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*.**

Khái niệm điện tích

- **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.**

Khái niệm điện tích

- **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.**

  $q = \pm Ne$, (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 (PBĐT)

Điện tích điểm (ĐTĐ) là điện tích tập trung trong một vùng có kích thước nhỏ so với khoảng cách từ vùng đó đến điểm muốn khảo sát. Ngược lại ta có một phân bố điện tích (PBĐT).

➢ **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.**

Phân bố điện tích

Có 3 loại mật độ điện tích

- **Mật độ điện tích dài:** $\lambda = \lim\limits_{\Delta l \to 0} \dfrac{\Delta q}{\Delta \ell} = \dfrac{dq}{d\ell} \left(C/m\right)$

  $\Rightarrow \boxed{q = \int_{\ell} \lambda d\ell}$

- **Mật độ điện mặt:** $\sigma = \lim\limits_{\Delta s \to 0} \dfrac{\Delta q}{\Delta S} = \dfrac{dq}{dS} \left(C/m^2\right)$

  $\Rightarrow \boxed{q = \int_{S} \sigma dS}$

- **Mật độ điện tích khối:** $\rho = \lim\limits_{\Delta v \to 0} \dfrac{\Delta q}{\Delta v} = \dfrac{dq}{dv} \left(C/m^3\right)$

  $\Rightarrow \boxed{q = \int_{V} \rho dv}$

1.2. ĐỊNH LUẬT COULOMB

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

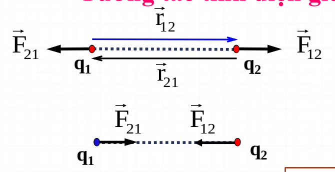
PHÁT BIỂU

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.

Tương tác tĩnh điện giữa hai ĐTĐ



(a) $q_1q_2 > 0$

(b) $q_1q_2 < 0$

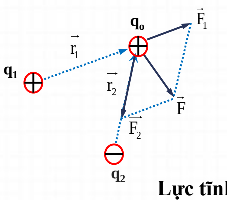
$$\vec{F}_{12} = \frac{q_1q_2}{4\pi\varepsilon_o r_{12}^3}\vec{r}_{12}$$

$$|F_{12}| = |F_{21}| = \frac{|q_1q_2|}{4\pi\varepsilon_o r_{12}^2}$$

$$\vec{F}_{21} = \frac{q_2q_1}{4\pi\varepsilon_o r_{21}^3}\vec{r}_{21}$$

- $\vec{r}_{12}$: véctơ xác định vị trí của điện tích chịu tác dụng lực đối với điện tích gây ra lực tác dụng.

Tương tác tĩnh điện của nhiều ĐTĐ lên một ĐTĐ



Giả sử ta có n ĐTĐ: q_1, q_2…,q_i,…, q_n tác dụng đồng thời lên điện tích điểm q_0:

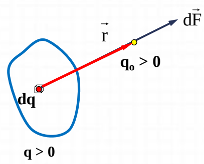
Lực tĩnh điện do ĐTĐ q_i tác dụng lên ĐTĐ q_0:

$$\vec{F}_i = \frac{q_iq_o}{4\pi\varepsilon_o r_i^3}\vec{r}_i$$

Lực tĩnh điện do hệ n ĐTĐ tác dụng lên ĐTĐ q_0:

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^{n}\vec{F}_i = \sum_{i=1}^{n}\frac{q_iq_o}{4\pi\varepsilon_o r_i^3}\vec{r}_i$$

Tương tác tĩnh điện của PBĐT lên một ĐTĐ



Để xác định lực do một PBĐT q liên tục tác dụng lên ĐTĐ q_o ta có thể chia PBĐT q thành các điện tích rất nhỏ dq sao cho có thể xem chúng là các ĐTĐ. Lực tương tác của ĐTĐ dq lên ĐTĐ q_o :

$$d\vec{F} = \frac{q_0 dq}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\vec{r}$$

$$\vec{F} = \int_{PBĐT} d\vec{F} = \int_q \frac{q_0 dq}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\vec{r}$$

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

1.3. Điện trường

A. Khái niệm điện trường

Để giải thích điều này 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. Đại lượng vật lý đặc cho điện trường là véctơ cường độ điện trường.

B. Véctơ cường độ điện trường

Điện trường gây bởi một ĐTĐ

Đặt điện tích thử q_0 trong điện trường do ĐTĐ q gây ra.

- **Lực do q tác dụng lên một điện tích thử q_o là:**

$$\vec{F} = \frac{qq_o}{4\pi\varepsilon_o r^3}\vec{r}$$

- **Xét tỉ số:**

$$\frac{\vec{F}}{q_o} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_o r^3}\vec{r} = \vec{E}$$

Tỉ số này chỉ phụ thuộc q (điện tích gây ra trường) và r nên nó chính là véctơ cường độ điện trường do ĐTĐ q gây ra tại điểm khảo sát.

Điện trường gây bởi một ĐTĐ

Điểm đặt điện tích q (gây ra trường) được gọi là điểm nguồn, điểm khảo sát điện trường do q gây ra gọi là điểm trường. Véctơ trường có điểm đặt là điểm trường.

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

$\vec{E}$ 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.

Ta nhận thấy một điện tích bất kì đặt tại điểm có cường độ điện trường $\vec{E}$ sẽ chịu một lực:

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

Điện trường do một hệ nhiều ĐTĐ gây ra

Giả sử ta có hệ gồm n ĐTĐ: $q_1, q_2 \ldots q_i, \ldots, q_n$. Tìm điện trường do hệ n ĐTĐ này gây ra tại điểm M nào đó.

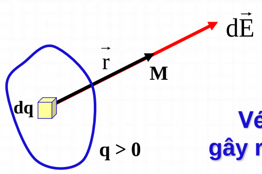
Điện trường do ĐTĐ q_i gây ra tại M:

$$\vec{E}_i = \frac{q_i}{4\pi\varepsilon_o r_i^3}\vec{r}_i$$

Suy ra điện trường do hệ n ĐTĐ gây ra tại M:

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

Điện trường gây bởi một PBĐT



✓ Chia nhỏ PBĐT thành nhiều điện tích rất nhỏ dq, sao cho có thể xem nó là các ĐTĐ.

Véctơ cường độ điện trường gây ra tại M bởi ĐTĐ dq:

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

Véctơ cường độ điện trường gây ra tại M bởi PBĐT:

$$\vec{E} = \int_{PBDT} d\vec{E} = \int_q \frac{dq}{4\pi\varepsilon_o r^3}\vec{r}$$

Điện trường gây bởi một phân bố điện tích

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

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

$$\vec{E} = \int_{PBDT} d\vec{E} = \int_{S} \frac{\sigma dS}{4\pi\varepsilon_o r^3}\vec{r}$$

$$\vec{E} = \int_{PBDT} d\vec{E} = \int_{v} \frac{\rho dv}{4\pi\varepsilon_o r^3}\vec{r}$$

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 véctơ cường độ điện trường.

❖ **Đặc điểm:**

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

Số đường sức đi qua một đơn vị diện tích vuông góc với nó bằng trị số véctơ điện trường $\vec{E}$ tại đó:

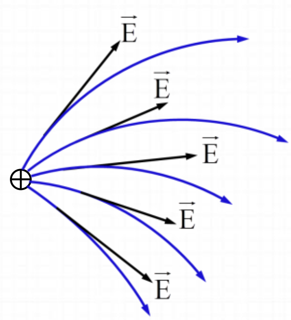
$$\frac{dN}{dS_n} = E$$

Đường sức điện trường

CHÚ Ý:

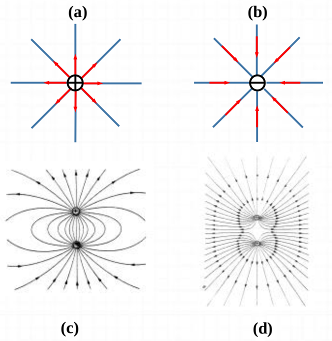
+ Các đường sức điện trường không bao giờ cắt nhau vì tại mỗi điểm véctơ cường độ điện trường chỉ có một giá trị xác định.

+ 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.



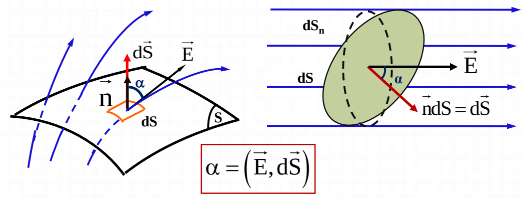
Đường sức của điện trường

Đường sức 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 (điện thông)



$\alpha = (\vec{E}, d\vec{S})$

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

$$d\Phi_e = \vec{E}.d\vec{S} = EdS\cos\alpha = EdS_n$$

Thông lượng điện trường

Vậy thông lượng điện trường qua mặt dS là một đại lượng đại số có giá trị dương hay âm phụ thuộc vào chiều véctơ $\vec{E}$ trên dS ($\vec{E}$ hướng ra ngoài mặt cong là dương, vào trong mặt cong là âm: do góc α nhỏ hay lớn hơn π/2)

$$dS_n = dS\cos\alpha \quad \Rightarrow d\Phi_e = E.dS_n$$

mà $$\frac{dN}{dS_n} = E$$

Suy ra: $d\Phi_e = dN$

Số đường sức là đại lượng dương, nên:

$$|d\Phi_e| = dN$$

Thông lượng điện trường

Thông lượng điện trường qua toàn thể mặt S là:

$$\Phi_e = \int_S \vec{E}.d\vec{S}$$

- **Thông lượng qua mặt kín S:**

$$\Phi_e = \oint_S \vec{E}.\vec{dS}$$

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

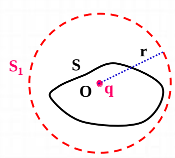
Thông lượng điện trường qua một mặt kín S bất kỳ bằng tổng đại số các điện tích chứa trong mặt kín S chia cho ε_0.

Carl Friedrich Gauss
(1777 – 1855)
(Đức)

1.4.2. Chứng minh định lý

1) Đối với điện trường tạo bởi ĐTĐ q đặt tại O

a) Xét mặt kín S bao quanh điện tích q



ĐTĐ ở trong mặt kín S

Ta thấy có bao nhiêu đường sức xuyên qua mặt S thì sẽ có bấy nhiêu đường sức xuyên qua mặt cầu tưởng tượng S_1 (có tâm O tại điểm đặt điện tích q và 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.

Vậy:

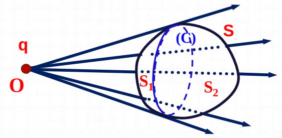
$$\Phi_e = \Phi_{e_1} = \oint_{S_1} \vec{E_1}.d\vec{S_1} = \oint_{S_1} E_1 dS_1 = E_1 \oint_{S_1} dS_1 = E_1 S_1$$
$$= \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}.4\pi r^2 = \frac{q}{\varepsilon_0}$$

Do đó: $$\Phi_e = \oint_S \vec{E}.d\vec{S} = \frac{q}{\varepsilon_0}$$

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

Giả sử q > 0, ta 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 kín 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.



ĐTĐ ở ngoài mặt kín S

$$\oint_S \vec{E}.d\vec{S} = \oint_{S_1} \vec{E_1}.d\vec{S_1} + \oint_{S_2} \vec{E_2}.d\vec{S_2}$$

$\Phi = \Phi_{e1} + \Phi_{e2}$ **với :** $\Phi_{e1} = -|\Phi_{e1}|$, $\Phi_{e2} = |\Phi_{e2}|$

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

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

Do đó: $$\oint_S \vec{E}.d\vec{S} = 0 \qquad (1.27)$$

2) Đối với điện trường tạo bởi một hệ ĐTĐ

Giả sử S là mặt kín bao quanh hệ ĐTĐ, thông lượng điện trường qua một mặt S là:

$$\oint_S \vec{E}.d\vec{S} = \oint_S (\sum_i \vec{E_i}).d\vec{S} = \sum_i \oint_S \vec{E_i}.d\vec{S}$$

mà $$\oint_S \vec{E_i}.d\vec{S} = \frac{q_i}{\varepsilon_o}$$

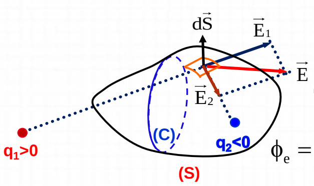
Do đó: $$\oint_S \vec{E}.d\vec{S} = \frac{1}{\varepsilon_0}\sum_i q_i$$

$\sum_i q_i$ **: tổng đại số điện tích chứa bên trong mặt kín S**

Kết hợp với (1.27) suy ra:

Thông lượng điện trường của một hệ ĐTĐ qua một mặt kín S bằng tổng đại số điện tích chứa trong S chia cho ε_0

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



Cường độ điện trường:

$$\vec{E} = \vec{E_1} + \vec{E_2}$$

Thông lượng điện trường:

$$\phi_e = \oint_S \vec{E}.d\vec{S} = \oint_S (\vec{E_1} + \vec{E_2}).d\vec{S}$$
$$= \oint_S \vec{E_1}.d\vec{S} + \oint_S \vec{E_2}.d\vec{S} = 0 + \frac{q_2}{\varepsilon_0}$$

Do đó: $$\oint_S \vec{E}.d\vec{S} = \frac{\text{Tổng đại số điện tích trong S}}{\varepsilon_0}$$

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

* **Thông lượng điện trường qua mặt kín S là:** $$\oint_S \vec{E}.d\vec{S} = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

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:**

$$Q = \int_v \rho dv \Rightarrow \oint_S \vec{E}.d\vec{S} = \frac{1}{\varepsilon_0}\int_v \rho dv$$

Đặt: $\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E}$ là vectơ cảm ứng điện.

$$\boxed{\oint_S \vec{D}.\vec{dS} = \int_v \rho dv}$$

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:

$$\boxed{\oint_S \vec{E}.\vec{dS} = \int_v \nabla.\vec{E} dv}$$

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

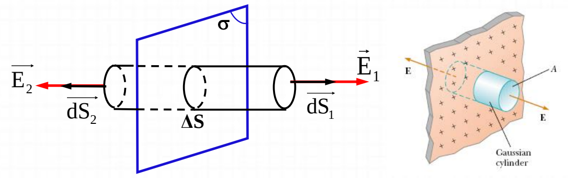
$$\oint_v \nabla.\vec{E} dv = \frac{1}{\varepsilon_0}\int_v \rho dv \Rightarrow \boxed{\nabla.\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}}$$

$$\boxed{\nabla.\vec{D} = \rho}$$

Các biểu thức bên phải 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



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

Gọi σ là mật độ điện tích trên mặt phẳng, giả sử σ > 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:

$$\boxed{\oint_S \vec{E}.\vec{dS} = \oint_{mxq} \vec{E_{xq}}.\vec{dS} + \oint_{day1} \vec{E_1}.\vec{dS_1} + \oint_{day2} \vec{E_2}.\vec{dS_2} = \frac{\oint_{\Delta S} \sigma.dS}{\varepsilon_0}}$$

Dọc theo mặt xung quanh: $\vec{E}_{xq} \perp \vec{dS}$

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

Vì mặt phẳng mang điện tích nên $E_1 = E_2$

Điện trường của mặt phẳng rộng vô hạn tích điện đều

$$\Rightarrow 2E_1.\Delta S = 2E.\Delta S = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}.\Delta S$$

$$\boxed{E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}}$$

Véctơ điện trường có phương vuông góc với mặt phẳng, có chiều hướng ra xa khỏi mặt phẳng nếu σ > 0 và chiều hướng vào mặt phẳng nếu σ < 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:

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

$$E = E_+ + E_- = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} + \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

$$\boxed{E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}}$$

- Điện trường đều, có phương vuông góc với các bản, có chiều hướng từ bản dương sang bản âm và có độ lớn $E = \sigma/\varepsilon_0$. 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.
- Kết quả này chỉ đúng nếu khoảng cách giữa hai mặt phẳng rất nhỏ so với kích thước phẳng của nó. 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 mặt 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 ≥ R:

$$\oint_S \vec{E}.\vec{dS} = \frac{q}{\varepsilon_0}$$

$$\Rightarrow E.4\pi r^2 = \frac{q}{\varepsilon_0}$$

$$\boxed{E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}} \quad \text{Với } r \geq R$$

$$E = 0 \quad \text{Với } r < R$$

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 mặt 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: q = ρ 4πr³/3.

$$\boxed{E.4\pi r^2 = \frac{\rho}{\varepsilon_0}.\frac{4}{3}.\pi r^3}$$

Suy ra:

$$\boxed{E = \frac{qr}{4\pi\varepsilon_0 R^3}}$$

Với: r ≤ R

5) Điện trường của mặt trụ đều

Xét mặt trụ rất dài, bán kính R, chiều cao H >> R, mang điện tích phân bố đều với mật độ điện mặt σ > 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: $\vec{E} \perp \vec{dS}$ nên thông lượng điện trường qua hai mặt đáy bằng không.

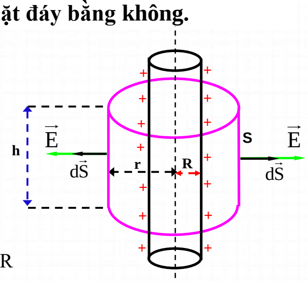
$$\oint_{mxq} \vec{E}.\vec{dS} = \frac{1}{\varepsilon_0}.2\sigma\pi Rh$$

$$E.2\pi rh = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}.2\pi Rh$$

$$E = \frac{\sigma R}{\varepsilon_0 r}$$

$$\boxed{E = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0 Hr}} \quad \text{với } r > R$$

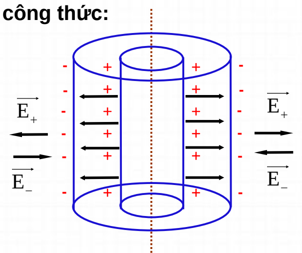
$$\boxed{E = 0} \quad \text{với } r < R$$



Điện trường của một mặt trụ

Điện trường của mặt trụ đều

$\vec{E}$ tạo bởi hai mặt trụ mang điện tích –q và +q tập trung trong khoảng giữa hai mặt trụ, có phương hướng theo bán kính, chiều từ bản dương sang bản âm. Điện trường giữa hai mặt trụ được tính theo công thức:



$$\boxed{E = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0 Hr}}$$

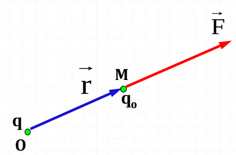
Điện trường của hai mặt trụ

1.5. ĐIỆN THẾ

Tính chất thế của trường tĩnh điện

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

$$\boxed{\vec{F} = \frac{qq_0\vec{r}}{4\pi\varepsilon_0 r^3}}$$

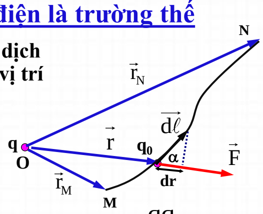


Trong đó $\vec{r}$ là vectơ vị trí của q_0 > 0 đối với gốc tọa độ q > 0, là véc tơ hướng từ q đến q_0

Chứng minh trường tĩnh điện là trường thế

Công của lực tĩnh điện $\vec{F}$ để dịch chuyển điện tích q_o (q_o, q > 0) từ vị trí M đến vị trí N:

$$A_{MN} = \int_M^N \vec{F}.d\vec{\ell}$$



Theo hình ta thấy rằng:

$$\vec{F}.d\vec{\ell} = \frac{qq_0}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\vec{r}.d\vec{\ell} = \frac{qq_0}{4\pi\varepsilon_0 r^3} r d\ell\cos\alpha = \frac{qq_0}{4\pi\varepsilon_0 r^2}dr$$

$$\boxed{A_{MN} = \int_M^N \frac{qq_0}{4\pi\varepsilon_0 r^2}dr = \frac{qq_0}{4\pi\varepsilon_0}\int_M^N \frac{dr}{r^2} = \frac{qq_0}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_M} - \frac{1}{r_N}\right)} \quad (1.37)$$

Ta thấy rằng công của lực tĩnh điện không phụ thuộc vào đường đi, chỉ phụ thuộc vị trí đầu và vị trí cuối.

Kết luận: **Trường tĩnh điện là trường thế**

Trường hợp đường cong dịch chuyển là đường cong kín C. Công của lực tĩnh điện:

$$\boxed{A = \oint_C \vec{F}.d\vec{\ell} = \oint_C q_o\vec{E}.d\vec{\ell} = 0}$$

$\oint_C \vec{E}.d\vec{\ell}$ được gọi là lưu số của của véc tơ cường độ điện trường dọc theo một đường cong kín C. Tương tự:

$$\int_M^N \vec{E}.d\vec{\ell}$$

được gọi là lưu số của của véc tơ cường độ điện trường từ M tới N

Thế năng của điện tích trong điện trường

Trong cơ học, công của lực tác dụng lên vật trong trường lực thế bằng độ giảm thế năng. Tương tự, điện trường là một trường thế nên công của lực tĩnh điện trong sự dịch chuyển điện tích q_o trong điện trường cũng bằng độ giảm thế năng W của điện tích đó trong điện trường.

$$A_{MN} = \int_M^N dA = \int_M^N q_o\vec{E}.d\vec{\ell} = W_M - W_N$$

So sánh với (1.37), ta thu được biểu thức thế năng của q_o trong điện trường của điện tích điểm q:

$$W_M - W_N = \frac{q_o q}{4\pi\varepsilon_o r_M} - \frac{q_o q}{4\pi\varepsilon_o r_N}$$

Thế năng của điện tích trong điện trường

Suy ra suy ra biểu thức thế năng của điện tích điểm q_o đặt trong điện trường của điện tích điểm q và cách điện tích này một đoạn r bằng:

$$\boxed{W = \frac{qq_0}{4\pi\varepsilon_0 r} + C}$$

-Nếu quy ước thế năng của q_o ở rất xa q (r=∞) bằng 0, thì thế năng của điện tích q_o là:

$$\boxed{W = \frac{qq_0}{4\pi\varepsilon_0 r}}$$

Thế năng của điện tích trong điện trường

Tương tự, ta có:

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

$$\boxed{W = \frac{q_0}{4\pi\varepsilon_0}\left(\sum_{i=1}^{n}\frac{q_i}{r_i}\right)}$$

r_i :khoảng cách từ q_i đến q_o

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

$$\boxed{W_M = \int_M^\infty q_0\vec{E}.d\vec{\ell}}$$

---

3) Điện thế

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

Ta định nghĩa tỉ số: $\boxed{\frac{W}{q_0} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r} = V}$

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:**

$$V = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r} + \text{const}$$

Nếu quy ước V(r = ∞) = 0 thì const = 0.

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

$$V = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

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

$$V = \sum_{i=1}^{n} \frac{q_i}{4\pi\varepsilon_0 r_i}$$

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

$$V_M = \int_M^{\infty} \vec{E}.d\vec{\ell}$$

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:

$$V = \int dv = \int_Q \frac{dq}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

HIỆU ĐIỆN THẾ

- **HĐT giữa hai điểm M và N được kí hiệu:**

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

Hay:

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

- **HĐT giữa hai điểm M và N trong điện trường được tính:**

$$U_{MN} = \int_M^N \vec{E}.d\vec{\ell}$$

❖ Chú ý

- $\int_M^N \vec{E}.d\vec{\ell}$ **: là lưu số của điện trường $\vec{E}$ từ M đến N.**
- **Điện thế V là hàm vô hướng theo biến vectơ $\vec{r}$:**

$$V(\vec{r}) = V(x, y, z)$$

- **V đặc trưng cho điện trường về phương diện năng lượng.**
- **Điện trường $\vec{E}$ là hàm vectơ theo biến vectơ $\vec{r}$**
- $\vec{E}(\vec{r}) = \vec{E}(x, y, z)$**, 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

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

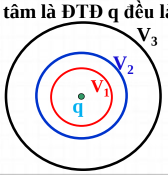
Phương trình của mặt đẳng thế:

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

Trong điện trường gây bởi ĐTĐ q thì hàm điện thế V là:

$$V = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

Mọi mặt cầu có tâm là ĐTĐ q đều là mặt đẳng thế



Mặt đẳng thế

Các tính chất của mặt đẳng thế

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

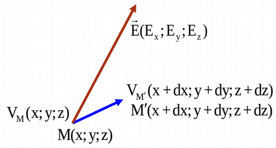
1.6. LIÊN HỆ GIỮA ĐIỆN TRƯỜNG VÀ ĐIỆN THẾ

Gọi V và $\vec{E}$ là điện thế và điện trường tại M(x,y,z)

Tại M'(x+dx, y+dy, z+dz) rất gần M, khi đó:

$$\vec{E} = \vec{i}E_x + \vec{j}E_y + \vec{k}E_z$$

$$d\vec{\ell} = \overrightarrow{MM'} = \vec{i}dx + \vec{j}dy + \vec{k}dz$$



Lưu số điện trường $\vec{E}$ từ M đến M' :

$$\vec{E}.d\vec{\ell} = \vec{E}.\overrightarrow{MM'} = E_x dx + E_y dy + E_z dz$$

Hiệu điện thế giữa hai điểm M và M':

$$V_M - V_{M'} = -dV = -\left(\frac{\partial V}{\partial x}dx + \frac{\partial V}{\partial y}dy + \frac{\partial V}{\partial z}dz\right)$$

1.6. LIÊN HỆ GIỮA ĐIỆN TRƯỜNG VÀ ĐIỆN THẾ

Vì:

$$\int_M^{M'} \vec{E}.d\vec{\ell} = \vec{E}.d\vec{\ell} = \vec{E}.\overrightarrow{MM'} = V_M - V_{M'} = -dV$$

Nên:

$$E_x dx + E_y dy + E_z dz = -\left(\frac{\partial V}{\partial x}dx + \frac{\partial V}{\partial y}dy + \frac{\partial V}{\partial z}dz\right)$$

Hay dưới dạng véctơ:

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

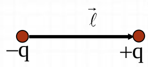
Trong hệ tọa độ Descartes, ∇ được định nghĩa:

$$\nabla = \vec{i}\frac{\partial}{\partial x} + \vec{j}\frac{\partial}{\partial y} + \vec{k}\frac{\partial}{\partial z}$$

1.7. LƯỠNG 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.



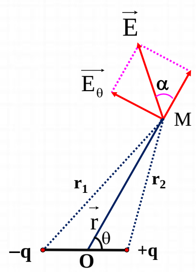
Lưỡng cực điện

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

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

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

1) Điện thế và điện trường của lưỡng cực



Xác định điện thế và điện trường của lưỡng cực điện

Điện thế và điện trường của lưỡng cực

- **Điện thế V gây bởi lưỡng cực tại M:**

$$V = \frac{-q}{4\pi\varepsilon_0 r_1} + \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r_2} = \frac{q(r_1 - r_2)}{4\pi\varepsilon_0 r_1 r_2}$$

Vì l rất nhỏ so với r_1 và r_2 nên:

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

$$r_1 r_2 \approx r^2$$

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

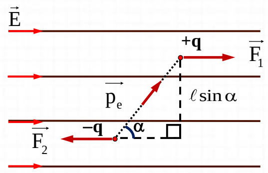
$$V(r,\theta) = \frac{q\ell\cos\theta}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{p_e\cos\theta}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{\vec{p}_e\vec{r}}{4\pi\varepsilon_0 r^3}$$

Điện thế và điện trường của lưỡng cực

- **Trong hệ toạ độ cực:** $\vec{E}(r,\theta) = -\nabla V(r,\theta)$
- **E_r theo phương của r :** $E_r = -\frac{\partial V}{\partial r} = \frac{2p_e\cos\theta}{4\pi\varepsilon_0 r^3}$
- **E_θ theo phương vuông góc với r:** $E_\theta = -\frac{\partial V}{r\partial\theta} = \frac{p_e\sin\theta}{4\pi\varepsilon_0 r^3}$
- **Vậy :** $E = \sqrt{E_r^2 + E_\theta^2} = \frac{p_e}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\sqrt{3\cos^2\theta + 1}$

và hợp với r một góc: $tg\alpha = \frac{E_\theta}{E_r} = \frac{1}{2}tg\theta$

2) Tác dụng của điện trường lên lưỡng cực điện



Lưỡng cực điện
trong điện trường ngoài

Tác dụng của điện trường lên lưỡng cực điện

❖ Các điện tích +q và –q sẽ chịu tác dụng của các lực:

$$\vec{F}_1 = q\vec{E}$$

$$\vec{F}_2 = -q\vec{E}$$

❖ Hai lực này tạo thành ngẫu lực có cánh tay đòn lsinα nên có mômen ngẫu lực:

$$\boxed{\vec{M} = \vec{\ell} \times \vec{F}_1 = \vec{\ell} \times q\vec{E} = q\vec{\ell} \times \vec{E} = \vec{p}_e \times \vec{E}}$$

❖ Mômen ngẫu lực có độ lớn:

$$\boxed{M = qE\ell \sin\alpha}$$

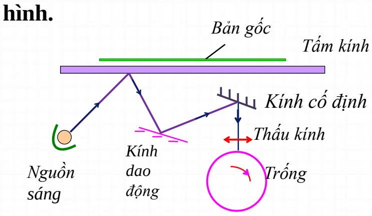
1.8. CÁC ỨNG DỤNG TRONG KỸ THUẬT VÀ ĐỜI SỐNG

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 va 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

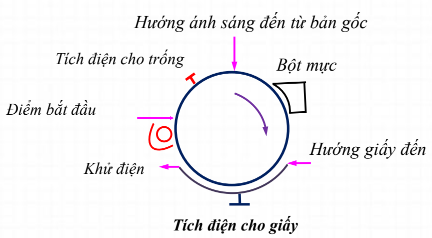
Máy photocopy chế tạo dựa trên hiện tượng tĩnh điện, thực hiện theo nhiều bước của phương pháp Xerography (sự tái tạo hình ảnh), sơ đồ máy photocopy vẽ trên hình.



Sơ đồ máy photocoppy

Nguyên tắc hoạt động

- Trước hết tích điện cho trống



Sơ đồ làm việc của trống trong máy photocopy