặt đẳng thế là các mặt mức của trường vô hướng điện thế. Đó là tập hợp các điểm có cùng điện thế.

Phương trình của mặt đẳng thế:

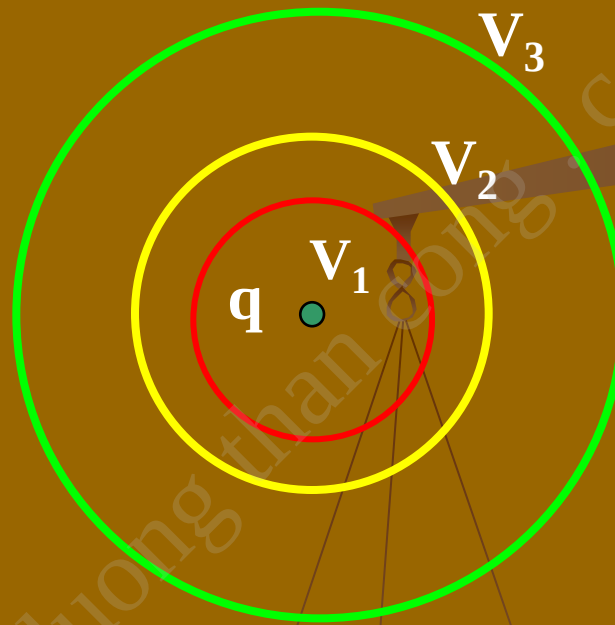
$$V = (x, y, z) = \text{const}$$

■ Trong điện trường gây bởi điện tích điểm q thì hàm điện thế V là:

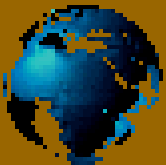
$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$$

Mọi mặt cầu có tâm là điện tích q đều là mặt đẳng thế

Mặt đẳng thế



Hình 2.16: Mặt đẳng thế trong điện trường của điện tích điểm q



Các tính chất của mặt đẳng thế

- Các mặt đẳng thế không bao giờ cắt nhau.
- Công của lực tĩnh điện dịch chuyển q_0 trên mặt đẳng thế bằng 0.
- Vector cường độ điện trường vuông góc với mặt đẳng thế.

1.6. LIÊN HỆ GIỮA ĐIỆN TRƯỜNG VÀ ĐIỆN THẾ

Điện trường có thể được mô tả qua cả hai đại lượng $\vec{E}$ và V , vì thế hai đại lượng này có mối liên hệ với nhau bằng biểu thức:

$$\vec{E} = -\nabla V$$

Trong hệ tọa độ Descartes, $\vec{E}$ được biểu diễn qua các thành phần trên các trục tọa độ:

$$\vec{E} = E_x \vec{e}_x + E_y \vec{e}_y + E_z \vec{e}_z$$

∇ được định nghĩa trong hệ tọa độ Descartes:

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \vec{e}_x + \frac{\partial}{\partial y} \vec{e}_y + \frac{\partial}{\partial z} \vec{e}_z$$

1.7. LƯỜNG CỰC ĐIỆN

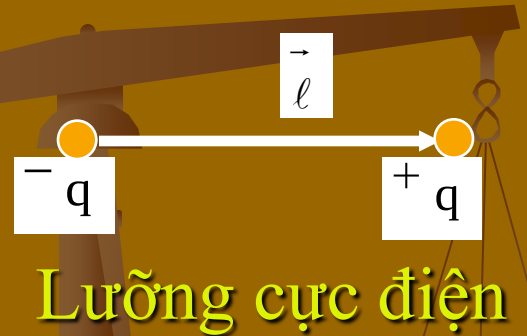
Định nghĩa:

Là một hệ gồm hai điện tích bằng nhau về độ lớn nhưng trái dấu $+q$ và $-q$, cách nhau một đoạn l rất nhỏ so với khoảng cách từ lưỡng cực đến điểm đang xét.

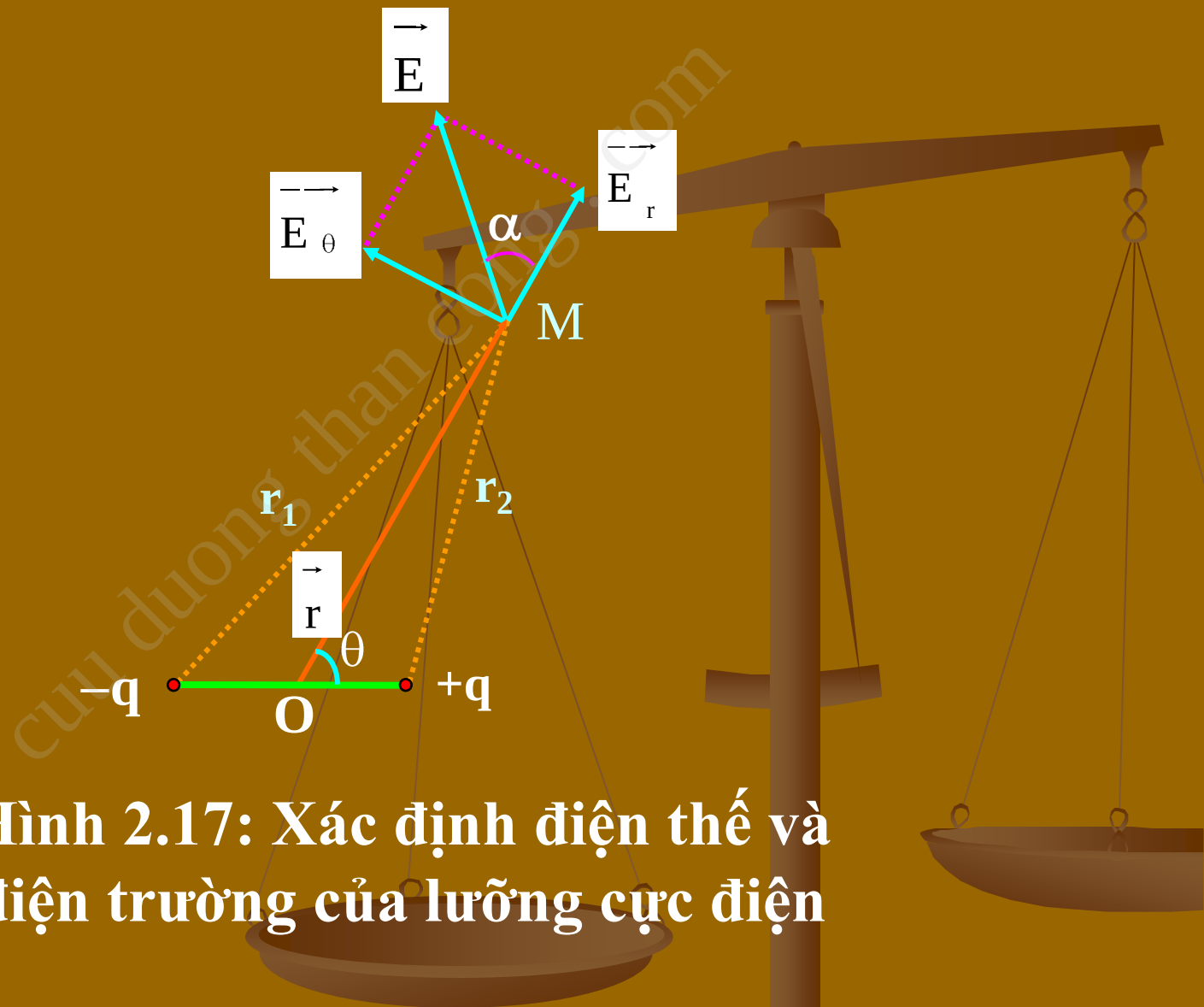
Đặc trưng cho tính chất của lưỡng cực điện là vector mômen lưỡng cực điện, kí hiệu $\vec{p}_e$

$$\vec{p}_e = q \vec{\ell}$$

$\vec{\ell}$ là vector hướng từ $-q$ sang $+q$



1) Điện thế và điện trường của lưỡng cực



Hình 2.17: Xác định điện thế và điện trường của lưỡng cực điện

- Điện thế V gây bởi lưỡng cực tại M :

$$V = \frac{-q}{4\pi\epsilon_0 r_1} + \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r_2} = \frac{q(r_1 - r_2)}{4\pi\epsilon_0 r_1 r_2}$$

Vì l rất nhỏ so với r_1 và r_2 nên:

$$r_1 - r_2 \approx l \cos \theta$$

$$r_1 r_2 \approx r^2$$

- Biểu thức điện thế tại M trong hệ tọa độ cực là:

$$V(r, \theta) = \frac{q l \cos \theta}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{p_e \cos \theta}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{\vec{p}_e \cdot \vec{r}}{4\pi\epsilon_0 r^3}$$

Điện thế và điện trường của lưỡng cực

■ Trong hệ tọa độ cực:

$$\vec{E}(r, \theta) = -\nabla V(r, \theta)$$

■ E_r theo phương của r :

$$E_r = -\frac{\partial V}{\partial r} = \frac{2p_e \cos \theta}{4\pi\epsilon_0 r^3}$$

■ E_θ theo phương vuông góc với r :

$$E_\theta = -\frac{\partial V}{r \partial \theta} = \frac{p_e \sin \theta}{4\pi\epsilon_0 r^3}$$

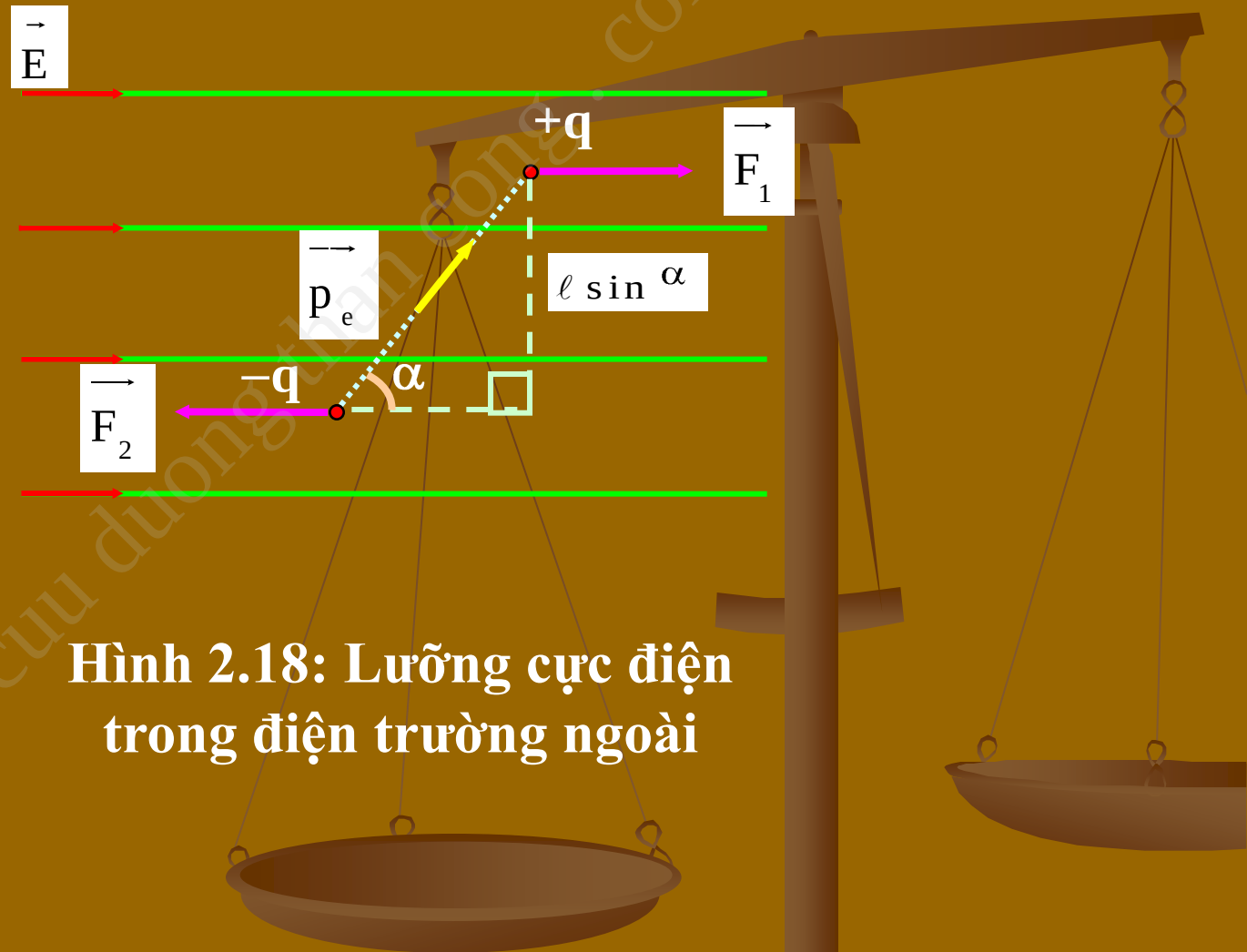
■ Vậy :

$$E = \sqrt{E_r^2 + E_\theta^2} = \frac{p_e}{4\pi\epsilon_0 r^3} \sqrt{3 \cos^2 \theta + 1}$$

và hợp với r một góc:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{E_\theta}{E_r} = \frac{1}{2} \operatorname{tg} \theta$$

2) Tác dụng của điện trường lên lượng cực điện



Hình 2.18: Lượng cực điện
trong điện trường ngoài

1.8. CÁC ỨNG DỤNG TRONG KỸ THUẬT VÀ ĐỜI SỐNG

1) Chuông báo cháy

Gồm một chuông điện và một bộ phận phát hiện khói.

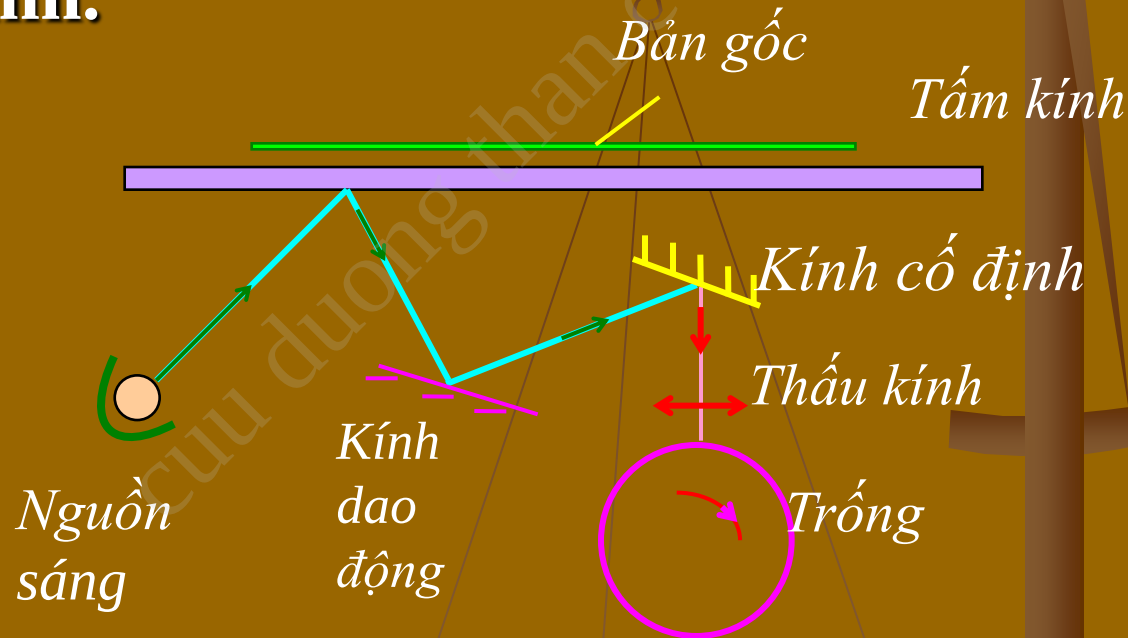
Nguyên tắc của bộ phận phát hiện khói là dựa vào sự tách điện tích. Bộ phận này chứa một lượng nhỏ chất phóng xạ trong một hình trụ có hở một đầu, phát xạ đều đặn hạt α .

Khi có khói, phân tử hữu cơ trong đám khói đi vào trong hình trụ, phân tử hữu cơ dễ bị ion hoá và chạm vào hạt α , số lượng ion tăng lên, hình trụ kích thích chuông điện.

Khuyết điểm của hệ thống: phân tử hữu cơ bốc ra từ khói đun nấu cũng kích thích chuông điện.

2) Phương pháp Xerography dùng trong máy photocopy

Máy photocopy chế tạo dựa trên hiện tượng tĩnh điện, thực hiện theo nhiều bước của phương pháp Xerography (sự tái tạo hình ảnh), sơ đồ máy photocopy vẽ trên hình.



Hình 2.19a: Sơ đồ máy photocopy

Nguyên tắc hoạt động:

- Trước hết tích điện cho trống.



Hình 2.19b: Sơ đồ làm việc của trống trong máy photocopy

- Ánh sáng phản chiếu từ chỗ có chữ trên bản gốc lên gương không gây tác dụng lên điện tích trên mặt trống. Ngược lại, ánh sáng phản chiếu từ chỗ không có chữ làm mặt trống trở thành vật dẫn, điện tích tại đó bị mất đi.
- Trống quay đến hộp mực, các điện tích này hút các hạt bụi mực, tạo thành một văn bản trên mặt trống.
- Hệ thống kéo giấy gồm bộ phận tích điện cho giấy đó. Các điện tích có trên mặt giấy hút các hạt bụi mực từ trống vào giấy. Nhờ 1 bóng đèn hồng ngoại, các hạt mực này bị nóng chảy ra thành chữ trên giấy.
- Mặt trống đi qua bộ phận giải nhiệt để trung hoà.