CHƯƠNG 1 –
ĐIỆN TRƯỜNG TĨNH

1. Mở đầu

Điện tích

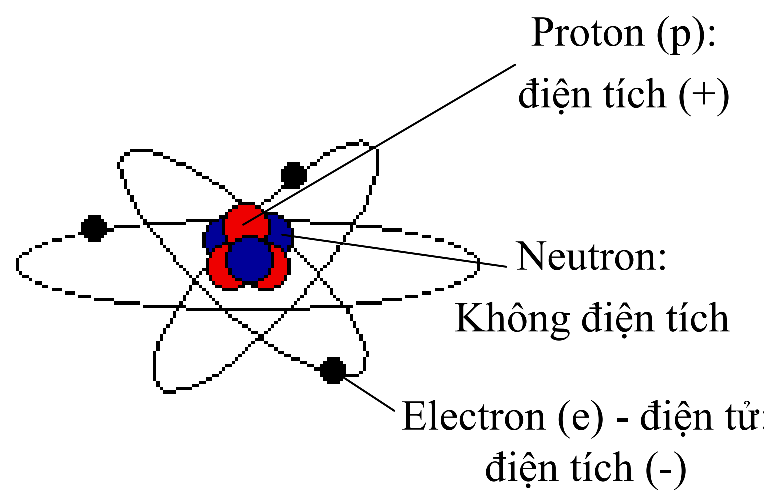
☞ Thuộc tính tự nhiên của những hạt cơ bản có kích thước rất nhỏ (không thể nhìn thấy bằng mắt thường) tạo lên liên kết về điện trong nguyên tử.

Nguyên tử

☞ Phần tử cơ sở cấu tạo vật chất:

↳ Trạng thái bình thường: trung hòa điện ⇒ số e và p bằng nhau,

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



Điện tích điểm

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

1. Mở đầu

Điện tích nguyên tố

☞ Điện tích của một electron (hoặc một proton) có giá trị là là $1,6 \cdot 10^{-19}$ C, được qui ước làm giá trị một đơn vi điện tích.

Hạt cơ bản	Khối lượng	Điện tích
Electron	$9,11.10^{-31}$ kg	$-1,60.10^{-19}$ C (-e)
Proton	$1,672.10^{-27}$ kg	$+1,60.10^{-19}$ C (+p)
Neutron	$1,674.10^{-27}$ kg	0

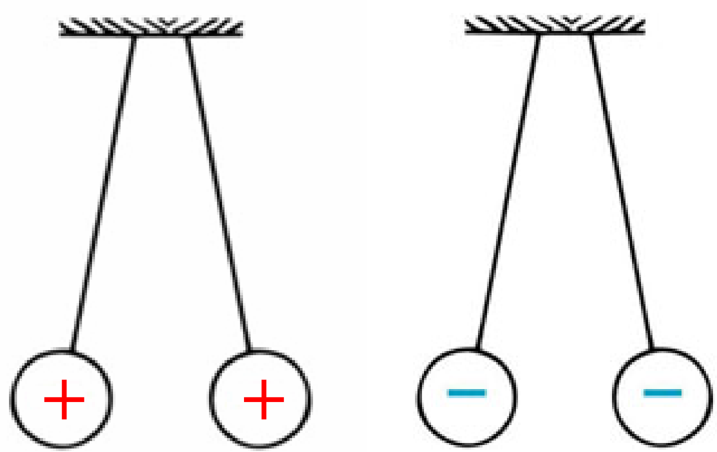
Điện tích của vật thể tích điện

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

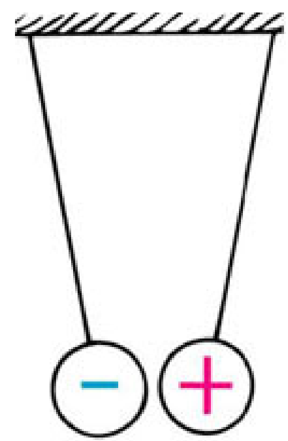
1. Mở đầu

Phân loại

Điện tích dương (+) và điện tích âm (-)



Cùng dấu: đẩy nhau

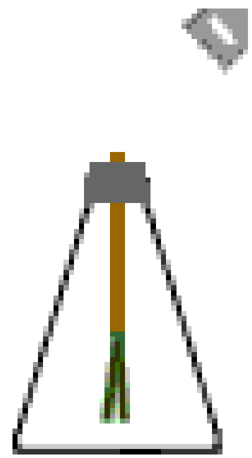


Khác dấu: hút nhau

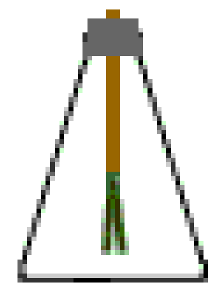
1. Mở đầu

Truyền điện tĩnh

Ma sát (tiếp xúc)



Cảm ứng
(điện hưởng)



Dẫn điện

Bảo toàn điện tích

Điện tích không tự sinh ra hay mất đi mà chỉ dịch chuyển bên trong một vật hoặc từ vật này sang vật khác

1. Mở đầu

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

☞ Vật liệu dẫn điện: Điện tích có thể chuyển động tự do trong toàn bộ thể tích vật (kim loại)

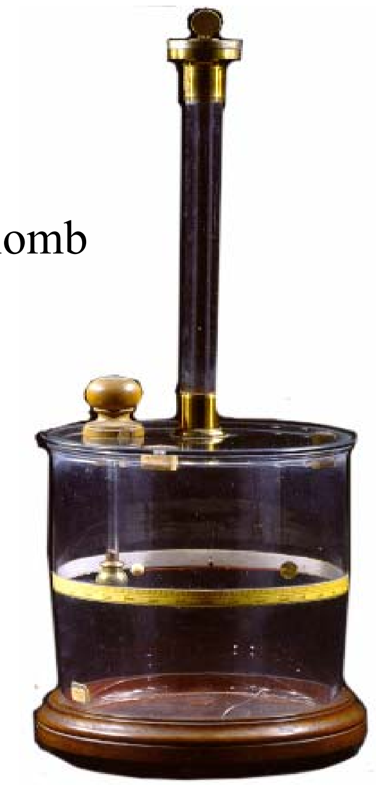
☞ Vật liệu cách điện – điện môi: Điện tích định xứ cố định tại những miền nào đó, và không thể di chuyển tự do trong vật liệu (cao su, chất dẻo, gỗ, giấy, không khí khô …)

☞ Vật liệu bán dẫn: Điện tích cũng định xứ cố định tại những miền nào đó, nhưng có thể di chuyển tự do trong vật liệu dưới tác động của nhiệt độ, ánh sáng hoặc điện trường ngoài (silicon, germanium…).

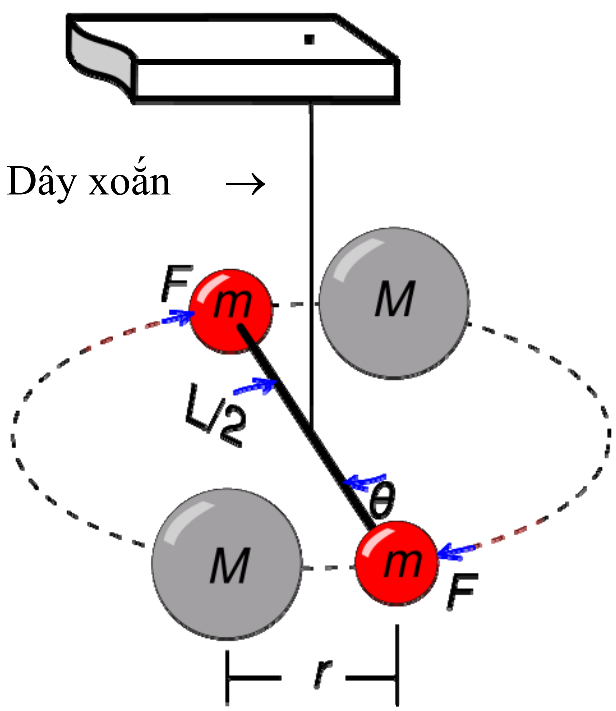
Charles-Augustin de Coulomb

2. Định luật Coulomb

(Định luật về tương tác tĩnh điện)



Cân xoắn Coulomb

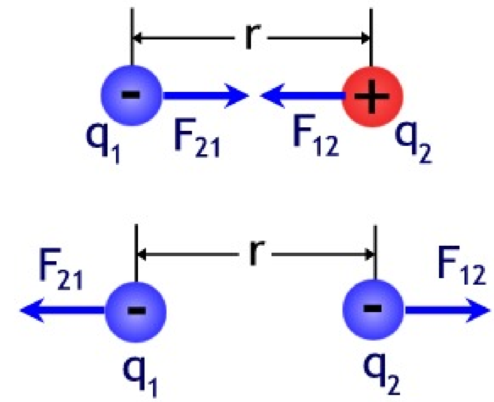


Nguyên lý xác định tương tác tĩnh điện bằng cân xoắn Coulomb

2. Định luật Coulomb

Lực tương tác giữa 2 điện tích điểm

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



$$\boxed{|F| = k\frac{|q_1 q_2|}{r^2}}$$

Tổng quát: $\boxed{\vec{F} = k\frac{q_1 q_2}{r^2}\frac{\vec{r}}{r}}$

Hệ số tỉ lệ: $\boxed{k = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}}$

Trong chân không: $\boxed{k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9.10^9\frac{Nm^2}{C^2}}$

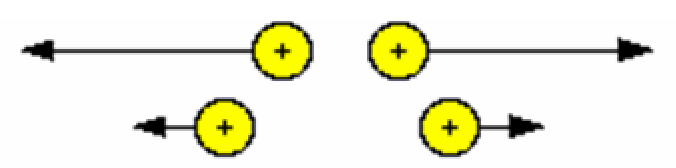
Với: $\boxed{\varepsilon_0 = 8{,}85.10^{-12}\frac{C^2}{N.m^2}}$

2. Định luật Coulomb

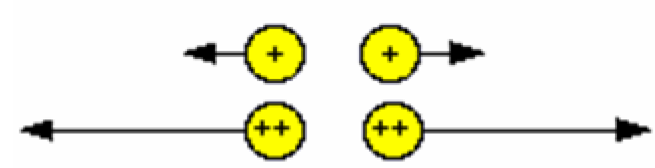
Đặc điểm

☞ Lực Coulomb phụ thuộc khoảng cách và độ lớn các điện tích

$$|F| = \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

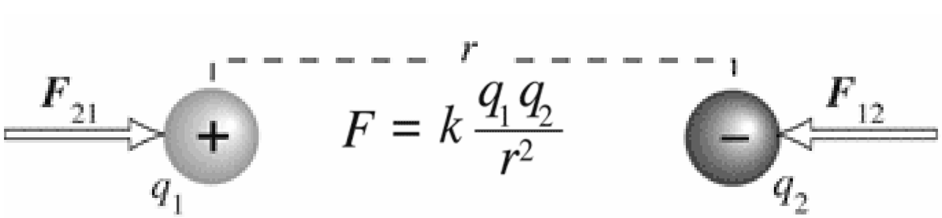


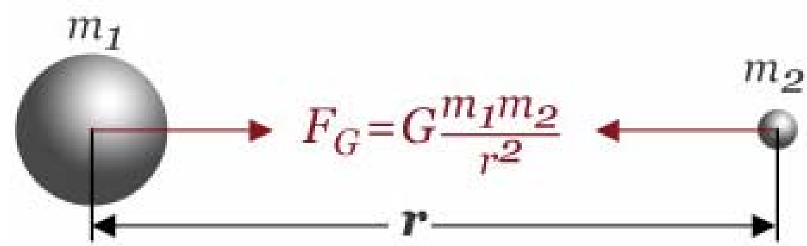
Gấp đôi khoảng cách, lực giảm 1/4



Gấp đôi điện tích, lực tăng 4 lần

☞ Lực Coulomb và lực hấp dẫn





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

↳ Đ/v electron: $q = 1{,}6.10^{-19}$ C, $m = 9{,}31.10^{-31}$ kg $\Rightarrow \dfrac{F_e}{F_G} = 4{,}17.10^{42}$

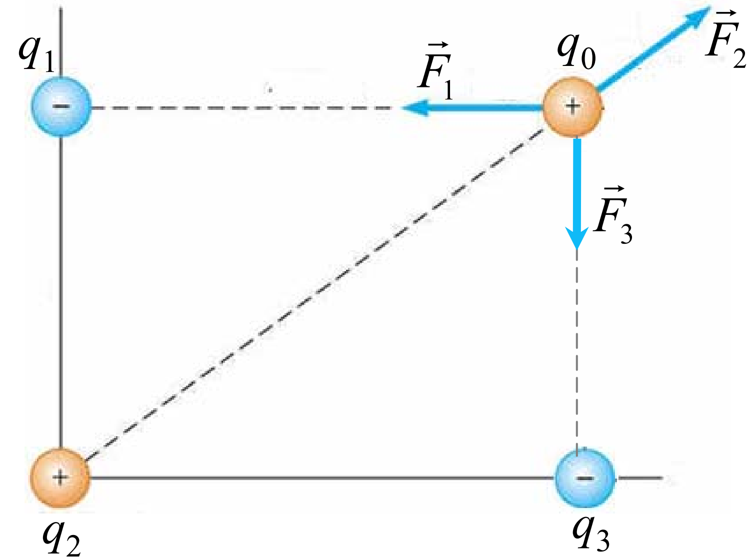
2. Định luật Coulomb

Nguyên lý chồng chất

☞ Điện tích q_0 chịu tác dụng của các lực $\vec{F}_1, \vec{F}_2, ..., \vec{F}_n$ gây bởi hệ đ/tích $q_1, q_2, ..., q_n$

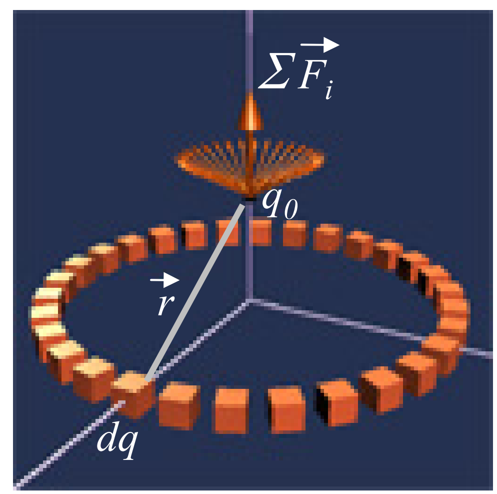
↳ Tương tác tổng cộng của hệ điện tích lên q_0:

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



↳ Vật bất kỳ (vòng tròn) mang điện tích q tác dụng lên điện tích điểm q_0 $\Rightarrow$ có thể chia nhỏ q thành các điện tích vô cùng nhỏ dq sao cho dq được coi là điện tích điểm $\Rightarrow$ xác đinh lực tổng hợp của các điện tích dq lên q_0.

↳ 2 quả cầu đồng chất phân bố điện tích đều $\Rightarrow$ coi như 2 đ/tích điểm có vị trí tại tâm 2 quả cầu và r là khoảng cách tính từ tâm của chúng.



3. Điện trường

“Trường”

☞ Không gian mà một đại lượng vật lý được xác định tại mỗi điểm trong đó.

- Đại lượng vector $\Rightarrow$ trường vector
- Đại lượng vô hướng $\Rightarrow$ trường vô hướng

Khái niệm điện trường

☞ Thuyết tác dụng xa:

- Tương tác giữa các điện tích điểm được truyền đi tức thời ($v \sim \infty$)
- Tương tác được thực hiện không có sự tham gia của vật chất trung gian
- Khi chỉ có 1 điện tích $\Rightarrow$ tính chất vật lý của khoảng không gian bao quanh bị biến đổi.

Tồn tại vận động phi vật chất $\Rightarrow$ trái với triết học duy vật biện chứng $\Rightarrow$ Không phù hợp!

3. Điện trường

Khái niệm điện trường

☞ Thuyết tác dụng gần:

- ↳ Tương tác giữa các điện tích điểm được truyền đi không tức thời (*v* hữu hạn)
- ↳ Tương tác được thực hiện thông qua sự tham gia của vật chất trung gian
- ↳ Khi chỉ có 1 điện tích ⇒ tạo ra điện trường xung quanh ⇒ giữ vai trò truyền tương tác.

Phù hợp với triết học duy vật biện chứng ⇒ được khoa học công nhận!

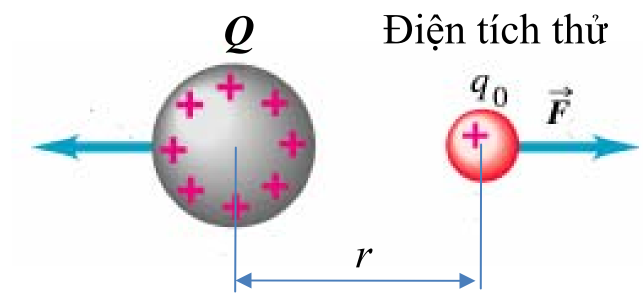
☞ Đ/nghĩa: *Điện trường là khoảng không gian bao quanh các điện tích, thông qua đó tương tác (lực) tĩnh điện được xác định*.

↳ Điện trường là trường vector.

3. Điện trường

Vector cường độ điện trường

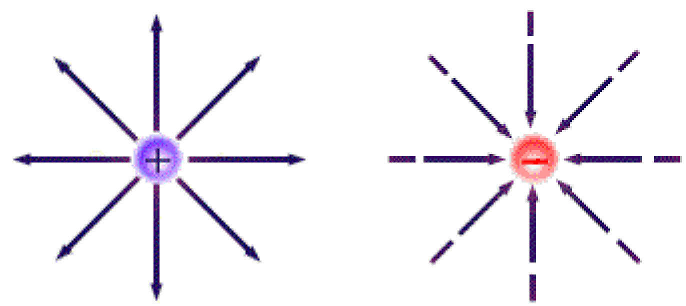
☞ Xét điện tích q_0 đặt trong điện trường của Q



↳ Lực Coulomb

$$\vec{F} = k\frac{Qq_0}{r^2}\frac{\vec{r}}{r} = q_0\left(k\frac{Q}{r^2}\frac{\vec{r}}{r}\right) = q_0.\vec{E}$$

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



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

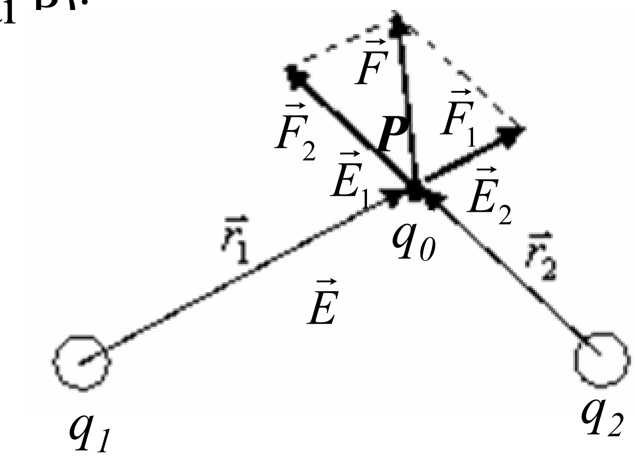
$$\boxed{E = k\frac{Q}{r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2} = 9.10^9\frac{Q}{r^2}}$$

☞ **Đơn vị**: N/C hoặc V/m

3. Điện trường

Nguyên lý chồng chập điện trường

☞ Xét q_1, q_2 tác dụng lực $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ lên q_0 (đặt tại P):



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

$$\Rightarrow \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{\vec{F}_1}{q_0} + \frac{\vec{F}_2}{q_0}$$

➪ Điện trường gây bởi q_1 và q_2:

$$\boxed{\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\left(\frac{q_1}{r_1^2}\frac{\vec{r}_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2^2}\frac{\vec{r}_2}{r_2}\right)}$$

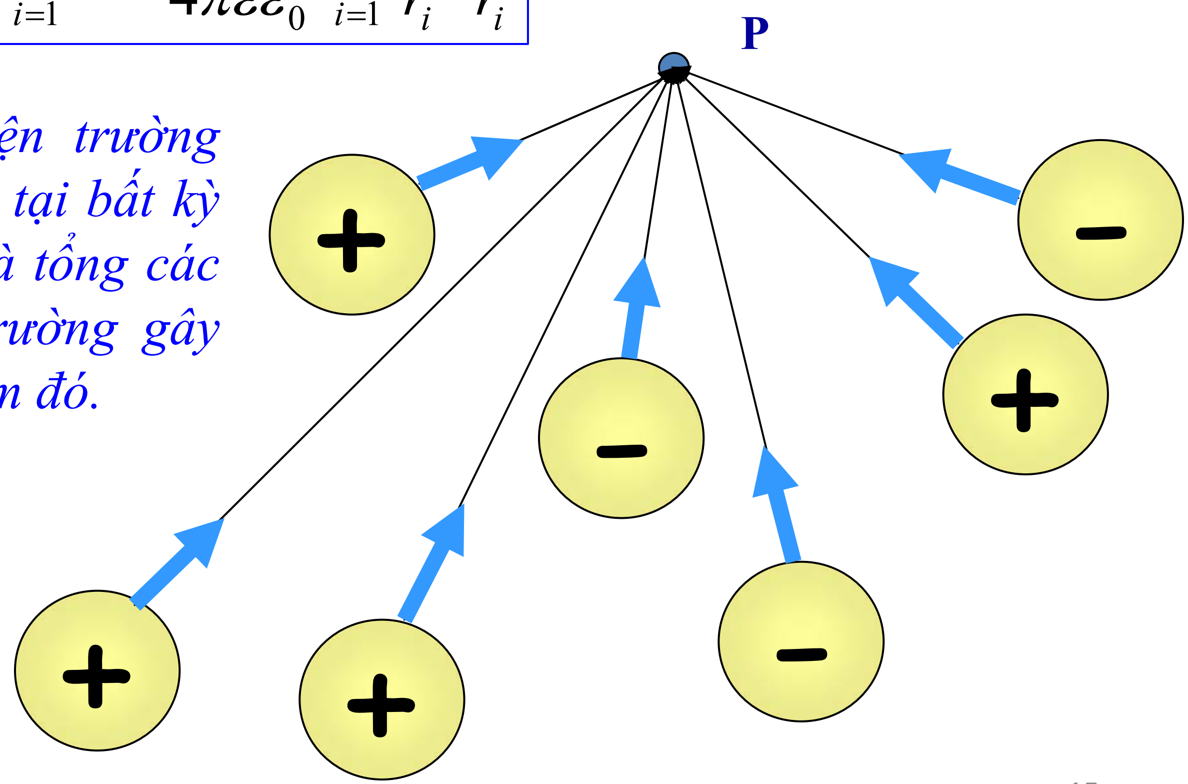
3. Điện trường

Nguyên lý chồng chập điện trường

☞ Điện trường gây bởi *n* điện tích điểm tại vị trí bất kỳ:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \ldots + \vec{E}_n = \sum_{i=1}^{n} \vec{E}_i = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} \sum_{i=1}^{n} \frac{q_i}{r_i^2} \frac{\vec{r}_i}{r_i}$$

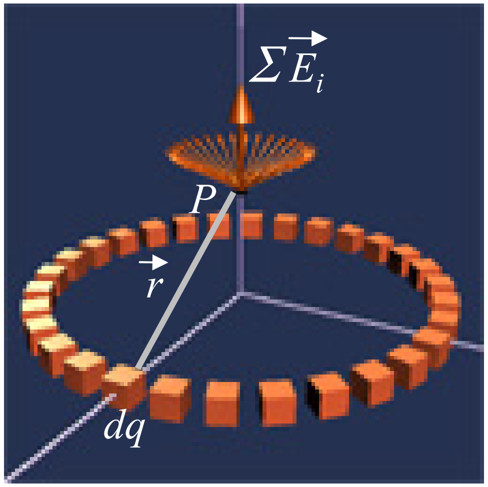
Vector cường độ điện trường gây bởi một hệ điện tích tại bất kỳ điểm nào trong trường là tổng các vector cường độ điện trường gây bởi từng điện tích tại điểm đó.



3. Điện trường

Nguyên lý chồng chập điện trường

☞ Điện trường gây bởi vật mang điện có điện tích phân bố liên tục:



↳ Chia vật thành vô số các phần tử vô cùng nhỏ mang điện tích dq ⇔ điện tích điểm.

↳ Điện trường gây bởi dq tại 1 điểm cách dq đoạn r:

$$d\vec{E} = \frac{9.10^9}{\varepsilon}\frac{dq}{r^2}\frac{\vec{r}}{r}$$

↳ Điện trường tổng hợp gây bởi toàn bộ vật mang điện tại 1 điểm trong không gian của điện trường:

$$\vec{E} = \int_{\text{toàn bộ vật}} d\vec{E} = \frac{9.10^9}{\varepsilon}\int_{\text{toàn bộ vật}} \frac{dq}{r^2}\frac{\vec{r}}{r}$$

3. Điện trường

Nguyên lý chồng chập điện trường

☞ Điện trường gây bởi vật mang điện có điện tích phân bố liên tục

➥ Dây tích điện có độ dài l

Đ/tích của vi phân độ dài: $dq = \lambda dl$

(λ: mật độ điện dài = điện tích/đơn vị độ dài)

$$\Rightarrow \vec{E} = \frac{9.10^9}{\varepsilon}\int_{(l)} \frac{\lambda dl}{r^2}\frac{\vec{r}}{r}$$

➥ Mặt tích điện có diện tích S

Đ/tích của vi phân diện tích: $dq = \sigma dS$

(σ: mật độ điện mặt = điện tích/đơn vị diện tích)

$$\Rightarrow \vec{E} = \frac{9.10^9}{\varepsilon}\int_{(l)} \frac{\sigma dS}{r^2}\frac{\vec{r}}{r}$$

➥ Khối tích điện có thể tích V

Đ/tích của vi phân thể tích: $dq = \rho dV$

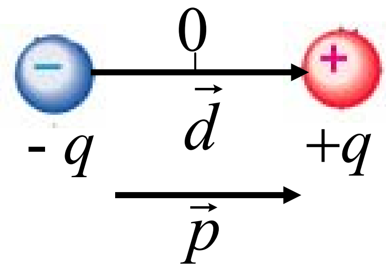
(ρ : mật độ điện khối = đ/tích/đơn vị thể tích)

$$\Rightarrow \vec{E} = \frac{9.10^9}{\varepsilon}\int_{(l)} \frac{\rho dV}{r^2}\frac{\vec{r}}{r}$$

3. Điện trường

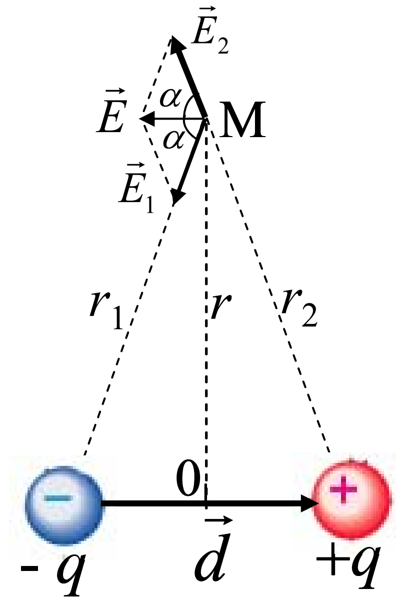
Lưỡng cực điện

☞ Hệ 2 điện tích điểm trái dấu có độ lớn bằng nhau cách nhau một khoảng *d* (rất nhỏ) $\boxed{\vec{p}_e = q\vec{d}}$



Điện trường gây bởi lưỡng cực điện

↳ Tại điểm nằm trên đường trung trực ($r >> d$)

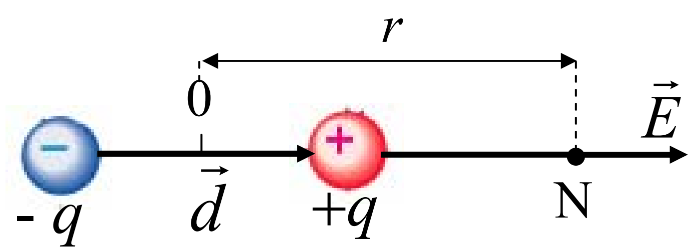


Có: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$ với: $E_1 = E_2 = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\dfrac{q}{r^2}$

hay: $E = E_1.\cos\alpha + E_2.\cos\alpha = 2E_1.\cos\alpha\ ;\ (\cos\alpha = d/2r_1)$

$$\Rightarrow \boxed{E = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{qd}{r^2}} \quad \text{hay:} \quad \boxed{\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{\vec{p}_e}{r^3}}$$

↳ Tại điểm nằm trên trục lưỡng cực ($r >> d$)

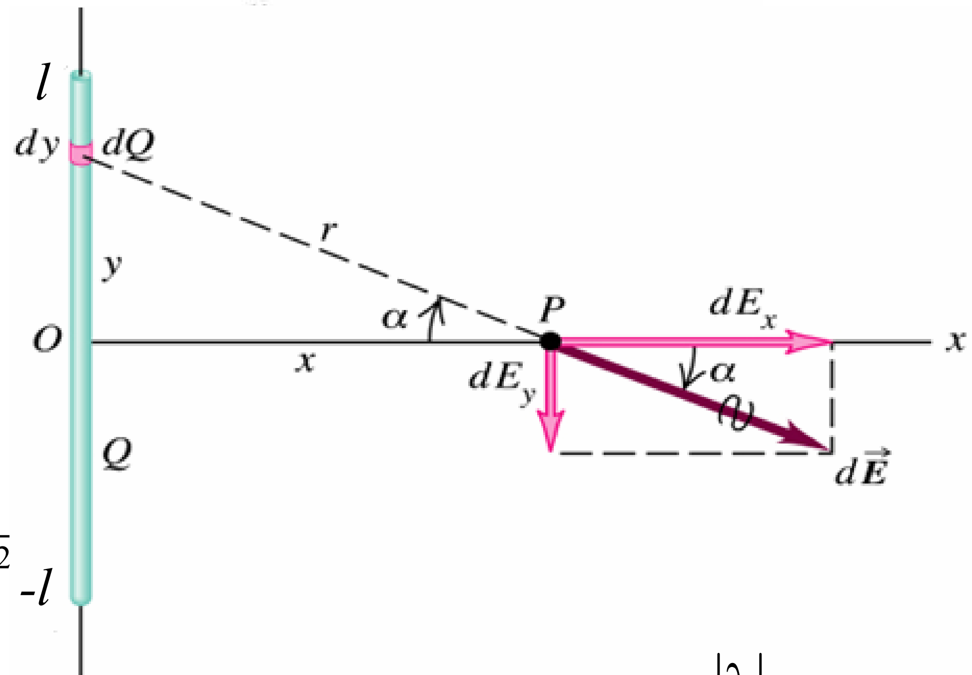


Có: $\boxed{\vec{E} = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\dfrac{2\vec{p}_e}{r^3}}$

3. Điện trường

Điện trường gây bởi dây dẫn thẳng dài vô hạn

☞ Dây: độ dài $2l$, điện tích Q, mật độ điện tích dài λ.



↳ Vi phân độ dài dy, có điện tích:

$$dQ = \frac{Q}{2l}dy = \lambda dy$$

↳ Điện trường tại P gây bởi dQ:

$$d\vec{E} = d\vec{E}_x + d\vec{E}_y$$

$$E = E_x = \int dE_x = \frac{\lambda x}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\int_{-l}^{+l}\frac{dy}{\left(x^2+y^2\right)^{3/2}}$$

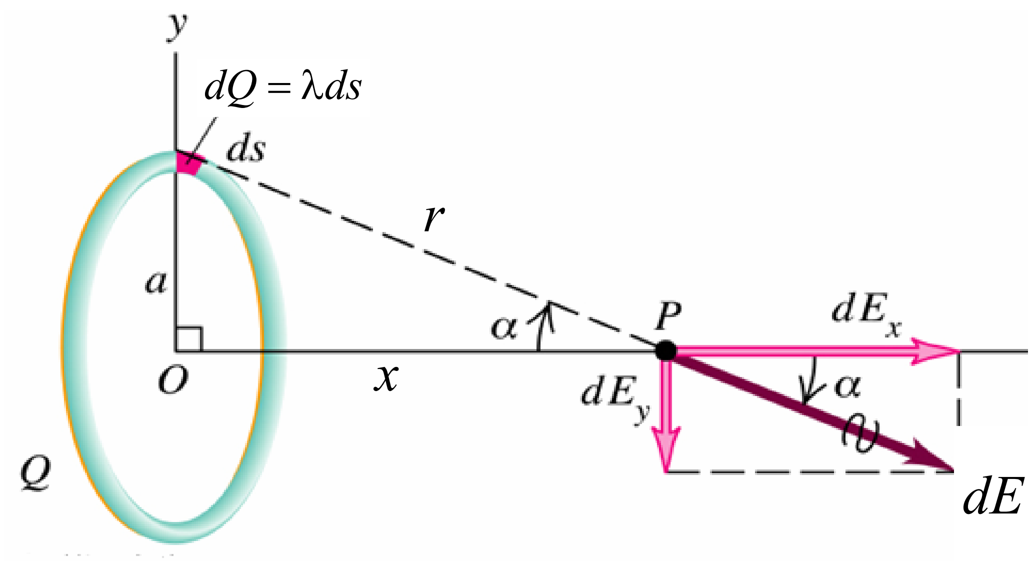
$$= \frac{2\lambda x}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\int_0^l \frac{dy}{\left(x^2+y^2\right)^{3/2}} = \frac{\lambda l}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 x\left(x^2+l^2\right)^{1/2}}$$

$$\begin{cases} x << 1 \Rightarrow E = \dfrac{|\lambda|}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 x} \\ x >> 1 \Rightarrow E = \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 x^2} \end{cases}$$

3. Điện trường

Điện trường gây bởi vòng dây tròn tích điện đều

☞ Dây tròn: bán kính a, mật độ điện tích dài λ, điện tích Q.



$$dE = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{dQ}{r^2}$$

$$E = E_x = \int_{\text{vòng tròn}} \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{dQ}{r^2}\cos\alpha = \frac{\lambda}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{x}{r^3}\int_0^{2\pi R} ds$$

$$\boxed{E = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{Qx}{r^3} = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{Qx}{\left(x^2+a^2\right)^{3/2}}} \Rightarrow \begin{cases} x \ll a: & E = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\dfrac{Q}{a^3} \\ x \gg a: & E = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\dfrac{Q}{r^2} \end{cases}$$

3. Điện trường

Điện trường gây bởi mặt đĩa tích điện đều

☞ Đĩa: bán kính R, điện tích Q, mật độ điện tích σ.

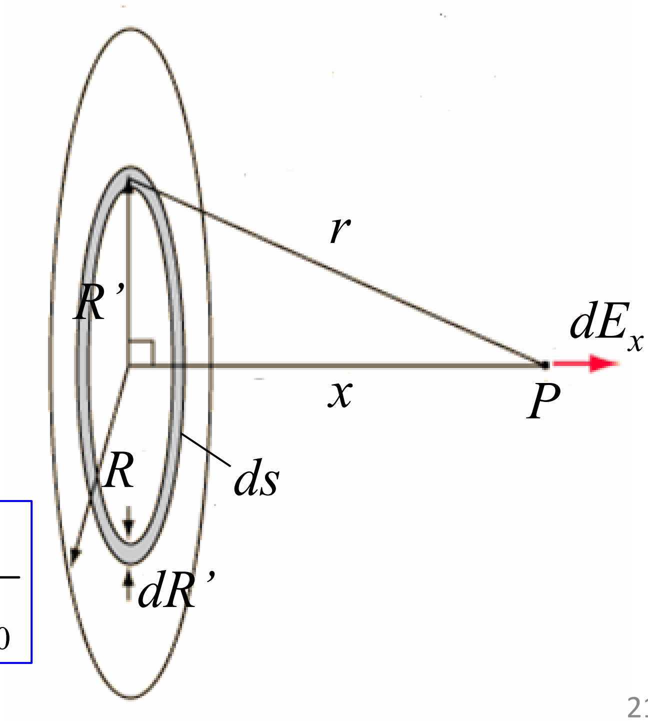
- Xét hình vành khăn có diện tích ds, độ rộng dR' mang điện tích dQ:

$$dQ = \sigma ds = \sigma 2\pi R' dR'$$

- Điện trường gây bởi dQ:

$$E = E_x = \int dE_x = \frac{2\pi\sigma x}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\int_0^R \frac{R' dR'}{\left(x^2 + R'^2\right)^{3/2}} =$$

$$= \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{R^2}{x^2}}}\right)$$

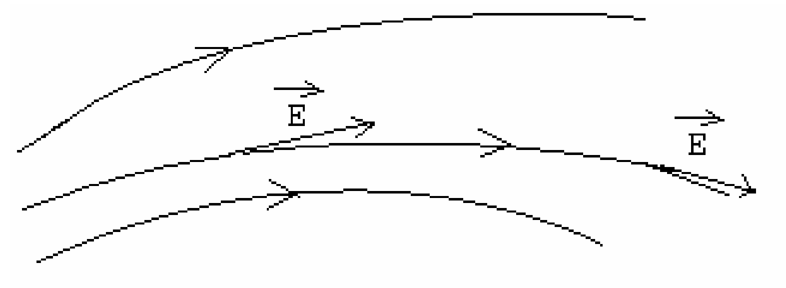


- Nếu $R \to \infty$ (mặt phẳng vô hạn) $\Rightarrow \boxed{E = \dfrac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}}$

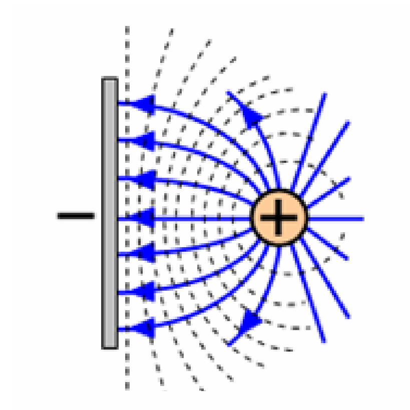
3. Điện trường

Đường sức điện trường

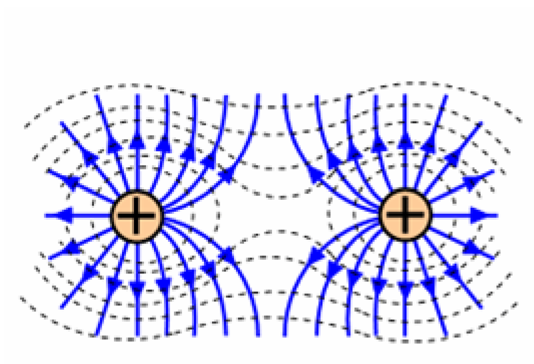
☞ Đường cong hình học mô tả điện trường mà tiếp tuyến tại mỗi điểm của nó trùng với phương của vector cường độ điện trường tại điểm đó.

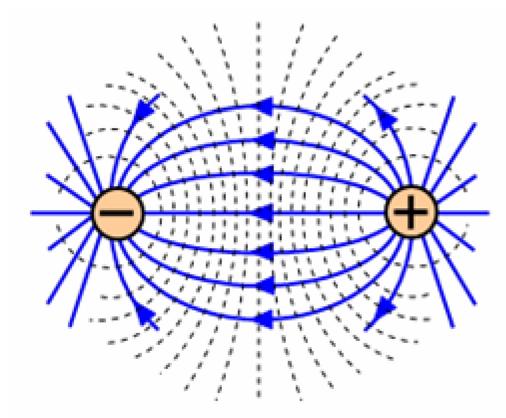


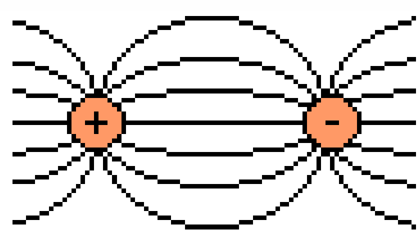
☞ Chiều đường sức điện trường là chiều vector cường độ điện trường.

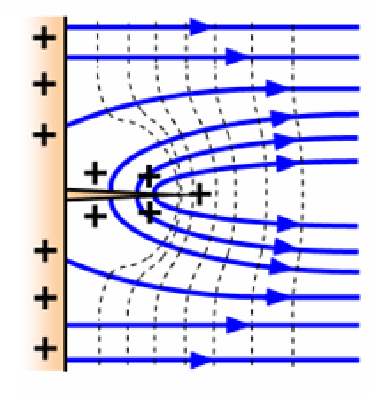


☞ **Điện phổ**: tập hợp các đường sức điện trường









3. Điện trường

Điện tích trong điện trường ngoài

☞ Cho trước 1 điện tích ⇒ tạo ra điện trường xung quanh nó!

☞ Cho trước 1 điện trường ⇒ ảnh hưởng của đ/trường lên điện tích đặt trong đó?

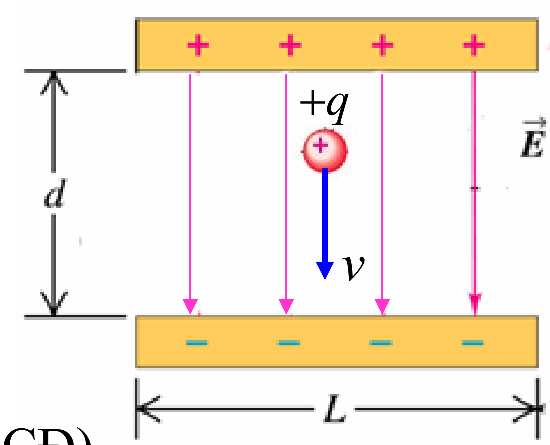
↳ Điện trường tác dụng lên điện tích 1 lực điện: $\vec{F} = q.\vec{E}$

↳ Chiều của F không phụ thuộc chiều E mà phụ thuộc dấu điện tích

Điện tích q chuyển động cùng chiều điện trường đều E $\boxed{\vec{v} \equiv \vec{E}}$

☞ Phương trình động lực học: $m\vec{a} = \vec{F} = q.\vec{E}$

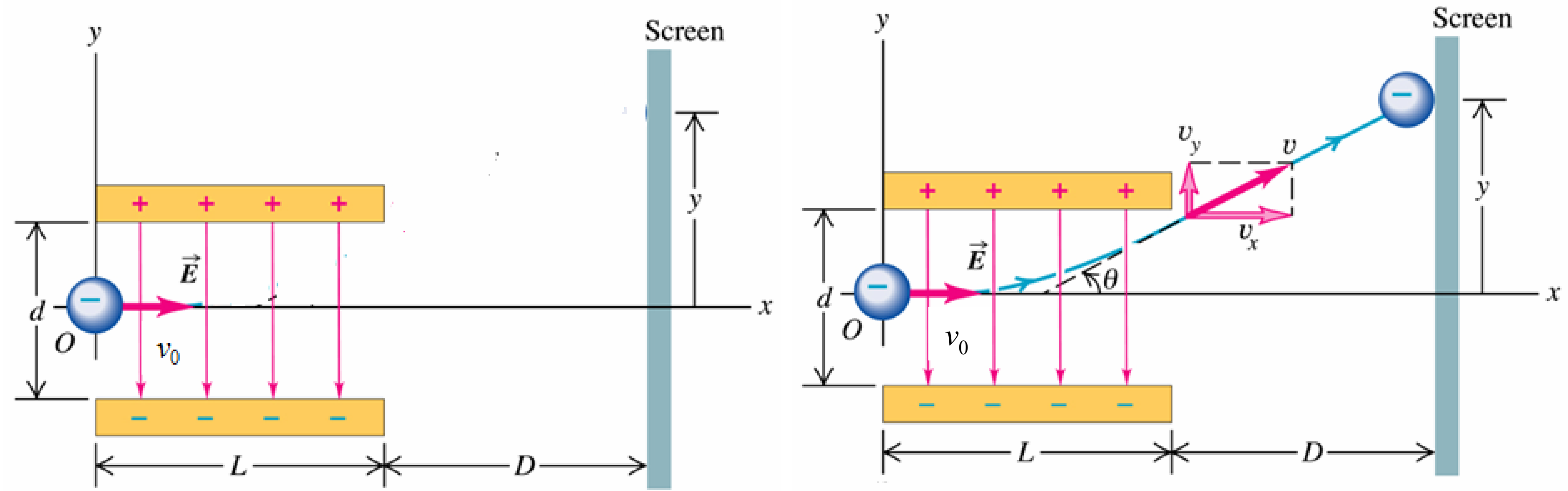
$$\Rightarrow \begin{cases} a = a_y = \dfrac{q}{m}E \\ v = v_y = \dfrac{q}{m}E.t \\ y = \dfrac{1}{2}\dfrac{q}{m}E.t^2 \quad \text{(ph/trình CĐ)} \end{cases}$$



3. Điện trường

Điện tích trong điện trường ngoài

Điện tích -q đi vào vùng điện trường đều E với vận tốc ban đầu, $\boxed{\vec{v}_0 \perp \vec{E}}$

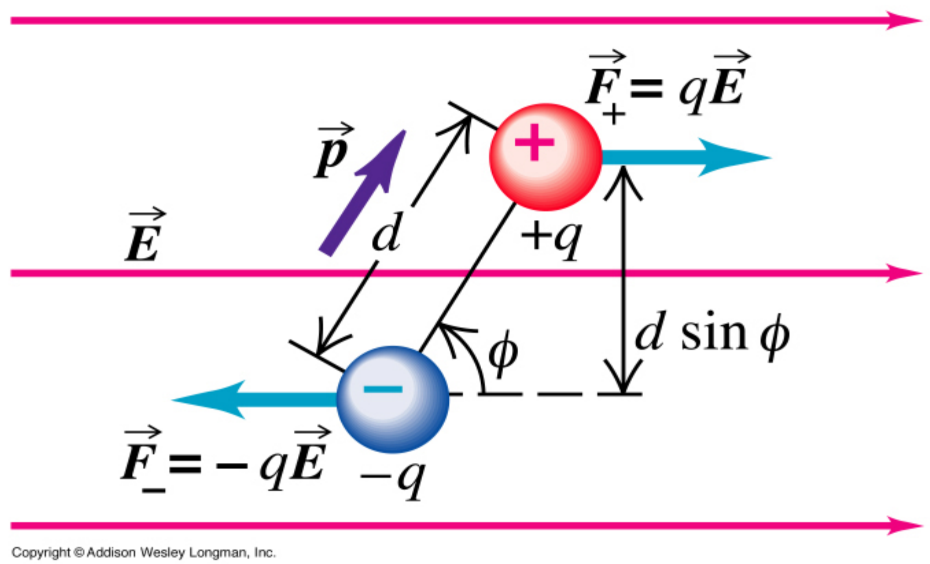


Các đặc trưng động học theo 2 phương Ox và Oy: $\begin{cases} a_x = 0\ ; \quad a_y = \dfrac{qE}{m} \\ v_x = v_0\ ; \quad v_y = \left(\dfrac{qE}{m}\right)t \\ x = v_0.t\ ; \quad y = \dfrac{1}{2}\left(\dfrac{qE}{m}\right)t^2 \end{cases}$

$\Rightarrow$ Phương trình quĩ đạo: $\boxed{y = \dfrac{1}{2}\left(\dfrac{qE}{mv_0^2}\right)x^2}$

3. Điện trường

Lưỡng cực điện trong điện trường đều



$\vec{F}_{+}$ và $\vec{F}_{-}$ là các ngẫu lực

Moment ngẫu lực (lực xoắn):

$$\boxed{\vec{\tau} = \vec{d} \wedge \vec{F}_{+} = \vec{d} \wedge q\vec{E} = q\vec{d} \wedge \vec{E} = \vec{P}_e \wedge \vec{E}}$$

Độ lớn: $\boxed{\tau = qEd\sin\phi}$

$\Rightarrow$ Moment lưỡng cực bị xoay theo chiều sao cho P_e trùng với phương của E

4. Định lý Gauss

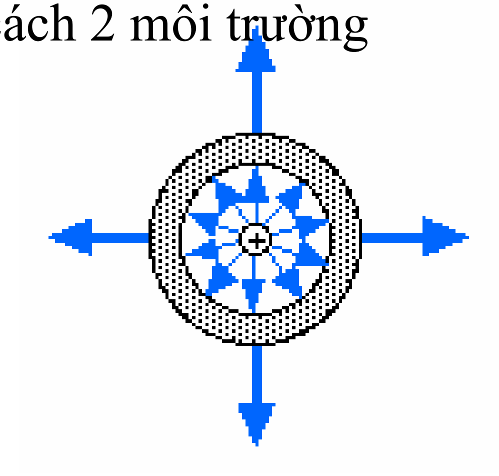
Johann Carl-Friederich Gauss
(1777-1855)

Vector điện cảm – điện dịch

Vector cường độ điện trường:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}\frac{\vec{r}}{r} \quad \Rightarrow E \in \varepsilon$$

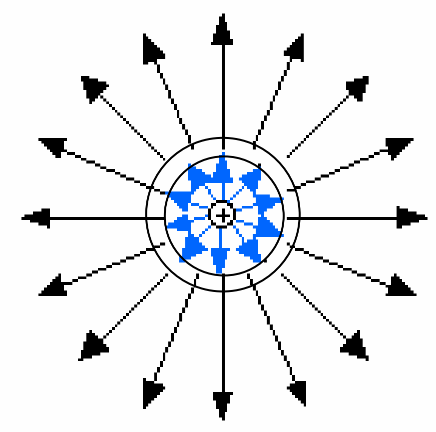
$\Rightarrow$ Phổ đường sức của vector điện trường gián đoạn khi qua mặt phân cách 2 môi trường



Vector cảm ứng điện (điện cảm)

$$\vec{D} = \varepsilon\varepsilon_0\vec{E} \quad \Rightarrow D = \frac{1}{4\pi}\frac{q}{r^2} \notin \varepsilon$$

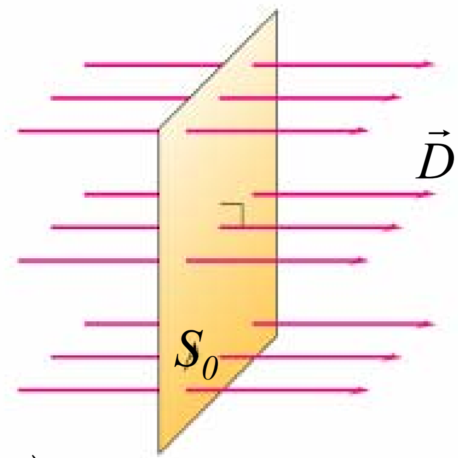
$\Rightarrow$ Phổ đường sức của vector điện cảm là liên tục khi qua mặt phân cách 2 môi trường



4. Định lý Gauss

Điện thông

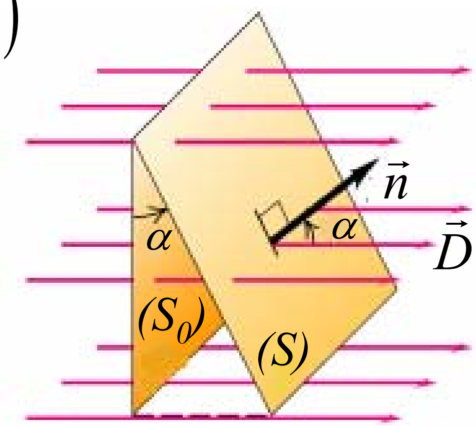
☞ Khái niệm: *Thông lượng vector điện cảm gửi qua một thiết diện có trị số tỉ lệ với số đường sức cắt vuông góc thiết diện đó.*



$$\boxed{\Phi_e = D.S_0}$$

☞ Tiết diện (S) bất kỳ, tạo với S_0 góc $\alpha \Rightarrow S_0 = S.\cos\alpha$

↳ $\vec{n}$ là vector pháp tuyến của mặt S, cũng có: $\alpha = \left(\vec{n}, \vec{D}\right)$



$$\boxed{\Phi_e = D.S_0 = D.S.\cos\alpha = D_n S}$$

↳ D_n là hình chiếu của $\vec{D}$ lên phương pháp tuyến $\vec{n}$

$$\begin{cases} \alpha < \dfrac{\pi}{2} \Rightarrow \Phi_e > 0 \\ \alpha > \dfrac{\pi}{2} \Rightarrow \Phi_e < 0 \\ \alpha = \dfrac{\pi}{2} \Rightarrow \Phi_e = 0 \end{cases}$$

4. Định lý Gauss

Điện thông

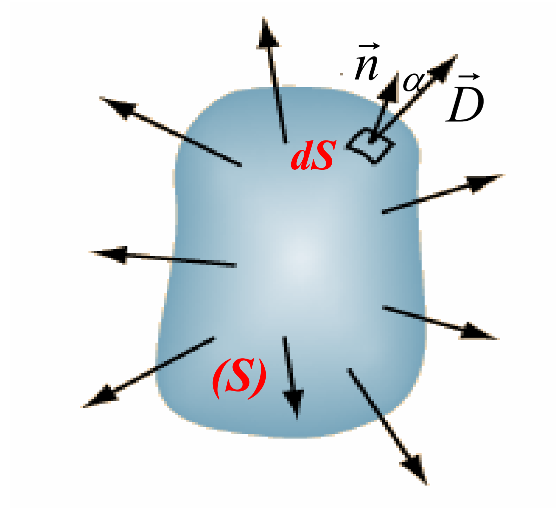
☞ Điện trường bất kỳ: xét phần tử diện tích dS

$$d\Phi e = D.S_0 = D.\mathrm{d}S.\cos\alpha \;\Rightarrow\; d\Phi_e = \vec{D}.\,d\vec{S}$$

Điện thông toàn phần:

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

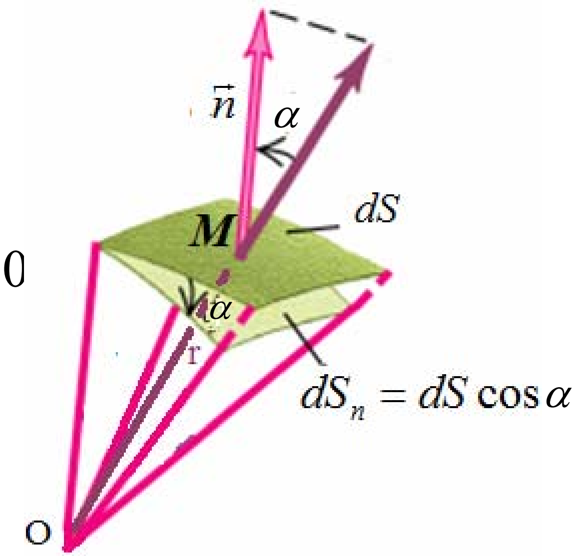
$$\Phi_e = \oint_S \vec{E}.\,d\vec{S} = \oint_S E_n\; dS$$



☞ ***Điện thông (electric flux)***: Đại lượng đặc trưng lượng điện trường đi qua một diện tích bề mặt

☞ ***Đơn vị***: N-m²/C

4. Định lý Gauss



Góc khối

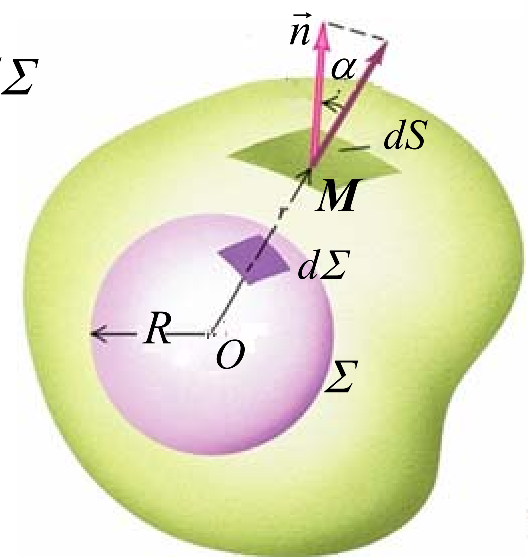
☞ Góc khối vi phân: $d\Omega = \dfrac{dS\cos\alpha}{r^2}$ $\begin{cases} \text{-}\alpha \text{ nhọn} \Rightarrow d\Omega > 0 \\ \text{-}\alpha \text{ tù} \Rightarrow d\Omega < 0 \end{cases}$

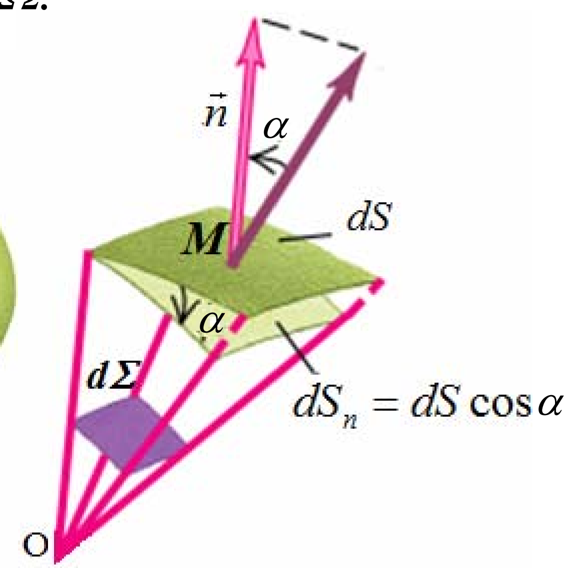
$\left(\vec{r} = \overrightarrow{OM}\right)$

Hay: $d\Omega = \dfrac{dS_n}{r^2}$

☞ Xét mặt kín bất kỳ ⇒ xây dựng mặt cầu Σ, tâm O, bán kính đơn vị (tức là, $R = 1$), sao cho $d\Sigma$ nằm trong hình nón tạo góc khối $d\Omega$.

Có: $\dfrac{d\Sigma}{1^2} = \dfrac{dS_n}{r^2} \Rightarrow |d\Omega| = d\Sigma$





- $\vec{n}$ hướng ra ngoài:

  $\Rightarrow d\Omega = +d\Sigma$

- $\vec{n}$ hướng vào trong:

  $\Rightarrow d\Omega = -d\Sigma$

☞ $\Omega = \pm 4\pi(1)^2 = \pm 4\pi$

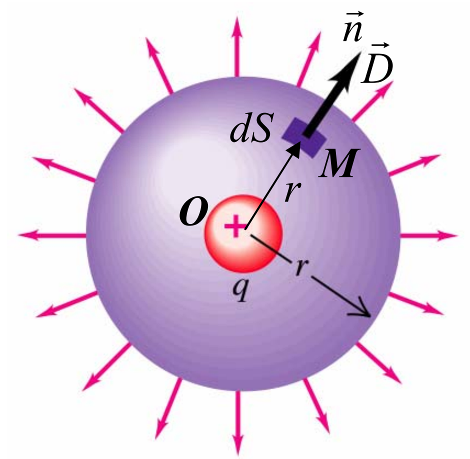
4. Định lý Gauss

Điện thông xuất phát từ điện tích điểm q

Trong mặt cầu kín S hoặc mặt kín bất kỳ

☞ Vector điện cảm (điện trường) ≡ phương OM

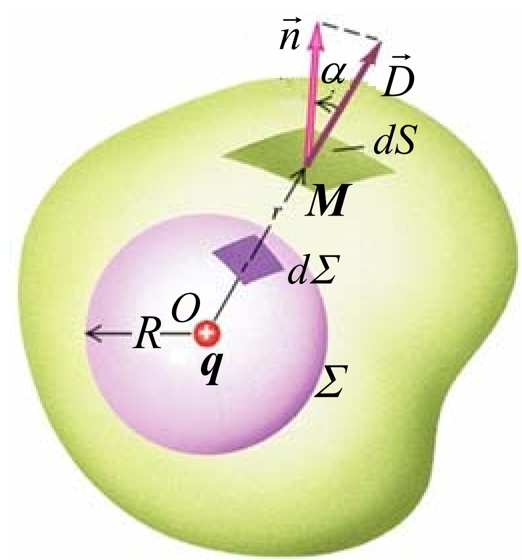
Có: $D = \dfrac{1}{4\pi}\dfrac{q}{r^2}$



☞ Điện thông qua diện tích vi phân dS:

$$d\Phi_e = DdS\cos\alpha = \frac{q}{4\pi}\frac{dS\cos\alpha}{r^2} = \frac{q}{4\pi}d\Omega$$

☞ $\Phi_e = \int_S d\Phi_e = \dfrac{q}{4\pi}\int_S d\Omega = \dfrac{q}{4\pi}4\pi = q$



☞ ***Mặt kín bao quanh điện tích điểm hay vật mang điện: mặt Gauss***

4. Định lý Gauss

Điện thông xuất phát từ điện tích điểm q

Ngoài mặt kín S bất kỳ

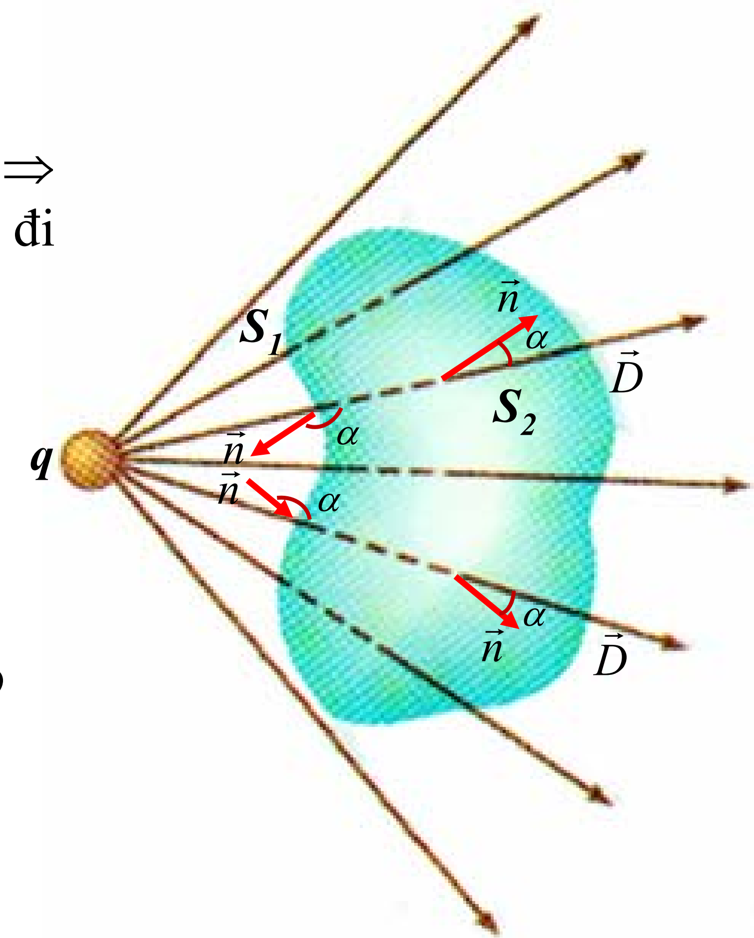
☞ Đường sức vector điện cảm là đường hở ⇒ hoặc không cắt hoặc cắt số chẵn lần (một đi vào mặt S_1, một ra khỏi mặt S_2).

☞ Có: $\Phi_e = \dfrac{q}{4\pi}\int_S d\Omega$

☞ Với: $\int_S d\Omega = \int_{S_1} d\Omega + \int_{S_2} d\Omega$

- S_1 tương ứng $\vec{n}$ hướng ngược chiều $\vec{D}$
- S_2 tương ứng $\vec{n}$ hướng cùng chiều $\vec{D}$
- $\int_{S_1} d\Omega + \int_{S_2} d\Omega = (-\Delta\Sigma) + (+\Delta\Sigma) = 0$

☞ Vì vậy: $\Phi_e = 0$



4. Định lý Gauss

Định lý Gauss cho phân bố điện tích gián đoạn

☞ Nội dung: *Thông lượng điện cảm gửi qua một mặt kín bất kỳ bằng tổng đại số các điện tích nằm trong mặt kín đó*.

$$\Phi_e = \oint D_n.dS = \sum_{i=1}^{n} q_i$$

Định lý Gauss cho phân bố điện tích liên tục

☞ Khi đó: $\sum_i q_i = \int \rho.dV$

$$\Phi_e = \oint_S \vec{D}.d\vec{S} = \oint_V \rho.dV$$

vì: $\oint_S \vec{D}.d\vec{S} = \int_V div\vec{D}.dV$

với: $div\vec{D} = \dfrac{\partial D_x}{\partial x} + \dfrac{\partial D_y}{\partial y} + \dfrac{\partial D_z}{\partial z}$

$\Rightarrow div\vec{D} = \rho$

(Phương trình Poisson)

4. Định lý Gauss

Xác định cường độ điện trường ứng dụng định lý Gauss

Quả cầu rỗng (bán kính R) tích điện đều (Q > 0) trên bề mặt

☞ Bên ngoai: r (mặt Gauss) > R

$$\Phi_e = \oint_S \overrightarrow{D_n}.\overrightarrow{dS} = \oint_S D\,dS = D\oint_S dS = D.4\pi r^2 = Q$$

$$\Rightarrow D = \frac{Q}{4\pi r^2} \text{ dẫn đến } E = \frac{D}{\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}$$

☞ Bên trong: r (mặt Gauss) < R

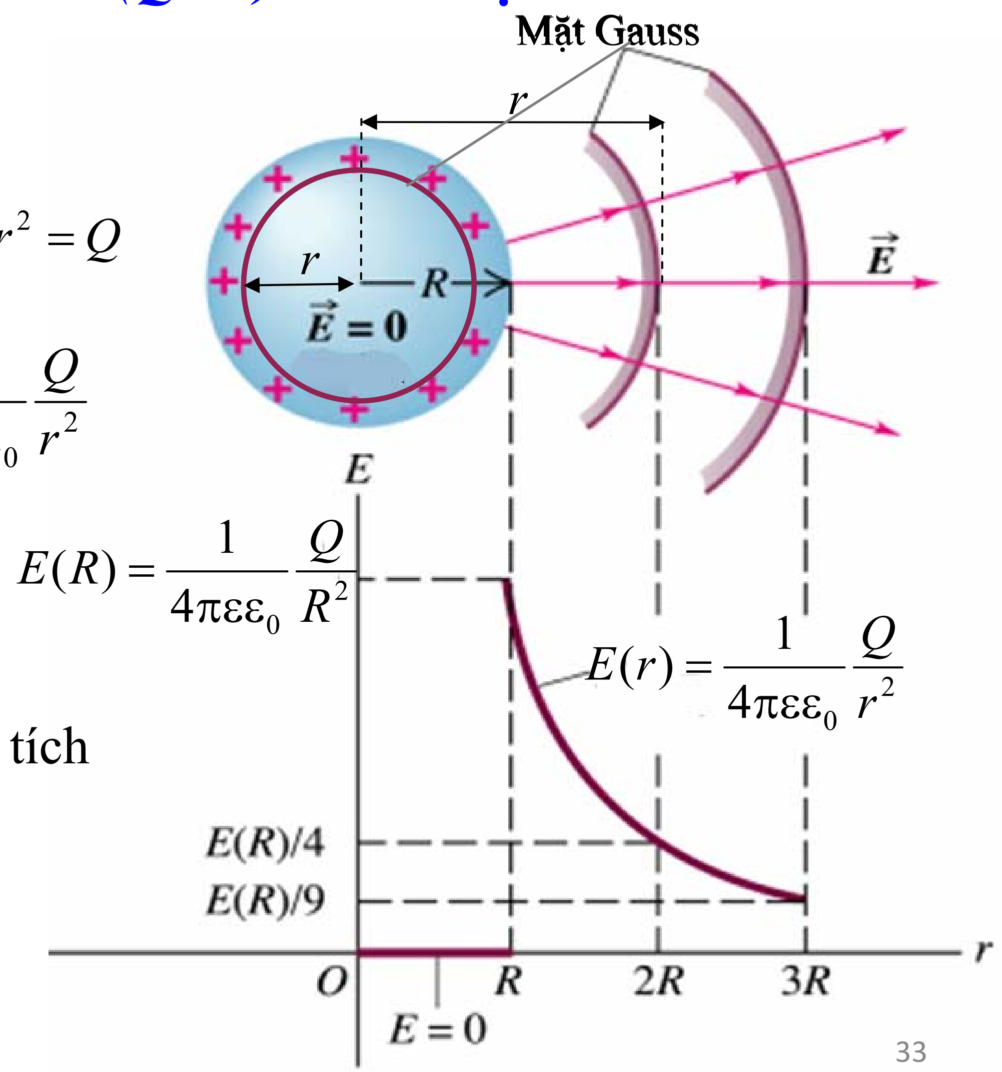
Có: $\Phi_e = D.4\pi r^2 = Q$

Do bên trong quả cầu không có điện tích

$\Rightarrow \Phi_e = 0$ hay: $E = 0$

☞ Trên bề mặt: $r = R$

$$E = \frac{D}{\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{Q}{R^2}$$



4. Định lý Gauss

Xác định cường độ điện trường ứng dụng định lý Gauss

Khối cầu (bán kính R) tích điện đều (Q > 0) trong toàn bộ thể tích

☞ Mật độ điện tích khối: $\rho = \dfrac{Q}{V_{khôi\ câu}} = \dfrac{Q}{\frac{4}{3}\pi R^3}$

☞ Bên trong: xét r (mặt Gauss) < R

⇒ Điện tích mặt Gauss:

$$q' = \rho V_{mat\ câu\ Gauss} = \rho \frac{4}{3}\pi r^3 = Q\frac{r^3}{R^3}$$

Có: $\Phi_e = 4\pi r^2 = q'$

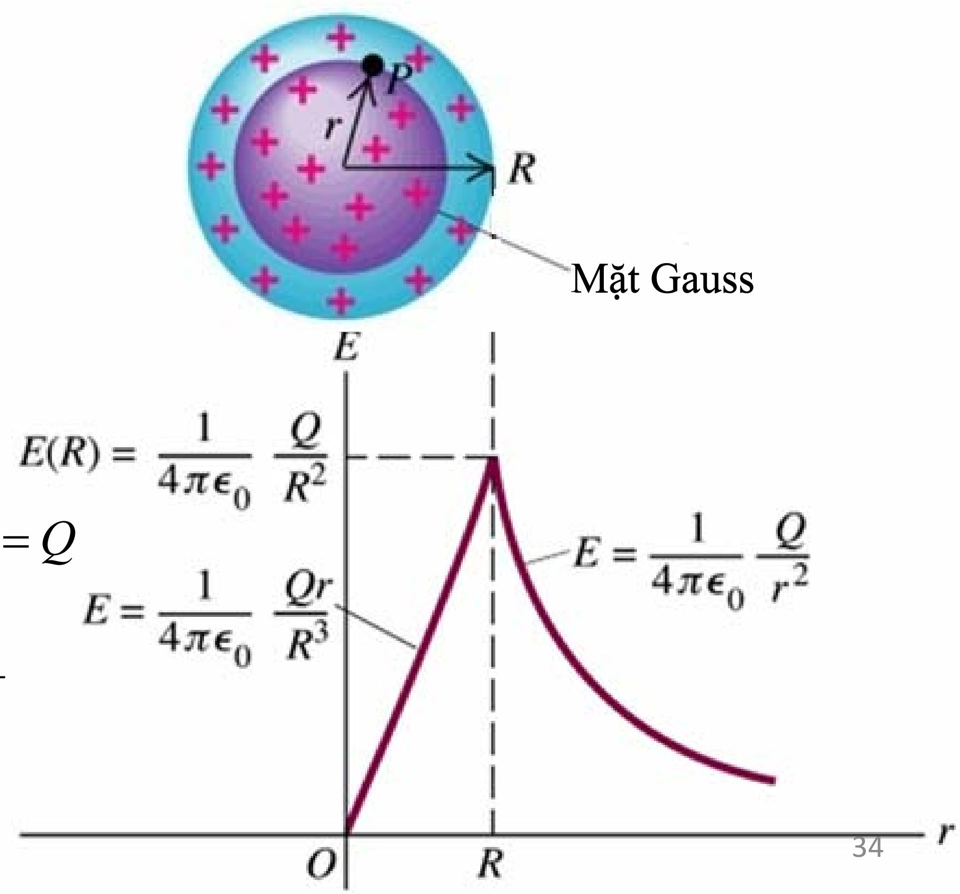
$$\Rightarrow D = \frac{Qr}{4\pi R^3} \quad \text{và} \quad E = \frac{D}{\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{Qr}{R^3}$$

☞ Bên ngoài: r (mặt Gauss) > R

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

$$D = \frac{Q}{4\pi r^2} \quad \text{dẫn đến} \quad E = \frac{D}{\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}$$

Trên bề mặt: $r = R$: $E = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\dfrac{Q}{R^2}$

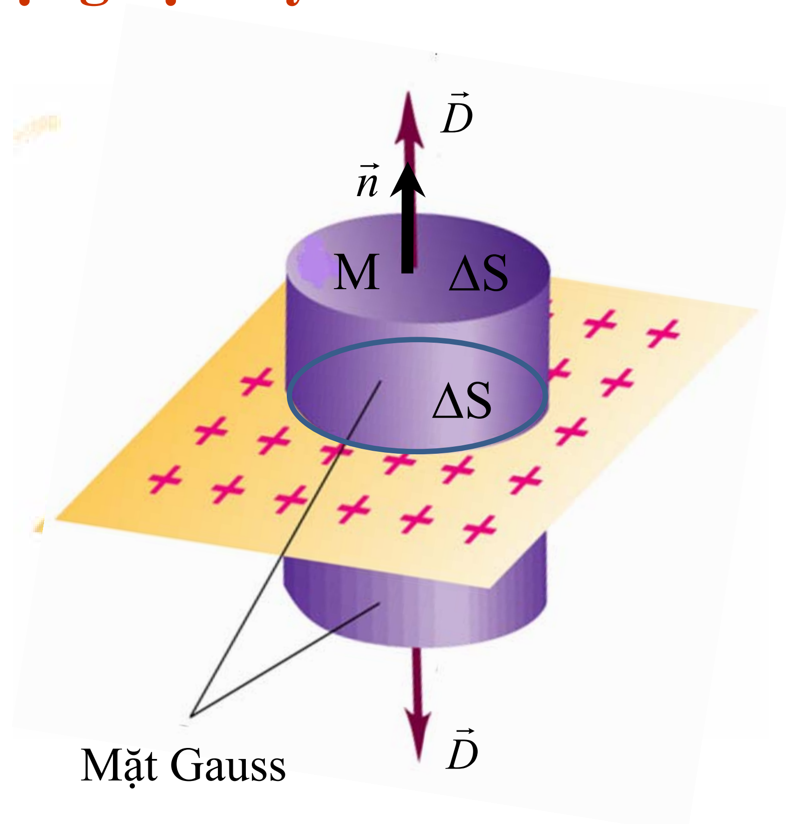


4. Định lý Gauss

Xác định cường độ điện trường ứng dụng định lý Gauss

Mặt phẳng vô hạn tích điện đều (Q > 0)

☞ Vector điện cảm (điện trường) có chiều và phương vuông góc mặt phẳng



☞ Xét điểm M nằm trên một đáy hình trụ (mặt bên là mặt Gauss) cắt vuông góc mặt phẳng tích điện. ΔS là giao diện trụ và mặt phẳng tích điện ⇒ Điện thông gửi qua 2 mặt đáy là D_n, qua mặt bên = 0.

Có: $\Phi_e = D_n.2\Delta S = Q$

$$D_n = D = \frac{1}{2}\frac{Q}{\Delta S} = \frac{1}{2}\frac{\sigma\Delta S}{\Delta S} = \frac{\sigma}{2}$$ (σ:mật độ điện tích mặt)

$$E = \frac{D}{\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}$$

4. Định lý Gauss

Xác định cường độ điện trường ứng dụng định lý Gauss

Hai mặt phẳng vô hạn song song tích điện bằng nhau, trái dấu (+q và –q)

☞ <u>Không gian giữa 2 mặt phẳng:</u>

- Áp dụng nguyên lý chồng chất điện trường

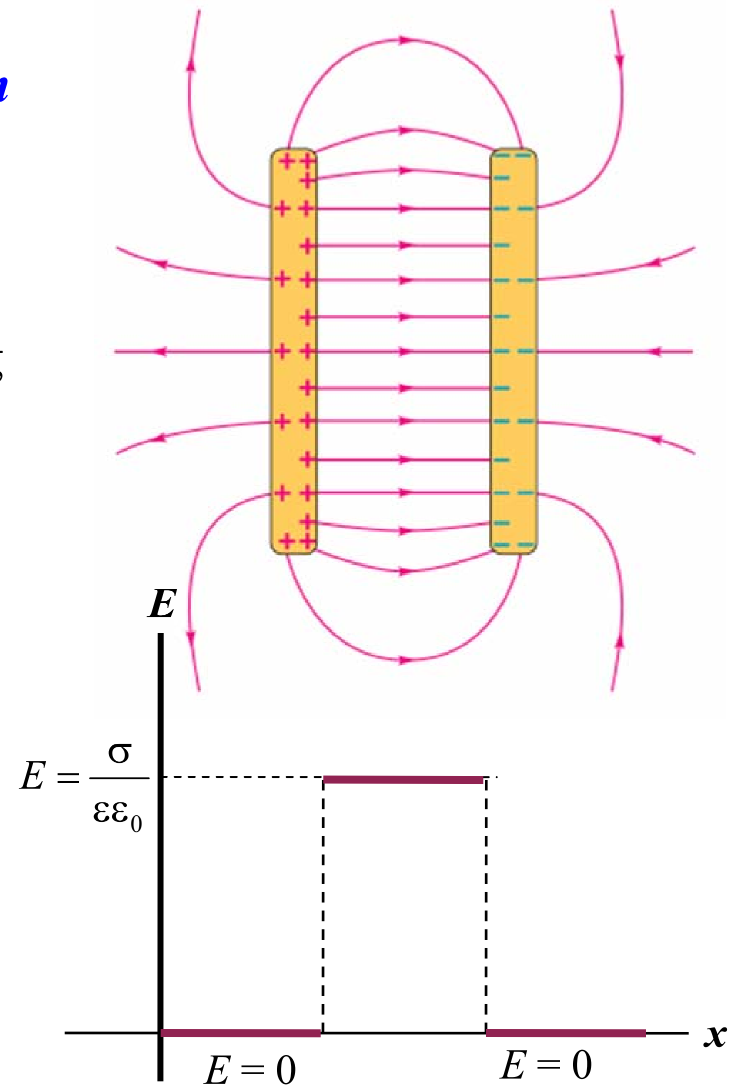
$$\vec{D} = \vec{D}_1 + \vec{D}_2$$

- Độ lớn: $D = \dfrac{\sigma}{2} + \dfrac{\sigma}{2} = \sigma$

$$E = \frac{D}{\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0}$$

☞ <u>Không gian bên ngoài 2 mặt phẳng:</u>

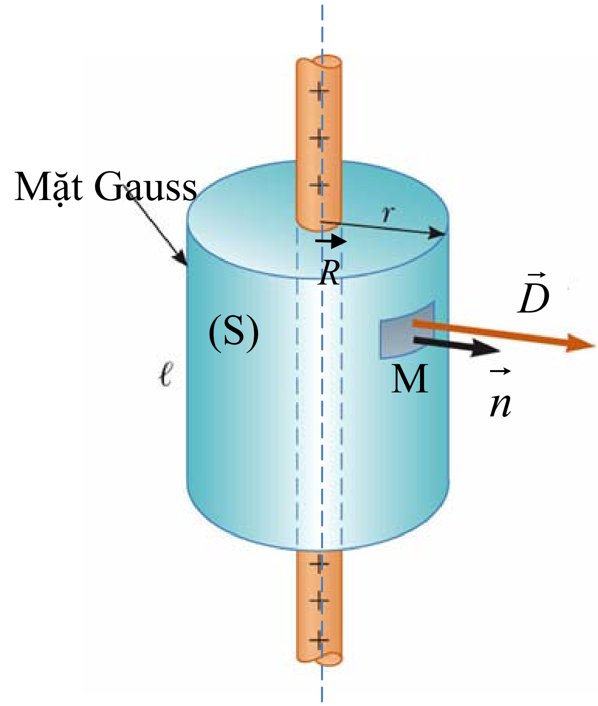
$$E = 0$$



4. Định lý Gauss

Xác định cường độ điện trường ứng dụng định lý Gauss

Mặt trụ (bán kính R) vô hạn tích điện đều (Q > 0)



☞ Xét M trên mặt trụ bao quanh - mặt Gauss ($r > R$, độ dài l, cạnh mặt bên song song trục, 2 đáy vuông góc trục) ⇒ Vector điện cảm (điện trường) có chiều và phương vuông góc mặt trụ ⇒ Điện thông gửi qua mặt bên là D_n, qua 2 mặt đáy = 0.

Có: $$\Phi_e = \oint_S D_n.dS = \int_{Mat\ bên} D_n.dS = D \int_{Mat\ bên} dS = D.2\pi rl$$

$$\Phi_e = Q = \lambda l \quad (\lambda\text{: mật độ điện tích dài})$$

☞ $$D_n = D = \frac{Q}{2\pi rl} = \frac{\lambda}{2\pi r} = \frac{\sigma R}{r} \quad (\sigma\text{:mật độ điện tích mặt})$$

và $$E = \frac{D}{\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{Q}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 r} = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 rl} = \frac{\sigma R}{\varepsilon\varepsilon_0 r}$$

↳ Khi R rất nhỏ ⇒ $E = \dfrac{\lambda}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 r}$

5. Điện thế

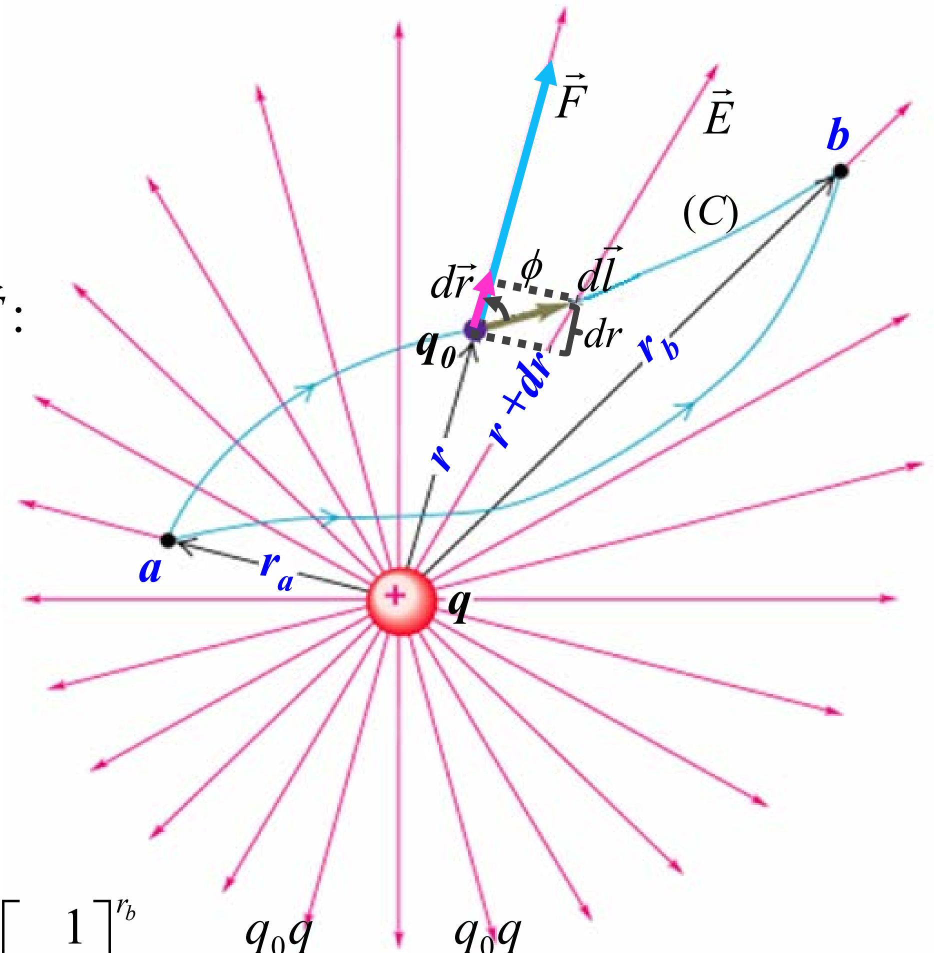
Công của lực tĩnh điện – Tính chất thế trường tĩnh điện

☞ Điện tích q đứng yên tạo ra điện trường $\vec{E}$

☞ Điện tích q_0 dịch chuyển trong $\vec{E}$ từ $a \rightarrow b$ trên quĩ đạo cong (C).

$\Rightarrow q_0$ chịu tác dụng của lực tĩnh điện $\vec{F}$:

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



☞ Công lực F thực hiện trong dịch chuyển vô cùng nhỏ dl:

$$dA = \vec{F}\cdot d\vec{l} = q_0\vec{E}\cdot d\vec{l} = q_0E.dl\cos\phi$$

hay: $dA = \dfrac{q_0 q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\dfrac{dr}{r^2}$

↳ Công lực tĩnh điện:

$$A = \int_a^b \frac{q_0 q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{dr}{r^2} = \frac{q_0 q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\int_a^b \frac{dr}{r^2} = \frac{q_0 q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\left[-\frac{1}{r}\right]_{r_a}^{r_b} = \frac{q_0 q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r_a} - \frac{q_0 q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r_b}$$

↳ *A $\notin$ dạng đường đi, chỉ $\in$ điểm đầu và điểm cuối đoạn dịch chuyển!*

5. Điện thế

Lưu số vector cường độ điện trường

☞ A = 0 khi $r_a \equiv r_b \Rightarrow$ trường tĩnh điện là trường thế.

Tức là: $A = \oint \vec{F}.d\vec{l} = \oint q_0 \vec{E}.d\vec{l} = 0$

Hay: $\oint \vec{E}.d\vec{l} = 0$ ($\oint \vec{E}.d\vec{l}$ là *lưu số của vector cường độ điện trường*)

☞ Lưu số của $\vec{E}$ dọc theo đường cong kín = 0

Thế năng trường tĩnh điện

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

Tức là: $A = W_a - W_b = \dfrac{q_0 q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r_a} - \dfrac{q_0 q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r_b}$

☞ $W = \dfrac{q_0 q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r}$ $\Rightarrow$ *Thế năng của điện tích q_0 trong trường tĩnh điện của điện tích q tại 1 điểm nào đó có giá trị bằng công của lực tĩnh điện khi dịch chuyển q_0 từ điểm đó ra vô cực*.

5. Điện thế

Điện thế và hiệu điện thế

☞ $A_{a\infty} = \dfrac{q_0 q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r_a}$ hay: $V_a = \dfrac{A_{a\infty}}{q_0} = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r_a} = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}.\dfrac{q}{r_a}$

↳ V_a chỉ $\in$ điện tích q gây ra trường và vị trí xét trường .

↳ *Điện thế tại 1 điểm trong điện trường là đại lượng có trị số bằng công của lực tĩnh điện khi di chuyển 1 điện tích +1 từ điểm đó ra xa vô cực.*

☞ Nếu di chuyển q_0 giữa a và b $\Rightarrow \dfrac{A_{ab}}{q_0} = \dfrac{W_a}{q_0} - \dfrac{W_b}{q_0} = V_a - V_b$

↳ *Hiệu điện thế giữa 2 điểm trong điện trường là đại lượng có trị số bằng công của lực tĩnh điện khi di chuyển 1 điện tích +1 giữa 2 điểm đó.*

☞ Đơn vị của điện thế và hiệu điện thế: V (Volt)

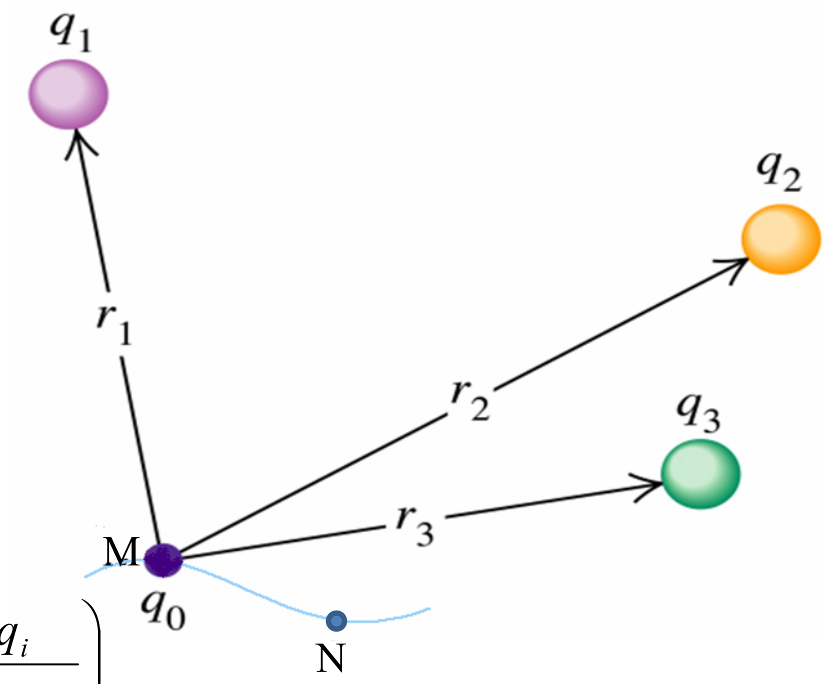
↳ Công của lực tĩnh điện: $A_{ab} = q_0(V_a - V_b)$

5. Điện thế

Điện thế và hiệu điện thế

Trường hợp hệ điện tích phân bố rời rạc

☞ Xét q_0 dịch chuyển trong trường gây bởi q_1, q_2 và q_3



↳ Lực điện trường tổng hợp, $\vec{F} = \sum_{i=1}^{3} \vec{F}_i$

☞ Công của lực điện trường tổng hợp để q_0 dịch chuyển từ M → N

$$A_{MN} = \int_M^N \vec{F}\vec{dl} = \sum_{i=1}^{3}\int_M^N \vec{F}_i \vec{dl} = \sum_{i=1}^{3}\left(\frac{q_0 q_i}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r_{iM}} - \frac{q_0 q_i}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r_{iN}}\right)$$

☞ Điện thế gây bởi hệ 3 điện tích tại M:

$$\frac{A_{M\infty}}{q_0} = V_M = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r_{1M}} + \frac{q_2}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r_{2M}} + \frac{q_3}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r_{3M}} = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r_{3M}}\sum_{i=1}^{3}\frac{q_i}{r_{iM}} = V_{1M} + V_{2M} + V_{3M}$$

☞ Điện thế gây bởi hệ *n* điện tích tại M: $V_M = V_{1M} + V_{2M} + \ldots + V_{nM}$

5. Điện thế

Điện thế và hiệu điện thế

Trường hợp vật có phân bố tích điện (q) liên tục

☞ Chia vật thành vô số các phần tử điện tích *dq* (coi như điện tích điểm)

↳ Điện thế gây bởi *dq*: $dV = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}.\frac{dq}{r}$ (*r* là khoảng cách từ *dq* đến điểm xét - M)

☞ Điện thế gây bởi cả vật tại điểm xét: $V_M = \int_{\text{toàn bộ vật}} dV = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r_M}\int_{\text{toàn bộ vật}} \frac{dq}{r}$

Trường hợp q_o dịch chuyển trong trường tĩch điện bất kỳ

☞ $A_{MN} = \int_M^N \vec{F}.d\vec{l} = \int_M^N q_0\vec{E}.d\vec{l} = W_M - W_N \Rightarrow A_{M\infty} = W_M = \int_M^\infty \vec{F}.d\vec{l} = \int_M^N q_0\vec{E}.d\vec{l}$

☞ $V_M = \frac{A_{M\infty}}{q_0} == \int_M^\infty \vec{E}.d\vec{l}$ và $V_M - V_N = \frac{A_{MN}}{q_0} == \int_M^N \vec{E}.d\vec{l}$

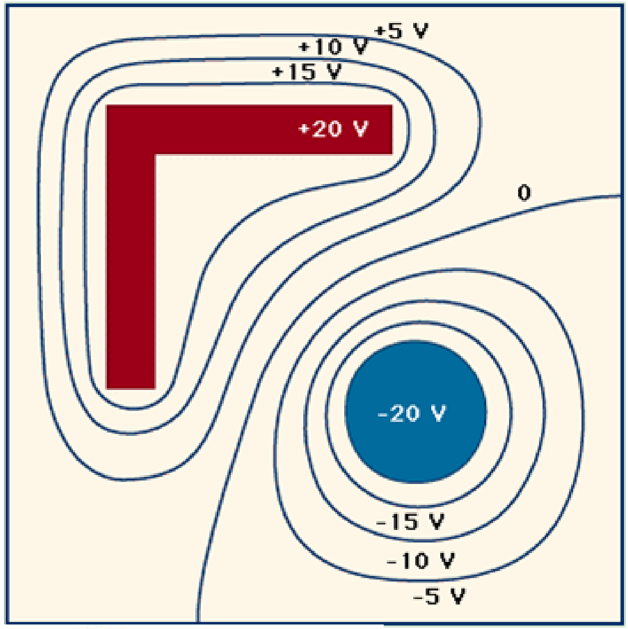
5. Điện thế

Mặt đẳng thế

Khái niệm

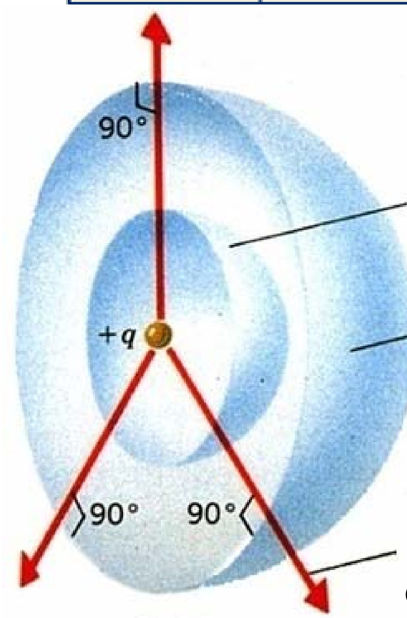
- Qũi tích của những điểm có cùng điện thế.
- Được mô tả bằng những đường đồng mức 2 chiều, mỗi điểm trên đó biểu diễn cùng 1 giá trị điện thế (hình ảnh nhận được giống như bản đồ địa hình).

$$V(x,y,z) = C$$



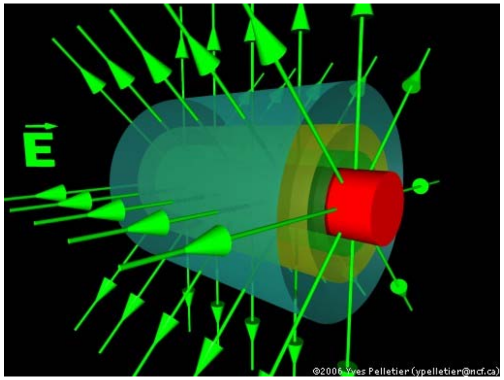
Tính chất

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

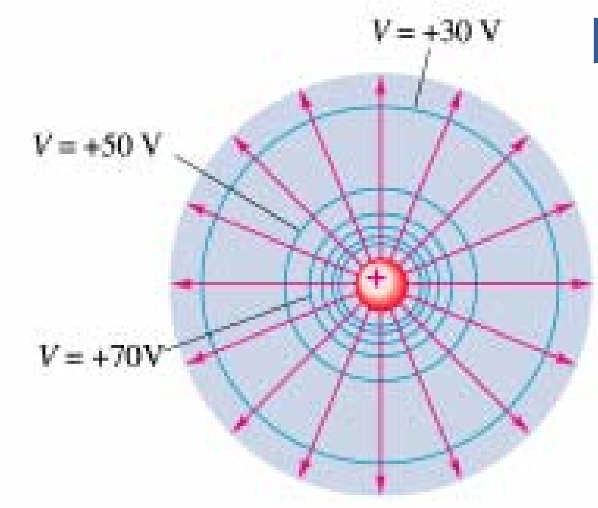


5. Điện thế

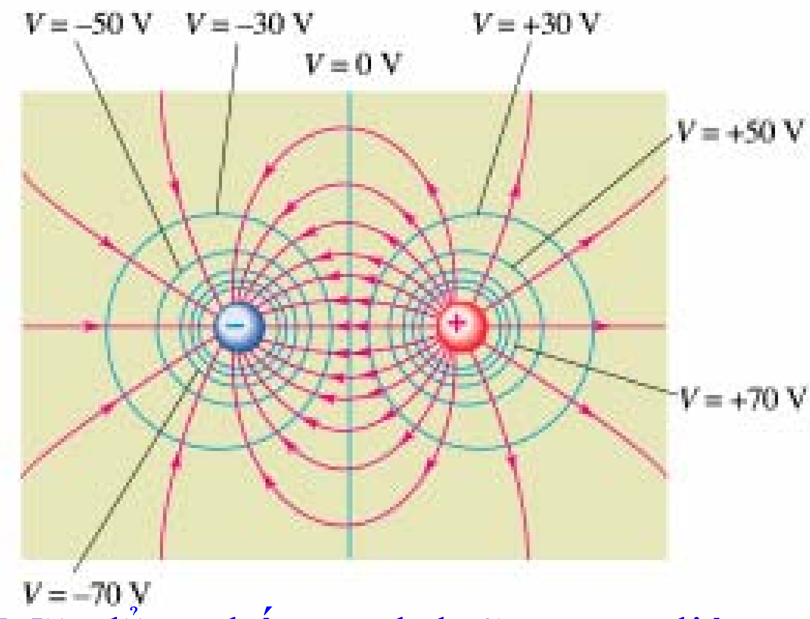
Mặt đẳng thế



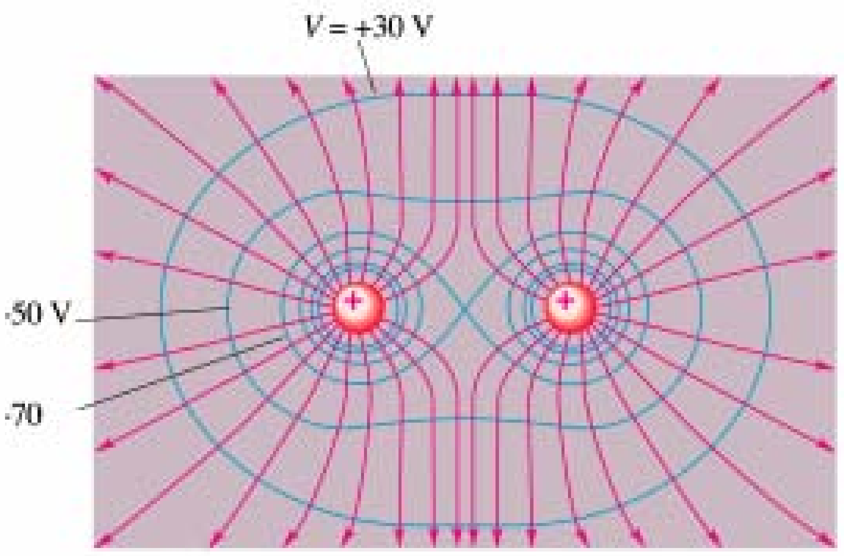
Mặt đẳng thế quanh dây tích điện đều



Mặt đẳng thế quanh điện tích dương



Mặt đẳng thế quanh lưỡng cực điện

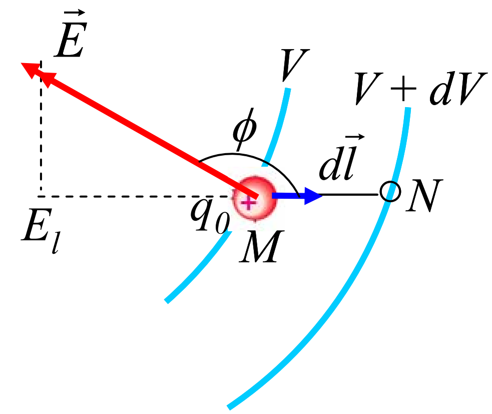


Mặt đẳng thế quanh hệ 2 điện tích điểm

6. Cường độ điện trường và điện thế

Mối liên hệ giữa cường độ điện trường và điện thế

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



$$dA = \vec{F} \cdot d\vec{l} = q_0 \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

Mặt khác: $dA = q_0[V - (V + dV)] = - q_0.dV$

↳ $\vec{E} \cdot d\vec{l} = -dV$

Vì: $dV > 0 \Rightarrow \vec{E} \cdot d\vec{l} = E.dl \cos\phi = -dV < 0$

↳ $\cos\phi < 0 \Rightarrow \phi$ là góc tù: $\vec{E}$ luôn hướng về phía điện thế giảm

- Chiếu lên phương dịch chuyển dl có: $E.cos\phi.dl = E_l.dl = - dV$

↳ $E_l = -\dfrac{dV}{dl}$

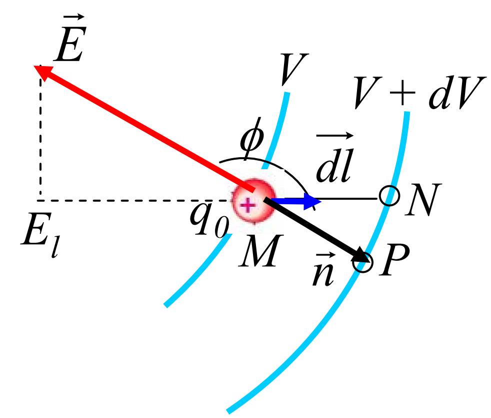
6. Cường độ điện trường và điện thế

Mối liên hệ giữa cường độ điện trường và điện thế

☞ Có thể viết: $E_x = -\dfrac{\partial V}{\partial x};\ E_y = -\dfrac{\partial V}{\partial y};\ E_z = -\dfrac{\partial V}{\partial z}$

$$\vec{E} = \vec{E}_x + \vec{E}_y + \vec{E}_z = -\vec{i}\frac{\partial V}{\partial x} - \vec{j}\frac{\partial V}{\partial y} - \vec{k}\frac{\partial V}{\partial z} = -\vec{\nabla} V = -\overrightarrow{grad}\, V$$

☞ Xét điểm P: $\overrightarrow{MP} = \vec{n} \Rightarrow E_n = E = -\dfrac{\partial V}{\partial n}$



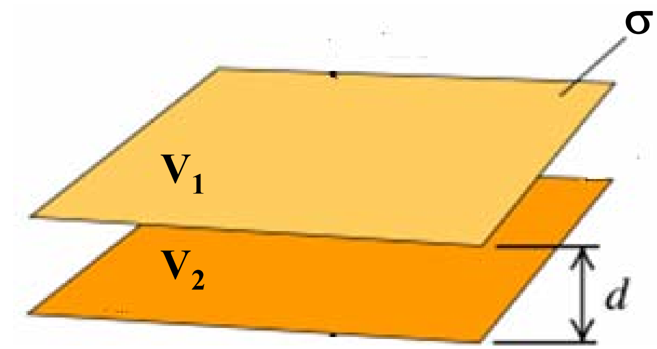
Cường độ điện trường tại 1 điểm trong trường có trị số bằng độ biến thiên của điện thế trên 1 đơn vị khoảng cách lấy dọc theo pháp tuyến với mặt đẳng thế đi qua điểm đó.

☞ $E_l = E\cos\phi \le E \Rightarrow \left|\dfrac{\partial V}{\partial l}\right| \le \left|\dfrac{\partial V}{\partial n}\right|$

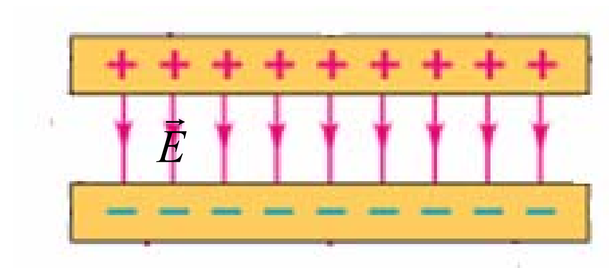
6. Cường độ điện trường và điện thế

Hiệu điện thế trong điện trường các vật tích điện

Hai mặt phẳng vô hạn mật độ điện mặt (σ) đều, cách nhau một khoảng d



$$\left.\begin{aligned} &☞\; E = \frac{V_1 - V_2}{d} \\ &\text{vì: } E = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0} \end{aligned}\right\} V_1 - V_2 = \frac{\sigma d}{\varepsilon\varepsilon_0}$$

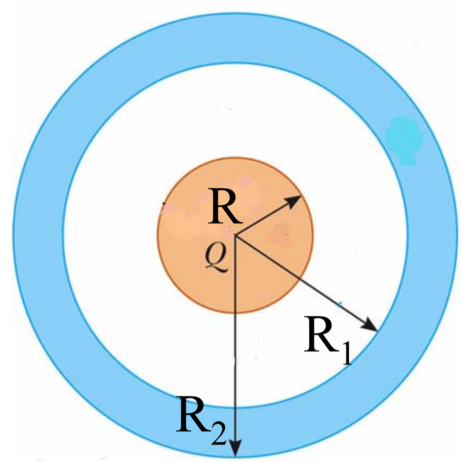


☞ Định nghĩa (V/m): Cường độ điện trường của một điện trường đều mà hiệu thế dọc theo mỗi mét đường sức bằng một Vôn (Volt).

6. Cường độ điện trường và điện thế

Hiệu điện thế trong điện trường các vật tích điện

Mặt cầu tích điện đều (R)



- Hiệu điện thế tại 2 điểm cách mặt cầu R_1 và R_2 ($R_2 > R_1 > R$)

$$-dV = Edr = \frac{Q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r^2}dr$$

$$\Rightarrow \int_{V_1}^{V_2} -dV = \int_{R_1}^{R_2} \frac{Q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r^2}dr$$

$$\Rightarrow V_1 - V_2 = \frac{Q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

- Khi $R_1 = R$, $R_2 \to \infty$ ($V_2 = 0$)

$$\Rightarrow V = \frac{Q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R}$$

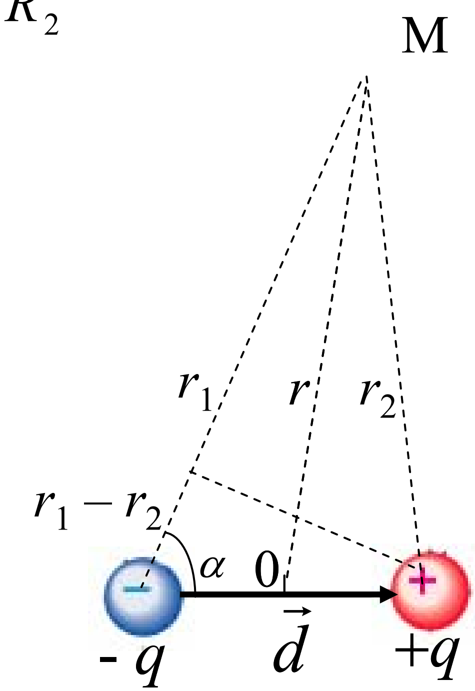
6. Cường độ điện trường và điện thế

Hiệu điện thế trong điện trường các vật tích điện

Mặt trụ tích điện đều

$$V_1 - V_2 = \int_{V_1}^{V_2} - dV = \int_{R_1}^{R_2} E dr = \int_{R_1}^{R_2} \frac{\sigma R}{\varepsilon\varepsilon_0} \frac{dr}{r} = \frac{\sigma R}{\varepsilon\varepsilon_0} \ln \frac{R_1}{R_2}$$

Lưỡng cực điện



- Điện thế tại M (r, r_1, $r_2 >> d$)

Có: $$V = -\frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r_1} + \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r_2} = \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\left(\frac{r_1 - r_2}{r_1 r_2}\right)$$

với: $r_1 - r_2 = d.cos\alpha$ và $r_1.r_2 = r^2$

$$\Rightarrow V = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} \cdot \frac{qd\cos\alpha}{r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} \cdot \frac{p_e \cos\alpha}{r^2}$$