PHẦN THỨ 3: ĐIỆN HỌC
CHƯƠNG 7: TĨNH ĐIỆN HỌC
1.1. ĐIỆN TÍCH VÀ TƯƠNG TÁC TĨNH ĐIỆN

1.1.1. Điện tích

Điện tích được chia thành 2 loại: điện tích âm và điện tích dương

Quy ước: Điện tích âm là điện tích giống như điện tích xuất hiện khi thanh nhựa cọ xát vào lông thú .

Điện tích dương là điện tích giống như điện tích xuất hiện khi thanh thuỷ tinh cọ xát vào lụa.

Tính chất: các điện tích cùng dấu thì đẩy nhau, các điện tích trái dấu thì hút nhau.

1.1.2. Định luật Coulomb

Lực tương tác giữa hai điện tích điểm q_1, q_2 đặt cách nhau một khoảng r trong chân không, có phương nằm trên đường thẳng nối hai điện tích, có chiều của lực đẩy nếu hai điện tích cùng dấu có chiều của lực hút nếu hai điện tích trái dấu. Có cường độ tỉ lệ với tích số độ lớn của hai điện tích và tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa hai điện tích đó.

$$\vec{F} = k\frac{q_1.q_2}{r^2}\frac{\vec{r}}{r}. \qquad (1.1)$$

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} = 9.10^9\frac{N.m^2}{c^2},$$

ε_o: hằng số điện $= 8,85.10^{-12}\dfrac{C^2}{N.m^2}$.

Tính chất: lực tĩnh điện tuân theo nguyên lí chồng chất.

Lực tương tác trong môi trường có hằng số điện môi ε:

$$\vec{F} = k\frac{q_1.q_2}{\varepsilon r^2}\frac{\vec{r}}{r}. \qquad (1.2)$$

Ứng dụng: Sự hút và đẩy giữa các vật tích điện có nhiều ứng dụng trong công nghiệp, trong đó có phun sơn tĩnh điện và phủ bột, gom tro bay trong ống khói, in bằng tia mực và photocopy.

VD1: Trong chân không, cho hai điện tích $q_1 = -q_2 = 10^{-7}C$ đặt tại hai điểm A và B cách nhau 8 cm. Xác định lực tổng hợp tác dụng lên điện tích $q_o = 10^{-7}C$ trong các trường hợp sau:

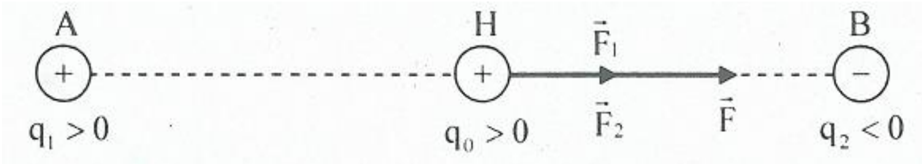
a) Điện tích q_0 đặt tại H là trung điểm của AB.
b) Điện tích q_0 đặt tại M cách A đoạn 4 cm, cách B đoạn 12 cm.
c) Điện tích q_0 đặt tại N sao cho N cách đều A, B đoạn 8 cm.
d) Điện tích q_0 đặt tại C trên đường trung trực AB sao cho C cách AB 3 cm.

Hướng dẫn

a) Gọi $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ lần lượt là lực do điện tích q_1 và q_2 tác dụng lên q_0

+ Ta có: $\begin{cases} F_1 = k\dfrac{|q_1q_0|}{AH^2} = 9.10^9\dfrac{|10^{-7}.10^{-7}|}{0,04^2} = \dfrac{9}{160}(N) \\ F_2 = k\dfrac{|q_2q_0|}{BH^2} = 9.10^9\dfrac{|10^{-7}.10^{-7}|}{0,04^2} = \dfrac{9}{160}(N) \end{cases}$

+ Lực tác dụng $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ được biểu diễn như hình a.



Hình a

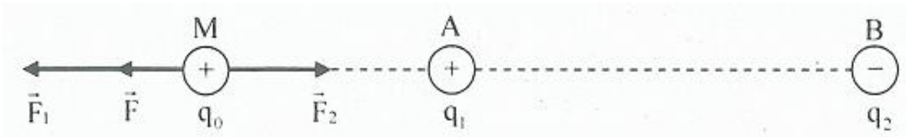
+ Gọi $\vec{F}$ là lực tổng hợp tác dụng lên điện tích q_0, ta có: $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$

+ Vì $\vec{F}_1 \uparrow\uparrow \vec{F}_2$ nên: $F = F_1 + F_2 = 0,1125(N)$

b) Gọi $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ lần lượt là lực do điện tích q_1 và q_2 tác dụng lên q_0

+ Ta có: $\begin{cases} F_1 = k\dfrac{|q_1q_0|}{AM^2} = 9.10^9\dfrac{|10^{-7}.10^{-7}|}{0,04^2} = \dfrac{9}{160}(N) \\ F_2 = k\dfrac{|q_2q_0|}{BM^2} = 9.10^9\dfrac{|10^{-7}.10^{-7}|}{0,12^2} = \dfrac{1}{160}(N) \end{cases}$

+ Lực tác dụng $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ được biểu diễn như hình b.



Hình b

+ Gọi $\vec{F}$ là lực tổng hợp tác dụng lên điện tích q_0, ta có: $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$

+ Vì $\vec{F}_1 \uparrow\downarrow \vec{F}_2$ nên: $F = F_1 - F_2 = 0,05(N)$

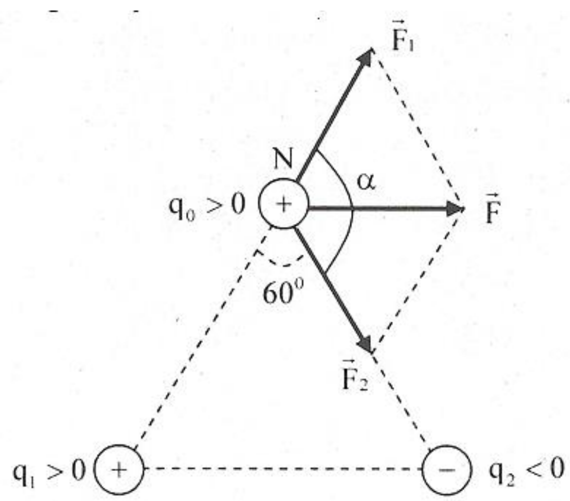
c) Gọi $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ lần lượt là lực do điện tích q_1 và q_2 tác dụng lên q_0

+ Ta có:

+ $\begin{cases} F_1 = k\dfrac{|q_1q_0|}{AN^2} = 9.10^9\dfrac{|10^{-7}.10^{-7}|}{0,08^2} = \dfrac{9}{640}(N) \\ F_2 = k\dfrac{|q_2q_0|}{BN^2} = 9.10^9\dfrac{|10^{-7}.10^{-7}|}{0,08^2} = \dfrac{9}{640}(N) \end{cases}$

+ Lực tác dụng $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ được biểu diễn như hình c.

+ Vì tam giác ANB đều nên $\alpha = 120^0$



Hình c

+ Gọi $\vec{F}$ là lực tổng hợp tác dụng lên điện tích q_0.

+ Ta có: $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$

$\Rightarrow F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos120°} = \frac{9}{640}(N)$

+ Vì F_1NF_2F là hình thoi nên NF song song với AB nên $\vec{F}$ có phương // AB.

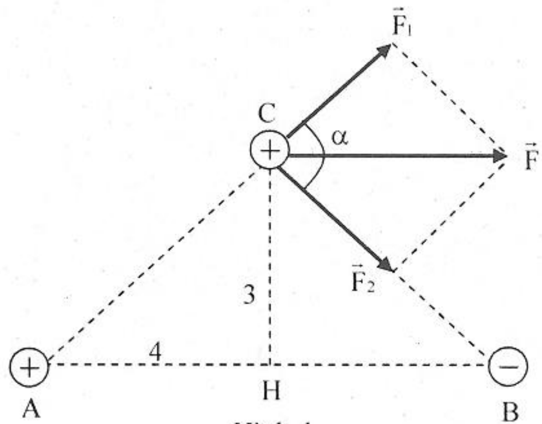
✍ **Chú ý:** Ta có thể tính độ lớn của lực F như sau

+ Vì $F_1 = F_2 = \frac{9}{640}(N) \Rightarrow F = 2F_1.\cos\beta$

(với $\beta = \vec{F}_1; \vec{F} = 60°$)

+ Ta có: $F = 2F_1.\cos60° = 2.\frac{9}{640}.\frac{1}{2} = \frac{9}{640}(N)$

d) Lực do q_1 tác dụng lên q_o:



Hình d

$F_1 = k\frac{|q_1q_0|}{AC^2} = 9.10^9\frac{|10^{-7}10^{-7}|}{0,05^2} = 0,036(N)$

+ Lực do q_2 tác dụng lên q_o:

$F_2 = k\frac{|q_1q_0|}{BC^2} = 9.10^9\frac{|10^{-7}10^{-7}|}{0,05^2} = 0,036(N)$

+ Hợp lực F tác dụng lên q_o:

$F = \sqrt{F_{10}^2 + F_{20}^2 + 2F_{10}F_{20}\cos\alpha}$

+ Từ hình ta có: $AC = CB = \sqrt{AH^2 + CH^2} = 5(cm)$

+ Định lý hàm cos: $8^2 = 5^2 + 5^2 - 2.5.5\cos(180 - \alpha) \Rightarrow \cos\alpha = \frac{7}{25}$

$\Rightarrow F = \sqrt{0,036^2 + 0,036^2 + 2.(0,036)^2\left(\frac{7}{25}\right)} \Rightarrow F = 0,0576(N)$

+ Vì F_1CF_2F là hình thoi nên CF song song với AB nên $\vec{F}$ có phương // AB.

✍ **Chú ý:** Ta có thể tính độ lớn của lực F như sau:

+ Vì $F_1 = F_2 = 0,036(N) \Rightarrow F = 2F_1.\cos\beta$ (với $\beta = \vec{F}_1; \vec{F}$)

+ Ta có: $\cos\beta = \frac{AH}{AC} \Rightarrow F = 2F_1.\frac{AH}{AC} = 2.0,036.\frac{4}{5} = 0,0576(N)$

VD2. Hai quả cầu nhỏ giống nhau bằng kim loại A và B đặt trong không khí, có điện tích lần lượt là $q_1 = -3,2.10^{-7}$ C và $q_2 = 2,4.10^{-7}$ C, cách nhau một khoảng 12 cm.

a) Xác định số electron thừa, thiếu ở mỗi quả cầu và lực tương tác điện giữa chúng.

b) Cho hai quả cầu tiếp xúc điện với nhau rồi đặt về chỗ cũ. Xác định lực tương tác điện giữa hai quả cầu sau đó.

Hướng dẫn giải:

a) Số electron thừa ở quả cầu A: $N_1 = \dfrac{3{,}2.10^{-7}}{1{,}6.10^{-19}} = 2.10^{12}$ electron.

Số electron thiếu ở quả cầu B: $N_2 = \dfrac{2{,}4.10^{-7}}{1{,}6.10^{-9}} = 1{,}5.10^{12}$ electron.

Lực tương tác điện giữa chúng là lực hút và có độ lớn:

$$F = k\frac{|q_1 q_2|}{r^2} = 9.10^9\frac{|-3{,}2.10^{-7}.2.4.10^{-7}|}{(12.10^{-2})^2} = 48.10^{-3}\ (N).$$

b) Khi cho hai quả cầu tiếp xúc với nhau rồi tách ra, điện tích của mỗi quả cầu là: $q_1' = q_2' = q' = \dfrac{q_1+q_2}{2} = \dfrac{-3{,}2.10^{-7}+2{,}4.10^{-7}}{2} = -0{,}4.10^{-7}$ C; lực tương tác giữa chúng lúc này là lực đẩy và có độ lớn:

$$F' = k\frac{|q_1'q_2'|}{r^2} = 9.10^9\ \frac{|(-4.10^{-7}).(-4.10^{-7})|}{(12.10^{-2})^2} = 10^{-3}\ N.$$

1.2. ĐIỆN TRƯỜNG, VÉC TƠ CƯỜNG ĐỘ ĐIỆN TRƯỜNG, NGUYÊN LÝ CHỒNG CHẤT

1.2.1. Khái niệm về điện trường

Khái niệm: Điện trường là một dạng vật chất đặc biệt mà biểu hiện của nó là khi đặt mọi điện tích vào trong điện trường đều bị điện trường tác dụng một lực .

Ứng dụng: Anten phát hay thu nhờ các electron dao động và truyền đi với vận tốc ánh sáng.

1.2.2. Véc tơ cường độ điện trường tại một điểm

Để đặc trưng cho độ mạnh của điện trường gây ra bởi một điện tích Q tại một điểm nào đó mà không phụ thuộc vào điện tích thử q_o người ta đưa ra véc tơ cường độ điện trường.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_o}. \qquad (1.1)$$

là véc tơ có: +) Trị số bằng lực tác dụng lên một đơn vị điện tích thử đặt tại điểm đó.

+) Phương trùng phương của lực, điểm đặt tại điểm đang xét .

+) $E = \dfrac{F}{q_0} = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\dfrac{Q}{r^2}$. (1.4)

Vậy: Véc tơ cường độ điện trường tại một điểm là đại lượng đặc trưng cho điện trường về phương diện tác dụng lực tại điểm ấy, được đo bằng thương số giữa lực tác dụng lên điện tích thử dương q_o đặt tại điểm đó và độ lớn của điện tích thử.

1.2.3. Nguyên lí chồng chất điện trường

Giả sử có một hệ điện tích $Q_1,........., Q_n$. Cường độ điện trường gây ra tại M là $\vec{E}_1$, $\vec{E}_2,...., \vec{E}_n$. Tại M nếu đặt một điện tích q_o, nó sẽ chịu tác dụng của các lực $\vec{F}_1, \vec{F}_2,....., \vec{F}_n$.

Ta có: $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + ... + \vec{F}_n$.

Chia cả hai vế cho q_o ta được:

$$\frac{\vec{F}}{q_o} = \frac{\vec{F}_1}{q_o} + ... + \frac{\vec{F}_n}{q_o} = \vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + ... + \vec{E}_n = \sum_{i=1}^{n} \vec{E}_i. \quad (1.5)$$

Nếu hệ điện tích liên tục (vật tích điện):

$$\vec{E}_M = \int_V d\vec{E}, \quad (1.6)$$

trong đó $d\vec{E}$ là véc tơ cường độ điện trường do một phần tử mang điện dq của hệ điện tích có thể tích V gây ra điện trường tại M.

VD1: Có hai điện tích điểm $q_1 = 0,5$ nC và $q_2 = -0,5$ nC lần lượt đặt tại hai điểm A, B cách nhau một đoạn a = 6 cm trong không khí. Hãy xác định cường độ điện trường $\vec{E}$ tại điểm M trong các trường hợp sau:

a) Điểm M là trung điểm của AB.

b) Điểm M cách A một đoạn 6 cm, cách B một đoạn 12 cm.

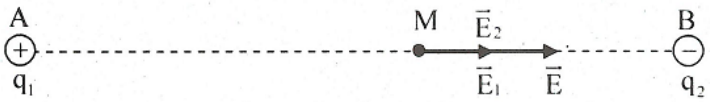
c) Điểm M nằm trên đường trung trực của AB và cách AB một đoạn 4 cm.

Hướng dẫn

a) Gọi $\vec{E}_1, \vec{E}_2$ lần lượt là cường độ điện trường do điện tích q_1 và q_2 gây ra tại M.

+ Vì : $\begin{cases} r_1 = r_2 = r \\ |q_1| = |q_2| = q \end{cases} \Rightarrow E_1 = E_2 = k\frac{|q|}{r_M^2} = 5000\left(V/m\right)$

+ Các vectơ $\vec{E}_1, \vec{E}_2$ được biểu diễn như hình vẽ.



+ Gọi $\vec{E}$ là điện trường tổng hợp do q_1 và q_2 gây ra tại M. Ta có: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$

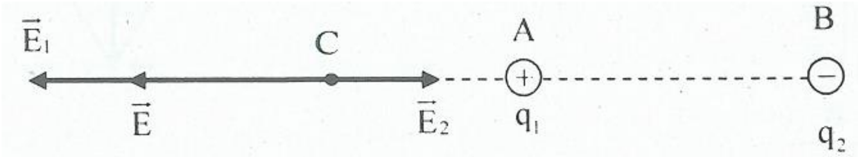
+ Vì $\vec{E}_1, \vec{E}_2$ cùng chiều nên: $E = E_1 + E_2 = 10000\left(V/m\right)$

+ Vậy $\vec{E}$ có điểm đặt tại M, phương AB, chiều từ A đến B, độ lớn 10000 V/m

b) Gọi $\vec{E}_1, \vec{E}_2$ lần lượt là cường độ điện trường do điện tích q_1 và q_2 gây ra tại M

+ Ta có: $\begin{cases} E_1 = k\frac{|q_1|}{r_1^2} = 9.10^9.\frac{0,5.10^{-9}}{0,06^2} = 1250\left(V/m\right) \\ E_2 = k\frac{|q_2|}{r_2^2} = 9.10^9.\frac{0,5.10^{-9}}{0,12^2} = 312,5\left(V/m\right) \end{cases}$

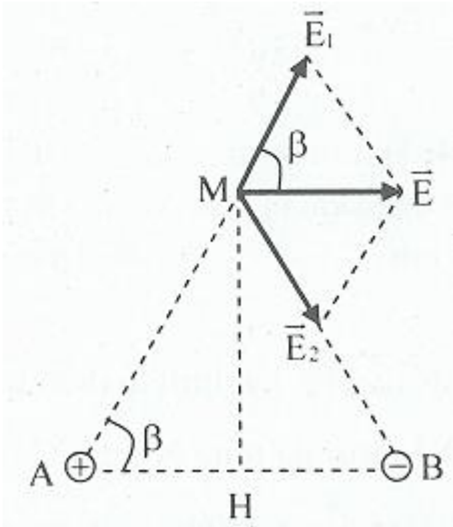
+ Các vectơ $\vec{E}_1, \vec{E}_2$ được biểu diễn như hình



+ Gọi $\vec{E}$ là điện trường tổng hợp do q_1 và q_2 gây ra tại M. Ta có: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$
+ Vì $\vec{E}_1, \vec{E}_2$ ngược chiều nên: $E = E_1 - E_2 = 937,5\left(V/m\right)$
+ Vậy $\vec{E}$ có điểm đặt tại M, phương AB, chiều từ B đến A, độ lớn 937,5 V/m

c) Gọi $\vec{E}_1, \vec{E}_2$ lần lượt là cường độ điện trường do điện tích q_1 và q_2 gây ra tại M

+ Vì độ lớn hai điện tích bằng nhau nên điểm M cách đều hai điện tích nên:



$$E_1 = E_2 = k\frac{|q|}{r^2} = k\frac{|q|}{MH^2 + HA^2}$$

$$= 9.10^9.\frac{0,5.10^{-9}}{0,05^2} = 1800\left(V/m\right)$$

+ Các vectơ $\vec{E}_1, \vec{E}_2$ được biểu diễn như hình
+ Vì $E_1 = E_2$ nên hình ME_1EE_2 là hình thoi nên:

$$ME = 2.MK = 2.ME_1\cos\beta \Leftrightarrow E = 2.E_1\cos\beta$$

$$\Rightarrow E = 2.E_1\frac{AH}{AM} = 2.1800.\frac{3}{\sqrt{3^2 + 4^2}} = 2160\left(V/m\right)$$

+ Do ME_1EE_2 là hình thoi nên ME song song AB. Vậy vectơ cường độ điện trường tổng hợp tại M có điểm đặt tại M, phương ME, chiều từ M đến E và có độ lớn 2160 V/m.

VD2: Hai điện tích dương $q_1 = q_2 = q$ đặt tại 2 điểm A, B trong không khí. Cho biết AB = 2a. M là điểm trên trung trực AB và cách AB đoạn x. Định x để cường độ điện trường tại M cực đại. Tính giá trị cực đại này ?

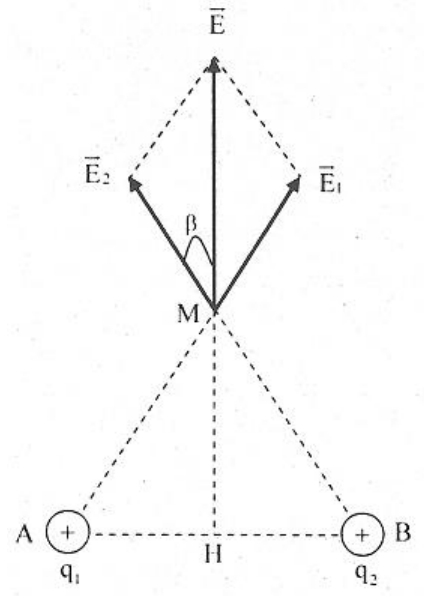
Hướng dẫn

+ Gọi $\vec{E}_1, \vec{E}_2$ lần lượt là cường độ điện trường do điện tích q_1 và q_2 gây ra tại M
+ Vì độ lớn hai điện tích bằng nhau và điểm M cách điều hai điện tích nên:
+ $E_1 = E_2 = k\frac{|q|}{r^2} = k\frac{|q|}{MH^2 + HA^2} = k\frac{q}{x^2 + a^2}$

+ Các vectơ $\vec{E}_1, \vec{E}_2$ được biểu diễn như hình vẽ.

+ Vì $E_1 = E_2$ nên hình ME_1EE_2 là hình thoi nên:

$ME = 2.MK = 2.ME_1 \cos\beta$



$$\Leftrightarrow E = 2.E_1 \cos\beta = 2k\frac{q}{x^2 + a^2}\frac{x}{\sqrt{x^2 + a^2}}$$

$$\Leftrightarrow E = \frac{2kqx}{\sqrt{\left(x^2 + a^2\right)^3}} = \frac{2kqx}{\sqrt{\left(\frac{a^2}{2} + \frac{a^2}{2} + x^2\right)^3}}$$

+ Theo bất đẳng thức Cô–si ta có:

$$\frac{a^2}{2} + \frac{a^2}{2} + x^2 \ge 3\sqrt[3]{\frac{a^2}{2}.\frac{a^2}{2}.x^2}$$

$$\Rightarrow \left(\frac{a^2}{2} + \frac{a^2}{2} + x^2\right)^3 = \frac{27}{4}a^4x^2$$

Vậy: $E_{max} = \frac{2kq}{\frac{3\sqrt{3}}{2}a^2} = \frac{4kq}{3\sqrt{3}a^2}$ khi $\frac{a^2}{2} = x^2 \Rightarrow x = \frac{a\sqrt{2}}{2}$

VD3: Hai điện tích $q_1 = 8.10^{-9}\,C$ và điện tích $q_2 = -2.10^{-9}\,C$ đặt tại A, B cách nhau 9 cm trong chân không. Gọi C là vị trí tại đó điện trường tổng hợp bằng 0. Điểm C cách A đoạn bằng bao nhiêu?

Hướng dẫn

+ Gọi $\vec{E}_1, \vec{E}_2$ lần lượt là điện trường do điện tích q_1 và q_2 gây ra tại điểm C

+ Điện trường tổng hợp tại C triệt tiêu nên ta có: $\vec{E}_1 + \vec{E}_2 = 0 \Rightarrow \vec{E}_1 = -\vec{E}_2$

+ Suy ra $\vec{E}_1$ cùng phương, ngược chiều với $\vec{E}_2$ nên điểm C phải nằm trên AB.

+ Do $q_1.q_2 < 0$ nên điểm C phải nằm bên ngoài AB hay: $|CA - CB| = AB = 9$ (1)

+ Lại có:

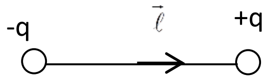
$$E_1 = E_2 \Rightarrow k\frac{|q_1|}{r_1^2} = k\frac{|q_2|}{r_2^2} \Leftrightarrow \frac{|q_1|}{CA^2} = \frac{|q_2|}{CB^2} \Rightarrow \frac{CA}{CB} = \sqrt{\frac{|q_1|}{|q_2|}} = 2 \Rightarrow CA = 2CB \quad (2)$$

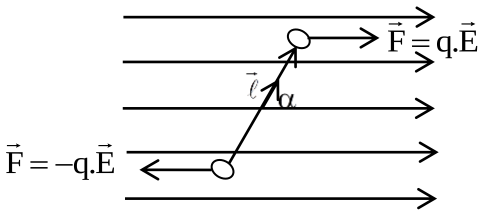
+ Thay (2) vào (1) $\Rightarrow CB = 9(cm)$ và $CA = 18$ cm

1.3. ỨNG DỤNG NGUYÊN LÝ CHỒNG CHẤT VÉC TƠ LƯỠNG CỰC ĐIỆN

1.3.1. Lưỡng cực điện đặt trong điện trường

Lưỡng cực điện đặt trong điện trường: Ta giả thiết lưỡng cực là một cấu trúc cứng gồm hai tâm có điện tích ngược dấu và có độ lớn bằng q cách nhau một khoảng ℓ. Mô men lưỡng cực tạo với véc tơ cường độ điện trường một góc α, ở hai đầu tích điện của lưỡng cực khi đặt vào điện trường sẽ chịu tác dụng của hai lực cùng phương, cùng độ lớn, ngược chiều. Như vậy tổng hợp lực tác dụng lên lưỡng cực bằng 0 nhưng lưỡng cực vẫn bị quay đi do khi đặt vào điện trường nó chịu tác dụng của ngẫu lực $\vec{F} = q\vec{E}$.





Mô men ngẫu lực đó được kí hiệu là M và

M= 2F $\frac{\ell}{2}$sinα = ℓF sinα $\rightarrow \vec{M} = \vec{\ell} \times \vec{F} = \vec{\ell} \times q\vec{E} = \vec{p} \times \vec{E}$. (1.7)

M= pEsinα, $\vec{p}$: Mô men lưỡng cực điện.

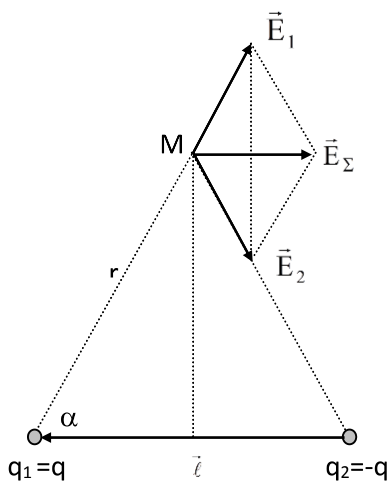
Lưỡng cực dừng lại khi mô men bằng 0, khi đó sinα= 0 tức là $\vec{p}$ và $\vec{E}$ cùng phương cùng chiều.

Điện trường gây ra bởi lưỡng cực điện: Xét cường độ điện trường tại điểm M cách đều và rất xa lưỡng cực điện ($r_1 = r_2 >> \ell$). Điện trường gây bởi từng điện tích riêng biệt: q_1 gây ra cường độ điện trường tại điểm M là $\vec{E}_1$ có cường độ $E_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{r^2}$; q_2 gây ra cường độ điện trường tại điểm M là $\vec{E}_2$ có cường độ $E_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{r^2}$.

Áp dụng nguyên lý chồng chất:

$\vec{E}_\Sigma = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$; có $E_1 = E_2$.

Hướng của $\vec{E}_\Sigma$ là đường chéo hình thoi song song và ngược chiều với véc tơ lưỡng cực điện $\vec{p}$.



Cường độ $E_\Sigma = 2E_1 \cos\alpha$,

trong đó $\cos\alpha = \frac{\ell}{2r_1} \approx \frac{\ell}{2r}$ vì $\ell << r_1$ nên $r_1 \approx r$

$$\rightarrow E_\Sigma = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q\ell}{r^3}.$$

Biểu diễn dạng véc tơ: $\vec{E}_\Sigma = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q\vec{\ell}}{r^3} = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{\vec{p}}{r^3}$.

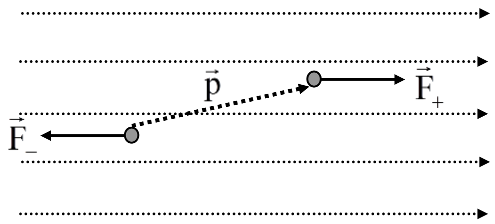
Trong chất điện môi, hằng số ε thì:

$$\vec{E}_\Sigma = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_o\varepsilon}\frac{q\vec{\ell}}{r^3} = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_o\varepsilon}\frac{\vec{p}}{r^3}. \tag{1.8}$$

Xét trường hợp đặc biệt: Xét cường độ điện trường tại điểm M nằm trên trục lưỡng cực và cách tâm của lưỡng cực một khoảng r, bằng phương pháp tương tự như trên người ta đã xác định

$$\vec{E}_\Sigma = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o\varepsilon}\frac{2\vec{p}}{r^3}. \tag{1.9}$$

Lưỡng cực điện đặt trong điện trường đều:



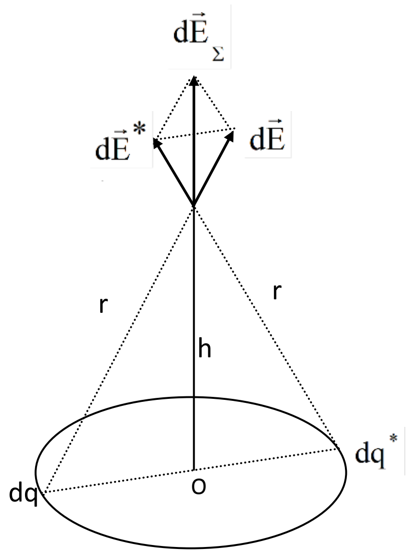
Ngẫu lực của $\vec{F}_+$; $\vec{F}_-$ có xu hướng làm cho lưỡng cực điện xoay định hướng song song và cùng chiều với véc tơ cường độ điện trường $\vec{E}$.

Ý nghĩa: Các phân tử chất điện môi khi đặt vào trong điện trường sẽ bị phân cực (sẽ xét tại chương sau) tạo thành các lưỡng cực điện.

Ứng dụng: lò vi sóng

1.3.2. Ứng dụng nguyên lý chồng chất

Ứng dụng quan trọng nhất của nguyên lý chồng chất là giải quyết được bài toán tính cường độ điện trường gây bởi một hệ điện tích rời rạc hoặc vật thể mang điện. Sau đây ta hãy xét một số ví dụ :



Ví dụ 1: Xác định cường độ điện trường gây bởi một vòng dây dẫn mảnh, bán kính R, tích điện đều mật độ λ, tại một điểm M cách mặt phẳng vòng dây khoảng cách là h.

Nhận xét: Mọi cặp phần tử điện tích bất kì dq và dq^* thuộc

vòng tròn tích điện gây ra điện trường tổng hợp tại M là $d\vec{E}_\Sigma$.

Véc tơ $d\vec{E}_\Sigma$ có hướng vuông góc với mặt phẳng chứa vòng tròn, có cường độ:

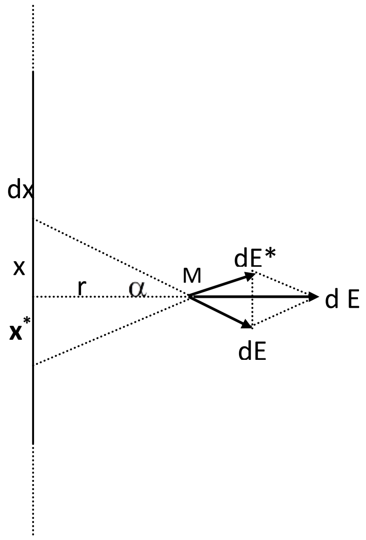
$$dE_\Sigma = 2dE\cos\alpha = 2\frac{dq}{4\pi\varepsilon_o\varepsilon}\frac{h}{r^3} = \frac{h.dq}{\pi\varepsilon_o\varepsilon\left(R^2+h^2\right)^{\frac{3}{2}}}.$$

Véc tơ cường độ điện trường tổng hợp do cả vòng tròn tích điện gây ra tại điểm M là $\vec{E}_\Sigma$ có hướng vuông góc với mặt phẳng chứa vòng tròn, có cường độ được tính như sau:

$$E_\Sigma = \int_{Vg.tron} dE_\Sigma = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon}\frac{h}{\left(R^2+h^2\right)^{\frac{3}{2}}}\int_{Vg.tron}\lambda dl$$, với λ là mật độ vòng dây.

Ví dụ 2: Xác định cường độ điện trường gây bởi một dây dẫn mảnh thẳng, dài vô hạn, tích điện đều mật độ λ, tại một điểm M cách dây tích điện khoảng cách là r.

Nhận xét: Hai phần tử nhỏ đối xứng dx và dx^* thuộc dây tích điện gây ra điện trường tổng hợp $d\vec{E}_\Sigma$ có hướng vuông góc với đường thẳng chứa dây, có cường độ được xác định:



$$dE_\Sigma = 2dE.\cos\alpha\,,$$

có: $$\cos\alpha = \frac{r}{\sqrt{r^2+x^2}} \text{ và}$$

$$dE = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o\varepsilon}\frac{dq}{(r^2+x^2)} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o\varepsilon}\frac{\lambda dx}{(r^2+x^2)}\,,$$

$$dx = \left(r.tag\alpha\right)' d\alpha = r\frac{d\alpha}{\cos^2\alpha}\,,$$

thay vào:

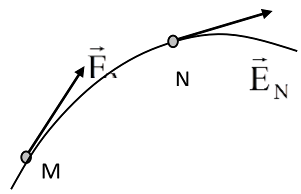
$$dE = \frac{2}{4\pi\varepsilon_o\varepsilon}\frac{\lambda}{(r^2+x^2)}\frac{r^2}{\sqrt{r^2+x^2}}\frac{d\alpha}{\dfrac{r^2}{(r^2+x^2)}} = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_o\varepsilon}\frac{d\alpha}{\sqrt{r^2+x^2}} = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_o\varepsilon}\frac{\cos\alpha}{r}d\alpha\,.$$

+ Xác định véc tơ cường độ điện trường $\vec{E}$ do cả dây tích điện gây ra tại điểm M: Có hướng vuông góc với đường thẳng chứa dây, cường độ tính như sau:

$$E = \int_{Day} dE_\Sigma = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_o\varepsilon r}\int_0^{\frac{\pi}{2}}\cos\alpha d\alpha = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_o\varepsilon r}\,.$$

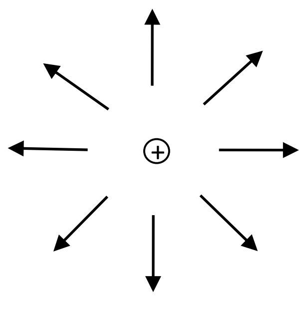
1.4. ĐỊNH LÍ ASTROGRATXKI- GAUSS

1.4.1. Đường sức điện trường



Trong một điện trường bất kì, véc tơ cường độ điện trường có thể thay đổi từ điểm này qua điểm khác cả về hướng và độ lớn. Để có một hình ảnh khái quát và cụ thể về sự thay đổi ấy, người ta dùng khái niệm đường sức điện trường.

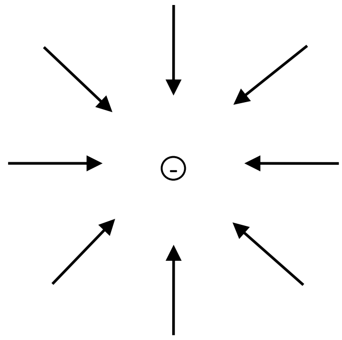
Khái niệm: Là đường mà tiếp tuyến tại mỗi điểm của nó trùng với phương của véc tơ cường độ điện trường tại điểm đó, chiều của đường sức là chiều của véc tơ cường độ điện trường tại điểm đó.



Phổ các đường sức điện trường (điện phổ): Là tập hợp các đường sức của điện trường.

Tính chất đường sức:

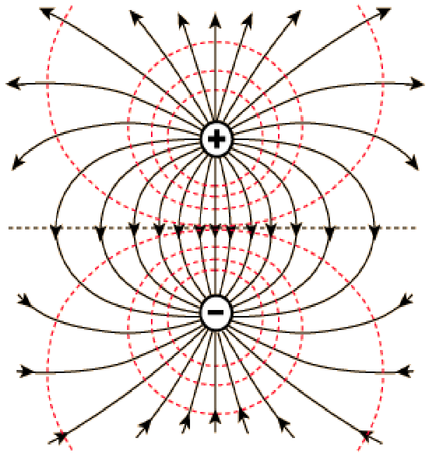
+ Là những đường cong hở, xuất phát từ điện tích dương và kết thúc tại điện tích âm.



+ Các đường sức không cắt nhau, qua một điểm chỉ có thể vẽ được một đường sức.

1.4.2. Véc tơ cường độ điện trường. Thông lượng điện trường

Quy ước: Số đường sức vẽ qua một đơn vị diện tích vuông góc với đường sức có trị số bằng giá trị cường độ điện trường tại đó, do vậy chỗ nào đường sức mau thì điện trường mạnh và ngược lại đường sức thưa thì điện trường yếu.



$E = \dfrac{d\phi_E}{dS_n}$ $E = \dfrac{d\phi_E}{dS}$ $d\phi_D = \overrightarrow{D}.\overrightarrow{dS}$ = Giá trị cường độ điện trường = Số đường sức qua một đơn vị diện tích vuông góc với véc tơ cường độ điện trường.

$d\phi_E$: Thông lượng điện trường.

ds_n: Diện tích vuông góc với đường sức điện trường.

1.4.3. Véc tơ điện cảm - Thông lượng điện cảm

Sự gián đoạn của đường sức điện trường:

Cường độ điện trường tỉ lệ với $\varepsilon\varepsilon_o$, do đó khi đi qua mặt phân cách giữa hai môi trường, giá trị của cường độ điện trường bị thay đổi, nên hình ảnh phổ của đường sức bị gián đoạn ở mặt phân cách của hai môi trường. Số đường sức thay đổi gây khó khăn cho việc tính toán. Do đó người ta đưa ra véc tơ điện cảm $\vec{D}$.

Véc tơ điện cảm $(\vec{D})$:

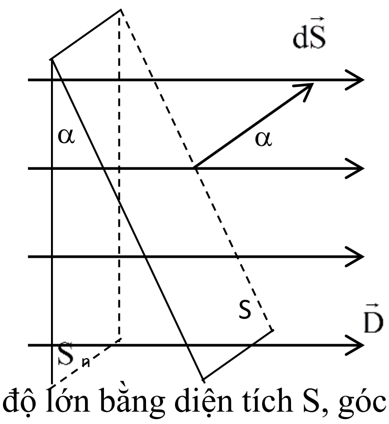
Người ta đưa ra đại lượng mới sao cho thoả mãn các đặc điểm sau:

+ Đại lượng đặc trưng cho điện trường tại mỗi điểm giống như cường độ điện trường, đại lượng này không phụ thuộc vào $\varepsilon\varepsilon_o$.

+ Phổ đường sức điện cảm về tính chất cũng giống như phổ đường sức điện trường nhưng nó không bị gián đoạn khi vẽ qua các môi trường không đồng nhất về hằng số điện môi.

+ Để thoả mãn các đặc điểm trên thì $\vec{D} = \varepsilon\varepsilon_0\vec{E}$. (1.10)

Số đường sức điện cảm: $D = \dfrac{d\phi_D}{dS_n}$ = Số đường sức điện cảm qua một đơn vị diện tích vuông góc với véc tơ điện cảm.



$d\phi_D$: Thông lượng điện cảm

dS_n: Diện tích vuông góc với đường sức điện trường

Thông lượng điện cảm gửi qua diện tích S đặt không vuông góc với đường sức điện cảm. Khi đó từ thông gửi qua mặt S có trị số bằng từ thông gửi qua mặt S_n.

$d\phi_D = D.ds_n = D.dS.\cos\alpha$.

Đặt $\vec{S}$ là véc tơ cùng hướng với pháp tuyến của mặt S có độ lớn bằng diện tích S, góc α hợp bởi giữa mặt S và S_n đồng thời cũng là góc hợp bởi giữa véc tơ $\vec{S}$ và véc tơ $\vec{D}$.

$d\phi_D = \overrightarrow{D}.\overrightarrow{dS}$ (α:góc hợp bởi $\vec{D}.d\vec{S}$).

Vậy thông lượng điện cảm: $\phi_D = \int \vec{D}.d\vec{S}$. (1.11)

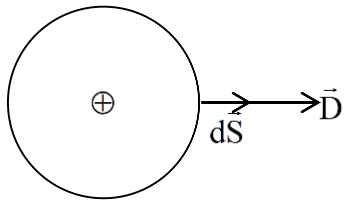
Biểu thức ϕ_D gửi qua mặt S bất kì trong điện trường không đều: Để tính thông lượng điện cảm gửi qua mặt S bất kì trong một từ trường không đều ta tiến hành như sau:

+ Lấy một diện tích rất nhỏ dS thuộc mặt S, khi đó mặt dS coi như phẳng và điện trường tại mọi điểm trên dS coi như đều. Ta có thông lượng điện cảm dN gửi qua diện tích dS là:

$$d\phi_D = \vec{D}.d\vec{S} = D.dS.\cos\alpha.$$

+ Thông lượng điện cảm gửi qua mặt S: $\phi_D = \int_S d\phi_D = \int_S \vec{D}.\vec{dS}$

1.4.4. Định lí ASTROGRATXKI- GAUSS



Định lí Astrogratxki-Gauss cho phép ta tính thông lượng điện cảm ϕ_D qua một mặt kín bất kì.

Xét trường hợp cho điện tích điểm nằm trong mặt kín:

Trước tiên để đơn giản nhất ta lấy mặt kín là mặt cầu S mà điện tích điểm q nằm tại tâm mặt cầu đó. Tại mọi điểm trên mặt cầu có r như nhau, góc giữa pháp tuyến mặt cầu và đường sức điện cảm α=0 do đó:

$$\phi_D = \int \vec{D}.d\vec{S} = \int D.dS.\cos\alpha, (\cos\alpha=1)$$

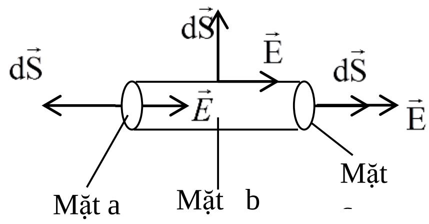
$$\phi_D = \frac{1}{4\pi}\frac{q}{r^2}4\pi r^2 = q. \qquad (1.12)$$

Vậy thông lượng điện cảm $\phi_D = q$.

Xét một mặt S_0 bất kì bao xung quanh mặt cầu S trên, đường sức điện cảm là những đường cong hở nên rõ ràng số đường sức qua mặt S_0 bất kì chính là qua mặt cầu S. Vậy $\phi_D = q$

Xét trường hợp mặt kín nằm trong lòng điện trường:

Đặt một mặt Gauss có dạng một mặt trụ bán kính R được đặt trong một điện trường đều $\vec{E}$. Trục của hình trụ song song với điện trường việc này giống như điện tích đặt ngoài mặt kín. Thông lượng điện cảm ϕ_D qua mặt kín bằng thông lượng điện cảm qua hai mặt đáy và một mặt bên.



$$\phi_D = \int \vec{D}.\vec{dS} = \int \varepsilon\varepsilon_0.\vec{E}.\vec{dS} = \int_{(a)} \varepsilon\varepsilon_0.\vec{E}.\vec{dS} + \int_{(b)} \varepsilon\varepsilon_0.\vec{E}.\vec{dS} + \int_{(c)} \varepsilon\varepsilon_0.\vec{E}.\vec{dS}$$

$$= \int \varepsilon\varepsilon_0 E.dS.\cos180^0 + \int \varepsilon\varepsilon_0 E.dS.\cos90^0 + \int \varepsilon\varepsilon_0 E.dS.\cos0^0 = 0.$$

Vậy $\phi_D = 0$.

Xét một mặt S_0 bất kì bao xung quanh mặt Gauss hình trụ S trên, đường sức điện cảm là những đường cong hở nên rõ ràng số đường sức qua mặt S_0 bất kì chính là qua mặt Gauss hình trụ S, nên $\phi_D = 0$.

Kết luận: - Thông lượng điện cảm qua một mặt kín bất kì phụ thuộc vào độ lớn của điện tích chứa bên trong mặt kín, không phụ thuộc vào độ lớn của điện tích chứa bên ngoài mặt kín .

- Nếu trong mặt kín có nhiều điện tích :

$$\Rightarrow \ \phi_D = q_1 + q_2 + ... + q_n \ .$$

Thông lượng điện cảm gửi qua một mặt kín có độ lớn bằng tổng đại số tất cả các điện tích trong mặt kín đó.

Các điện tích phân bố rời rạc: $\phi_D = \sum_{i=1}^{n} \phi_{D_i} = \sum_{i=1}^{n} q_i$ (1.13)

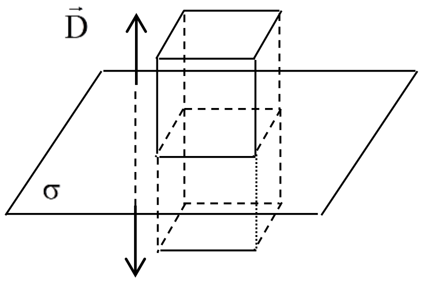
Các điện tích phân bố liên tục: $\phi_D = \int dq$. (1.14)

Nếu q dương thông lượng toàn phần đi ra, q âm thông lượng toàn phần đi vào.

1.4.5. Ứng dụng định luật ASTROGRATXKI- GAUSS

Véc tơ cường độ điện trường gây bởi một mặt phẳng vô hạn tích điện đều mật độ điện mặt σ *(giả sử* $\sigma > 0$*):*

Lấy mặt Gauss là một hình hộp chữ nhật vuông góc với mặt phẳng, mặt phẳng chia mặt Gauss thành hai hình hộp chữ nhật như hình vẽ.



$\vec{D}$ song song với các mặt bên nên số đường sức điện cảm qua các mặt bên bằng không.

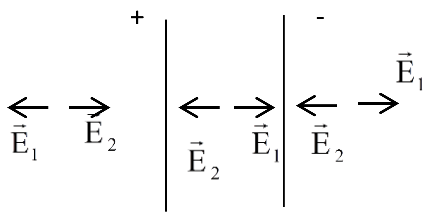
Số các đường sức điện cảm qua hai mặt đáy là:

$$N = 2D.\Delta S = \sum_{i=1}^{n} q_i ,$$

$$D = \frac{\sum q_i}{2\Delta S} = \frac{\sigma}{2} \Rightarrow E = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0} . \quad (1.15)$$

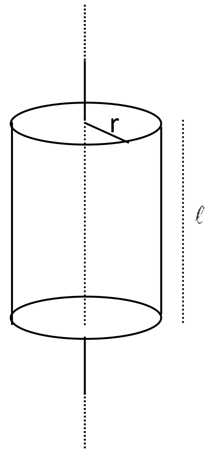
Điện trường gây bởi hai mặt phẳng vô hạn tích điện đều trái dấu mật độ điện mặt σ .

Véc tơ cường độ điện trường đi ra từ bản dương và đi vào bản âm như hình vẽ. Dễ dàng nhận thấy cường độ điện trường chỉ tập trung giữa hai bản điện tích trái dấu và có độ lớn



$$E = E_1 + E_2 = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0} + \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0} .$$

Tính cường độ điện trường gây bởi một dây dẫn mảnh dài vô hạn tích điện đều với mật độ điện tích là λ tại một điểm M cách dây dẫn một khoảng r.



Chọn mặt kín là mặt hình trụ, dây dẫn trùng với trục hình trụ, độ cao hình trụ là ℓ, do vậy hình trụ kín bọc lấy một phần dây dẫn có chiều dài ℓ, điện lượng $q=\lambda.\ell$

Véc tơ điện cảm $\vec{D}$ tại mọi điểm M cách đều dây dẫn có cùng độ lớn hướng trùng với hướng véc tơ pháp tuyến $\vec{n}_{x.q}$ của mặt xung quanh hình trụ và vuông góc với véctơ pháp tuyến $\vec{n}_{đáy}$ của hai đáy.

Tính thông lượng điện cảm gửi qua mặt $S_{trụ}$ và áp dụng định lý O - G

$$N_{tru\ kín} = 2N_{đáy} + N_{x.quanh} = 2\int_{S_{đáy}} D.dS_{đáy}\cos 90^{o} + \int_{S_{x.quanh}} D.dS_{x.quanh}\cos 0^{o}$$

$$N_{tru\ kin} = \int_{S_{x.quanh}} D.dS_{x.quanh} = \varepsilon_o\varepsilon E\int_{S_{x.quanh}} dS_{x.quanh} = \varepsilon_o\varepsilon ES_{x.quanh} = \varepsilon_o\varepsilon E2\pi r\ell.$$

Theo định lí Gauss thì $N = \sum_i q_i = \lambda\ell$,

thay trên vào ta được $\lambda\ell = \varepsilon\varepsilon_o E2\pi r\ell \rightarrow E = \dfrac{\lambda}{2\pi\varepsilon\varepsilon_o r}$. (1.16)

Kết quả này hoàn toàn trùng với phương pháp áp dụng nguyên lý chồng chất.

1.5. THẾ NĂNG CỦA TRƯỜNG TĨNH ĐIỆN. KHÁI NIỆM ĐIỆN THẾ VÀ HIỆU ĐIỆN THẾ

1.5.1. Công của lực tĩnh điện

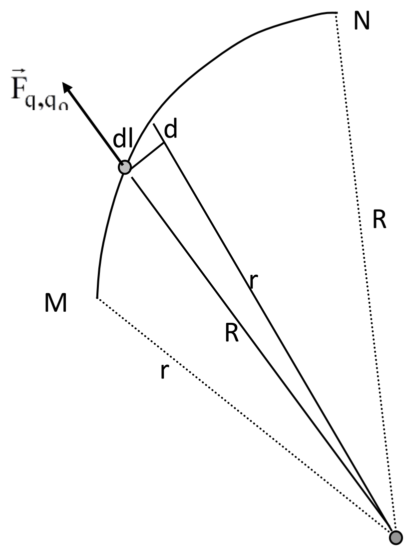
Ta đã biết $A_{MN} = \dfrac{qq_o}{4\pi\varepsilon_o\varepsilon}\left(-\dfrac{1}{r}\right)\Bigg|_{r_M}^{r_N} = \dfrac{qq_o}{4\pi\varepsilon_o\varepsilon\, r_M} - \dfrac{qq_o}{4\pi\varepsilon_o\varepsilon\, r_N}$. Nếu điện tích q_o dịch chuyển trong điện trường của hệ điện tích điểm, thì lực tác dụng lên điện tích q_o phải là: $\vec{F} = \sum_{i=1}^{n}\vec{F}_i$, và công của lực tổng hợp đó sẽ bằng:

$$A_{MN} = \int_M^N \sum_{i=1}^{n}\vec{F}_i.d\vec{\ell} = \sum_{i=1}^{n}\int_M^N \vec{F}_i.d\vec{\ell} = \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{q_iq_o}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o r_{iM}} - \frac{q_iq_o}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o r_{iN}}\right),$$
$$A_{MN} = \sum_{i=1}^{n}\frac{q_iq_o}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o r_{iM}} - \sum_{i=1}^{n}\frac{q_iq_o}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o r_{iN}}. \quad (1.17)$$

Nhận xét: Công của lực tĩnh điện làm dịch chuyển điện tích q_o trong trường tĩnh điện, không phụ thuộc vào hình dạng đường đi của điện tích q_o trong trường tĩnh điện, mà chỉ phụ thuộc vào vị trí điểm đầu và điểm cuối trong trường tĩnh điện.

Trường mà công không phụ thuộc vào hình dạng đường đi, mà chỉ phụ thuộc vào vị trí điểm đầu và điểm cuối là trường lực thế.

Do vậy trường tĩnh điện là trường lực thế.



$$A = k\frac{qq_o}{\varepsilon r_M} - k\frac{qq_o}{\varepsilon r_N}. \qquad (1.18)$$

Công của lực tác dụng lên vật trong trường lực thế bằng độ giảm thế năng của lực đó trong trường lực. Do vậy công của lực tĩnh điện trong sự dịch chuyển điện tích q_o trong điện trường cũng bằng độ giảm thế năng W_t của điện tích q_o đó trong điện trường. Tức là:

$$A_{MN} = W_M - W_N, \qquad (1.19)$$

với W_M, W_N là thế năng tĩnh điện của điện tích q_o tại mỗi điểm tương ứng M, N và có thể viết là:

$$W_M = \sum_{i=1}^{n}\frac{q_i q_o}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o r_{iM}}, \quad W_N = \sum_{i=1}^{n}\frac{q_i q_o}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o r_{iN}}. \qquad (1.20)$$

Viết lại biểu thức $A_{MN} = \dfrac{qq_o}{4\pi\varepsilon_o\varepsilon\, r_M} - \dfrac{qq_o}{4\pi\varepsilon_o\varepsilon\, r_N} = W_M - W_N$. (1.21)

với r_M, r_N là khoảng cách tương đối của điện tích thử q_o đến hai điểm M và N. Từ đó ta có thể viết biểu thức tổng quát của thế năng tĩnh điện của điện tích q_o tại một điểm trong trường là:

$$W = \frac{qq_o}{4\pi\varepsilon_o\varepsilon r} + C,$$

trong đó C là một hằng số tuỳ ý, và W còn được gọi là *thế năng tương tác* của hệ điện tích q và q_o.

Công của trường tĩnh điện làm chuyển dời điện tích thử dương q_o từ một điểm ra xa vô cực:

$$A_{M,\infty} = \int_M^\infty \vec{F}.d\vec{\ell} = \int_M^\infty q_o\vec{E}.d\vec{\ell} = \frac{qq_o}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o r_M} - \frac{qq_o}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o \infty} = \frac{qq_o}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o r_M} - 0,$$

$$A_{M,\infty} = \int_M^\infty q_o\vec{E}.d\vec{\ell} = \frac{qq_o}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o r_M} = W_M. \qquad (1.22)$$

Vậy: *Thế năng tĩnh điện của điện tích điểm q_o tại một điểm trong điện trường có giá trị bằng công của lực tĩnh điện trong sự dịch chuyển điện tích đó từ điểm đang xét ra xa vô cực.*

1.5.2. Điện thế và hiệu điện thế

Điện thế

Thế năng tĩnh điện (W) của điện tích q_o đặt tại một điểm trong điện trường phụ thuộc vào độ lớn điện tích q gây ra điện trường, vào vị trí điểm đang khảo sát và phụ thuộc cả vào độ lớn điện tích q_o. Tỉ số $\dfrac{W}{q_o}$ chỉ còn phụ thuộc vào độ lớn điện tích q gây ra điện trường và vào vị trí điểm đang khảo sát, không còn phụ thuộc vào độ lớn điện tích q_o.

Tỉ số trên có giá trị bằng công làm dịch chuyển một đơn vị điện tích từ một điểm ra xa vô cực, nó đặc trưng cho điện trường về mặt năng lượng tại một điểm trong điện trường. Gọi đó là điện thế, kí hiệu là V.

$$V_M = \frac{W_M}{q_o} = \frac{A_{M,\infty}}{q_o} = \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o r_M},$$

nếu q> 0 thì tại điểm M có điện thế dương, và nếu q< 0 thì ngược lại.

Nếu điện trường gây bởi nhiều điện tích điểm điện thế tại một điểm sẽ được áp dụng theo nguyên lý chồng chất:

$$V_M = \sum V_i = \sum_{i=1}^{n} \frac{q_i}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o r_{iM}}. \quad (1.23)$$

Nếu điện thế gây bởi một vật bất kì mang điện phân bố liên tục ta chia vật đó thành vô số các phần tử vô cùng nhỏ dq và coi mỗi phần tử đó là một điện tích điểm.

$$dV = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o}\frac{dq}{r} \rightarrow V = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o}\int \frac{dq}{r}. \quad (1.24)$$

Định nghĩa: Điện thế tại một điểm trong điện trường là đại lượng được đo bằng thương số giữa công của lực điện trường làm dịch chuyển điện tích thử dương q_o từ điểm đó ra xa vô cực và độ lớn điện tích thử đó.

Hiệu điện thế

Hiệu điện thế giữa hai điểm M và N trong điện trường có giá trị bằng hiệu số điện thế giữa hai điểm đó, kí hiệu là U_{MN}.

$$A_{MN} = W_M - W_N = q_o(V_M - V_N).$$

$$U_{MN} = V_M - V_N = \frac{A_{MN}}{q_o}. \quad (1.25)$$

Định nghĩa: Hiệu điện thế giữa hai điểm M, N trong điện trường là đại lượng có trị số bằng công của lực tĩnh điện trong sự dịch chuyển một đơn vị điện tích dương từ điểm M đến điểm N.

1.5.3. Liên hệ điện thế với điện trường

$$U_{MN} = V_M - V_N = \frac{A_{MN}}{q_o} = \int_M^N \vec{E}.d\vec{\ell}, \quad (1.26)$$

khi điện trường đều $U_{MN} = V_M - V_N = Ed$, (1.27)

với d là khoảng cách MN dọc theo đường sức điện trường.

VD1: Hiệu điện thế giữa hai điểm C và D trong điện trường là U_{CD}= 200V. Tính:

a. Công của điện trường di chuyển proton từ C đến D

b. Công của lực điện trường di chuyển electron từ C đến D.

Hướng dẫn giải:

a. Công của lực điện trường di chuyển proton:

$$A = q_p U_{CD} = 1,6.10^{-19}200 = 3,2.10^{-17}\,J$$

b. Công của lực điện trường di chuyển e:

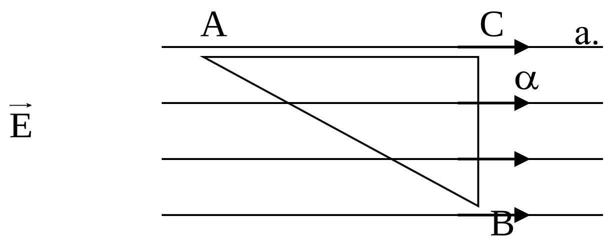
$$A = eU_{CD} = -1,6.10^{-19}200 = -3,2.10^{-17}\,J$$

VD2: Ba điểm A, B, C là ba đỉnh của một tam giác vuông trong điện trường đều, cường độ E=5000V/m. Đường sức điện trường song song với AC. Biết AC = 4cm, CB = 3cm. Góc ACB=90^0.

a. Tính hiệu điện thế giữa các điểm A và B, B và C, C và A

b. Tích công di chuyển một electro từ A đến B

Hướng dẫn giải:



a. Ta có:

$$U_{AB} = E.AB.\cos\alpha = E.AC = 200V$$

$$U_{BC} = E.BC\cos 90^0 = 0$$

$$U_{CA} = -U_{AC} = -200V$$

b. Công dịch chuyển electron:

$$A_{AB} = e.U_{AB} = -3,2.10^{-17}\,J$$

VD3: Một electron di chuyển một đoạn 6 cm, từ điểm M đến điểm N dọc theo một đường sức điện của điện trường đều thì lực điện sinh công $9,6.10^{-18}$ J.

a) Tính công mà lực điện sinh ra khi electron di chuyển tiếp 4 cm từ điểm N đến điểm P theo phương và chiều nói trên.

b) Tính vận tốc của electron khi nó đến điểm P. Biết rằng tại M, electron có vận tốc bằng 0. Khối lượng và điện tích của electron lần lượt là $9,1.10^{-31}\,kg$ và $-1,6.10^{-19}$ C.

Hướng dẫn

a) Công của electron sinh ra khi electron di chuyển từ M đến N: $A_{MN} = qEd_{MN}$

+ Vì A và E đều dương, còn q âm nên suy ra $d_{MN} < 0 \Rightarrow d_{MN} = -0,06(m)$

Suy ra electron đang di chuyển ngược chiều vectơ $\vec{E}$

+ Do đó ta có: $E = \dfrac{A_{MN}}{qd_{MN}} = \dfrac{9,6.10^{-18}}{(-1,6.10^{-19}).(-0,06)} = 1000(V/m)$

+ Công mà electron di chuyển tiếp đoạn 4 cm:

$A_{NP} = qEd_{NP} = (-1,6.10^{-19}).1000(0,04.\cos 180°) = 6,4.10^{-18}(J)$

b) Khi electron di chuyển từ M đến P thì chịu tác dụng của ngoại lực là lực điện trường nên theo định lí động năng ta có: $W_{đ-P} - W_{đ-M} = A_{ngoại-lực}$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{2}mv_P^2 - 0 = qEd_{MP} \Rightarrow v_P = \sqrt{\frac{2qEd_{MP}}{m}}$$

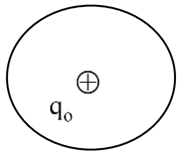
$$\Leftrightarrow v_P = \sqrt{\frac{2qEd_{MP}}{m}} = \sqrt{\frac{2.(-1,6.10^{-19}).1000.(0,1.\cos 180°)}{9,1.10^{-31}}} \approx 5,93.10^6(m/s)$$

1.5.4. Mặt đẳng thế

Quỹ tích những điểm có cùng một điện thế tạo thành mặt đẳng thế.

Ví dụ: Mặt cầu tại tâm chứa điện tích q

$$V = \frac{q_o}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r}, \; C = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R.$$



Tính chất mặt đẳng thế:

+) $A_{MN} = U_{MN} q_o = 0.q_o = 0$.

Trên mặt đẳng thế công làm dịch chuyển điện tích điểm q_o trên mặt đẳng thế bằng 0.

+) Mà $A_{MN} = q_o U_{MN} = 0 = \int \vec{E}.d\vec{l} = \int E.d\ell \cos\alpha = 0$ khi đó $\alpha = 90^o$.

Trên mặt đẳng thế véc tơ cường độ điện trường $\vec{E}$ luôn vuông góc mặt đẳng thế.

1.5.5. Vật dẫn đặt trong trường tĩnh điện

Tính chất của vật dẫn mang điện.

Trong vật dẫn có các electron tự do. Nếu tích điện cho một vật dẫn một điện tích q các điện tích tương tác với nhau, chuyển động và phân lại đến khi lực tổng hợp lên mỗi điện tích bằng 0 (nếu khác 0 thì còn chuyển động) do đó E trong vật dẫn bằng 0.

Tính chất của trạng thái cân bằng tĩnh điện.

$$N = \int \vec{D}.d\vec{S} = \int D.dS.\cos\alpha = \int \varepsilon\varepsilon_0 E.dS.\cos\alpha = 0,$$

mà $N = \Sigma q = 0$, nên điện tích phân bố bên trong vật dẫn bằng không.

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

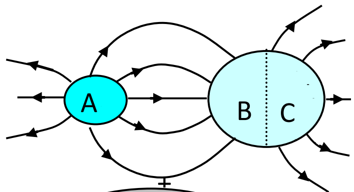
Trên bề mặt các điện tích đứng yên (cân bằng) $A_{MN} = 0$ do đó $W_M = W_N$. Vậy vật cân bằng là mặt đẳng thế.

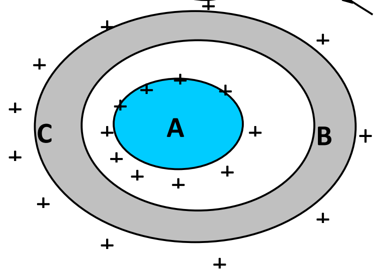
Vật dẫn đặt trong điện trường.

Hiện tượng điện hưởng: Đặt một vật dẫn vào gần một vật tích điện. Dưới tác dụng của điện trường do vật tích điện gây ra, các điện tích vật dẫn sẽ chuyển động. Các điện tích cùng dấu với với điện tích của vật mang điện sẽ chuyển động về phía xa vật dẫn và ngược lại. Kết quả 2 đầu vật dẫn sẽ tích điện trái dấu.

Hiện tượng vật dẫn phân bố lại điện tích dưới tác dụng của của một vật mang điện gọi là hiện tượng điện hưởng.

Người ta phân thành hai loại điện hưởng.





+ *Điện hưởng một phần:* Là hiện tượng điện hưởng trong đó độ lớn của điện tích cảm ứng nhỏ hơn độ lớn điện tích trên bề mặt vật dẫn. Trên hình biểu diễn điện hưởng một phần, chỉ có một số đường cảm ứng xuất phát từ vật A và kết thúc ở (B,C), còn một số đường cảm ứng khác xuất phát từ A và lại đi ra vô cùng.

$$|q_B| = |q_C| < |q_A| .$$

+ *Điện hưởng toàn phần:* Là hiện tượng điện hưởng trong đó độ lớn của điện tích cảm ứng bằng độ lớn điện tích trên bề mặt vật dẫn.

Trên hình biểu diễn điện hưởng toàn phần, toàn bộ các đường cảm ứng xuất phát từ vật A và kết thúc trên vật (B,C).

$$|q_B| = |q_C| = |q_A|.$$

Ứng dụng :

Hiệu ứng mũi nhọn: Tại các mũi nhọn mật độ điện tích lớn.

Màn điện: Để tránh ảnh hưởng của điện trường xung quanh tới một dụng cụ nào đó ,người ta bọc nó bằng bằng một vỏ kim loại kín, do đó dù có để gần các vật có điện, điện trường trong lòng nó vẫn bằng không.

BÀI TẬP

Bài 1. Trên đỉnh của tam giác ABC đặt lần lượt các điện tích $q_1=3.10^{-8}$ c, $q_2=5.10^{-8}$ c, và $q_3=-10.10^{-8}$ c. Biết AC=3cm, AB =4cm, BC=5cm. Hằng số điện môi ε =2. Xác định lực tác dụng lên điện tích q_1.

Bài 2. Có hai điện tích điểm $q_1=8.10^{-8}$ c, $q_2=-3.10^{-8}$ c, đặt trong không khí cách nhau một khoảng d=10 cm. Tính cường độ điện trường tại điểm Avà B. Biết điểm A nằm trên đường nối hai điện tích và cách q_1 một khoảng 4.10^{-2} m, điểm B nằm cách q_1 một khoảng 7.10^{-2} m và q_2 một khoảng 9.10^{-2} m.

Bài 3. Đặt cố định ba điện tích điểm có điện tích $q_1=4.10^{-12}$c, $q_2=1,6.10^{-12}$c, $q_3=\frac{8}{3}10^{-12}$c theo thứ tự tại ba đỉnh của một tam giác ($\hat{A}=90^0, \hat{B}=30^0, BC=4cm$).

a. Hãy xác định hướng và độ lớn của lực điện tác dụng lên điện tích q_1.

b. Đặt một tấm điện môi là bản phẳng song song bề dày 2cm, hằng số điện môi là 2 sao cho BC vuông góc với bản phẳng. Hãy xác định lực tương tác của hai điện tích đặt tại hai điểm B, C.

Bài 4. Một vòng dây dẫn được tích điện đều với điện tích $q=5.10^{-8}$ c, bán kính vòng dây R=5 cm.

a. Tính cường độ điện trường tại tâm vòng dây.

b. Cường độ điện trường ở một điểm A nằm cách tâm vòng dây một đoạn 10 cm.

c. Tìm vị trí trên trục của vòng dây để có cường độ điện trường cực đại .

Bài 5. Cho hai điện tích $q_1=5.10^{-8}$ c, $q_2=-3.10^{-8}$ c đặt cách nhau 5 cm.

a. Tìm điểm có cường độ điện trường bằng 0.

b. Tính cường độ điện trường tại điểm nằm cách q_1 một khoảng 4.10^{-2} m và q_2 một khoảng 7.10^{-2} m.

Bài 6. Mặt phẳng vô hạn mang điện đều, gần đó ta treo một quả cầu khối lượng m=2kg tích điện $q = 5.10^{-7}$ c. Dây treo quả cầu lệch đi 45^o. Tính mật độ điện mặt của mặt phẳng biết cả hệ đặt trong không khí.

Bài 7. Xác định véc tơ điện cảm D do một dây thẳng dài vô hạn, tích điện đều, mật độ điện dài $\lambda > 0$ gây ra tại điểm cách dây một khoảng x.

Bài 8. Ba điện tích điểm $q_1 = +12.10^{-9}C$, $q_2 = -6.10^{-9}C$, $q_3 = + 5.10^{-9}C$ đặt tại ba đỉnh của một tam giác đều có cạnh a = 20cm trong không khí. Xác định điện thế tại tâm của tam giác đó.

Bài 9. Ba điểm A, B, C nằm trong điện trường đều tạo thành tam giác vuông tại C, trong đó AC = 4cm, BC = 3cm, $E = 5.10^3$ V/m. Tính

a. Hiệu điện thế U_{AC}, U_{BC}, U_{AB}

b. Công của lực điện khi di chuyển một electron từ A đến B.

Bài 10. Tính điện thế do một đĩa tròn tâm O bán kính R tích điện đều với điện tích Q gây ra tại một điểm nằm trên trục của đĩa và cách tâm một đoạn là h.