

BÀI GIẢNG VẬT LÝ ĐẠI CƯỜNG

Tác giả: PGS. TS Đỗ Ngọc Uẩn

Viện Vật lý kỹ thuật

Trường ĐH Bách khoa Hà nội

Tài liệu tham khảo:

1. Physics Classical and modern

Frederick J. Keller, W. Edward Gettys,
Malcolm J. Skove

McGraw-Hill, Inc. International Edition 1993.

2. R. P. Feynmann

Lectures on introductory Physics

3. I. V. Savelyev

Physics. A general course, Mir Publishers 1981

4. Vật lý đại cương các nguyên lý và ứng dụng,
tập I, II, III. Do Trần ngọc Hối chủ biên

Các trang Web có liên quan:

<http://ocw.mit.edu/OcwWeb/Physics/>

<http://nsdl.exploratorium.edu/>

Bài giảng có trong trang:

<http://iep.hut.edu.vn>

Vào Đào tạo -> Bài giảng VLĐCII

*load bài giảng về in thành tài liệu cầm tay,
khi nghe giảng ghi thêm vào!*

- Tài liệu học : Vật lý đại cương: Dùng cho khối các trường ĐH kỹ thuật công nghiệp (LT&BT)

Tập II: Điện, Từ, Dao động & sóng.

➤ Cách học: Lên lớp LT; mang theo tài liệu cầm tay, nghe giảng, ghi thêm vào tài liệu.

- Về nhà: Xem lại bài ghi, hiệu chỉnh lại cùng tài liệu -> Làm bài tập.

- Lên lớp BT bắt đầu từ tuần 2: SV lên bảng, thầy kiểm tra vở làm bài ở nhà.

- Điểm QT hệ số 0,3 gồm điểm kiểm tra giữa kỳ + Điểm chuyên cần; Nếu nghỉ 2,3 buổi trừ 1 điểm, nghỉ 4,5 buổi trừ 2 điểm.

- Thí nghiệm: **Đọc tài liệu TN trước**, kiểm tra xong mới được vào phòng TN, Sau khi đo được số liệu phải trình thầy và được thầy chấp nhận.
- Đợt 1: từ tuần 3 (22/2/10)
- Tài liệu: Liên hệ BM VLDC tầng 2 nhà D3.
 - Hoàn chỉnh bài này mới được làm tiếp bài sau
- Cuối cùng phải **bảo vệ TN**
 - ' Nếu SV không qua được TN, không được dự thi.
- Thi: 15 câu trắc nghiệm (*máy tính chấm*) + 2 câu tự luận, **rọc phách** (*thầy ngẫu nhiên chấm*)
Mỗi người 1 đề . Điểm thi hs 0,7
- Điểm quá trình hệ số 0,3.

Chương 1

TRƯỜNG TĨNH ĐIỆN

1. Những khái niệm mở đầu:

- Hiện tượng nhiễm điện do cọ xát
- Điện tích nguyên tố: **điện tử $-e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$** , **$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{kg}$** ; Proton: $+e$, $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{kg}$
- Mất điện tử nhiễm điện dương: thủy tinh
- Nhận điện tử nhiễm điện âm: lụa
- **Định luật bảo toàn điện tích**: Tổng đại số điện tích của hệ cô lập là không đổi.
- **Phân loại vật**: Dẫn điện, điện môi, Bán dẫn -> các thuyết:

Khí điện tử tự do áp dụng cho kim loại

Lý thuyết vùng năng lượng áp dụng cho TThể

2. Định luật Culông

$$F_1 = F_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

3. Khái niệm về điện trường, Véc tơ cường độ điện trường

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

Nguyên lý chồng chất
điện trường

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

• Lượng cực điện

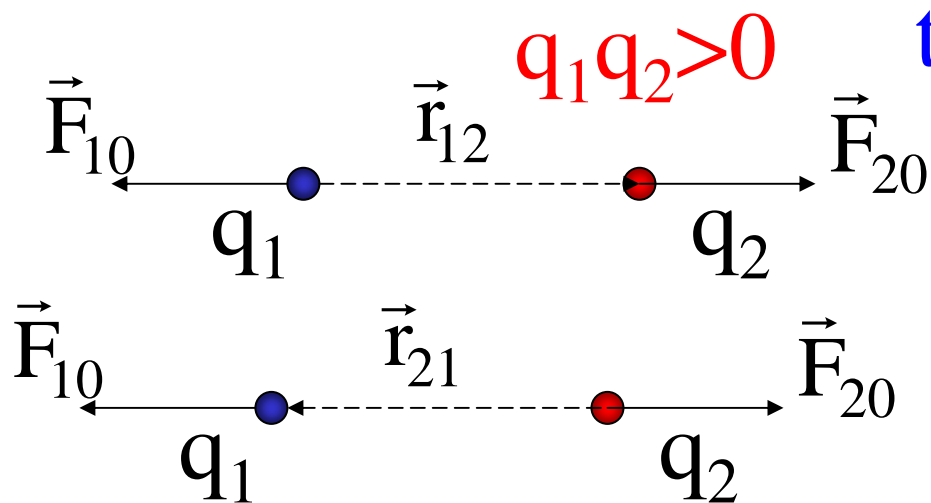
$$\vec{E}_N = \frac{2\vec{p}_e}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^3}$$

$$\vec{p}_e = q\vec{l} \quad \vec{E}_M = -\frac{\vec{p}_e}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^3}$$

4.1. Đường sức điện trường

Đặc điểm: Đường sức của trường tĩnh điện là các đường hở

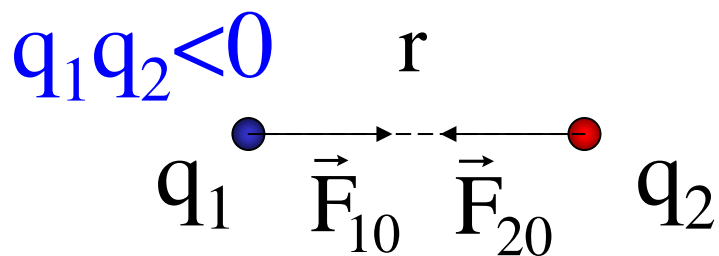
2. Định luật Culông



2.1. Định luật Culông trong chân không

$$\vec{F}_{20} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\vec{r}_{12}}{r}$$

$$\vec{F}_{10} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\vec{r}_{21}}{r}$$



$$F_{10} = F_{20} = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$$

$$\epsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}$$

$$F_{10} = F_{20} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

Hằng số điện môi

- ĐL Culông: Lực tương tác giữa hai điện tích có phương nằm trên đường nối hai điện tích, là lực hút nhau nếu hai điện tích trái dấu và đẩy nhau nếu cùng dấu, có độ lớn tỷ lệ với độ lớn tích giữa hai điện tích đó và tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa hai điện tích đó

2.2. Định luật Culông trong môi trường

$$F_1 = F_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{|q_1q_2|}{r^2}$$

ϵ - Độ điện thẩm hay hằng số điện môi tỷ đối

- Độ điện thẩm hay hằng số điện môi tỷ đối ϵ của một số chất:

Chân không 1

Không khí 1,0006

Thuỷ tinh $5 \div 10$

H₂O 81

Dầu cách điện 1000

- Lực Culông do hệ điện tích điểm q_1, q_2, \dots, q_n tác dụng lên điện tích điểm q_0 :

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

3. Khái niệm về điện trường, Véc tơ cường độ điện trường

3.1. Khái niệm về điện trường:

Tương tác giữa hai điện tích điểm xảy ra như thế nào?

- Thuyết **tác dụng xa**: Tức thời, không thông qua môi trường nào cả -> Sai
- Thuyết **tác dụng gần**: Quanh điện tích có môi trường đặc biệt -> điện trường lan truyền với c -> vận tốc tương tác giới hạn
-> điện trường của điện tích này tác dụng lực lên điện tích kia

3.2. Véc tơ cường độ điện trường

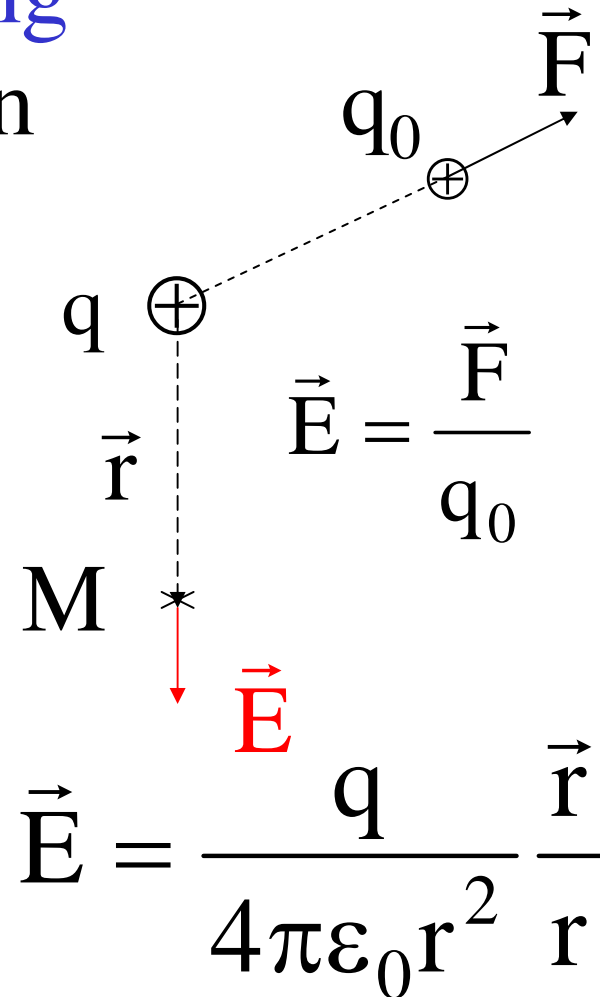
Định nghĩa: Véc tơ cường độ điện trường tại một điểm là đại lượng có giá trị bằng lực tác dụng của điện trường lên một đơn vị điện tích dương đặt tại điểm đó

Thứ nguyên: $\left(\frac{V}{m}\right)$

Véc tơ cường độ điện trường gây ra bởi điện tích điểm

$$\vec{F} = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

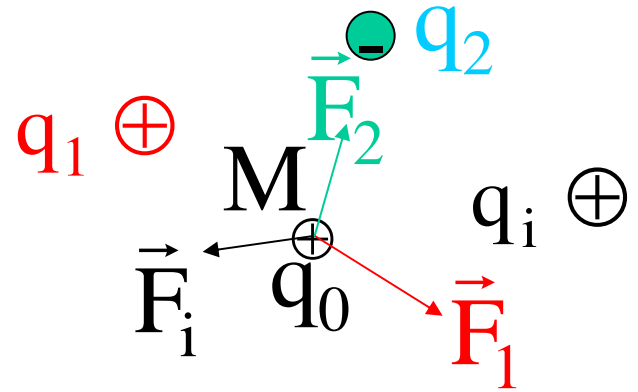
$$E = \frac{|q|}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$



Véc tơ cường độ điện trường gây ra bởi hệ điện tích điểm

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

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{F}_i}{q_0} = \sum_{i=1}^n \frac{\vec{F}_i}{q_0} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i$$



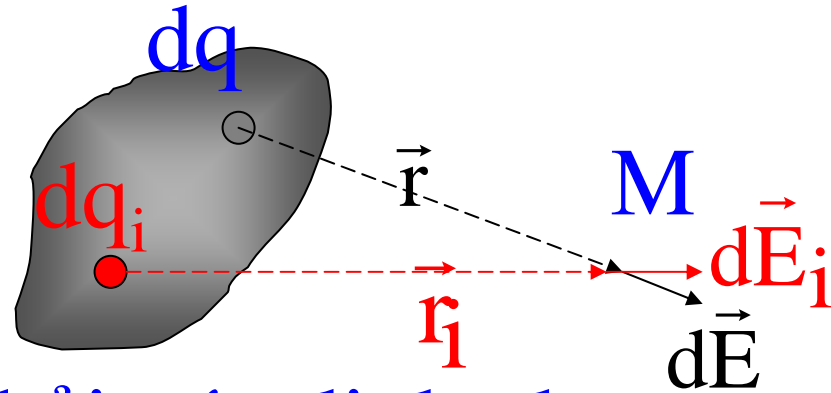
$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i$$

...tại M bằng tổng các véc tơ cường độ điện trường gây ra bởi các điện tích điểm tại điểm đó

-> nguyên lý chồng chất điện trường

Véc tơ cường độ điện trường gây ra bởi vật mang điện tích

$$\vec{E} = \int_{\text{Toàn bộ vật}} d\vec{E} = \int_{\text{tbv}} \frac{dq}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$



Trong trường hợp cụ thể phải xác định phương và chiều bằng hình vẽ, tích phân chỉ xác định giá trị của E

Dây: $\lambda(\text{C/m})$

$$dq = \lambda dl$$

$$\vec{E} = \int_{\text{tbv}} \frac{\lambda dl}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

Mặt: $\sigma(\text{C/m}^2)$

$$dq = \sigma dS$$

$$\vec{E} = \int_{\text{tbv}} \frac{\sigma dS}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

Khối: $\rho(\text{C/m}^3)$

$$dq = \rho dV$$

$$\vec{E} = \int_{\text{tbv}} \frac{\rho dV}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

3.3. Thí dụ

• **Lưỡng cực điện** $\vec{p}_e = q\vec{l}$

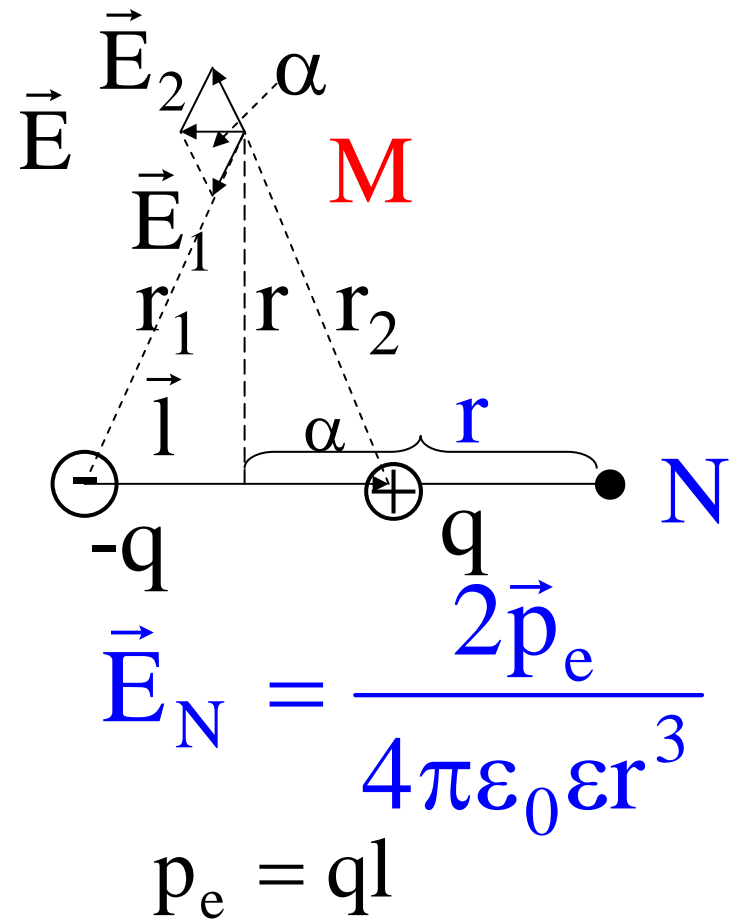
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \quad E = 2E_1 \cos \alpha$$

$$E = 2 \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r_1^2} \frac{l}{2r_1} = \frac{ql}{4\pi\epsilon_0\epsilon r_1^3}$$

$$r \gg l \Rightarrow r_1 = \sqrt{r^2 + \frac{l^2}{4}} \approx r$$

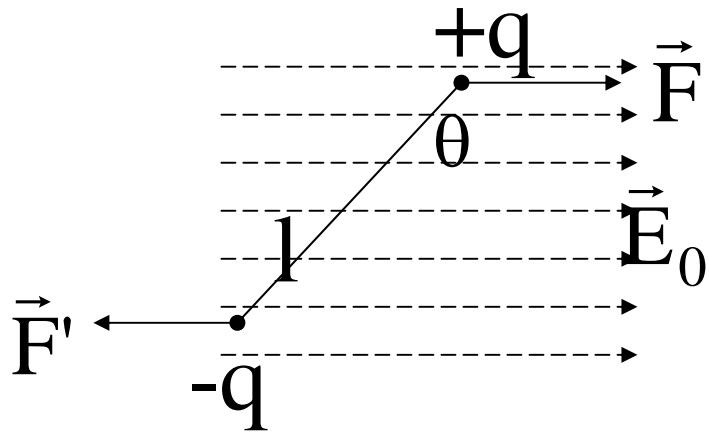
$$E = \frac{p_e}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^3}$$

$$\vec{E}_M = -\frac{\vec{p}_e}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^3}$$



$E \sim$ mômen lưỡng cực điện p_e

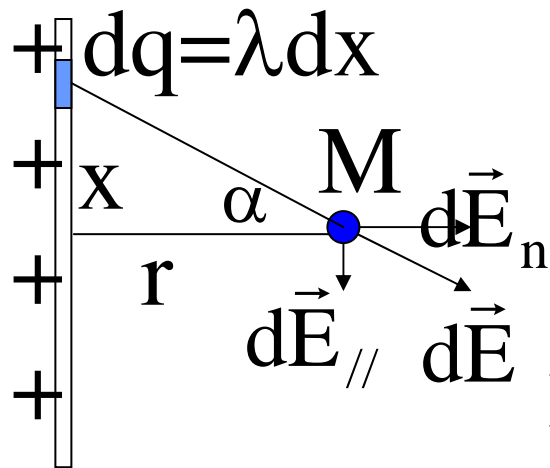
• Tác dụng điện trường đều lên lưỡng cực điện



$$\vec{\mu} = \vec{l} \times \vec{F} = \vec{l} \times q\vec{E}_0 = q\vec{l} \times \vec{E}_0$$

$$\vec{\mu} = \vec{p}_e \times \vec{E}_0 \quad \mu = qlE_0 \sin \theta$$

• Véc tơ cường độ điện trường gây ra bởi dây dẫn vô hạn tích điện đều

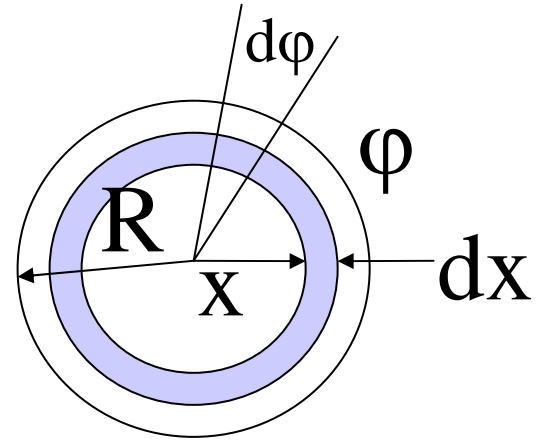
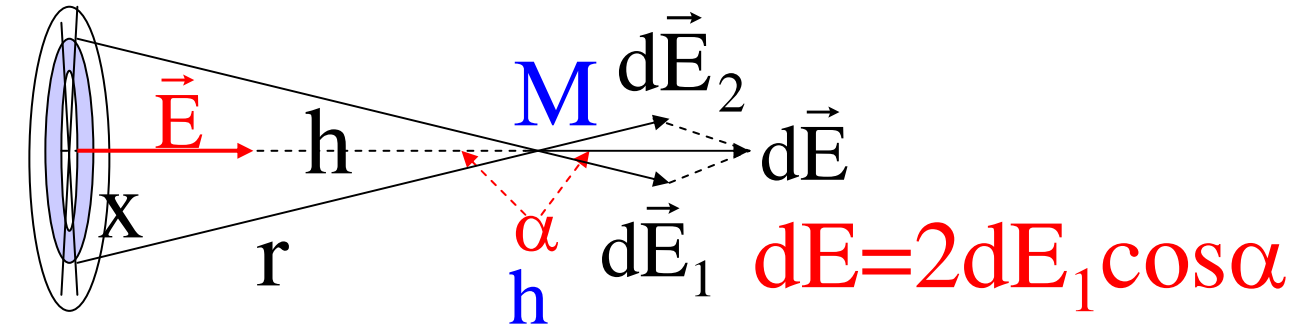


$$E = \int_{\text{tbd}} dE_n = \int_{\text{tbd}} \frac{\lambda dx}{4\pi\epsilon_0\epsilon(x^2 + r^2)} \cos \alpha$$

$$\cos^2 \alpha = r^2 / (x^2 + r^2) \quad dx = \frac{r d\alpha}{\cos^2 \alpha}$$

$$E = \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0\epsilon r} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \cos \alpha d\alpha \quad E = \frac{|\lambda|}{2\pi\epsilon_0\epsilon r}$$

• Véc tơ cường độ điện trường gây ra bởi đĩa tròn phẳng tích điện đều



$$\cos \alpha = \frac{h}{(h^2 + x^2)^{1/2}}$$

$$E = \int_{\text{tbd}} dE = \int_{\text{tbd}} \frac{\sigma h}{2\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{x dx d\varphi}{(h^2 + x^2)^{3/2}}$$

$$E = \frac{\sigma h}{2\pi\epsilon_0\epsilon} \int_0^R \frac{x dx}{(h^2 + x^2)^{3/2}} \int_0^\pi d\varphi$$

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon} \left(1 - \frac{1}{(1 + R^2/h^2)^{1/2}}\right)$$

$$dq = \sigma dS = \sigma x dx d\varphi$$

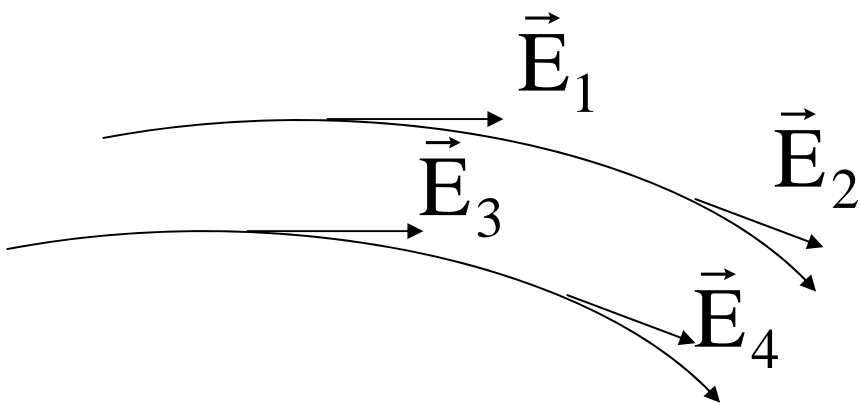
đĩa phẳng vô hạn

$$R \rightarrow \infty$$

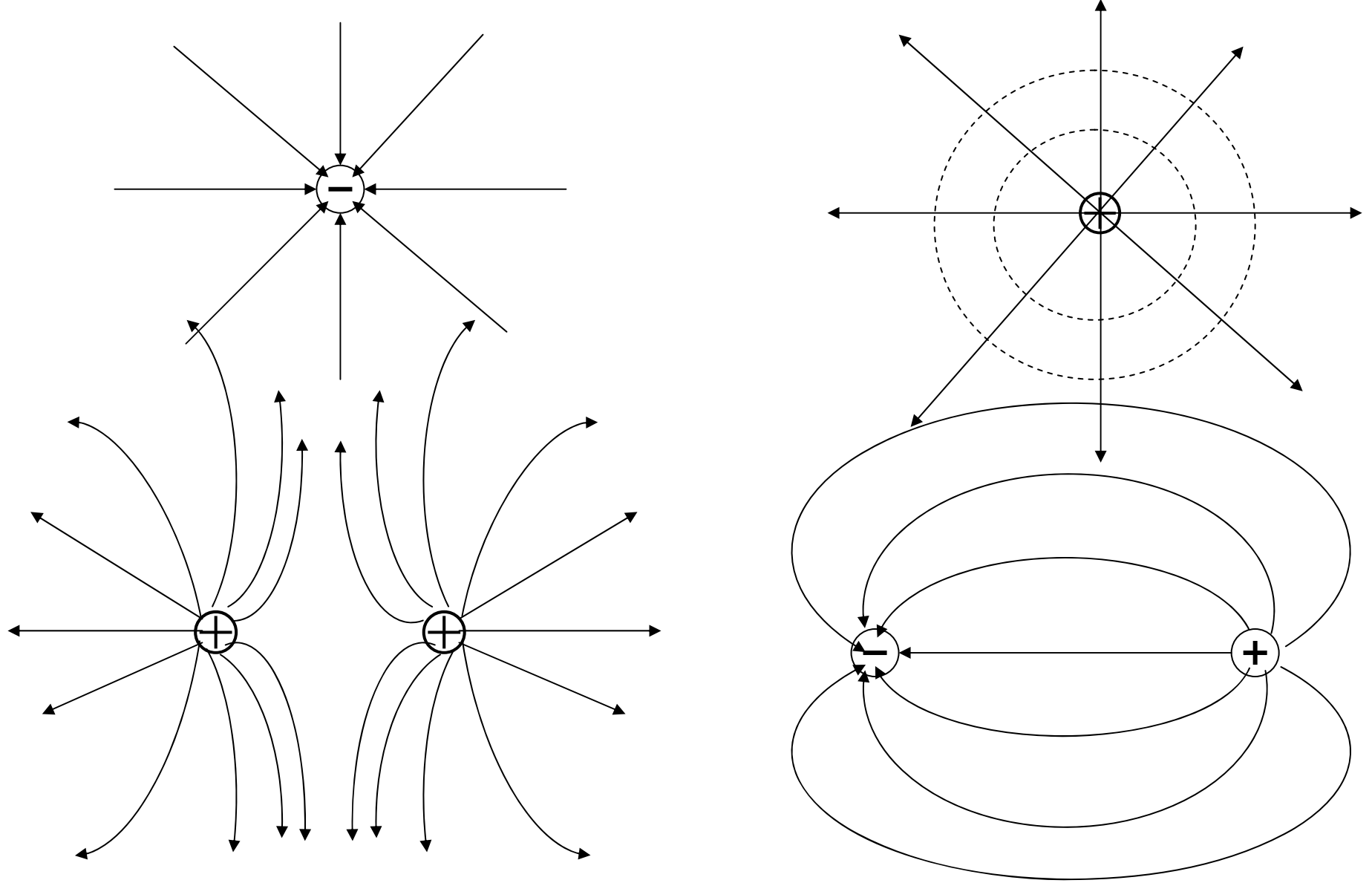
$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon}$$

4. Điện thông

4.1. Đường sức điện trường là đường cong mà tiếp tuyến tại mỗi điểm của nó trùng với phương của véc tơ cường độ điện trường tại điểm đó chiều của đường sức điện trường là chiều của véc tơ cường độ điện trường



Tập hợp đường sức của
điện trường = điện phổ



Đặc điểm: Đường sức của trường tĩnh điện là các đường hở

4.2. Sự gián đoạn đường sức của điện trường

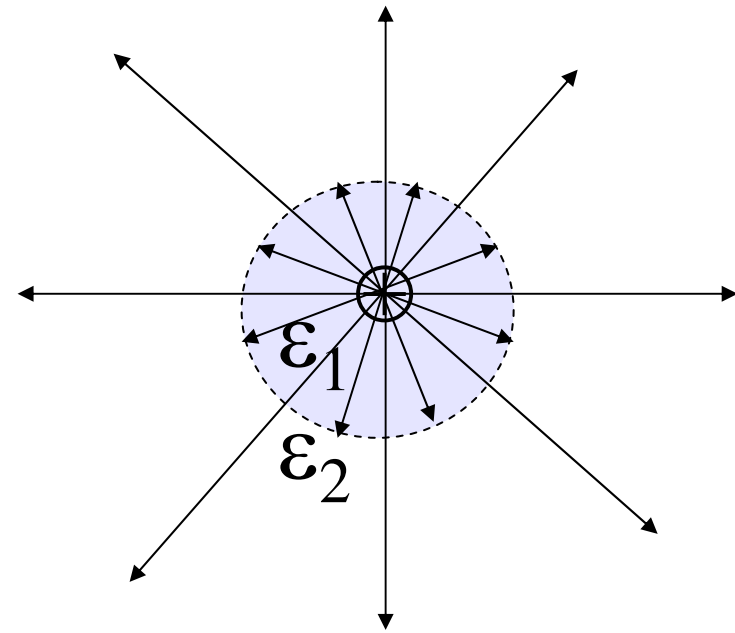
Nếu $2\varepsilon_1 = \varepsilon_2$ gián đoạn tại biên giới hai môi trường
 \Rightarrow Véc tơ cảm ứng điện

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E} \quad D = \varepsilon_0 \varepsilon E$$

Điện tích điểm

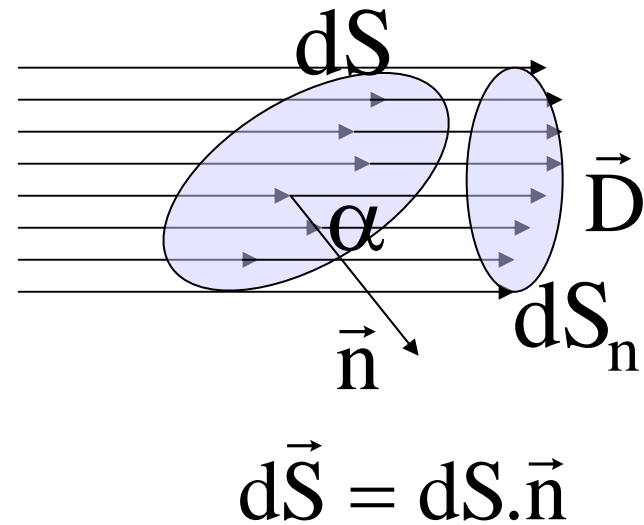
$$\vec{D} = \frac{q}{4\pi r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

$$D = \frac{|q|}{4\pi r^2}$$



Thứ nguyên
 C/m^2

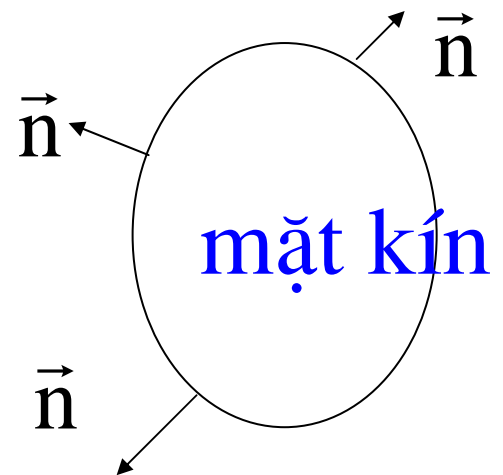
4.3. Thông lượng cảm ứng điện
/điện thông
là đại lượng có độ lớn bằng số
đường sức vẽ vuông góc qua
diện tích



$$d\Phi_e = \vec{D}d\vec{S} = DdS \cos \alpha = D_n dS = DdS_n$$

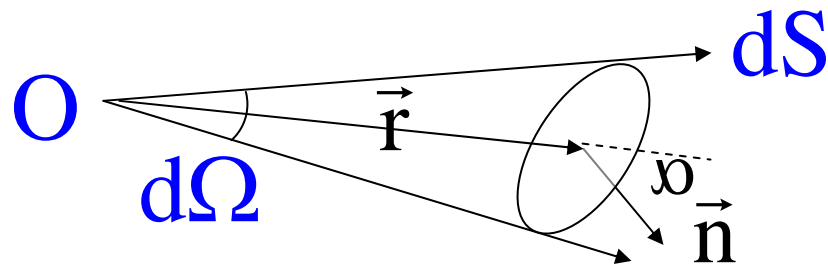
qua diện tích S

$$\Phi_e = \int_S d\Phi_e = \int_S \vec{D}d\vec{S}$$



5. Định lý Ôxtrôgratxki-Gauox (Ô-G)

5.1. Góc khối: góc nhìn một diện tích từ một điểm

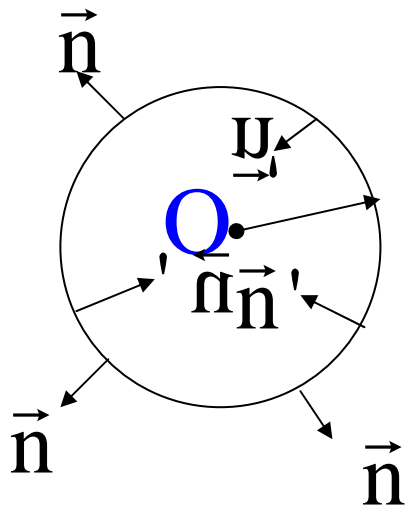


$$d\vec{S} = dS \cdot \vec{n}$$

$$d\Omega = \frac{dS \cos \alpha}{r^2}$$

$$dS \cos \alpha = dS_n$$

Góc nhìn mặt cầu (pháp tuyến ra):



$$\Omega = \int_S \frac{dS \cos \alpha}{r^2} = \int_S \frac{dS_n}{r^2} = 4\pi$$

Góc nhìn mặt cầu
(pháp tuyến vào):

$$\Omega' = -4\pi$$

5.2. Điện thông xuất phát từ điện tích điểm q

Điện thông qua dS $d\Phi_e = \vec{D}d\vec{S} = DdS \cos \alpha$

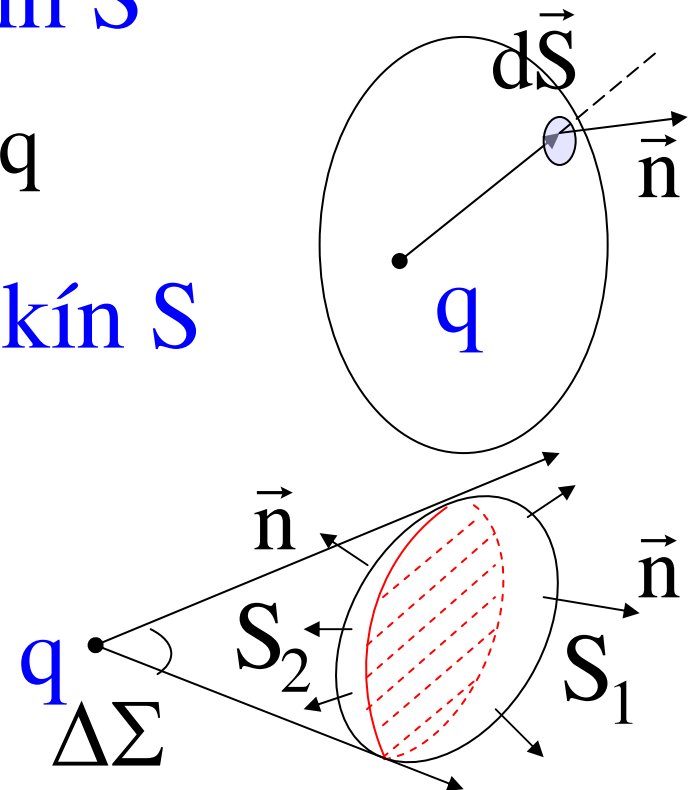
$$D = \frac{|q|}{4\pi r^2} \quad d\Phi_e = \frac{q}{4\pi r^2} dS \cos \alpha = \frac{q}{4\pi} d\Omega$$

Điện tích điểm q trong mặt kín S

$$\Phi_e = \oint_S d\Phi_e = \frac{q}{4\pi} \oint_S d\Omega = q$$

Điện tích điểm q ngoài mặt kín S

$$\begin{aligned} \Phi_e &= \frac{q}{4\pi} \left(\int_{S_1} d\Omega + \int_{S_2} d\Omega \right) \\ &= \frac{q}{4\pi} (\Delta\Sigma - \Delta\Sigma) = 0 \end{aligned}$$



5.3. Định lý Ôxtrôgratxki-Gauox (Ô-G)

Điện thông qua mặt kín bất kỳ bằng tổng đại số các điện tích chứa trong mặt kín ấy:

$$\Phi_e = \oiint_S \vec{D} d\vec{S} = \sum_i q_i \quad \Sigma q_i \text{ Tổng đại số (dấu của điện tích)}$$

5.4. Dạng vi phân định lý Ôxtrôgratxki-Gauox

$$\oiint_S \vec{D} d\vec{S} = \iiint_V \operatorname{div} \vec{D} dV \quad \operatorname{div} \vec{D} = \frac{\partial D_x}{\partial x} + \frac{\partial D_y}{\partial y} + \frac{\partial D_z}{\partial z}$$

$$\sum_i q_i = \iiint_V \rho dV \quad \rho = \operatorname{div} \vec{D}$$

Phương trình Poisson (Poát Xông)

5.5. Ứng dụng: Tính D & E

5.5.1 Cầu bán kính R tích điện mặt q

Xác định điện trường tại điểm:

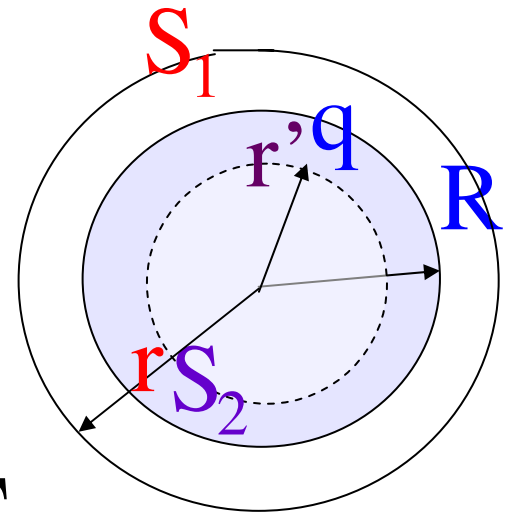
- **Ngoài cầu ($r > R$):** $\Phi_e = \oiint_{S_1} \vec{D} d\vec{S} = \sum_i q_i = q$

$$D 4\pi r^2 = q \quad D = \frac{q}{4\pi r^2} \quad E = \frac{D}{\epsilon_0 \epsilon} = \frac{q}{4\pi \epsilon_0 \epsilon r^2}$$

- **Trên mặt cầu (R):** $D = \frac{q}{4\pi R^2} \quad E = \frac{q}{4\pi \epsilon_0 \epsilon R^2}$

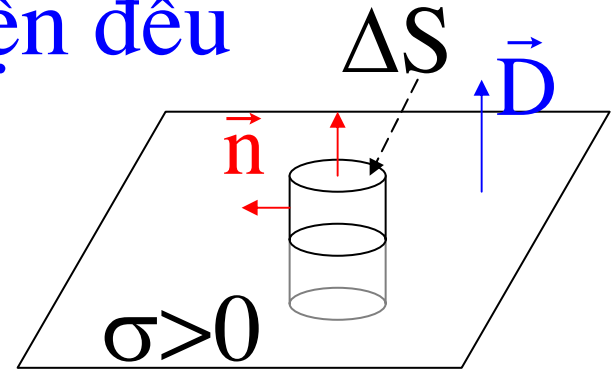
- **Trong cầu ($r' < R$):**

$$\Phi_e = \oiint_{S_2} \vec{D} d\vec{S} = \sum_i q_i = 0 \quad D=0, E=0$$



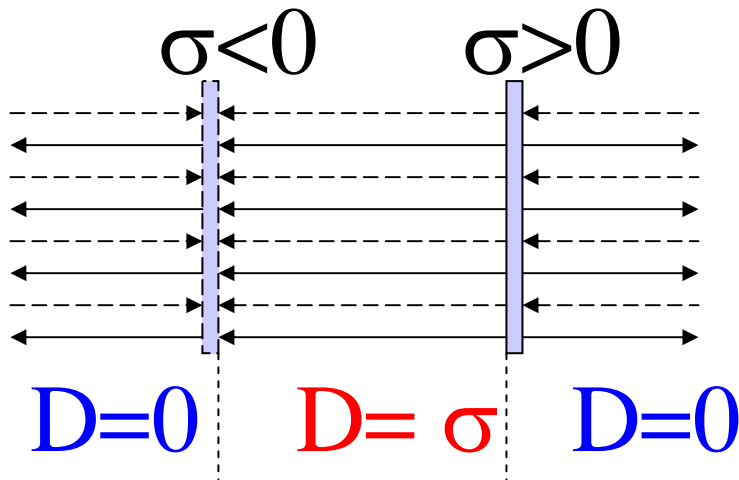
5.5.2 Mặt phẳng vô hạn tích điện đều

$$\Phi_e = \oint \vec{D} d\vec{S} = \iint_{\text{mặt trụ}} \vec{D} d\vec{S} + \iint_{\text{mặt bên}} \vec{D} d\vec{S} + \iint_{\text{2 đáy}} \vec{D} d\vec{S}$$



$$\left. \begin{aligned} \iint_{\text{mặt bên}} \vec{D} d\vec{S} &= 0 \\ \iint_{\text{2 đáy}} \vec{D} d\vec{S} &= D 2\Delta S \\ \Phi_e &= \iint_{\text{2 đáy}} \vec{D} d\vec{S} = \Delta S \sigma \end{aligned} \right\} \rightarrow D = \frac{\sigma}{2} \quad E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon}$$

5.5.3 Giữa 2 mặt phẳng vô hạn tích điện đều

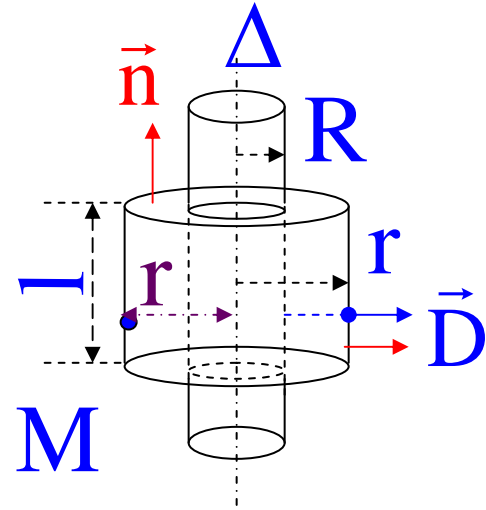


Giữa: E đều $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0\epsilon}$

Ngoài: $E=0$

5.5.4 Mặt trụ vô hạn tích điện đều

Vẽ mặt trụ: qua M, bán kính r, cao l



$$\Phi_e = \oint \vec{D} d\vec{S} = \iint_{\text{mặt bên}} \vec{D} d\vec{S} + \iint_{\text{2dáy}} \vec{D} d\vec{S}$$

$$\iint_{\text{2dáy}} \vec{D} d\vec{S} = 0 \quad \iint_{\text{mặt bên}} \vec{D} d\vec{S} = D 2\pi r l$$

$$\Phi_e = \iint_{\text{mặt bên}} \vec{D} d\vec{S} = Q = 2\pi R l \sigma = \lambda l$$

$$D = \frac{Q}{2\pi r l} = \frac{\sigma R}{r} = \frac{\lambda}{2\pi r}$$

Q - Điện tích trên mặt trụ trong, cao l

$$E = \frac{Q}{2\pi \epsilon_0 \epsilon r l} = \frac{\sigma R}{\epsilon_0 \epsilon r} = \frac{\lambda}{2\pi \epsilon_0 \epsilon r}$$

σ - Mật độ điện mặt
 λ - Mật độ điện dài

6. Điện thế

6.1 Công của lực tĩnh điện. Tính chất thế của trường tĩnh điện

$$dA = Fd\vec{s} = q_0 E d\vec{s}$$

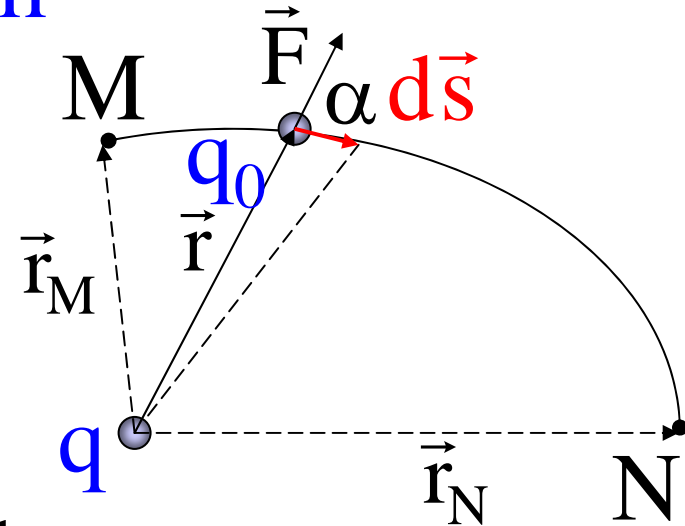
$$dA = q_0 \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^3} \vec{r} d\vec{s}$$

$$= \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} ds \cos \alpha = \frac{q_0 q dr}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}$$

$$A_{MN} = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \int_{r_M}^{r_N} \frac{dr}{r^2} = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \left(-\frac{1}{r} \right) \Big|_{r_M}^{r_N}$$

Công của lực tĩnh điện
 \Rightarrow Tính chất thế

$$A_{MN} = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r_M} - \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r_N}$$



$$ds \cdot \cos \alpha = dr$$

Trong điện trường của q

Trong điện trường bất kì

q_0 ch động trong điện trường của hệ q_1, q_2, \dots, q_n

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = q_0 \sum_{i=1}^n \vec{E}_i$$
$$A_{MN} = \sum_{i=1}^n \frac{q_0 q_i}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r_{iM}} - \sum_{i=1}^n \frac{q_0 q_i}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r_{iN}}$$

Công của lực tĩnh điện trong sự dịch chuyển điện tích q_0 trong điện trường bất kì:

- Không phụ thuộc vào dạng của đường cong dịch chuyển

- Chỉ phụ thuộc vào điểm đầu và cuối của chuyển dời

- \Rightarrow Tính chất thế: $A = \oint \vec{F} d\vec{s} = q_0 \oint \vec{E} d\vec{s} = 0$

. Lưu số véc tơ cường độ đtrường
dọc theo một đường cong kín bằng
không: $\oint \vec{E} d\vec{s} = 0$

6.2 Thế năng của một điện tích trong điện trường

Công bằng độ giảm thế năng $dA = -dW$

$$A_{MN} = \int_M^N dA = \int_M^N -dW = W_M - W_N \quad W_M = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r_M}$$

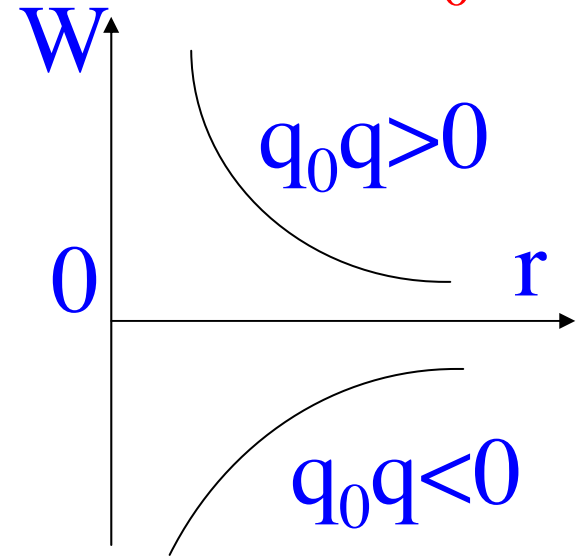
$$A_{MN} = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r_M} - \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r_N} \quad W_N = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r_N}$$

$$W = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r} + C \quad W_M = \int_M^\infty q_0 \vec{E} d\vec{s}$$

$$W_\infty = 0 \Rightarrow C=0$$

$$W = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r}$$

- Thế năng q_0 tại M trong điện trường là đại lượng về trị số bằng công của lực tĩnh điện trong sự dịch chuyển q_0 từ M ra xa vô cùng



6.3. Điện thế

6.3.1 Định nghĩa: W/q_0 không phụ thuộc vào điện tích q_0 mà chỉ phụ thuộc vào vị trí trong điện trường và điện tích gây ra điện trường

Điện thế tại điểm đang xét của dt

$$V = \frac{W}{q_0}$$

Điện thế q gây ra tại r

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r}$$

Điện thế hệ q_i
gây ra tại r

$$V = \sum_i V_i = \sum_i \frac{q_i}{4\pi\epsilon_0\epsilon r_i}$$

. Điện thế tại M trong điện trường là đại lượng về trị số bằng Công của lực tĩnh điện trong sự dịch chuyển đơn vị điện tích dương từ M ra ∞

$$V_M = \int_M^{\infty} \vec{E} d\vec{s}$$

Công dịch chuyển q_0 từ $M \rightarrow N$:

$$A_{MN} = W_M - W_N = q_0(V_M - V_N)$$

6.3.2 Ý nghĩa

$$q_0 = +1 \Rightarrow V_M - V_N = A_{MN} \quad V_M - V_N = \frac{A_{MN}}{q_0}$$

- Hiệu điện thế giữa 2 điểm M, N = Công của lực điện trường dịch chuyển đơn vị điện tích dương từ M \rightarrow N.

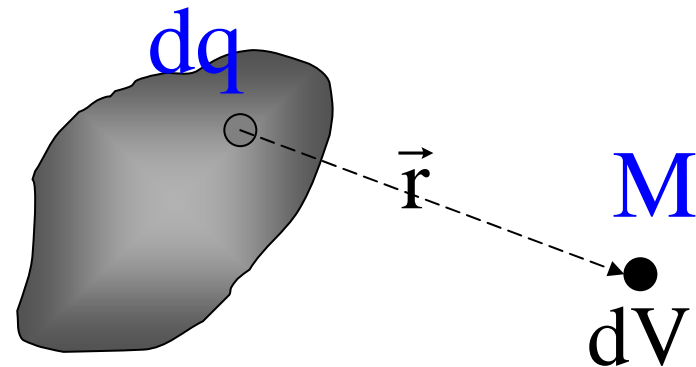
$$V_M - V_\infty = A_{M\infty} \rightarrow V_M = A_{M\infty}$$

. Điện thế tại điểm M = Công dịch chuyển đơn vị điện tích dương từ M $\rightarrow \infty$.

• Điện thế tại 1 điểm trong điện trường của hệ điện tích:

$$V = \int_{\text{Cả hệ dt}} dV = \int_{\text{Cả hệ dt}} \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{dq}{r}$$

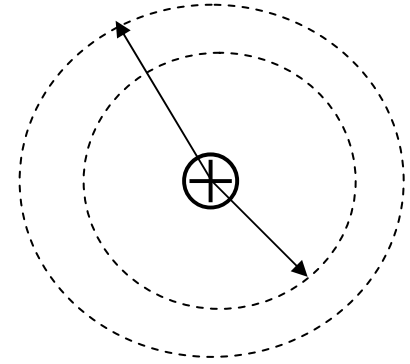
thứ nguyên V là vôn



7. Mặt đẳng thế

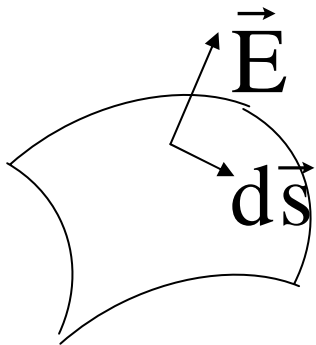
7.1. Định nghĩa: Quỹ tích của những điểm có cùng điện thế. $V = C = \text{const}$

Điện tích điểm: $r = \text{const}$



7.2. Tính chất mặt đẳng thế:

- Công của lực điện trường dịch chuyển q_0 :
$$A_{MN} = q_0(V_M - V_N) = 0 \quad (M, N \text{ trên mặt đt})$$
- Véc tơ cường độ điện trường tại một điểm trên mặt đt luôn vuông góc với mặt đt tại điểm đó



$$dA = q_0 \vec{E} d\vec{s} = 0$$

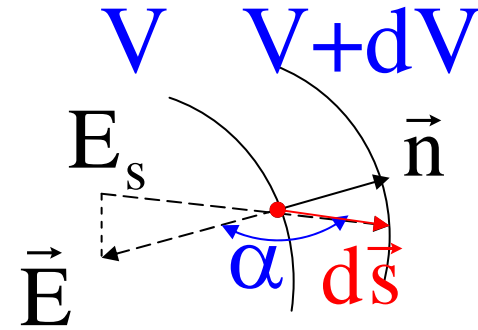
$$\vec{E} d\vec{s} = 0$$

– Các mặt đẳng thế không cắt nhau

8. Liên hệ giữa véc tơ cường độ điện trường và điện thế

$$dA = q_0[V - (V + dV)] = -q_0 dV$$

$$dA = q_0 \vec{E} d\vec{s} \quad \longrightarrow \quad \vec{E} d\vec{s} = -dV$$



$$dV > 0 \rightarrow E ds \cos \alpha < 0$$

$\cos \alpha < 0 \rightarrow \alpha > \frac{\pi}{2}$ Véc tơ cường độ điện trường theo chiều giảm điện thế

$$E ds \cos \alpha = E_s ds = -dV \quad \rightarrow \quad E_s = -\frac{dV}{ds}$$

. Hình chiếu véc tơ cường độ điện trường trên một phương nào đó có trị số bằng độ giảm điện thế trên đơn vị dài của phương đó

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

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

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

- Véc tơ cường độ điện trường tại một điểm bằng về giá trị nhưng ngược chiều với gradient của điện thế tại điểm đó

E_n là hình chiếu của \vec{E} trên pháp tuyến

đối với mặt
đẳng thế: $E_n = -\frac{dV}{dn} = E \quad E_s = -\frac{dV}{ds} = E \cdot \cos \alpha$

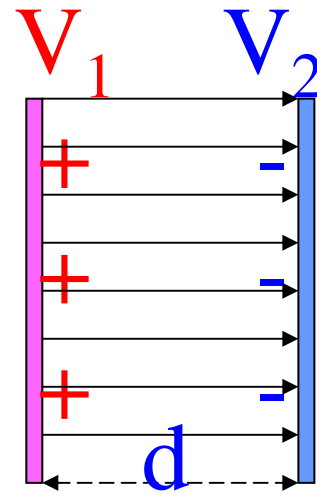
7 Điện thế biến thiên nhiều nhất
theo pháp tuyến với mặt đẳng thế

$$\left| \frac{dV}{ds} \right| \leq \left| \frac{dV}{dn} \right|$$

Ứng dụng

a, Hiệu điện thế giữa hai mặt phẳng song song tích điện đều

$$E = \frac{V_1 - V_2}{d} \quad E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon} \quad V_1 - V_2 = \frac{\sigma d}{\epsilon_0 \epsilon}$$



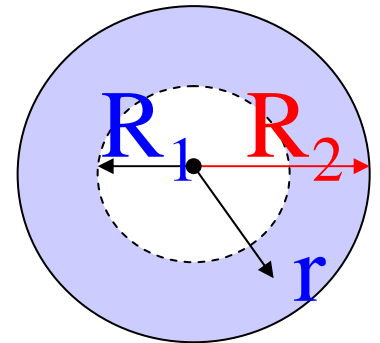
$$d=1\text{m}, V_1-V_2=1\text{vôn} \rightarrow E=1\text{V/m}$$

V/m là cường độ điện trường trong ĐT đồng tính
mà hiệu điện thế trên mỗi m là 1vôn

b, Hiệu điện thế giữa hai mặt cầu mang điện đều

$$-dV = Edr = \frac{qdr}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}$$

$$V_1 - V_2 = \int_{R_1}^{R_2} \frac{qdr}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$



c, Hiệu điện thế giữa hai điểm trong điện trường của mặt trụ tích điện đều

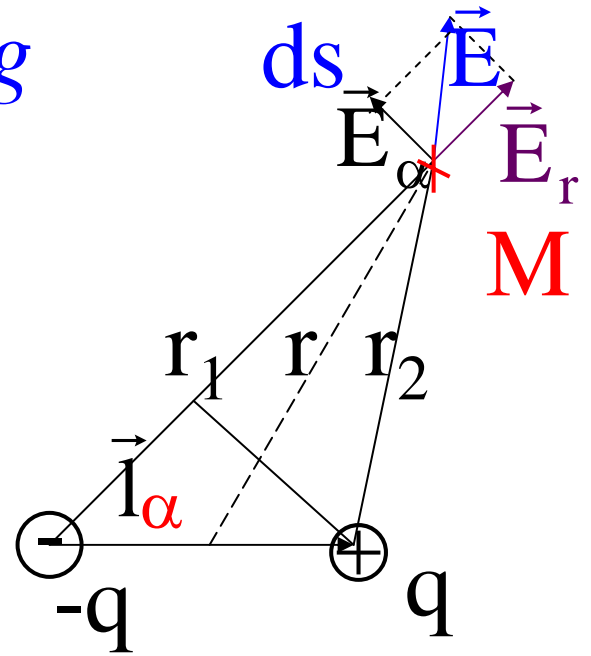
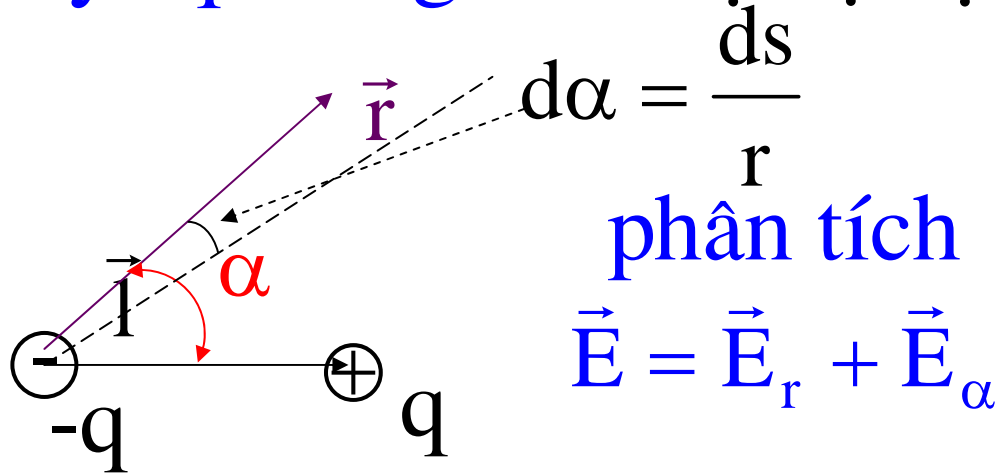
$$E = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0\epsilon l r} = \frac{\sigma R}{\epsilon_0\epsilon r} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0\epsilon r}$$

$$V_1 - V_2 = \int_{R_1}^{R_2} E dr = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0\epsilon l} \ln \frac{R_2}{R_1}$$

$$= \frac{\sigma R}{\epsilon_0\epsilon} \ln \frac{R_2}{R_1} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0\epsilon} \ln \frac{R_2}{R_1}$$

*d, Véc tơ cường độ điện trường
gây bởi lưỡng cực điện*

Lấy $-q$ làm gốc Toạ độ cực



$$V = \frac{-q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r_1} + \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r_2} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{r_1 - r_2}{r_1 r_2}$$

$$r_1 - r_2 = l \cos \alpha \text{ và } r_1 r_2 \approx r^2$$

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{l \cos \alpha}{r^2} = \frac{p_e \cos \alpha}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}$$

$$E_r = -\frac{\partial V}{\partial r} = \frac{2p_e \cos \alpha}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^3}$$

$$E_\alpha = -\frac{\partial V}{r\partial\alpha} = \frac{p_e \sin \alpha}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^3}$$

$$E = \sqrt{E_r^2 + E_\alpha^2} = \frac{p_e}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^3} \sqrt{3\cos^2 \alpha + 1}$$

BÀI GIẢNG VẬT LÝ ĐẠI CƯỜNG

Tác giả: PGS. TS Đỗ Ngọc Uẩn

Viện Vật lý kỹ thuật

Trường ĐH Bách khoa Hà nội

Chương II

VẬT DẪN

Kim loại: hạt dẫn là các điện tử tự do

1. Điều kiện cân bằng tĩnh điện, Tính chất của vật dẫn mang điện

1.1. Điều kiện cân bằng tĩnh điện:

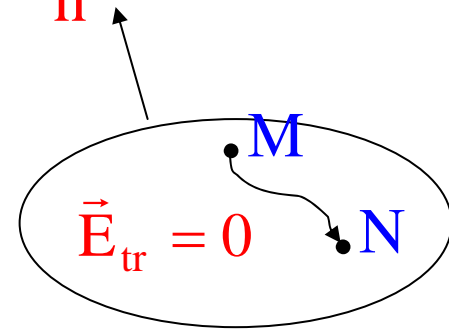
- Véc tơ cường độ điện trường trong vật dẫn bằng không: $\vec{E}_{tr} = 0$

. Thành phần tiếp tuyến của véc tơ cường độ điện trường trên bề mặt vật dẫn bằng không:

$$\vec{E}_t = 0 \quad \vec{E} = \vec{E}_n$$

1.2. Tính chất của vật dẫn mang điện

- Vật dẫn là vật đẳng thế



$$V_M - V_N = \int_M^N \vec{E} d\vec{s} = \int_M^N \vec{E}_t d\vec{s} = 0$$

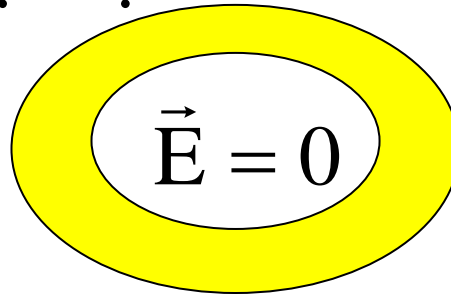
Điện tích chỉ phân bố trên bề mặt của vật dẫn bên trong vật dẫn điện tích bằng 0

$$\sum q_i = \oint \vec{D} d\vec{S} = 0 \quad \text{vì} \quad \vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E} = 0$$

Véc tơ cường độ điện trường luôn vuông góc với bề mặt vật dẫn.

1.3 Ứng dụng

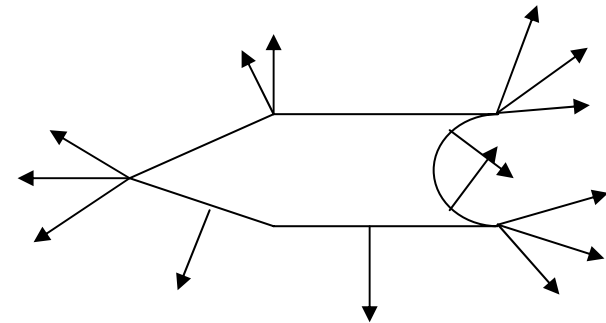
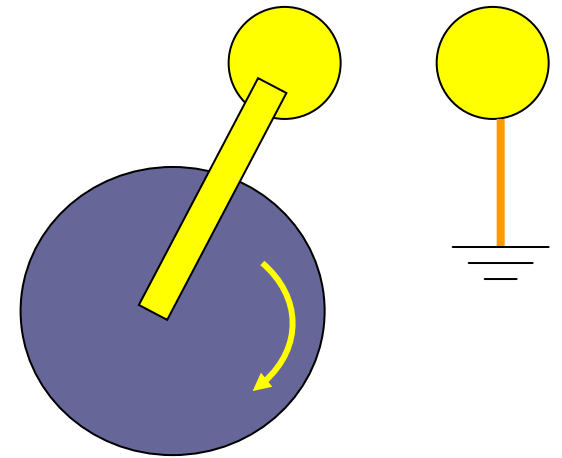
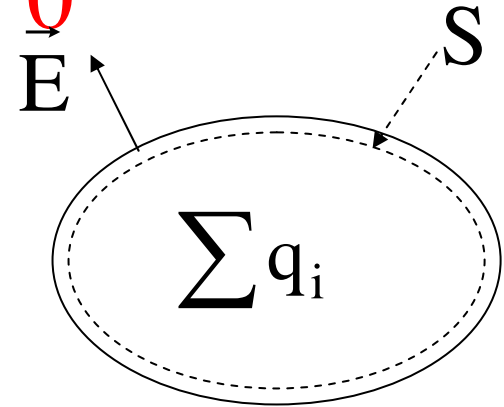
Lồng Faraday



Máy phát tĩnh điện Wandegraf

Hiệu ứng mũi nhọn, gió điện:

Giải phóng điện tích trên máy bay, phóng điện bảo vệ máy điện, cột thu lôi

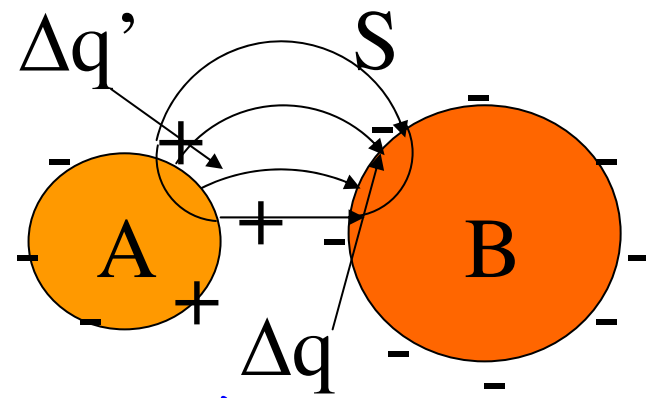


2. Hiện tượng điện hưởng

A lúc đầu không tích điện

B tích điện âm được đưa gần A

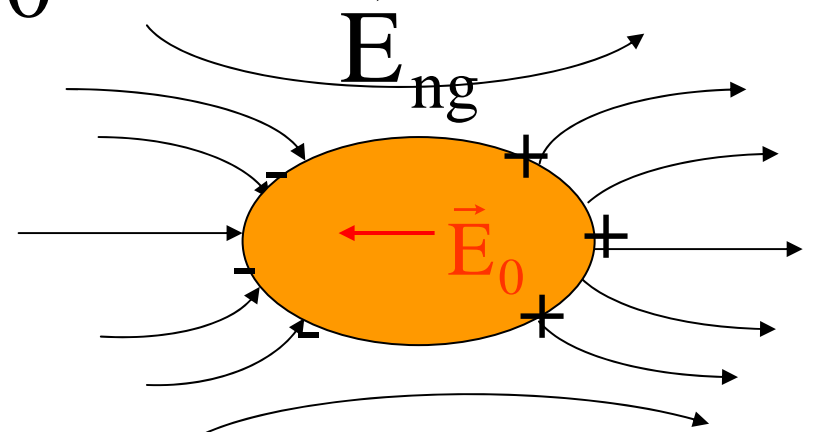
...là hiện tượng các điện tích cảm ứng xuất hiện trên vật dẫn (lúc đầu không tích điện) khi đặt trong điện trường ngoài



$$\Phi_e = \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \Delta q + \Delta q' = 0 \quad \vec{E}_{tr} = \vec{E}_{ng} + \vec{E}_0 = 0$$

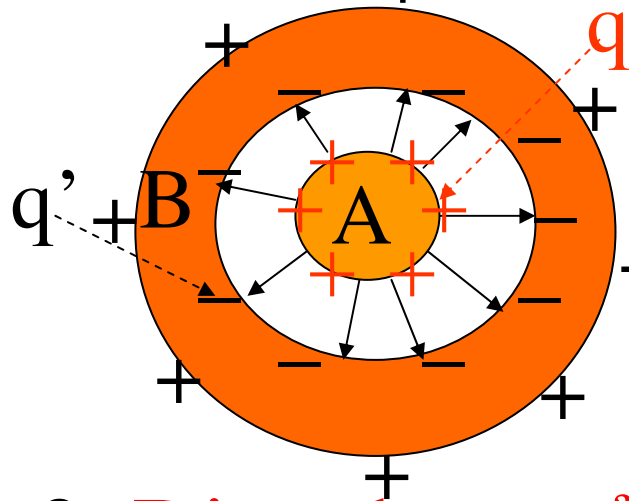
$$\Delta q' = -\Delta q$$

$$|\Delta q| = |\Delta q'|$$



ĐL về các phtử tương ứng: điện tích cảm ứng trên các phtử tương ứng có giá trị bằng nhau

Điện hưởng **một phần** và điện hưởng **toàn phần**
 A mang điện tích, B chịu điện hưởng



Điện hưởng toàn phần $q' = q$

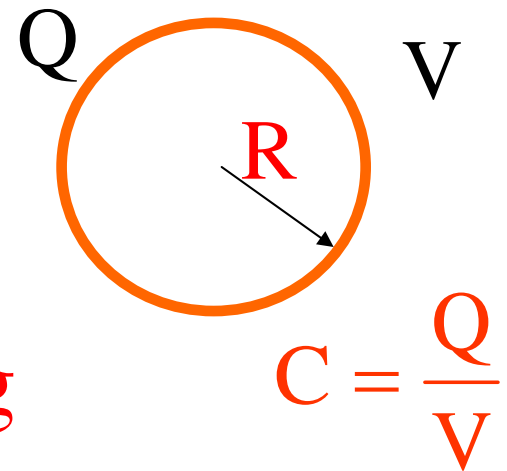
Điện hưởng một phần $q' < q$

3. Điện dung của vật dẫn cô lập

$$Q \sim V$$

$$\Rightarrow Q = CV$$

C - Hệ số tỷ lệ gọi là **điện dung**



$V=1 \Rightarrow C=Q$ có giá trị **bằng điện tích cần truyền cho vật để điện thế của nó tăng thêm 1 đơn vị**

$$1\text{Fara} = \frac{1\text{Culong}}{1\text{Von}}$$

Cầu KL bán kính R, $Q=1$, $V=1$, **$C=1\text{F}$**

$$\Rightarrow R = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} = \frac{1}{4\pi \cdot 8,86 \cdot 10^{-12}} = 9 \cdot 10^9 (\text{m}) \quad V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon R}$$

. Gấp 1500 lần bán kính trái đất!

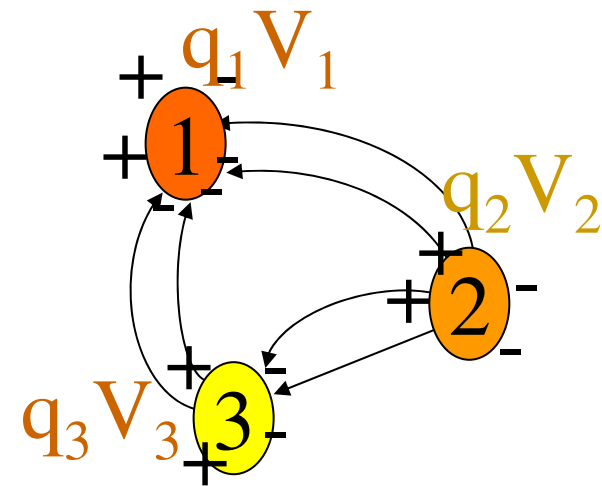
4. Hệ vật dẫn tích điện cân bằng, tụ điện

4.1. Điện dung và hệ số điện hưởng

Hệ ba vật dẫn 1, 2, 3:

Điện tích q_1, q_2, q_3

Điện thế tương ứng: V_1, V_2, V_3



C_{ik} đối xứng

$$q_1 = C_{11}V_1 + C_{12}V_2 + C_{13}V_3$$

$$q_2 = C_{21}V_1 + C_{22}V_2 + C_{23}V_3$$

$$q_3 = C_{31}V_1 + C_{32}V_2 + C_{33}V_3$$

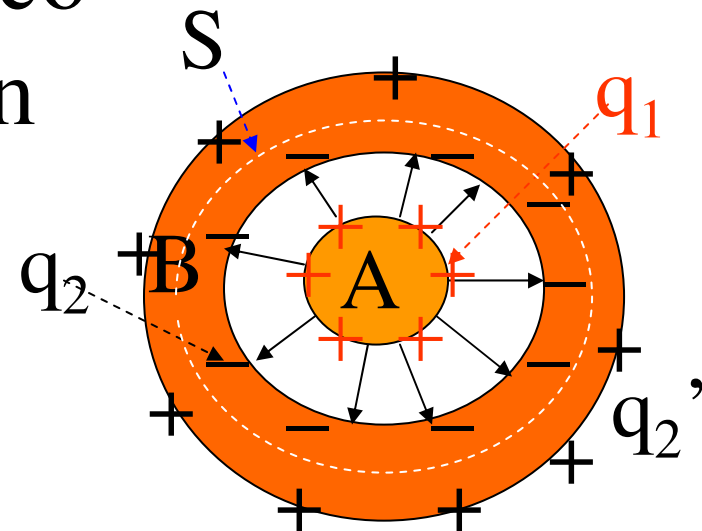
$$C_{ik} = \begin{vmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{vmatrix}$$

$C_{i=k}$ Điện dung; $C_{i \neq k}$ hệ số điện hướng có tính tương hỗ nên $C_{ik} = C_{ki}$. Nếu có n vật dẫn thì $i, k = 1, 2, \dots, n$.

4.2. **Tụ điện**: Gồm hai vật dẫn có tương tác điện hướng toàn phần

a. **Tính chất I**: $q_1 + q_2 = 0$

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = q_1 + q_2 = 0$$



$$q_1 = C(V_1 - V_2)$$

$$q_2 = -C(V_1 - V_2)$$

b. Tính chất II:

C là điện dung của tụ điện; $q_1 > 0$, $C > 0 \Rightarrow V_1 > V_2$

Chứng minh: Nối vỏ ngoài B với đất $q_2' = 0$:

$$q_1 = C_{11}V_1 + C_{12}V_2$$

$$q_1 = C_{11}V_1 + C_{12}V_2$$

$$q_2 = C_{21}V_1 + C_{22}V_2$$

$$-q_1 = C_{21}V_1 + C_{22}V_2$$

$$(C_{11} + C_{21})V_1 + (C_{12} + C_{22})V_2 = 0$$

$$C_{11} = -C_{21} \text{ và } C_{22} = -C_{12}$$

$$C_{11} = C_{22} = \mathbf{C} \text{ và } C_{21} = C_{12} = -\mathbf{C}$$

U hiệu điện

c. Tính chất III: $q = q_1 = -q_2$

thế giữa 2

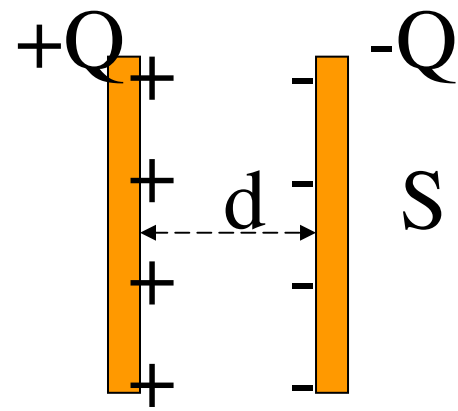
$$\mathbf{q} = C(V_1 - V_2) = \mathbf{CU}$$

bản cực tụ

a. Tụ điện phẳng

$$U = V_1 - V_2 = E \cdot d = \frac{\sigma \cdot d}{\epsilon_0 \epsilon}$$

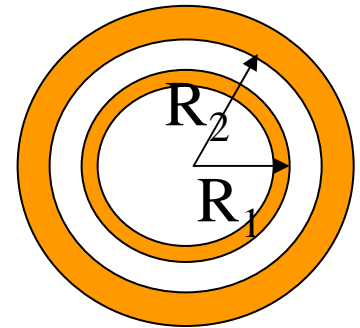
$$U = \frac{\sigma \cdot d}{\epsilon_0 \epsilon} \frac{S}{S} = \frac{Q \cdot d}{\epsilon_0 \epsilon S} \Rightarrow C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$$



b. Tụ điện cầu

$$U = V_1 - V_2 = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

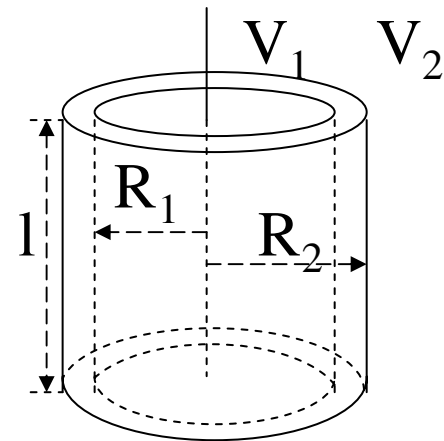
$$\Rightarrow C = \frac{Q}{U} = \frac{\epsilon_0 \epsilon 4\pi R_1 R_2}{R_2 - R_1}$$



c. Tụ điện trụ

$$U = V_1 - V_2 = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0\epsilon l} \ln \frac{R_2}{R_1}$$

$$\Rightarrow C = \frac{Q}{U} = \frac{\epsilon_0 \epsilon 2\pi l}{\ln \frac{R_2}{R_1}}$$



$$\ln \frac{R_2}{R_1} = \ln \left(1 + \frac{R_2 - R_1}{R_1} \right) \approx \frac{R_2 - R_1}{R_1} = \frac{d}{R}$$

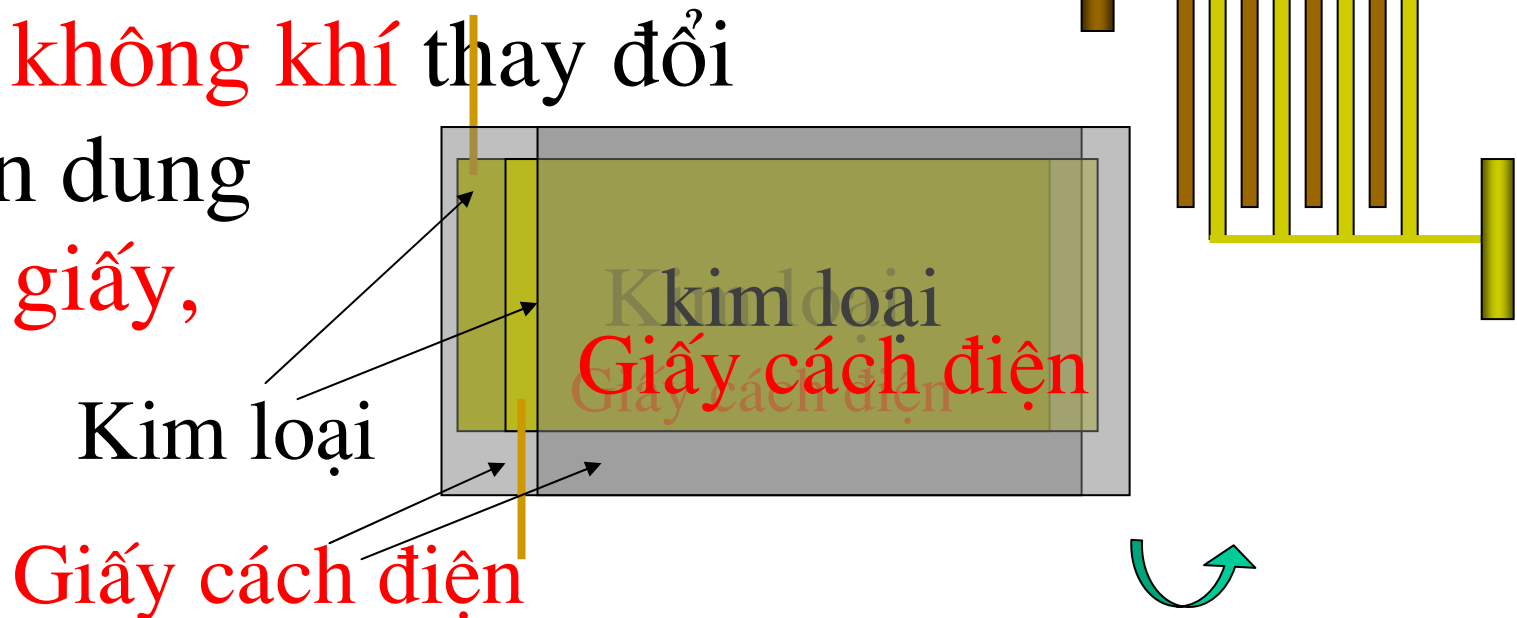
$$\Rightarrow C = \frac{\epsilon_0 \epsilon 2\pi l R}{d} = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$$

. Điện dung C của tụ điện bất kỳ \sim thuận ϵ & S và \sim nghịch d .

d. Một số loại tụ điện đang sử dụng

• Tụ điện không khí thay đổi được điện dung

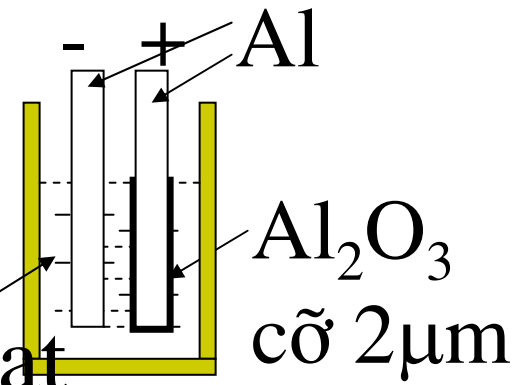
• Tụ điện giấy, tụ dầu



•Tụ điện hoá (điện phân)

$C \sim 100\mu\text{F}$, $U \sim 40\text{V}$, Phân cực

Dung dịch loãng bicabonat phot phat



5. Năng lượng điện trường

5.1. Năng lượng tương tác của một hệ điện tích điểm

Hệ 2 điện tích điểm q_1 và q_2

$$W = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{q_1 q_2}{r}$$

$$r_{12} = r_{21} = r \Rightarrow W = \frac{1}{2} q_1 \frac{q_2}{4\pi\epsilon_0\epsilon r_{21}} + \frac{1}{2} q_2 \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0\epsilon r_{12}}$$

$$W = \frac{1}{2} (q_1 V_1 + q_2 V_2)$$

Hệ **n điện tích** điểm q_1, q_2, \dots, q_n

$$W = \frac{1}{2} (q_1 V_1 + q_2 V_2 + \dots + q_n V_n) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i V_i$$

5. 2. Năng lượng điện của một vật dẫn cô lập tích điện

Chia vật dẫn
thành các điểm
điện tích dq

$$W = \frac{1}{2} \int dq V = \frac{1}{2} V \int dq = \frac{1}{2} q V$$

$$W = \frac{1}{2} q V = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}$$

5. 3. Năng lượng của tụ điện

Hệ **n vật dẫn có** q_1, q_2, \dots, q_n
và điện thế tương ứng V_1, V_2, \dots, V_n

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i V_i$$

Tụ điện - hệ 2 vật dẫn

$$W = \frac{1}{2} (q_1 V_1 + q_2 V_2)$$

$$q_1 = -q_2 \quad W = \frac{1}{2} q (V_1 - V_2) = \frac{1}{2} q U$$

$$W = \frac{1}{2} q U = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} = \frac{1}{2} C U^2$$

5.4. Năng lượng điện trường

Tụ điện có thể tích khoảng giữa 2 bản $\Delta V = S \cdot d$

$$W = \frac{1}{2} \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d} U^2 \frac{d}{d} = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon E^2 \Delta V \quad C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$$

Mật độ năng lượng điện trường:

$$\varpi_e = \frac{W}{\Delta V} = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon E^2$$

- Điện trường mang năng lượng: năng lượng này định xứ trong không gian điện trường.

Mật độ năng lượng điện trường tại một điểm:

$$\varpi_e = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon E^2 = \frac{1}{2} \frac{D^2}{\varepsilon_0 \varepsilon} = \frac{1}{2} DE$$

Năng lượng điện trường trong không gian V

$$W = \int_V \varpi_e dV = \frac{1}{2} \int_V DE dV$$

BÀI GIẢNG VẬT LÝ ĐẠI CƯỜNG

Tác giả: PGS. TS Đỗ Ngọc Uẩn

Viện Vật lý kỹ thuật

Trường ĐH Bách khoa Hà nội

Chương III

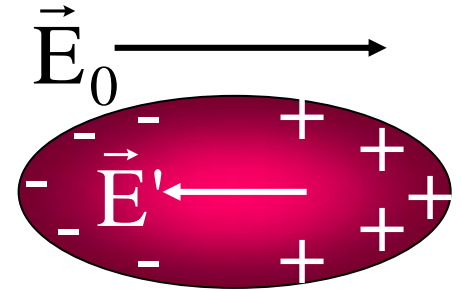
ĐIỆN MÔI

0 Trong điện môi không có điện tích tự do, các điện tích hầu như cố định tại chỗ, chúng chỉ có thể dịch chuyển khoảng cách rất nhỏ quanh vị trí cố định.

1. Sự phân cực của chất điện môi

1.1. *Hiện tượng phân cực điện môi*: Trên thanh điện môi B xuất hiện các điện tích trong điện trường

- Trên thanh điện môi điện tích xuất hiện ở đầu định xứ tại đó \rightarrow gọi là **điện tích liên kết**



. **Điện tích liên kết sinh ra điện trường phụ E'**

Điện trường trong điện môi: $\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}'$

1.2. *Phân tử không phân cực và phân tử phân cực*

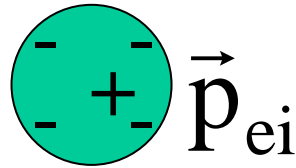
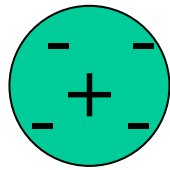
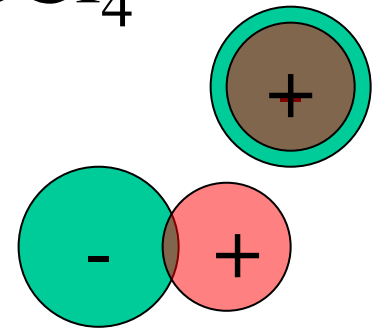
a. **Phân tử không phân cực**: Tâm điện tích âm và tâm điện tích dương trùng nhau

Phân tử **không phân cực**: H_2 , N_2 , CCl_4

Phân cực trong điện trường ngoài:

$$\vec{p}_e = \epsilon_0 \alpha \vec{E}$$

α độ phân cực

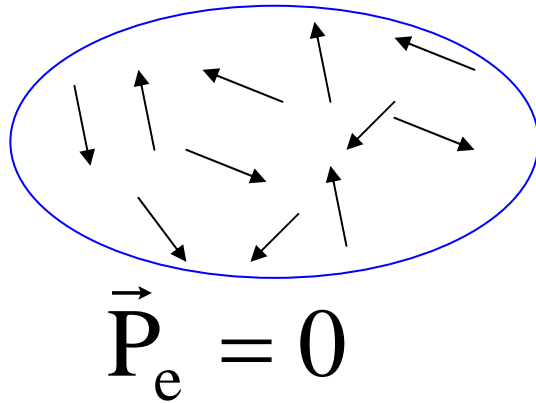


b. Phân tử **phân cực**: Khi chưa có điện trường ngoài tâm của hai loại điện tích đã không trùng nhau $\rightarrow \vec{p}_e$ H_2O , NH_3 , CH_3Cl , NaCl v.v..

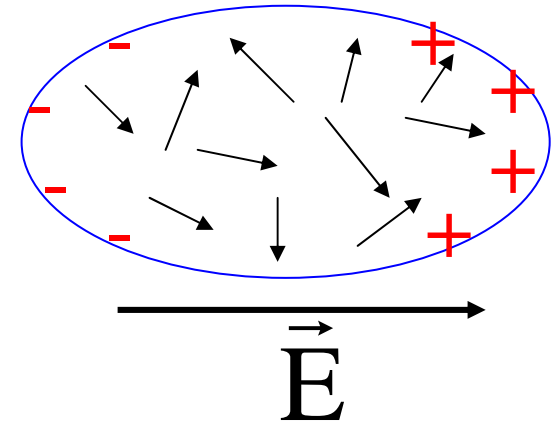
/ Điện trường ngoài không ảnh hưởng đến độ lớn của \vec{p}_e mà chỉ có thể làm **định hướng** nó theo tác dụng của điện trường

1.3. Giải thích hiện tượng phân cực

Điện môi gồm các phân tử phân cực $\vec{P}_e \neq 0$



Phân cực trong
điện trường
ngoài

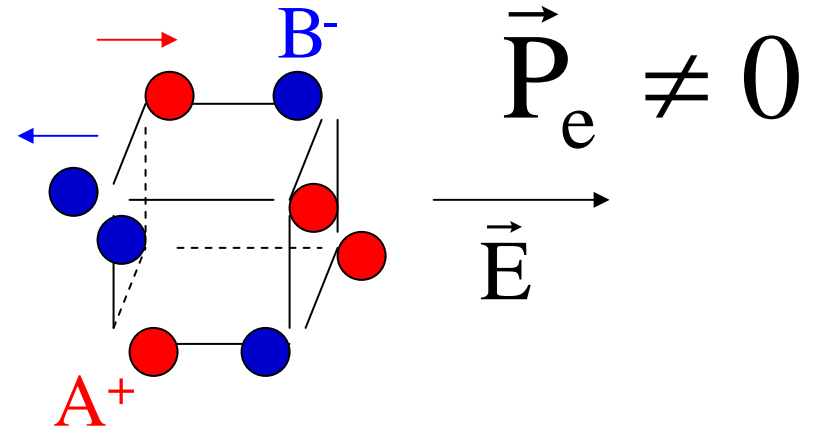
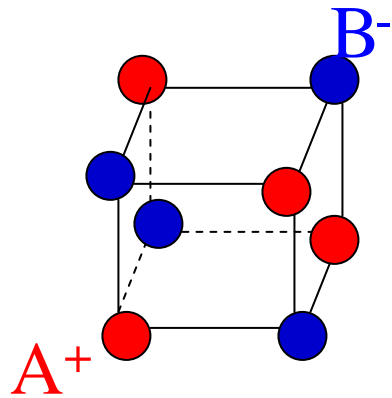


Điện môi gồm các phân tử không phân cực:
Dưới tác dụng của điện trường ngoài các phân tử bị phân cực thành các lưỡng cực điện

Véc tơ phân cực = tổng hợp của các véc tơ phân cực của các phân tử.

Trên mặt giới hạn xuất hiện điện tích liên kết

Điện môi là **tinh thể ion**: hai mạng ion $+$, $-$ dịch đi với nhau dưới tác dụng của điện trường



2. Véc tơ phân cực điện môi

Định nghĩa: Đại lượng đo bằng tổng các mômen lưỡng cực điện của một đơn vị thể tích:

$$\vec{P}_e = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{p}_{ei}}{\Delta V}$$

\vec{p}_e như nhau \Rightarrow

$$\vec{P}_e = \frac{n\vec{p}_e}{\Delta V} = n_0\vec{p}_e$$

$$\vec{P}_e = n_0\vec{p}_e = n_0\varepsilon_0\alpha\vec{E}$$

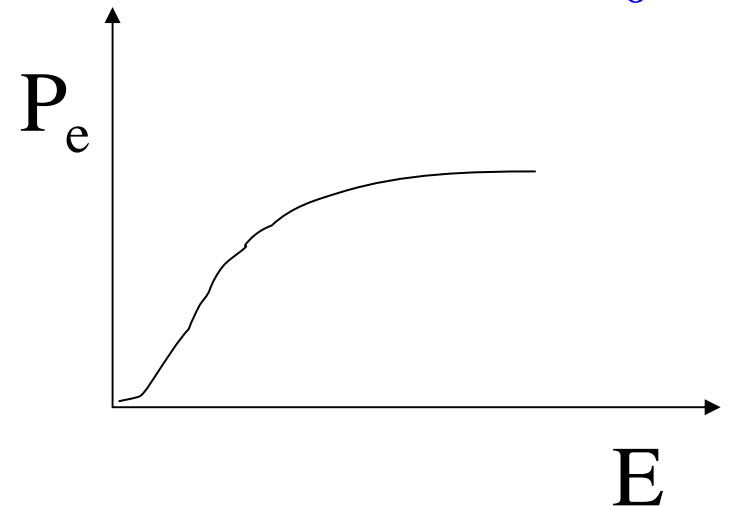
$$\vec{P}_e = \varepsilon_0\chi_e\vec{E}$$

Hệ số phân cực điện môi χ_e không thứ nguyên, không phụ thuộc vào E.

Đối với điện môi **có phân tử phân cực với điện trường ngoài yếu**:

$$\chi_e = n_0\alpha = \frac{n_0 p_e^2}{3\varepsilon_0 kT}$$

Khi E lớn P_e tiến tới bão hoà vì các véc tơ phân cực đều song theo điện trường.



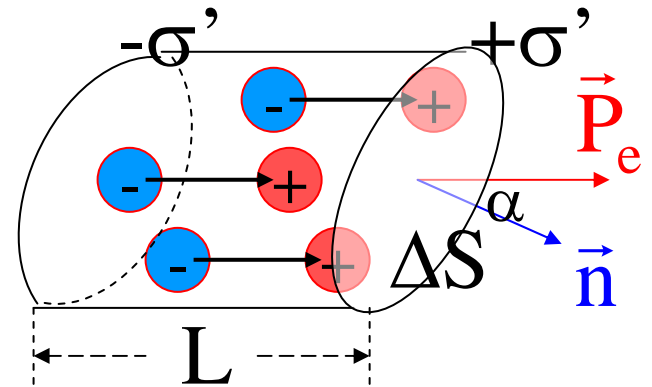
2.2. Liên hệ giữa véc tơ phân cực điện môi với mật độ điện mặt của các điện tích liên kết

$$P_e = |\vec{P}_e| = \frac{\left| \sum_{i=1}^n \vec{p}_{ei} \right|}{\Delta V}$$

$$\left| \sum_{i=1}^n \vec{p}_{ei} \right| = \sigma' \Delta S L$$

$$\Delta V = \Delta S \cdot L \cos \alpha$$

$$P_e = \frac{\sigma'}{\cos \alpha}$$



$$\sigma' = P_e \cdot \cos \alpha = P_{en}$$

Mật độ điện tích σ' của các điện tích liên kết trên mặt giới hạn của khối ĐM có trị số bằng hình chiếu của **véc tơ phân cực** điện môi lên **pháp tuyến** mặt đó

3. Điện trường tổng hợp trong điện môi

3.1. Điện môi trong điện trường E_0

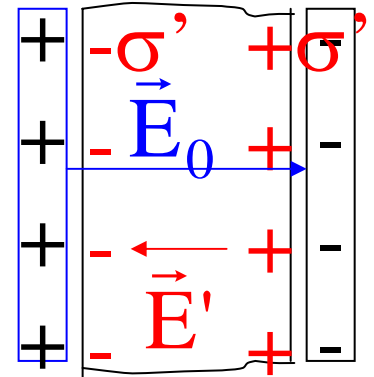
σ' xuất hiện trên bề mặt

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}' \quad E = E_0 - E'$$

$$\sigma' = P_{en} = \epsilon_0 \chi_e E_n = \epsilon_0 \chi_e E$$

$$E' = \sigma' / \epsilon_0 = \chi_e E \quad E = E_0 - \chi_e E$$

$$E = E_0 / (1 + \chi_e) = E_0 / \epsilon$$



$$1 + \chi_e = \epsilon$$

Cường độ điện trường trong điện môi giảm đi ϵ so với trong chân không

3.2. Liên hệ giữa véc tơ cảm ứng điện và véc tơ phân cực điện môi

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E} \quad \varepsilon = 1 + \chi_e$$

$$\vec{D} = \varepsilon_0 (1 + \chi_e) \vec{E}$$

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \varepsilon_0 \chi_e \vec{E}$$

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}_e$$

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E} \quad \text{Chỉ dùng trong môi trường}$$

$$\vec{P}_e = \varepsilon_0 \chi_e \vec{E} \quad \text{đồng chất đẳng hướng}$$

4. Điện môi đặc biệt

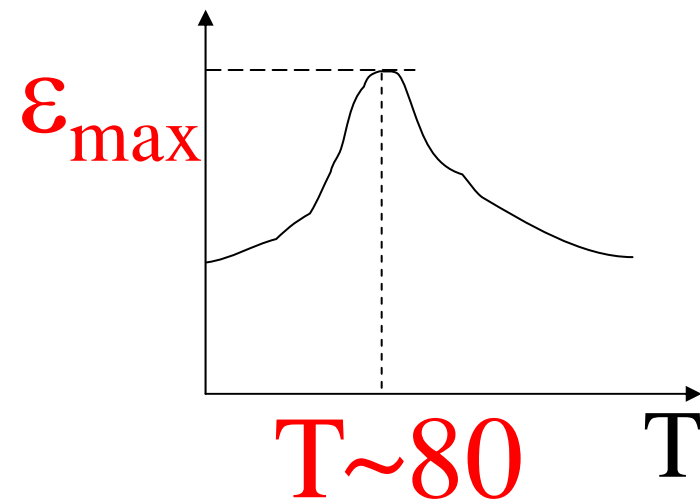
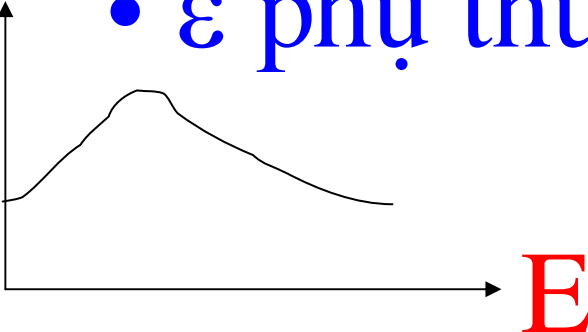
4.1. *Xéc nhét điện*: phát hiện năm 1930-34

Có tính chất đặc biệt: miền phân cực tự nhiên, mỗi miền này có véc tơ phân cực tự phát khi $E=0$

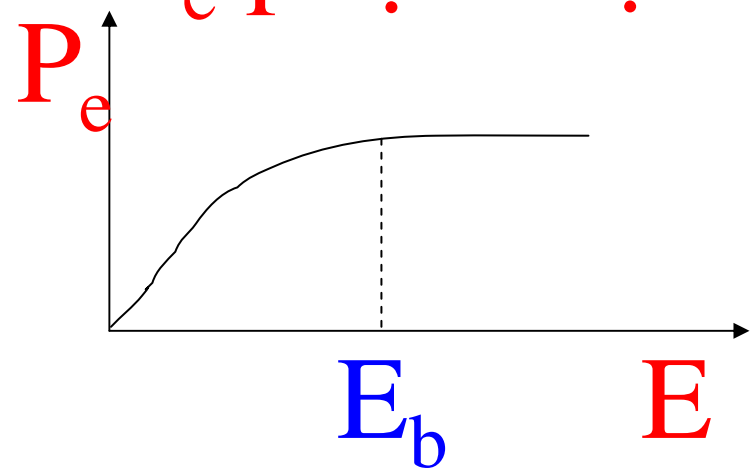
- Nhiệt độ Qui-ri T_C : $T < T_C$ xéc nhét, $T > T_C$ thuận điện (như các điện môi bình thường)

- ϵ lớn khi T thấp, ϵ_{\max} đạt tới 10000,

- ϵ phụ thuộc vào E



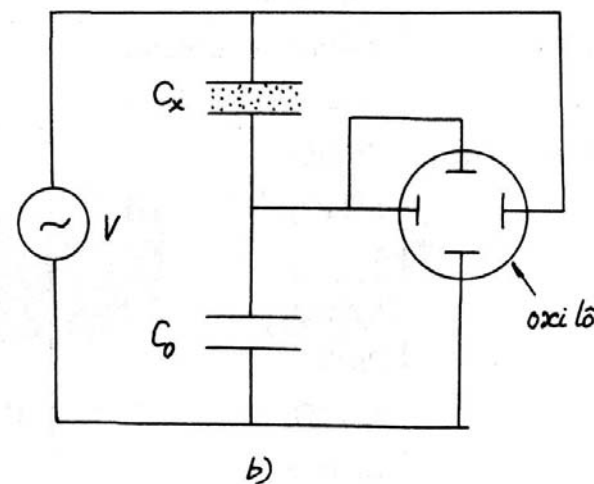
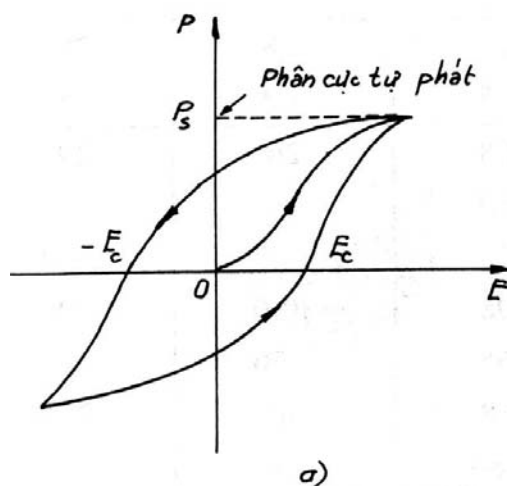
- P_e phụ thuộc vào E : P tăng tới bão hoà



$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}_e$$

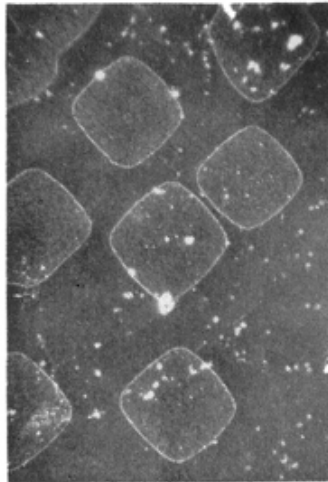
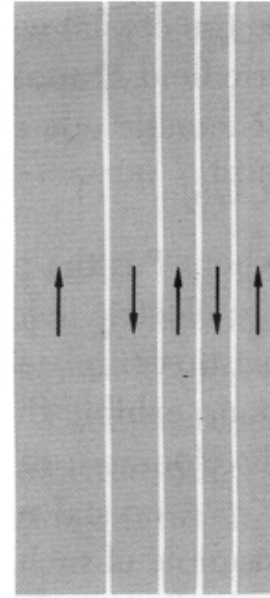
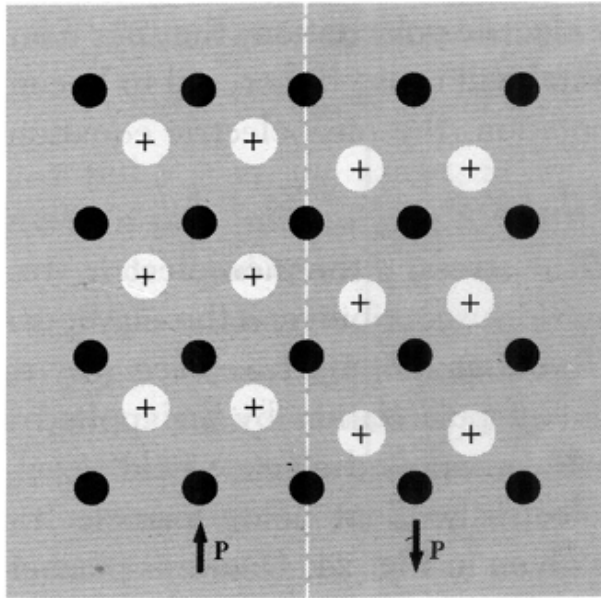
$E > E_b \Rightarrow P_e$ bão hoà
 $\Rightarrow D \sim E$

- Đường cong điện trở: chỉ có ở Xéc nhét điện không có ở điện môi thường

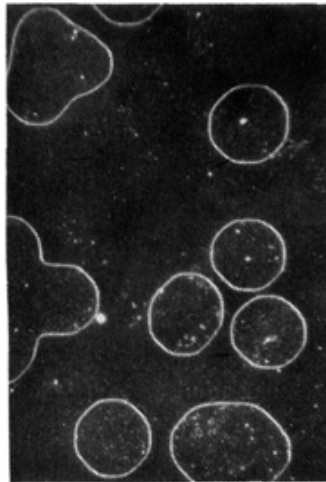


Hình 10.12. Đường cong điện trở (a) và sơ đồ vẽ đường cong trở (b):
 C_x - mẫu mắc nối tiếp với C_0 (trống), điện áp tác dụng lên mẫu đưa ra trực E , điện áp trên C_0 tỷ lệ với p của mẫu và được đưa ra trực p .

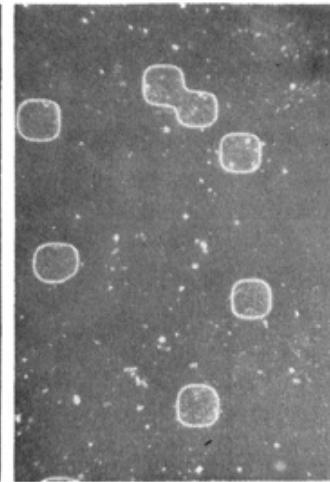
- Miền phân cực tự nhiên



550 V/cm



705 V/cm

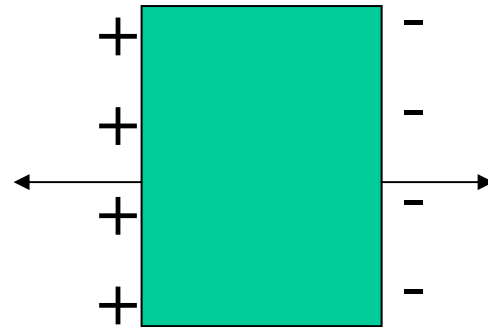
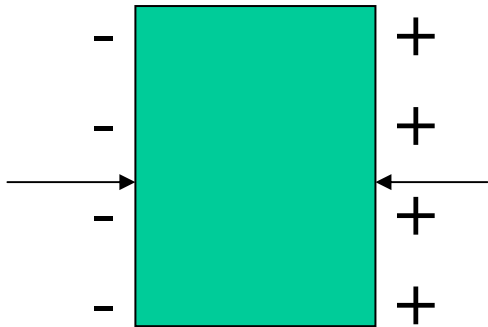


980 V/cm

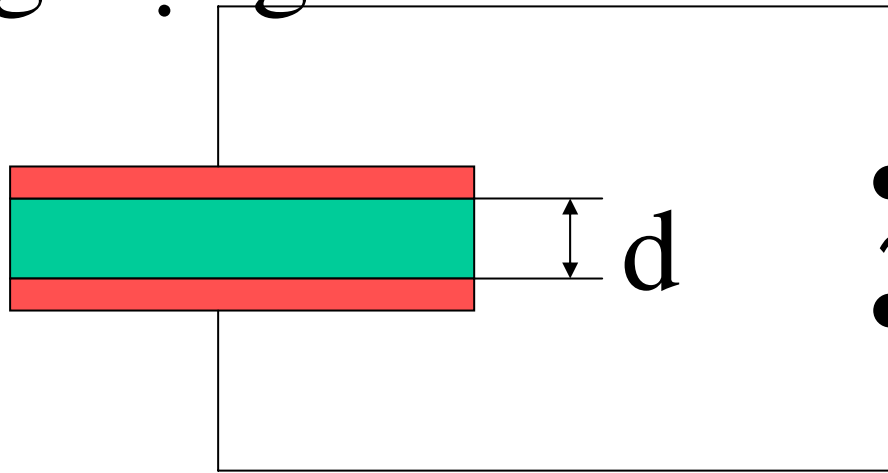
0.01 cm

5. Hiệu ứng áp điện

5.1. *Hiệu ứng áp điện thuận*: Khi nén hoặc kéo giãn xéc nhét điện \rightarrow phân cực điện môi: xuất hiện điện tích trái dấu trên mặt



5.2. *Hiệu ứng áp điện nghịch*: Chịu tác dụng điện trường => biến dạng
 ứng dụng: Đầu dò thu phát siêu âm



$$\sim U, f \quad d = \frac{\lambda}{2} = \frac{c}{2f}$$

$$f = \frac{c}{2d} = \frac{5 \cdot 10^6 \text{ (mm / s)}}{2d \text{ (mm)}} \sim 2,5 \cdot \frac{10^6}{d} \text{ Hz}$$

BÀI GIẢNG VẬT LÝ ĐẠI CƯỜNG

Tác giả: PGS. TS Đỗ Ngọc Uẩn

Viện Vật lý kỹ thuật

Trường ĐH Bách khoa Hà nội

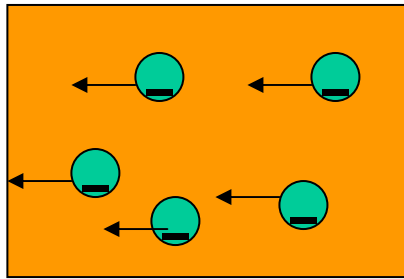
Chương IV

TÙ TRƯỜNG KHÔNG ĐỔI

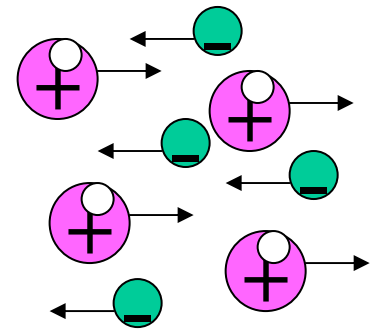
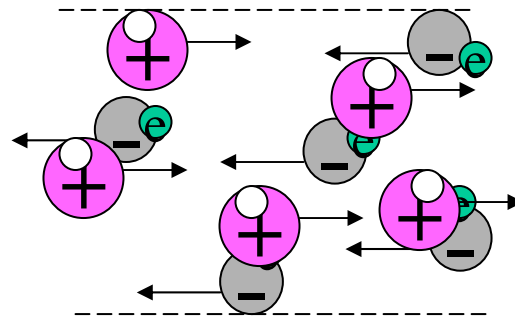
I. Dòng điện không đổi

1. *Bản chất dòng điện*: dòng các hạt điện chuyển động có hướng, chiều của hạt dương

\vec{E}



I



Trong kim
loại

Trong dung
dịch điện phân

Trong chất
khí

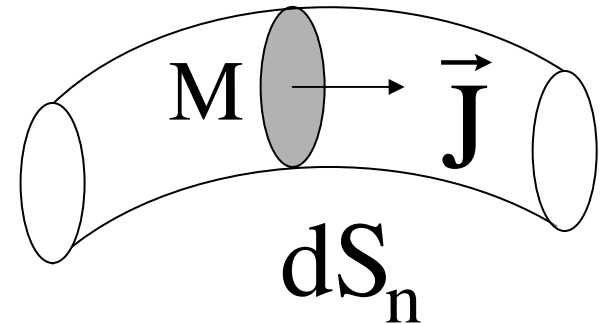
2. Những đại lượng đặc trưng:

- Cường độ dòng điện = điện lượng qua S/s

$$I = \frac{dq}{dt} \quad q = \int_0^t dq = \int_0^t I dt = It \quad 1C = 1A \cdot 1s$$

- Véc tơ mật độ dòng điện

tại điểm M có gốc tại M,
chiều chuyển động hạt
dương, giá trị

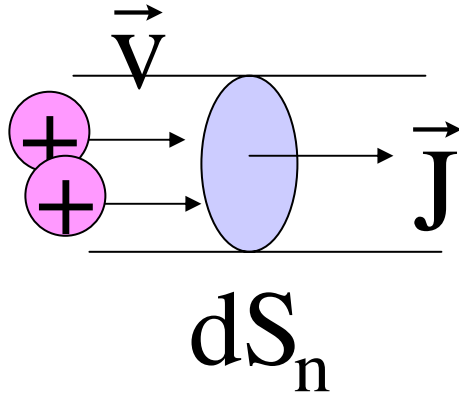


$$J = \frac{dI}{dS_n} \quad A/m^2$$

$$dI = J dS_n = \vec{J} d\vec{S}$$

$$I = \int_S dI = \int_S \vec{J} d\vec{S}$$

ống dòng điện: n_0 , $|e|$, \bar{v} , dS_n



Số hạt điện đi qua dS_n trong một đơn vị thời gian:

$$dn = n_0 (\bar{v} dS_n)$$

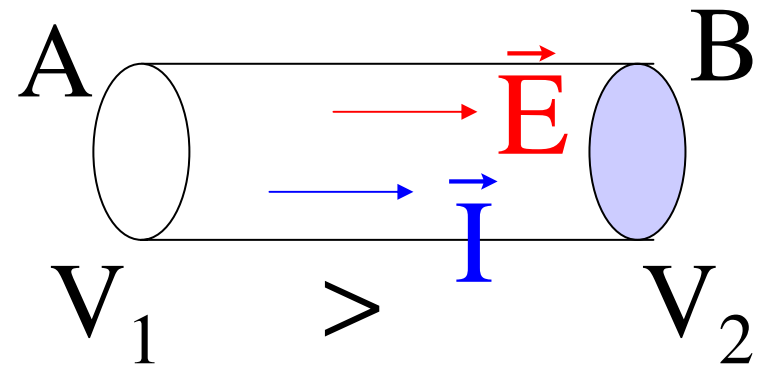
$$dI = |e| dn = |e| n_0 (\bar{v} dS_n)$$

$$J = dI / dS_n = n_0 |e| \bar{v}$$

$$\vec{J} = n_0 e \vec{v}$$

Dòng nhiều loại hạt:
$$\vec{J} = \sum_i n_{0i} e_i \vec{v}_i$$

3. Định luật Ohm đối với một đoạn mạch điện trở thuần



$$I = (V_1 - V_2) / R$$

Độ dẫn của đoạn mạch:

$$g = 1 / R$$

- Điện trở và điện trở suất: $R = (V_1 - V_2) / I$

$$R = \rho l / S_n$$

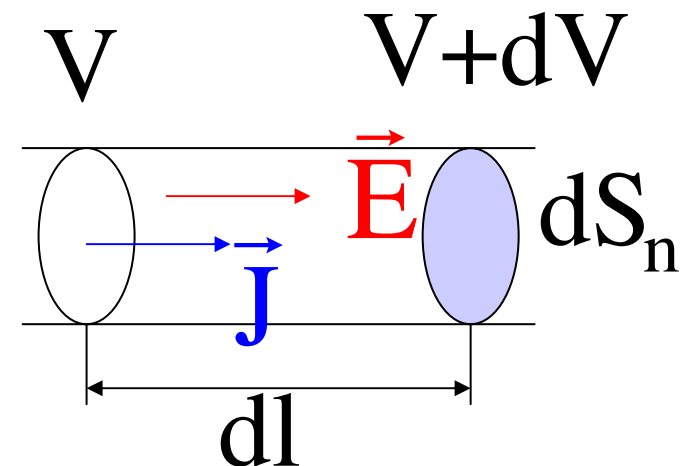
$$\Omega = V / A$$

- Dạng vi phân định

luật Ohm

$$dI = [V - (V + dV)] / R = -dV / R$$

$$R = \rho dl / dS_n$$



$$J = \frac{dI}{dS_n} = \frac{1}{\rho} \left(-\frac{dV}{dl} \right)$$

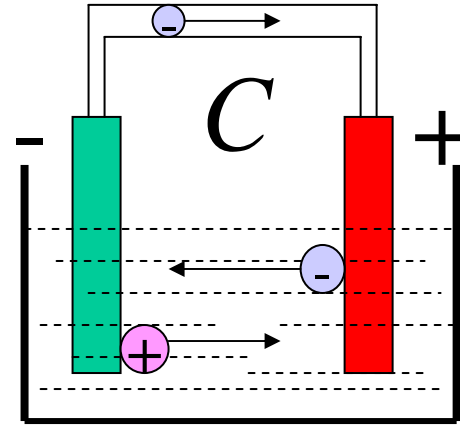
Tại một điểm bất kì có dòng điện chạy qua:

- Suất điện động

Nguồn điện: Duy trì cực dương, âm

$$J = \sigma E \quad \vec{J} = \sigma \vec{E}$$

$$\vec{J} \sim \vec{E}$$



=> **Lực lạ** đẩy điện tích trong nguồn: Tương tác phân tử, cảm ứng điện từ, lực điện từ => **Trường lạ**

- Suất điện động của nguồn điện:

là đại lượng có giá trị bằng công của lực điện trường dịch chuyển điện tích +1 một vòng quanh mạch kín của nguồn đó.

$$\zeta = A / q \qquad A = \oint_C q(\vec{E} + \vec{E}^*) d\vec{s}$$

\vec{E} Véc tơ cường độ trường tĩnh điện

\vec{E}^* Véc tơ cường độ điện trường lạ

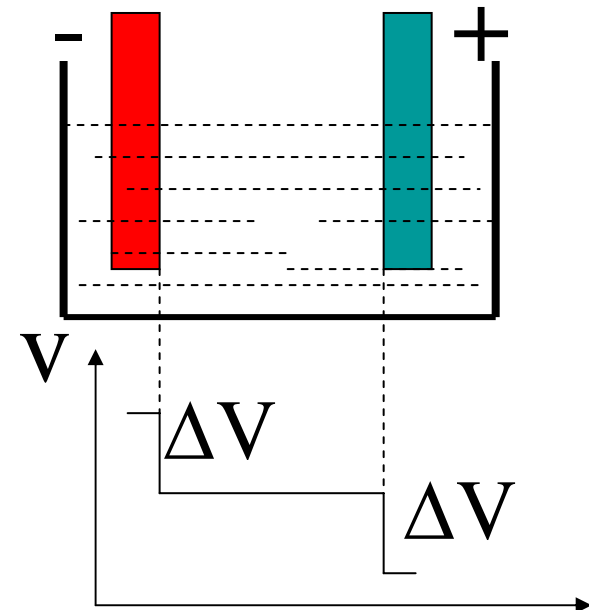
$$\zeta = A / q = \oint_C \vec{E} d\vec{s} + \oint_C \vec{E}^* d\vec{s} \qquad \oint_C \vec{E} d\vec{s} = 0$$

Suất điện động của nguồn điện: *là đại lượng có giá trị bằng công của lực điện trường lạ dịch chuyển điện tích +1 một vòng quanh mạch kín của nguồn đó.*

Suất điện động của nguồn điện = Lưu số của trường lạ

Trong pin tại bề mặt điện cực có hiệu thế nhẩy vọt:
SĐĐ trong pin = tổng các hiệu điện thế nhẩy vọt ΔV

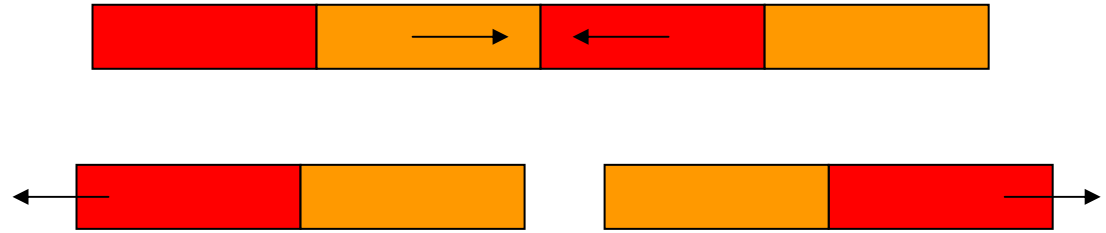
$$\zeta = \oint_C \vec{E}^* d\vec{s}$$



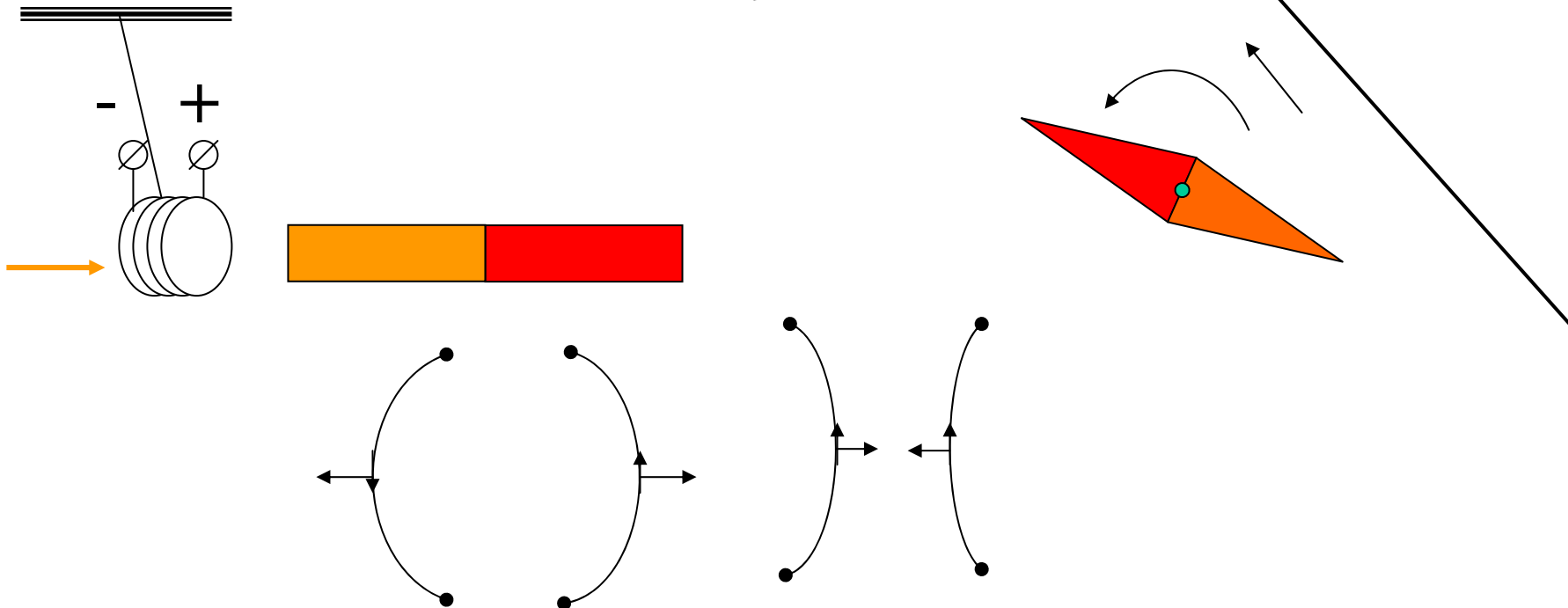
1. Tương tác từ của dòng điện, định luật Ampe

1.1. Thí nghiệm về tương tác từ

Tương tác từ



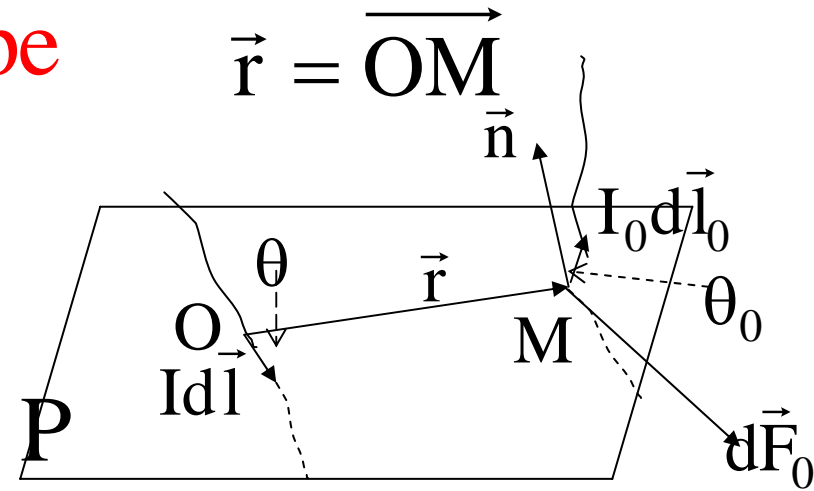
Tương tác từ của dòng điện



1.2. Định luật Ampe

$d\vec{l}$, \vec{r} và \vec{n} theo thứ tự này
hợp thành tam diện thuận

ĐL Ampe trong chân không:



$I d\vec{l}$ tác dụng lên $I_0 d\vec{l}_0$ lực $d\vec{F}_0$ có :

- Phương vuông góc với mặt phẳng chứa \vec{n} , $d\vec{l}_0$
- Có chiều sao cho $d\vec{l}_0$, \vec{n} và $d\vec{F}_0$ theo thứ tự này tạo thành tam diện thuận
- Có độ lớn bằng $dF_0 = k \cdot \frac{I_0 dl_0 \sin \theta_0 I dl \sin \theta}{r^2}$

$$k = \frac{\mu_0}{4\pi} \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} - \text{Hằng số từ}$$

Biểu thức:

$$d\vec{F}_0 = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I_0 d\vec{l}_0 \times (Id\vec{l} \times \vec{r})}{r^3}$$

$$|Id\vec{l} \times \vec{r}| = Idl \cdot r \sin \theta \quad |I_0 d\vec{l}_0 \times \vec{n}| = I_0 dl_0 \cdot \sin \theta_0$$

Trong môi trường:
$$d\vec{F} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{I_0 d\vec{l}_0 \times (Id\vec{l} \times \vec{r})}{r^3}$$

μ - Hằng số từ môi hay độ từ thẩm tỷ đối của môi trường nói lên khả năng dẫn từ $\mu_{KK} \approx 1$; μ_{Fe} rất lớn

Định luật Ampe là định luật cơ bản trong tương tác từ (*tương ứng Đ/L Culông trong tương tác điện*)

Đúng với tương tác giữa các dòng điện hữu hạn

2. Véc tơ cảm ứng từ và véc tơ cường độ từ trường

2.1. Khái niệm về từ trường:

- Tương tác giữa các dòng thực hiện như thế nào?
- Có 2 thuyết: Thuyết tương tác xa, và Thuyết tương tác gần

Thuyết tương tác xa: Không thông qua môi trường nào, tức thời $v_{tt} = \infty$, Dòng điện không gây biến đổi môi trường \Rightarrow Trái với tiên đề Anhxtanh

Thuyết tương tác gần: Dòng điện làm môi trường xung quanh biến đổi, gây ra một từ trường lan truyền với $v=c$, Từ trường gây từ lực lên dòng điện khác $v_{tt}=c$; Đúng

2.2. Véc tơ cảm ứng từ

Trường tĩnh điện, lực tương tác tĩnh điện

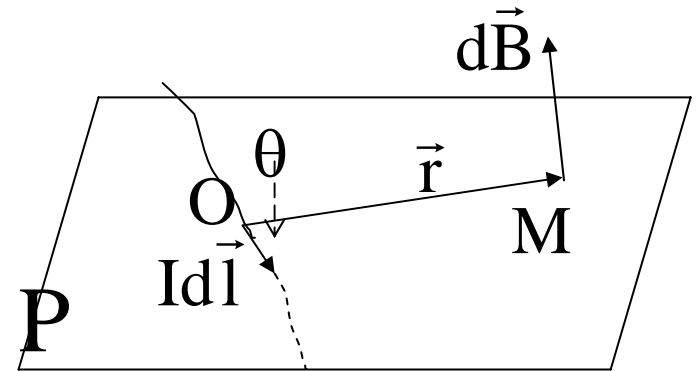
$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q \cdot q_0 \vec{r}}{r^3} \quad \Rightarrow \quad \vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q \cdot \vec{r}}{r^3}$$

Lực tương tác từ của 2 dòng điện

$$d\vec{F} = \frac{\mu_0\mu}{4\pi} \cdot \frac{I_0 d\vec{l}_0 \times (Id\vec{l} \times \vec{r})}{r^3}$$

$Id\vec{l}$ gây ra từ trường
với véc tơ cảm ứng
từ

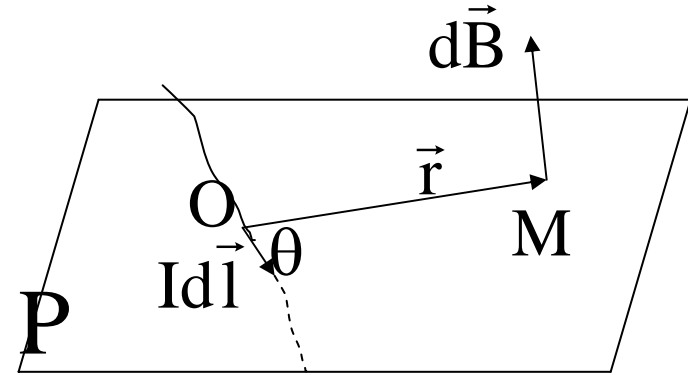
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0\mu}{4\pi} \cdot \frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$



Định lý Biô-xava-Laplatz:

$d\vec{B}$ do $I d\vec{l}$ gây ra tại M cách \vec{r} là một véc tơ có:

- Gốc tại M
- Phương $d\vec{B} \perp P$ chứa $I d\vec{l}$ và \vec{r}
- Chiều sao cho 3 véc tơ $d\vec{l}$, \vec{r} và $d\vec{B}$ theo thứ tự đó hợp thành tam diện thuận



Qui tắc **vặn ren phải**: Chiều **vặn** của **từ trường**,
Chiều **tiến** của **dòng điện**

~ Giá trị $dB = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{Idl \sin \theta}{r^2} \Rightarrow d\vec{F} = I_0 d\vec{l}_0 \times d\vec{B}$

2.3. Nguyên lý chồng chất từ trường

Véc tơ cảm ứng từ \vec{B} do một dòng điện bất kỳ gây ra tại M bằng tổng các véc tơ cảm ứng từ $d\vec{B}$ do tất cả các phần tử nhỏ của dòng điện gây ra:

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

Trong các bài toán cụ thể:

- ⌘ Xác định phương, chiều bằng hình vẽ.
- ┐ Tính tích phân xác định giá trị của B.

Véc tơ cảm ứng từ do nhiều dòng điện gây ra

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

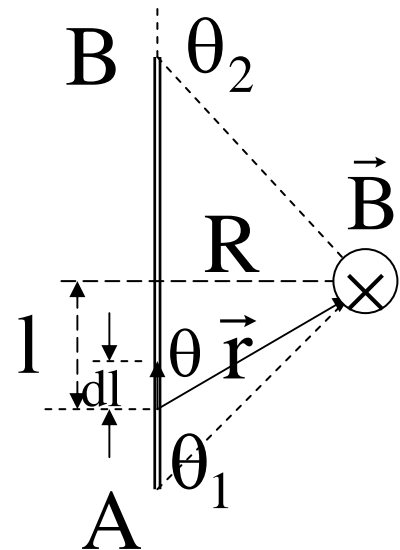
2.4. Véc tơ cường độ từ trường

Véc tơ cảm ứng từ chứa μ nên mật độ đường sức thay đổi \Rightarrow Véc tơ cường độ từ trường không phụ thuộc vào môi trường:

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

2.5. Ứng dụng:

a, Cảm ứng từ của một dòng điện thẳng



$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi} \cdot \int_{AB} \frac{dl \sin \theta}{r^2}$$

$$\frac{1}{R} = \cot \theta \Rightarrow dl = \frac{R d\theta}{\sin^2 \theta}$$

$$r = \frac{R}{\sin \theta}$$

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi} \cdot \int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{d\theta \sin \theta}{R} = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi R} (-\cos \theta) \Big|_{\theta_1}^{\theta_2}$$

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

Dòng điện thẳng dài vô hạn: $\theta_1=0$, $\theta_2=\pi$

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi R}, \quad H = \frac{I}{2\pi R}, \quad I=1\text{A}, 2\pi R=1\text{m} \quad H = \frac{1\text{A}}{1\text{m}}$$

A/m là cường độ từ trường sinh ra trong chân không bởi một dòng điện chạy qua một dây dẫn thẳng dài vô hạn, thiết diện tròn tại các điểm trên vòng tròn đồng trục với dây có **chu vi là 1m**

b, Dòng điện tròn

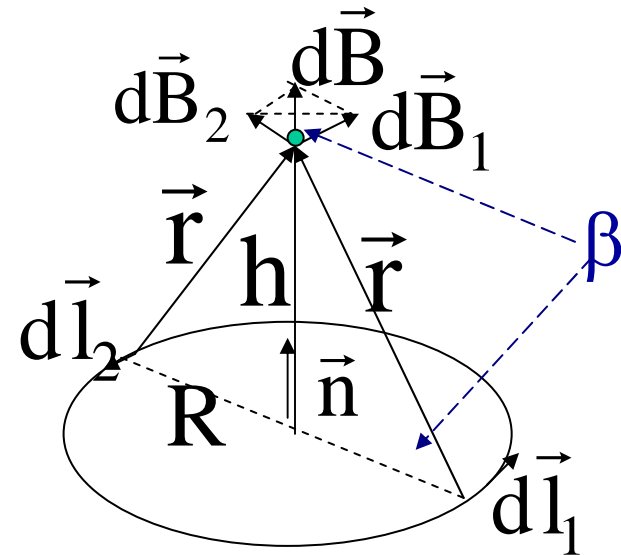
$$dB = 2dB_1 \cos \beta$$

$$\cos \beta = \frac{R}{r} \quad dB_1 = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{Idl \sin \theta}{r^2}$$

$$r = (R^2 + h^2)^{\frac{1}{2}} \quad \sin \theta = \sin \frac{\pi}{2} = 1$$

$$dB = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi} \cdot \frac{Idl \cdot R}{(R^2 + h^2)^{3/2}}$$

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



$$B = \frac{\mu_0 \mu IR}{2\pi(R^2 + h^2)^{3/2}} \int_0^{\pi R} dl = \frac{\mu_0 \mu I \pi R^2}{2\pi(R^2 + h^2)^{3/2}}$$

$$\vec{S} = S \cdot \vec{n}$$

$$\vec{P}_m = I \vec{S}$$

c, Hạt điện chuyển động

do phân tử dòng điện

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

$$dn = n_0 dV = n_0 S_n dl$$

$$\vec{B}_q = \frac{d\vec{B}}{dn} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{n_0 S_n dl \cdot r^3}$$

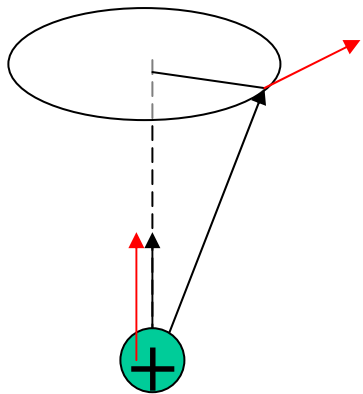
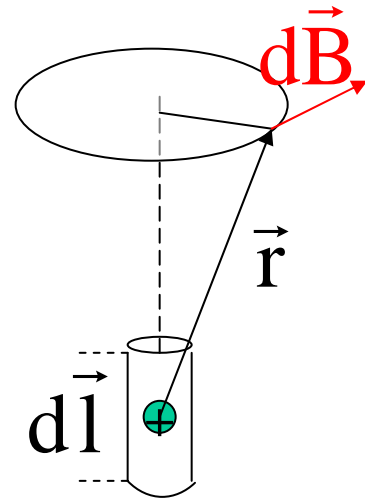
$$\frac{vd\vec{l}}{dl} = \vec{v}$$

$$I = jS_n = n_0 |q| v S_n$$

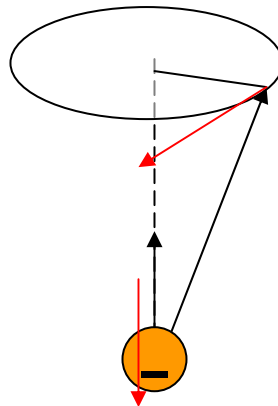
$$\vec{B}_q = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{q\vec{v} \times \vec{r}}{r^3}$$

$$q > 0 \quad \vec{B}_q \quad q\vec{v} \quad \vec{r}$$

theo thứ tự đó hợp thành
tam diện thuận



\vec{B}_q
 \vec{v}
 \vec{I}



3. Từ thông, ĐL Ôxtrôgratxki-Gauox

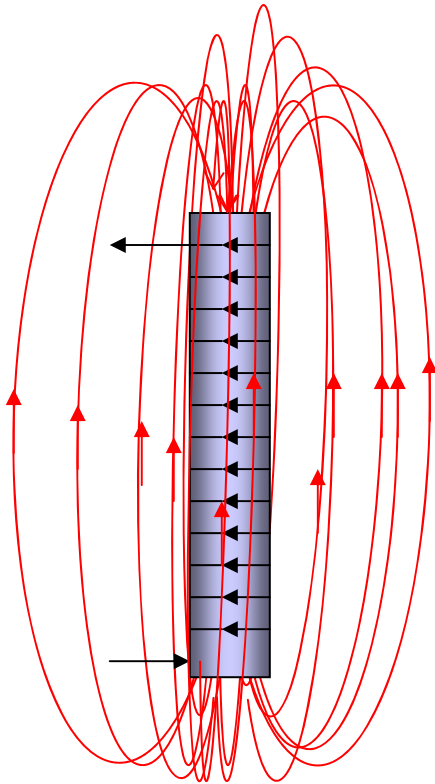
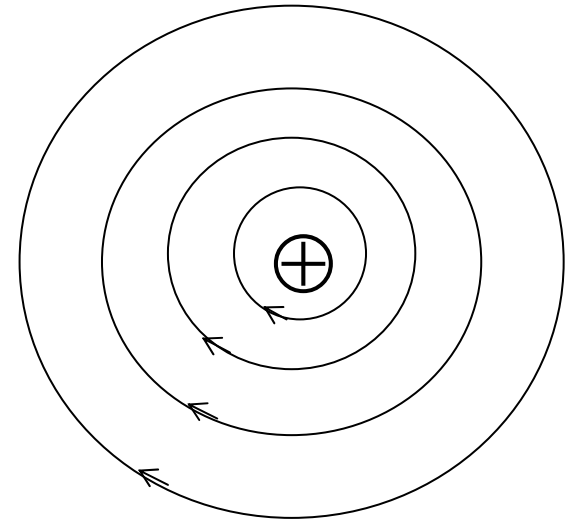
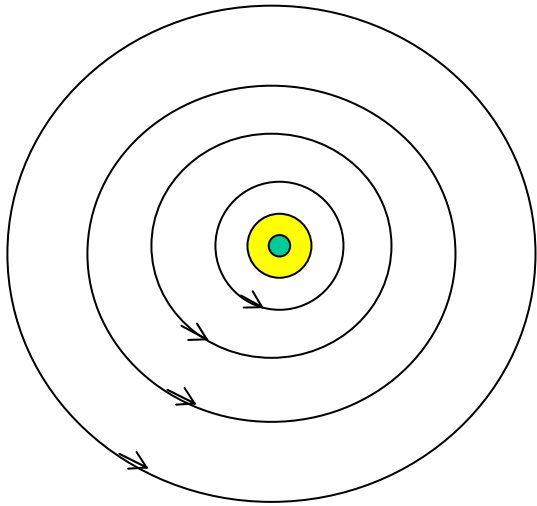
3.1. Đường cảm ứng từ / đường sức của từ trường

là đường cong vạch ra trong từ trường mà tiếp tuyến tại mọi điểm của nó trùng với phương của véc tơ cường độ từ trường tại điểm đó, chiều của đường cảm ứng từ là chiều của véc tơ cường độ từ trường

$$dn_m = B \cdot dS_n$$

Số đường sức đi vuông góc qua một đơn vị diện tích = độ lớn của véc tơ cảm ứng từ

Tập hợp đường sức của từ trường = từ phổ



Đặc điểm: đường cảm ứng từ là các đường kín

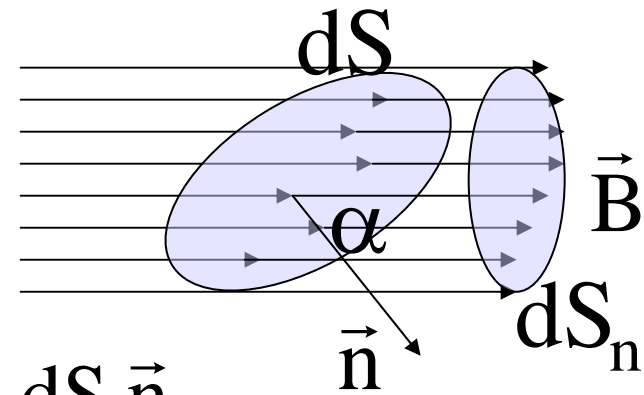
3.2. Từ thông

gửi qua diện tích dS là đại lượng

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

\vec{B} Véc tơ cảm ứng từ, $d\vec{S} = dS \cdot \vec{n}$

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



Từ thông gửi qua diện tích S $\Phi_m = \int_S \vec{B} d\vec{S}$

Từ trường đều gửi vuông góc qua diện tích S

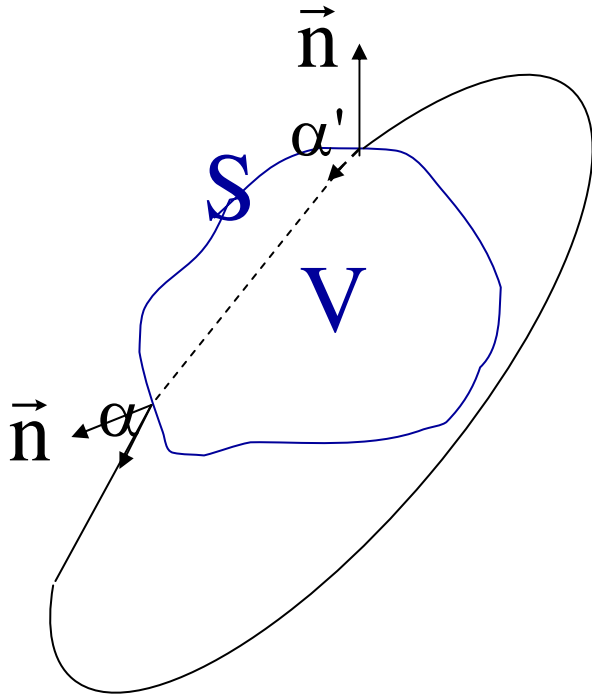
$$\Phi_m = \int B dS = B \int dS = BS$$

$$B = \frac{\Phi_m}{S} = \frac{1 \text{ Wb}}{1 \text{ m}^2} = 1 \text{ Wb/m}^2 = 1 \text{ T (Tesla)}$$

Tesla là cảm ứng từ của một từ trường đều 1vebe xuyên vuông góc qua diện tích phẳng 1m^2

3.3. Tính chất xoáy của từ trường: Các đường sức của từ trường là các đường cong khép kín

3.3. ĐL Ôxtơrôgratxki-Gauox



$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0 \quad \text{Dạng tích phân}$$

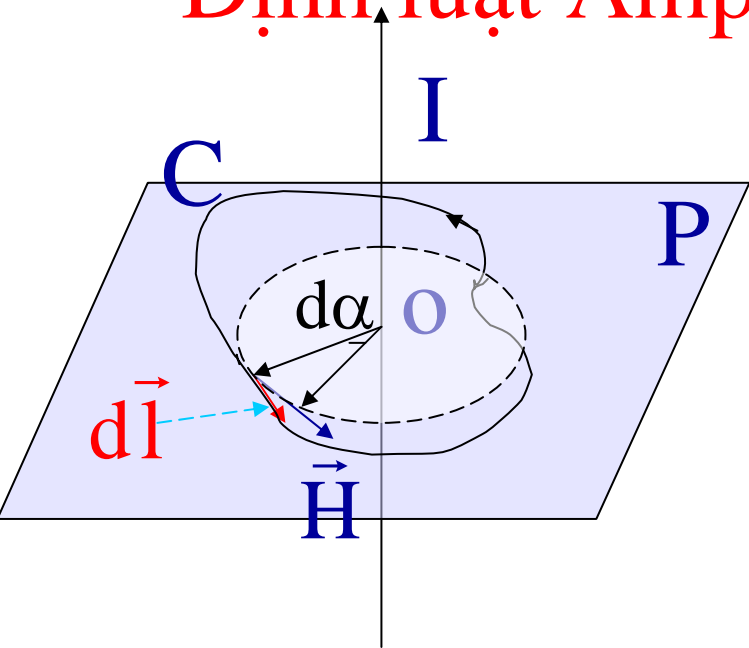
Từ thông toàn phần gửi qua mặt kín bất kỳ thì bằng không

$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = \int_V \text{div} \vec{B} dV = 0$$

$$\text{div} \vec{B} = 0$$

Dạng vi phân

4. Lưu số của véc tơ cường độ từ trường, Định luật Ampe về dòng điện toàn phần:



” Lưu số của véc tơ cường độ từ trường dọc theo đường cong kín (C) là đại lượng về trị số bằng tích phân $\vec{H}d\vec{l}$ dọc theo đường cong đó:

Định luật Ampe về dòng điện toàn phần:

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

$$dl \cos(\vec{H} \hat{d\vec{l}}) = r d\alpha$$

$$\oint_C \vec{H} d\vec{l} = \oint_C H dl \cos(\vec{H} \hat{d\vec{l}})$$

$$\oint_C \vec{H} d\vec{l} = \oint_C \frac{I}{2\pi r} r d\alpha = \frac{I}{2\pi} \oint_C d\alpha$$

- C bao quanh dòng điện:

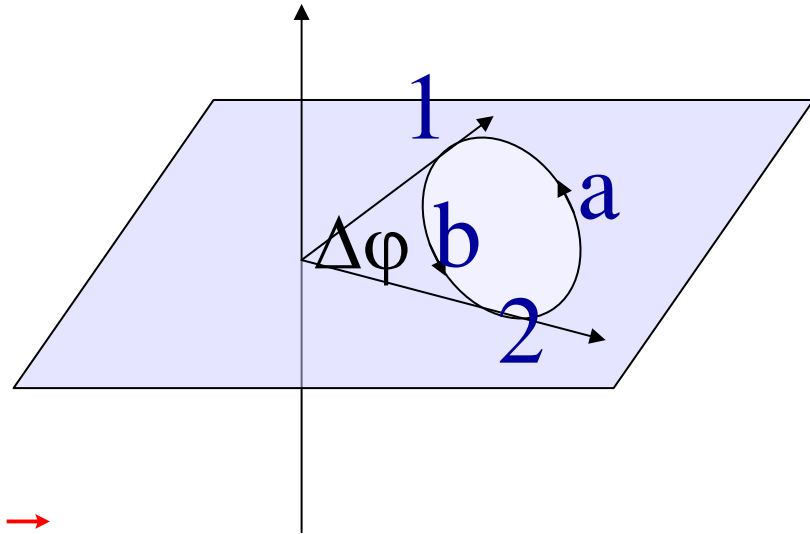
$$\oint_C d\alpha = 2\pi$$

$$\oint_C \vec{H} d\vec{l} = I$$

- C không bao quanh dòng điện:

$$\oint_C d\alpha = \int_{1a2} d\alpha + \int_{2b1} d\alpha$$

$$= \Delta\varphi + (-\Delta\varphi) = 0$$



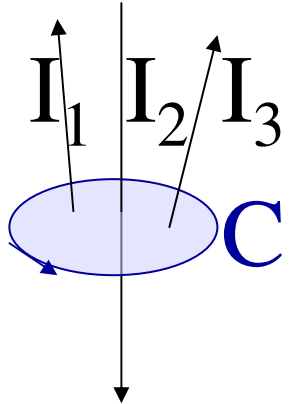
$$\oint_C \vec{H} d\vec{l} = 0$$

Tổng quát

$$\oint_C \vec{H} d\vec{l} = \sum_i I_i$$

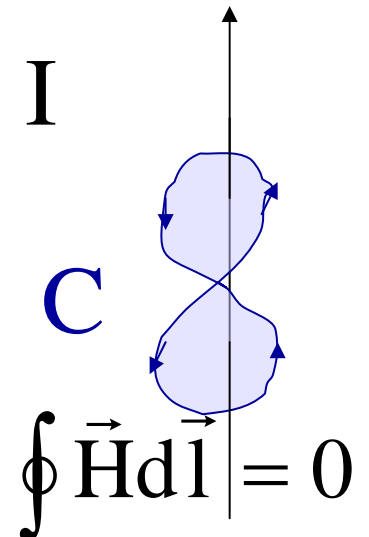
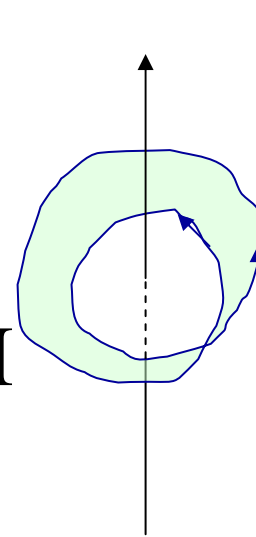
Lưu số của véc tơ cường độ từ trường dọc theo đường cong kín bất kỳ (1 vòng) bằng tổng đại số các dòng điện xuyên qua diện tích giới hạn bởi đường cong đó.

Chiều dương của dòng điện theo qui tắc vắn ren phải: Chiều vắn - chiều lấy tích phân, chiều tiến - chiều dòng điện.



$$\oint_C \vec{H} d\vec{l} = I_1 - I_2 + I_3$$

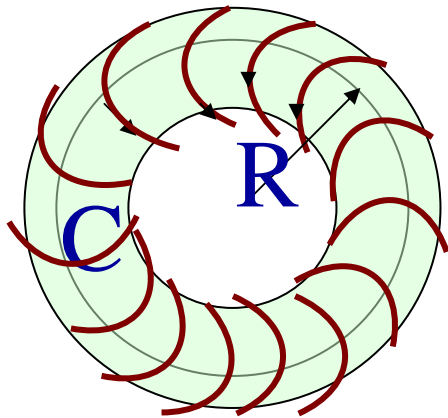
$$\oint_C \vec{H} d\vec{l} = 2I$$



$$\oint_C \vec{H} d\vec{l} = 0$$

4.3. Ứng dụng Tính cường độ từ trường

4.3.1. Tính cường độ từ trường tại một điểm bên trong cuộn dây hình xoắn: n vòng dây



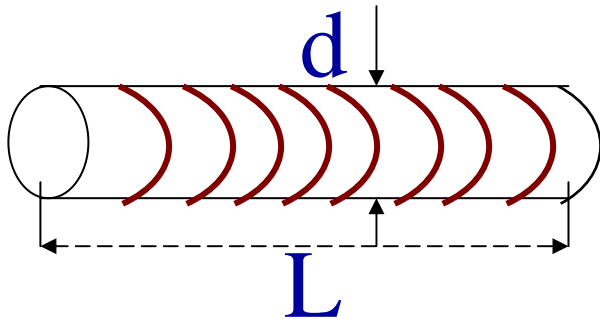
$$\oint_C \vec{H} d\vec{l} = nI \quad H \oint_C dl = nI$$

$$H \cdot 2\pi R = nI$$

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

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

4.3.2. Tính cường độ từ trường trong ống dây



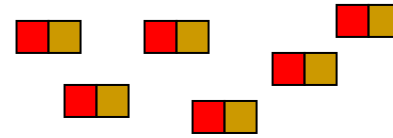
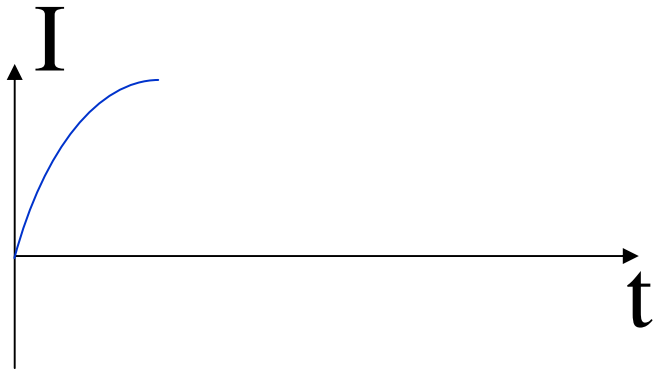
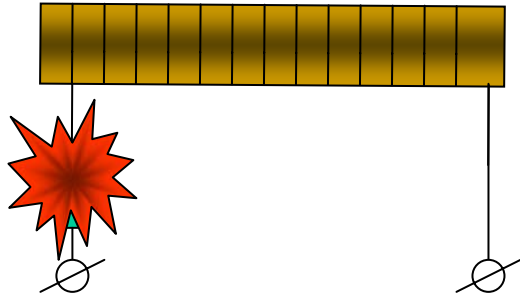
$$R = \infty$$

$$H = \frac{NI}{2\pi R} = \frac{nI}{L} = n_0 I$$

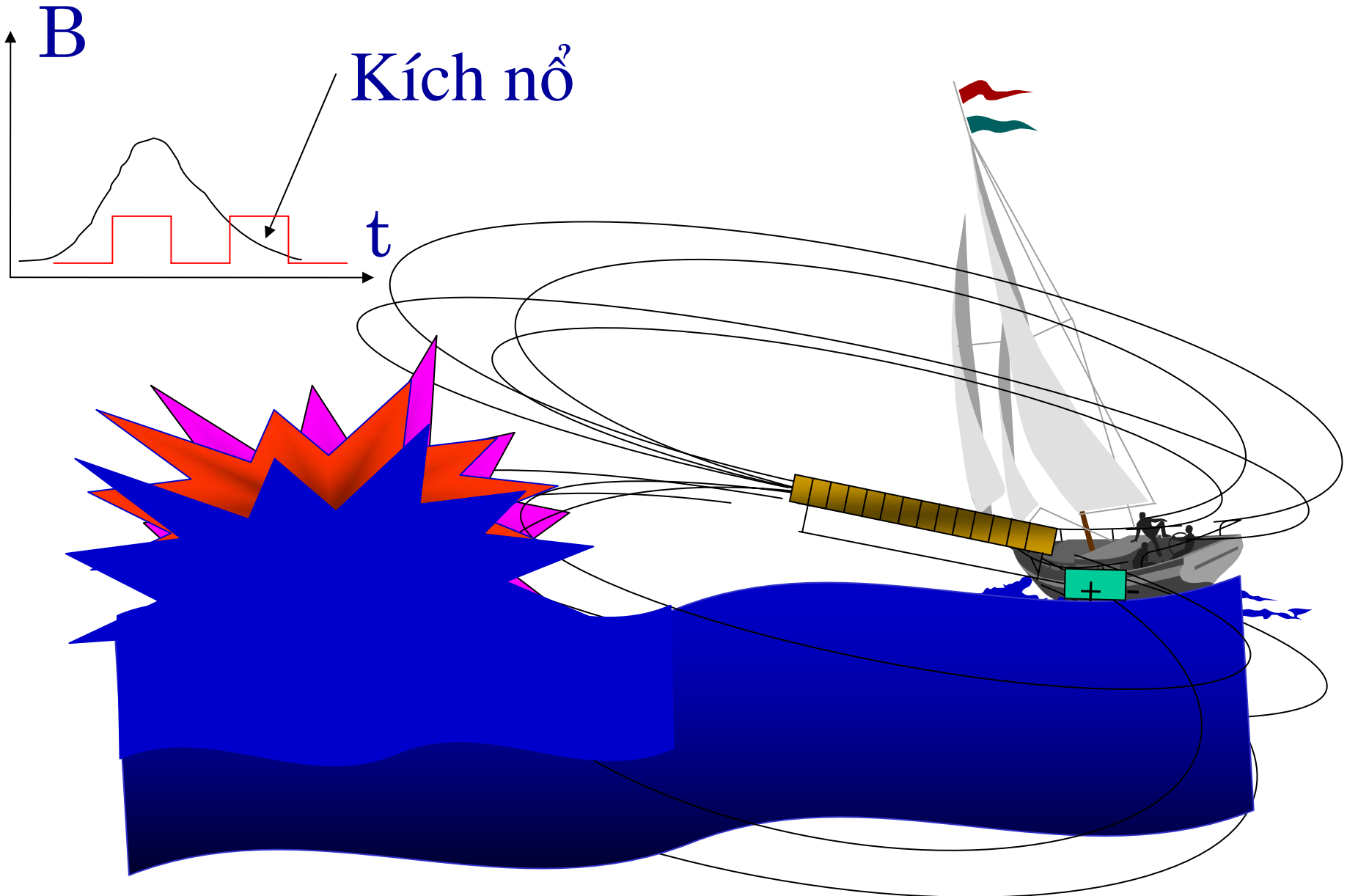
N số vòng dây trên $2\pi R$

$$B = \mu_0 \mu n_0 I \quad L > 20d$$

Ứng dụng: tạo từ trường



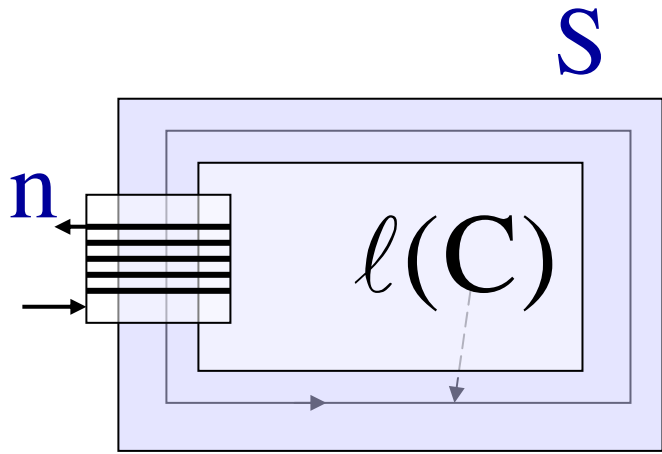
Phá thủy lôi, mìn, bom từ trường



GS Vũ Đình Cự



4.4. Mạch từ



$$B = \frac{\mu_0 \mu n I}{l}$$

$$\Phi_m = BS = \frac{\mu_0 \mu n I}{l} S = \frac{nI}{\frac{l}{\mu_0 \mu S}}$$

$$R_m = \frac{l}{\mu_0 \mu S} \quad \text{từ trở}$$

$$\Phi_m = \frac{\varepsilon_m}{R_m}$$

$$\varepsilon_m = nI \quad \text{suất từ động}$$

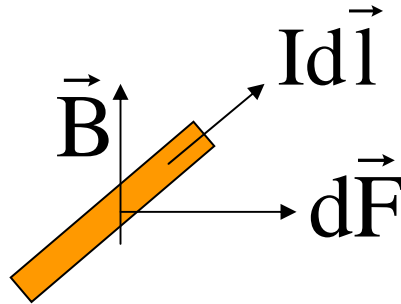
Từ trở mắc nối tiếp và song song cũng được tính tương tự như đối với điện trở

5. Tác dụng của từ trường lên dòng điện

5.1. Tác dụng của từ trường lên phần tử dòng điện, lực Ampe

$$d\vec{F} = I_0 d\vec{l}_0 \times d\vec{B}$$

$$d\vec{F} = Id\vec{l} \times \vec{B}$$



$$d\vec{l}, \vec{B}, d\vec{F}$$

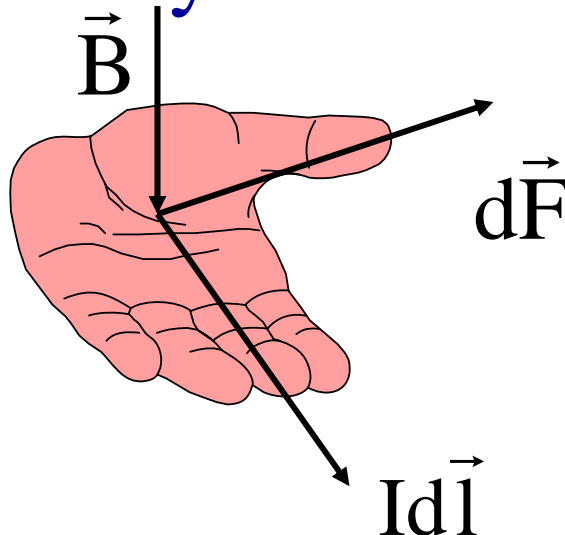
theo thứ tự đó hợp thành tam diện thuận.

Giá trị lực bằng:

$$dF = Idl.B.\sin \alpha$$

α - góc giữa véc tơ $d\vec{l}$ và véc tơ cảm ứng từ \vec{B}

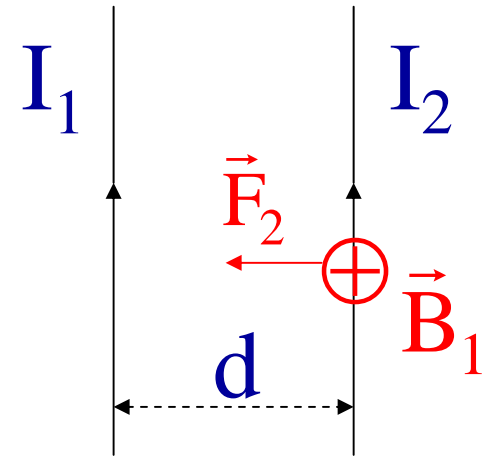
Qui tắc bàn tay trái



5.2. Tác dụng tương hỗ giữa hai dòng điện thẳng song song dài vô hạn

$$B_1 = \frac{\mu_0 \mu I_1}{2\pi d} \quad \text{Lực tác dụng lên đoạn dây dài } l$$

$$\vec{F}_2 = I_2 \vec{l} \times \vec{B}_1 \quad F_2 = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2 l}{2\pi d}$$



$$d=1\text{m}, I_1=I_2=1\text{A} \Rightarrow F=2 \cdot 10^{-7} \text{N/m}$$

Định nghĩa Ampe: Ampe là cường độ dòng không đổi chạy qua 2 dây thẳng song song dài vô hạn trong chân không cách nhau 1m gây ra lực tác dụng trên mỗi m dây là $2 \cdot 10^{-7} \text{N}$

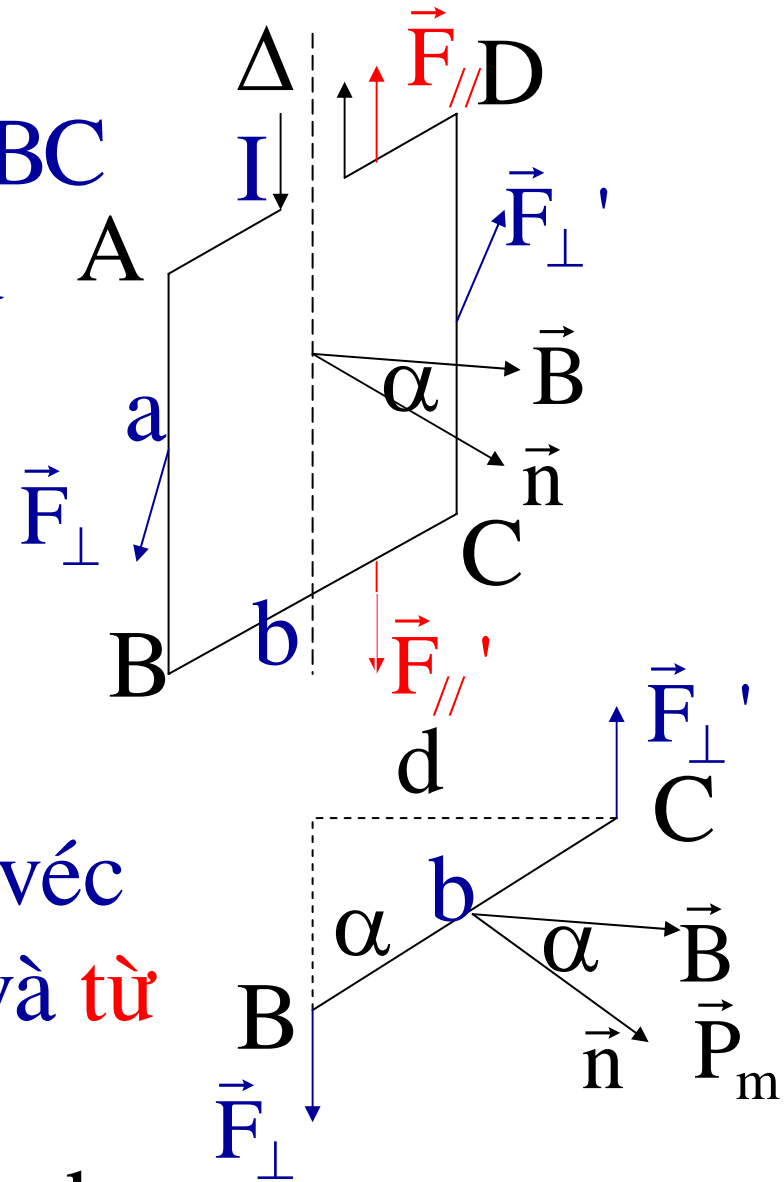
5.3. Tác dụng của từ trường đều lên một mạch điện kín

- Từ lực tác dụng lên AD và BC song song Δ và ngược chiều nhau
- Từ lực tác dụng lên AB và CD vuông góc với dây và tạo thành ngẫu lực

$$F_{\perp} = I \cdot a \cdot B$$

\vec{P}_m cùng phương và chiều với véc tơ pháp tuyến của ABCD và từ trường do khung gây ra

Mômen của ngẫu lực $\mu = F_{\perp} \cdot d$



$$\begin{aligned}\mu &= F_{\perp} \cdot d = I \cdot a B b \cdot \sin \alpha = I S B \sin \alpha \\ &= P_m \cdot B \cdot \sin \alpha\end{aligned}$$

$$\vec{\mu} = \vec{P}_m \times \vec{B}$$

• Năng lượng tương tác giữa mạch điện và từ trường:

Khi khung quay đi góc $d\alpha$, ngẫu lực thực hiện công: $dA = -\mu d\alpha = -P_m \cdot B \cdot \sin \alpha d\alpha$

Dấu - do góc giảm \rightarrow giảm năng lượng

Ngẫu lực từ₀ sinh công đưa góc α về 0:

$$A = \int (-P_m B \sin \alpha) d\alpha = P_m B (1 - \cos \alpha)$$

Công này bằng độ giảm năng lượng của khung trong từ trường:

$$W_m(\alpha) - W_m(0) = P_m \cdot B \cdot (1 - \cos \alpha)$$

Có thể viết thành:

$$W_m(\alpha) - W_m(0) = -P_m \cdot B \cos \alpha - (-P_m \cdot B \cos 0)$$

$$W_m(\alpha) = -P_m \cdot B \cos \alpha$$

$$W_m(\alpha) = -\vec{P}_m \cdot \vec{B}$$

5.4. Công của từ lực

Từ lực tác dụng lên AB:

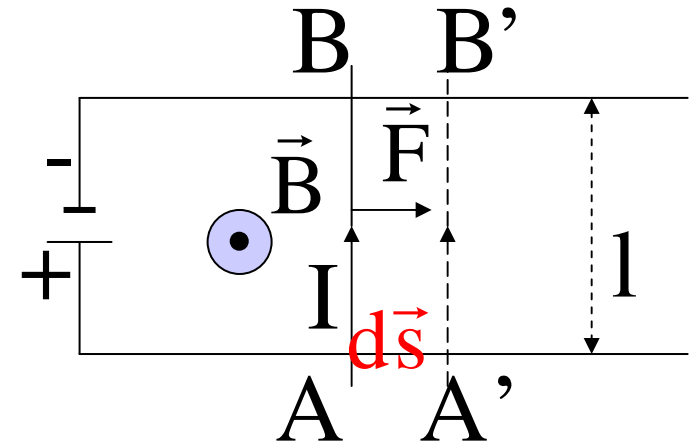
$$F = I \cdot l \cdot B$$

$$dA = F \cdot ds = I l B ds = I B dS = I d\Phi_m$$

Công của từ lực làm mạch từ 1 → 2 $dA = I d\Phi_m$

$$A = \int_1^2 I d\Phi_m = I(\Phi_{m2} - \Phi_{m1})$$

bằng tích I với độ biến thiên từ thông qua mạch



6. Chuyển động của hạt điện trong từ trường

6.1. Lực Lorentz

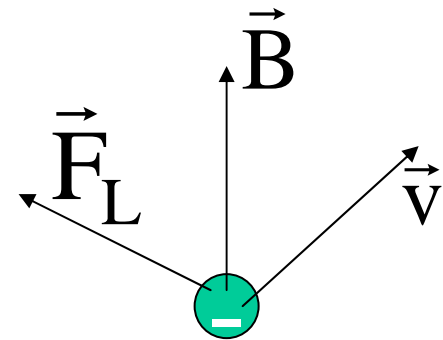
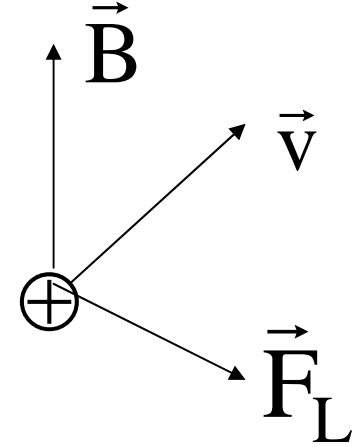
$$d\vec{F} = Id\vec{l} \times \vec{B} \quad Id\vec{l} \equiv q\vec{v}$$

$$\text{Lực Lorentz: } \vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Độ lớn lực:

$$F = qv.B.\sin \alpha$$

α - góc giữa véc tơ vận tốc v và véc tơ cảm ứng từ B



6.2. Chuyển động của hạt điện trong từ trường

Lực Lorentz: $\vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B}$

$$\vec{B}(0,0,B)$$

$$\vec{v}(v_x, v_y, v_z)$$

$$\vec{r} = \vec{r}(x, y, z)$$

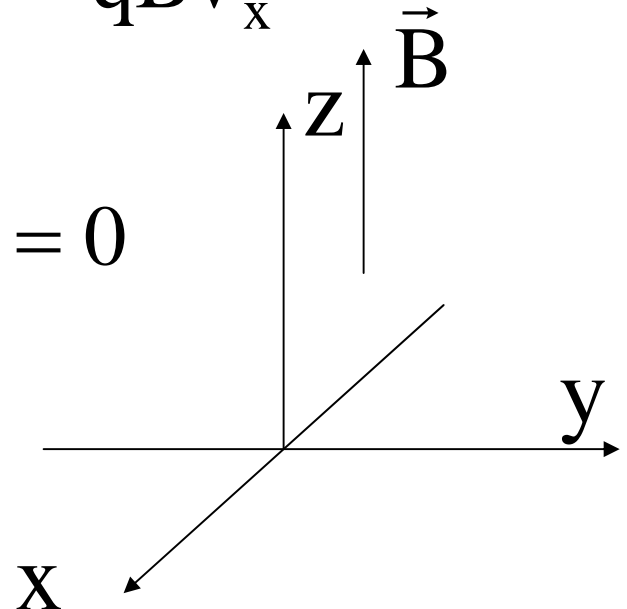
$$F_{Lx} = m \frac{dv_x}{dt} = qBv_y$$

$$F_{Ly} = m \frac{dv_y}{dt} = -qBv_x$$

$$F_{Lz} = m \frac{dv_z}{dt} = 0$$

$$\vec{v} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ v_x & v_y & v_z \\ 0 & 0 & B \end{vmatrix}$$

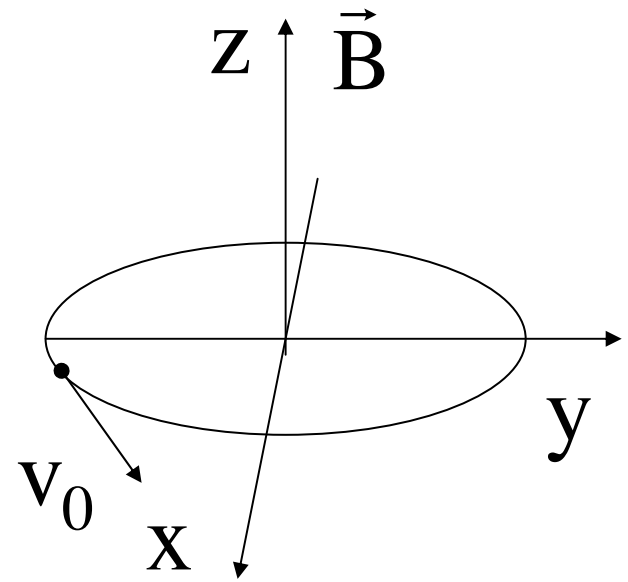
Với $\vec{v} \perp \vec{B}$



Đặt: $\omega = \frac{qB}{m}$

$$\frac{dv_x}{dt} = \omega v_y$$

$$\frac{dv_y}{dt} = -\omega v_x$$



$$v_x = v_0 \sin(\omega t + \varphi)$$

$$v_y = v_0 \cos(\omega t + \varphi)$$

$$v_{0x} = v_0 \sin \varphi, \quad x_0 = -v_0 \cos \varphi / \omega$$

$$v_{0y} = v_0 \cos \varphi, \quad y_0 = v_0 \sin \varphi / \omega$$

$$x = -\frac{v_0}{\omega} \cos(\omega t + \varphi)$$

$$y = \frac{v_0}{\omega} \sin(\omega t + \varphi)$$

$$x^2 + y^2 = \left(\frac{v_0}{\omega}\right)^2 = R^2$$

$$\omega = \frac{v_0}{R} \quad T = \frac{2\pi}{\omega}$$

Quỹ đạo tròn vuông góc với \vec{B}

BÀI GIẢNG VẬT LÝ ĐẠI CƯỜNG

Tác giả: PGS. TS Đỗ Ngọc Uẩn

Viện Vật lý kỹ thuật

Trường ĐH Bách khoa Hà nội

Chương 5

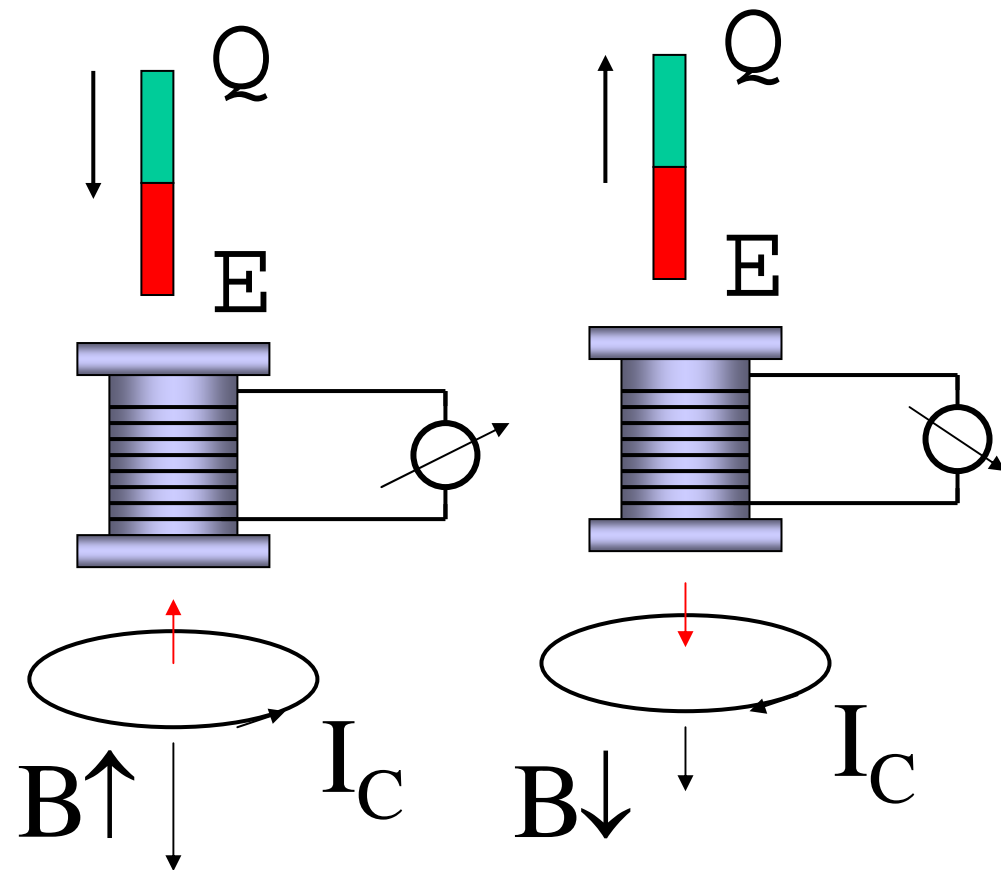
HIỆN TƯỢNG CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ

1831 Faraday: Từ thông qua mạch thay đổi -> xuất hiện dòng cảm ứng trong mạch

1. Các định luật về hiện tượng cảm ứng điện từ

1.1. Thí nghiệm Faraday:

- Đưa nam châm lại gần hơn hoặc xa hơn đều xuất hiện dòng cảm ứng.
- Chiều của dòng 2 lần ngược nhau.
- Nam châm dừng lại dòng cảm ứng $= 0$.



1.2 Định luật Lenx

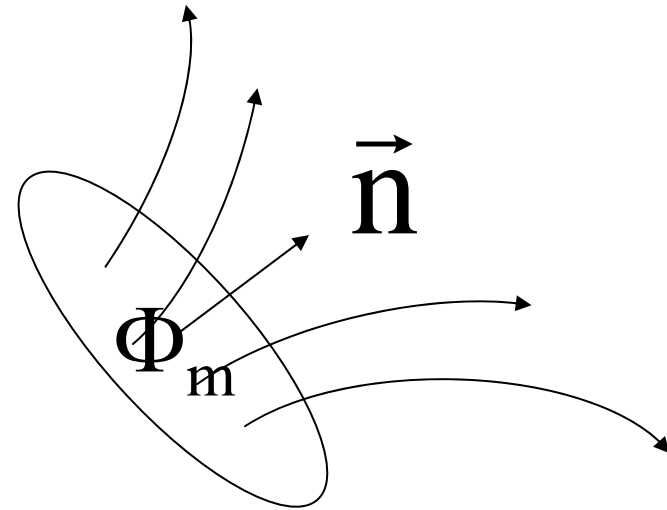
Dòng điện cảm ứng phải có chiều sao cho từ trường do nó sinh ra có tác dụng chống lại nguyên nhân đã sinh ra nó

Quán tính của mạch điện

1.3 Định luật cơ bản của hiện tượng cảm ứng điện từ: $dt \rightarrow d\Phi_m \rightarrow I_C$

Công của từ lực tác dụng lên dòng cảm ứng:

$dA = I_C d\Phi_m$ là Công cản



Công để dịch chuyển vòng dây:

$$dA' = -dA = -I_C d\Phi_m$$

Năng lượng của dòng cảm ứng: $dW = \varepsilon_C I_C dt$

$$\rightarrow \varepsilon_C I_C dt = -I_C d\Phi_m$$

$$\Phi_m = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ s} = 1 \text{ Wb (vêbe)} \quad \varepsilon_C = - \frac{d\Phi_m}{dt}$$

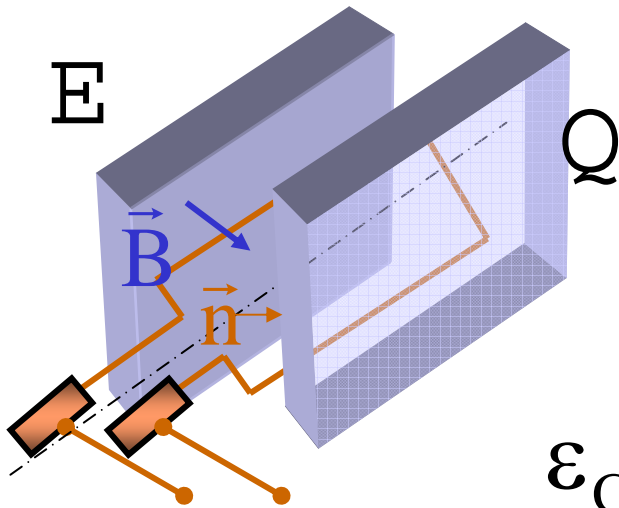
SĐĐ cảm ứng luôn bằng về giá trị nhưng ngược dấu với tốc độ biến thiên của từ thông gửi qua mạch

Dấu - là mặt toán học của ĐL Lenx

$$\Phi_m \rightarrow 0 \text{ trong } \Delta t \rightarrow \Phi_m = \varepsilon_C \Delta t$$

Vêbe là từ thông gây ra trong vòng dây dẫn bao quanh nó một SĐĐCU 1V khi từ thông đó giảm đều $\rightarrow 0$ trong 1 giây

1.3. Nguyên tắc tạo dòng điện xoay chiều



$\varphi = \omega t + \alpha$ góc giữa \vec{n} & \vec{B}

$$\Phi_m = NBS \cos(\omega t + \alpha)$$

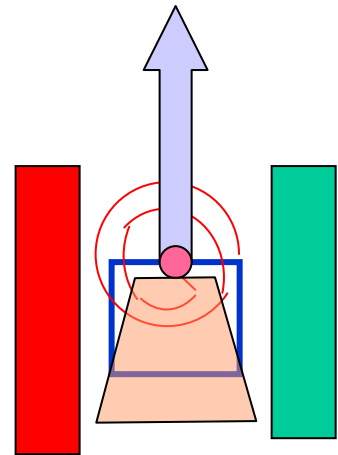
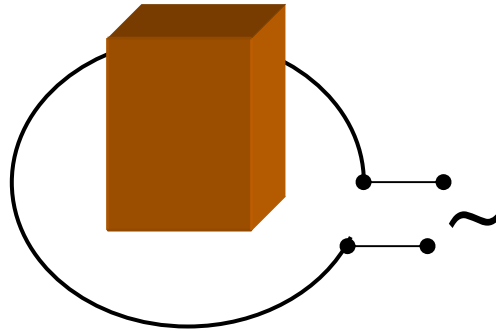
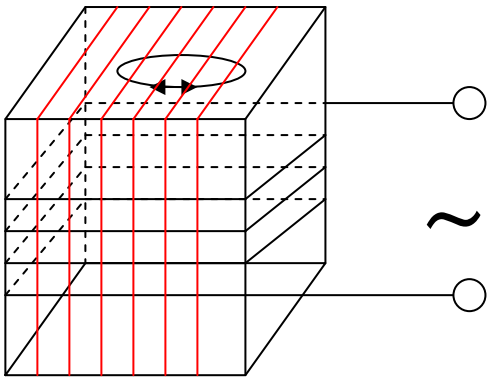
$$\varepsilon_c = -\frac{d\Phi_m}{dt} = NBS\omega \sin(\omega t + \alpha)$$

$$\varepsilon_{\max} = NBS\omega \quad \varepsilon_c = \varepsilon_{\max} \sin(\omega t + \alpha)$$

N là số vòng của khung dây

1.4. Dòng Fucô

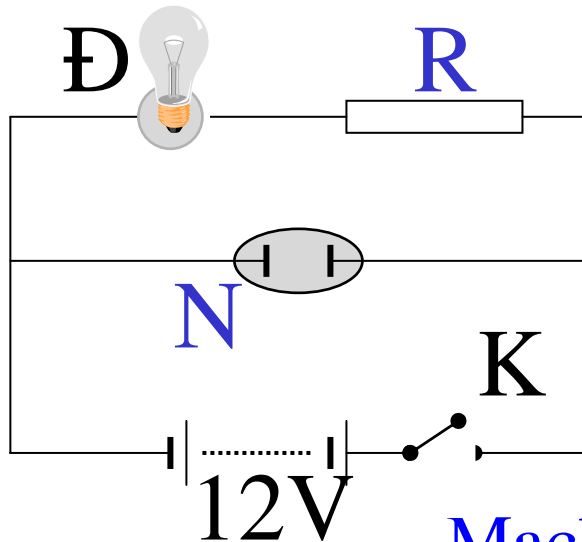
- Dòng xoáy do từ thông của điện trường xoay chiều
- **Tác hại:** nóng máy, tiêu tốn năng lượng
 $I_F = \varepsilon_C / R \rightarrow \text{Tăng } R \text{ (lá mỏng)} \rightarrow \text{giảm } I$
- **Lợi:** Nấu KL, Hãm điện kế, lò vi sóng..



2. Hiện tượng tự cảm

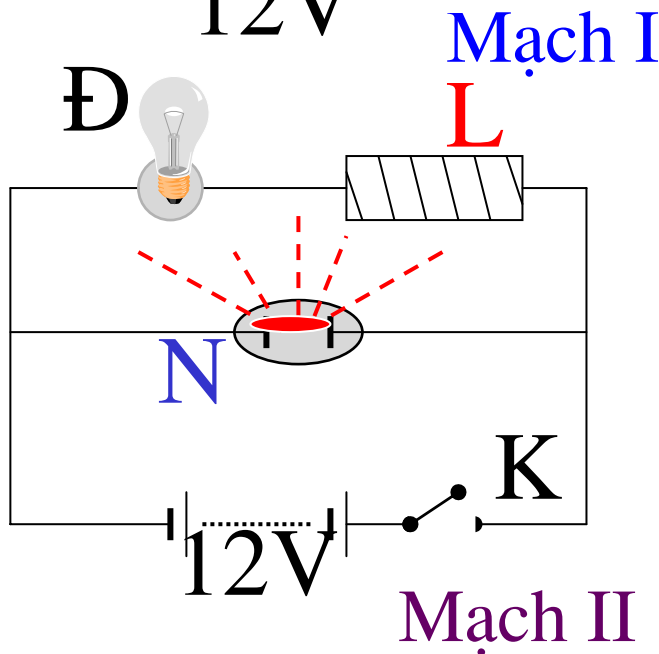
N chỉ phát sáng ở
 $U \geq 70V$

2.1. Thí nghiệm



Mạch I: Đèn Đ sáng, tối bình thường khi bật, tắt K

Mạch II: Đóng K đèn Đ sáng từ từ, **ngắt K \rightarrow N vụt sáng**



Giải thích: **Bật K**, $I \uparrow$.

$\Rightarrow \Phi_m$ qua L \uparrow ,

\Rightarrow dòng tự cảm trong mạch chống lại việc $I \uparrow$

\Rightarrow cuộn L tích năng lượng từ.

Ngắt $K, I \downarrow, \Rightarrow \Phi_m$ qua $L \downarrow$

\Rightarrow Suất điện động tự cảm $\varepsilon_{tc} > 70 \text{ V}$ xuất hiện trong cuộn dây làm đèn N vụt sáng.

\Rightarrow dòng tự cảm trong mạch chống lại việc $I \downarrow$

\Rightarrow cuộn L giải phóng năng lượng từ .

2.2. Suất điện động tự cảm

Từ thông Φ_m do chính cuộn **L** gây ra gửi qua cuộn dây của **L**

$$\varepsilon_{tC} = -\frac{d\Phi_m}{dt} \quad \Phi_m \sim I \quad \Phi_m = LI \quad L \text{ hệ số tự cảm}$$

$$\varepsilon_{tC} = -L \frac{dI}{dt}$$

Trong mạch điện đứng yên & không thay đổi hình dạng **SĐĐ tự cảm** tỷ lệ nhưng trái dấu với tốc độ biến thiên dòng điện trong mạch

Hệ số tự cảm

$$L = \frac{\Phi_m}{I}$$

$$I=1 \rightarrow L=\Phi_m$$

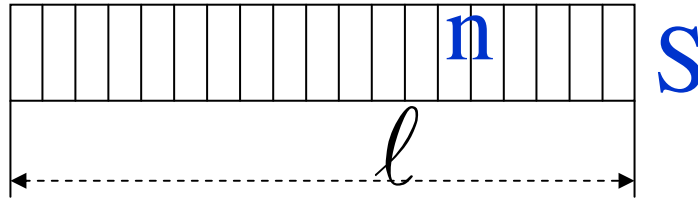
Hệ số tự cảm của một mạch là đại lượng VL có giá trị bằng từ thông do chính nó gửi qua diện tích của nó khi cường độ dòng trong mạch bằng 1đv

$\epsilon_{tc} \sim L$ \rightarrow L là số đo mức độ quán tính của mạch điện

$$1H = \frac{1Wb}{1A}$$

Henry là hệ số tự cảm của một mạch điện kín khi có dòng 1A chạy qua thì sinh ra trong chân không một từ thông 1Wb gửi qua diện tích của mạch đó

Hệ số tự cảm của một ống dây: n, ℓ, S



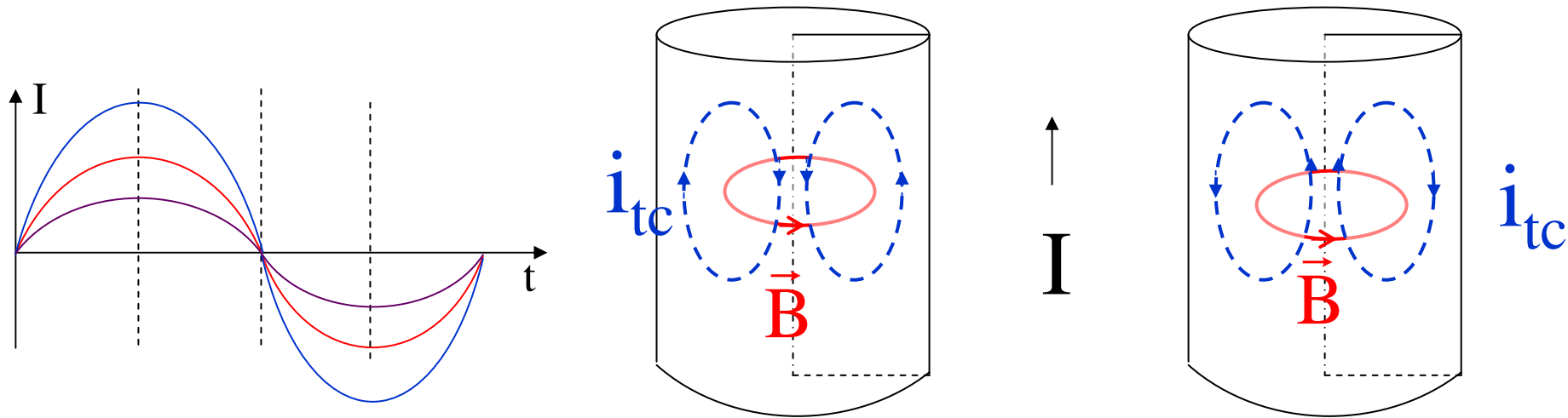
$$B = \mu_0 \mu n I = \mu_0 \mu \frac{n}{\ell} I$$

$$L = \frac{\Phi_m}{I} = \mu_0 \mu \frac{n^2}{\ell} S$$

$$\Phi_m = B n S = \mu_0 \mu \frac{n^2}{\ell} S I$$

$$1\text{H} = 10^3\text{mH} = 10^6\mu\text{H}$$

3. Hiệu ứng bề mặt: Dòng cao tần chỉ chạy trên bề mặt của dây dẫn



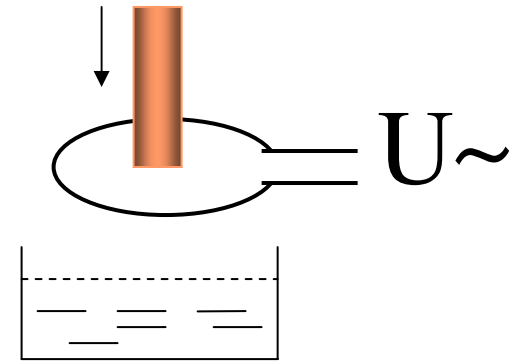
Trong 1/4 chu kì đầu dòng I tăng, từ thông qua dây dẫn tăng \rightarrow sinh dòng i_{tc} có chiều sao cho từ trường của nó chống lại \rightarrow **Bề mặt dòng tăng**, trong **Lõi dòng giảm**

Trong 1/4 chu kì tiếp I giảm, từ thông qua dây giảm \rightarrow sinh dòng i_{tc} có chiều sao cho từ trường của nó chống lại sự giảm của từ thông **dòng mặt giảm mạnh**, **I lõi giảm yếu hơn**

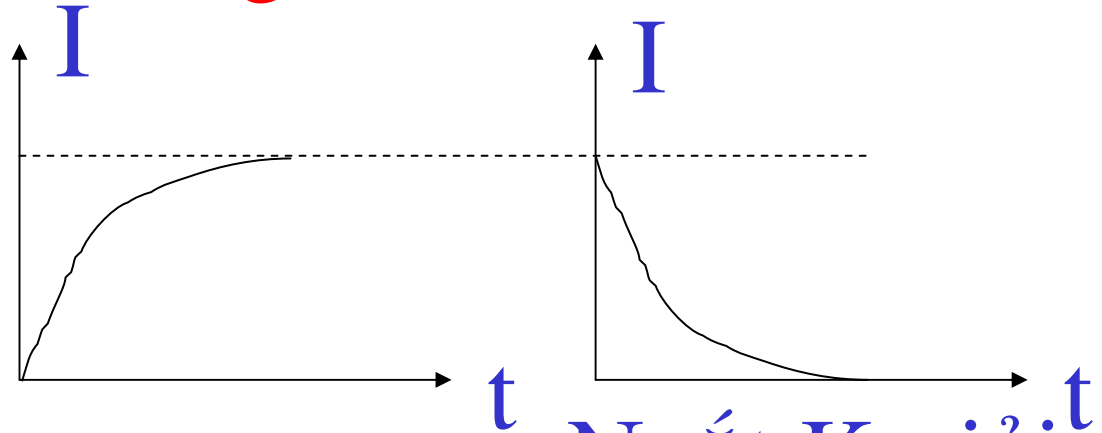
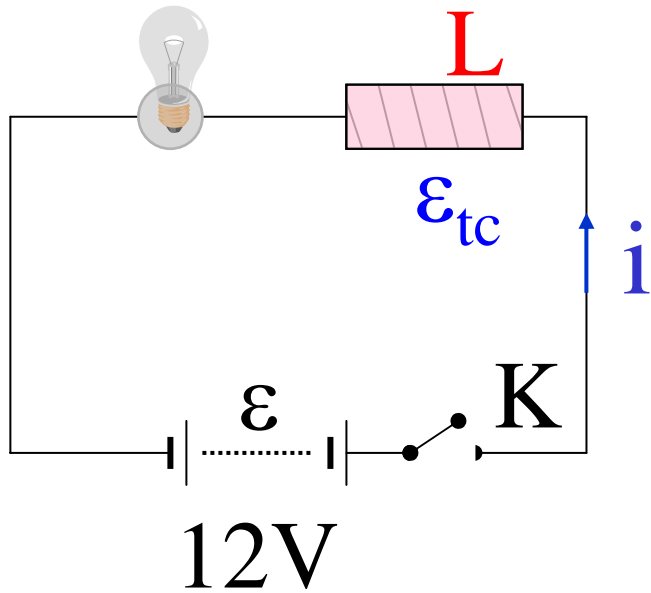
-> Bề mặt dòng giảm mạnh hơn, Lõi giảm chậm hơn

Dòng **bề mặt** được tăng cường, dòng lõi suy giảm: tần số 10^5Hz chỉ còn dòng mặt (lớp sâu 2mm).

ứng dụng: Tời bề mặt, ống dẫn sóng, dây nhiều sợi



4. Năng lượng từ trường



Đóng K
 nạp W_m

Ngắt K giải
 phóng W_m

$$\varepsilon + \varepsilon_{tc} = Ri$$

$$\varepsilon i dt = L \frac{di}{dt} i dt + Ri^2 dt$$

$$\varepsilon - L \frac{di}{dt} = Ri$$

$$dW = dW_m + dW_{\text{nhiệt}}$$

$$dW_m = L i di$$

$$W_m = \int_0^I L di = \frac{1}{2} LI^2$$

Mật độ năng lượng từ trường: Xét năng lượng của ống dây

$$\varpi_m = \frac{W_m}{V} = \frac{\frac{1}{2} LI^2}{V} = \frac{\frac{1}{2} (\mu\mu_0 \frac{n^2 S}{\ell}) I^2}{\ell S} = \frac{1}{2} \mu\mu_0 \frac{n^2}{\ell^2} I^2$$

$$B = \mu\mu_0 \frac{n}{\ell} I \quad \varpi_m = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0 \mu} = \frac{1}{2} BH = \frac{1}{2} \mu_0 \mu H^2$$

$$W_m = \int_V \varpi_m dV = \frac{1}{2} \int_V BH dV$$

BÀI GIẢNG VẬT LÝ ĐẠI CƯỜNG

Tác giả: PGS. TS Đỗ Ngọc Uẩn

Viện Vật lý kỹ thuật

Trường ĐH Bách khoa Hà nội

Chương 6

NHỮNG TÍNH CHẤT TỪ CỦA CÁC CHẤT

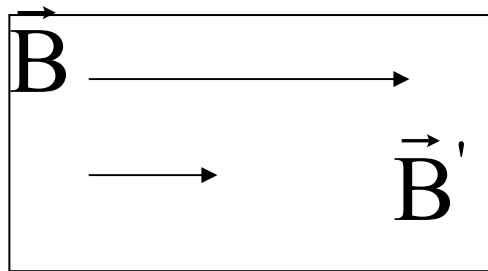
Tính chất từ thể hiện qua việc hút các vật liệu Fe

Khi nằm trong từ trường ngoài \vec{B}_0 mọi chất đều bị từ hoá và trong chúng có một từ trường phụ riêng hay véc tơ \vec{B}'

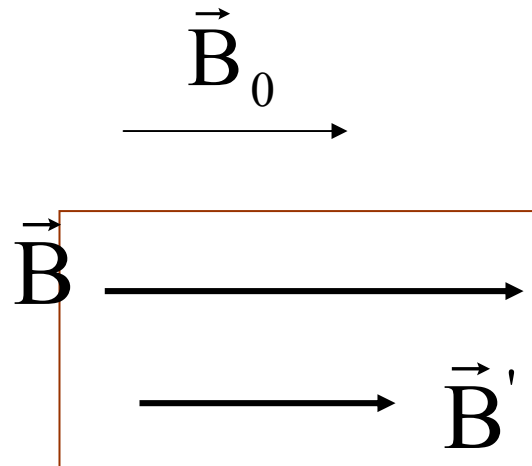
=> Từ trường tổng hợp trong chất là:

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}'$$

Thuận từ
 $B > B_0$

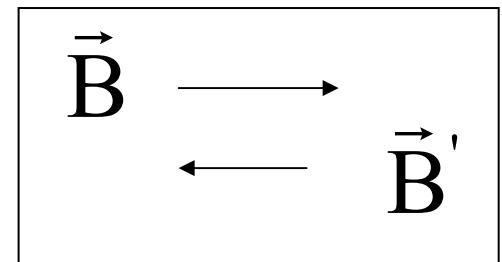


$\vec{B}_0 \uparrow \uparrow \vec{B}'$



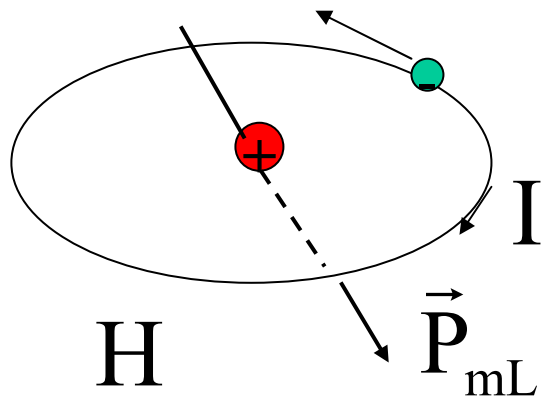
Sắt từ $B > B_0$ nhiều

Nghịch từ
 $B < B_0$



$\vec{B}_0 \uparrow \downarrow \vec{B}'$

1. Bản chất của từ tính:



Các điện tử quay quanh hạt nhân giống như một dòng điện tròn và gây ra momen từ QUỹ ĐẠO CỦA ĐIỆN TỬ \vec{P}_{mL}

TẦN SỐ
QUAY CỦA
ĐIỆN TỬ $f = \frac{v}{2\pi r}$

DÒNG DO
ĐIỆN TỬ $i = ef = \frac{ev}{2\pi r}$

Momen từ QUỹ
ĐẠO của điện tử $\vec{P}_{mL} = i\vec{S}_{dt}$

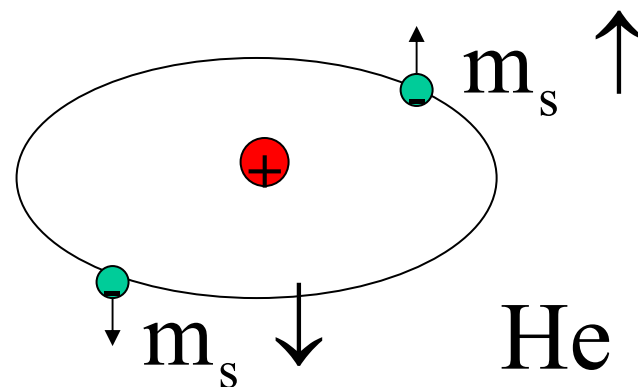
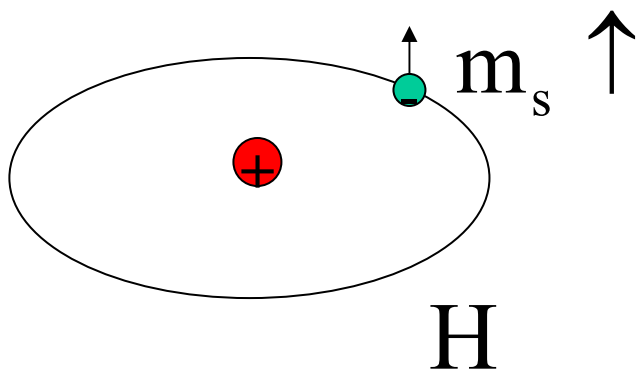
MÔMEN ĐỘNG
LƯỢNG;
 $\vec{L} = \vec{r} \times m\vec{v}$

$$P_{mL} = iS_{dt} = \frac{ev}{2\pi r} \pi r^2 = \frac{evr}{2}$$

$$L = rmv$$

HỆ SỐ TỪ CƠ: $\frac{\vec{P}_{mL}}{\vec{L}} = -\frac{e}{2m}$ $\vec{P}_{mL} = -\frac{e}{2m}\vec{L}$

• Các điện tử có spin với số lượng tử spin $m_s \uparrow$ hoặc $m_s \downarrow$ các momen spin tạo ra các **momen từ spin QUỸ ĐẠO**: $\vec{P}_{mS} = -\frac{e}{m}\vec{S}$



CƠ HỌC LƯỢNG TỬ CHO THẤY:
MÔMEN ĐỘNG LƯỢNG

$$L = \sqrt{\ell(\ell + 1)} \cdot \hbar$$

MÔMEN SPIN

$$S = \sqrt{s(s + 1)} \cdot \hbar$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} \quad \text{Hằng số Planck}$$

Tổng hợp các momen từ của điện tử
thành **mômen từ của nguyên tử thứ i** \vec{P}_{ami}

**Véc tơ từ hoá = mômen
từ của đơn vị thể tích** $\vec{J} = \frac{\sum \vec{P}_{ami}}{\Delta V}$

→ Véc tơ từ hoá tổng cộng $\vec{J} = \vec{J}_L + \vec{J}_S$

Dẫn đến tính chất từ của các chất

Dưới tác dụng của từ trường ngoài $\vec{J} = \chi_m \vec{H} \quad \vec{J} = \frac{\chi_m}{\mu_0} \vec{B}_0$
 χ_m Độ từ hoá

2. Nghịch từ: $\chi_M < 0$

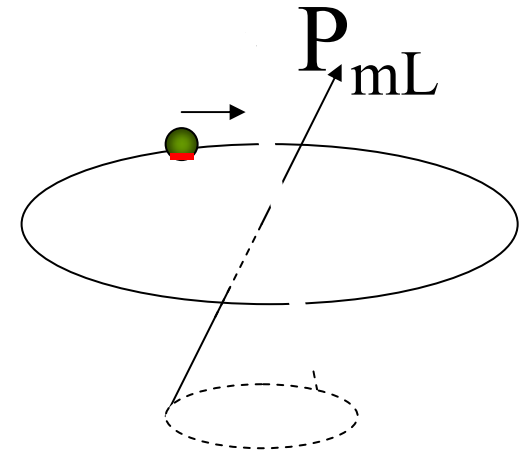
Khi trong từ trường các điện tử có phản ứng như hạt tích điện chuyển động trong từ trường và có thêm phần chuyển động tuế sai

Vận tốc góc Larmor $\omega_L = \frac{eB_0}{2m_e}$

của điện tử chống lại từ trường ngoài (Như ĐL Lenz) dẫn đến tính chất nghịch từ của các chất.

Phần dòng tương ứng **dòng cảm ứng** của nguyên tử

$$\Delta I = (-eZ)\omega_L \frac{1}{2\pi} = -\frac{e^2 Z B_0}{4\pi m_e}$$



Momen từ cảm ứng nguyên tử

$$P_{\text{mCU}} = \Delta I \cdot S_{\text{dt}} = \Delta I \cdot \pi \rho^2 = -\frac{e^2 Z B_0}{4m_e} \rho^2 = -\frac{e^2 Z B_0}{6m_e} \langle r^2 \rangle$$

$$\langle x^2 \rangle = \langle y^2 \rangle = \langle z^2 \rangle = \langle r^2 \rangle / 3$$
$$\rho^2 = \langle x^2 \rangle + \langle y^2 \rangle = 2 \langle r^2 \rangle / 3$$

Độ từ hoá của vật liệu

Trong đó J mômen từ một đơn vị thể tích mẫu.

$$\chi_m = \frac{\mu_0 J}{B_0}$$

Nếu momen từ quỹ đạo spin bằng không (Trong trường hợp số điện tử luôn chẵn như tinh thể khí trơ He) thì

$$\chi_m = -\frac{n_0 e^2 Z}{6m_e} \langle r^2 \rangle \mu_0 < 0$$

Đây là nghịch từ lý tưởng.

3. Thuận từ:

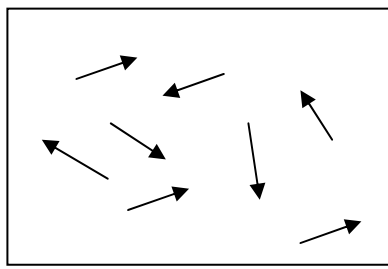
Khi đặt trong từ trường ngoài, momen từ của mạch điện và từ trường tương tác với nhau, năng lượng tương tác bằng: $W_m = -\vec{P}_m \cdot \vec{B}$

Véc tơ từ hoá của nguyên tử

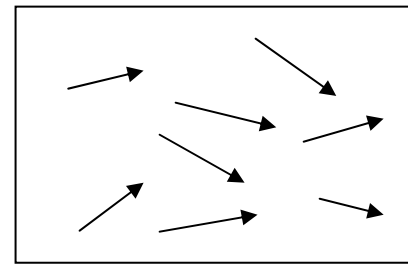
$$\vec{P}_{ma} = \vec{P}_{mL} + \vec{P}_{mS}; \quad P_{ma} = -m\mu_B; \quad \mu_B = \frac{e}{2m_e} \hbar$$

$B_0=0$, do tác động của nhiệt độ các momen từ nguyên tử có định hướng hỗn loạn và tổng của chúng bằng 0.

$B_0 \neq 0$, các mô men từ nguyên tử tương tác với từ trường ngoài như các mô men từ của các dòng điện, tổng hợp các mô men từ khác không.



$$B_0 = 0$$



$$B_0 \neq 0$$

Năng lượng tương tác: Trong từ trường các momen từ nguyên tử có 2 mức năng lượng

$$\varepsilon = \pm \mu_B \cdot B$$

Phân bố của chúng tuân theo hàm phân bố Boltzmann ở nhiệt độ T , Các hạt có momen từ thuận theo từ trường: $n = n_0 \exp(\mu_B \cdot B / k_B T)$

Trong trường hợp $(\mu_B \cdot B / k_B T) \ll 1$

$$n \approx n_0 (\mu_B \cdot B / k_B T)$$

$$\chi_m = \frac{J}{B} = n_0 \mu_B^2 / k_B T \quad \text{Hay} \quad \frac{J}{B} = \frac{C}{T}$$

Trong đó C là hằng số Curie.

Đây là **định luật Curie**: Độ từ hoá tỷ lệ nghịch với nhiệt độ tuyệt đối.

4. Từ trường tổng hợp trong chất nghịch từ và thuận từ

Phần đóng góp do các mômen quay theo từ trường ngoài: *cùng chiều với P_m* $\vec{B}' = \mu_0 \vec{J}$

Từ trường tổng hợp $\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}' = \vec{B}_0 + \mu_0 \vec{J}$

$$\vec{J} = \frac{\chi_m}{\mu_0} \vec{B}_0$$

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \chi_m \vec{B}_0$$

$$\vec{B} = (1 + \chi_m) \vec{B}_0 = \mu \vec{B}_0 \quad (1 + \chi_m) = \mu$$

$$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H} \quad \mu - \text{Độ từ thẩm tỷ đối}$$

Véc tơ cảm ứng từ tổng hợp trong các vật liệu thuận từ và nghịch từ tỷ lệ với véc tơ cảm ứng từ B_0 trong chân không và bằng μ lần B_0

thuận từ	$\chi_m \cdot 10^6$	ngịch từ	$-\chi_m \cdot 10^6$
Nitơ	0,013	Heli	0,063
oxy	1,9	Nước	9,0
Êbonit	14	Thạch anh	15,1
Nhôm	23	Bismut	176
Platin	360		

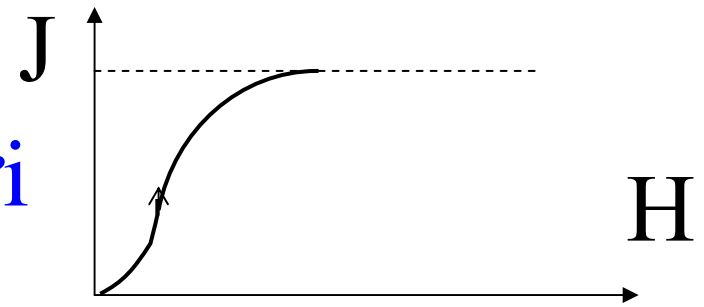
$|\chi_m| \ll 1$ nên đối với các chất thuận từ và nghịch từ $\mu = 1 + \chi_m \approx 1$;

Thuận từ $\mu > 1$, Nghịch từ $\mu < 1$

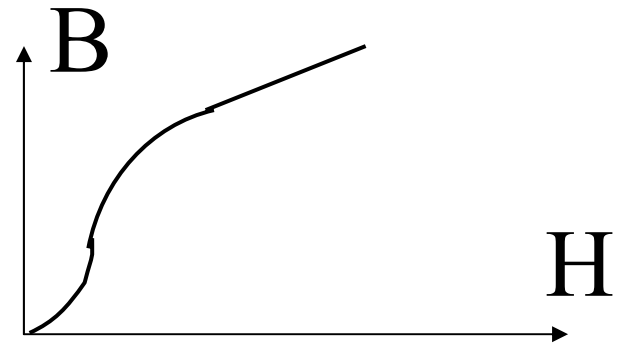
5. Sắt từ

Tính chất sắt từ: $\chi_m > 0$ như thuận từ, **Độ từ hoá lớn** (gấp trăm lần thuận từ)

- Từ độ J không tỷ lệ thuận với véc tơ cường độ từ trường H

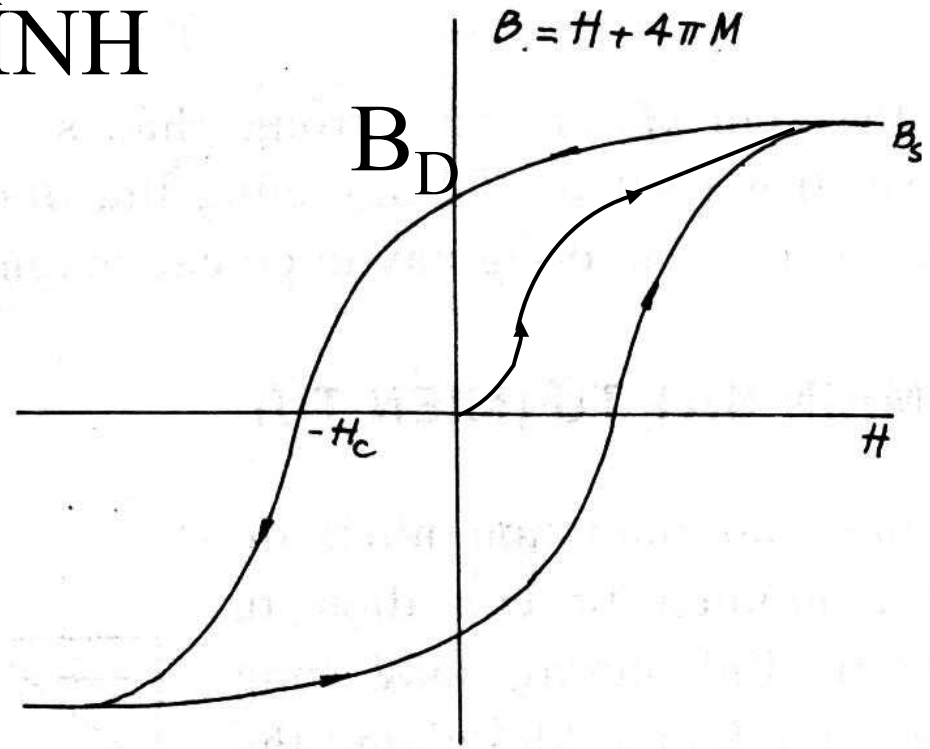
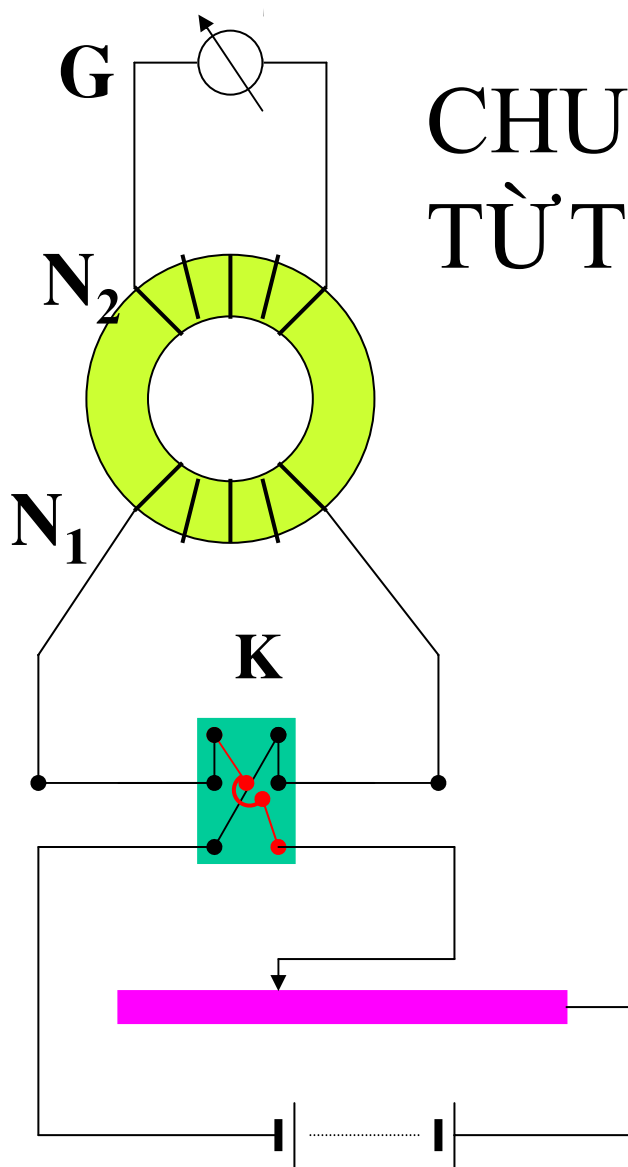


- Phụ thuộc cảm ứng từ B vào cường độ từ trường H : Không có đoạn nằm ngang



$$B = \mu_0(H + J); J \rightarrow \text{const}, H \uparrow, B \uparrow$$

CHU TRÌNH TỪ TRỄ

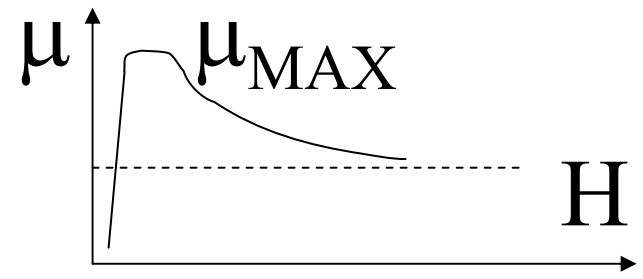


- Mọi chất sắt từ có tính từ dư: $H=0$, $B_d \neq 0$

B_S Cảm ứng từ bão hoà, H_C Lực khử từ, từ dư B_d , μ_{\max} là các đại lượng đặc trưng cơ bản

- **Độ từ thẩm tỷ đối μ** phụ thuộc vào H phức tạp

$$\mu = \frac{B}{\mu_0 H} = \frac{\mu_0 (H + J)}{\mu_0 H} = 1 + \frac{J}{H} \rightarrow 1$$



Các đặc trưng của **sắt từ**

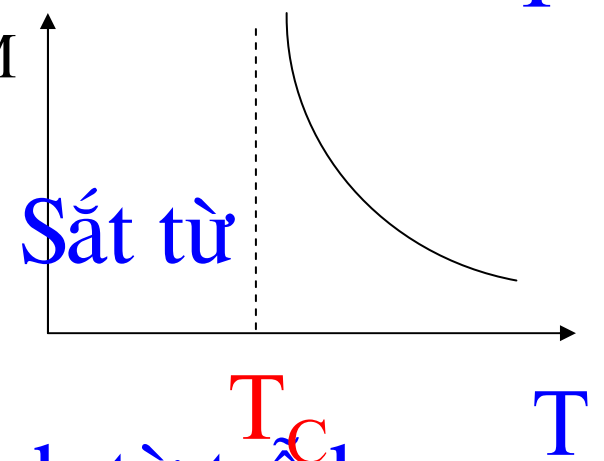
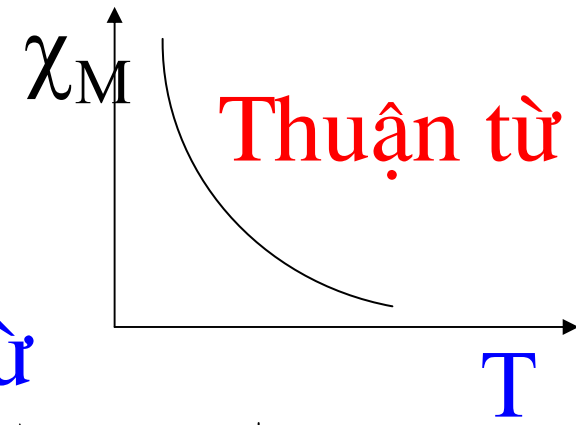
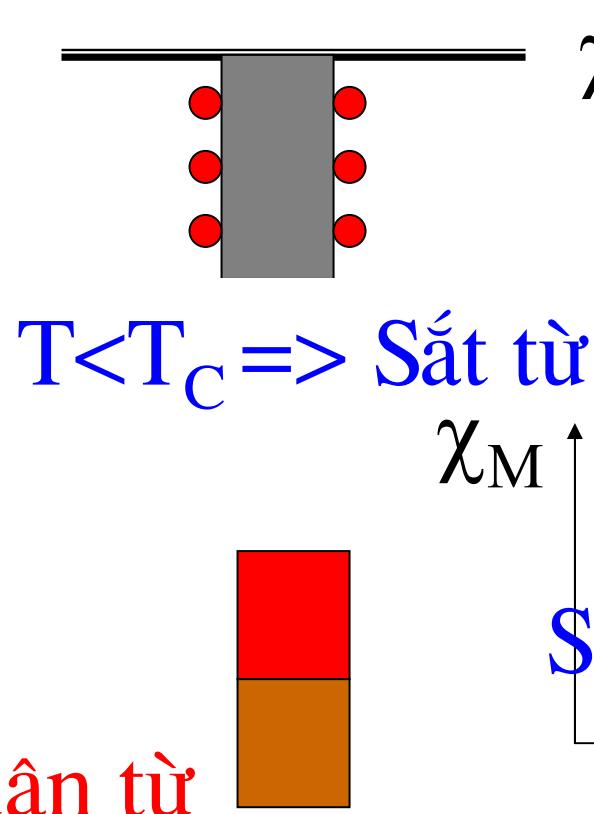
Sắt từ cứng	$B_C = \mu_0 H_C$ Trường khử từ	CƯ từ dư B_d
FeO, Fe ₂ O ₃	$5 \cdot 10^{-3} T$	0,6T
Thép 1%C	$4 \div 6 \cdot 10^{-3} T$	$0,9 \div 0,7 T$

Sắt từ cứng: H_C lớn

Sắt từ mềm	$B_C = \mu_0 H_C$	CỦ từ dư B_d	μ_{max}
Fe tinh khiết	$2,5 \cdot 10^{-5} T$	0,2T	280000
Fe+4%Si	$3,5 \cdot 10^{-5} T$	0,5T	15000
78%Ni+22%Fe	$6 \cdot 10^{-6} T$	0,5T	80000

• Nhiệt độ Curi

Chất	$T_C (^{\circ}C)$
Fe	770
Co	1127
Ni	357
Tecbi	-43



Sắt từ mềm: H_C nhỏ, chu trình từ trễ hẹp

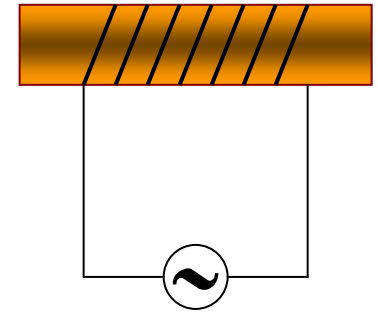
- **Từ giảo:** Khi có từ trường ngoài tác dụng ->Sắt từ biến dạng: $\varepsilon_{bd} \sim H$

->ứng dụng từ giảo để Phát siêu âm công suất lớn: Cho dòng điện xoay chiều trên 20000Hz chạy trong cuộn dây từ hoá sắt từ.

Biến dạng xoay chiều kích động sóng siêu âm.

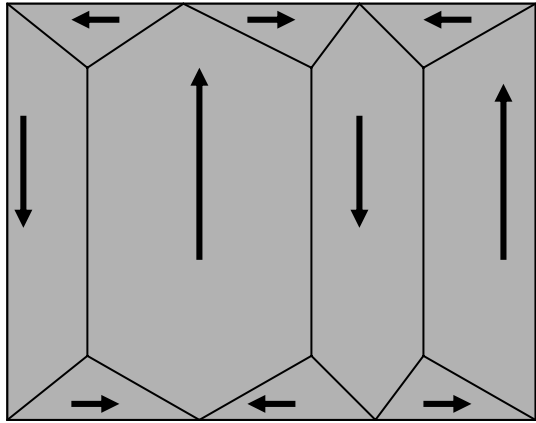
- **Ferrit từ:** Cấu tạo từ các oxýt sắt từ Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , MnO ...Có tính chất như sắt từ, điện trở suất cao

->Tổn hao ít, dùng trong các biến áp cao tần, Lõi ăng ten

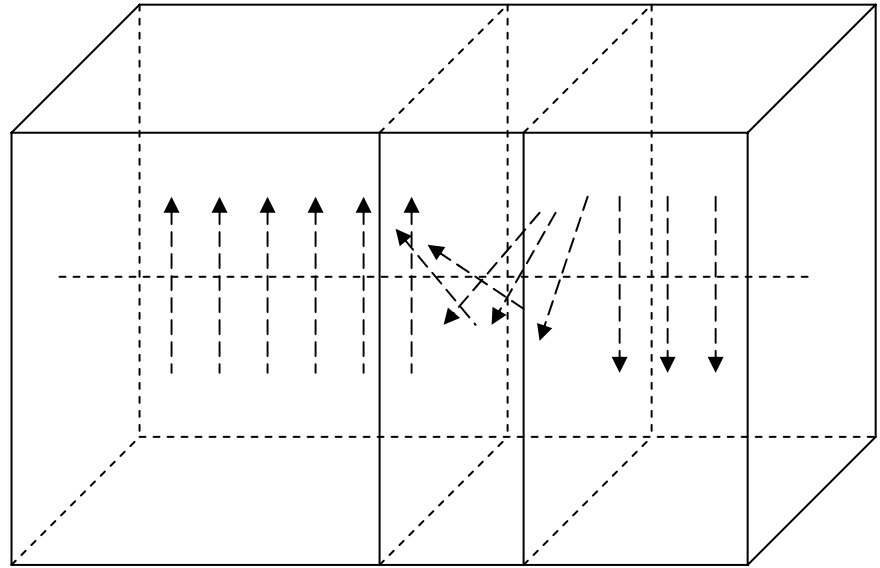


$F > 20000 \text{ Hz}$

Miền từ



Vách miền



B_0

B

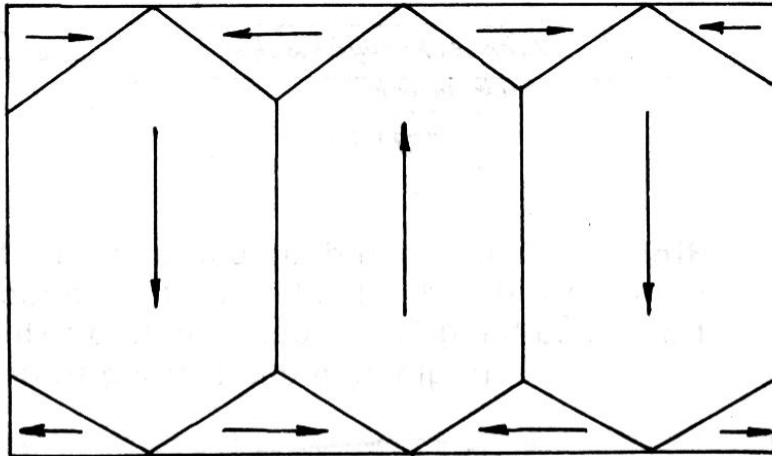
Quay mômen từ độ

Dịch chuyển vách miền không thuận nghịch

Dịch chuyển vách miền thuận nghịch

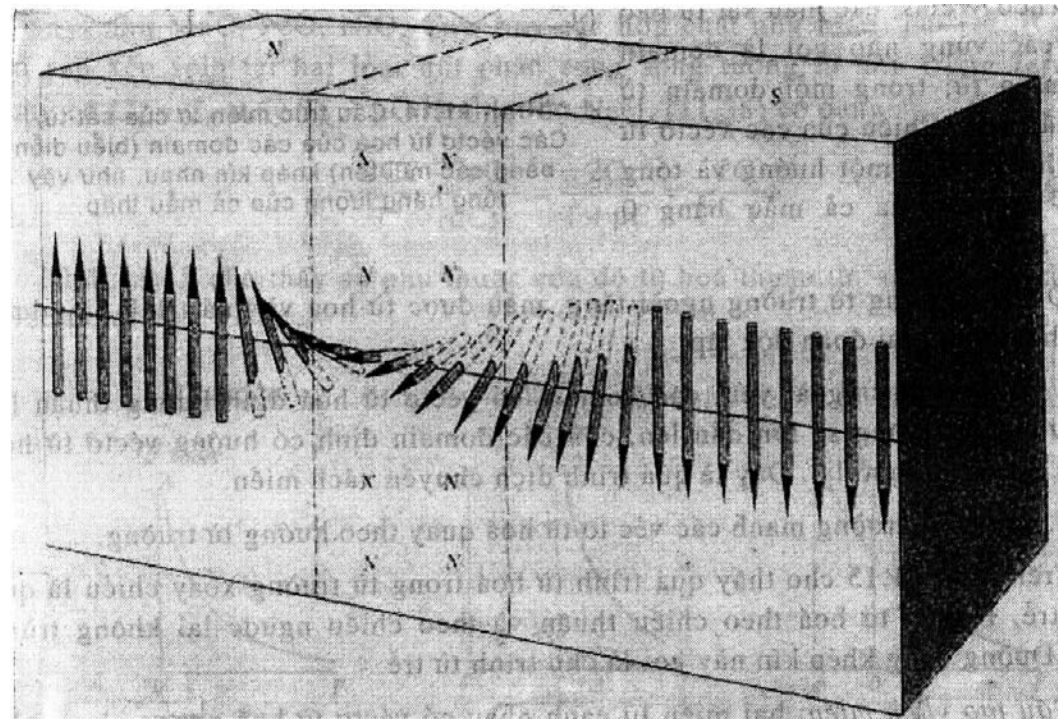
H

Miền từ, cơ chế từ hoá



Hình 11.14. Cấu trúc miền từ của sắt từ. Các vectơ từ hoá của các domain (biểu diễn bằng các mũi tên) khép kín nhau, như vậy tổng năng lượng của cả mẫu thấp.

Vách miền



Hình 11.16. Cấu trúc vách miền Bloch; vùng chuyển tiếp trong sắt có độ dày cỡ 300 hằng số mạng.

BÀI GIẢNG VẬT LÝ ĐẠI CƯỜNG

Tác giả: PGS. TS Đỗ Ngọc Uẩn

Viện Vật lý kỹ thuật

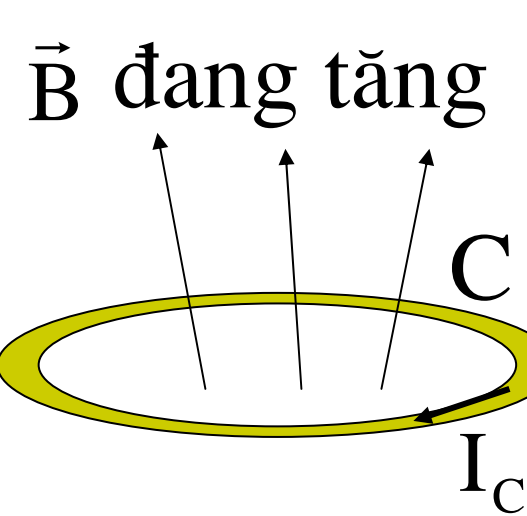
Trường ĐH Bách khoa Hà nội

Chương 7

TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

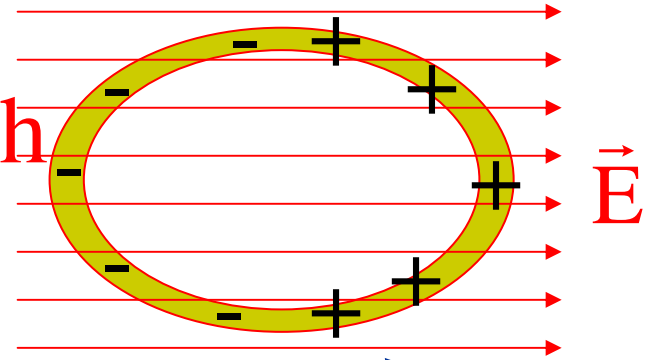
1. Luận điểm thứ nhất của Mắcxoén (Maxwell)

1.1. Phát biểu luận điểm



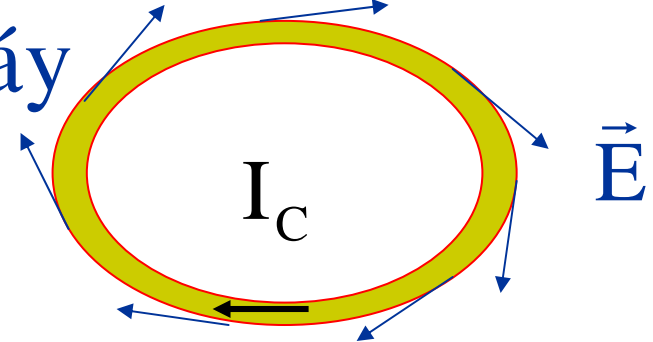
Điện trường tĩnh

$$\oint_C \vec{E} d\vec{l} = 0$$



Điện trường xoáy

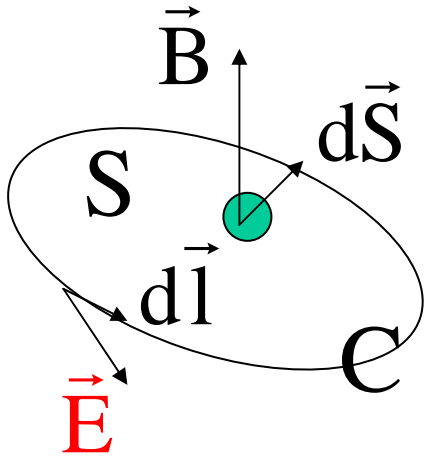
$$\oint_C \vec{E} d\vec{l} \neq 0$$



Điện trường gây ra dòng điện cảm ứng có đường sức khép kín \Rightarrow Điện trường xoáy.

Luận điểm thứ nhất: **Bất kì một từ trường nào biến đổi theo thời gian cũng sinh ra một điện trường xoáy**

1.2. Phương trình Mắcxoen-Faraday



SĐĐ cảm ứng

$$\varepsilon_c = -\frac{d\Phi_m}{dt} = -\frac{d}{dt} \left(\int_S \vec{B} d\vec{S} \right)$$

Theo định nghĩa SĐĐ: $\varepsilon_c = \oint_C \vec{E} d\vec{l}$

$$\oint_C \vec{E} d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} d\vec{S}$$

Lưu số của véc tơ cường độ điện trường dọc theo một đường cong kín bất kì bằng về giá trị tuyệt đối nhưng trái dấu với tốc độ biến thiên theo thời gian của từ thông qua diện tích giới hạn bởi đường cong đó

Dạng vi phân phương trình Mắcxoen-Faraday

$$\oint_C \vec{E} d\vec{l} = \int_S \text{rot} \vec{E} d\vec{S}$$

$$\oint_C \vec{E} d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} d\vec{S}$$

$$\text{rot} \vec{E} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_x & E_y & E_z \end{vmatrix}$$

$$\int_S \text{rot} \vec{E} d\vec{S} = \int_S \left(-\frac{d\vec{B}}{dt} \right) d\vec{S}$$

$$\text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

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

Ý nghĩa: Xác định cường độ điện trường khi biết qui luật biến đổi từ trường theo thời gian

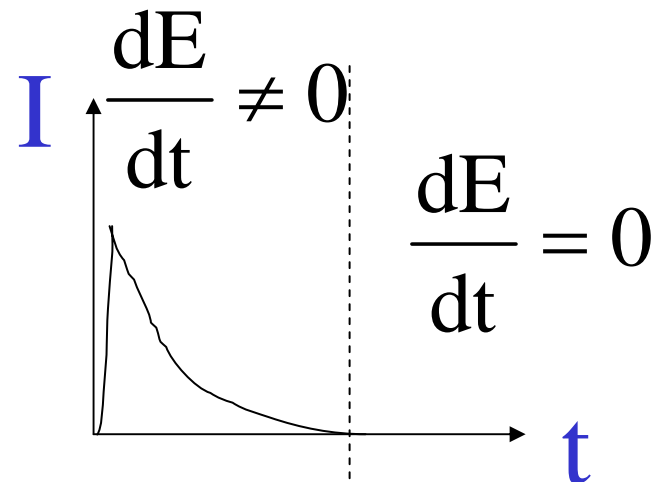
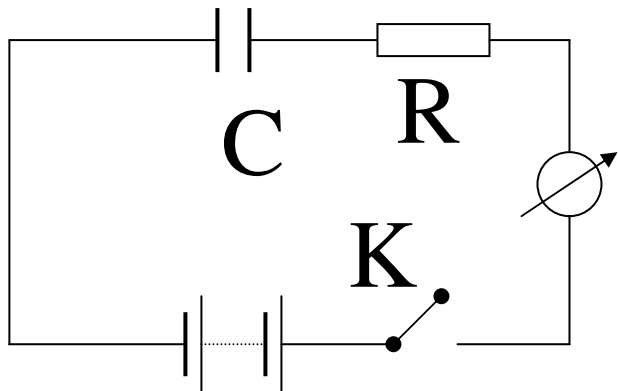
2. Luận điểm thứ hai của Mắcxoen (Maxwell)

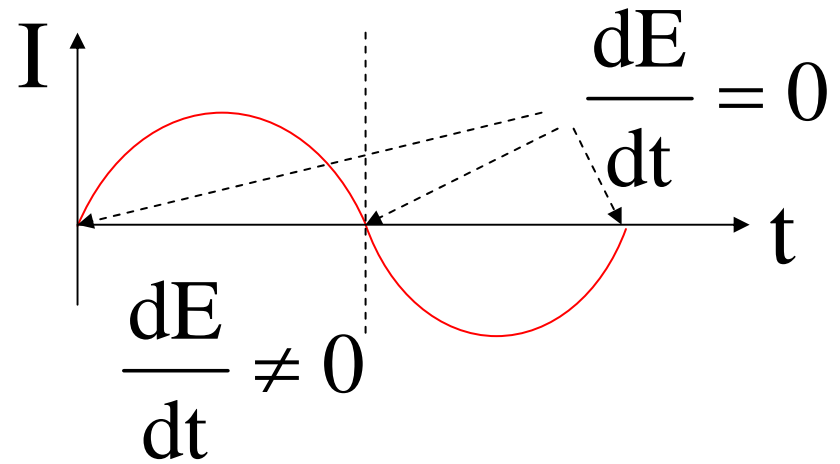
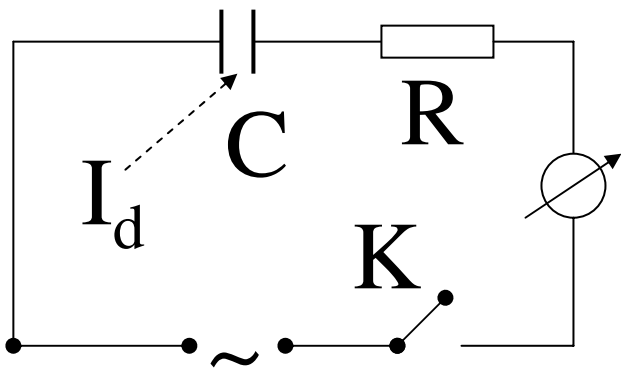
2.1. Phát biểu luận điểm:

Bất kì một điện trường nào biến thiên theo thời gian cũng sinh ra từ trường

2.2. Phương trình Mắcxoen-Ampe

Dòng điện dịch là dòng điện tương đương với điện trường biến đổi theo thời gian về phương diện sinh ra từ trường





Dòng qua tụ C là dòng điện dịch I_d

Dòng qua R là dòng điện dẫn I

$$I = I_d$$

Mật độ dòng điện dịch:

$$J_d = \frac{I_d}{S} = \frac{I}{S}$$

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

$$J_d = \frac{1}{S} \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{q}{S} \right) = \frac{d\sigma}{dt}$$

$$\mathbf{D} = \sigma$$

$$J_d = \frac{dD}{dt}$$

$$\vec{J}_d = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

Véc tơ mật độ dòng điện dịch bằng tốc độ biến thiên theo thời gian của véc tơ cảm ứng điện

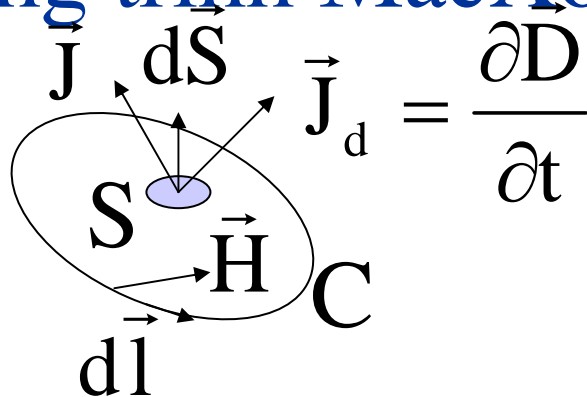
Xét về phương diện sinh ra từ trường thì bất cứ một điện trường nào biến đổi theo thời gian cũng giống như một dòng điện gọi là dòng điện dịch có véc tơ mật độ dòng $\vec{J}_d = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$

\vec{D} véc tơ cảm ứng điện

Trong điện môi có phân cực nên $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}_e$

$$\vec{J}_d = \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \frac{\partial \vec{P}_e}{\partial t}$$

Phương trình ~~Maxwell~~ **MacXoen-Ampe**: $\vec{J}_{tp} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$



ĐL về dòng tp (Ampe)

$$\oint_C \vec{H} d\vec{l} = I_{tp}$$

$$I_{tp} = \int_S \vec{J}_{tp} d\vec{S} = \int_S (\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) d\vec{S}$$

PT M-A dạng tích phân $\oint_C \vec{H} d\vec{l} = \int_S (\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) d\vec{S}$

Lưu số của véc tơ cường độ từ trường dọc theo đường cong kín bất kì bằng cường độ dòng điện toàn phần chạy qua diện tích giới hạn bởi đường cong kín đó

Phương trình M-A dạng vi phân $\text{rot} \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$

ý nghĩa: Xác định cường độ từ trường khi biết dòng và qui luật phân bố, biến đổi điện trường theo thời gian

3. Trường điện từ và hệ thống PT Măcxoen

Điện trường và từ trường đồng thời tồn tại trong không gian tạo thành một trường thống nhất gọi là **trường điện từ**

Năng lượng trường điện từ: **mật độ năng lượng**

$$\varpi = \varpi_e + \varpi_m = \frac{1}{2}(\varepsilon_0 \varepsilon E^2 + \mu_0 \mu H^2) = \frac{1}{2}(ED + BH)$$

Năng lượng trường điện từ trong thể tích V

$$\begin{aligned} W &= \int_V \varpi dV = \frac{1}{2} \int_V (\varepsilon_0 \varepsilon E^2 + \mu_0 \mu H^2) dV \\ &= \frac{1}{2} \int_V (ED + BH) dV \end{aligned}$$

Hệ thống PT Măcxoen • **Dạng tích phân:**

p/t M-F

$$\oint_C \vec{E} d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} d\vec{S}$$

Đ/L O-G đối với điện trường

Đ/L O-G đối với từ trường

Các p/t liên hệ trường

$$\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E}$$

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}$$

• **Dạng vi phân**

$$\text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \text{rot} \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

p/t M-A

$$\oint_C \vec{H} d\vec{l} = \int_S (\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) d\vec{S}$$

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = \sum_i q_i$$

$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$$

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

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

$$\text{div} \vec{B} = 0$$

Điện trường và từ trường

$$\vec{E} = \vec{E}(x, y, z, t)$$

$$\vec{D} = \vec{D}(x, y, z, t)$$

$$\vec{H} = \vec{H}(x, y, z, t)$$

$$\vec{B} = \vec{B}(x, y, z, t)$$

Điện trường tĩnh và

$$\vec{E} = \vec{E}(x, y, z)$$

$$\vec{D} = \vec{D}(x, y, z)$$

$$\vec{H} = 0 \quad \vec{B} = 0$$

$$\oint_C \vec{E} d\vec{l} = 0 \quad \text{rot} \vec{E} = 0$$

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = \sum_i q_i \quad \text{div} \vec{D} = \rho$$

$$\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E}$$

từ trường tĩnh

$$\vec{H} = \vec{H}(x, y, z)$$

$$\vec{B} = \vec{B}(x, y, z)$$

$$\vec{E} = 0 \quad \vec{D} = 0$$

$$\oint_C \vec{H} d\vec{l} = I \quad \text{rot} \vec{H} = \vec{J}$$

$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0 \quad \text{div} \vec{B} = 0$$

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

Sóng điện từ

$$\begin{array}{lll} \vec{E} = \vec{E}(x, y, z, t) & \vec{H} = \vec{H}(x, y, z, t) & \rho = 0 \\ \vec{D} = \vec{D}(x, y, z, t) & \vec{B} = \vec{B}(x, y, z, t) & \vec{J} = 0 \end{array}$$

$$\text{rot} \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\text{div} \vec{D} = 0$$

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E}$$

$$\text{rot} \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\text{div} \vec{B} = 0$$

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

- Dự đoán được tồn tại sóng điện từ
- Xây dựng thuyết điện từ về sóng ánh sáng
 $\lambda = 0,45 \div 0,75 \text{ } \mu\text{m}$
- Trước thực nghiệm 20 năm

BÀI GIẢNG VẬT LÝ ĐẠI CƯỜNG

Tác giả: PGS. TS Đỗ Ngọc Uẩn

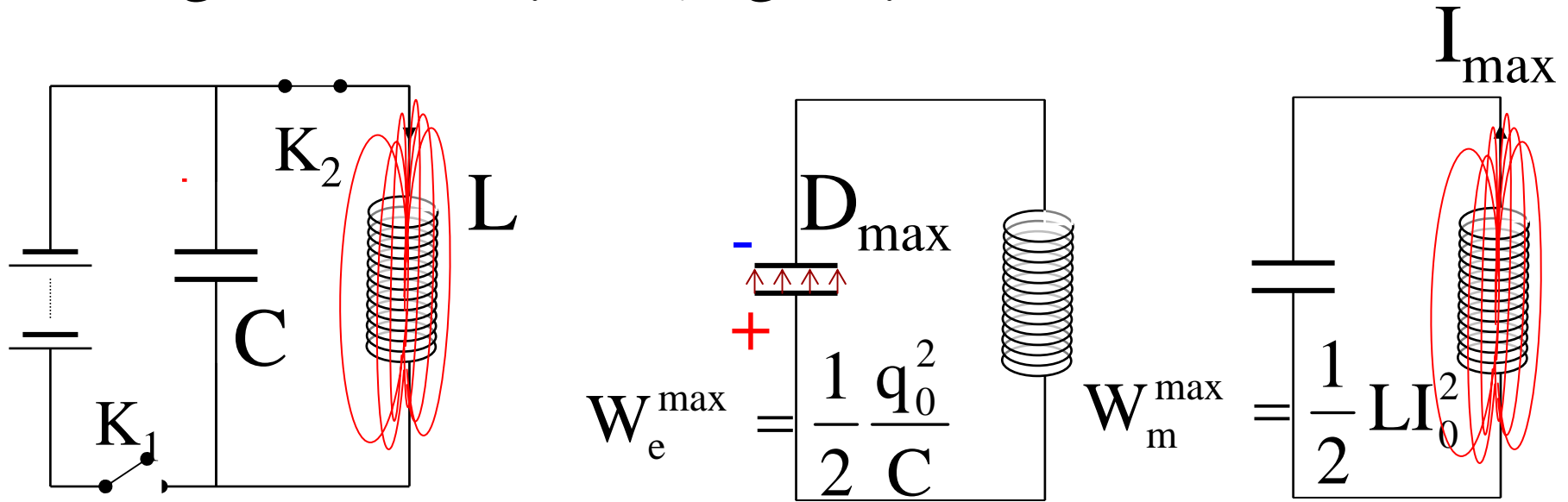
Viện Vật lý kỹ thuật

Trường ĐH Bách khoa Hà nội

DAO ĐỘNG & SÓNG ĐIỆN TỪ

(Chương 8, 10)

1. Dao động điện từ điều hoà: Biến đổi tuần hoàn giữa các đại lượng điện và từ



- Mạch **không có điện trở thuần**, không bị mất mát năng lượng

$$W_e + W_m = \text{const}$$

$$\frac{1}{2} \frac{q^2}{C} + \frac{1}{2} LI^2 = \text{const}$$

$$\frac{q}{C} \frac{dq}{dt} + LI \frac{dI}{dt} = 0$$

$$\frac{q}{C} + L \frac{dI}{dt} = 0 \quad \text{Lấy đạo hàm hai vế theo thời gian}$$

$$\frac{d^2 I}{dt^2} + \omega_0^2 I = 0$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$$

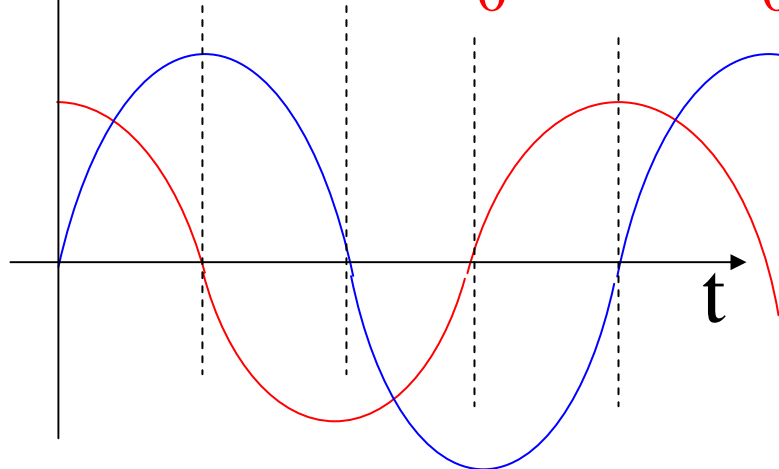
/ Dao động điện từ trong mạch LC là dao động điều hoà

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}$$

$$I = I_0 \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

I, q

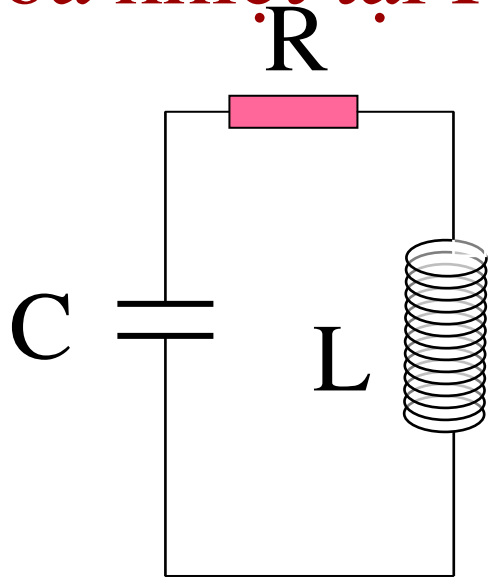
$$I = I_0 \cos \omega_0 t$$



$$q = q_0 \sin \omega_0 t$$

2. Dao động điện từ tắt dần

Toả nhiệt tại R



Biên độ dòng (điện tích) giảm dần \rightarrow tắt hẳn

6.1 f/t Dao động điện từ tắt dần

Toả nhiệt tại R, mất năng lượng trong dt:

$$-dW = RI^2 dt$$

$$\frac{q}{C} + L \frac{dI}{dt} = -RI$$

$$-d\left(\frac{1}{2} \frac{q^2}{C} + \frac{1}{2} LI^2\right) = RI^2 dt$$

$$\frac{d^2 I}{dt^2} + 2\beta \frac{dI}{dt} + \omega_0^2 I = 0$$

$$\frac{q}{C} \frac{dq}{dt} + LI \frac{dI}{dt} = -RI^2$$

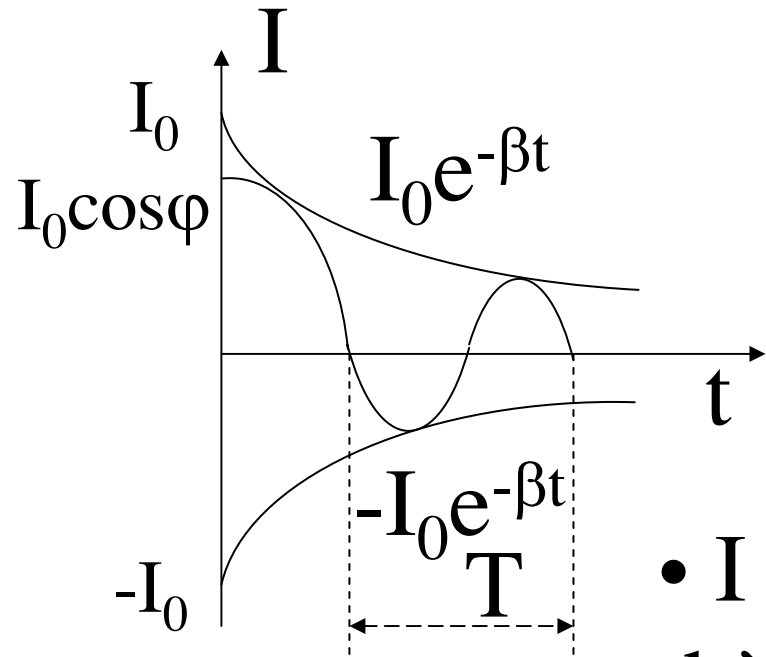
$$2\beta = \frac{R}{L} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Điều kiện để có dao động $\omega_0 > \beta$

$$I = I_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi)$$

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}$$



$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}}$$

• I giảm dần theo hàm mũ với thời gian

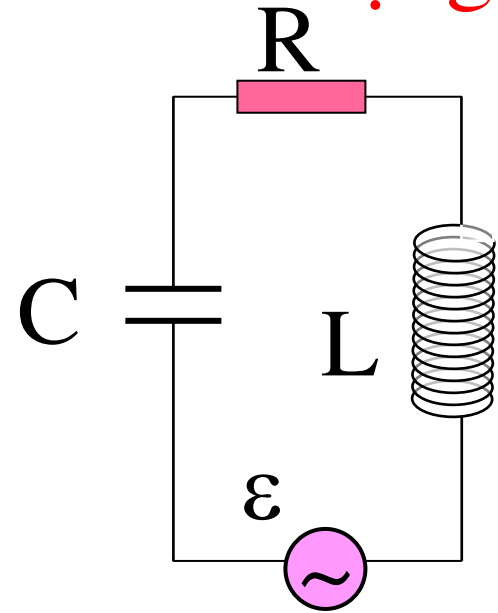
$$\frac{1}{LC} > \left(\frac{R}{2L}\right)^2 \quad R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$

• Điều kiện để có dao động $\omega_0 > \beta$

$$R_0 = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$

• Điện trở tới hạn

3. Dao động điện từ cưỡng bức: $\varepsilon = \varepsilon_0 \sin \Omega t$



Trong thời gian dt mất $RI^2 dt$,
cung cấp thêm $\varepsilon I dt$

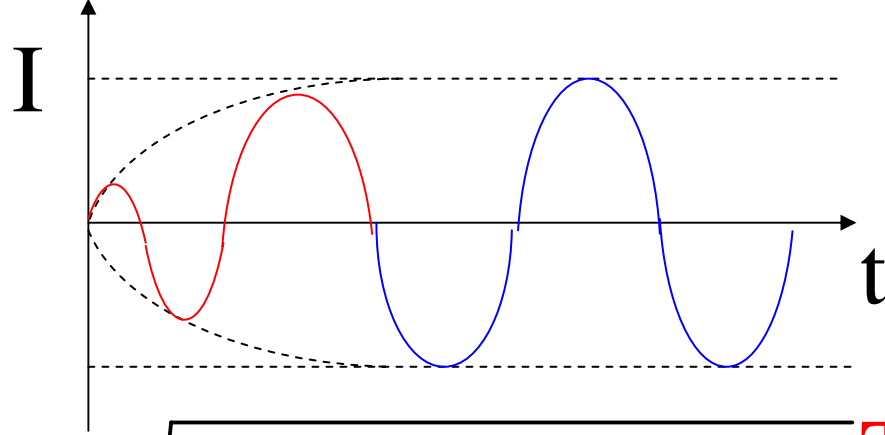
$$d\left(\frac{1}{2} \frac{q^2}{C} + \frac{1}{2} LI^2\right) + RI^2 dt = \varepsilon \cdot I \cdot dt$$

$$\frac{q}{C} \frac{dq}{dt} + LI \frac{dI}{dt} + RI^2 = I \varepsilon_0 \sin \Omega t$$

$$\frac{d^2 I}{dt^2} + 2\beta \frac{dI}{dt} + \omega_0^2 I = \frac{\varepsilon_0 \Omega}{L} \cos \Omega t$$

$I = I_{td} + I_{cb}$ sau một thời gian I_{td} tắt hẳn, chỉ còn I_{cb}

$$I = I_{cb} = I_0 \cos(\Omega t + \Phi)$$



$$I_0 = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{R^2 + \left(\Omega L - \frac{1}{\Omega C}\right)^2}}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\Omega L - \frac{1}{\Omega C}\right)^2} \quad \text{Tổng trở của mạch} \quad \text{tg}\Phi = \frac{\Omega L - \frac{1}{\Omega C}}{R}$$

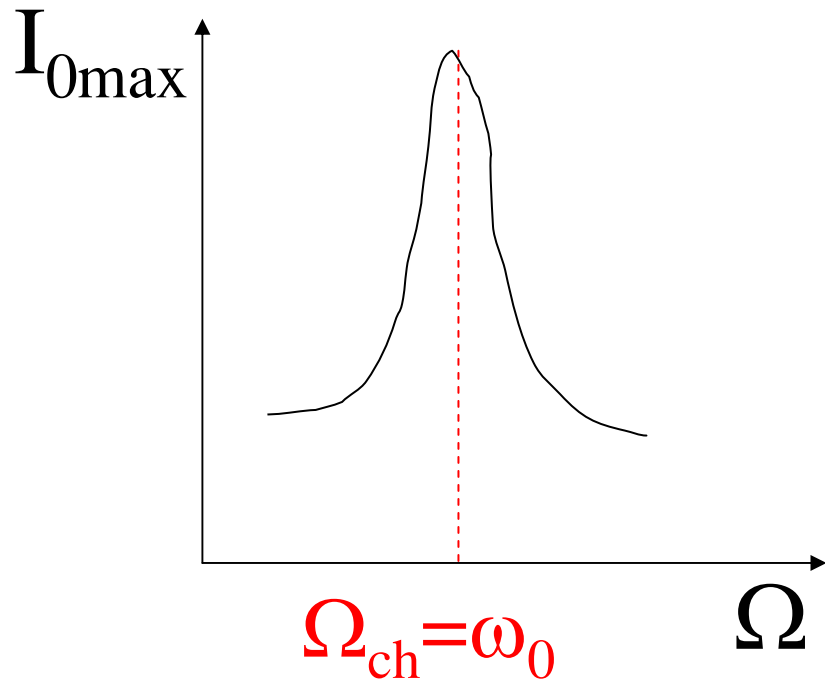
$$Z_L = \Omega L \quad \text{Cảm kháng} \quad Z_C = \frac{1}{\Omega C} \quad \text{Dung kháng}$$

Cộng hưởng I_0 đạt cực đại

$$\Omega L = \frac{1}{\Omega C} \rightarrow \Omega_{\text{ch}} = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0 \quad I_{0\text{max}} = \frac{\varepsilon_0}{R}$$

- Tần số cưỡng bức bằng tần số riêng của mạch \rightarrow Cộng hưởng

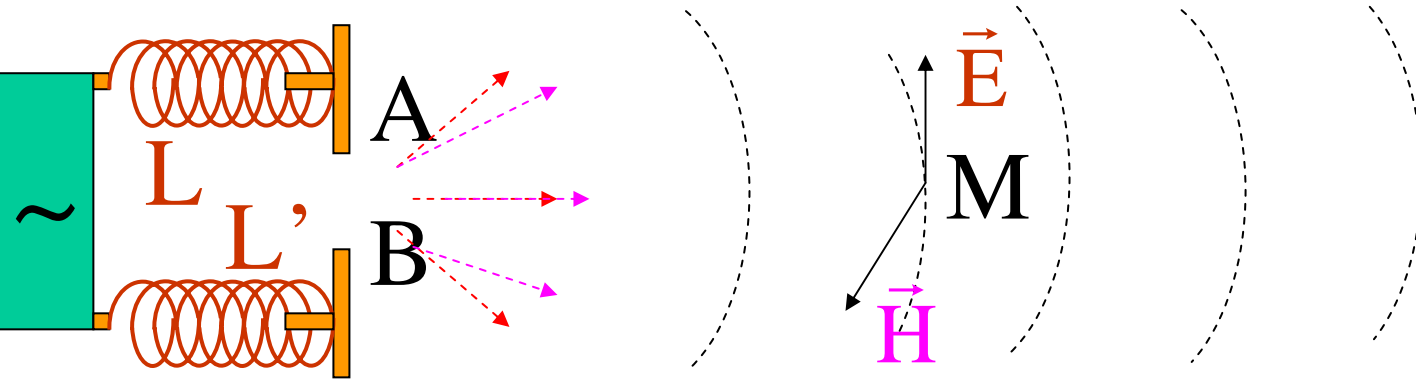
/ Ứng dụng: Hiệu suất cao nhất -> Bù pha



Chương 10: Sóng điện từ

1. Sự tạo thành sóng điện từ

Thí nghiệm của Héc:



. Sóng điện từ là trường điện từ biến thiên truyền đi trong không gian

2. Phương trình Макс xoen của sóng điện từ

$$\vec{E} = \vec{E}(x, y, z, t) \quad \vec{H} = \vec{H}(x, y, z, t) \quad \rho = 0$$

$$\vec{D} = \vec{D}(x, y, z, t) \quad \vec{B} = \vec{B}(x, y, z, t) \quad \vec{J} = 0$$

$$\text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\text{rot} \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E} \quad \text{div} \vec{D} = 0$$

$$\text{div} \vec{B} = 0 \quad \vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}$$

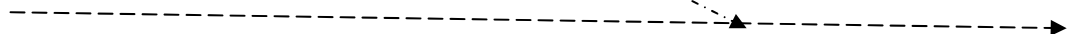
Phương trình sóng

$$\text{rot} \vec{E} = -\mu_0 \mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}$$

$$\frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = -\frac{1}{\mu_0 \mu} \text{rot} \vec{E}$$

$$\text{rot} \vec{H} = \epsilon_0 \epsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$\text{rot} \left(\frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \right) = \epsilon_0 \epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$



$$-\frac{1}{\mu_0\mu} \operatorname{rot}(\operatorname{rot}\vec{E}) = \varepsilon_0\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$\operatorname{rot}(\operatorname{rot}\vec{E}) + \mu_0\mu\varepsilon_0\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$$

$$-\Delta\vec{E} + \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \qquad \Delta\vec{E} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\mu\varepsilon_0\varepsilon}} \qquad v = \frac{c}{\sqrt{\mu\varepsilon}}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$\operatorname{rot}(\operatorname{rot}\vec{E}) = \nabla \operatorname{div}\vec{E} - \nabla^2 \vec{E} = -\Delta\vec{E}$$

3. Những t/c của sóng điện từ:

- Tồn tại cả trong chất, chân không
- Sóng ngang: E&H vuông góc với v

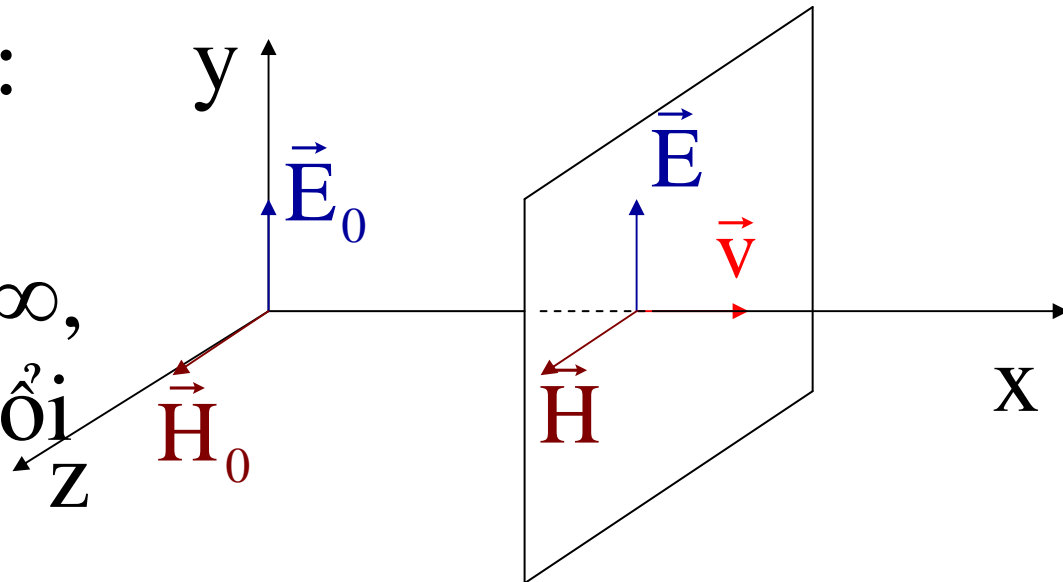
• Vận tốc trong môi trường chất

$$v = \frac{C}{\sqrt{\mu\epsilon}}$$

• Vận tốc trong chân không

$$C = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

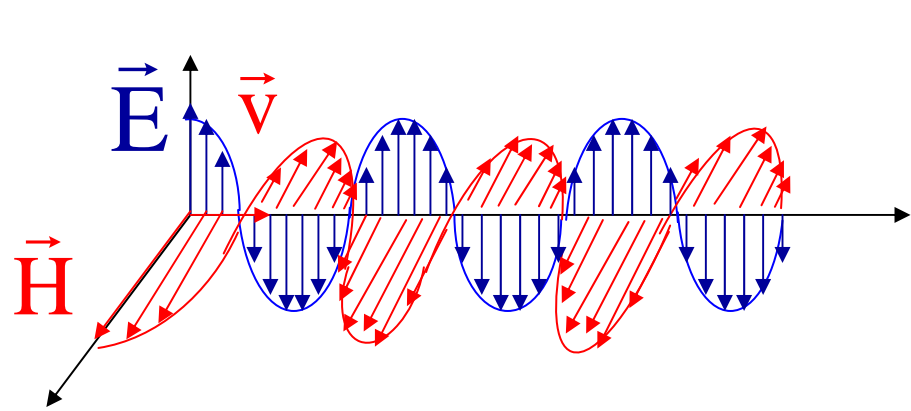
Sóng điện từ đơn sắc:
Mặt sóng là các mặt phẳng song song: từ ∞ , phương E, H không đổi



Hai véc tơ luôn vuông góc $\vec{E} \perp \vec{H}$

$\vec{E}, \vec{H}, \vec{v}$ theo thứ tự đó hợp thành tam diện
thuận 3 mặt vuông

\vec{E}, \vec{H} luôn dao động cùng pha và có tỷ lệ



$$\sqrt{\epsilon_0 \epsilon} |\vec{E}| = \sqrt{\mu_0 \mu} |\vec{H}|$$

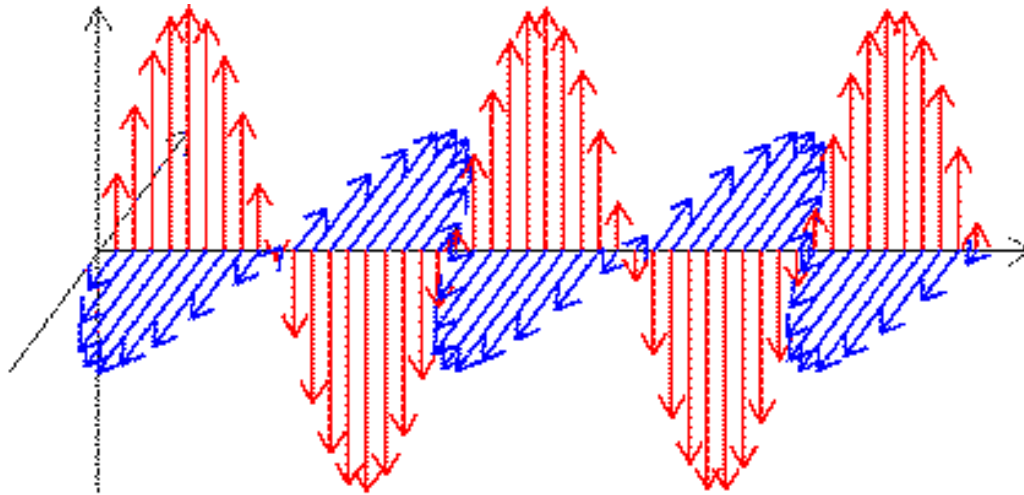
$$E = E_m \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right)$$

$$H = H_m \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right)$$

4. Năng lượng sóng điện
từ

$$\varpi = \frac{1}{2} \sqrt{\epsilon_0 \epsilon} E^2 + \frac{1}{2} \sqrt{\mu_0 \mu} H^2$$

Sóng điện từ lan truyền:



$$\varpi = \varepsilon_0 \varepsilon E^2 = \mu_0 \mu H^2 = \sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon} E \sqrt{\mu_0 \mu} H$$

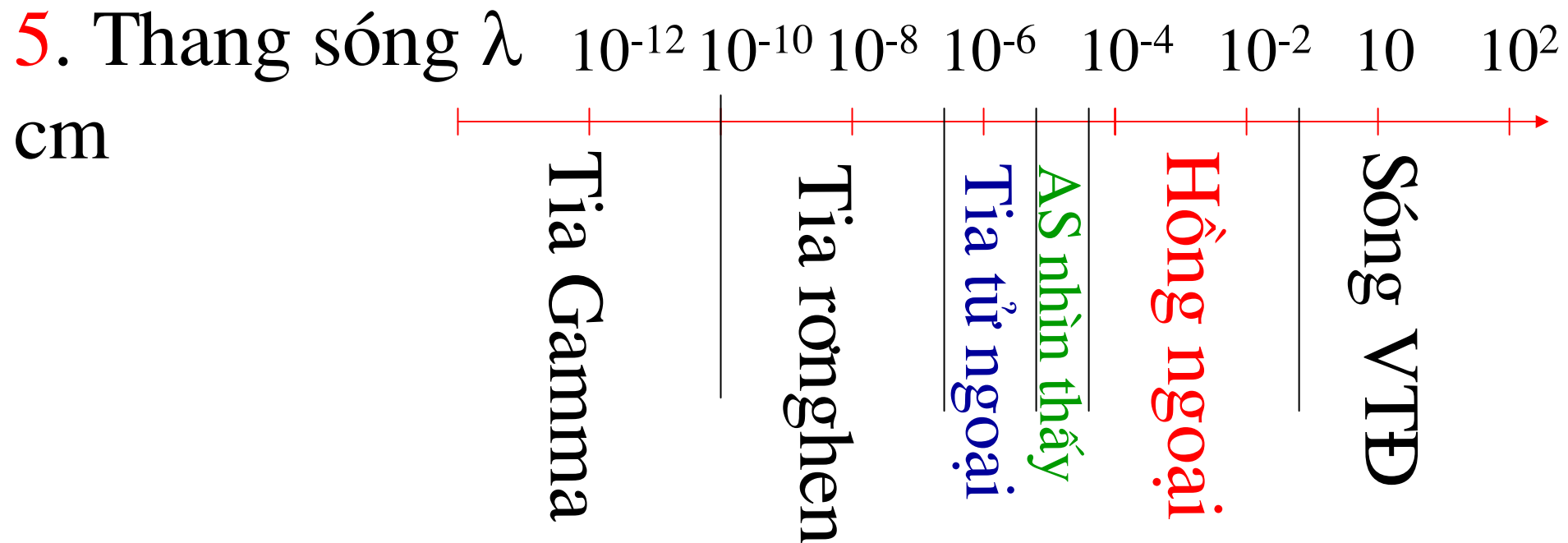
- Năng thông của sóng điện từ

$$\Phi = \varpi v$$

$$\Phi = EH$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \mu \varepsilon_0 \varepsilon}}$$

- Véc tơ Umôp-Poynting $\vec{\Phi} = \vec{E} \times \vec{H}$

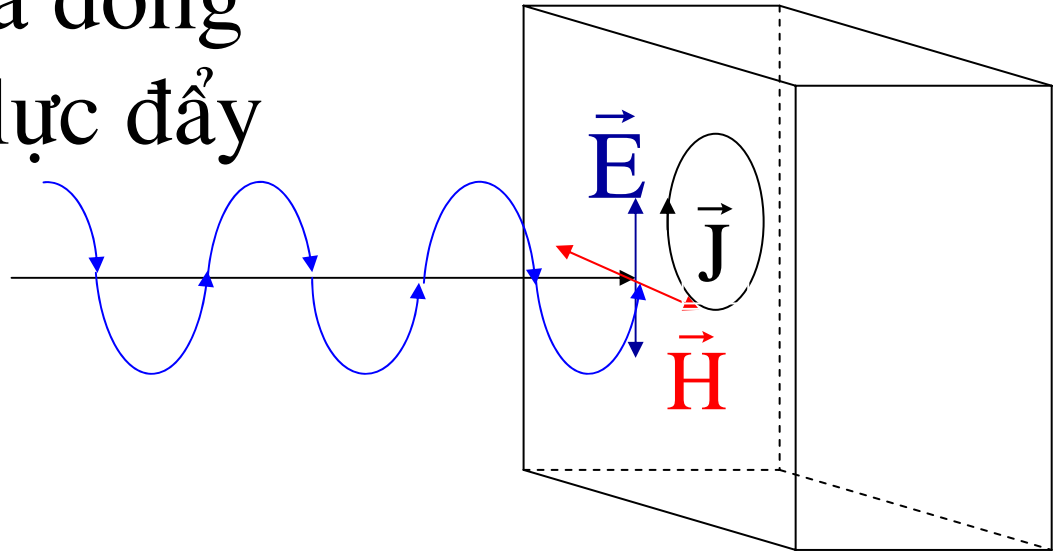


6. Áp suất sóng điện từ

Trường điện từ gây ra dòng cảm ứng $\vec{J} \rightarrow$ gây ra lực đẩy

áp suất $p = (1+k) \varpi$

$$\varpi \leq p \leq 2\varpi$$



AS mặt trời có năng thông $\Phi \sim 10^3 \text{ W/m}^2$

$$\varpi = \Phi/c = 10^3/(3 \cdot 10^8) \text{ J/m}^3$$

áp suất AS mặt trời tác dụng lên mặt vật dẫn phản xạ hoàn toàn $k=1$:

$$p = 2 \cdot 10^3/(3 \cdot 10^8) = 0,7 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$$