



Chương 6: Trường tĩnh điện


Chu Tiến Dũng




Bộ môn Vật lý – Khoa Khoa học Cơ bản – Trường Đại học Giao thông Vận tải

Nội dung ôn lý thuyết



- 
1. Véc tơ cường độ điện trường \vec{E} : viết biểu thức định nghĩa, giải thích các ký hiệu, ý nghĩa, đơn vị đo.
 2. Điện thế V : viết biểu thức định nghĩa, giải thích các ký hiệu, ý nghĩa, đơn vị đo
 3. Định nghĩa véc tơ cường độ điện trường \vec{E} . Viết biểu thức tính \vec{E} gây bởi một điện tích điểm, giải thích các ký hiệu
 4. Viết biểu thức định lí O-G đối với điện trường và giải thích các ký hiệu. Viết biểu thức tính \vec{E} gây bởi một mặt cầu bán kính R mang điện Q phân bố đều. Viết biểu thức tính \vec{E} gây bởi một mặt phẳng vô hạn tích điện đều với mật độ điện mặt σ .

Nội dung ôn lý thuyết




5. Viết biểu thức công của lực tĩnh điện khi làm di chuyển một điện tích điểm q trong điện trường của một điện tích điểm Q , giải thích các ký hiệu. Tính chất thế của trường tĩnh điện.



6. Viết biểu thức định nghĩa điện thế và hiệu điện thế, giải thích các ký hiệu



7. Viết biểu thức liên hệ dạng tích phân giữa \vec{E} và V , giữa \vec{E} và U .



8. Viết biểu thức năng lượng của một hệ điện tích điểm, của một vật dẫn tích điện và của một tụ điện tích điện. Giải thích các ký hiệu.



9. Trạng thái cân bằng tĩnh điện của vật dẫn: định nghĩa, điều kiện, các tính chất

Nội dung ôn bài tập



 **Câu 1.** Một mặt cầu kim loại bán kính R đặt trong chân không. Tính lượng điện tích mà mặt cầu tích được khi:


a) Điện thế của quả cầu là V_1 .

b) Điện thế tại một điểm cách mặt cầu d (cm) là V_2 .

c) Tính năng lượng điện trường bên trong và bên ngoài mặt cầu trong trường hợp câu a

 **Câu 2.** Tại hai đỉnh A, B của một **tam giác đều cạnh a** có đặt hai điện tích điểm q_1, q_2 . Xác định cường độ điện trường và điện thế tại đỉnh C. Cho ϵ .

 **Câu 3.** Tại hai đỉnh C, D của **hình vuông ABCD cạnh a** có đặt hai điện tích điểm q_1 và q_2 . Tính điện thế và cường độ điện trường tại đỉnh B. Cho ϵ


 **Câu 4.** Một mặt phẳng vô hạn tích điện đều, đặt thẳng đứng. Một quả cầu nhỏ khối lượng m , tích điện Q treo ở đầu một sợi dây mảnh (bỏ qua khối lượng sợi dây) đầu trên của dây gắn vào một điểm trên mặt phẳng, thấy rằng khi cân bằng sợi dây treo bị lệch góc α so với phương thẳng đứng.


a) Tìm mật độ điện mặt của mặt phẳng trên.


b) Nếu muốn góc lệch là β thì điện tích của quả cầu phải bằng bao nhiêu


Nội dung ôn bài tập



 **Câu 5.** Một vòng tròn làm bằng dây dẫn mảnh, bán kính R mang điện q phân bố đều trên dây. Dùng nguyên lý chồng chất hãy xác định cường độ điện trường và điện thế tại một điểm M trên trục vòng dây, cách tâm O một đoạn h

 **Câu 6.** Một sợi dây dẫn mảnh uốn thành hình nửa vòng tròn bán kính R mang điện Q phân bố đều trên dây. Đặt điện tích điểm q tại tâm O của nửa vòng dây thì thấy q bị Q hút một lực F . Tìm công thức tính Q qua q và F

 **Câu 7.** Một quả cầu kim loại bán kính R , tâm O, giả sử mang điện Q . Dùng định lý O-G, tìm biểu thức tính cường độ điện trường tại hai điểm M và N với $OM = r_M < R$ và $ON = r_N > R$

 **Câu 8.** Một tụ điện phẳng chứa điện môi có ϵ , có điện dung C , diện tích mỗi bản là S . Một điện tích điểm q nằm trong lòng tụ chịu tác dụng của lực điện trường F . Xác định:

- a) Hiệu điện thế giữa hai bản tụ.
- b) Mật độ năng lượng điện trường trong lòng tụ.
- c) Lực tương tác giữa hai bản tụ.

§1. Những khái niệm mở đầu



1. Điện tích $q[C]$

- một số vật khi đem cọ xát vào len, dạ, lông thú... sẽ có *khả năng hút các vật* nhẹ => vật đã *bị nhiễm điện* hay trên vật đã *có điện tích*
- Trong tự nhiên: - điện tích *dương* (+q) hay ($q > 0$)
- điện tích *âm* (-q) hay ($q < 0$)
- Điện tích trên một vật bất kỳ có cấu tạo gián đoạn và bằng một số nguyên lần điện tích nguyên tố e
$$e = q_e = 1,6 \cdot 10^{-19}(C)$$
- prôtôn (p) và electron (e) là những hạt mang 1 điện tích nguyên tố với: * prôtôn = +e và $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}(kg)$
* electron = -e và $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}(kg)$

2. Cấu tạo nguyên tử

- Nguyên tử trung hòa về điện hay không mang điện): khi tổng đại số các điện tích trong một nguyên tử bằng 0 (*hay số p và số e trong một nguyên tử bằng nhau (=Z)*)
- Ion dương: khi nguyên tử *mất đi một hay nhiều electron*, nó sẽ trở thành một phần tử *mang điện tích dương*
- Ion âm: khi nguyên tử *nhận thêm một hay nhiều electron*, nó sẽ trở thành một phần tử *mang điện tích âm*
- Độ lớn điện tích trên một vật bất kỳ: $q = \pm n \cdot e$ với n: số electron đã mất đi hay nhận thêm vào và e: điện tích nguyên tố

§2. Định luật Coulomb (1785)

❖ **Giới hạn:** là định luật thực nghiệm, xác định lực tương tác tĩnh điện giữa các điện tích điểm đứng yên

- **Điện tích điểm $q[C]$:** là một vật mang điện có kích thước nhỏ không đáng kể so với khoảng cách từ điện tích đó tới những điểm hoặc những vật mang điện tích khác mà ta đang khảo sát



1736-1806

1. Định luật Coulomb trong chân không

- **dưới dạng độ lớn:**
$$F_{12} = F_{21} = k \cdot \frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2} \quad (6-1)$$

trong đó: F_{12} - lực tác dụng của điện tích điểm q_1 lên điện tích điểm q_2 [N]

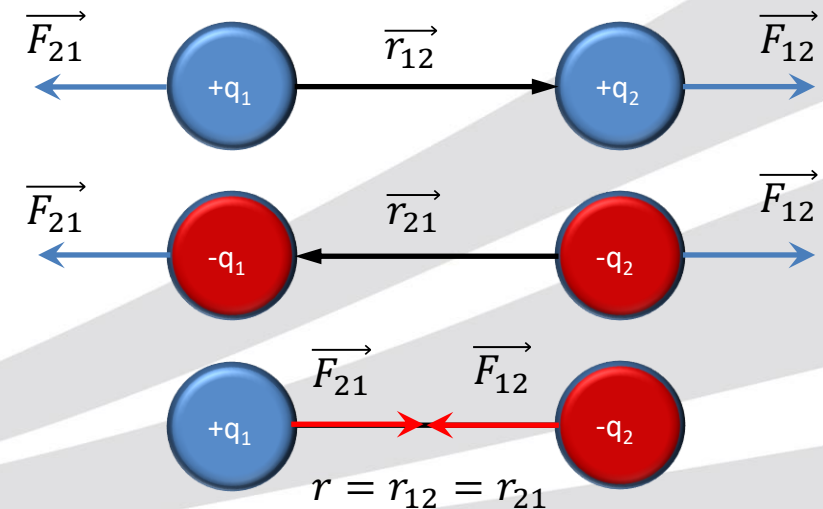
F_{21} - lực tác dụng của điện tích điểm q_2 lên điện tích điểm q_1 [N]

$r = r_{12} = r_{21}$ - khoảng cách giữa 2 điện tích điểm [m]

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \left(\frac{N \cdot m^2}{C^2} \right) \text{ với } \epsilon_0 = 8,846 \cdot 10^{-12} \left(\frac{C^2}{N \cdot m^2} \right)$$

Do đó: (6-1) thành
$$F_{12} = F_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2} \quad (6-2)$$

“Lực tương tác giữa hai điện tích điểm có phương nằm trên đường thẳng nối hai điện tích, có chiều phụ thuộc vào dấu các điện tích (điện tích cùng dấu đẩy nhau, điện tích trái dấu hút nhau), có độ lớn tỉ lệ với tích độ lớn của hai điện tích và tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa hai điện tích



§2. Định luật Coulomb (1785)

- dưới dạng vector:
$$\vec{F}_{12} = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}_{12}}{r} \quad (6-3)$$

$$\vec{F}_{21} = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}_{21}}{r} \quad (6-4)$$

❖ Nhận xét:

- Nếu $(q_1 \cdot q_2) > 0$ thì \vec{F}_{12} cùng phương cùng chiều với \vec{r}_{12} , \vec{F}_{21} cùng phương cùng chiều với \vec{r}_{21}
- Nếu $(q_1 \cdot q_2) < 0$ thì \vec{F}_{12} cùng phương ngược chiều với \vec{r}_{12} , \vec{F}_{21} cùng phương ngược chiều với \vec{r}_{21}
- Về độ lớn của hai lực: \vec{F}_{12} và \vec{F}_{21} bằng nhau và bằng biểu thức (6-1) hoặc (6-2)

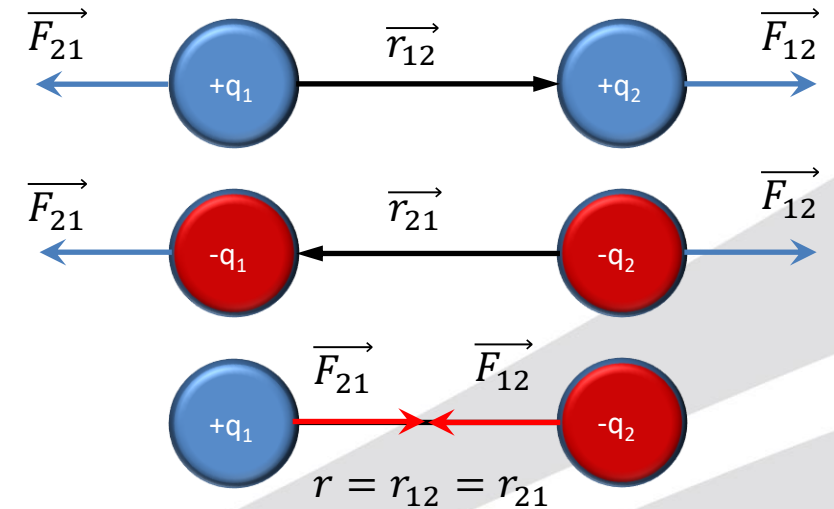
2. Định luật Coulomb trong các môi trường

- dưới dạng vector:
$$\vec{F}_{12} = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{\epsilon r^2} \cdot \frac{\vec{r}_{12}}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{\epsilon r^2} \cdot \frac{\vec{r}_{12}}{r} \quad (6-5)$$

$$\vec{F}_{21} = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{\epsilon r^2} \cdot \frac{\vec{r}_{21}}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{\epsilon r^2} \cdot \frac{\vec{r}_{21}}{r} \quad (6-6)$$

❖ Nhận xét:

Thực nghiệm chứng tỏ lực tương tác giữa các điện tích điểm đặt trong môi trường giảm đi ϵ lần so với lực tương tác giữa chúng đặt trong chân không



- ϵ – hằng số điện môi của môi trường (độ điện môi tỷ đối)
- $\epsilon_0 = 8,846 \cdot 10^{-12} \left(\frac{C^2}{N \cdot m^2} \right)$ – hằng số điện môi

§2. Định luật Coulomb (1785)

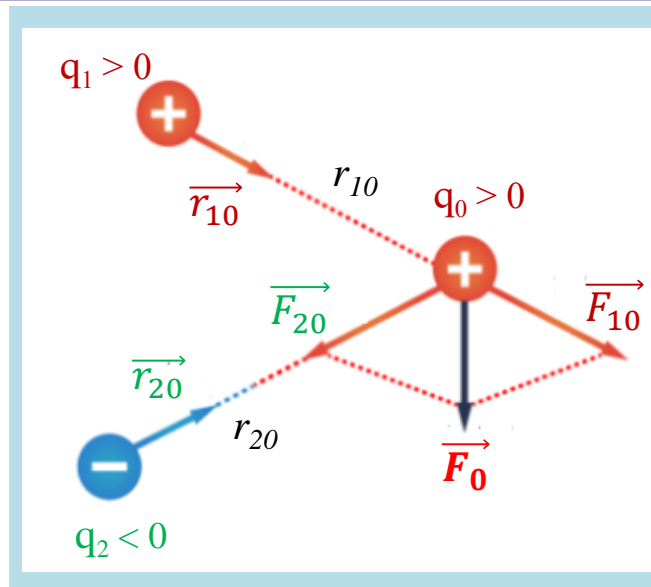
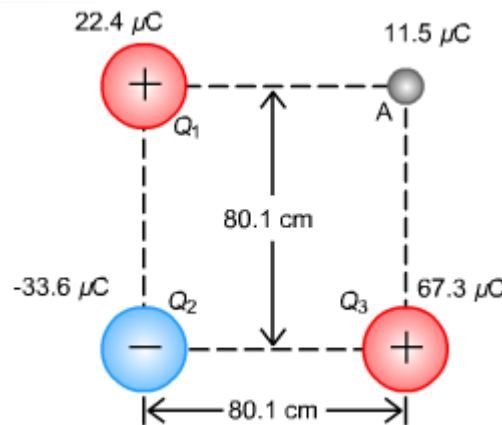


➤ Lưu ý

- **Hệ điện tích điểm** q_1, q_2, \dots, q_n được phân bố gián đoạn trong không gian và một điện tích điểm q_0 đặt trong không gian đó.

$$\vec{F}_0 = \sum_i \vec{F}_{i0} = \vec{F}_{10} + \vec{F}_{20} + \dots + \vec{F}_{n0}$$

- Ex: Pictured on the right are three point charges $q_1 = 22,4(\mu C)$, $q_2 = -33,6(\mu C)$, and $q_3 = 67,3(\mu C)$ arranged according to the figure on the right. A fourth point charge is located at point A with a charge of $q_A = 11,5(\mu C)$. Calculate the net force on the charge at point A?



- **Vật mang điện** (Hệ điện tích điểm q_1, q_2, \dots, q_n được phân bố liên tục) trong không gian và một điện tích điểm q_0 đặt trong không gian đó.

Cách làm: Chia vật mang điện thành các phần tử mang điện vô cùng nhỏ có độ lớn điện tích dq

- Khi đó, lực tương tác tĩnh điện của 1 phần tử dq lên q_0 là $d\vec{F}_0$
- Vậy, cả vật mang điện tác dụng lực tương tác tĩnh điện lên q_0 là: $\vec{F}_0 = \int_{\text{toàn vật}} d\vec{F}_0$

§3. Điện trường – Vector cường độ điện trường

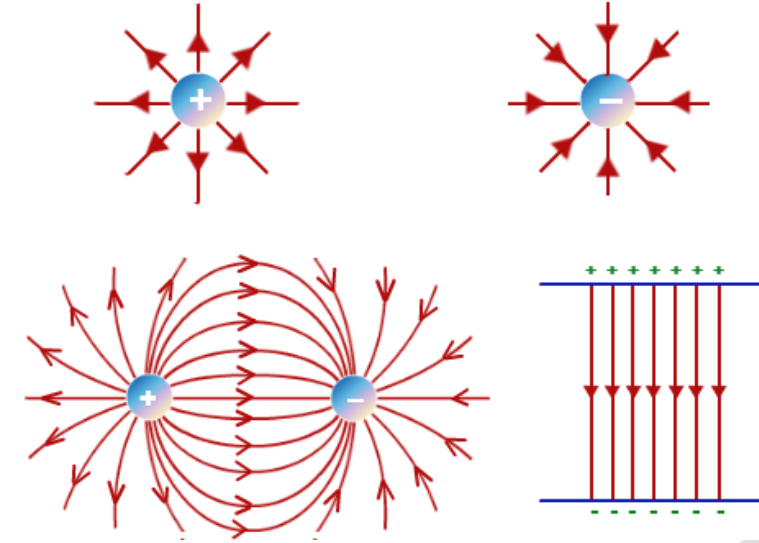
1. Khái niệm điện trường

- Hai điện tích điểm bất kỳ q_1 và q_2 đặt cách nhau một khoảng r xác định \Rightarrow tồn tại lực tương tác tĩnh điện (theo định luật Coulomb)

- Thuyết tác dụng gần: trong không gian bao quanh mỗi điện tích có xuất hiện một « dạng đặc biệt của vật chất », gọi là điện trường. Nhờ dạng vật chất này, lực tương tác tĩnh điện được truyền dẫn từ điện tích này tới điện tích kia, nghĩa là truyền với vận tốc hữu hạn.

➤ **Khái niệm**: Điện trường là « dạng vật chất đặc biệt » (khoảng không gian) tồn tại xung quanh mỗi vật mang điện (hay điện tích điểm)

➤ **Đặc điểm**: Bất kỳ một vật mang điện (hay điện tích điểm) nào khác nằm trong khoảng không gian đó thì đều chịu tác dụng của lực điện do điện trường đó đặt lên.



§3. Điện trường – Vector cường độ điện trường



2. Vector cường độ điện trường \vec{E} [V/m]

- Giả sử có một điện tích thử q_0 ($q_0 \ll$) đặt tại một điểm M nào đó trong điện trường $\Rightarrow q_0$ sẽ bị điện trường tác dụng một lực \vec{F}

➤ **Công thức:** tại một điểm bất kỳ trong điện trường: $\vec{E}_M = \frac{\vec{F}q_0}{q_0}$ (6-7)

➤ **Phát biểu:** Vector cường độ điện trường tại một điểm bất kỳ là đại lượng vật lý có giá trị bằng tỷ số giữa vector lực điện tác dụng của điện trường lên một điện tích điểm đặt tại điểm đó và giá trị độ lớn (điện lượng) của điện tích đó

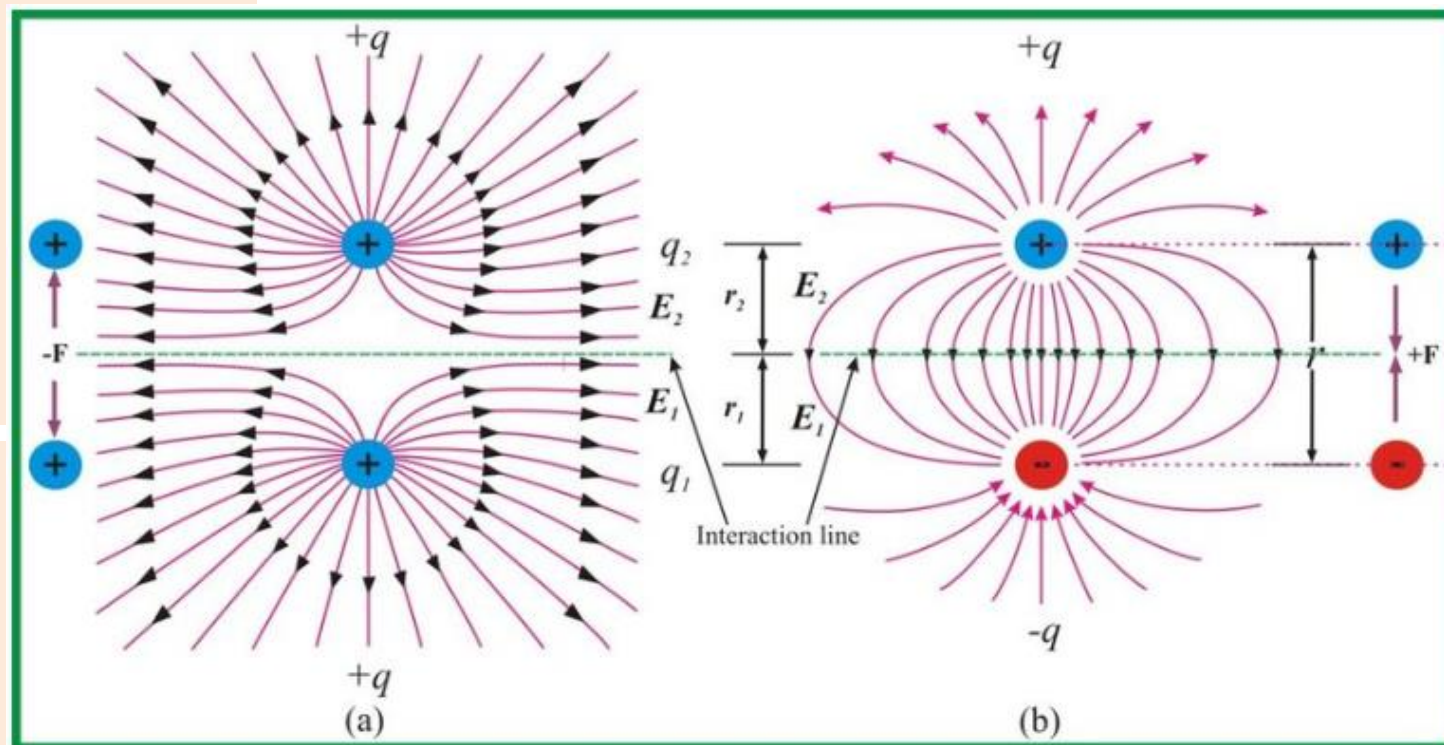
➤ + **Nếu $q_0 = +1(C)$ thì $\vec{E}_M = \vec{F}$**

➤ **Ý nghĩa:** + \vec{E} đặc trưng cho điện trường về mặt tác dụng lực tại điểm đang xét

➤ **Nhận xét:** $E_M = \left| \frac{F}{q_0} \right|$

• Nếu $q_0 > 0$, \vec{E} cùng phương, cùng chiều với \vec{F} .

• Nếu $q_0 < 0$, \vec{E} cùng phương, ngược chiều với \vec{F}



§3. Điện trường – Vector cường độ điện trường

a) Vector cường độ điện trường **gây ra bởi một điện tích điểm q**

- Giả sử, có một điện tích điểm q bất kỳ \Rightarrow tồn tại xung quanh q có một điện trường.
- Trường hợp, tại một điểm M nằm trong điện trường đó, cách điện tích điểm q một khoảng r xác định, có đặt 1 điện tích thử q_0 ($q_0 \ll$).

➤ **Khi đó:** theo định luật Coulomb, lực điện của q lên q_0 (đặt tại điểm M) là

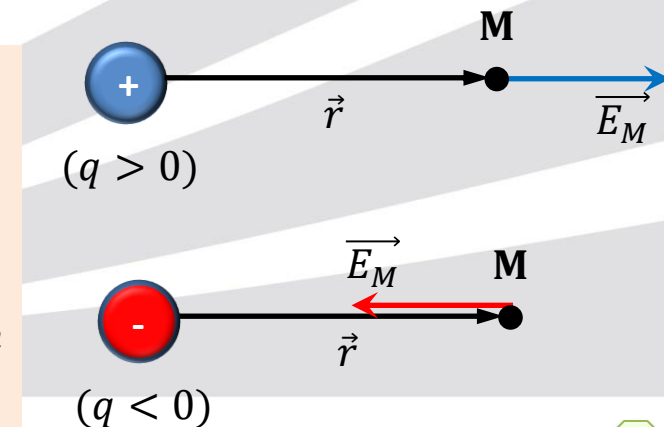
$$\overrightarrow{F_{q q_0}} = \vec{F} = k \cdot \frac{q \cdot q_0}{\epsilon r^2} \cdot \frac{\overrightarrow{r_{q q_0}}}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q \cdot q_0}{\epsilon r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r} \quad (*) \text{ với } \vec{r}: \text{ bán kính vector hướng từ } q \text{ đến điểm } M$$

Mà
$$\overrightarrow{E_M} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (**)$$

\Rightarrow từ (*) và (**) ta được:
$$\overrightarrow{E_M} = k \cdot \frac{q}{\epsilon r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{\epsilon r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r} \quad (6-8)$$

➤ **Nhận xét:**

- Nếu $q > 0$, $\overrightarrow{E_M}$ cùng phương, cùng chiều với bán kính vector \vec{r} (hay $\overrightarrow{E_M}$ hướng ra xa điện tích q)
- Nếu $q < 0$, $\overrightarrow{E_M}$ cùng phương, ngược chiều với bán kính vector \vec{r} (hay $\overrightarrow{E_M}$ hướng vào điện tích q)
- Về mặt độ lớn: $E = k \cdot \frac{|q|}{\epsilon r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|q|}{\epsilon r^2} > 0 \quad (6-9)$ với q: điện lượng của điện tích điểm gây ra điện trường



§3. Điện trường – Vector cường độ điện trường

b) Nguyên lý chồng chất điện trường

❖ Vector cường độ điện trường **gây ra bởi một hệ điện tích điểm $[q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n]$ phân bố gián đoạn**

➤ Khi đó:
$$\vec{E}_M = \sum_{i=1}^n \vec{E}_{iM} = \vec{E}_{1M} + \vec{E}_{2M} + \dots + \vec{E}_{nM}$$

➤ Nguyên lý chồng chất điện trường: Vector cường độ điện trường gây ra bởi hệ điện tích điểm tại 1 điểm M bất kỳ trong điện trường bằng tổng các vector cường độ điện trường gây ra bởi từng điện tích điểm của hệ tại điểm M đó

❖ Vector cường độ điện trường **gây ra bởi một hệ điện tích điểm $[q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n]$ phân bố liên tục** (vật mang điện có kích thước bất kỳ)

➤ Cách làm:

- Chia vật mang điện thành nhiều phần nhỏ sao cho điện tích dq mang trên mỗi phần đó có thể coi là điện tích điểm.

Khi đó:
$$d\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{dq}{\epsilon \cdot r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$$

- Vậy, vector cường độ điện trường do vật mang điện gây ra tại M là:

$$\vec{E} = \int_{\text{toàn bộ vật}} d\vec{E} = \int_{\text{toàn bộ vật}} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{dq}{\epsilon \cdot r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$$

§3. Điện trường – Vector cường độ điện trường



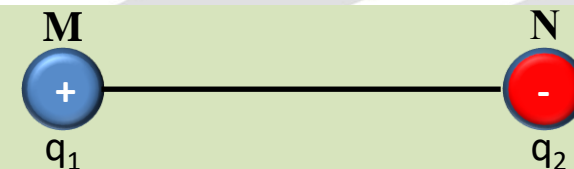
c) Luyện tập

❖ Vector cường độ điện trường **gây ra bởi một hệ điện tích điểm $[q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n]$ phân bố gián đoạn**

➤ Cách làm:

1. Áp dụng nguyên lý chồng chất điện trường: $\vec{E}_M = \sum_{i=1}^n \vec{E}_{iM} = \vec{E}_{1M} + \vec{E}_{2M} + \dots + \vec{E}_{nM}$
2. Tính độ lớn các vector cường độ điện trường thành phần \vec{E}_i : $E_{1M} = k \frac{|q_1|}{\epsilon \cdot r_{1M}^2}$
3. Phân tích chiều của các vector cường độ điện trường \vec{E} trên hình vẽ
4. Giải phương trình độ lớn (chú ý nếu áp dụng định lý hàm cosin trong tam giác đối với độ lớn vector tổng hợp \vec{E} từ các vector thành phần \vec{E}_i)

VD₁: Cho hai điện tích điểm $q_1 = q$ và $q_2 = -2q$ (giả sử $q > 0$) lần lượt đặt tại 2 điểm M và N trong không khí, cách nhau khoảng $MN = r = 10$ (cm). Tìm trên đường thẳng đi qua M và N điểm có vector cường độ điện trường tổng hợp bằng 0?



VD₂: Cho hai điện tích điểm $q_1 = 8 \cdot 10^{-8}$ (C); $q_2 = 3 \cdot 10^{-8}$ (C) đặt trong không khí lần lượt tại 2 điểm M và N, có $MN = 10$ (cm). Tính cường độ điện trường tại A và B? biết: $MA = 9$ (cm), $NA = 7$ (cm), $MB = 4$ (cm), $NB = 6$ (cm)

§3. Điện trường – Vector cường độ điện trường



c) Luyện tập

❖ Vector cường độ điện trường gây ra bởi một hệ điện tích điểm $[q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n]$ phân bố gián đoạn

➤ Cách làm:

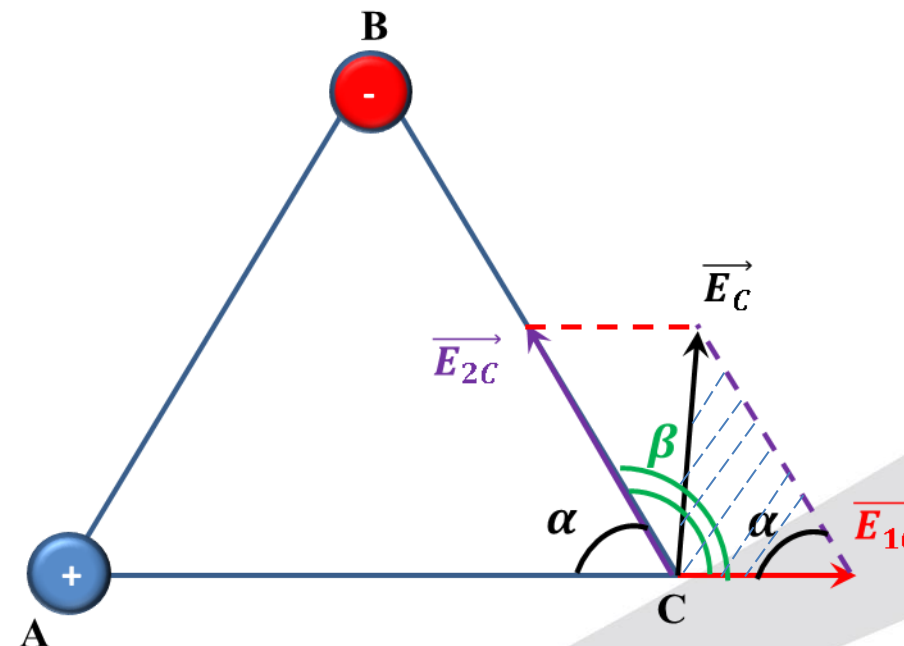
1. Áp dụng nguyên lý chồng chất điện trường:

$$\vec{E}_M = \sum_{i=1}^n \vec{E}_{iM} = \vec{E}_{1M} + \vec{E}_{2M} + \dots + \vec{E}_{nM}$$

2. Tính độ lớn các vector cường độ điện trường thành phần \vec{E}_i

3. Phân tích chiều của các vector cường độ điện trường \vec{E} trên hình vẽ

4. Giải phương trình độ lớn (chú ý nếu áp dụng **định lý hàm cosin trong tam giác đối với độ lớn vector tổng hợp \vec{E}** từ các vector thành phần \vec{E}_i)



$$E_C = \sqrt{E_{1C}^2 + E_{2C}^2 - 2E_{1C} \cdot E_{2C} \cdot \cos \alpha} \quad \text{với } \alpha = 60^\circ$$

$$\text{hoặc: } E_C = \sqrt{E_{1C}^2 + E_{2C}^2 + 2E_{1C} \cdot E_{2C} \cdot \cos \beta} \quad \text{với } \beta = 120^\circ$$

Với $\beta (\vec{E}_{1C}, \vec{E}_{2C})$

§3. Điện trường – Vector cường độ điện trường

❖ Vector cường độ điện trường **gây ra bởi một hệ điện tích điểm $[q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n]$ phân bố liên tục** (vật mang điện có kích thước bất kỳ)

➤ Cách làm:

• Chia vật mang điện thành nhiều phần nhỏ sao cho điện tích dq mang trên mỗi phần đó có thể coi là điện tích điểm: $\overrightarrow{dE} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{dq}{\epsilon \cdot r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$

• Vậy, vector cường độ điện trường do vật mang điện gây ra tại M là: $\vec{E} = \int_{\text{toàn bộ vật}} \overrightarrow{dE} = \int_{\text{toàn bộ vật}} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{dq}{\epsilon \cdot r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$

➤ **Nếu vật mang điện là một dây (C) tích điện**, khi đó điện tích trên một **phần tử chiều dài dl** của dây là: **$dq = \lambda \cdot dl$** (với $\lambda = \frac{dq}{dl}$ - mật độ điện dài của (C), biểu thị lượng điện tích trên một đơn vị dài của dây).

Vậy:
$$\vec{E} = \int_{\text{toàn bộ vật}} \overrightarrow{dE} = \int_{(C)} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\lambda \cdot dl}{\epsilon \cdot r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$$

➤ **Nếu vật mang điện là một mặt (S) tích điện**, khi đó điện tích trên một **phần tử diện tích dS** của mặt là: **$dq = \sigma \cdot dS$** (với $\sigma = \frac{dq}{dS}$ - mật độ điện mặt của (S), biểu thị lượng điện tích trên một đơn vị diện tích của (S)).

Vậy:
$$\vec{E} = \int_{\text{toàn bộ vật}} \overrightarrow{dE} = \int_{(S)} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\sigma \cdot dS}{\epsilon \cdot r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$$

➤ **Nếu vật mang điện là một khối (V) tích điện**, khi đó điện tích trên một **phần tử thể tích dV** của khối là: **$dq = \tau \cdot dV$** (với $\tau = \frac{dq}{dV}$ - mật độ điện khối của (V), biểu thị lượng điện tích trên một đơn vị thể tích của (V)).

Vậy:
$$\vec{E} = \int_{\text{toàn bộ vật}} \overrightarrow{dE} = \int_{(V)} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\tau \cdot dV}{\epsilon \cdot r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$$

§4. Điện thông

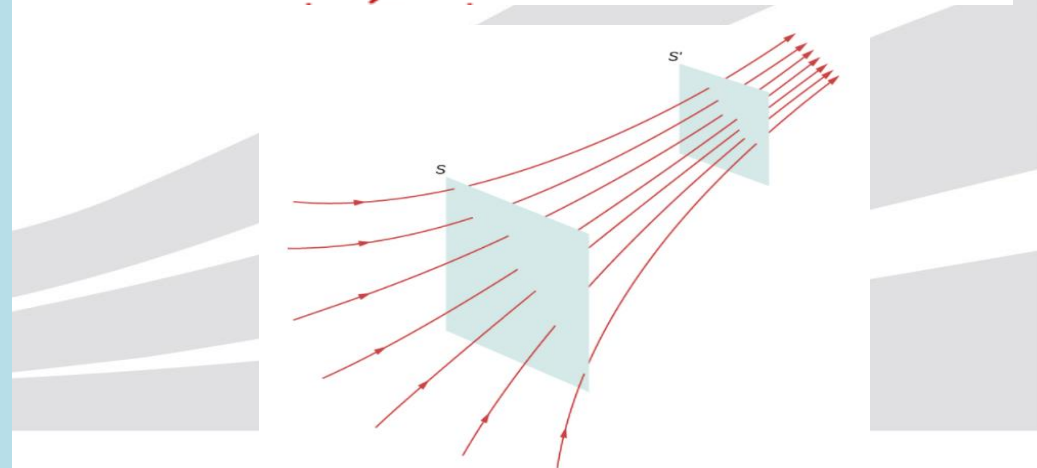
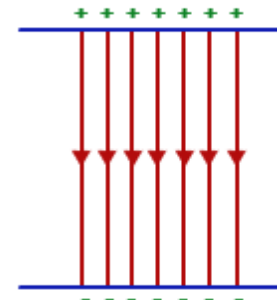
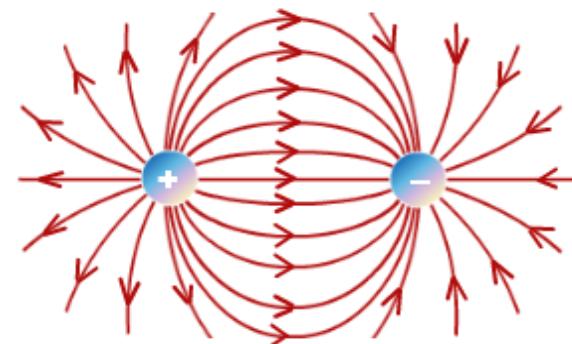


1. Đường sức điện trường

➤ **Định nghĩa:** Đường sức điện trường là đường cong mà tiếp tuyến tại mỗi điểm của nó trùng với phương của vector cường độ điện trường \vec{E} tại điểm đó, chiều của đường sức điện trường là chiều của vector cường độ điện trường \vec{E}

➤ **Đặc điểm:**

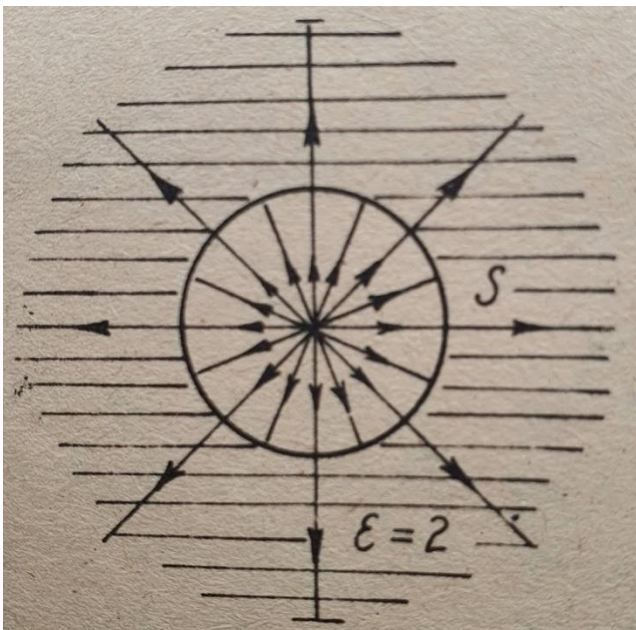
- Quy ước số đường sức điện trường qua một đơn vị diện tích đặt vuông góc với đường sức bằng cường độ điện trường \vec{E} (tại nơi đặt diện tích) \Rightarrow chỗ nào đường sức mau hơn thì điện trường chỗ đó sẽ mạnh hơn.
- Đường sức điện trường bao giờ cũng xuất phát từ các điện tích dương, tận cùng trên điện tích âm, đi đến từ vô cùng hay đi ra vô cùng và chúng luôn luôn là các đường cong không khép kín (bị hở tại các điện tích).
- Các đường sức điện trường không cắt nhau bao giờ.



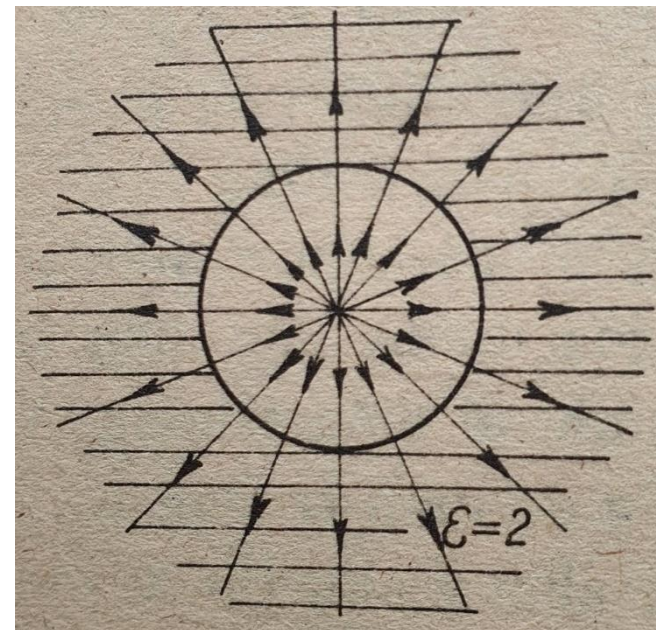
§4. Điện thông



2. Sự gián đoạn của đường sức điện trường



Đường sức điện trường

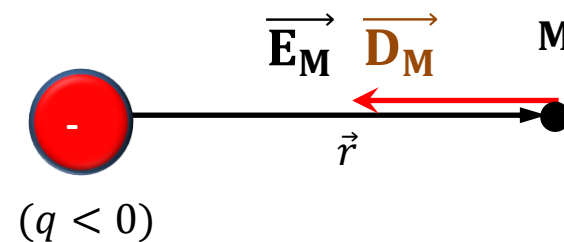
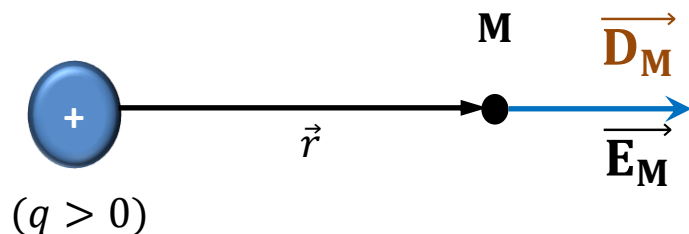


Đường sức điện cảm

Phổ các đường sức điện trường bị gián đoạn ở mặt phân cách giữa 2 môi trường có **hằng số điện môi ϵ** khác nhau

§4. Điện thông

3. Vector cảm ứng điện (Điện cảm): \vec{D} [C/m²]



Công thức: $\vec{D} = \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot \vec{E}$

mà $\vec{E}_M = k \cdot \frac{q}{\epsilon r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{\epsilon r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$

$$\vec{D}_M = \frac{1}{4\pi} \frac{q}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$$

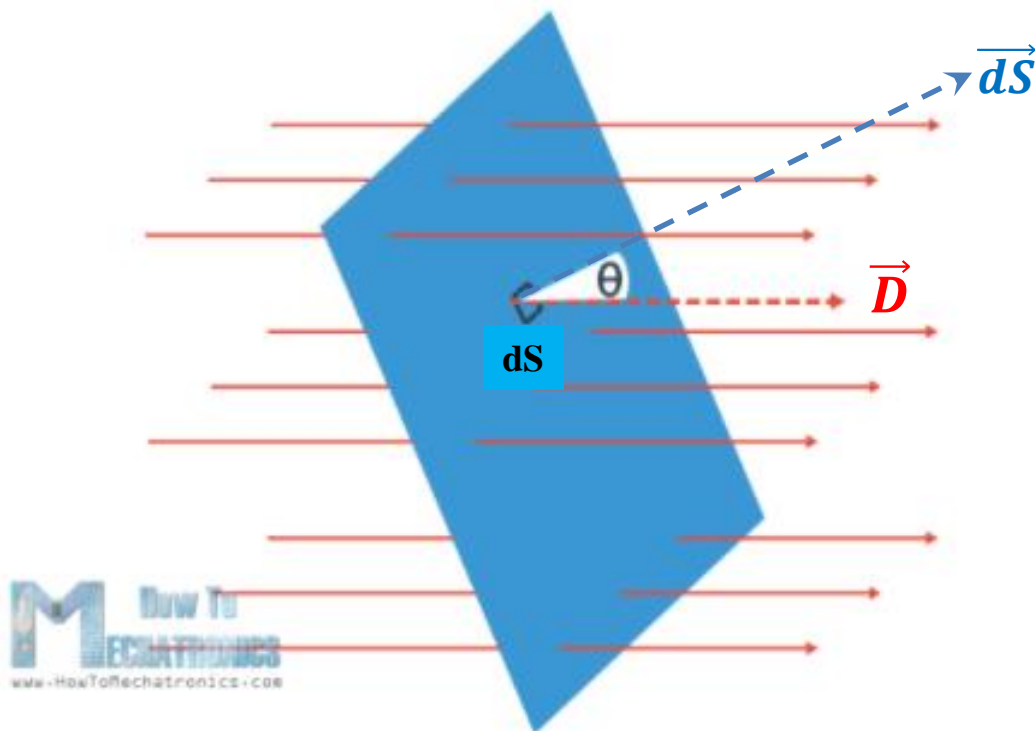
- Nếu $q > 0$, \vec{D}_M cùng phương, cùng chiều với bán kính vector \vec{r} (hay \vec{D}_M hướng ra xa điện tích q)
- Nếu $q < 0$, \vec{D}_M cùng phương, ngược chiều với bán kính vector \vec{r} (hay \vec{D}_M hướng vào điện tích q)
- Về mặt độ lớn: $D = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{|q|}{r^2} > 0$ với q : điện lượng của điện tích điểm gây ra điện trường

§4. Điện thông



4. Điện thông (Thông lượng cảm ứng điện): Φ_e [N.m²/C²]

ELECTRIC FLUX THROUGH OPEN SURFACES



$\vec{n} \equiv \vec{dS}$: vector pháp tuyến của vi phân diện tích dS

Điện thông gửi qua diện tích dS bất kỳ:

$$d\Phi_e = \vec{D} \cdot \vec{dS} = D \cdot dS \cdot \cos\theta$$

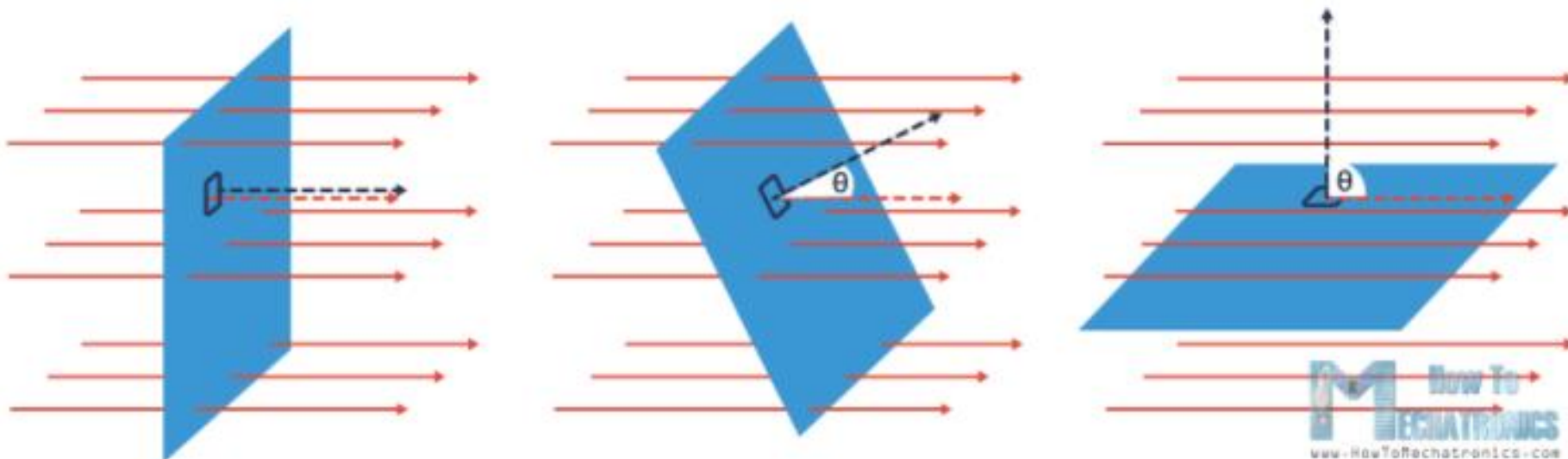
Điện thông gửi qua toàn bộ diện tích mặt (S):

$$\Phi_e = \int_{(S)} \vec{D} \cdot \vec{dS} = \int_{(S)} D \cdot dS \cdot \cos\theta$$

§4. Điện thông



ELECTRIC FLUX THROUGH OPEN SURFACES



$$\begin{aligned}d\Phi_e &= D \cdot dS \cdot \cos\theta \\&= D \cdot dS \cdot \cos 0^\circ \\&= D \cdot dS\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}d\Phi_e &= D \cdot dS \cdot \cos\theta \\&= D \cdot dS \cdot \cos 30^\circ \\&= D \cdot dS \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}d\Phi_e &= D \cdot dS \cdot \cos\theta \\&= D \cdot dS \cdot \cos 90^\circ \\&= 0\end{aligned}$$

§5. Định lý Ostrogradsky-Gauss (O-G)



❖ Định lý O-G

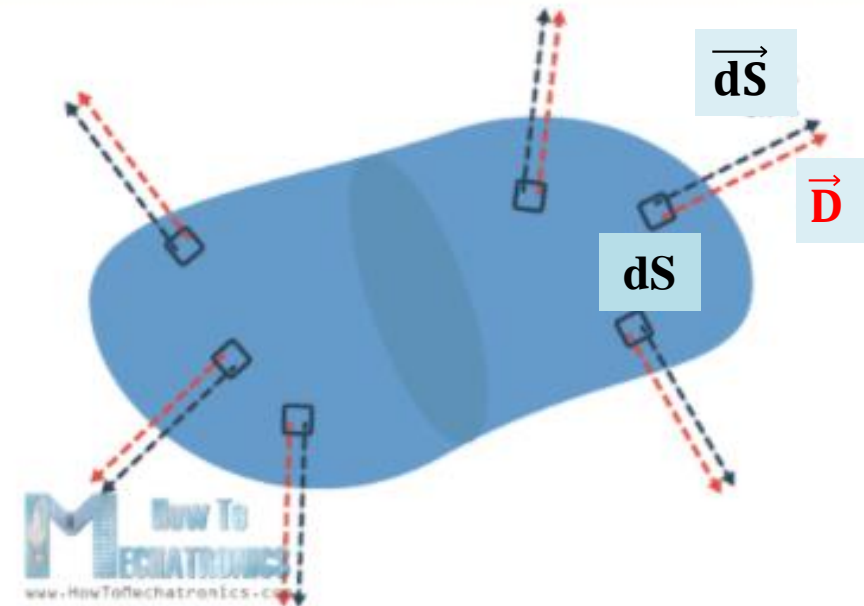
Điện thông Φ_e gửi qua một mặt kín (S) bất kỳ bằng tổng đại số các điện tích q_i chứa trong mặt kín (S) ấy

$$\Phi_e = \int_{(S)} \vec{D} \cdot d\vec{S} = \sum_i q_i$$

Trong đó:

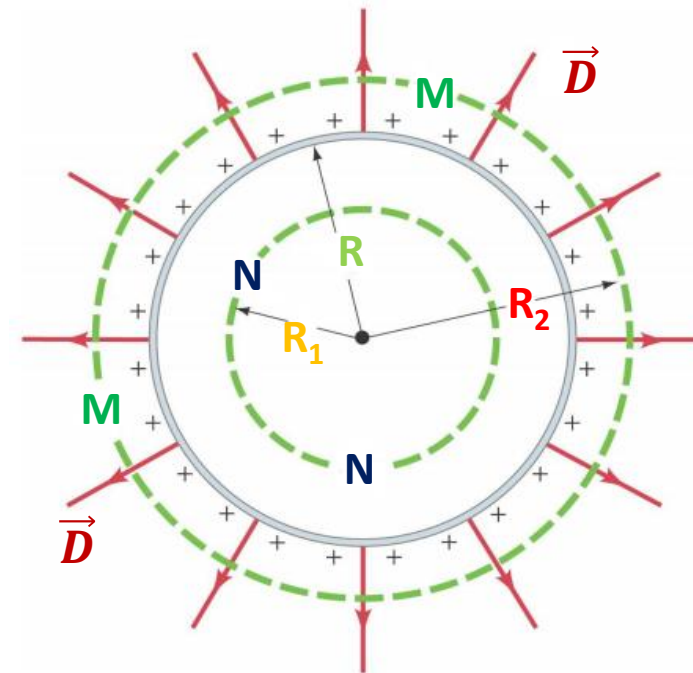
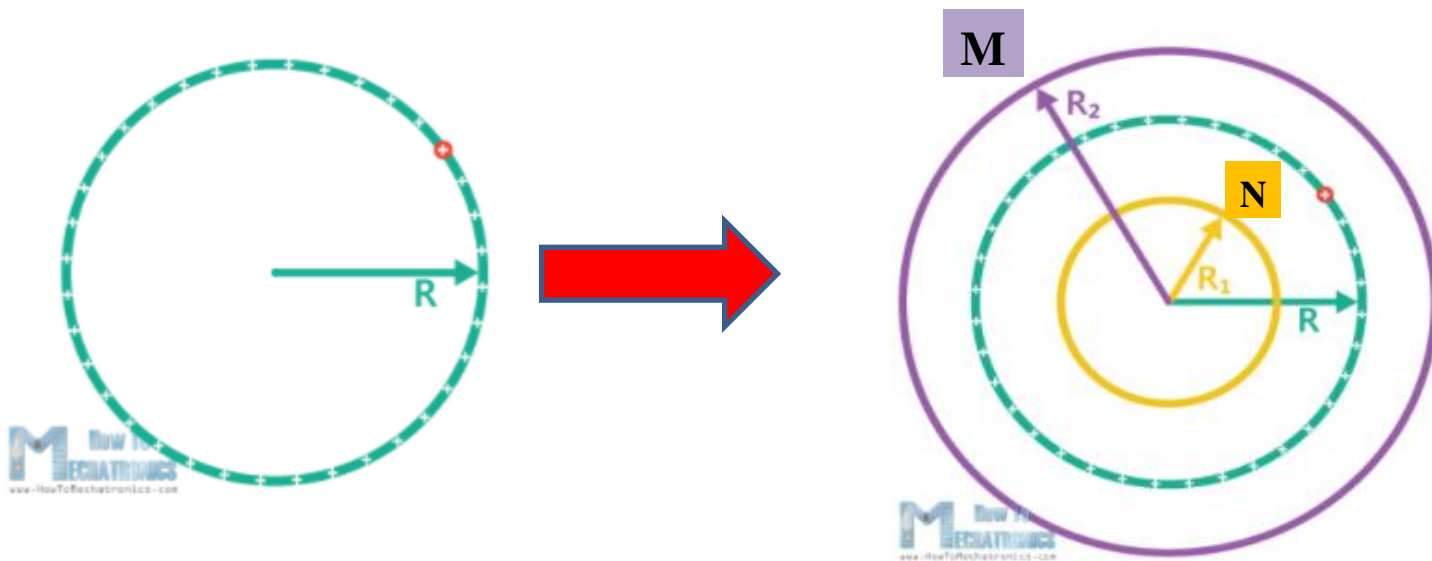
- \vec{D} : vector cảm ứng điện tại một điểm bất kì trên diện tích dS
- $d\vec{S}$: vector diện tích, hướng theo pháp tuyến \vec{n} của dS

ELECTRIC FLUX THROUGH CLOSED SURFACES



§5. Định lý Ostrogradsky-Gauss (O-G)

❖ Điện trường gây bởi một mặt cầu bán kính **R** mang điện đều **Q**



➤ Tại M: $D = \frac{Q}{4\pi.R_2^2} \Rightarrow E = \frac{D}{\epsilon.\epsilon_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{\epsilon.R_2^2} = k \frac{Q}{\epsilon.R_2^2}$

➤ Tại N: $D = E = 0$

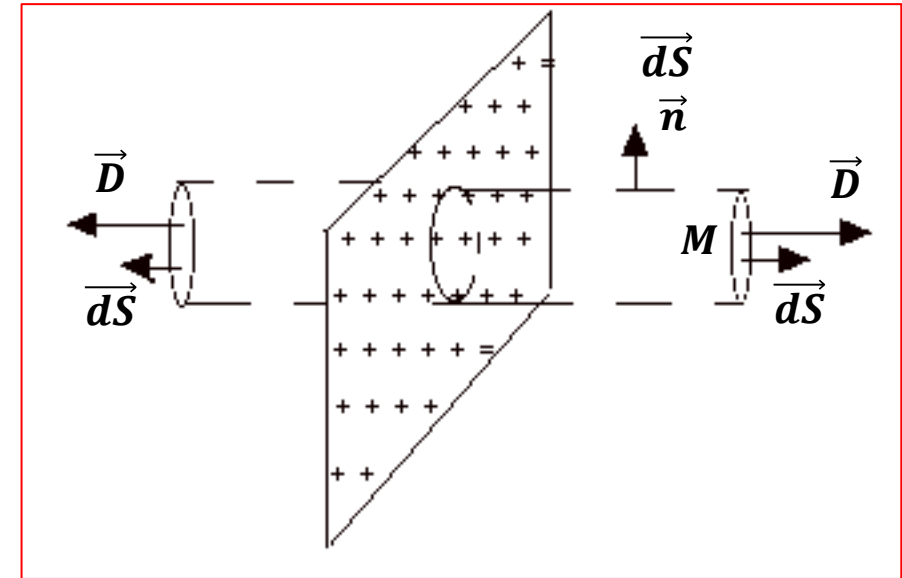
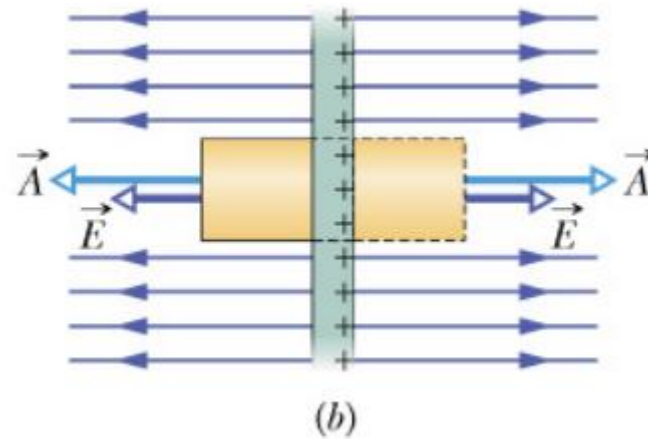
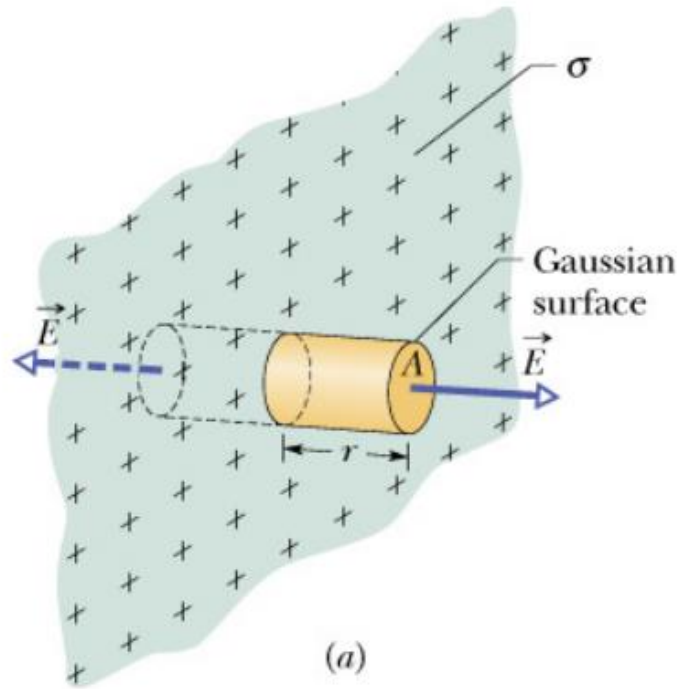
Vậy, + ở bên trong mặt cầu mang điện đều (điểm N) thì điện trường E bằng 0.

+ ở ngoài mặt cầu (điểm M), điện trường E giống điện trường gây bởi một điện tích điểm có cùng độ lớn, nhưng đặt tại tâm của mặt cầu mang điện đó.

§5. Định lý Ostrogradsky-Gauss (O-G)

❖ Điện trường gây bởi một mặt phẳng vô hạn tích điện đều với mật độ điện mặt σ

$$\sigma = \frac{q}{S} \left[\frac{C}{m^2} \right]$$



➤ Tại M: $D_{1mp} = \frac{\sigma}{2} \Rightarrow E_{1mp} = \frac{D}{\epsilon \cdot \epsilon_0} = \frac{\sigma}{2\epsilon \cdot \epsilon_0}$

Vậy, điện trường gây bởi một mặt phẳng vô hạn tích điện đều là không đổi, không phụ thuộc vào vị trí của điểm M trong điện trường

§5. Định lý Ostrogradsky-Gauss (O-G)



§6. Công của lực tĩnh điện – Điện thế

1. Công của lực tĩnh điện A [J]

➤ **Trường hợp 1:** Dịch chuyển 1 điện tích q_0 trong điện trường **của 1 điện tích điểm q**

Khi đó, công A làm điện tích q_0 dịch chuyển từ vị trí (M) đến vị trí (N) trong điện trường của điện

tích điểm q là:
$$A_{MN} = \int_M^N \vec{F} \cdot d\vec{S} = \int_M^N q_0 \vec{E} \cdot d\vec{S} = \int_M^N q_0 \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \cdot dr = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0} \int_M^N \frac{dr}{r^2}$$

$$\Leftrightarrow A_{MN} = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0 r_M} - \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0 r_N} = k \cdot \frac{q_0 q}{\epsilon \cdot r_M} - k \cdot \frac{q_0 q}{\epsilon \cdot r_N} \quad (6-10)$$

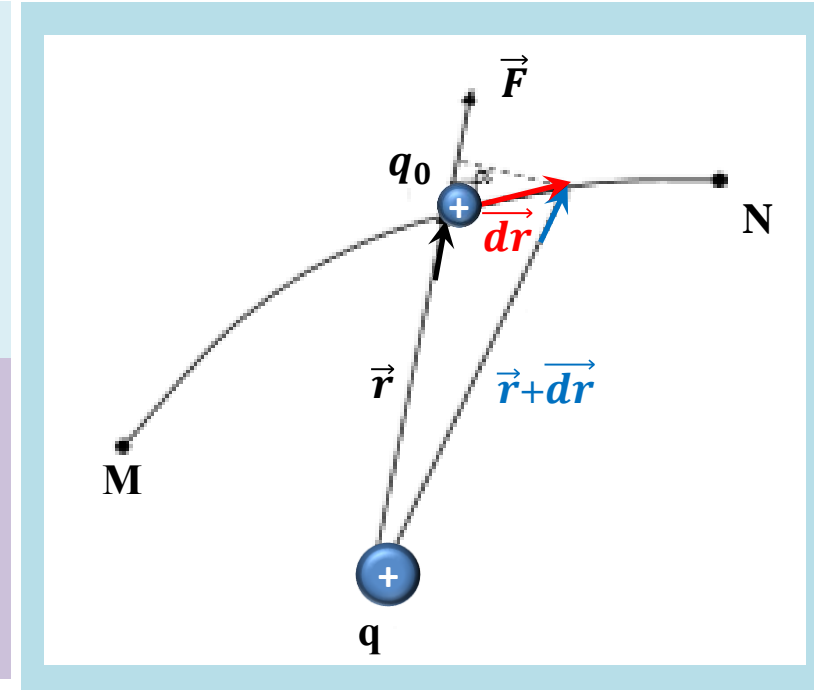
➤ **Trường hợp 2:** Dịch chuyển 1 điện tích q_0 trong điện trường **của hệ điện tích điểm $[q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n]$**

Khi đó, công A làm điện tích q_0 dịch chuyển từ vị trí (M) đến vị trí (N) trong điện trường của hệ

điện tích điểm là:
$$A_{MN} = \sum_{i=1}^n \frac{q_0 q_i}{4\pi\epsilon_0 r_{iM}} - \sum_{i=1}^n \frac{q_0 q_i}{4\pi\epsilon_0 r_{iN}} = \sum_{i=1}^n k \cdot \frac{q_0 q_i}{\epsilon \cdot r_{iM}} - \sum_{i=1}^n k \cdot \frac{q_0 q_i}{\epsilon \cdot r_{iN}} \quad (6-11)$$

với: r_M – khoảng cách từ nơi đặt điện tích điểm q (gây ra điện trường) đến vị trí M (điểm đầu)

r_N – khoảng cách từ nơi đặt điện tích điểm q (gây ra điện trường) đến vị trí N (điểm cuối)



❖ **Nhận xét:** Công của lực tĩnh điện A_{MN} trong sự dịch chuyển 1 điện tích điểm q_0 trong một điện trường bất kỳ **không phụ thuộc vào dạng đường cong dịch chuyển MN, mà chỉ phụ thuộc vào vị trí của điểm đầu (M) và điểm cuối (N) của chuyển dời.**

§6. Công của lực tĩnh điện – Điện thế

❖ Tính chất thế của trường tĩnh điện

➤ **Trường hợp:** Dịch chuyển 1 điện tích q_0 theo 1 đường cong kín trong điện trường bất kỳ

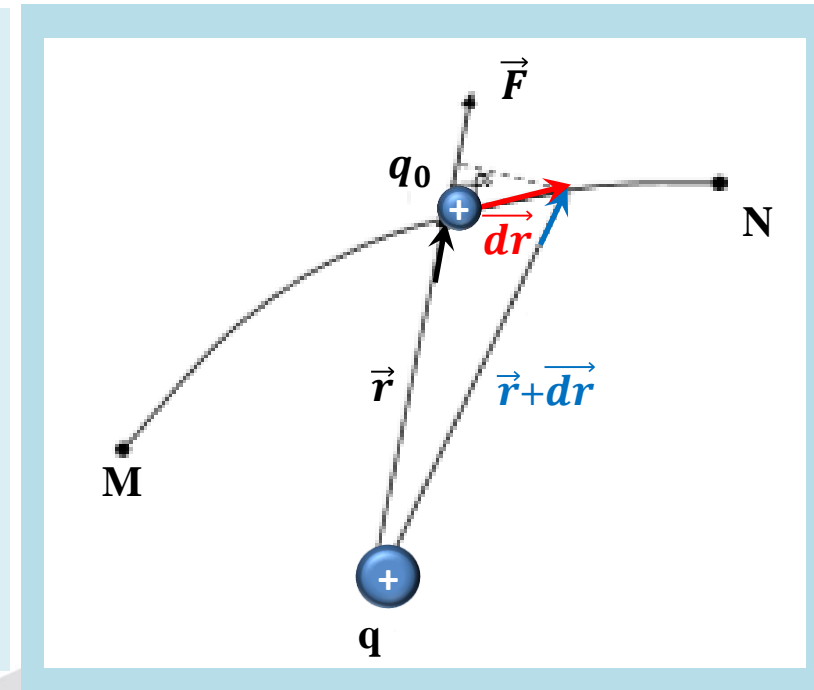
- Ta biết, công A_{MN} làm điện tích q_0 dịch chuyển từ vị trí (M) đến vị trí (N)

trong điện trường là:
$$A_{MN} = \int_M^N \vec{F} \cdot d\vec{S} = \int_M^N q_0 \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

- Mà dịch chuyển theo đường cong kín ($M \equiv N$), nên: $A_{MN} = 0$

=> Vậy:
$$A_{MN} = \oint \vec{F} \cdot d\vec{S} = \oint q_0 \vec{E} \cdot d\vec{S} = 0 \text{ hay } \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = 0 \quad (6-12)$$

(do $q_0 \neq 0$)



❖ **Phát biểu:** Lưu số của vector cường độ điện trường (tĩnh) dọc theo một đường cong kín thì bằng không

§6. Công của lực tĩnh điện – Điện thế

2. Thế năng của một điện tích trong điện trường W_t [J]

➤ Ta biết: công của lực t/d lên vật trong 1 trường lực thế bằng độ giảm thế năng của vật trong trường lực đó: $A_{MN} = W_{tM} - W_{tN}$ (*)

Mà: trường tĩnh điện cũng là một trường lực thế với: $A_{MN} = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot r_M} - \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot r_N}$ (**) (theo công thức 6-10)

Vậy: từ (*) và (**) suy ra: $W_{tM} - W_{tN} = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot r_M} - \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot r_N}$

Hay: biểu thức thế năng của điện tích điểm q_0 đặt trong điện trường của điện tích điểm q và cách q một khoảng r là: $W_t = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot r} + C$

Chú ý: Trong điện trường, quy ước chọn mốc tính thế năng là ở vô cùng ($= \infty$) **nên: $C = 0$**

1. Thế năng của điện tích điểm q_0 đặt trong điện trường của 1 điện tích điểm q : $W_t = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot r}$ (6-13)

2. Thế năng của điện tích điểm q_0 đặt trong điện trường của hệ điện tích điểm: $W_t = \sum_{i=1}^n W_{ti} = \sum_{i=1}^n \frac{q_0 q_i}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot r_i}$ (6-14)

❖ **Nhận xét:** Thế năng của điện tích điểm q_0 tại một điểm trong điện trường là một đại lượng có giá trị bằng công của lực tĩnh điện trong sự dịch chuyển điện tích đó từ điểm đang xét ra xa vô cùng.

nghĩa là:

$$W_{tM} = A_{M\infty}$$

§6. Công của lực tĩnh điện – Điện thế

3. Điện thế V [V]

- **Biểu thức:**
$$V_M = \frac{W_{tM}}{q_0} \quad (6-15)$$
- **Phát biểu:** Điện thế tại một điểm bất kỳ trong điện trường là một đại lượng vật lý có giá trị bằng tỉ số giữa thế năng của điện tích điểm đặt tại điểm đó với điện lượng của điện tích đó
- **Ý nghĩa:** Điện thế tại một điểm nào đó đặc trưng cho khả năng dự trữ năng lượng của điện trường tại điểm xét

❖ Điện thế gây bởi các vật mang điện khác nhau

- Điện thế của điện trường gây bởi một điện tích điểm q tại điểm (M) cách q một khoảng r_M là: $V_M = \frac{W_{tM}}{q_0} = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0.r_M} = k \frac{q}{\epsilon.r_M} \quad (6-16)$

- Điện thế của điện trường gây bởi một hệ điện tích điểm $[q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n]$ tại điểm (M) trong điện trường:

$$V_M = \sum_{i=1}^n V_{iM} = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{4\pi\epsilon\epsilon_0.r_{iM}} = \sum_{i=1}^n k \frac{q_i}{\epsilon.r_{iM}} \quad (6-17)$$

- Điện thế của điện trường gây bởi một vật dẫn: $V_M = \int_{(vật)} dV_M = \int_{(vật)} k \frac{dq}{\epsilon.r_M} \quad (6-18)$

✓ **Lưu ý:** Ta biết: $A_{MN} = W_{tM} - W_{tN}$ } $A_{MN} = q_0 \cdot (V_M - V_N) = q_0 \cdot U_{MN} \Rightarrow U_{MN} = \frac{A_{MN}}{q_0} \quad (6-19)$

mà (6-15) suy ra: $W_{tM} = q_0 \cdot V_M$ và $W_{tN} = q_0 \cdot V_N$

Vector cường độ điện trường - Điện thế



Vector cường độ điện trường \vec{E} [V/m]

- **Công thức:** tại một điểm bất kỳ trong điện trường: $\vec{E}_M = \frac{\vec{F}}{q_0}$
- **Phát biểu:** Vector cường độ điện trường tại một điểm bất kỳ là đại lượng vật lý có giá trị bằng tỷ số giữa vector lực điện tác dụng của điện trường lên một điện tích điểm đặt tại điểm đó và giá trị độ lớn (điện lượng) của điện tích đó
- + Nếu $q_0 = +1(\text{C})$ thì $\vec{E}_M = \vec{F}$
- **Ý nghĩa:** + \vec{E} đặc trưng cho điện trường về mặt tác dụng lực tại điểm đang xét
- **Nhận xét:**
 - Nếu $q_0 > 0$, \vec{E} cùng phương, cùng chiều với \vec{F} .
 - Nếu $q_0 < 0$, \vec{E} cùng phương, ngược chiều với \vec{F}
 - $E_M = \left| \frac{F}{q_0} \right|$

Điện thế V [V]

- **Công thức:** tại điểm M bất kỳ trong điện trường: $V_M = \frac{W_{tM}}{q_0} = \frac{A_{M\infty}}{q_0}$
- **Phát biểu:** Điện thế tại một điểm nào đó trong điện trường là một đại lượng vật lý có giá trị bằng tỷ số giữa Công của lực điện khi dịch chuyển 1 điện tích thử (q_0) từ điểm đó ra xa vô cùng và điện lượng của điện tích thử đó
- + Nếu $q_0 = +1(\text{C})$ thì $V_M = A_{M\infty}$
- **Ý nghĩa:** + V_M đặc trưng cho điện trường về khả năng dự trữ năng lượng tại điểm đang xét
- **Nhận xét:**
 - V_M là đại lượng đại số - có giá trị dương hay âm thì hoàn toàn phụ thuộc vào điện lượng (q) của điện tích gây ra điện trường

Vector cường độ điện trường – Điện thế

❖ Vector cường độ điện trường **gây ra bởi một hệ điện tích điểm $[q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n]$ phân bố gián đoạn**

➤ Cách làm:

1. Áp dụng nguyên lý chồng chất điện trường:

$$\vec{E}_M = \sum_{i=1}^n \vec{E}_{iM} = \vec{E}_{1M} + \vec{E}_{2M} + \dots + \vec{E}_{nM}$$

2. Tính độ lớn các vector cường độ điện trường thành phần \vec{E}_i

VD: $\mathbf{E}_{1M} = k \frac{|q_1|}{\epsilon \cdot r_{1M}^2} > 0$

3. Phân tích chiều của các vector cường độ điện trường \vec{E} trên hình vẽ

4. Giải phương trình độ lớn (chú ý nếu áp dụng **định lý hàm cosin trong tam giác đối với độ lớn vector tổng hợp \vec{E}** từ các vector thành phần \vec{E}_i)

$$E_C = \sqrt{E_{1C}^2 + E_{2C}^2 - 2E_{1C} \cdot E_{2C} \cdot \cos \alpha} \quad \text{với } \alpha = 60^\circ$$

$$\text{hoặc: } E_C = \sqrt{E_{1C}^2 + E_{2C}^2 + 2E_{1C} \cdot E_{2C} \cdot \cos \beta} \quad \text{với } \beta = 120^\circ$$

❖ Điện thế V **gây ra bởi một hệ điện tích điểm $[q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n]$ phân bố gián đoạn**

➤ Cách làm:

1. Áp dụng nguyên lý chồng chất điện trường:

$$V_M = \sum_{i=1}^n V_{iM} = V_{1M} + V_{2M} + \dots + V_{nM} \quad (*)$$

2. Tính độ lớn các điện thế thành phần V_{iM}

VD: $V_{2M} = k \frac{q_2}{\epsilon \cdot r_{2M}} ; \mathbf{V_{1M} = k \frac{q_1}{\epsilon \cdot r_{1M}} (< 0) \text{ or } (> 0)}$

3. Thay lại các giá trị độ lớn của V_{iM} vào (*)

§6. Công của lực tĩnh điện – Điện thế

4. Hiệu điện thế U [V]

➤ **Biểu thức:** Từ (6-19), ta biết $A_{MN} = q_0 \cdot (V_M - V_N) = q_0 \cdot U_{MN} \Rightarrow U_{MN} = \frac{A_{MN}}{q_0}$ (6-20)

➤ **Phát biểu:** Hiệu điện thế giữa hai điểm bất kỳ trong điện trường là một đại lượng vật lý có giá trị bằng tỉ số giữa công của lực điện khi di chuyển điện tích điểm q_0 từ điểm này đến điểm kia và điện lượng của điện tích đó

✓ **Nhận xét:** Từ (6-20), thấy: $U_{M\infty} = (V_M - V_\infty) = \frac{A_{M\infty}}{q_0}$ $\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} V_M = \frac{A_{M\infty}}{q_0}$ (6-21)

Mà theo (6-15): $V_\infty = \frac{W_{t\infty}}{q_0} = 0$ (do $W_{t\infty} = 0$)

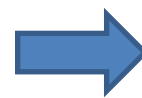
$$dA_{MN} = \vec{F} \cdot d\vec{S} = q_0 \vec{E} \cdot d\vec{S} \quad (1)$$

$$\text{Mà theo (6-19): } dA_{MN} = q_0(V_M - V_N) = q_0(U_{MN}) \quad (2)$$

Trong hệ tọa độ Đề các Oxyz:

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

$$\Leftrightarrow \vec{E} = -\left(\frac{\partial V}{\partial x} \cdot \vec{i} + \frac{\partial V}{\partial y} \cdot \vec{j} + \frac{\partial V}{\partial z} \cdot \vec{k}\right) = -\text{grad}V \quad (6-23)$$



$$q_0 \vec{E} \cdot d\vec{S} = q_0(U_{MN})$$



$\vec{E} \cdot d\vec{S} = U_{MN}$ với MN – đoạn dịch chuyển vô cùng nhỏ

$\int \vec{E} \cdot d\vec{S} = U_{MN}$ với MN – dịch chuyển bất kỳ

§6. Công của lực tĩnh điện – Điện thế

5. Liên hệ giữa vec tơ cường độ điện trường \vec{E} và điện thế V

Xét quá trình dịch chuyển vi phân \vec{dS} của một điện tích điểm q_0 từ M (có điện thế V) tới điểm N (có điện thế $V + dV$), **với $dV > 0$** , trong điện trường. Khi đó, công của lực tĩnh điện trong quá trình dịch chuyển là:

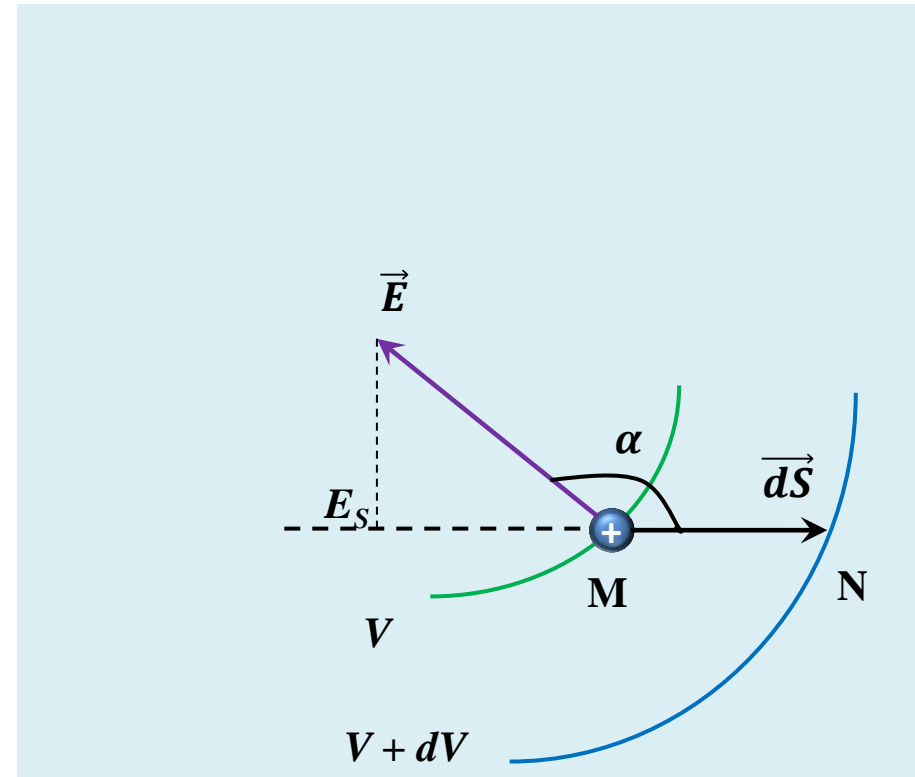
$$dA_{MN} = \vec{F} \cdot \vec{dS} = q_0 \vec{E} \cdot \vec{dS}$$

Mà theo (6-19): $dA_{MN} = q_0(V_M - V_N) = q_0[V - (V + dV)] = -q_0 \cdot dV$

Vậy: $\vec{E} \cdot \vec{dS} = -dV$ hay $E \cdot dS \cdot \cos(\vec{E}, \vec{dS}) = -dV$ (6-22)

✓ **Nhận xét:**

- do $E > 0$, $dS > 0$ và $dV > 0$; nên $\cos \alpha (\vec{E}, \vec{dS}) < 0$ hay $\alpha > \frac{\pi}{2}$ (góc tù)



Đặt $E \cdot \cos \alpha (\vec{E}, \vec{dS}) = E_S$. Ta có: $E_S = -\frac{dV}{dS}$ (6-22')

«Hình chiếu vector cường độ điện trường trên một phương nào đó bằng độ giảm điện thế trên một đơn vị dài theo phương đó

Trong hệ tọa độ Đề các Oxyz:

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

$$\Leftrightarrow \vec{E} = -\left(\frac{\partial V}{\partial x} \cdot \vec{i} + \frac{\partial V}{\partial y} \cdot \vec{j} + \frac{\partial V}{\partial z} \cdot \vec{k}\right) = -\text{grad}V \quad (6-23)$$



§7. Trạng thái cân bằng tĩnh điện của vật dẫn

1. Định nghĩa

Một vật dẫn được gọi là ở trạng thái cân bằng tĩnh điện là khi trong vật dẫn không có chuyển động định hướng của các điện tích tự do

2. Điều kiện

a. Vector cường độ điện trường tại mọi điểm bên trong vật dẫn phải bằng không: $\vec{E}_{\text{trong}} = 0$

b. Trên bề mặt vật dẫn, vector cường độ điện trường \vec{E} phải vuông góc với bề mặt vật dẫn (hay: thành phần tiếp tuyến \vec{E}_t của vector cường độ điện trường tại mọi điểm trên mặt vật dẫn phải bằng không)

$$(\vec{E} = \vec{E}_t + \vec{E}_n, \text{ mà } \vec{E}_t = 0 \Rightarrow \vec{E} = \vec{E}_n)$$

3. Tính chất

a. *Vật dẫn cân bằng tĩnh điện là một khối đẳng thế ($V(x,y,z) = \text{const}$). Mặt vật dẫn là một mặt đẳng thế*

b. Nếu *vật dẫn được tích điện q*, thì *toàn bộ điện tích chỉ được phân bố trên bề mặt của vật dẫn*, bên trong vật dẫn thì điện tích bằng không

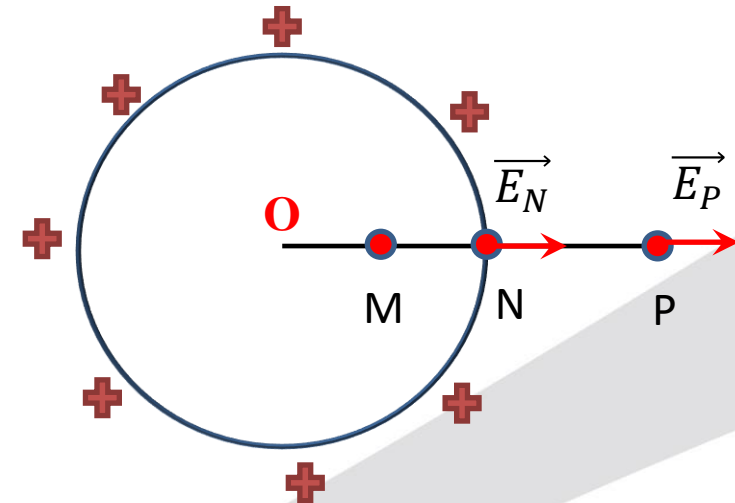
c. *Đối với một vật dẫn rỗng đã ở trạng thái cân bằng tĩnh điện, điện trường ở phần rỗng và trong thành của vật dẫn rỗng cũng luôn bằng không*

§7. Trạng thái cân bằng tĩnh điện của vật dẫn

❖ **Luyện tập:** Vector cường độ điện trường \vec{E} và điện thế V do *1 hay nhiều mặt cầu kim loại* (quả cầu rỗng: tâm O, bán kính R) gây ra

➤ Do 1 mặt cầu gây ra:

1. Vector \vec{E} tại các điểm bên trong vật dẫn thì bằng 0: $\vec{E}_O = 0; \vec{E}_M = 0$
2. Vector \vec{E} tại các điểm trên mặt vật dẫn có độ lớn giống như độ lớn của cường độ điện trường do 1 điện tích điểm gây ra tại các điểm trên mặt vật dẫn (coi như điện tích điểm đó đặt tại tâm O): $E_N = k \frac{|q|}{\epsilon \cdot ON^2} = k \frac{|q|}{\epsilon \cdot R^2}$
3. Vector \vec{E} tại các điểm bên ngoài vật dẫn thì cũng giống TH2, coi như điện tích điểm đó đặt tại tâm O: $E_P = k \frac{|q|}{\epsilon \cdot OP^2}$



➤ Do 1 mặt cầu gây ra:

1. Điện thế V tại các điểm **bên trong** vật thì bằng điện thế V tại các điểm **trên mặt** vật dẫn: $V_M = V_N = k \frac{q}{\epsilon \cdot ON}$
2. Điện thế V tại các điểm **bên ngoài** vật dẫn: $V_P = k \frac{q}{\epsilon \cdot OP}$

(với $V_N = V_{\text{mặt cầu}}$)

§7. Trạng thái cân bằng tĩnh điện của vật dẫn

❖ **Luyện tập:** Vector cường độ điện trường \vec{E} và điện thế V do *1 hay nhiều mặt cầu kim loại* (quả cầu rỗng: tâm O, bán kính R) gây ra

➤ **Do nhiều mặt cầu đồng tâm gây ra:**

1. Áp dụng nguyên lý chồng chất điện trường: $\vec{E}_M = \sum_{i=1}^n \vec{E}_{iM} = \vec{E}_{1M} + \vec{E}_{2M} + \dots + \vec{E}_{nM}$ (tại 1 điểm M bất kỳ)
2. Tuân thủ quy tắc độ lớn của \vec{E} do 1 mặt cầu gây ra ứng với các điểm bên trong, trên mặt và bên ngoài của mặt cầu

➤ **Do nhiều mặt cầu đồng tâm gây ra:**

1. Áp dụng nguyên lý chồng chất điện trường: $V_M = \sum_{i=1}^n V_{iM} = V_{1M} + V_{2M} + \dots + V_{nM}$ (tại 1 điểm M bất kỳ)
2. Tuân thủ quy tắc độ lớn của V do 1 mặt cầu gây ra ứng với các điểm bên trong, trên mặt và bên ngoài của mặt cầu

➤ **Năng lượng điện trường $W_E[J]$ của mặt cầu:**

1. Bên trong mặt cầu: $W_E = 0$ (J) (do điện tích q chỉ phân bố trên bề mặt vật dẫn, khi vật tích điện)
2. Bên ngoài mặt cầu: $W_E = \frac{1}{2} \cdot q \cdot V$ (6-24)

§8. Điện dung của một vật dẫn cô lập

1. Định nghĩa điện dung C [F]

➤ **Biểu thức:**

$$C = \frac{q}{V} \quad (6-25)$$

➤ **Phát biểu:** Điện dung của vật dẫn là một đại lượng có giá trị bằng tỉ số giữa điện tích q mà vật tích được và điện thế V của vật dẫn đó.

➤ **Ý nghĩa:** là đại lượng đặc trưng cho khả năng tích điện của vật dẫn

➤ **Tính chất:** Điện dung của vật dẫn không phụ thuộc bản chất hóa học của vật dẫn, mà phụ thuộc vào hình dạng, kích thước của vật dẫn và môi trường đặt vật dẫn đó.

➤ **Ví dụ:** Điện dung của một quả cầu kim loại (tâm O , bán kính R) đặt trong môi trường đồng nhất có hằng số điện môi là ϵ

- Ta biết: $V = k \frac{q}{\epsilon.R}$ mà: $C = \frac{q}{V}$ $C_{\text{cầu}} = \frac{\epsilon.R}{k} \quad (6-26)$



§8. Điện dung của một vật dẫn cô lập

2. Điện dung **C** của tụ điện

➤ **Định nghĩa:** Tụ điện là 1 vật dẫn gồm hai bản tụ đặt gần nhau mang điện tích bằng nhau nhưng trái dấu với nhau, được ngăn cách nhau bởi một lớp điện môi.

➤ **Biểu thức:**

$$C = \frac{q}{U} \quad (6-27)$$

➤ **Phát biểu:** Điện dung của tụ điện là đại lượng có giá trị bằng tỉ số giữa điện tích q của tụ và hiệu điện thế U giữa hai bản tụ



§8. Điện dung của một vật dẫn cô lập

❖ Điện dung **C** của tụ điện phẳng

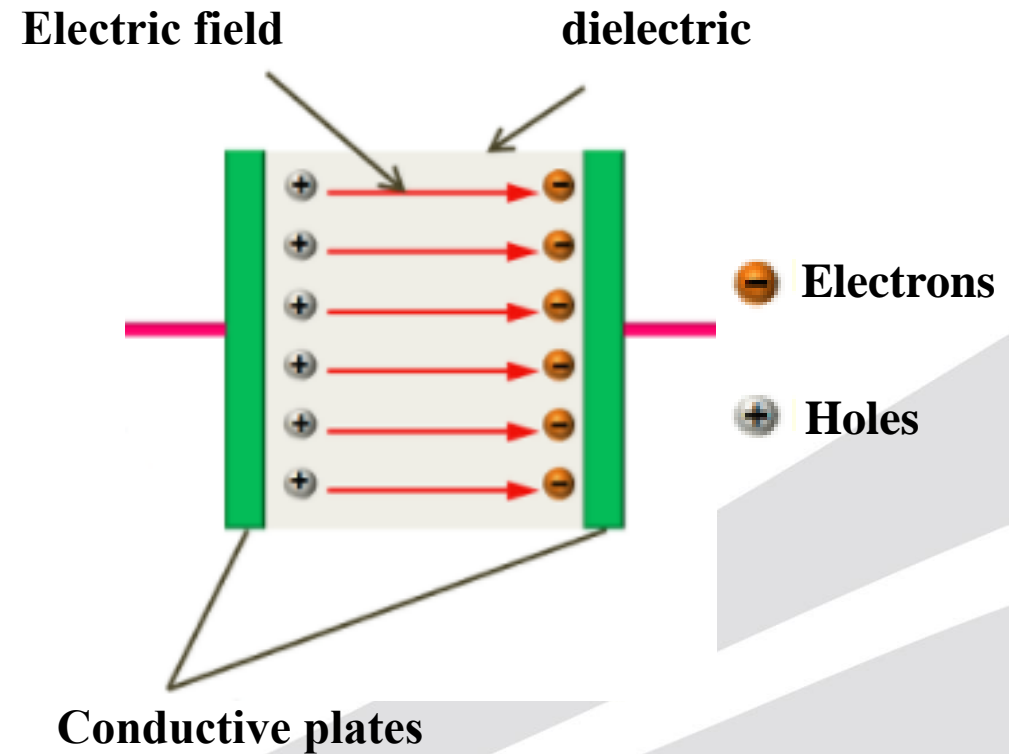
Tụ phẳng là tụ điện có hai bản kim loại là hai mặt phẳng có diện tích S bằng nhau và đặt song song với nhau. Khi tích điện, điện tích trên mỗi bản tụ có độ lớn q , mật độ điện mặt là σ , $\sigma = \frac{q}{S}$, khoảng cách giữa hai bản tụ là d . Điện trường trong lòng tụ là điện trường đều với cường độ điện trường là: $E = \frac{\sigma}{\epsilon \cdot \epsilon_0}$ và hiệu điện thế giữa 2 bản tụ là: $U = E \cdot d$. Khi đó:

$$C_{tụ} = \frac{q}{U} \Rightarrow C_{tụ \text{ phẳng}} = \frac{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot S}{d} \quad (6-28)$$

C in $[F]$

S in $[m^2]$

d in $[m]$



➤ **Chú ý:** Khi khoảng cách giữa hai bản tụ càng nhỏ thì khả năng tích điện của hai bản tụ càng lớn. Tuy nhiên không thể giảm d tùy ý vì khi đến một lúc nào đó cường độ điện trường quá lớn có thể làm hỏng tụ...

§8. Điện dung của một vật dẫn cô lập

❖ Điện trường trong lòng của tụ điện phẳng

$$\vec{E}_M = \vec{E}_{(+)_M} + \vec{E}_{(-)_M}$$

Ta biết: $E_{(+)_M} = E_{(-)_M} = \frac{\sigma}{2 \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0}$

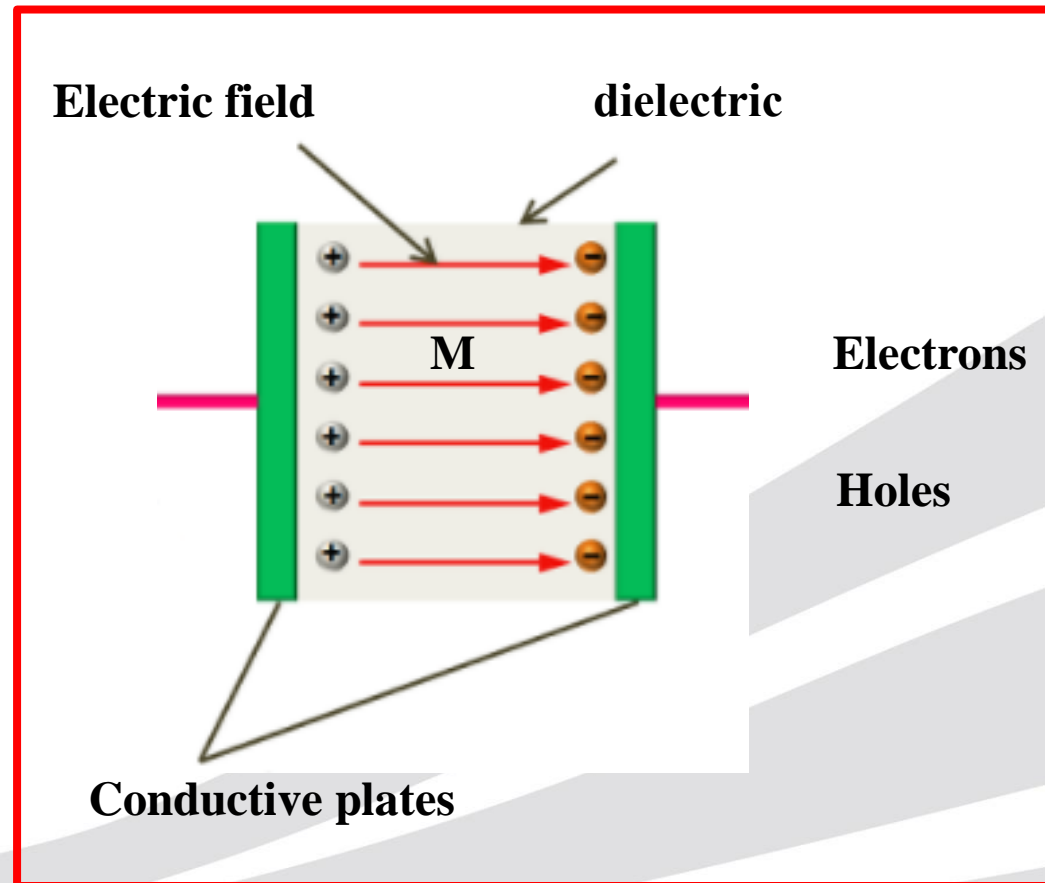
và $\vec{E}_{(+)_M} \uparrow \uparrow \vec{E}_{(-)_M}$: đều **hướng từ bản (+) sang bản (-)**

Vậy: $E_M = \frac{\sigma}{2 \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0} + \frac{\sigma}{2 \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0} = \frac{\sigma}{\epsilon \cdot \epsilon_0}$

- cường độ điện trường do 2 mặt phẳng mang điện (hay tụ điện phẳng) gây ra tại 1 điểm M bất kỳ trong lòng tụ) –

- $E_{(2mp)} = E_{(tụ)} = \frac{\sigma}{\epsilon \cdot \epsilon_0}$

- $E_{(1mp)} = \frac{\sigma}{2 \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0}$



§8. Điện dung của một vật dẫn cô lập

3. Năng lượng của trường tĩnh điện W_E [J]

➤ *Năng lượng tương tác của một hệ điện tích điểm*

- Hệ 2 điện tích điểm $[q_1, q_2]$:
$$W = W_{12} = W_{21} = \frac{1}{2}(q_1 V_1 + q_2 V_2)$$

Trong đó: $V_1 = k \frac{q_2}{\epsilon \cdot r_{12}}$ - điện thế do điện trường của q_2 gây ra (tại nơi đặt q_1)

$V_2 = k \frac{q_1}{\epsilon \cdot r_{21}}$ - điện thế do điện trường của q_1 gây ra (tại nơi đặt q_2)

- Hệ 3 điện tích điểm $[q_1, q_2, q_3]$: $W = \frac{1}{2}(q_1 V_1 + q_2 V_2 + q_3 V_3)$ với $V_1 = V_{21} + V_{31}$

- Hệ n điện tích điểm $[q_1, q_2, \dots, q_n]$:
$$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i V_i = \frac{1}{2}(q_1 V_1 + q_2 V_2 + \dots + q_n V_n)$$

Với: q_i – điện lượng của điện tích điểm thứ i bất kỳ [C]

V_i – điện thế do $(n-1)$ điện trường gây ra tại nơi đặt q_i (trừ điện trường do q_i gây ra)

§8. Điện dung của một vật dẫn cô lập

➤ *Năng lượng vật dẫn cân bằng tĩnh điện*

$$W = \frac{1}{2} qV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{q^2}{C} \quad (6-29)$$

➤ *Năng lượng tụ điện tích điện*

$$W = \frac{1}{2} qU = \frac{1}{2} CU^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{q^2}{C} \quad (6-30)$$

➤ *Năng lượng điện trường W_E [J] (tụ điện phẳng)*

$$W_E = \frac{1}{2} CU^2 = \frac{1}{2} \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d} (Ed)^2 = \frac{1}{2} \epsilon\epsilon_0 E^2 (S \cdot d) = \frac{1}{2} \epsilon\epsilon_0 E^2 \cdot V = \frac{1}{2} EDV \quad (6-31)$$

với: $V = S \cdot d$ - thể tích không gian trong lòng tụ, cũng là không gian tồn tại điện trường

➤ *Mật độ năng lượng điện trường w_E $\left[\frac{J}{m^3}\right]$ (tụ điện phẳng)*

$$w_E = \frac{W_E}{V} = \frac{1}{2} \epsilon\epsilon_0 E^2 = \frac{1}{2} ED \quad (6-32)$$

ĐHXD: Cho hai điện tích điểm $q_1 = 8.10^{-8}$ (C);
 $q_2 = 3.10^{-8}$ (C) đặt trong không khí lần lượt tại
2 điểm M và N, với $MN = 10$ (cm).

Tính cường độ điện trường E tại 2 điểm A và B?

biết: $MA = 9$ (cm), $NA = 7$ (cm),

$MB = 4$ (cm), $NB = 6$ (cm)

➤ Một mặt cầu kim loại bán kính $R = 50$ (cm) đặt trong chân không. Tính lượng điện tích mà mặt cầu tích được khi:

a/ Điện thế của quả cầu là 2000 (V).

b/ Điện thế tại một điểm cách mặt cầu 10 (cm) là 1000 (V).

c/ Tính năng lượng điện trường bên trong và bên ngoài mặt cầu trong trường hợp câu a)

➤ Một mặt cầu kim loại bán kính $R = 50$ (cm) đặt trong chân không. Tính lượng điện tích mà mặt cầu tích được khi:

a/ Điện thế của quả cầu là 2000 (V).

b/ Điện thế tại một điểm cách mặt cầu 10 (cm) là 1000 (V).

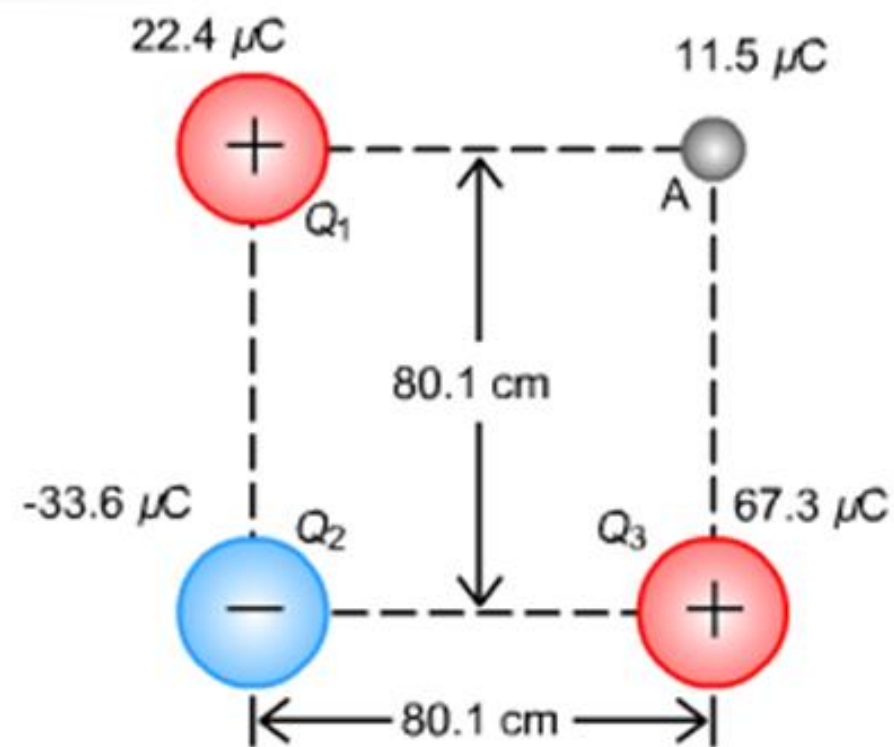
c/ Tính năng lượng điện trường bên trong và bên ngoài mặt cầu trong trường hợp câu a)

Cho hai mặt cầu kim loại đồng tâm bán kính $R_1 = 2$ (cm) và $R_2 = 4$ (cm) mang điện tương ứng là $Q_1 = -9.10^{-9}$ (C) và $Q_2 = 1,5.10^{-9}$ (C).

Tìm \vec{E} và V tại những điểm A, B, C cách tâm hai mặt cầu $R_A = 1$ (cm), $R_B = 3$ (cm), $R_C = 6$ (cm)? Lấy $\epsilon = 1$.

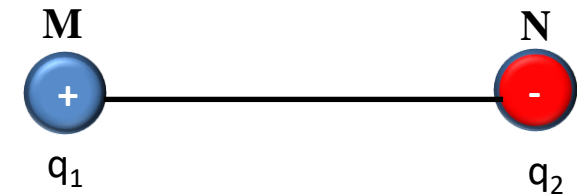
(Được dùng công thức tính E , V do mặt cầu tích điện đều gây ra).

- Ex: Pictured on the right are three point charges $q_1 = 22,4(\mu\text{C})$, $q_2 = -33,6(\mu\text{C})$, and $q_3 = 67,3(\mu\text{C})$ arranged according to the figure on the right. A fourth point charge is located at point A with a charge of $q_A = 11,5(\mu\text{C})$. Calculate the net force on the charge at point A?



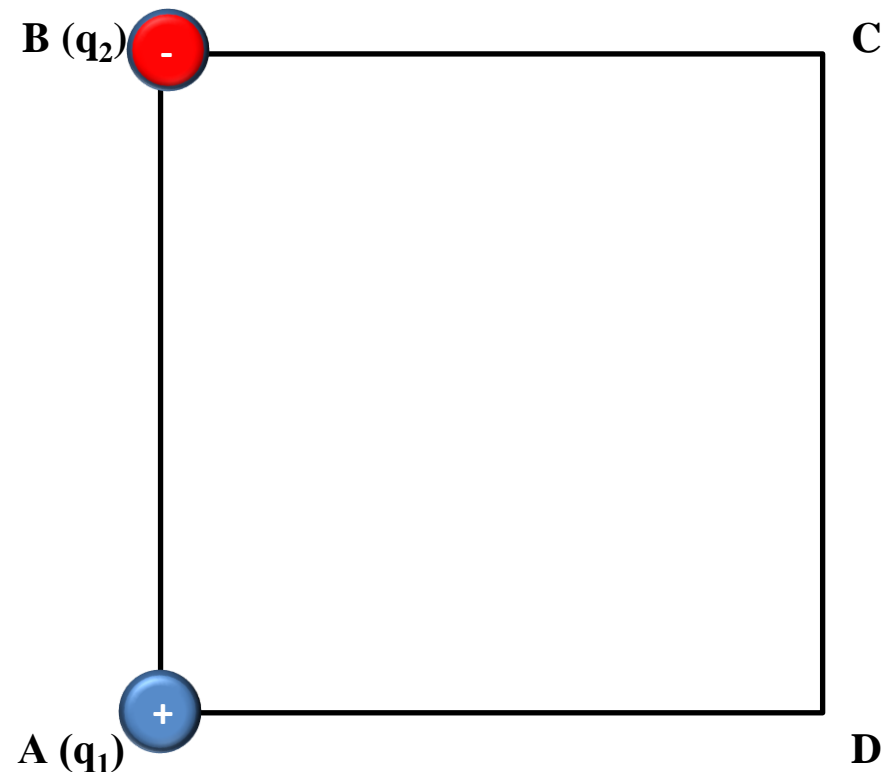
VD₁: Cho hai điện tích điểm $q_1 = q$ và $q_2 = -2q$ (giả sử $q > 0$) lần lượt đặt tại 2 điểm M và N trong không khí, cách nhau khoảng $MN = r = 10$ (cm).

Tìm trên đường thẳng đi qua M và N điểm có vec tơ cường độ điện trường tổng hợp bằng 0?



VD2: Tại 2 đỉnh C, D của hình vuông ABCD cạnh $a = 10$ cm lần lượt đặt 2 điện tích điểm $q_1 = -3 \cdot 10^{-8}$ (C), $q_2 = 3 \cdot 10^{-8}$ (C) trong không khí. Tính cường độ điện trường tại đỉnh A.

- ❖ Tại hai đỉnh A, B của hình vuông ABCD cạnh $a = 10 \text{ (cm)}$ lần lượt đặt hai điện tích điểm $q_1 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ (C)}$ và $q_2 = -10^{-8} \text{ (C)}$
- Tính cường độ điện trường và điện thế tại đỉnh D. Biết $\epsilon = 1$.



• Một mặt cầu kim loại bán kính $R = 50$ (cm) đặt trong chân không. **Tính lượng điện tích mà mặt cầu tích được** khi:

a) Điện thế của quả cầu là 2500 (V)

b) Điện thế tại một điểm cách mặt cầu 25 (cm) là 1800 (V).

c) Tính năng lượng điện trường bên trong và bên ngoài mặt cầu trong trường hợp câu a.

Một tụ điện phẳng chứa chất điện môi có hằng số $\varepsilon = 4,5$ và có điện dung $C = 8 \cdot 10^{-12}$ (F), diện tích mỗi bản tụ là $S = 80$ (cm²). Một điện tích điểm $q = 4 \cdot 10^{-8}$ (C) nằm trong lòng tụ chịu tác dụng của lực điện trường $F = 16 \cdot 10^{-5}$ (N). Xác định:

- a) Hiệu điện thế giữa hai bản tụ.
- b) Mật độ năng lượng điện trường trong lòng tụ.
- c) Lực tương tác giữa hai bản tụ.

- Hệ 3 điện tích điểm $[q_1, q_2, q_3]$:
- $W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 q_i V_i = \frac{1}{2} (q_1 V_1 + q_2 V_2 + q_3 V_3)$
- với $V_1 = V_{21} + V_{31}$
- $V_2 = V_{12} + V_{32}$
- $V_3 = V_{13} + V_{23}$

