

ĐIỆN TỬ TRƯỜNG TÍNH ĐIỆN TS. Nguyễn Kim Quang

Ôn Tính chất Vector

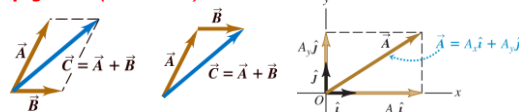
1. Những khái niệm mở đầu
2. Định luật Coulomb
3. Điện trường
4. Định luật Gauss
5. Thế năng điện
6. Điện thế
7. Liên hệ giữa điện trường và điện thế
8. Mật độ điện thế
9. Lượng cực điện

Tóm tắt công thức

2

ĐIỆN TỬ VEC TO TS. Nguyễn Kim Quang

Cộng vectơ (Vector Sum) $\vec{C} = \vec{A} + \vec{B}$

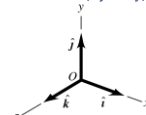


Tính chất:

$$\begin{cases} \vec{A} + \vec{B} = \vec{B} + \vec{A} \\ (\vec{A} + \vec{B}) + \vec{C} = \vec{A} + (\vec{B} + \vec{C}) \\ c\vec{A} = \vec{A}c \\ b(c\vec{A}) = (bc)\vec{A} = c(b\vec{A}) = bc\vec{A} \\ c(\vec{A} + \vec{B}) = c\vec{A} + c\vec{B} \\ (b + c)\vec{A} = b\vec{A} + c\vec{A} \end{cases}$$

Hệ tọa độ Descartes:

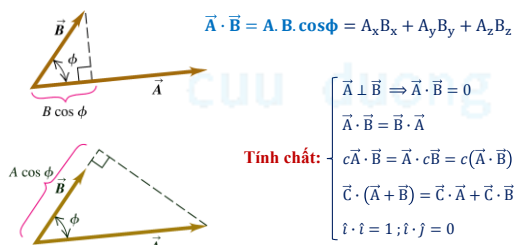
$$\begin{cases} \vec{A} = A_x \hat{i} + A_y \hat{j} + A_z \hat{k} \\ \vec{B} = B_x \hat{i} + B_y \hat{j} + B_z \hat{k} \\ \vec{C} = (A_x + B_x) \hat{i} + (A_y + B_y) \hat{j} + (A_z + B_z) \hat{k} \end{cases}$$



3

ĐIỆN TỬ VEC TO TS. Nguyễn Kim Quang

Tích vô hướng của hai vectơ - Scalar (dot) product



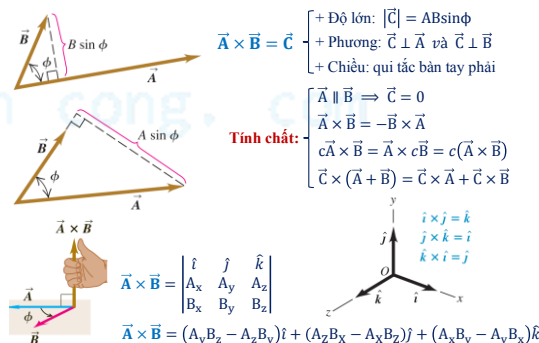
Tính chất:

$$\begin{cases} \vec{A} \perp \vec{B} \Rightarrow \vec{A} \cdot \vec{B} = 0 \\ \vec{A} \cdot \vec{B} = \vec{B} \cdot \vec{A} \\ c\vec{A} \cdot \vec{B} = \vec{A} \cdot c\vec{B} = c(\vec{A} \cdot \vec{B}) \\ \vec{C} \cdot (\vec{A} + \vec{B}) = \vec{C} \cdot \vec{A} + \vec{C} \cdot \vec{B} \\ \hat{i} \cdot \hat{i} = 1; \hat{i} \cdot \hat{j} = 0 \end{cases}$$

4

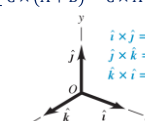
ĐIỆN TỬ VEC TO TS. Nguyễn Kim Quang

Tích vectơ (hữu hướng) của hai vectơ - Vector (cross) product



Tính chất:

$$\begin{cases} \vec{A} \parallel \vec{B} \Rightarrow \vec{C} = 0 \\ \vec{A} \times \vec{B} = -\vec{B} \times \vec{A} \\ c\vec{A} \times \vec{B} = \vec{A} \times c\vec{B} = c(\vec{A} \times \vec{B}) \\ \vec{C} \times (\vec{A} + \vec{B}) = \vec{C} \times \vec{A} + \vec{C} \times \vec{B} \end{cases}$$



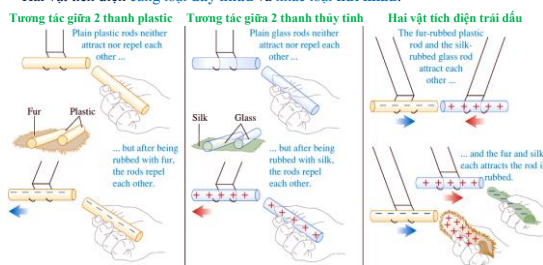
5

ĐIỆN TỬ TRƯỜNG TÍNH ĐIỆN TS. Nguyễn Kim Quang

1. Những khái niệm mở đầu - Vật tích điện

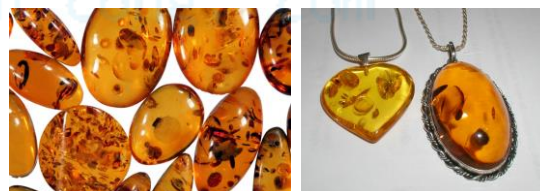
Hiện tượng tĩnh điện đã được người Hy Lạp phát hiện từ nhiều thế kỷ trước CN. Sau khi cọ xát 2 vật, hổ phách (amber) hay nhựa (plastic) với da thú, thủy tinh (glass) với lụa, ... Chúng trở nên nhiễm điện hay tích điện.

Hai vật tích điện cùng loại đẩy nhau và khác loại hút nhau.



6

ĐIỆN TỬ TRƯỜNG TÍNH ĐIỆN TS. Nguyễn Kim Quang



Hổ phách (Amber) – Một loại nhựa cây hóa thạch

7

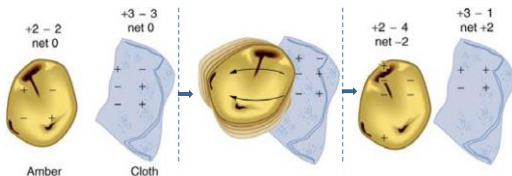
1. Những khái niệm mở đầu - Nguyên lý bảo toàn điện tích

Tổng đại số điện tích trong một hệ cô lập là hằng số (bảo toàn).

Điện tích không tự sinh ra hoặc mất đi mà truyền từ vật này sang vật khác.

Mọi quá trình biến đổi tự nhiên, phản ứng hóa học, phản ứng hạt nhân... đều bảo toàn điện tích.

$$\sum q_i = \text{const}$$



14

2. Định luật Coulomb (1784) - Định luật

Độ lớn lực Coulomb: $F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$

Vector lực Coulomb:

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}, \quad \hat{r} = \frac{\vec{r}}{r}$$

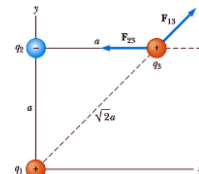
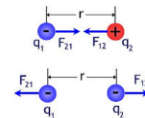
Đơn vị SI: q (C); r (m); F (N)

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \cdot 10^9 \left(\frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \right)$$

k: hằng số Coulomb

ϵ_0 : hằng số điện môi trong chân không

Nguyên lý chồng chất lực: $\vec{F}_0 = \sum_{i=1}^n \vec{F}_{0i}$



15

2. Định luật Coulomb - Phân bố điện tích liên tục

- Phân bố dài: $dq = \lambda \cdot dl$

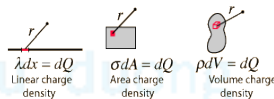
λ : mật độ điện tích dài (C/m)

- Phân bố mặt: $dq = \sigma \cdot dS$

σ : mật độ điện tích mặt (C/m²)

- Phân bố khối: $dq = \rho \cdot dV$

ρ : mật độ điện tích khối (C/m³)



Yếu tố (phần tử) điện tích dq tác dụng lên điện tích q_0 :

$$(\vec{F}_{q_0} = k \frac{q_0 dq}{r^2} \hat{r}) \Rightarrow d\vec{F} = k \frac{q_0 dq}{r^2} \hat{r}$$

Lực tĩnh điện do toàn bộ vật tích điện tác dụng lên điện tích q_0 :

$$\left(\vec{F}_0 = \sum_{i=1}^n \vec{F}_{0i} \right) \Rightarrow \vec{F} = \int_{\text{Vật}} d\vec{F} = k q_0 \int_{\text{Vật}} \frac{dq}{r^2} \hat{r}$$

16

2. Định luật Coulomb - Thí dụ

1) Hạt α là hạt nhân của nguyên tử Heli, có khối lượng $m = 6,64 \times 10^{-27} \text{ kg}$ và điện tích $q = 2e = 3,2 \times 10^{-19} \text{ C}$. So sánh lực tương tác tĩnh điện với lực hấp dẫn giữa hai hạt α .

Lực tĩnh điện giữa 2 hạt α là lực đẩy nhau, xuyên tâm (cùng phương)
Lực hấp dẫn giữa 2 hạt là lực hút nhau, xuyên tâm.

Độ lớn của lực:

- tĩnh điện giữa 2 hạt: $F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{r^2}$

- hấp dẫn giữa 2 hạt: $F_g = G \frac{m^2}{r^2}$ Với $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$

So sánh độ lớn: $\frac{F_e}{F_g} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 G} \frac{q^2}{m^2} = 3,1 \times 10^{35}$

17

2. Định luật Coulomb - Thí dụ

2) Hai điện tích điểm dương $q_1 = q_2 = q = 2 \mu\text{C}$ tương tác với điện tích thứ ba $Q = 4 \mu\text{C}$ (hình vẽ). Xác định độ lớn và chiều của lực tĩnh điện tác dụng lên Q.

Lực tĩnh điện tác dụng lên Q theo phương nối liền 2 điện tích, đẩy nhau vì điện tích cùng dấu.

$$\vec{F}_Q = \vec{F}_{1Q} + \vec{F}_{2Q}$$

- Độ lớn lực tĩnh điện tác dụng lên Q:

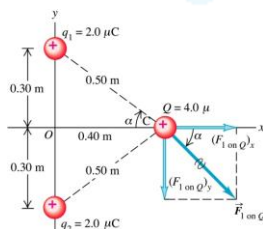
$$F_{1Q} = F_{2Q} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qQ}{r_{1Q}^2} = 0,29 \text{ N}$$

- Góc α của lực F_{1Q} và F_{2Q} hợp với trục x:

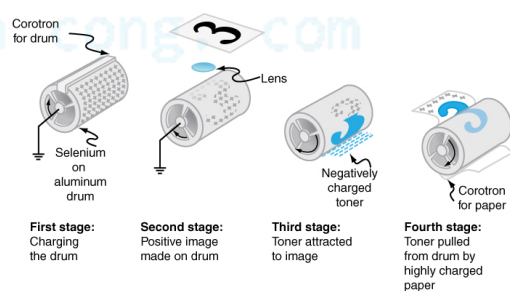
$$\cos \alpha = \frac{0,4}{0,5} = \frac{4}{5}$$

- Hợp lực tác dụng lên Q theo trục x:

$$F = F_x = 2 \cdot F_{1Q} \cos \alpha = 0,46 \text{ N}$$

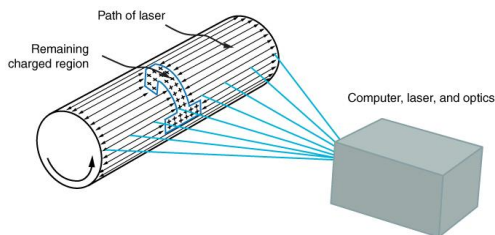


18



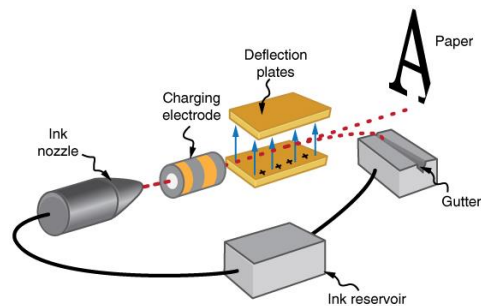
Ứng dụng tương tác tĩnh điện của máy photocopy (Xerography).

19



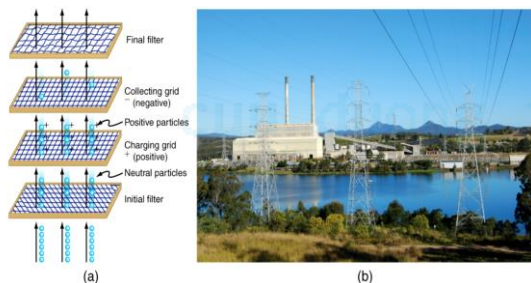
Ứng dụng tĩnh điện trong máy in laser.

20



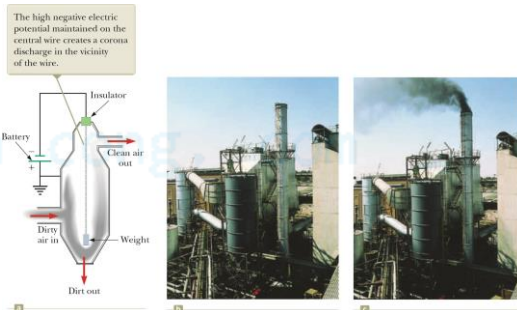
Ứng dụng tĩnh điện của máy in phun (ink-jet printer).

21



Ứng dụng tĩnh điện cho thiết bị lọc bụi khỏi thoát ra từ nhà máy. Khí thoát đi qua các lớp lưới tích điện trái dấu.

22



(a) Sơ đồ thiết bị lọc khí (ngưng tụ) tĩnh điện bằng phương pháp phóng điện hoa (Corona discharge), rất hiệu quả với nhà máy đốt than sinh nhiều bụi khói. (b) và (c) so sánh ô nhiễm không khí khi thiết bị lọc khí hoạt động và không hoạt động.

23

3. Điện trường (Electric field)

Điện tích tạo ra xung quanh nó một điện trường. Một điện tích đặt trong điện trường sẽ chịu một lực tĩnh điện.

Điện trường là môi trường trung gian qua đó lực điện truyền từ điện tích này đến điện tích khác.

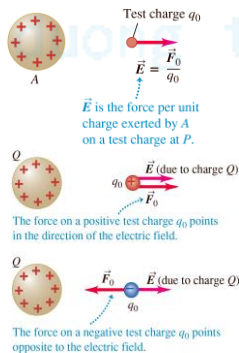
Vector cường độ điện trường tại một điểm:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (\text{N/C hay V/m})$$

Điện trường của một điện tích điểm Q:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$$

Biểu diễn vector: $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \hat{r}$



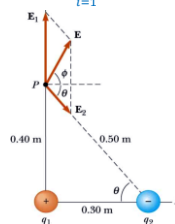
24

3. Điện trường - Nguyên lý chồng chất điện trường

Vector cường độ điện trường tại mỗi điểm do hệ điện tích tạo ra bằng tổng vector cường độ điện trường do mỗi điện tích tạo ra tại điểm đó.

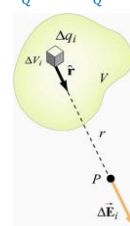
- Phân bố điện tích rời rạc:

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i$$



- Phân bố điện tích liên tục:

$$\vec{E} = \int_Q d\vec{E} = k \int_Q \frac{dq}{r^2} \hat{r}$$



25

3. Điện trường - Thí dụ

1) Điện trường của một lưỡng cực điện

Hai điện tích điểm bằng nhau và trái dấu $q_1 = -q_2 = 12 \text{ nC}$, đặt cách nhau một khoảng $d = 10 \text{ cm}$ (hình vẽ). Xác định điện trường sinh ra tại các điểm a, b, c bởi lưỡng cực điện.

Điện trường theo phương xuyên tâm và hướng ra xa điện tích dương.

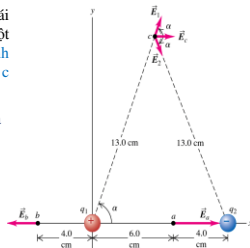
$$\text{Áp dụng: } E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$$

và nguyên lý chồng chất điện trường

$$a) E_a = E_{a1} = E_1 + E_2 = 9,8 \times 10^4 \text{ N/C}$$

$$b) E_b = E_{b1} = -E_1 + E_2 = -6,2 \times 10^4 \text{ N/C}$$

$$c) E_c = E_{c1} + E_{c2} = 2E_1 \cos \alpha, \quad \cos \alpha = 5/13$$



20

3. Điện trường - Thí dụ

2) Điện trường của một lưỡng cực điện tại 1 điểm trên trục đối xứng

Độ lớn điện trường do $-q$ hay $+q$ gây ra tại P:

$$E_1 = E_2 = k \frac{q}{r^2} = k \frac{q}{(a^2 + y^2)}$$

Do tính đối xứng, vector điện trường tổng hợp $E \parallel$ trục x và hướng về phía điện tích $-q$ có độ lớn:

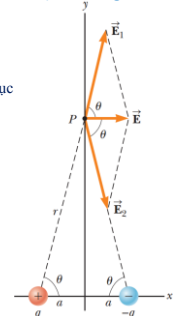
$$E = 2E_1 \cos \theta = 2k \frac{q}{r^2} \cos \theta \quad \text{Với } \cos \theta = \frac{a}{r}$$

$$\Rightarrow E = 2k \frac{aq}{r^3} = k \frac{2aq}{(a^2 + y^2)^{3/2}}$$

Đặt $p = q \cdot 2a$: mômen lưỡng cực điện

$$\Rightarrow E = k \frac{p}{(a^2 + y^2)^{3/2}}$$

$$\text{Khi } a \ll y, \quad E \approx k \frac{p}{y^3}$$



21

3. Điện trường - Thí dụ

3) Điện trường của một dây thẳng tích điện đều

Điện tích dương Q phân bố đều trên dây thẳng dài L mật độ λ . Xác định điện trường tại P trên trục x cách đầu thành một khoảng a.

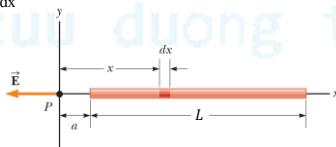
Phần tử điện tích: $dQ = \lambda dx$

Sinh ra điện trường dE:

$$dE = k \frac{\lambda dx}{x^2}$$

$$\Rightarrow E = k\lambda \int_a^{a+L} \frac{dx}{x^2}$$

$$\Rightarrow E = k\lambda \left[-\frac{1}{x} \right]_a^{a+L} = k \frac{Q}{L} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{a+L} \right) = k \frac{Q}{a(a+L)}$$



20

3. Điện trường - Thí dụ

3) Điện trường của một dây thẳng tích điện đều

Điện tích dương Q phân bố đều trên dây thẳng dài. Xác định điện trường tại P cách dây khoảng x.

Phần tử điện tích: $dQ = \lambda dy$

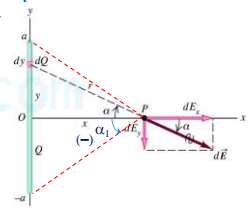
Sinh ra điện trường dE: $dE = k \frac{\lambda dy}{r^2}$

$$dE_x = dE \cdot \cos \alpha = k \frac{\lambda x dy}{r^3}$$

$$E_x = \int_Q dE_x = k\lambda x \int_{y_1}^{y_2} \frac{dy}{(x^2 + y^2)^{3/2}}$$

$$E_x = k \frac{\lambda}{x} \left[\frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right]_{y_1}^{y_2} = k \frac{\lambda}{x} \left(\frac{y_2}{\sqrt{x^2 + y_2^2}} - \frac{y_1}{\sqrt{x^2 + y_1^2}} \right) = k \frac{\lambda}{x} (\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1)$$

$$\text{Với } y_1 = -a \text{ và } y_2 = +a, \quad E = E_x = k \frac{\lambda 2a}{x \sqrt{x^2 + a^2}} = kQ \frac{1}{x \sqrt{x^2 + a^2}}$$



21

3. Điện trường - Thí dụ

3) Điện trường của một dây thẳng tích điện đều

Tính thành phần điện trường E_y :

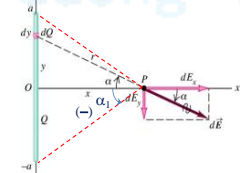
$$dE_y = -dE \cdot \sin \alpha = -k \frac{\lambda dy}{r^2} \frac{y}{r} = -k\lambda \frac{y dy}{r^3}$$

$$\Rightarrow E_y = -k\lambda \int_{y_1}^{y_2} \frac{y dy}{(x^2 + y^2)^{3/2}}$$

$$\Rightarrow E_y = -k\lambda \left[\frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right]_{y_1}^{y_2}$$

$$\Rightarrow E_y = -k \frac{\lambda}{x} \left(\frac{x}{\sqrt{x^2 + y_2^2}} - \frac{x}{\sqrt{x^2 + y_1^2}} \right) = k \frac{\lambda}{x} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$$

$$\text{Dây rất dài } (\alpha_1 \rightarrow -\pi/2, \alpha_2 \rightarrow \pi/2): \quad E_y = 0; \quad E = E_x \approx k \frac{2\lambda}{x} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 x}$$



30

3. Điện trường - Thí dụ

3) Điện trường của một dây thẳng tích điện đều

Cách tính khác:

$$\text{Điện trường dE: } dE = k \frac{dQ}{r^2} = k \frac{\lambda dy}{r^2}$$

$$dE_x = dE \cdot \cos \alpha, \quad \cos \alpha = \frac{x}{r} \Rightarrow r = \frac{x}{\cos \alpha}$$

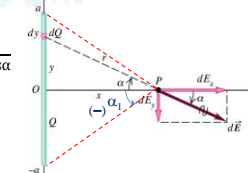
$$E_x = \int_L dE \cdot \cos \alpha = k \int_L \frac{\lambda dy \cdot \cos^3 \alpha}{x^2}$$

$$\text{Với } y = x \cdot \tan \alpha \Rightarrow dy = x \frac{d\alpha}{\cos^2 \alpha}$$

$$E_x = k \frac{\lambda}{x} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \cos \alpha \cdot d\alpha = k \frac{\lambda}{x} (\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1)$$

$$\text{Tương tự tính } E_y: \quad dE_y = -dE \cdot \sin \alpha, \quad \sin \alpha = \frac{y}{r} \Rightarrow r = \frac{y}{\sin \alpha}$$

$$\Rightarrow E_y = -k \frac{\lambda}{x} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin \alpha \cdot d\alpha = k \frac{\lambda}{x} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)$$



31

DIỆN TÍCH TRƯỜNG TÍNH ĐIỆN TS. Nguyễn Kim Quang

3. Điện trường - Thí dụ

4) Điện trường của một cung tròn tích điện đều

Phần tử điện tích $dQ = \lambda R d\theta$ sinh ra điện trường dE :

$$dE = k \frac{dQ}{R^2} = k \frac{\lambda R d\theta}{R^2} = k \frac{\lambda d\theta}{R}$$

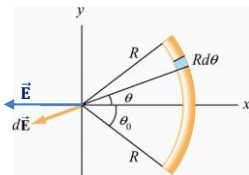
$$\left(\text{với } \lambda = \frac{Q}{2R\theta_0} \right)$$

$$dE_x = dE \cdot \cos(\theta + \pi) = -k \frac{\lambda d\theta}{R} \cos\theta$$

$$E = E_x = -k \frac{\lambda}{R} \int_{-\theta_0}^{\theta_0} \cos\theta \cdot d\theta = -2k \frac{\lambda}{R} (\sin\theta_0) = -\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^2 \theta_0} \sin\theta_0$$

$$\text{- Khi } \theta_0 = \pi/2 \text{ (Nửa vòng tròn): } E = -k \frac{2\lambda}{R} = -k \frac{2Q}{\pi R^2}$$

$$\text{- Khi } \theta_0 \rightarrow 0 \text{ (Điện tích điểm): } E = -k \frac{Q}{R^2}$$



32

DIỆN TÍCH TRƯỜNG TÍNH ĐIỆN TS. Nguyễn Kim Quang

3. Điện trường - Thí dụ

5) Điện trường của một vòng tròn tích điện đều

Một vật dẫn hình tròn bán kính a mang điện tích Q phân bố đều (hình vẽ). Xác định điện trường ở điểm P nằm trên trục của vòng tròn, cách tâm một đoạn x .

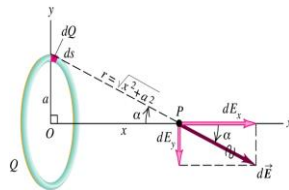
Phần tử điện tích dQ sinh ra điện trường dE :

$$dE = k \frac{dQ}{r^2}$$

$$dE_x = dE \cdot \cos\alpha = k \frac{x dQ}{r^3}$$

Điện trường tại P có phương trên trục đối xứng x :

$$E = E_x = \int_Q dE_x = k \frac{x}{r^3} \int_Q dQ = k \frac{Qx}{(x^2 + a^2)^{3/2}}$$



33

DIỆN TÍCH TRƯỜNG TÍNH ĐIỆN TS. Nguyễn Kim Quang

3. Điện trường - Thí dụ

6) Điện trường của một đĩa tròn tích điện đều

Xét phần tử điện tích là hình vành khăn vi cấp, bán kính r :

$$dq = \sigma(2\pi r \cdot dr) = 2\pi\sigma r dr$$

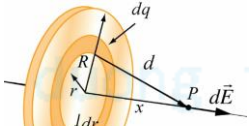
Áp dụng kết quả điện trường sinh bởi vòng tròn tích điện đều:

$$dE_x = k \frac{dq \cdot x}{(x^2 + r^2)^{3/2}} = k \frac{2\pi\sigma r dr \cdot x}{(x^2 + r^2)^{3/2}}$$

$$E_x = \int_{r=0}^R dE_x = \frac{\sigma x}{2\epsilon_0} \int_0^R \frac{r dr}{(x^2 + r^2)^{3/2}}$$

$$E_x = \frac{\sigma x}{2\epsilon_0} \left[-\frac{1}{\sqrt{x^2 + R^2}} + \frac{1}{x} \right] = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left[1 - \frac{x}{\sqrt{x^2 + R^2}} \right]$$

$$\text{Khi } x \ll R \text{ (gần mặt vật dẫn): } E \approx \sigma/2\epsilon_0$$



34

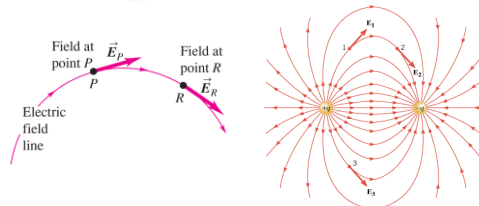
DIỆN TÍCH TRƯỜNG TÍNH ĐIỆN TS. Nguyễn Kim Quang

3. Điện trường - Đường sức điện trường (Electric field lines)

Là đường (cong) tưởng tượng được vẽ ra trong không gian sao cho tiếp tuyến ở mỗi điểm trùng với vector điện trường tại điểm đó. Chiều đường sức theo chiều vector E .

Đường sức điện trường là những đường cong hở (màu đỏ), xuất phát từ điện tích dương và kết thúc ở điện tích âm, hoặc ra vô cùng.

Mật độ đường sức điện trường tỉ lệ với độ lớn của điện trường tại mỗi điểm.



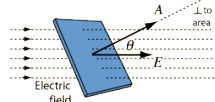
35

DIỆN TÍCH TRƯỜNG TÍNH ĐIỆN TS. Nguyễn Kim Quang

4. Định luật Gauss (1777-1855)

Thông lượng điện trường (Điện thông, Electric flux)

$$\text{flux} = \Phi = EA \cos\theta$$



Electric flux:

$$\Phi = \int E \cos\theta dA$$



$$\text{Thông lượng } E \text{ qua mặt vi cấp } dA: d\Phi_E = E_{\perp} dA = E \cos\theta \cdot dA = \vec{E} \cdot d\vec{A}$$

$$\text{Thông lượng } E \text{ qua mặt } A: \Phi_E = \int_A d\Phi_E = \int_A \vec{E} \cdot d\vec{A} \quad (N \cdot m^2/C)$$

$$\text{Thông lượng } E \text{ qua mặt kín } S: \Phi_E = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

$$\text{Thông lượng } E \text{ qua } N \text{ mặt: } \Phi_E = \sum_{i=1}^N \Phi_i$$

36

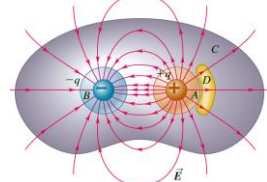
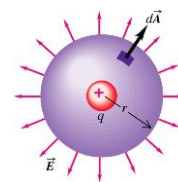
DIỆN TÍCH TRƯỜNG TÍNH ĐIỆN TS. Nguyễn Kim Quang

4. Định luật Gauss - Phát biểu định luật

Thông lượng điện trường toàn phần qua một mặt kín bằng tổng điện tích chứa bên trong chia cho ϵ_0 .

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q_{\text{trong}}}{\epsilon_0} \quad \text{Chứa điện môi: } \Phi_D = \oint \vec{D} \cdot d\vec{S} = Q_{\text{trong}}$$

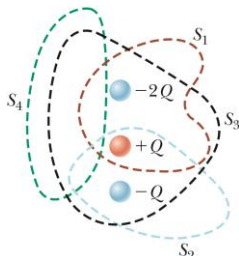
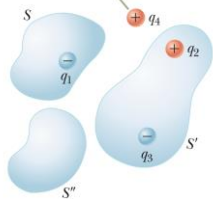
$$\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E} \quad (C/m^2): \text{Vector cảm ứng điện (Electrical induction)}$$



37

4. Định luật Gauss - Phát biểu định luật

Charge q_4 does not contribute to the flux through any surface because it is outside all surfaces.



Tìm thông lượng điện trường qua 4 mặt kín S_1, S_2, S_3, S_4 ?

38

4. Định luật Gauss Ứng dụng tính điện trường một số vật đối xứng

- 1) Trên bề mặt vật dẫn
- 2) Quả cầu tích điện đều (tích điện mặt)
- 3) Quả cầu tích điện đều (tích điện khối)
- 4) Dây thẳng dài tích điện đều
- 5) Mặt phẳng vô hạn tích điện đều
- 6) Giữa 2 mặt phẳng dẫn song song tích điện trái dấu

39

4. Định luật Gauss - Ứng dụng tính điện trường

1) Điện trường trên bề mặt vật dẫn

Chọn mặt Gauss S kín là mặt trụ đủ nhỏ, diện tích đáy A .

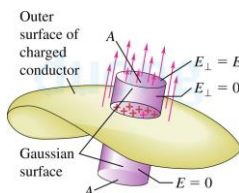
Điện trường bên trong vật dẫn bằng 0

Vecto \vec{E} gần mặt ngoài vật dẫn có độ lớn không đổi và vuông góc với mặt đáy A tại mọi điểm trên A .

$$\Phi_E = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = E \int_{\text{đáy } A} dS = E \cdot A$$

$$\Phi_E = E \cdot A = \frac{q_{\text{trong}}}{\epsilon_0} = \frac{\sigma A}{\epsilon_0}$$

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



40

4. Định luật Gauss - Ứng dụng tính điện trường

2) Quả cầu dẫn điện tích điện đều (Tích điện mặt)

Chọn mặt Gauss S kín là mặt cầu đồng tâm, bán kính r .

Vecto \vec{E} có độ lớn không đổi và vuông góc với mặt S tại mọi điểm trên S .

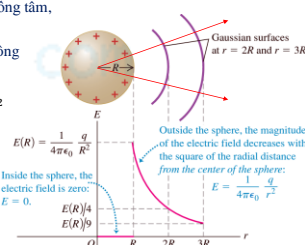
$$\Phi_E = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = E \oint dS = E \cdot 4\pi r^2$$

- Bên ngoài vật dẫn:

$$\text{DL Gauss: } \Phi_E = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$\Rightarrow E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$$

- Bên trong vật dẫn: $E=0$ ($q_{\text{trong}}=0$)



41

4. Định luật Gauss - Ứng dụng tính điện trường

3) Quả cầu cách điện tích điện đều (Tích điện khối)

Chọn mặt Gauss S kín là mặt cầu đồng tâm, bán kính r

Vecto \vec{E} có độ lớn không đổi và vuông góc với mặt S tại mọi điểm trên S .

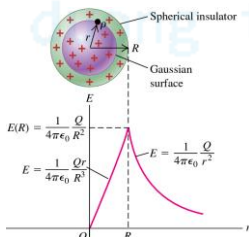
$$\Phi_E = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = E \cdot 4\pi r^2$$

Điện tích phân bố trong mặt Gauss S :

$$Q_{\text{tr}} = \rho V_{\text{tr}} = \frac{Q}{\frac{4}{3}\pi R^3} \cdot \frac{4}{3}\pi r^3 = Q \frac{r^3}{R^3}$$

$$\text{- Bên trong quả cầu: } \Phi_E = E \cdot 4\pi r^2 = \frac{Q r^3}{\epsilon_0 R^3} \Rightarrow E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q r}{R^3}, r < R$$

$$\text{- Bên ngoài quả cầu: } \Phi_E = E \cdot 4\pi r^2 = \frac{Q}{\epsilon_0} \Rightarrow E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}, r > R$$



42

4. Định luật Gauss - Ứng dụng tính điện trường

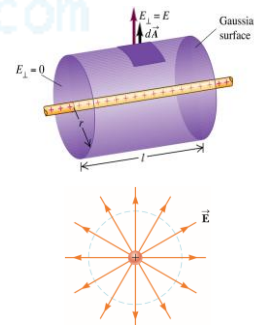
4) Dây thẳng dài tích điện đều

Chọn mặt Gauss S kín là mặt trụ dài l , tiết diện tròn bán kính r .

Vecto \vec{E} có độ lớn không đổi và vuông góc với mặt xung quanh tại mọi điểm.

$$\Phi_E = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = E \int_{xq} dS = E \cdot 2\pi r l$$

$$\text{DL Gauss: } \Phi_E = \frac{\lambda l}{\epsilon_0} \Rightarrow E = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\lambda}{r}$$



43

DIỆN TÍCH TRƯỜNG TÍNH ĐIỆN TS. Nguyễn Kim Quang

4. Định luật Gauss - Ứng dụng tính điện trường

5) Mặt phẳng vô hạn tích điện đều

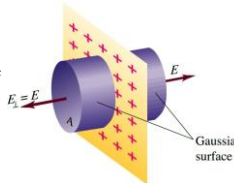
Chọn mặt S kín là mặt trụ điện tích đầy A.

Vectơ E có độ lớn không đổi và vuông góc với 2 mặt đáy.

$$\Phi_E = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = E \int_{\text{2 đáy}} dA = 2EA$$

$$\text{DL Gauss: } \Phi_E = \frac{\sigma A}{\epsilon_0}$$

$$\Rightarrow E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$



DIỆN TÍCH TRƯỜNG TÍNH ĐIỆN TS. Nguyễn Kim Quang

4. Định luật Gauss - Ứng dụng tính điện trường

6) Hai mặt phẳng song song tích điện trái dấu

Chọn mặt S₁ (hoặc S₂) là mặt trụ kín, diện tích đầy A.

Vectơ E có độ lớn không đổi và vuông góc với mặt đáy trong vùng giữa 2 mặt phẳng tích điện.

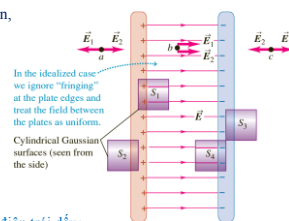
$$\Phi_E = \oint_{S_1} \vec{E} \cdot d\vec{S} = E \int_{\text{đáy}} dA = EA$$

$$\Phi_E = \frac{\sigma A}{\epsilon_0}$$

Điện trường giữa 2 mặt phẳng tích điện trái dấu:

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

Điện trường bên ngoài 2 mặt phẳng tích điện trái dấu: $E = 0$



DIỆN TÍCH TRƯỜNG TÍNH ĐIỆN TS. Nguyễn Kim Quang

5. Thế năng điện (Electric potential energy)

Công của lực tĩnh điện làm dịch chuyển điện tích q₀ từ điểm a đến b:

Công vi cấp: $dW = \vec{F} \cdot d\vec{l} = \vec{F} \cdot d\vec{s} \cos(\vec{F}, d\vec{s}) = F \cdot dr$

$$W_{a \rightarrow b} = \int_a^b \vec{F} \cdot d\vec{s} = \int_a^b k \frac{q_0 q}{r^2} dr$$

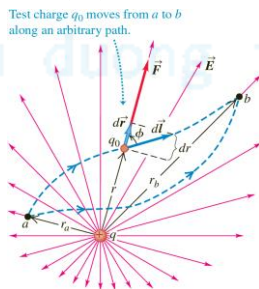
$$W_{a \rightarrow b} = \left(k \frac{q_0 q}{r_a} \right) - \left(k \frac{q_0 q}{r_b} \right)$$

=> Công của lực tĩnh điện không phụ thuộc quỹ đạo mà chỉ phụ thuộc vị trí đầu và cuối.

$$W = \oint \vec{F} \cdot d\vec{s} = 0$$

=> Công của lực tĩnh điện làm dịch chuyển q₀ giữa 2 điểm bằng độ giảm thế năng điện giữa 2 điểm đó:

$$W_{a \rightarrow b} = -\Delta U = U_a - U_b$$



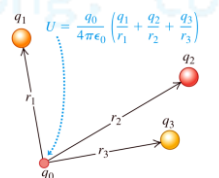
DIỆN TÍCH TRƯỜNG TÍNH ĐIỆN TS. Nguyễn Kim Quang

5. Thế năng điện (Electric potential energy)

Thế năng điện của điện tích điểm q₀ trong trường hợp:

- Hai điện tích: $U = k \frac{q_0 q}{r}$

- Hệ điện tích điểm: $U = kq_0 \left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} + \frac{q_3}{r_3} + \dots \right) = kq_0 \sum_{i=1}^N \frac{q_i}{r_i}$



- Phân bố điện tích liên tục: $U = kq_0 \int_{\text{Hệ}} \frac{dq}{r}$

DIỆN TÍCH TRƯỜNG TÍNH ĐIỆN TS. Nguyễn Kim Quang

6. Điện thế (Electric Potential)

Điện thế tại điểm đặt q₀ là thế năng điện ứng với một đơn vị điện tích dương tại đó:

$$V = \frac{U}{q_0} \quad (V = J/C)$$

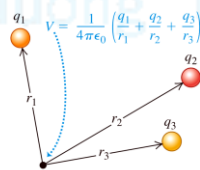
Điện thế tạo bởi điện tích điểm q: $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$

Do hệ điện tích điểm: $V = \sum_i V_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_i \frac{q_i}{r_i}$

Do phân bố liên tục: $V = \int_{\text{Vật}} dV = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{\text{Vật}} \frac{dq}{r}$

Hiệu điện thế giữa 2 điểm: $V_M - V_N = \frac{W_{MN}}{q_0} = \int_M^N \vec{E} \cdot d\vec{s}$

Điện thế tại 1 điểm trong điện trường: $V_M = \int_M^\infty \vec{E} \cdot d\vec{s}$ khi chọn $V_\infty = 0$



DIỆN TÍCH TRƯỜNG TÍNH ĐIỆN TS. Nguyễn Kim Quang

6. Điện thế - Thí dụ

1) Dây dẫn thẳng rất dài tích điện đều, mật độ λ.
Xác định điện thế tại điểm cách dây một khoảng r.

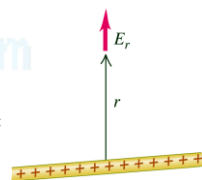
Ta có điện trường tại điểm cách dây một khoảng r:

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$$

$$V_M - V_N = \int_M^N \vec{E} \cdot d\vec{r} = \int_M^N E_r dr = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \int_M^N \frac{dr}{r} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_N}{r_M}$$

Chọn $V_N = 0$ ở $r_N = r_0$: $V = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_0}{r}$

Nếu $r_0 = 1$: $V = -\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln r$



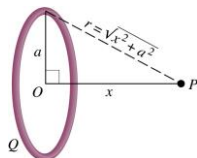
DIỆN TÍCH TRƯỜNG TÍNH ĐIỆN TS. Nguyễn Kim Quang

6. Điện thế - Thí dụ

2) Vòng dây tròn bán kính a tích điện đều Q . Xác định điện thế tại điểm P trên trục cách tâm vòng một khoảng x .

Xét phần tử dQ sinh ra điện thế dV tại P :

$$dV = \frac{dQ}{4\pi\epsilon_0 r}$$



$$\text{Điện thế tại } P: V = \int dV = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dQ}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{\sqrt{x^2 + a^2}}$$

Cách khác:

Biết điện trường sinh bởi vòng dây tròn: $E = E_x = k \frac{Qx}{(x^2 + a^2)^{3/2}}$

$$V = \int_x^\infty E_x dx = kQ \int_x^\infty \frac{x}{(x^2 + a^2)^{3/2}} dx = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{\sqrt{x^2 + a^2}}$$

50

DIỆN TÍCH TRƯỜNG TÍNH ĐIỆN TS. Nguyễn Kim Quang

7. Liên hệ giữa điện trường và điện thế

Công vi cấp của lực tĩnh điện:

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{s} = q_0 \vec{E} \cdot d\vec{s} = -dU = -q_0 dV$$

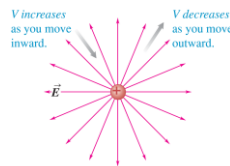
$$\Rightarrow \vec{E} \cdot d\vec{s} = E_s ds = -dV \Rightarrow E_s = -\frac{dV}{ds}$$

$$\Rightarrow E_x = -\frac{\partial V}{\partial x}; E_y = -\frac{\partial V}{\partial y}; E_z = -\frac{\partial V}{\partial z}$$

$$\Rightarrow \vec{E} = E_x \vec{i} + E_y \vec{j} + E_z \vec{k} = \left(-\frac{\partial V}{\partial x} \vec{i} - \frac{\partial V}{\partial y} \vec{j} - \frac{\partial V}{\partial z} \vec{k} \right)$$

$$\text{Biểu diễn vector } \vec{E}: \vec{E} = -\left(\vec{i} \frac{\partial}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial}{\partial z} \right) V$$

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



51

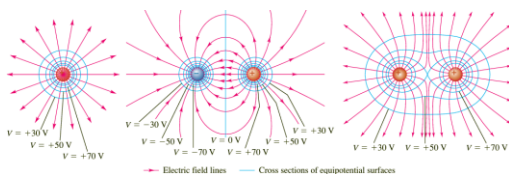
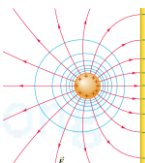
DIỆN TÍCH TRƯỜNG TÍNH ĐIỆN TS. Nguyễn Kim Quang

8. Mặt đẳng thế (Equipotential Surfaces)

Mặt đẳng thế là mặt trong không gian, trên đó điện thế tại mọi điểm đều bằng nhau (đường màu xanh).

\Rightarrow Công lực tĩnh điện dịch chuyển điện tích trên một mặt đẳng thế bằng 0.

Vector điện trường vuông góc với mặt đẳng thế tại mọi điểm và theo chiều giảm (mạnh nhất) của điện thế.



52

DIỆN TÍCH TRƯỜNG TÍNH ĐIỆN TS. Nguyễn Kim Quang

9. lưỡng cực điện (electric dipole)

Là cặp điện tích bằng nhau và trái dấu ($+q$ và $-q$) đặt cách nhau một khoảng d .

Tích số điện tích q và khoảng cách lưỡng cực d được gọi là moment lưỡng cực: $p = qd$ (C.m)

Vector moment lưỡng cực điện: $\vec{p} = q \cdot \vec{d}$

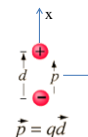
Điện trường do lưỡng cực là tổng vector điện trường do 2 điện tích sinh ra:

- Tại điểm trên trục lưỡng cực x :

$$\text{Khi } x \gg d, E_x = 2k \frac{p}{x^3}$$

- Tại điểm trên trục z vuông góc với trục của lưỡng cực:

$$\text{Khi } z \gg d, E_z = k \frac{p}{z^3}$$



53

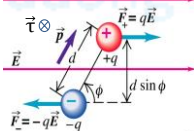
DIỆN TÍCH TRƯỜNG TÍNH ĐIỆN TS. Nguyễn Kim Quang

9. lưỡng cực điện (electric dipole) - Đặt trong điện trường

Tổng lực tĩnh điện tác dụng lên lưỡng cực bằng 0 nhưng momen ngẫu lực (torque) τ nói chung khác 0.

$$\tau = F \cdot d \cdot \sin\phi = qE \cdot d \sin\phi = pE \sin\phi$$

$$\text{Biểu diễn vector: } \vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$$



Ngẫu lực τ làm lưỡng cực quay một góc $d\phi$ sẽ sinh công dW tương ứng độ giảm thế năng điện của lưỡng cực: $dW = -\tau d\phi = -pE \sin\phi \cdot d\phi = -dU$

$$\text{Công: } W = \int_{\phi_1}^{\phi_2} -pE \sin\phi \cdot d\phi = pE \cos\phi_2 - pE \cos\phi_1 = U_1 - U_2$$

$$W = -pE(\cos\phi_1 - \cos\phi_2)$$

Thế năng điện của lưỡng cực p trong điện trường E : $U = -pE \cos\phi = -\vec{p} \cdot \vec{E}$ ($U=0$ khi $\phi=\pi/2$)

54

DIỆN TÍCH TRƯỜNG TÍNH ĐIỆN TS. Nguyễn Kim Quang

TÓM TẮT CÔNG THỨC

$$1) \text{ Lực Coulomb: } \vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}, \hat{r} = \frac{\vec{r}}{r}, k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \cdot 10^9$$

$$2) \text{ Điện trường của một điện tích điểm } Q: \vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \hat{r} \quad (N/C = V/m)$$

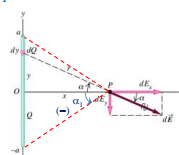
$$3) \text{ Điện trường của hệ điện tích: } \vec{E} = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i$$

$$\text{Hệ điện tích liên tục: } \vec{E} = \int_Q d\vec{E} = k \int_Q \frac{dq}{r^2} \hat{r}$$

$$4) \text{ Điện trường của dòng điện thẳng:}$$

$$E_x = k \frac{\lambda}{x} (\sin\alpha_2 - \sin\alpha_1)$$

$$E_y = k \frac{\lambda}{x} (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)$$



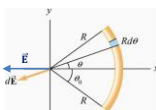
55

DIỆN TÍCH **TRƯỜNG TÍNH ĐIỆN** TS. Nguyễn Kim Quang

TÓM TẮT CÔNG THỨC

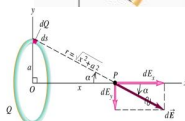
- 5) Điện trường của một cung tròn tích điện đều:

$$E = E_x = -2k \frac{\lambda}{R} (\sin \theta_0) = -\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^2 \theta_0} \sin \theta_0$$



- 6) Điện trường của một vòng tròn tích điện đều:

$$E = E_x = k \frac{Qx}{(x^2 + a^2)^{3/2}}$$



- 7) Thông lượng E qua mặt A: $\Phi_E = \int_A \vec{E} \cdot d\vec{A}$

- 8) Định luật Gauss: $\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q_{\text{trong}}}{\epsilon_0} \quad (N.m^2/C)$

- 9) Điện trường trên bề mặt vật dẫn: $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$

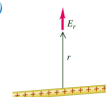
56

DIỆN TÍCH **TRƯỜNG TÍNH ĐIỆN** TS. Nguyễn Kim Quang

TÓM TẮT CÔNG THỨC

- 10) Điện trường của quả cầu tích điện đều: $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \quad (r > R)$

- 11) Điện trường của dây thẳng rất dài tích điện đều: $E = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\lambda}{r}$



- 12) Điện trường của mặt phẳng vô hạn tích điện đều: $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$

- 13) Điện thế tạo bởi điện tích điểm q: $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} \quad (V)$

- 14) Điện thế tạo bởi hệ điện tích: $V = \sum_i V_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_i \frac{q_i}{r_i}$

Hệ điện tích liên tục: $V = \int_{\text{Hệ}} dV = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{\text{Hệ}} \frac{dq}{r}$

- 15) Điện thế tạo bởi dây dẫn thẳng rất dài: $V = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_0}{r}$

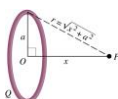
57

DIỆN TÍCH **TRƯỜNG TÍNH ĐIỆN** TS. Nguyễn Kim Quang

TÓM TẮT CÔNG THỨC

- 16) Điện thế tạo bởi vòng dây dẫn tròn tích điện đều:

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{\sqrt{x^2 + a^2}}$$



- 17) Hiệu điện thế giữa 2 điểm: $V_M - V_N = \frac{W_{MN}}{q_0} = \int_M^N \vec{E} \cdot d\vec{s}$

- 18) Điện thế tại 1 điểm trong điện trường: $V_M = \int_M^\infty \vec{E} \cdot d\vec{s}$ khi chọn $V_\infty = 0$

- 19) Liên hệ giữa E và điện thế: $E_x = -\frac{\partial V}{\partial x}; E_y = -\frac{\partial V}{\partial y}; E_z = -\frac{\partial V}{\partial z}$

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

58