

# CHƯƠNG 1. ĐIỆN TRƯỜNG VÀ TỪ TRƯỜNG

Giảng viên: Nguyễn Đức Cường

Trường Đại học Công nghệ - ĐHQGHN

*Email: cuongnd@vnu.edu.vn*

Ngày 28 tháng 1 năm 2023

- 1 ĐIỆN TRƯỜNG VÀ ĐIỆN THỂ
- 2 DÒNG ĐIỆN KHÔNG ĐỔI. SUẤT ĐIỆN ĐỘNG
- 3 CÁC ĐỊNH LUẬT CƠ BẢN CỦA DÒNG ĐIỆN KHÔNG ĐỔI. ĐỘ DẪN ĐIỆN VÀ ĐIỆN TRỞ SUẤT
- 4 TỪ TRƯỜNG, CÁC ĐẠI LƯỢNG CỦA TỪ TRƯỜNG
- 5 TỪ TRƯỜNG CỦA DÒNG ĐIỆN VÀ ĐIỆN TÍCH CHUYỂN ĐỘNG
- 6 ĐỊNH LÝ GAUSS VÀ ĐỊNH LÝ AMPERE ĐỐI VỚI TỪ TRƯỜNG
- 7 TƯƠNG TÁC CỦA TỪ TRƯỜNG VỚI DÒNG ĐIỆN VÀ HẠT ĐIỆN TÍCH CHUYỂN ĐỘNG

## 1.1. ĐIỆN TRƯỜNG VÀ ĐIỆN THẾ

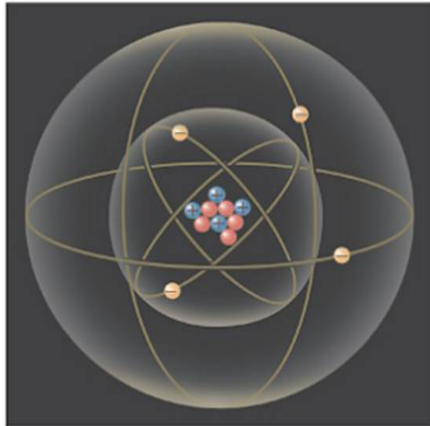
# 1.1. Điện trường và điện thế

## 1.1.1. Điện tích

⊖ electron

⊕ proton

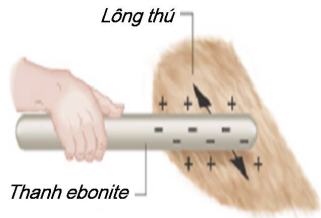
● neutron



- Cấu tạo nguyên tử:
  - Điện tử (electron): mang điện tích âm.
  - Hạt nhân (nucleus):
    - + ) Proton: mang điện tích dương.
    - + ) Neutron: không mang điện tích.
- Điện tích nhỏ nhất:  $e = 1,6022 \times 10^{-19} \text{ C}$ .
- Vật dẫn trung hòa điện: Số lượng electron bằng số lượng proton.
- Vật dẫn tích điện (nhiễm điện):  $Q = Ne$ 
  - Tích điện âm: thừa electron (số electron nhiều hơn số proton).
  - Tích điện dương: thiếu electron (số electron ít hơn số proton).

# 1.1. Điện trường và điện thế

## 1.1.1. Điện tích



- Điện tích không tự sinh ra và không tự mất đi, nó chỉ truyền từ vật này sang vật khác hoặc dịch chuyển bên trong một vật.
  - Vật cho điện tử (donor)  $\rightarrow$  tích điện dương.
  - Vật nhận điện tử (acceptor)  $\rightarrow$  tích điện âm.
- Quy ước: điện tích dương là loại điện tích xuất hiện trên thanh thủy tinh sau khi cọ xát nó vào lụa, còn điện tích âm - giống điện tích xuất hiện trên thanh ebonite sau khi cọ xát nó vào dạ.

### Định luật bảo toàn điện tích

Tổng đại số các điện tích của một hệ cô lập là không đổi trong quá trình truyền điện tích.

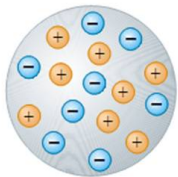
# 1.1. Điện trường và điện thế

## 1.1.2. Vật dẫn, điện môi

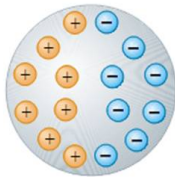
- Vật dẫn (conductor) là vật để cho điện tích chuyển động tự do trong toàn bộ thể tích của vật.
  - Kim loại, các dung dịch axit, muối, bazơ, các muối nóng chảy, v..v
- Điện môi (insulator) không có tính chất trên, mà điện tích xuất hiện ở đâu sẽ định xứ ở đó.
  - Thủy tinh, ebonite, cao su, dầu, nước nguyên chất, v..v
- Chất bán dẫn (semiconductor) có tính chất dẫn điện trung gian giữa vật dẫn và điện môi.
  - Silic (Si), gecmani (Ge), v..v

# 1.1. Điện trường và điện thế

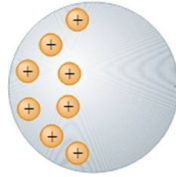
## 1.1.3. Sự tích điện quả cầu kim loại bằng quá trình cảm ứng



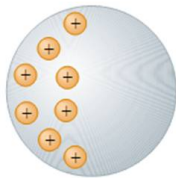
(a)



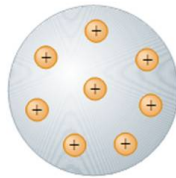
(b)



(c)



(d)



(e)

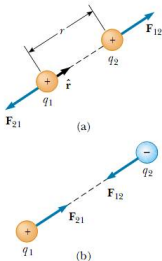
# 1.1. Điện trường và điện thế

## 1.1.4. Định luật Coulomb

- Các điện tích cùng dấu đẩy nhau, trái dấu hút nhau.



Charles Coulomb (1736–1806)



$$\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \frac{\vec{r}_{12}}{r_{12}}$$

$$\vec{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r_{21}^2} \frac{\vec{r}_{21}}{r_{21}}$$

### Các hằng số

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,988 \times 10^9 \left( \frac{N.m^2}{C^2} \right), \quad \epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \left( \frac{C^2}{N.m^2} \right)$$

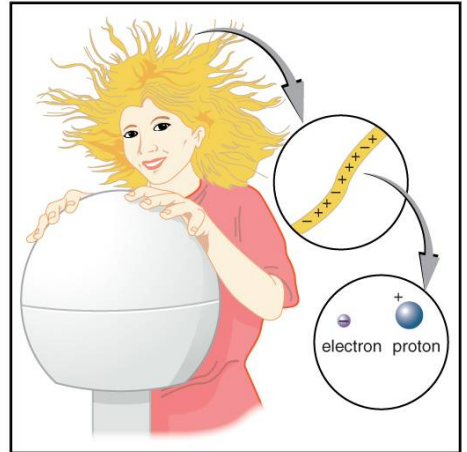


# 1.1. Điện trường và điện thế

## 1.1.4. Định luật Coulomb



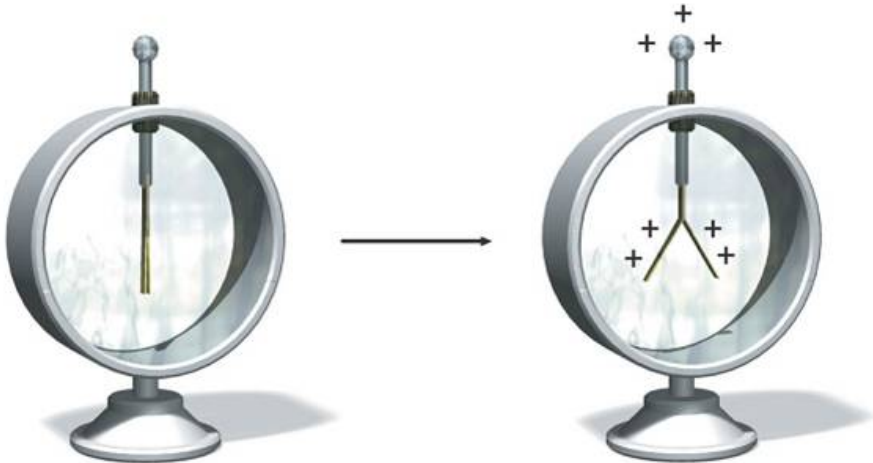
Giải thích tại sao?



# 1.1. Điện trường và điện thế

## 1.1.4. Định luật Coulomb

Điện nghiệm: kiểm tra sự nhiễm điện của vật.



# 1.1. Điện trường và điện thế

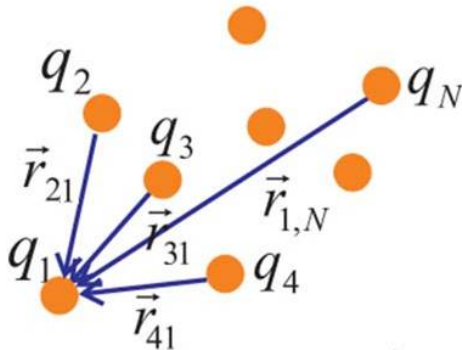
## 1.1.4. Định luật Coulomb

- Lực do hệ điện tích điểm tác động lên một điện tích điểm:

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

- Lực do một vật mang điện có thể tích  $V$  lên một điện tích điểm:

$$\vec{F} = \int_{(V)} d\vec{F}$$



### Lưu ý

Lực tương tác giữa hai quả cầu mang điện đều có thể tính như tương tác giữa hai điện tích điểm tập trung tại tâm.

# 1.1. Điện trường và điện thế

## 1.1.5. Định luật Coulomb trong các môi trường

- Lực tương tác giữa các điện tích đặt trong môi trường giảm đi  $\varepsilon$  lần so với lực tương tác giữa chúng trong chân không:

$$|\vec{F}_{12}| = |\vec{F}_{21}| = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \frac{q_1 q_2}{r^2} = k \frac{q_1 q_2}{\varepsilon r^2}$$

- $\varepsilon$  gọi là hằng số điện môi của môi trường, đặc trưng cho tính chất điện của môi trường.

**Bảng:** Hằng số điện môi của một số chất

Chất	Hằng số điện môi
Chân không	1
Không khí	1,0006
Ebonite	2,7–2,9
Thủy tinh	5–10
Nước nguyên chất	81

# 1.1. Điện trường và điện thế

## 1.1.6. Khái niệm về điện trường. Định nghĩa véc-tơ cường độ điện trường

### Điện trường

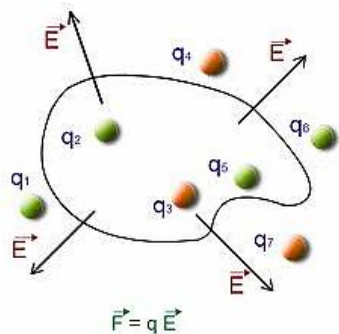
Điện trường là một thực thể vật lý lấp đầy vùng không gian xung quanh một điện tích bất kỳ.

- Điện trường là nhân tố trung gian truyền tương tác tĩnh điện từ điện tích này đến điện tích kia.
- Điện trường tác dụng lực lên bất kỳ điện tích khác đặt trong nó. Lực tương tác lên điện tích thử  $Q$ :

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

- Điện trường của hệ điện tích:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i^3} \vec{r}_i$$



## 1.1. Điện trường và điện thế

### 1.1.6. Khái niệm về điện trường. Định nghĩa véc-tơ cường độ điện trường

- Lực tác dụng lên điện tích thử  $Q$ , đặt tại một điểm trong điện trường là  $\vec{F}$ , khi đó:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q}$$

- Điện trường tác dụng lực lên bất kỳ điện tích khác đặt trong nó. Lực tương tác lên điện tích thử  $Q$ :

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

- Véc-tơ cường độ điện trường  $\vec{E}$  không phụ thuộc vào điện tích thử, chỉ phụ thuộc vào vị trí điểm đặt nó.
- Véc-tơ cường độ điện trường đặc trưng cho điện trường về phương diện tác dụng lực.
- Đơn vị (SI): V/m hoặc N/C.

# 1.1. Điện trường và điện thế

## 1.1.6. Khái niệm về điện trường. Định nghĩa véc-tơ cường độ điện trường

Bảng: Các giá trị điện trường điển hình

Nguồn	E (N/C)
Bên trong ống đèn huỳnh quang	10
Không khí (thời tiết đẹp)	$10^2$
Bóng bay cọ xát trên tóc	$10^3$
Không khí (trời có mưa dông)	$10^4$
Bên trong máy photocopy	$10^5$
Tia lửa điện trong không khí	$>3 \times 10^6$
Ở gần điện tử trong nguyên tử hydro	$5 \times 10^{11}$

# 1.1. Điện trường và điện thế

## 1.1.7. Nguyên lý chồng chất điện trường

- Véc-tơ cường độ điện trường gây bởi hệ điện tích điểm:

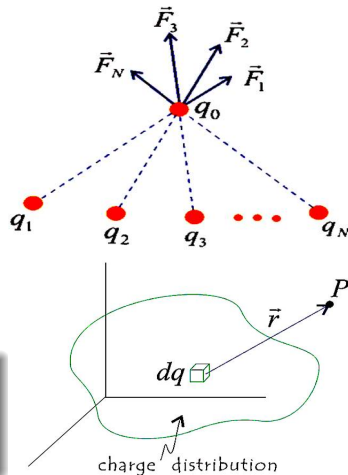
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$$

- Véc-tơ cường độ điện trường gây bởi vật mang điện:

$$\vec{E} = \int_{(V)} d\vec{E} = \int_{(V)} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

### Lưu ý

Nguyên lý chồng chất áp dụng cho điện trường được suy trực tiếp từ tính chất chồng chất được của lực điện.

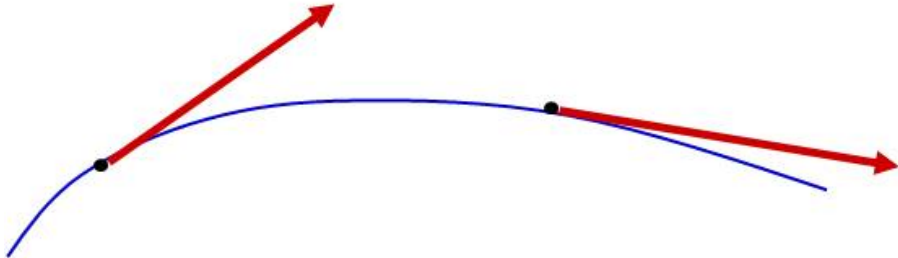




# 1.1. Điện trường và điện thế

## 1.1.8. Đường sức điện trường

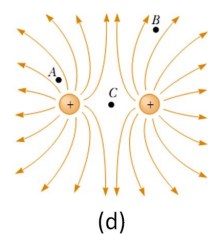
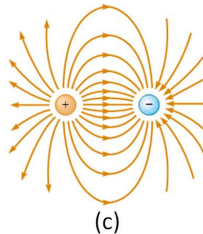
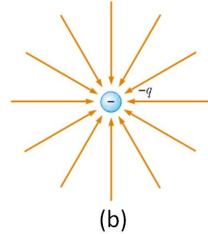
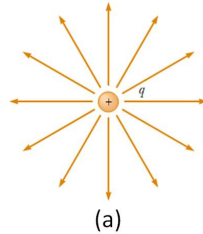
- Đường sức điện trường là đường mà tiếp tuyến với nó tại mỗi điểm trùng với phương của véc-tơ cường độ điện trường (CĐĐT) tại điểm đó.
- Chiều của đường sức là chiều của véc-tơ CĐĐT.
- Số đường sức xuyên qua một đơn vị diện tích đặt vuông góc với đường sức tỉ lệ thuận với độ lớn của véc-tơ CĐĐT tại đó.



# 1.1. Điện trường và điện thế

## 1.1.8. Đường sức điện trường

- Các đường sức không khép kín, xuất phát từ điện tích dương và kết thúc ở điện tích âm.
- Số đường sức xung quanh một điện tích tỉ lệ thuận với độ lớn của điện tích đó.
- Các đường sức không cắt nhau.



# 1.1. Điện trường và điện thế

## 1.1.9. Mật độ điện tích

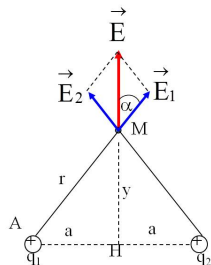
### Mật độ điện tích

- Mật độ điện tích khối:  $\rho = Q/V$  hoặc  $\rho = dQ/dV$  (C/m<sup>3</sup>)
- Mật độ điện tích mặt:  $\sigma = Q/S$  hoặc  $\sigma = dQ/dS$  (C/m<sup>2</sup>)
- Mật độ điện tích dài:  $\lambda = Q/L$  hoặc  $\lambda = dQ/dL$  (C/m)

### Ví dụ 1

Tính cường độ điện trường gây bởi hệ hai điện tích (cùng dấu, cùng độ lớn).

$$|\vec{E}_1| = |\vec{E}_2| = k \frac{q}{r^2}$$
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$
$$E = 2E_1 \cos \alpha = \frac{2kqy}{(a^2 + y^2)^{3/2}}$$



## 1.1. Điện trường và điện thế

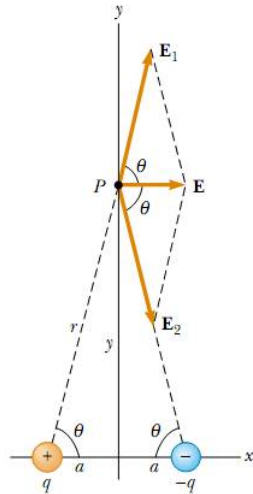
### Ví dụ 2

Điện trường của lưỡng cực điện (hệ 2 điện tích trái dấu, cùng giá trị tuyệt đối:)

$$|\vec{E}_1| = |\vec{E}_2| = k \frac{q}{r^2}, \quad \vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

$$E = 2E_1 \cos \theta = \frac{2kqa}{(a^2 + y^2)^{3/2}}$$

$$\text{Khi } y \gg a : E \approx \frac{2kqa}{y^3}$$



## 1.1. Điện trường và điện thế

### Ví dụ 2 (tiếp)

Điện trường của lưỡng cực điện (hệ 2 điện tích trái dấu, cùng giá trị tuyệt đối.)

#### Định nghĩa

Véc-tơ mômen lưỡng cực điện hay mômen điện của lưỡng cực:  $\vec{p}_e = q\vec{\ell}$ ,  $\vec{\ell}$  là véc-tơ hướng từ  $-q$  đến  $+q$  và có độ dài bằng khoảng cách giữa  $-q$  và  $+q$ .

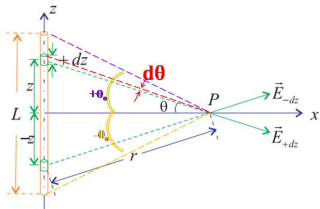
$$\vec{E} \approx -\frac{k\vec{p}_e}{y^3} = -\frac{\vec{p}_e}{4\pi\epsilon_0 y^3}$$

Lưỡng cực điện là một mô hình tốt để mô tả nhiều phân tử, bao gồm cả phân tử phân cực như  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HCl}$  hoặc phân tử không phân cực như  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$  (khi đặt trong điện trường ngoài).

# 1.1. Điện trường và điện thế

## Ví dụ 3

Thanh kim loại dài  $L$  tích điện mật độ  $\lambda$



$$dq = \lambda dz \rightarrow d\vec{E} = \frac{k dq}{r^2} \hat{r}$$

$$dE_x = dE \cos \theta = \frac{k \lambda dz}{r^2} \cos \theta$$

$$E = E_x = \int dE_x = k \lambda \int_{-L/2}^{L/2} \frac{dz}{r^2} \cos \theta$$

$$\tan \theta = \frac{z}{x} \rightarrow dz = x \frac{d\theta}{\cos^2 \theta}$$

$$\cos \theta = \frac{x}{r} \rightarrow \frac{1}{r^2} = \frac{\cos^2 \theta}{x^2}$$

$$\rightarrow E = \frac{k \lambda}{x} \int_{-\theta_0}^{\theta_0} \cos \theta d\theta = 2 \frac{k \lambda}{x} \sin \theta_0 = \boxed{\frac{k \lambda L}{x \sqrt{x^2 + (L/2)^2}}}$$

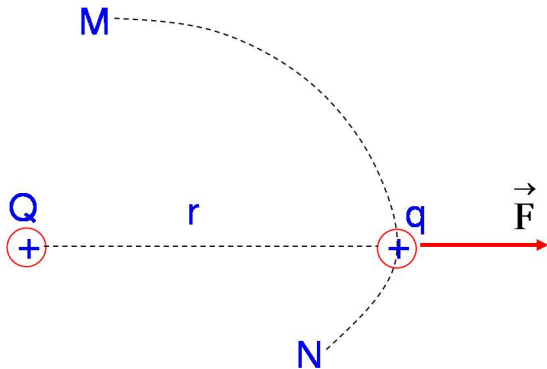
# 1.1. Điện trường và điện thế

## 1.1.10. Tính chất thế của điện trường

- Công của lực tĩnh điện di chuyển điện tích điểm  $q$  từ điểm M đến điểm N:

$$A_{MN} = \int_{(M)}^{(N)} \vec{F} d\vec{r}$$
$$A_{MN} = \frac{kqQ}{r_M} - \frac{kqQ}{r_N}$$

Trong đó  $\vec{r}_M$  và  $\vec{r}_N$  tương ứng là các bán kính véc-tơ vẽ từ điện tích điểm  $Q$  đến 2 điểm M, N.



# 1.1. Điện trường và điện thế

## 1.1.10. Tính chất thế của điện trường

- Tổng quát: Công của lực tĩnh điện không phụ thuộc đường đi, chỉ phụ thuộc vào điểm đầu và điểm cuối.
- Trường tĩnh điện là trường thế.
- Thế năng trường tĩnh điện: Hàm thế năng được chọn sao cho công dịch chuyển giữa hai điểm M và N đúng bằng hiệu thế năng giữa hai điểm M và N:

$$A_{MN} = W_M - W_N \rightarrow W = \frac{kqQ}{r} = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 r}$$

(Gốc thế năng được chọn ở vô cùng)



## 1.1. Điện trường và điện thế

### 1.1.11. Lưu số của véc-tơ cường độ điện trường

- Công dịch chuyển điện tích  $q$  từ điểm M đến N:

$$A_{MN} = \int_{(M)}^{(N)} \vec{F} d\vec{s} = q \int_{(M)}^{(N)} \vec{E} d\vec{s}$$

- Xét dịch chuyển trên một đường cong kín:

$$A = q \oint \vec{E} d\vec{s} = 0 \rightarrow \oint \vec{E} d\vec{s} = 0$$

### Tính chất thế

Lưu số của véc-tơ cường độ điện trường dọc theo đường cong kín bằng không (thể hiện tính chất thế).

# 1.1. Điện trường và điện thế

## 1.1.12. Điện thế. Liên hệ giữa điện thế và cường độ điện trường

- Thế năng của điện tích  $q$  trong điện trường:

$$W = A_{M\infty} = q \int_{(M)}^{(\infty)} \vec{E} d\vec{s}$$

- Điện thế tại điểm M được định nghĩa:

$$V_M = \frac{W}{q} = \int_{(M)}^{(\infty)} \vec{E} d\vec{s}$$

- Điện thế sai khác hằng số cộng (chọn gốc vô cùng hoặc đất).
- Hiệu điện thế giữa hai điểm:

$$U_{MN} = V_M - V_N = \frac{A_{MN}}{q}$$

## 1.1. Điện trường và điện thế

### 1.1.12. Điện thế. Liên hệ giữa điện thế và cường độ điện trường

- Điện thế tại một điểm do một điện tích điểm gây ra:

$$V = \frac{kQ}{r} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}$$

- Điện thế tại một điểm do hệ điện tích điểm gây ra:

$$V = \sum_{i=1}^n V_i = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{4\pi\epsilon_0 r_i}$$

- Điện thế tại một điểm do vật mang điện gây ra:

$$V = \int_{(\text{vật})} \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r}$$

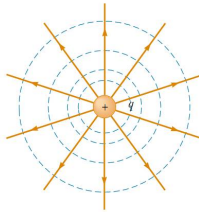
# 1.1. Điện trường và điện thế

## 1.1.13. Mặt đẳng thế

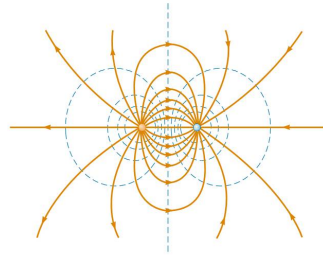
- Tập hợp các điểm trong điện trường có cùng một giá trị điện thế, tạo nên mặt đẳng thế.
- Các mặt đẳng thế không cắt nhau.
- Khi điện tích  $q$  di chuyển trên mặt đẳng thế thì công của lực điện trường bằng không.
- Đường sức điện trường (do đó, véc-tơ cường độ điện trường) luôn vuông góc với mặt đẳng thế.



(a)



(b)



(c)

# 1.1. Điện trường và điện thế

## 1.1.14. Liên hệ giữa véc-tơ cường độ điện trường và điện thế

- Xét điện tích  $q$  di chuyển giữa hai điểm MN rất gần nhau trong điện trường từ nơi có điện thế cao đến nơi có điện thế thấp ( $dV < 0$ ):

$$dA = \vec{F} \cdot d\vec{s} = q\vec{E} \cdot d\vec{s}$$

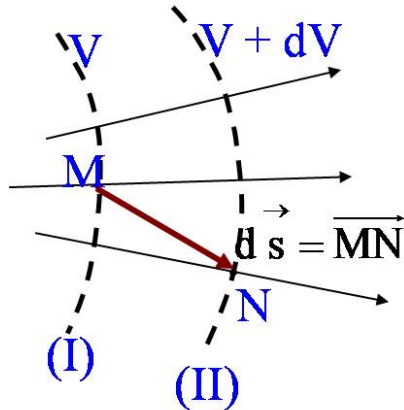
$$dA = q(V_1 - V_2) = -q \cdot dV$$

$$dV = -\vec{E} \cdot d\vec{s}$$

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

- Toán tử  $\nabla$  (nabla) được định nghĩa như sau:

$$\nabla = \vec{i}\frac{\partial}{\partial x} + \vec{j}\frac{\partial}{\partial y} + \vec{k}\frac{\partial}{\partial z}$$



# 1.1. Điện trường và điện thế

## 1.1.14. Liên hệ giữa véc-tơ cường độ điện trường và điện thế

- Véc-tơ cường độ điện trường hướng theo chiều giảm thế.
- Độ lớn của véc-tơ cường độ điện trường tại mỗi điểm bằng độ giảm điện thế trên một đơn vị chiều dài dọc theo đường sức đi qua điểm đó.
- Lưu số của véc-tơ cường độ điện trường giữa hai điểm M, N bằng hiệu điện thế giữa hai điểm đó:

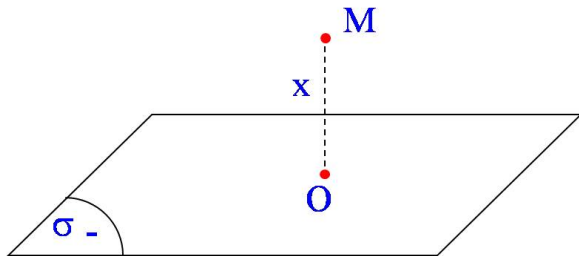
$$\int_{(M)}^{(N)} \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{A_{MN}}{q} = U_{MN}$$

## 1.1. Điện trường và điện thế

### Ví dụ 1

Mặt phẳng rộng vô hạn, tích điện đều với mật độ điện mặt  $\sigma < 0$  đặt trong không khí. Tính điện thế do mặt phẳng này gây ra tại điểm M cách mặt phẳng một khoảng  $x$ . Chọn gốc điện thế tại mặt phẳng đó.

$$E = E_x = -\frac{dV}{-dx} = \frac{dV}{dx}$$



$$dV = E_x \cdot dx = \frac{|\sigma|}{2\epsilon_0} \cdot dx$$
$$\rightarrow \int_{V_0}^{V_M} dV = \frac{|\sigma|}{2\epsilon_0} \int_0^x dx = \frac{|\sigma|x}{2\epsilon_0}$$

## 1.1. Điện trường và điện thế

### Ví dụ 2

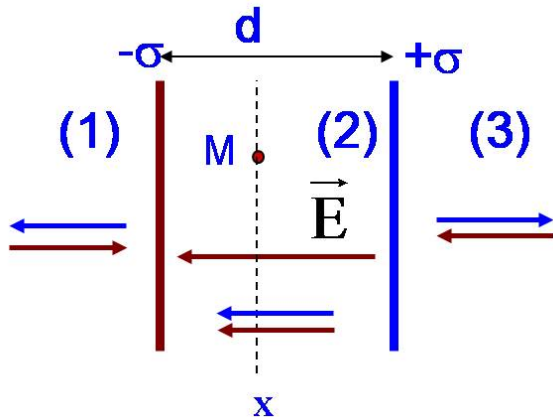
Tính điện trường và điện thế ở giữa 2 mặt phẳng mang điện vô hạn.

- Điện trường trong vùng 2:

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$
$$E = E_x = -\frac{dV}{-dx} = \frac{dV}{dx}$$

- Điện thế trong vùng 2:

$$V_M = \int_{V_0}^{V_M} dV = \int_0^x E_x \cdot dx \rightarrow V_M = \frac{\sigma \cdot x}{\epsilon_0}$$



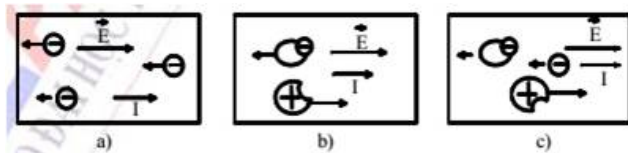


## 1.2. DÒNG ĐIỆN KHÔNG ĐỔI. SUẤT ĐIỆN ĐỘNG

## 1.2. Dòng điện không đổi. Suất điện động

### 1.2.1. Bản chất của dòng điện. Dòng điện trong các chất

Dòng điện dùng để mô tả chuyển động có hướng, thành dòng của các hạt mang điện. Bản chất của dòng điện trong các chất khác nhau là khác nhau:



- **(a) Trong kim loại:** chỉ có electron hoá trị là tự do.
- **(b) Trong chất điện phân:** do các quá trình tương tác, các phân tử tự phân ly thành các ion dương và các ion âm.
- **(c) Trong chất khí:** khi có kích thích từ bên ngoài các phân tử khí có thể giải phóng electron. Các electron này có thể kết hợp với các phân tử trung hoà để tạo thành các ion âm. Như vậy trong khí bị kích thích có thể tồn tại các hạt tích điện là ion âm, ion dương và electron.

## 1.2. Dòng điện không đổi. Suất điện động

### 1.2.2. Cường độ dòng điện. Mật độ dòng điện

#### Cường độ dòng điện

Cường độ dòng điện là điện lượng chuyển qua một tiết diện  $A$  trong môi trường dẫn điện trong một đơn vị thời gian. Đơn vị là A (Ampe) hay C/s.

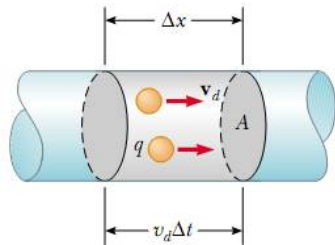
$$I = \frac{dq}{dt}$$

Trường hợp vật dẫn có 2 loại điện tích chuyển động:

$$I = \frac{dq_1}{dt} + \frac{dq_2}{dt}$$

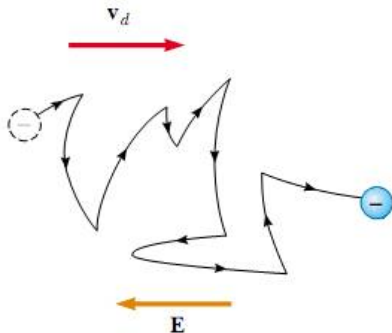
Điện lượng  $q$  chuyển qua diện tích  $S$  trong khoảng thời gian  $\tau$  được tính theo công thức sau:

$$q = \int_0^{\tau} I dt$$



## 1.2. Dòng điện không đổi. Suất điện động

### 1.2.2. Cường độ dòng điện. Mật độ dòng điện

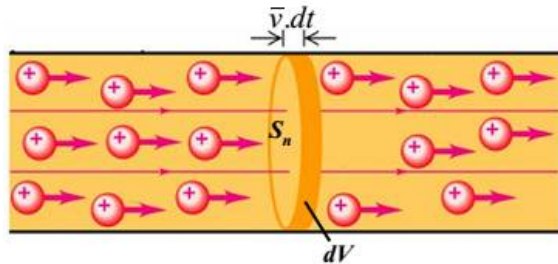


Chuyển động thực tế theo hình zíc-zắc của electron trong vật dẫn. Hướng chuyển động bị thay đổi liên tục do va chạm với các nguyên tử của vật dẫn. Hướng chuyển động tổng thể của electron luôn ngược hướng với điện trường  $E$ . Mỗi đoạn của hình zíc-zắc là một phần của quỹ đạo parabol (chuyển động của một hạt trong trường lực đều).

## 1.2. Dòng điện không đổi. Suất điện động

### 1.2.2. Cường độ dòng điện. Mật độ dòng điện

Xét các điện tích  $+q$ , chuyển động với vận tốc trung bình  $\bar{v}$  đi qua một tiết diện  $S_n$  của dây dẫn vuông góc với phương chuyển động của điện tích.



- +) Trong khoảng thời gian  $dt$ , các điện tích dịch chuyển được quãng đường  $\bar{v}.dt$ .
- +) Điện lượng nằm trong khoảng thể tích  $dV$  của dây dẫn là:

$$dq = q_0 \cdot n_0 \cdot dV = q_0 \cdot n_0 \cdot S_n \cdot \bar{v} \cdot dt$$

$n_0$  là nồng độ hạt tải trong dây dẫn,  $q_0$  là điện tích của một hạt tải (điện tử, lỗ trống, ion).

## 1.2. Dòng điện không đổi. Suất điện động

### 1.2.2. Cường độ dòng điện. Mật độ dòng điện

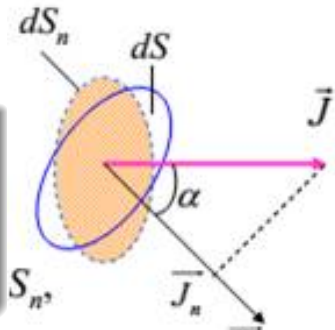
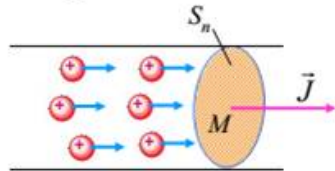
Theo định nghĩa cường độ dòng điện, ta có:

$$I = \frac{dq}{dt} = q_0 \frac{dn}{dt} = q_0 \cdot n_0 \cdot \bar{v} \cdot S_n$$

Mật độ dòng điện:  $J = \frac{I}{S_n} = n_0 \cdot q_0 \cdot \bar{v}$

#### Véc-tơ mật độ dòng điện

- Gốc: đặt tại một điểm nào đó trên một tiết diện vuông góc chiều dòng điện
- Phương: theo hướng chuyển động của các điện tích (+)
- Độ lớn:  $J = \frac{I}{S_n}$



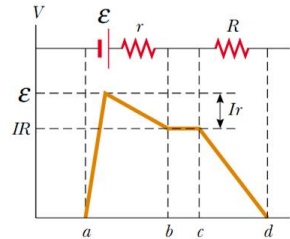
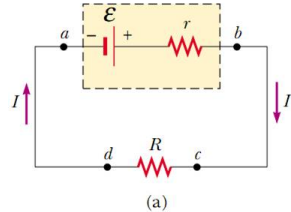
## 1.2. Dòng điện không đổi. Suất điện động

### 1.2.3. Suất điện động

- Để duy trì được dòng điện trong một mạch kín cần một suất điện động  $\mathcal{E}$ , tức một thiết bị (ví dụ như ắc quy hay máy phát điện) có thể sinh ra điện trường khiến cho các điện tích có thể chạy trong mạch. Có thể gọi suất điện động là một "máy bơm điện tích". Khi một hiệu điện thế tồn tại giữa hai điện cực, suất điện động sẽ bơm điện tích "lên cao", từ mức thế thấp lên mức thế cao. Để thực hiện được điều đó cần có sự tồn tại của một trường bên trong nguồn, được gọi là "trường lực lạ". Độ lớn của suất điện động  $\mathcal{E}$  chính là công thực hiện lên mỗi đơn vị điện tích, vì vậy đơn vị trong hệ SI của suất điện động là Vôn (V).
- Hiệu điện thế giữa hai cực của ắc-quy:

$$\Delta V = \mathcal{E} - Ir$$

$$\rightarrow \mathcal{E} = IR + Ir \rightarrow I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$$



### 1.3. CÁC ĐỊNH LUẬT CƠ BẢN CỦA DÒNG ĐIỆN KHÔNG ĐỔI ĐỘ DẪN ĐIỆN VÀ ĐIỆN TRỞ SUẤT



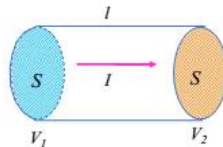
## 1.3. Các định luật cơ bản của dòng điện không đổi. Độ dẫn điện và điện trở suất

### 1.3.1. Định luật Ohm

- Dạng thông thường:

$$V_1 - V_2 = RI \text{ với } R = \rho \frac{\ell}{S}, \rho \text{ là điện trở suất}$$

$$I = \frac{V_1 - V_2}{R} = \frac{U}{R}$$

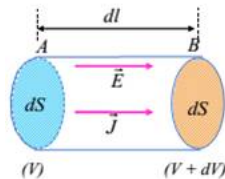


Georg Simon Ohm (Germany)  
1789 - 1854

- Dạng vi phân: xét đoạn dây dẫn có độ dài  $d\ell$ , tiết diện  $dS$ , điện trở  $R$ , có điện thế ở hai đầu là  $V$  và  $V + dV$

$$d\ell = \frac{V - (V + dV)}{R} = \frac{-dV}{R} = -\frac{1}{\rho} \frac{dV}{d\ell} dS = \frac{EdS}{\rho}$$

Mật độ dòng điện:  $J = \frac{dI}{dS} = \frac{E}{\rho} = \sigma E$  hay  $\vec{J} = \sigma \vec{E}$



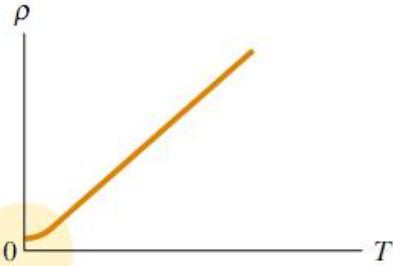
## 1.3. Các định luật cơ bản của dòng điện không đổi. Độ dẫn điện và điện trở suất

### 1.3.2. Sự phụ thuộc của điện trở vào nhiệt độ

$$\rho = \rho_0[1 + \alpha(T - T_0)]; \quad \alpha = \frac{1}{\rho_0} \frac{\Delta \rho}{\Delta T}$$

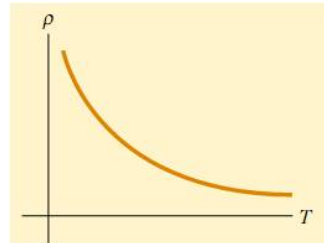
#### *Kim loại:*

Điện trở tăng cùng nhiệt độ do sự va chạm giữa điện tử và các nguyên tử kim loại.



#### *Bán dẫn:*

Điện trở giảm cùng nhiệt độ do các điện tử nhảy từ vùng hóa trị lên vùng dẫn khi nhiệt độ tăng lên.



## 1.3. Các định luật cơ bản của dòng điện không đổi. Độ dẫn điện và điện trở suất

### 1.3.3. Điện trở suất

**Bảng:** Điện trở suất  $\rho$  (ở 20 °C) và hệ số phụ thuộc nhiệt độ  $\alpha$  của điện trở suất

Vật liệu	$\rho$ ( $\Omega \cdot \text{m}$ )	$\alpha$ [(°C) <sup>-1</sup> ]
Bạc (Ag)	$1.59 \times 10^{-8}$	$3.8 \times 10^{-3}$
Đồng (Cu)	$1.7 \times 10^{-8}$	$3.9 \times 10^{-3}$
Vàng (Au)	$2.44 \times 10^{-8}$	$3.4 \times 10^{-3}$
Nhôm (Al)	$2.82 \times 10^{-8}$	$3.9 \times 10^{-3}$
Vôn-fram (W)	$5.6 \times 10^{-8}$	$4.5 \times 10^{-3}$
Sắt (Fe)	$10 \times 10^{-8}$	$5.0 \times 10^{-3}$
Platin (Pt)	$11 \times 10^{-8}$	$3.92 \times 10^{-3}$
Chì (Pb)	$22 \times 10^{-8}$	$3.9 \times 10^{-3}$
Hợp kim Ni-Cr	$1.50 \times 10^{-6}$	$0.4 \times 10^{-3}$
Các-bon (C)	$3.5 \times 10^{-5}$	$-0.5 \times 10^{-3}$
Géc-ma-ni (Ge)	0.46	$-48 \times 10^{-3}$
Si-líc (Si)	640	$-75 \times 10^{-3}$
Thủy tinh	$10^{10}$ đến $10^{14}$	
Cao su cứng	$\approx 10^{13}$	
Lưu huỳnh (S)	$10^{15}$	

## 1.3. Các định luật cơ bản của dòng điện không đổi. Độ dẫn điện và điện trở suất

### 1.3.4. Điện trở tương đương. Cách đọc giá trị điện trở

#### How to Read Resistor Color Codes

6-Band = 274 Ω ± 2%, 250 ppm/K

- Điện trở mắc song song:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

- Điện trở mắc nối tiếp:

$$R_{eq} = \sum_{i=1}^n R_i$$

Color	1st Digit	2nd Digit	3rd Digit	Multiplier	Tolerance	Temperature Coefficient
Black	0	0	0	1 Ω		250 ppm/K
Brown	1	1	1	10 Ω	± 1%	100 ppm/K
Red	2	2	2	100 Ω	± 2%	50 ppm/K
Orange	3	3	3	1k Ω		15 ppm/K
Yellow	4	4	4	10k Ω		25 ppm/K
Green	5	5	5	100k Ω	± 0.5%	20 ppm/K
Blue	6	6	6	1M Ω	± 0.25%	10 ppm/K
Violet	7	7	7		± 0.1%	5 ppm/K
Grey	8	8	8			1 ppm/K
White	9	9	9			
Gold				0.1 Ω	± 5%	
Silver				0.01 Ω	± 10%	

## 1.3. Các định luật cơ bản của dòng điện không đổi. Độ dẫn điện và điện trở suất

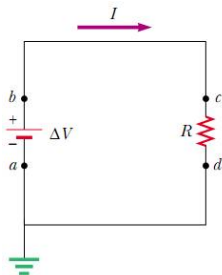
### 1.3.5. Định luật Joule-Lenz

- Giả sử một lượng điện tích dương  $\Delta Q$  di chuyển vòng theo mạch kín.

Năng lượng do nguồn cung cấp là:  $P = \Delta V \Delta Q$ .

- Giả sử dây dẫn có điện trở không đáng kể, năng lượng trên bị mất mát chủ yếu trên điện trở do sự va chạm giữa điện tử và các phân tử trong điện trở (chuyển thành nội năng). Tốc độ mất mát năng lượng ( $U$ ) là:

$$\frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \Delta V = I \Delta V \text{ trong đó } \Delta V = IR$$



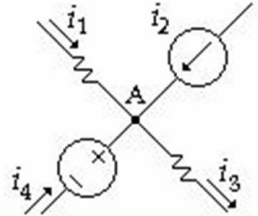
- Nguyên tắc giảm thất thoát khi truyền tải điện:  $P_{\text{thất thoát}} = I^2 R_{\text{dây}}$

→ truyền tải điện cần  $I$  nhỏ do  $R_{\text{dây}} = \text{const}$ . Do công suất cung cấp bởi nguồn phát  $P_{\text{nguồn}} = I \Delta V$  là không đổi, nên hiệu điện thế trước khi truyền tải ( $\Delta V$ ) cần lớn.

## 1.3. Các định luật cơ bản của dòng điện không đổi. Độ dẫn điện và điện trở suất

### 1.3.6. Định luật Kirchhoff I

- Tổng đại số các dòng điện tại một nút bằng không
- Tổng các dòng điện chạy vào 1 nút bằng tổng các dòng điện chạy ra khỏi nút đó
- Tại 1 nút, điện tích không được sinh ra cũng không bị mất đi



$$\sum_{i=1}^n I_i = 0, n \text{ là số dòng điện quy tụ tại nút đang xét} \quad (1)$$

#### Quy ước

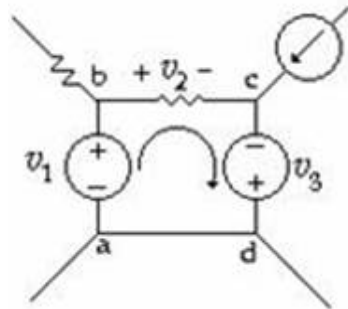
Dòng điện tới nút mang dấu (+), và dòng điện rời khỏi nút mang dấu (-).

→ Phương trình ở nút A:  $i_1 + i_2 - i_3 + i_4 = 0$

## 1.3. Các định luật cơ bản của dòng điện không đổi. Độ dẫn điện và điện trở suất

### 1.3.7. Định luật Kirchhoff II

- Trong 1 mắt mạng (mạng điện kín): tổng đại số các suất điện động của nguồn điện bằng tổng độ giảm của điện thế trên từng đoạn mạch của mắt mạng
- Tổng đại số các hiệu điện thế của các nhánh trong 1 mạch kín bằng không
- Trong 1 mạch kín bất kì, tổng đại số các tích  $(IR)_i$  của các đoạn mạch bằng tổng đại số các suất điện động  $\mathcal{E}_i$  của trường lực lạ trong mạch đó

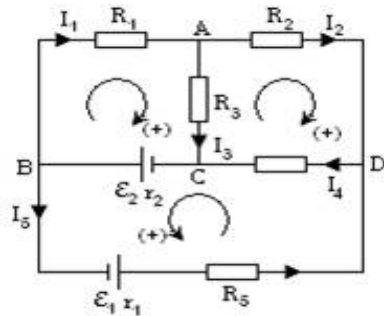


#### Quy ước

Khi chọn 1 chiều ngẫu nhiên trong mạch kín thì hiệu điện thế có dấu (+) khi đi theo chiều giảm của điện thế và ngược lại.

### Ví dụ 1

Tính cường độ dòng điện qua mỗi nhánh.



Tại D:  $I_2 - I_4 + I_5 = 0$

Nhánh DCBD:  $\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 = I_4 R_4 + I r_2 + I_5 R_5 + I_5 r_1$



## 1.3. Các định luật cơ bản của dòng điện không đổi. Độ dẫn điện và điện trở suất

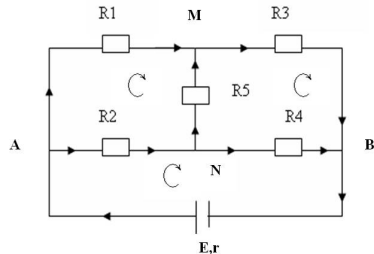
### Ví dụ 2

$$\mathcal{E} = 14 \text{ V}, r = 1 \Omega$$

$$R_1 = 1 \Omega, R_2 = R_3 = 3 \Omega$$

$$R_4 = 8 \Omega, R_5 = 3 \Omega$$

Tính cường độ dòng điện qua mỗi nhánh.



Tại các nút mạng:

$$\text{Tại N: } I_2 - I_5 - I_4 = 0$$

$$\text{Tại B: } I - I_4 - I_3 = 0$$

$$\text{Tại A: } I - I_1 - I_2 = 0$$

$$\text{Tại M: } I_1 + I_5 - I_3 = 0$$

Tại các nhánh:

$$\text{Nhánh AMNA: } I_1 R_1 - I_5 R_5 - I_2 R_2 = 0$$

$$\text{Nhánh MBNM: } I_3 R_3 - I_4 R_4 + I_5 R_5 = 0$$

$$\text{Nhánh ANBA: } \mathcal{E} = I r + I_2 R_2 + I_4 R_4$$

## 1.3. Các định luật cơ bản của dòng điện không đổi. Độ dẫn điện và điện trở suất

### Ví dụ 3: Quá trình xả của tụ điện qua điện trở

- Phương trình cho mạch kín

$$-\frac{q}{C} + IR = 0$$

- Sử dụng  $I = -dq/dt$  (ở đây  $dq < 0$  do điện tích trên tụ điện giảm)  $\rightarrow$

$$-R \frac{dq}{dt} = \frac{q}{C} \rightarrow \frac{dq}{q} = -\frac{1}{RC} dt$$

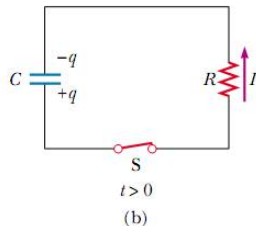
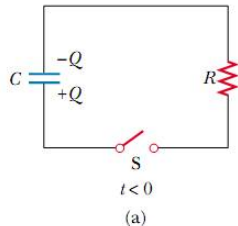
- Tích phân 2 vế, sử dụng điều kiện  $q = Q$  khi  $t = 0$ :

$$\int_Q^q \frac{dq}{q} = -\frac{1}{RC} \int_0^t dt$$

$$\ln\left(\frac{q}{Q}\right) = -\frac{t}{RC}$$

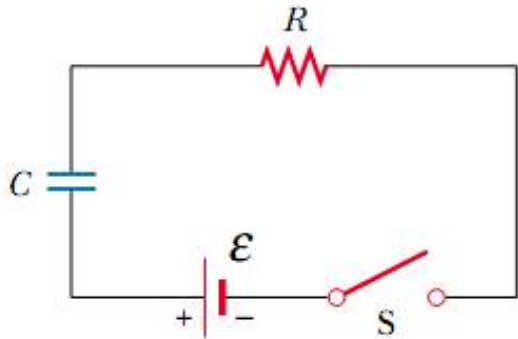
$$q(t) = Qe^{-t/RC}$$

$$I(t) = -\frac{Q}{RC}e^{-t/RC}$$

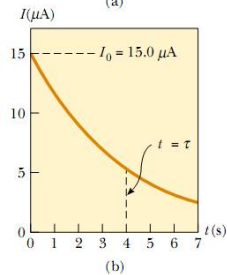
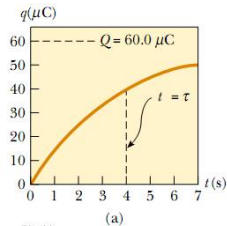


### 1.3. Các định luật cơ bản của dòng điện không đổi. Độ dẫn điện và điện trở suất

#### Ví dụ 4: Quá trình nạp của tụ điện qua điện trở



- Cho  $\mathcal{E} = 12 \text{ V}$ ,  $C = 5 \mu\text{F}$ ,  $R = 8 \times 10^5 \Omega$ . Tìm hằng số thời gian ( $\tau = RC$ ) của mạch, dòng điện cực đại trong mạch, và điện tích của tụ và dòng điện theo thời gian từ khi đóng mạch.

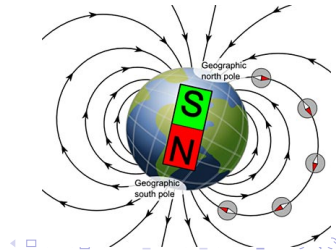
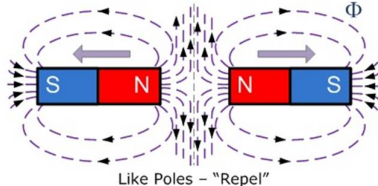
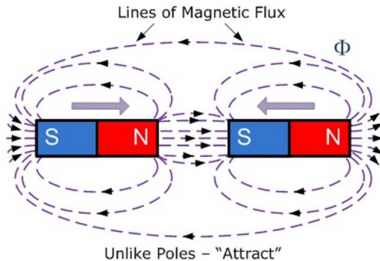


## 1.4. TỪ TRƯỜNG, CÁC ĐẠI LƯỢNG CỦA TỪ TRƯỜNG

## 1.4. Từ trường, các đại lượng của từ trường

### 1.4.1. Tương tác từ

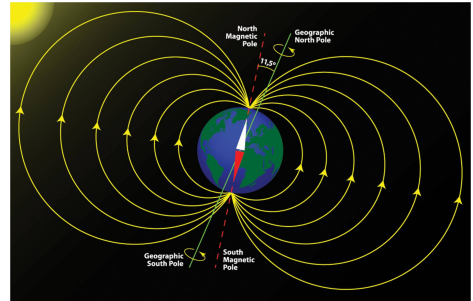
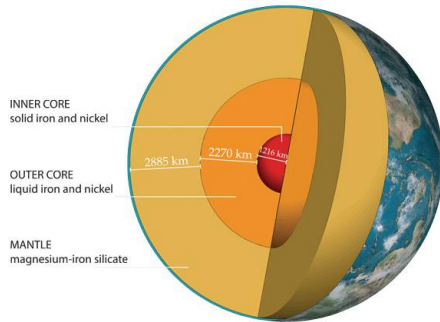
- Tương tác từ có bản chất là tương tác giữa các dòng điện ở cấp độ nguyên tử, bao gồm: tương tác giữa các nam châm, giữa nam châm và dòng điện, giữa nam châm và từ trường Trái Đất.
- Không giống như điện tích, vốn có thể tách riêng hai loại điện tích dương và âm, trong từ trường không có **đơn cực từ**, tức các cực từ luôn tồn tại thành cặp Bắc-Nam (N-S). Khi để nam châm tự do, cực Bắc (N) của nó hướng về cực Bắc địa lý, còn cực Nam (S) của nó hướng về cực Nam địa lý.



## 1.4. Từ trường, các đại lượng của từ trường

### 1.4.1. Tương tác từ

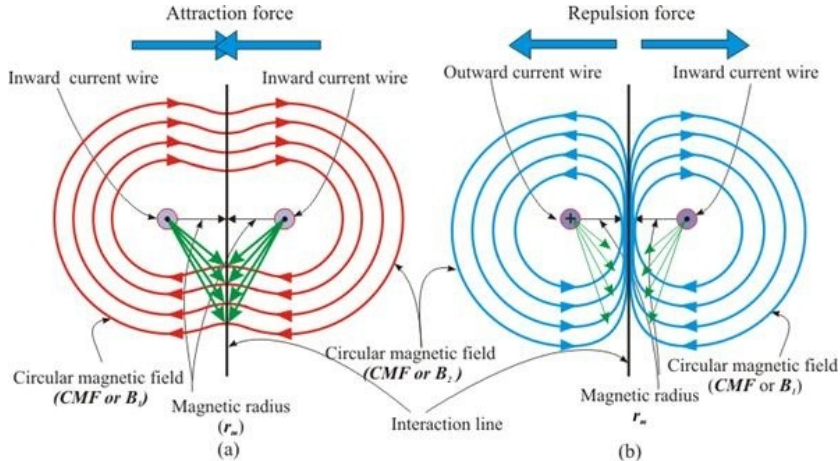
- Từ trường Trái Đất có nguồn gốc từ các dòng đối lưu của kim loại nóng chảy (Fe và Ni) trong lõi ngoài (outer core) của Trái Đất.
- Các cực Bắc (Nam) của từ trường Trái Đất không trùng với các cực địa lý tương ứng.



Xem thêm tại: **Magnets and Magnetic Fields**

## 1.4. Từ trường, các đại lượng của từ trường

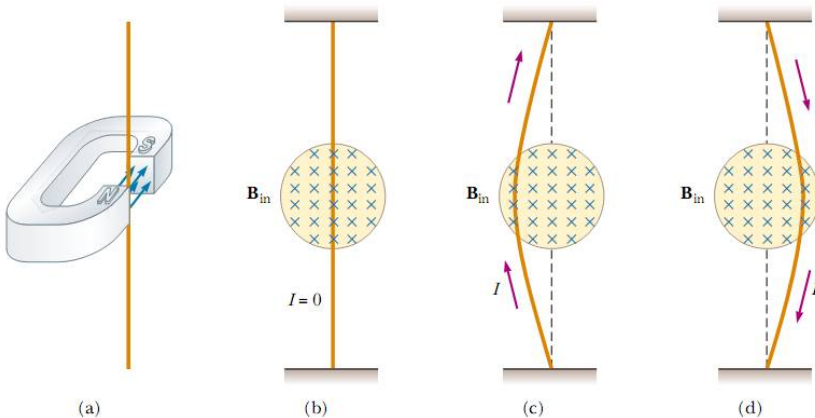
### 1.4.1. Tương tác từ



Tương tác từ giữa hai dòng điện

## 1.4. Từ trường, các đại lượng của từ trường

### 1.4.1. Tương tác từ



Dòng điện đặt trong từ trường



## 1.4. Từ trường, các đại lượng của từ trường

### 1.4.2. Khái niệm từ trường

- Từ trường là dạng vật chất (trường) tồn tại xung quanh một điện tích *chuyển động* bất kỳ. Từ trường cũng tồn tại xung quanh các vật mang từ tính.
- Vận tốc truyền tương tác từ là hữu hạn, bằng vận tốc truyền ánh sáng trong chân không.
- Đại lượng đặc trưng cho từ trường là cảm ứng từ  $\vec{B}$ , đơn vị Tesla (T); và cường độ từ trường  $\vec{H}$ , đơn vị A/m.

## 1.5. TỪ TRƯỜNG CỦA DÒNG ĐIỆN VÀ ĐIỆN TÍCH CHUYỂN ĐỘNG

## 1.5. Từ trường của dòng điện và điện tích chuyển động

### 1.5.1. Vec-tơ cảm ứng từ. Định luật Biot-Savart-Laplace

- Định luật Biot-Savart-Laplace:

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{(I.d\vec{\ell} \times \vec{r})}{r^3}$$

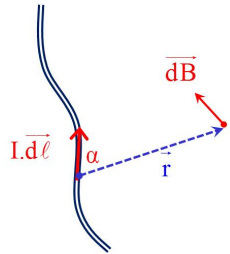
Là véc tơ cảm ứng từ do phần tử dòng điện  $I.d\vec{\ell}$  gây ra tại vị trí  $\vec{r}$ , có đặc điểm:

- Phương vuông góc với mặt phẳng chứa  $I.d\vec{\ell}$ ,  $\vec{r}$
- Chiều:  $I.d\vec{\ell}$ ,  $\vec{r}$  và  $\vec{B}$  lập thành tam diện thuận
- Đơn vị là Tesla (T). Độ lớn:

$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I.d\ell}{r^2} \cdot \sin \alpha$$

Hằng số từ:  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  (H/m)

Độ từ thẩm của môi trường:  $\mu$



Véc-tơ cảm ứng từ được xác định theo quy tắc cái đinh ốc

## 1.5. Từ trường của dòng điện và điện tích chuyển động

### 1.5.2. Nguyên lý chồng chất từ trường

- Cảm ứng từ tại một điểm do một dòng điện gây ra:

$$\vec{B} = \int_{(\text{cả dòng điện})} d\vec{B}$$

- Cảm ứng từ tại một điểm do nhiều dòng điện gây ra:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \dots + \vec{B}_n = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i$$

## 1.5. Từ trường của dòng điện và điện tích chuyển động

### 1.5.3. Véc-tơ cường độ từ trường

- Cảm ứng từ tại một điểm do một dòng điện gây ra phụ thuộc vào tính chất của môi trường trong đó đặt dòng điện.
- Trong môi trường đồng chất và đẳng hướng, véc-tơ cường độ từ trường  $\vec{H}$  được định nghĩa:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu\mu_0}$$

→ Cường độ từ trường không phụ thuộc vào tính chất môi trường.

## 1.5. Từ trường của dòng điện và điện tích chuyển động

### 1.5.4. Cảm ứng từ và cường độ từ trường của một số dòng điện đơn giản

Bài toán 1: Tính  $B$ ,  $H$  gây ra bởi dòng điện thẳng:

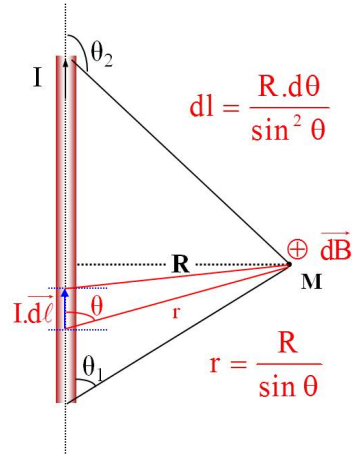
- Cảm ứng từ do phần tử  $I d\vec{\ell}$  gây ra tại M:

$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{Id\ell}{r^2} \cdot \sin\theta$$

$$dB = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi R} \cdot \sin\theta \cdot d\theta$$

- Cảm ứng từ do cả dòng gây ra:

$$B = \int_{(\text{cả dòng})} dB = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi R} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin\theta \cdot d\theta$$



## 1.5. Từ trường của dòng điện và điện tích chuyển động

### 1.5.4. Cảm ứng từ và cường độ từ trường của một số dòng điện đơn giản

- Cảm ứng từ và cường độ từ trường do một đoạn dòng điện gây ra:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi R} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2)$$

$$H = \frac{I}{4\pi R} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2)$$

- Cảm ứng từ và cường độ từ trường do dòng điện dài vô hạn gây ra:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi R}$$

$$H = \frac{I}{2\pi R}$$

## 1.5. Từ trường của dòng điện và điện tích chuyển động

### 1.5.4. Cảm ứng từ và cường độ từ trường của một số dòng điện đơn giản

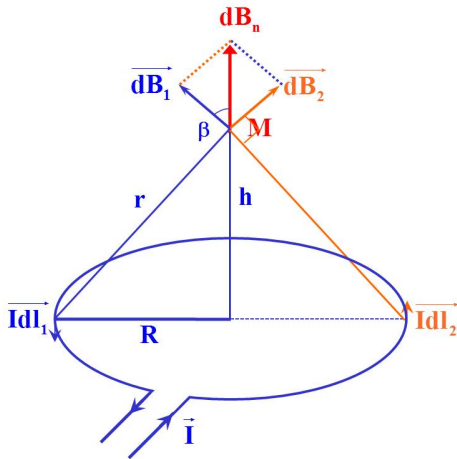
Bài toán 2: Tính  $B$ ,  $H$  gây ra bởi dòng điện tròn:

- Cảm ứng từ do từng phần tử  $Id\vec{\ell}_1$  ( $Id\vec{\ell}_2$ ) gây ra tại M:

$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{d\ell}{r^2} \cdot \sin\theta$$

$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{Id\ell}{r^2}$$

$$dB_n = 2 \cdot dB \cdot \cos\beta = \frac{\mu\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{Id\ell \cdot R}{r^3}$$





## 1.5. Từ trường của dòng điện và điện tích chuyển động

### 1.5.4. Cảm ứng từ và cường độ từ trường của một số dòng điện đơn giản

Bài toán 2: Tính  $B$ ,  $H$  gây ra bởi dòng điện tròn:

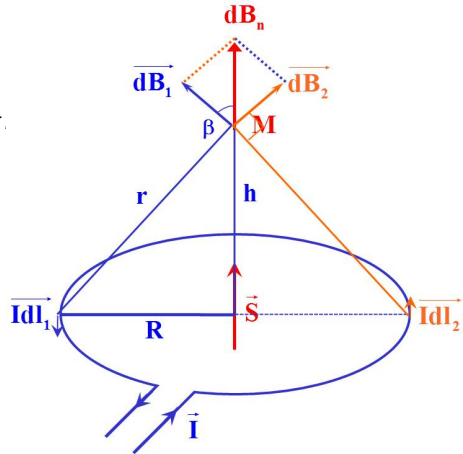
- Cảm ứng từ do cả dòng điện gây ra:

$$B = \int dB_n = \frac{\mu\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I \cdot R}{r^3} \int d\ell = \frac{\mu\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{IR}{(R^2 + h^2)^{3/2}} \cdot \pi.$$

$$B = \frac{\mu\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I \cdot S}{(R^2 + h^2)^{3/2}}$$

- Mô-men từ của dòng điện tròn:

$$\vec{P}_m = I \cdot \vec{S} \rightarrow \vec{B} = \frac{\mu\mu_0 \vec{P}_m}{2\pi(R^2 + h^2)^{3/2}}$$



## 1.5. Từ trường của dòng điện và điện tích chuyển động

### 1.5.4. Cảm ứng từ và cường độ từ trường của một số dòng điện đơn giản

Bài toán 3: Tính  $B$ ,  $H$  gây ra bởi hạt tích điện chuyển động:

- Hạt điện tích  $q$  chuyển động với vận tốc  $\vec{v}$  tương đương với phần tử dòng điện  $I.d\vec{\ell}$ , sao cho:

$$q\vec{v} = I.d\vec{\ell}$$

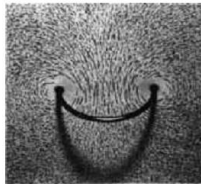
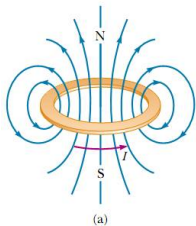
- Cảm ứng từ do hạt tích điện gây ra:

$$\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{q(\vec{v} \times \vec{r})}{r^3}$$

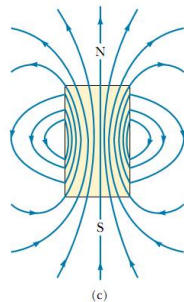
## 1.6. ĐỊNH LÝ GAUSS VÀ ĐỊNH LÝ AMPERE ĐỐI VỚI TỪ TRƯỜNG

## 1.6. Định lý Gauss và định lý Ampere đối với từ trường

### 1.6.1. Đường cảm ứng từ



(b)



(c)

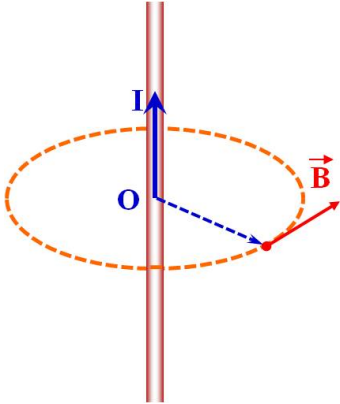
(a) Đường sức từ xung quanh một dòng điện tròn, được biểu diễn bằng các mặt sắt (b).

(c) Đường sức từ xung quanh một thanh nam châm.

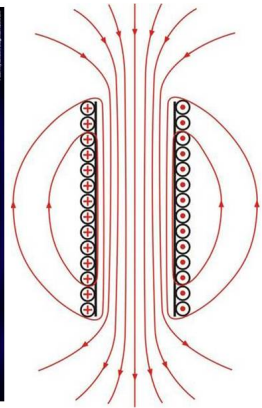
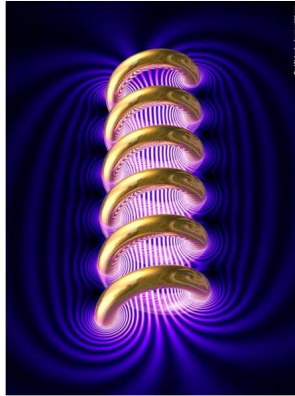
- Đường cảm ứng từ là đường tiếp tuyến với véc-tơ cảm ứng từ tại mọi điểm trong không gian.
- Từ phổ là tập hợp của tất cả các đường cảm ứng từ.

## 1.6. Định lý Gauss và định lý Ampere đối với từ trường

### 1.6.1. Đường cảm ứng từ



(a) Đường cảm ứng từ xung quanh một dòng điện thẳng.



(b) Từ phổ của ống dây

## 1.6. Định lý Gauss và định lý Ampere đối với từ trường

### 1.6.1. Đường cảm ứng từ

- Đường cảm ứng từ là các đường cong kín, không cắt nhau  
→ Từ trường có tính chất xoáy
- Số đường sức đi qua một diện tích  $dS_n$  vuông góc với từ trường tỷ lệ với:  $B \cdot dS_n$

## 1.6. Định lý Gauss và định lý Ampere đối với từ trường

### 1.6.2. Từ thông. Định luật Gauss trong từ học

- Từ thông gửi qua diện tích vi phân  $dS$ :

$$d\Phi_m = \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

$$d\Phi_m = B \cdot dS \cdot \cos \alpha = B \cdot dS_n = B_n \cdot dS$$

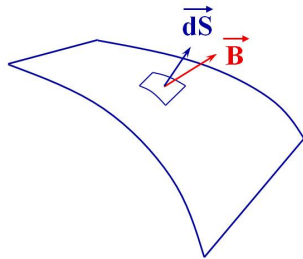
Đơn vị là  $T \cdot m^2$ , hoặc Wb

- Từ thông gửi qua mặt  $S$ :

$$\Phi_m = \int_S d\Phi_m = \int_S B \cdot dS \cdot \cos \alpha$$

- Nếu mặt  $S$  là phẳng và từ trường đều:

$$\Phi_m = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$



## 1.6. Định lý Gauss và định lý Ampere đối với từ trường

### 1.6.2. Từ thông. Định luật Gauss trong từ học

- Từ thông qua một mặt bất kỳ:

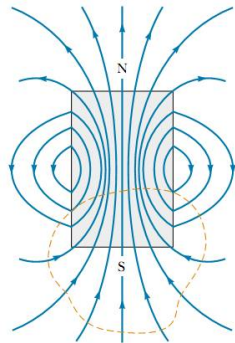
$$\Phi_B = \oint \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

- Định lý Gauss trong từ học: tổng từ thông qua một mặt kín bất kỳ luôn bằng 0:

$$\oint \vec{B} d\vec{A} = 0$$

$$\text{Dạng vi phân: } \operatorname{div} \vec{B} = 0 \rightarrow \frac{\partial B_x}{\partial x} + \frac{\partial B_y}{\partial y} + \frac{\partial B_z}{\partial z} = 0$$

Điều này dựa trên kết quả thực nghiệm về việc không tìm thấy (và có thể không tồn tại) đơn cực từ trong tự nhiên.





## 1.6. Định lý Gauss và định lý Ampere đối với từ trường

### 1.6.3. Lưu số của véc-tơ cường độ từ trường. Định lý dòng toàn phần (Định lý Ampere)

- Lưu số của  $\vec{B}$  và  $\vec{H}$  dọc theo đường cong MN:

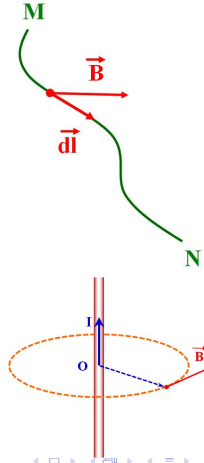
$$L_B(MN) = \int_M^N \vec{B} d\vec{\ell} \text{ và } L_H(MN) = \int_M^N \vec{H} d\vec{\ell}$$

- Định lý dòng toàn phần:

$$B = \frac{\mu\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I}{R}$$

$$L_B(O, R) = \oint_{(O, R)} \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = B \cdot 2\pi R$$

$$\rightarrow L_B(O, R) = \mu\mu_0 \sum_{i=1}^n I_i$$



## 1.6. Định lý Gauss và định lý Ampere đối với từ trường

### 1.6.3. Lưu số của véc-tơ cường độ từ trường. Định lý dòng toàn phần (Định lý Ampere)

#### Định lý dòng toàn phần (Định lý Ampere)

Lưu số của véc-tơ cường độ từ trường  $\vec{H}$  dọc theo đường cong kín (C) bất kỳ bằng tổng đại số các cường độ của các dòng điện đi xuyên qua diện tích giới hạn bởi đường cong đó.

$$\oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \sum_{i=1}^n I_i$$

- Nếu đường cong kín không bao quanh dòng điện:

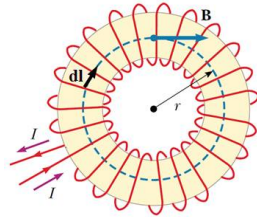
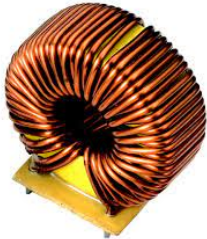
$$\oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = 0$$

- Chiều tích phân là chiều thuận đối với dòng điện (quy tắc đinh ốc).

## 1.6. Định lý Gauss và định lý Ampere đối với từ trường

### 1.6.3. Lưu số của véc-tơ cường độ từ trường. Định lý dòng toàn phần (Định lý Ampere)

Bài toán 4: Tính cảm ứng từ trong lòng ống dây hình xuyên (Toroid):



- Xét ống dây hình xuyên gồm  $N$  vòng dây, với bán kính trong  $a$ , bán kính ngoài  $b$ .
- Xét đường cong kín  $C(O, r)$  nằm trong lòng ống dây, tức  $a < r < b$ .
- Do tính đối xứng qua tâm nên cường độ từ trường tại mọi điểm trên đường cong ( $C$ ) là như nhau.

## 1.6. Định lý Gauss và định lý Ampere đối với từ trường

### 1.6.3. Lưu số của véc-tơ cường độ từ trường. Định lý dòng toàn phần (Định lý Ampere)

Bài toán 4: Tính cảm ứng từ trong lòng ống dây hình xuyên (Toroid):

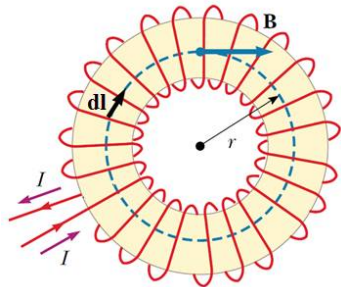
- Lưu số của véc-tơ cường độ từ trường dọc theo đường cong kín (C).

$$\oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \oint_{(C)} H \cdot d\ell = H \oint_{(C)} d\ell = H \cdot 2\pi r$$

- Tổng đại số các dòng điện xuyên qua diện tích giới hạn bởi đường cong kín (C):  $\sum_{i=1}^N I_i = NI$
- Áp dụng định lý O-G:

$$H \cdot 2\pi r = NI \rightarrow H = \frac{NI}{2\pi r} = nl$$

$n$  là số vòng dây trên một đơn vị độ dài của cuộn dây.



## 1.6. Định lý Gauss và định lý Ampere đối với từ trường

### 1.6.3. Lưu số của véc-tơ cường độ từ trường. Định lý dòng toàn phần (Định lý Ampere)

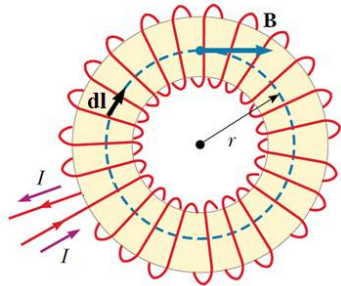
Bài toán 4: Tính cảm ứng từ trong lòng ống dây hình xuyên (Toroid):

- Cảm ứng từ trong ống dây:

$$B = \mu\mu_0 nI$$

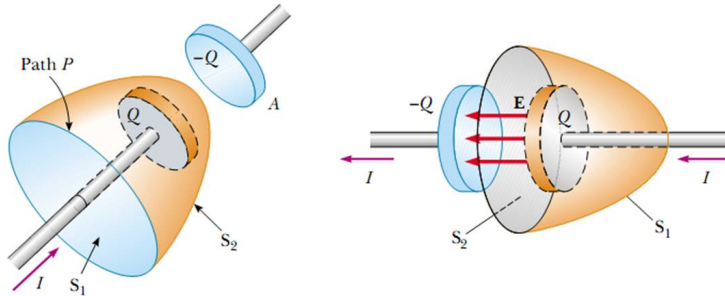
với  $n = N/2\pi r$  là mật độ vòng dây quấn trên ống.

- Chọn tương tự đường cong (C) ở bên ngoài hoặc bên trong ống dây ta có  $H = 0$ .
- Kết luận: bên ngoài ống dây không có từ trường.



## 1.6. Định lý Gauss và định lý Ampere đối với từ trường

### 1.6.4. Dòng điện dịch và dạng tổng quát của định luật Ampere



- Nếu điện trường thay đổi, ta có dạng tổng quát của định luật Ampere (hay định luật Ampere-Maxwell):

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0(I + I_d) = \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$$

## 1.7. TƯƠNG TÁC CỦA TỪ TRƯỜNG VỚI DÒNG ĐIỆN VÀ HẠT ĐIỆN TÍCH CHUYỂN ĐỘNG

## 1.7. Tương tác của từ trường với dòng điện và hạt điện tích chuyển động

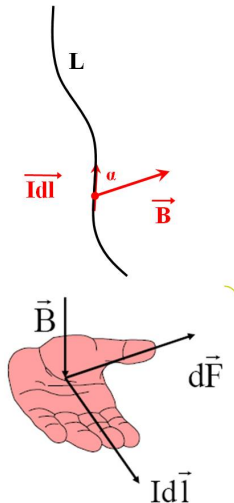
### 1.7.1. Tác dụng của từ trường lên một phần tử dòng điện

- Lực vi phân tác dụng lên phần tử dòng điện  $d\vec{\ell}$ :

$$d\vec{F} = I.(d\vec{\ell} \times \vec{B}) \rightarrow dF = Id\ell.B.\sin \alpha$$

- Biểu diễn dưới dạng định thức:

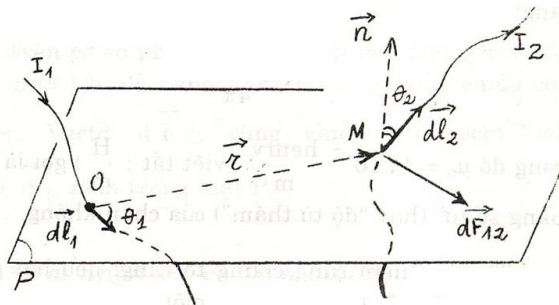
$$d\vec{F} = I \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ d\ell_x & d\ell_y & d\ell_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$$





## 1.7. Tương tác của từ trường với dòng điện và hạt điện tích chuyển động

### 1.7.2. Định luật Ampere về tương tác từ giữa hai phần tử dòng điện



Phần tử dòng điện  $I \cdot d\vec{l}$  có phương chiều của dòng điện tại điểm đang xét và có độ lớn  $I \cdot dl$

$$d\vec{F} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I_1 \cdot d\vec{l}_1 \times (I_2 \cdot d\vec{l}_2 \times \vec{r})}{r^3}$$

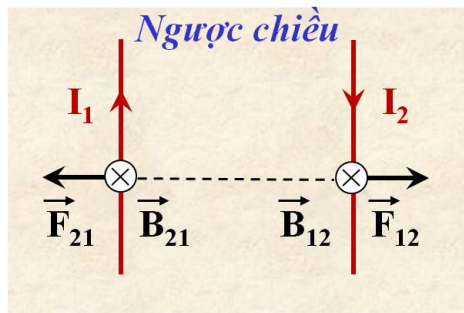
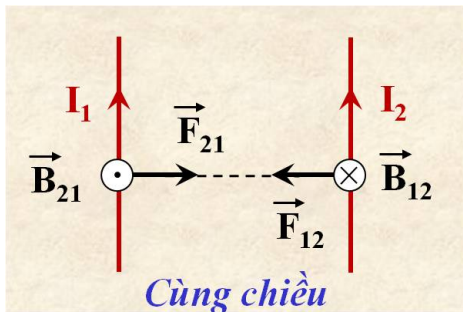
Hằng số từ:  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ (H/m)}$

Độ từ thẩm của môi trường:  $\mu$

## 1.7. Tương tác của từ trường với dòng điện và hạt điện tích chuyển động

### 1.7.3. Lực tương tác giữa hai dòng điện

Xét hai dòng điện chạy song song, cách nhau một khoảng  $d$ :



$$\vec{F}_{12} = \vec{F}_{21} = F = \frac{\mu\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_1 I_2}{d}$$

$$B = \frac{\mu\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I}{d}$$

*Bài tập về nhà: giải thích chi tiết bằng tích véc-tơ và hình vẽ.*

## 1.7. Tương tác của từ trường với dòng điện và hạt điện tích chuyển động

### 1.7.4. Tác dụng của từ trường lên khung dây có dòng điện

Chiều của véc-tơ pháp tuyến  $\vec{n}$  được xác định theo quy tắc đnh ốc từ chiều của dòng điện - xoay đnh ốc theo chiều dòng điện, chiều tiến của đnh ốc là chiều của véc-tơ  $\vec{n}$

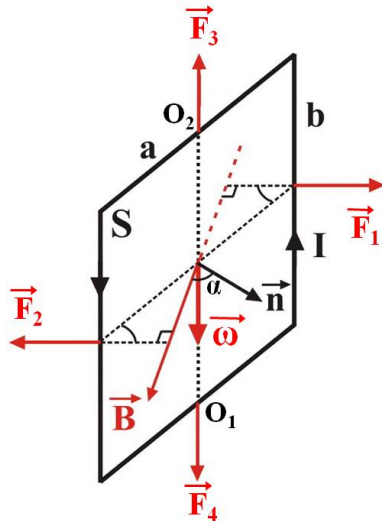
$$F_1 = F_2 = F = I \cdot b \cdot B$$

$$\text{Mô-men lực: } M = F \cdot a \cdot \sin \alpha$$

$$M = I \cdot S \cdot B \cdot \sin \alpha$$

$$\vec{M} = I(\vec{S} \times \vec{B})$$

$\vec{S}$  là véc-tơ có độ lớn bằng diện tích  $S$  của khung dây, cùng phương chiều với  $\vec{n}$ . Ở trạng thái cân bằng:  $\vec{n} \parallel \vec{B}$



## 1.7. Tương tác của từ trường với dòng điện và hạt điện tích chuyển động

### 1.7.5. Tác dụng của lực từ lên hạt điện tích chuyển động – Lực Lorentz

- Hạt mang điện chuyển động với vận tốc  $\vec{v}$  trong từ trường  $\vec{B}$  chịu tác dụng bởi lực Lorentz:

$$\vec{F}_L = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

$$|\vec{F}_L| = q.v.B.\sin\theta$$

- Biểu diễn dưới dạng định thức:

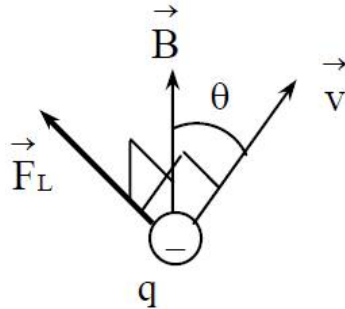
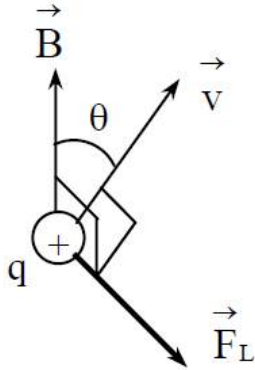
$$d\vec{F} = q \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ dv_x & dv_y & dv_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$$

- Đặc điểm:
  - Phương: vuông góc với mặt phẳng chứa  $\vec{v}$  và  $\vec{B}$ .
  - Chiều: theo quy tắc bàn tay trái (nếu  $q > 0$ ), tay phải (nếu  $q < 0$ ).
  - Điểm đặt: tại điện tích  $q$ .

## 1.7. Tương tác của từ trường với dòng điện và hạt điện tích chuyển động

### 1.7.5. Tác dụng của lực từ lên hạt điện tích chuyển động – Lực Lorentz

- Chú ý: Lực Lorentz  $\vec{F}_L$  luôn vuông góc với vận tốc  $\vec{v}$ , tức theo phương pháp tuyến với quỹ đạo chuyển động nên không sinh công, vì thế động năng của hạt không thay đổi. Vì vậy lực này chỉ có tác dụng làm thay đổi phương mà không thay đổi độ lớn của vận tốc.



## 1.7. Tương tác của từ trường với dòng điện và hạt điện tích chuyển động

### 1.7.5. Tác dụng của lực từ lên hạt điện tích chuyển động – Lực Lorentz

Véc-tơ vận tốc vuông góc với đường sức từ trường:  $\vec{v} \perp \vec{B}$ .

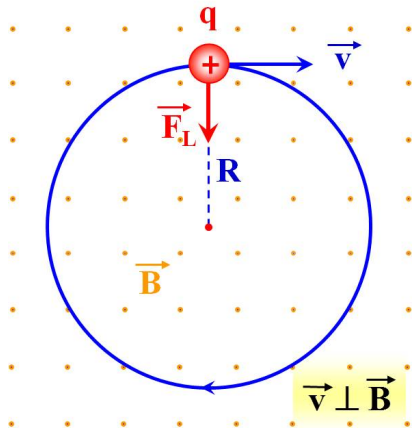
$$\vec{F}_L = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

Hạt chuyển động tròn theo quỹ đạo vuông góc với từ trường.  
Bán kính quỹ đạo:

$$R = \frac{mv}{qB}$$

Tần số quay quanh quỹ đạo:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m}$$



## 1.7. Tương tác của từ trường với dòng điện và hạt điện tích chuyển động

### 1.7.5. Tác dụng của lực từ lên hạt điện tích chuyển động – Lực Lorentz

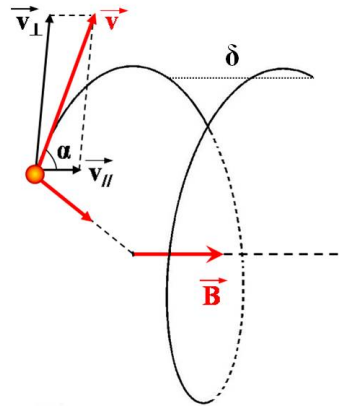
Véc-tơ vận tốc không vuông góc với đường sức từ trường:  $(\vec{v}, \vec{B}) \neq \pi/2$ . Phân tích  $\vec{v}$  thành 2 thành phần:  $\vec{v}_{\parallel}$  song song với  $\vec{B}$  và  $\vec{v}_{\perp}$  vuông góc với  $\vec{B}$ .

Hạt chuyển động theo quỹ đạo xoắn ốc với trục song song với  $\vec{B}$ .  
Bán kính quỹ đạo:

$$R = \frac{mv_{\perp}}{qB} = \frac{mv \sin \alpha}{qB}$$

Bước xoắn:

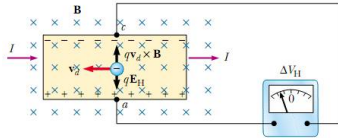
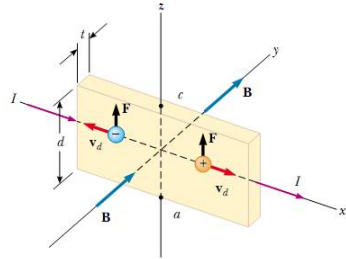
$$\delta = v_{\parallel} \cdot T = \frac{2\pi mv \cos \alpha}{qB}$$



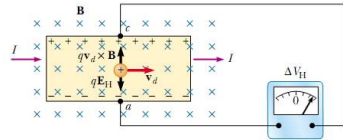
# 1.7. Tương tác của từ trường với dòng điện và hạt điện tích chuyển động

## 1.7.6. Hiệu ứng Hall

- Hiện tượng trong vật dẫn xuất hiện hiệu điện thế theo hướng vuông góc với từ trường và dòng điện chạy qua nó.
- Hiệu ứng này có thể dùng để xác định loại hạt tải mang điện (dương, âm) và nồng độ hạt tải trong vật dẫn.



Hạt tải mang điện tích âm.



Hạt tải mang điện tích dương.



## 1.7. Tương tác của từ trường với dòng điện và hạt điện tích chuyển động

### 1.7.6. Hiệu ứng Hall

- Ở trạng thái cân bằng, lực từ  $F_B$  cân bằng với lực điện  $qE_H$ . Hiệu điện thế Hall:

$$\Delta V_H = E_H d = v_d B d$$

với  $d$  là độ rộng của vật dẫn,  $v_d$  là vận tốc trôi (drift) của hạt tải dưới tác dụng của điện trường trong vật dẫn.

- Nồng độ hạt tải  $n$  có thể xác định qua dòng điện:

$$v_d = \frac{I}{nqA}, \text{ với } A = td \text{ là tiết diện cắt ngang của vật dẫn}$$

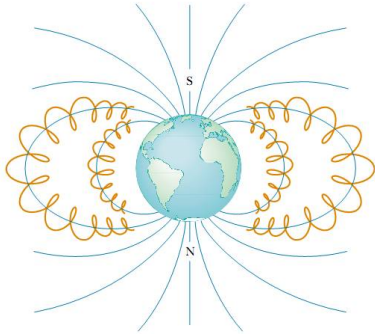
$$\rightarrow \Delta V_H = \frac{IBd}{nqA} \rightarrow \boxed{\Delta V_H = \frac{IB}{nqt} = \frac{R_H IB}{t}}$$

Với  $t$  là độ dày của vật dẫn,  $R_H = 1/nq$  là hệ số Hall.

*Khi sử dụng một vật dẫn nhất định với  $R_H$  đã biết, có thể dùng hiệu ứng Hall để xác định một từ trường chưa biết.*

# 1.7. Tương tác của từ trường với dòng điện và hạt điện tích chuyển động

## 1.7.7. Giải thích hiện tượng cực quang



**Bắc cực quang về đêm**

Các hạt mang điện từ vũ trụ (chủ yếu từ gió Mặt Trời) bị lái về hai cực dưới tác dụng của từ trường Trái Đất và gây ra sự ion hóa không khí.

## Định nghĩa các toán tử vi phân

- Toán tử Nabla:

$$\nabla = \vec{i} \frac{\partial}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial}{\partial z}$$

$\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  là các véc-tơ đơn vị tương ứng trên các trục  $x, y, z$ .

- grad (gradient), toán tử  $\nabla$  tác động lên một đại lượng vô hướng  $f(x, y, z)$ :

$$\text{grad} f = \nabla f = \frac{\partial f}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial f}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial f}{\partial z} \vec{k}$$

- div (divergence), toán tử  $\nabla$  tác động lên một đại lượng có hướng  $\vec{v}$ , được biểu diễn bằng tích vô hướng của  $\nabla$  và đại lượng đó:

$$\text{div} \vec{v} = \nabla \cdot \vec{v} = \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z}$$

## Định nghĩa các toán tử vi phân (tiếp)

- curl (hoạt rot), toán tử  $\nabla$  tác động lên một đại lượng có hướng  $\vec{v}$ , được biểu diễn bằng tích có hướng của  $\nabla$  và đại lượng đó:

$$\text{rot} \vec{v} = \nabla \times \vec{v} = \left( \frac{\partial v_z}{\partial y} - \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) \vec{i} + \left( \frac{\partial v_x}{\partial z} - \frac{\partial v_z}{\partial x} \right) \vec{j} + \left( \frac{\partial v_y}{\partial x} - \frac{\partial v_x}{\partial y} \right) \vec{k}$$

- Toán tử Laplace, đạo hàm riêng bậc 2:

$$\Delta = \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

# The End