



"If you've ever wondered why the sky is blue, how radio waves can travel through empty space, or how a satellite stays in orbit, you can find the answers by using fundamental physics. You will come to see physics as a towering achievement of the human intellect in its quest to understand our world and ourselves".

UNIVERSITY PHYSICS With Modern Physics

Hugh D. Young, Carnegie Mellon University

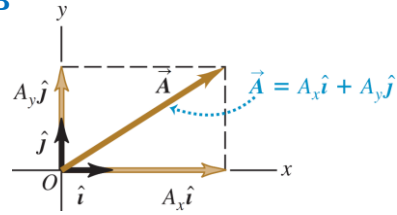
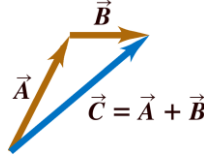
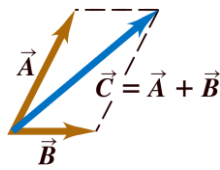
Roger A. Freedman, University of California

1

cuu duong than cong . com

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 trường
9. Lường cực điện

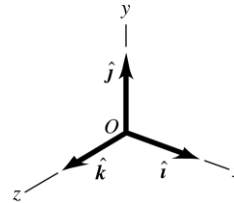
2

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

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{A} + \vec{B} = \vec{B} + \vec{A} \\ (\vec{A} + \vec{B}) + \vec{C} = \vec{A} + (\vec{B} + \vec{C}) \\ c\vec{A} = \vec{A}c \\ b(c\vec{A}) = (bc)\vec{A} = c(b\vec{A}) = bc\vec{A} \\ c(\vec{A} + \vec{B}) = c\vec{A} + c\vec{B} \\ (b + c)\vec{A} = b\vec{A} + c\vec{A} \end{array} \right.$$

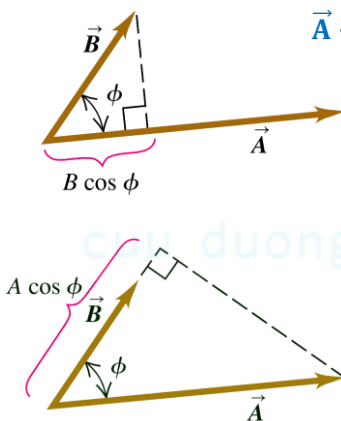
Hệ tọa độ Descartes:

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



3

cuu duong than cong . com

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

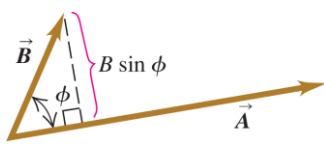
$$\vec{A} \cdot \vec{B} = S = A \cdot B \cdot \cos \phi = A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z$$

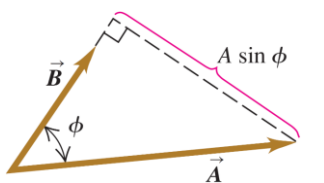
Tính chất:

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

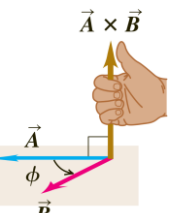
4

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

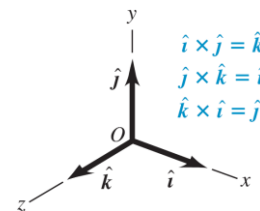


$$\vec{A} \times \vec{B} = \vec{V} \begin{cases} |\vec{V}| = AB \sin \phi \\ \vec{V} \perp \vec{A} \text{ và } \vec{V} \perp \vec{B} \\ \text{Quy tắc bàn tay phải} \end{cases}$$


Tính chất:

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


$$\vec{A} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$$

$$\vec{A} \times \vec{B} = (A_y B_z - A_z B_y)\hat{i} + (A_z B_x - A_x B_z)\hat{j} + (A_x B_y - A_y B_x)\hat{k}$$


$$\begin{aligned} \hat{i} \times \hat{j} &= \hat{k} \\ \hat{j} \times \hat{k} &= \hat{i} \\ \hat{k} \times \hat{i} &= \hat{j} \end{aligned}$$

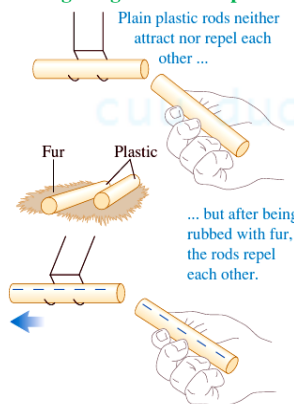
5

1. Những khái niệm mở đầu - Vật tích điện

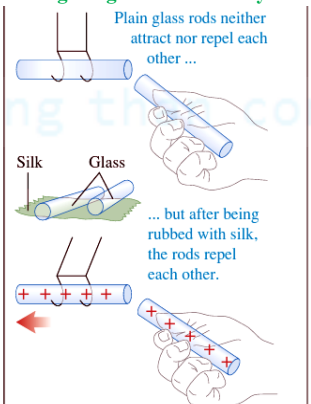
Hiện tượng tĩnh điện đã được người Hy Lạp phát hiện hơn 2.500 năm trước CN. Sau khi cọ xát 2 vật: hổ phách (amber) hay plastic với da thú, thủy tinh với lụa, ... Chúng trở nên **nhễm điện** hay gọi là tích điện.

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

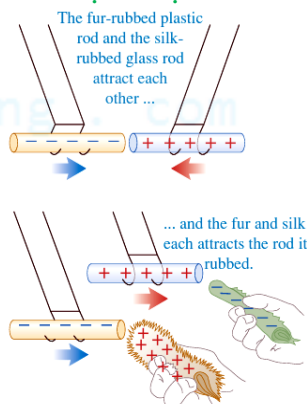
Tương tác giữa 2 thanh plastic



Tương tác giữa 2 thanh thủy tinh



Hai vật tích điện trái dấu



6



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

7

cuu duong than cong . com

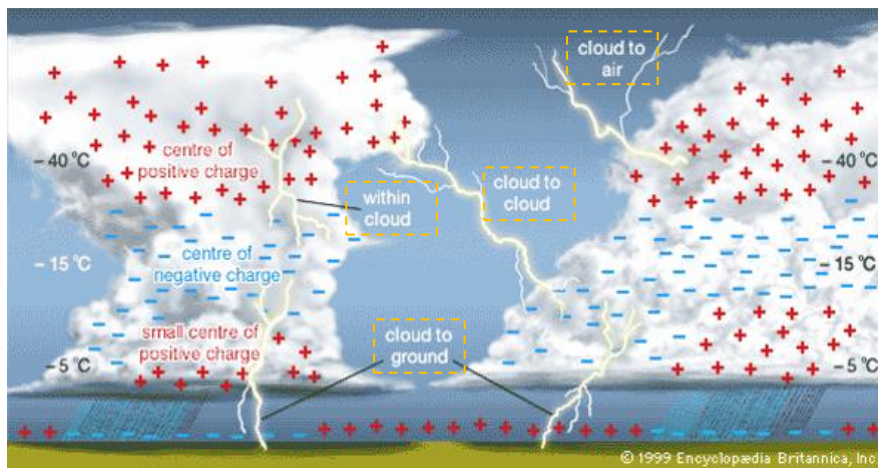
1. Những khái niệm mở đầu - Vật tích điện



Tóc tích điện sau khi ma sát với máng trượt plastic

8

1. Những khái niệm mở đầu – Sét (Lightning)



Lightning - Do ma sét trong khí quyển, các đám mây tích điện. Mặt đất bên dưới đám mây cảm ứng điện tích trái chiều tạo ra điện trường mạnh giữa chúng. Điện thế có thể đạt đến hàng trăm triệu Volt. Cường độ sét có thể lên đến hàng chục ngàn Ampere.

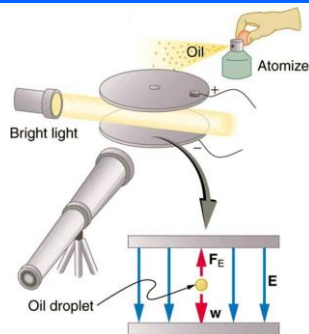
9

1. Những khái niệm mở đầu

Điện tích (Electric charge)

Điện tích có cấu tạo gián đoạn, bằng một số nguyên lần điện tích nguyên tố e^- .

Thí nghiệm giọt dầu Millikan (1909) đã chứng tỏ điện tích luôn bằng một số nguyên lần e .



Có 2 loại điện tích: Điện tích **dương** (giống điện tích xuất hiện trên thủy tinh), Điện tích **âm** (giống điện tích xuất hiện trên hồ phách, nhựa).

Điện tích nguyên tố (elementary charge): điện tích nhỏ nhất được biết trong tự nhiên, độ lớn bằng điện tích của electron (e , âm) hay proton (p , dương).

Điện tích của e : $e \approx -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

Khối lượng: $m_e \approx 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$;

Proton: $m_p \approx 1,672 \times 10^{-27} \text{ kg}$; Neutron: $m_n \approx 1,674 \times 10^{-27} \text{ kg}$

Đơn vị điện tích (SI): Coulomb (C)

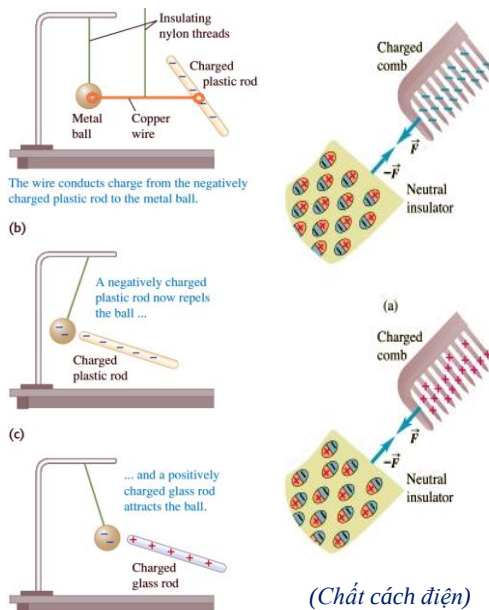
10

1. Những khái niệm mở đầu - Vật dẫn và vật cách điện

Chất dẫn điện (Conductor) cho điện tích di chuyển tự do trong vật.
TD: Hầu hết kim loại dẫn điện tốt, các dung dịch muối, axit, bazơ ...

Chất cách điện (Insulator): điện tích không thể di chuyển tự do trong vật mà xuất hiện ở đâu thì định xứ ở đó.
TD: Hầu hết phi kim, thủy tinh, nhựa, cao su, nước nguyên chất ...

Chất bán dẫn (Semiconductor): có tính chất trung gian giữa chất dẫn điện và chất cách điện.
TD: Silicon, Germanium ...



11

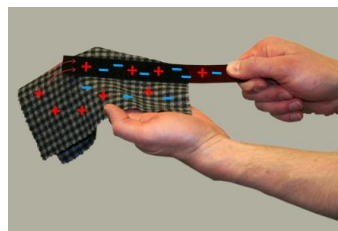
cuu duong than cong . com

1. Những khái niệm mở đầu Vật dẫn và vật cách điện

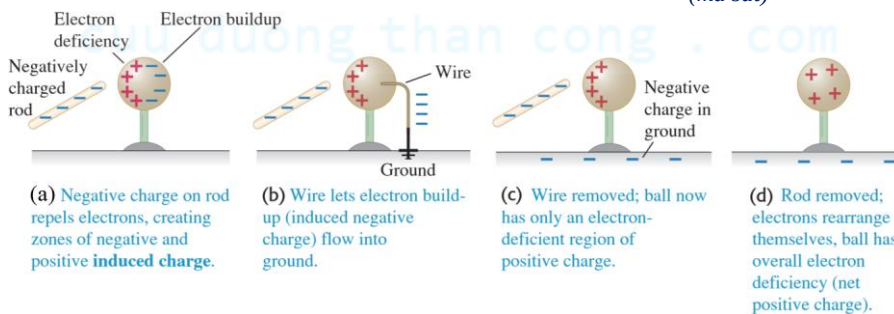
Tích điện bởi ma sát (Friction)

Tích điện bởi cảm ứng (induction)

Tích điện bởi tiếp xúc, dẫn điện (Contact, Conduction)

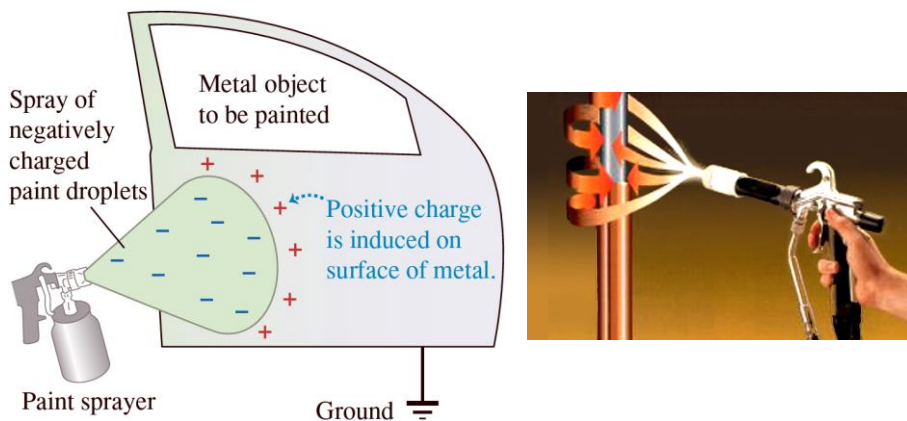


(ma sát)



12

Ứng dụng tương tác tĩnh điện - Sơn tĩnh điện



Sơn tĩnh điện – Electrostatic painting

13

cuu duong than cong . com

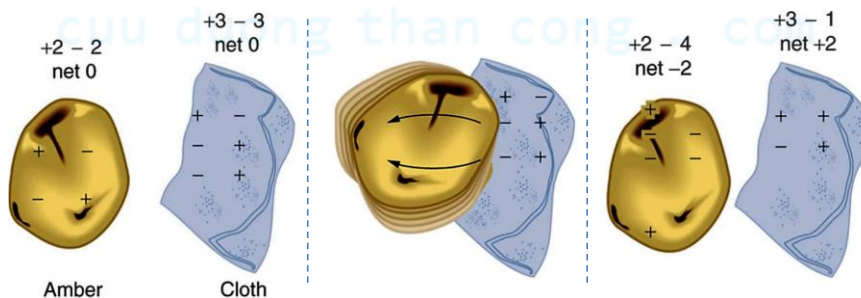
1. Những khái niệm mở đầu - Nguyên lý bảo toàn điện tích

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.

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



14

2. Định luật Coulomb (1784) - Định luật

Tương tác giữa 2 điện tích:

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

Vector lực Coulomb:

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

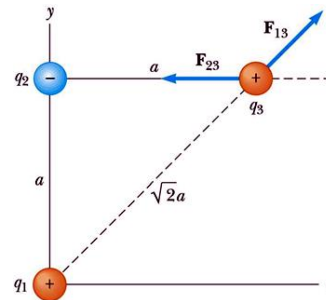
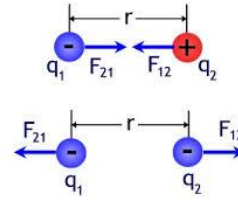
Đơn vị SI: q (C) ; r (m) ; F (N)

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

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

cuu duong than cong . com

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

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

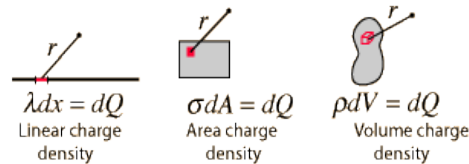
λ : mật độ điện tích dài (C/m)

- 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 :

$$\left(\vec{F}_{q_0} = k \frac{q_0 q}{r^2} \hat{r} \right) \longrightarrow d\vec{F} = k \frac{q_0 \cdot dq}{r^2} \hat{r}$$

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

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

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 $q = 2|e| = 3,2 \times 10^{-19} \text{C}$. 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: $F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{r^2}$

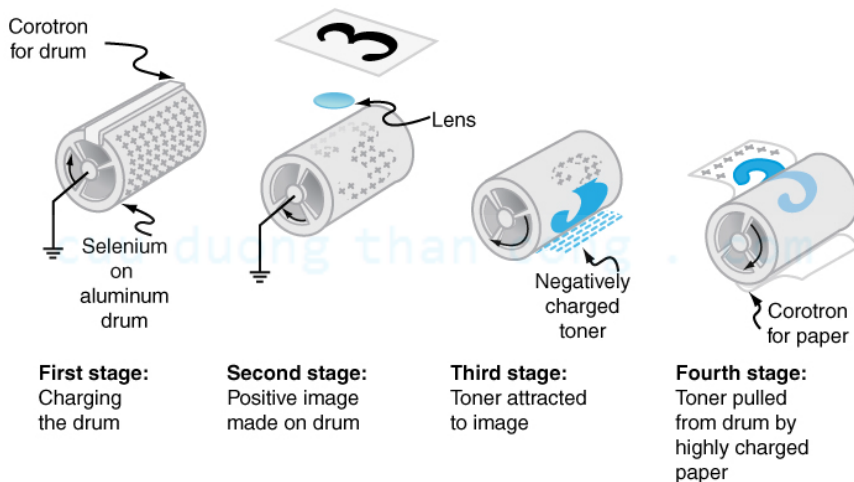
- Hấp dẫn giữa 2 hạt: $F_g = G \frac{m^2}{r^2}$ Với $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$

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

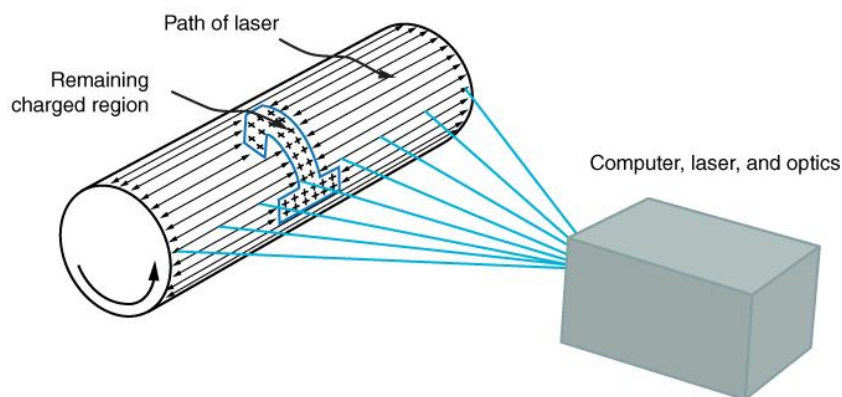
cuu duong than cong . com

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



18

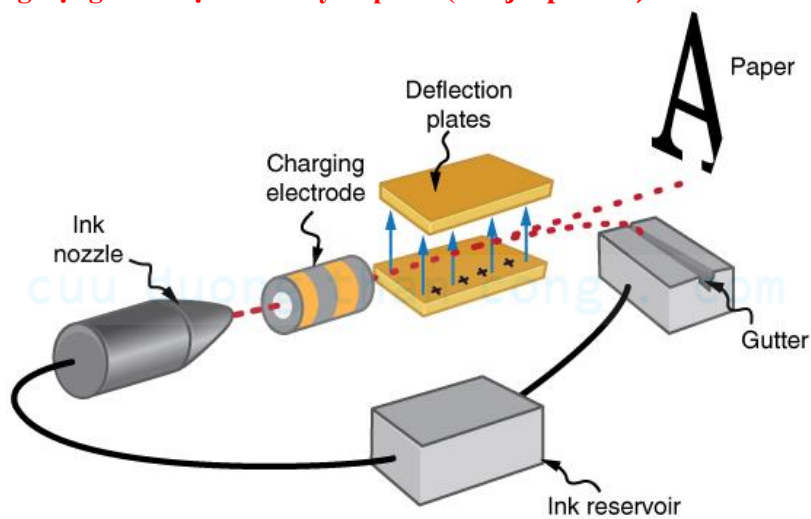
Ứng dụng tĩnh điện trong máy in laser



19

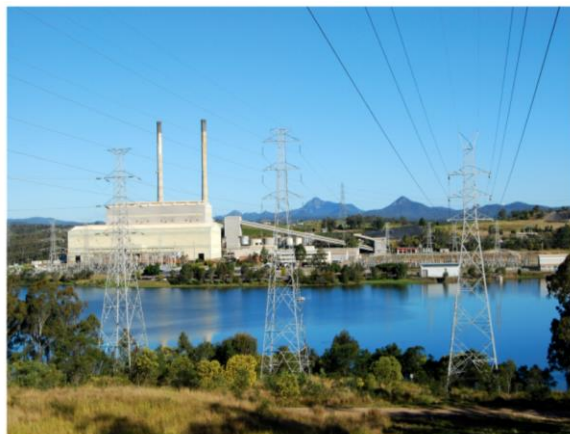
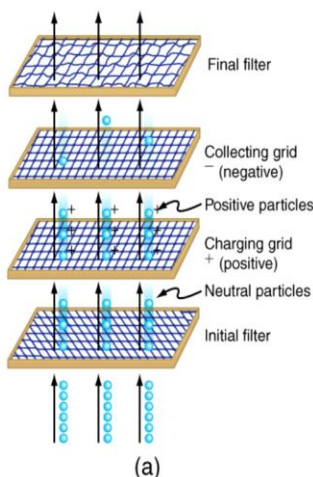
cuu duong than cong . com

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



20

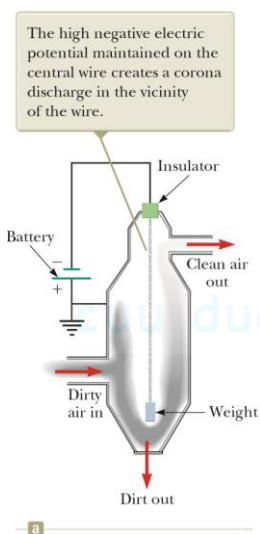
Ứng dụng tĩnh điện cho thiết bị lọc bụi thoát ra từ nhà máy



Khí thoát đi qua các lớp lưới tích điện trái dấu.

21

Sơ đồ thiết bị lọc khí bằng phương pháp phóng điện hoa (Corona discharge), rất hiệu quả với nhà máy đốt than nhiều bụi khói.



(b) thiết bị lọc khí hoạt động (c) thiết bị lọc không hoạt động.

22

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 truyền tương tác điện giữa các điện tích.

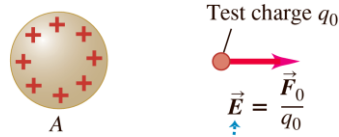
Vector cường độ điện trường tại một điểm:

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

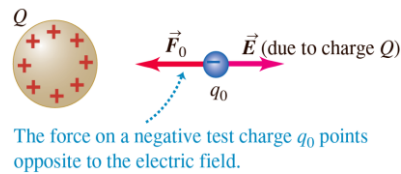
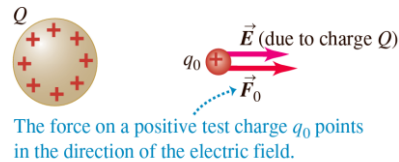
Điện trường của một điện tích điểm Q:

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

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



$\vec{E}$ is the force per unit charge exerted by A on a test charge at P.



23

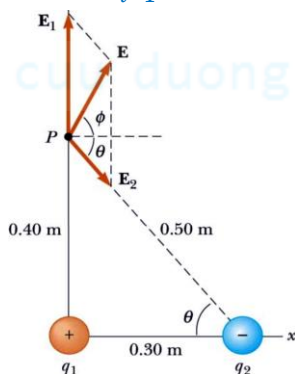
cuu duong than cong . com

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.

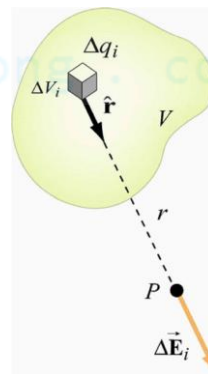
- Phân bố điện tích **rời rạc**:

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



- Phân bố điện tích **liên tục**:

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



24

3. Điện trường - Thí dụ

1) 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:

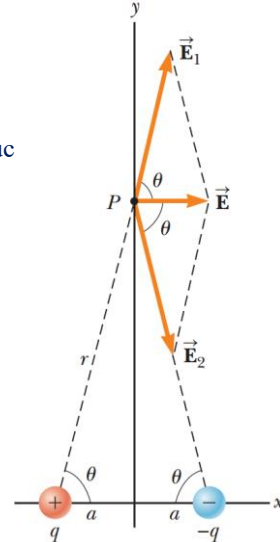
$$E = 2E_1 \cos \theta = 2k \frac{q}{r^2} \cos \theta \quad \text{Với } \cos \theta = \frac{a}{r}$$

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

Đặt $p=q.2a$: mômen lưỡng cực điện

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

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



25

cuu duong than cong . com

3. Điện trường - Thí dụ

2) 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 thanh một khoảng a .

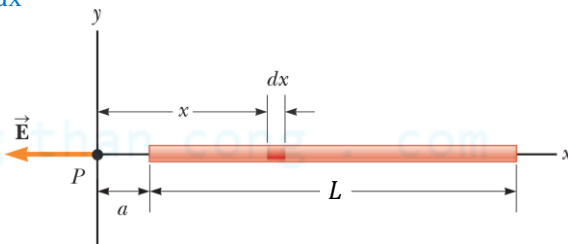
Phần tử điện tích: $dQ = \lambda dx$

Sinh ra điện trường dE :

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

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

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



26

3. Điện trường - Thí dụ

3) Dây thẳng tích điện đều

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

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

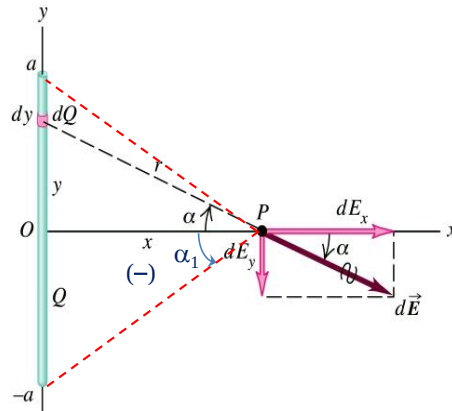
$$E_x = \int_L dE \cdot \cos \alpha = k \int_L \frac{\lambda dy \cdot \cos^3 \alpha}{x^2}$$

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

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

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

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



27

cuuduongthancong.com

3. Điện trường - Thí dụ

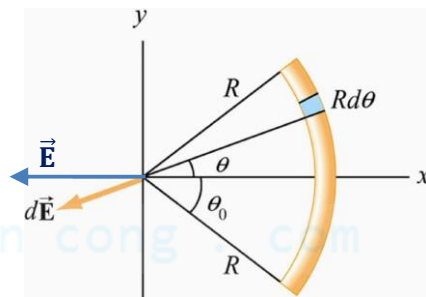
4) Điện trường của một cung tròn tích điện đều

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

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

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

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



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

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

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

28

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 .

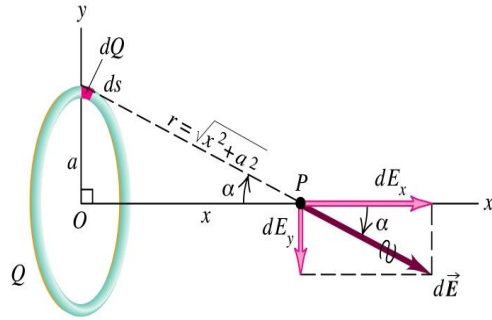
Phần tử điện tích dQ sinh ra điện trường dE :

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

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

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

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



29

cuuduongthancong.com

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 :

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

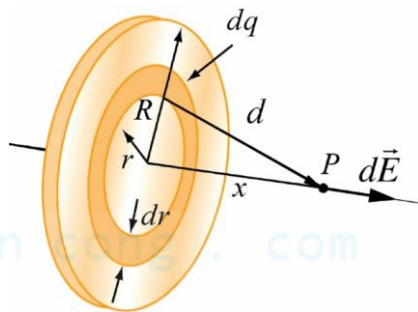
Áp dụng kết quả điện trường sinh bởi vòng tròn tích điện đều:

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

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

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

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



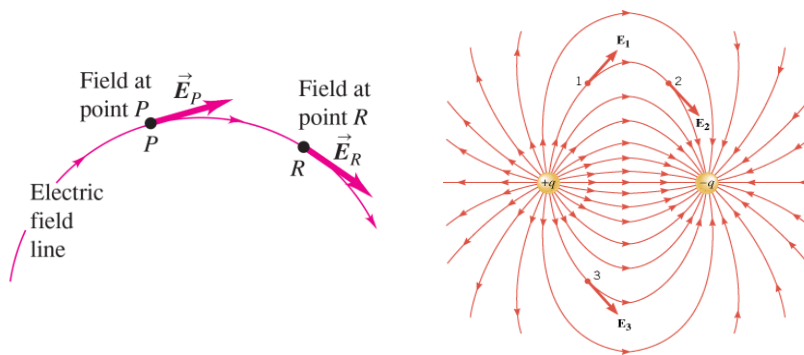
30

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 $\vec{E}$.

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.



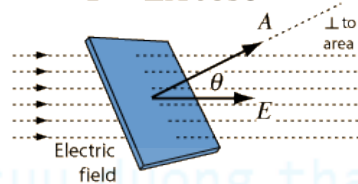
31

cuu duong than cong . com

4. Định luật Gauss (1777-1855)

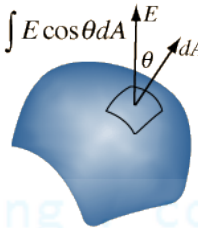
Thông lượng điện trường (Điện thông, Electric flux)

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



Electric flux:

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



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

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

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

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

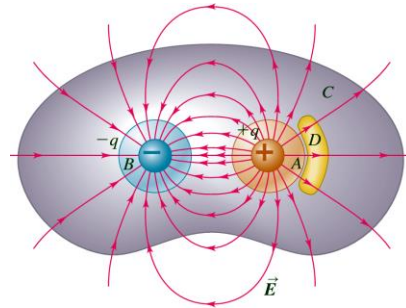
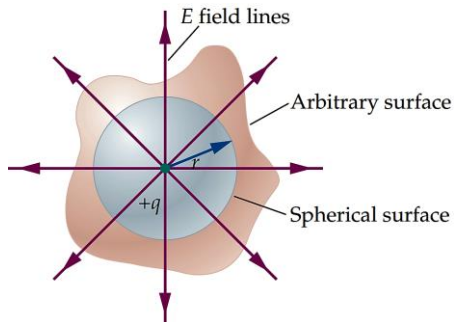
32

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 .

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

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

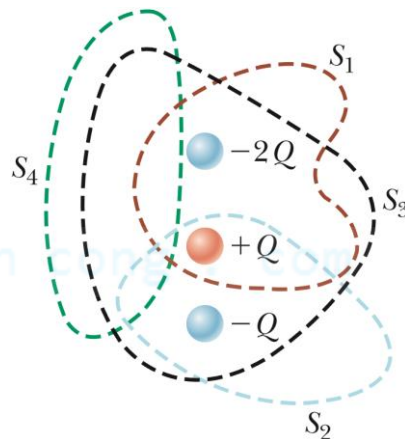
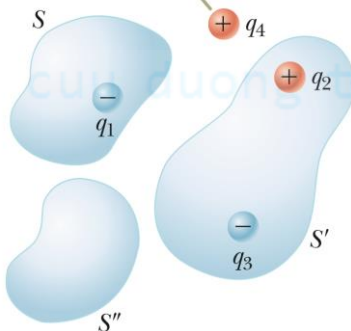


33

cuu duong than cong . com

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 ?

34

4. Định luật Gauss - Ứng dụng tính điện trường

1) Điện trường trên bề mặt vật dẫn

Chọn mặt Gauss S kín (màu tím) là mặt trụ đủ nhỏ, diện tích đáy A .

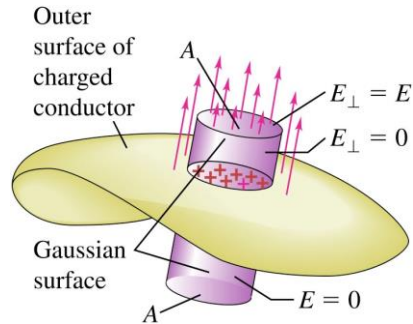
Điện trường bên trong vật dẫn bằng 0

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

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

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

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



36

cuu duong than cong . com

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 (màu tím) là mặt cầu đồng tâm, bán kính r .

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

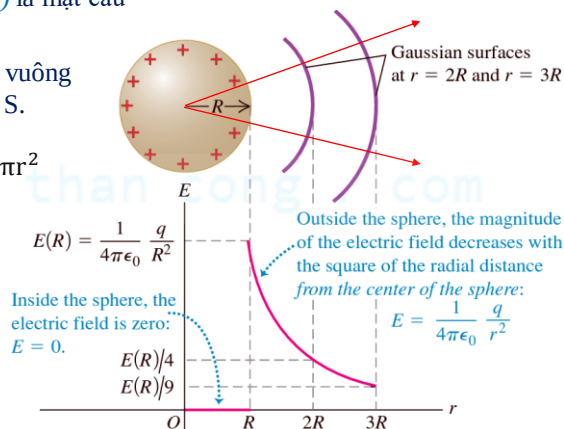
$$\Phi_E = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = E \oint dS = E \cdot 4\pi r^2$$

- Bên ngoài vật dẫn:

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

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

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



37

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 (màu tím) là mặt cầu đồng tâm, bán kính r

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

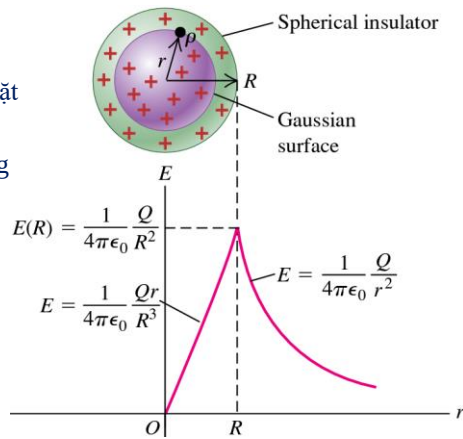
$$\Phi_E = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = E \cdot 4\pi r^2$$

Điện tích phân bố trong mặt Gauss S :

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

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

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



38

cuu duong than cong . com

4. Định luật Gauss - Ứng dụng tính điện trường

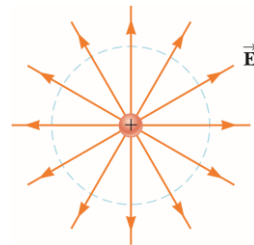
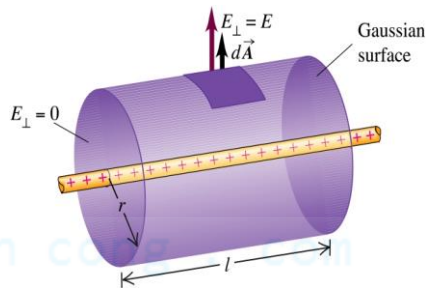
4) Dây thẳng dài tích điện đều

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

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

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

$$\begin{aligned} \text{ĐL Gauss: } \Phi_E &= \frac{\lambda l}{\epsilon_0} \\ \Rightarrow E &= \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\lambda}{r} \end{aligned}$$



39

4. Định luật Gauss - Ứng dụng tính điện trường

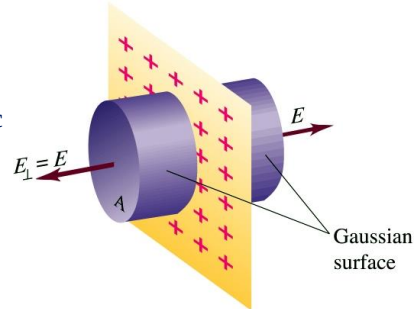
5) Mặt phẳng vô hạn tích điện đều

Chọn mặt S kín (màu tím) là mặt trụ diện tích đáy A .

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

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

$$\begin{aligned} \text{ĐL Gauss: } \Phi_E &= \frac{\sigma A}{\epsilon_0} \\ \Rightarrow E &= \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \end{aligned}$$



40

cuu duong than cong . com

4. Định luật Gauss - Ứng dụng tính điện trường

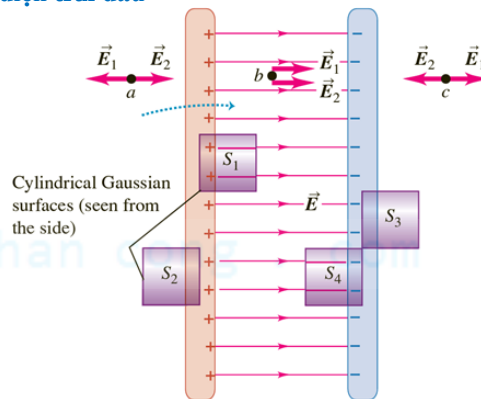
6) Hai mặt phẳng song song tích điện trái dấu

Chọn mặt S_1 (hoặc S_4) là mặt trụ diện tích đáy A .

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

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

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



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: $E = 0$

41

5. Thế năng điện (Electric potential energy)

Công của lực tĩnh điện làm dịch chuyển điện tích q_0 từ điểm a đến b :

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

$$W_{a \rightarrow b} = \int_a^b \vec{F} \cdot d\vec{s} = \int_a^b k \frac{qq_0}{r^2} dr$$

$$W_{a \rightarrow b} = \left(k \frac{qq_0}{r_a} \right) - \left(k \frac{qq_0}{r_b} \right)$$

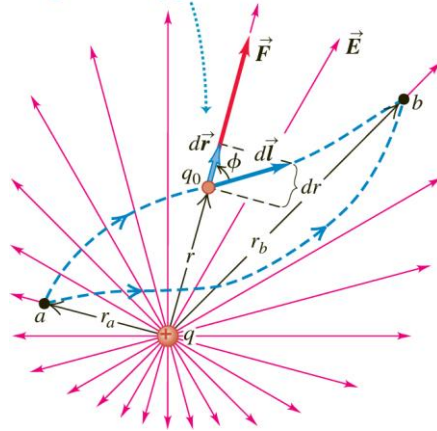
=> **Công của lực tĩnh điện** không phụ thuộc quỹ đạo mà chỉ phụ thuộc vị trí đầu và cuối.

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

Công của lực tĩnh điện làm dịch chuyển q_0 giữa 2 điểm bằng độ giảm thế năng điện giữa 2 điểm đó:

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

Test charge q_0 moves from a to b along an arbitrary path.



42

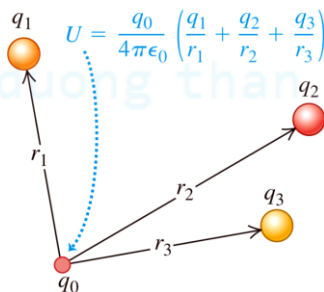
cuu duong than cong . com

5. Thế năng điện (Electric potential energy)

Thế năng điện của điện tích điểm q_0 trong trường hợp:

- Hai điện tích: $U = k \frac{qq_0}{r}$

- 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: $U = kq_0 \int_{\text{Hệ}} \frac{dq}{r}$

43

cuu duong than cong . com

6. Điện thế (Electric Potential)

Điện thế tại điểm đặt q_0 là thế năng điện ứng với một đơn vị điện tích dương tại đó:

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

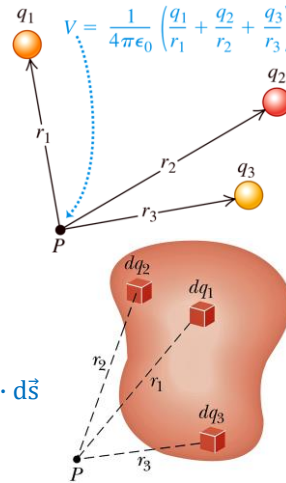
Điện thế tạo bởi điện tích điểm q : $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$

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 $V_\infty = 0$



44

cuu duong than cong . com

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 .

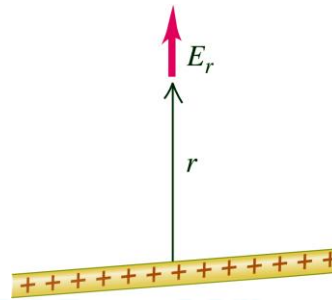
Ta có điện trường tại điểm cách dây một khoảng r :

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

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

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

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



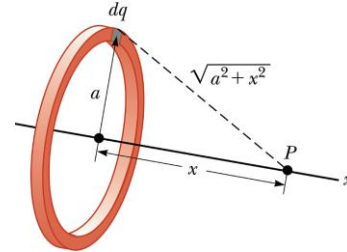
45

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 tròn một khoảng x .

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

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



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

Cách khác:

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

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

46

cuu duong than cong . com

7. Liên hệ giữa điện trường và điện thế

Công vi cấp của lực tĩnh điện:

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

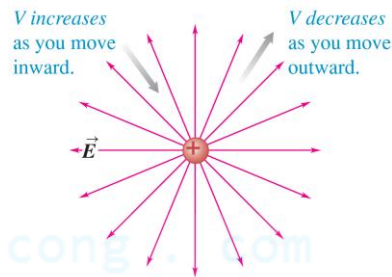
$$\Rightarrow \vec{E} \cdot d\vec{s} = E_s ds = -dV \Rightarrow E_s = -\frac{dV}{ds}$$

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

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

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

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



47

7. Liên hệ giữa điện trường và điện thế - Thí dụ

Đĩa tròn bán kính R tích điện đều Q . Xác định điện thế tại điểm P trên trục x cách tâm đĩa một khoảng x .

Xét phần tử dq :

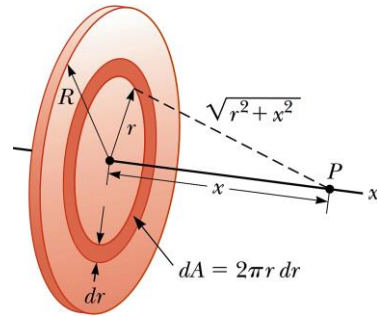
$$dq = \sigma dA = \sigma(2\pi r dr) = 2\pi\sigma r dr$$

Sinh ra điện thế dV tại P :

$$dV = k \frac{dq}{\sqrt{r^2 + x^2}} = k \frac{2\pi\sigma r dr}{\sqrt{r^2 + x^2}}$$

Điện thế tại P :
$$V = \int_{r=0}^R dV dr$$

$$V = 2\pi k \sigma \int_0^R \frac{2r}{2\sqrt{r^2 + x^2}} dr = 2\pi k \sigma \left(\sqrt{r^2 + x^2} \right)_{r=0}^R = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} (\sqrt{R^2 + x^2} - x)$$



48

cuu duong than cong . com

7. Liên hệ giữa điện trường và điện thế - Thí dụ

Đĩa tròn bán kính R tích điện đều Q . Xác định điện thế tại điểm P trên trục x cách tâm đĩa một khoảng x .

Ta có:

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

Điện thế tại P :

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

$$V = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} (\sqrt{R^2 + x^2} - x)$$

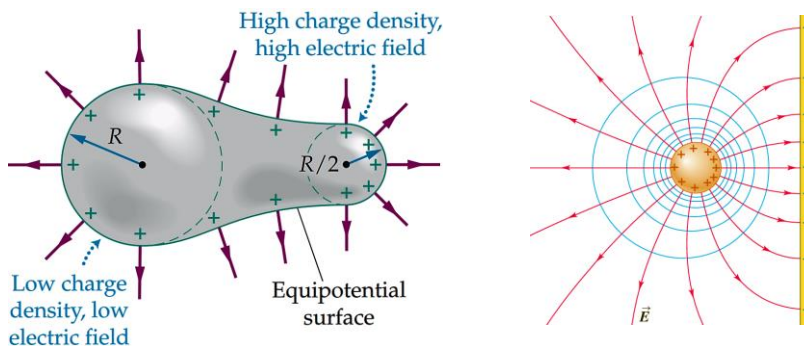
49

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*).

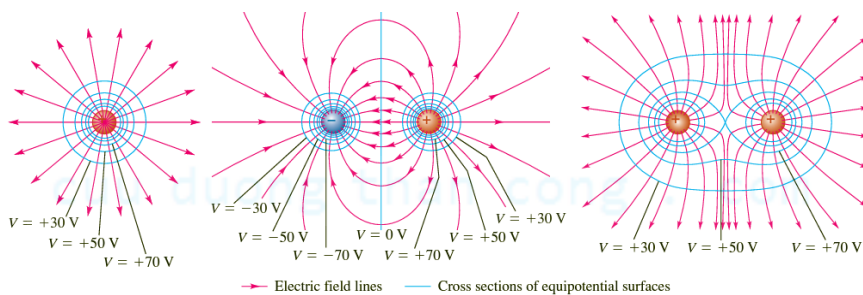
⇒ Công lực tĩnh điện dịch chuyển điện tích trên một mặt đẳng thế bằng 0.

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

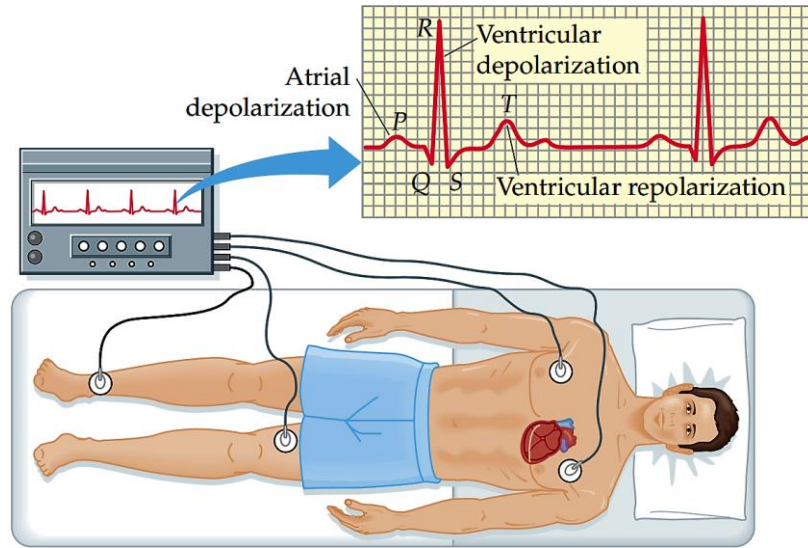


50

cuu duong than cong . com



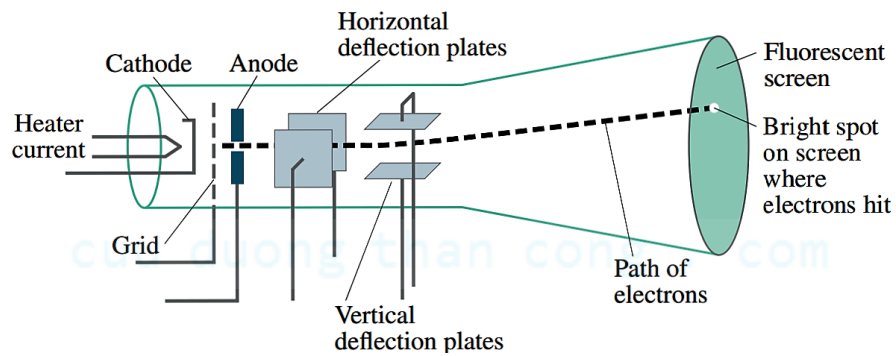
51



Electric Potential and the Human Body
Electrocardiography (ECG, EKG)

52

cuu duong than cong . com



Cathode Ray Tube (CRT)

53

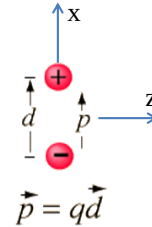
9. Lưỡng cực điện (electric dipole)

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:

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

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

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

54

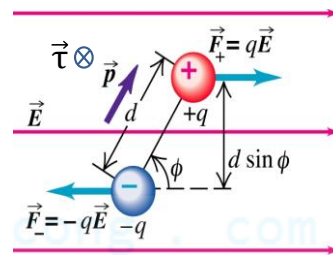
cuu duong than cong . com

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.

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

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: $dW = -\tau d\phi = -pE \cdot \sin\phi \cdot d\phi = -dU$

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

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

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

55

TÓM TẮT CÔNG THỨC

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

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

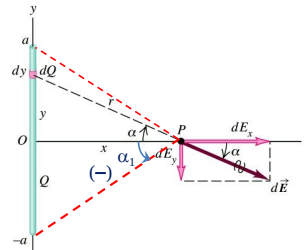
3) Điện trường của hệ điện tích: $\vec{E} = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i$

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

4) Điện trường của dòng điện thẳng:

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

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



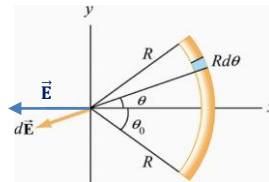
56

cuu duong than cong . com

TÓM TẮT CÔNG THỨC

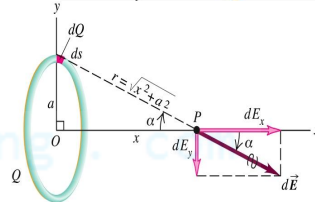
5) Điện trường của một cung tròn tích điện đều:

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



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: $\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q_{\text{trong}}}{\epsilon_0}$ (N.m²/C)

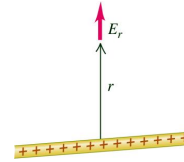
9) Điện trường trên bề mặt vật dẫn: $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$

57

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

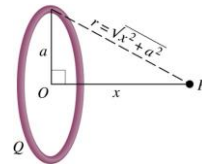
58

cuu duong than cong . com

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

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

59