

Chương 1. Điện trường và Từ trường, 10 g (6 giờ LT, 2 giờ BT, 2g TH)

1.1. Điện trường và điện thế

1.2. Dòng điện không đổi. Mật độ dòng điện. Phương trình liên tục. Suất điện động

1.3 Các định luật cơ bản của dòng điện không đổi.

1.4 Độ dẫn điện và điện trở suất

1.5 Từ trường, các đại lượng của từ trường

1.6 Từ thông và định lý O-G đối với từ trường

1.7 Định luật Ampe về tương tác từ của dòng điện và dòng điện toàn phần

1.8 Tương tác của từ trường với dòng điện và hạt điện tích

1.9. Một số ứng dụng thực tiễn của điện trường và từ trường

1.1. Điện trường và điện thế

Nhắc lại khái niệm

- Một số vật khi cọ sát vào len dạ sẽ có khả năng hút được các vật nhẹ khác: các vật đó đã bị nhiễm điện hay trên vật đã có điện tích
- Trong tự nhiên có hai loại điện tích: điện tích dương và điện tích âm.
- Điện tích trên một vật bất kì có cấu tạo gián đoạn, bằng một số nguyên lần điện tích nguyên tố. Điện tích nguyên tố là điện tích nhỏ nhất được biết đến trong tự nhiên, $e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$

	Proton	Electron
Điện tích (C)	+e	-e
Khối lượng (kg)	$1,67 \cdot 10^{-27}$	$9,1 \cdot 10^{-31}$

$$q = n \cdot e$$

- Proton nằm trong hạt nhân nguyên tử, còn electron chuyển động xung quanh hạt nhân nguyên tử.

Nhắc lại khái niệm

- Ở trạng thái bình thường, số proton và electron trong một nguyên tử luôn bằng nhau (bằng số thứ tự Z trong bảng tuần hoàn Mendeleev), nguyên tử trung hòa điện.
- Vật mang điện tích dương hay âm là do vật đó đã mất đi hoặc nhận thêm một số electron nào đó so với lúc vật không mang điện
- Các điện tích không tự sinh ra mà cũng không tự mất đi, chúng chỉ có thể truyền từ vật này sang vật khác hoặc dịch chuyển bên trong vật mà thôi
- Vật dẫn là vật để cho điện tích chuyển động tự do trong toàn bộ thể tích của vật, do đó trạng thái nhiễm điện được truyền đi (phân bố lại) trên vật.
- Điện môi không có tính chất trên, mà điện tích xuất hiện ở đâu sẽ định xứ ở đấy.

Định luật Coulomb

- Thực nghiệm chứng tỏ các điện tích cùng dấu đẩy nhau, các điện tích khác dấu hút nhau. Tương tác giữa các điện tích đứng yên được gọi là tương tác tĩnh điện (hay tương tác Coulomb).

Định luật Coulomb trong chân không

- “Lực tương tác tĩnh điện giữa hai điện tích điểm có phương nằm trên đường thẳng nối hai điện tích có chiều sao cho hai điện tích trái dấu hút nhau và hai điện tích cùng dấu đẩy nhau, có độ lớn tỉ lệ thuận với tích số độ lớn của hai điện tích và tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách hai điện tích đó.”

$$F_{12} = F_{21} = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$$

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

$$\epsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2} \quad (\text{hằng số điện})$$

Định luật Coulomb

Định luật Coulomb trong các môi trường

- Thực nghiệm chứng tỏ lực tương tác giữa các điện tích đặt trong môi trường giảm đi ε lần so với lực tương tác giữa chúng đặt trong chân không.
- ε là một đại lượng không có thứ nguyên đặc trưng cho tính chất điện của môi trường và được gọi là hằng số điện môi của môi trường.

$$F_{12} = F_{21} = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\varepsilon \cdot r^2}$$

- Định luật Coulomb là định luật cơ bản của tĩnh điện học cho ta xác định lực tương tác giữa hai điện tích điểm. Kết hợp với nguyên lý tổng hợp lực ta có thể xác định được lực tương tác giữa hai vật mang điện bất kì.

Định luật Coulomb

- Giả sử có một hệ điện tích điểm q_1, q_2, \dots, q_n được phân bố gián đoạn trong không gian và một điện tích q_0 đặt trong không gian đó. Gọi $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$ lần lượt là các lực tác dụng của q_1, q_2, \dots, q_n lên điện tích q_0 . Các lực này được xác định bởi định luật Coulomb. Tổng hợp lực tác dụng lên điện tích q_0 là

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

- Để xác định lực tương tác tĩnh điện giữa hai vật mang điện bất kì, ta coi mỗi vật mang điện như một hệ vô số các điện tích điểm. Lực tĩnh điện tác dụng lên mỗi vật sẽ bằng tổng vectơ của tất cả các lực do hệ điện tích của vật này tác dụng lên mỗi điện tích điểm của vật kia.
- Lực tương tác giữa hai quả cầu mang điện đều được xác định bởi định luật Coulomb khi coi điện tích trên mỗi quả cầu như một điện tích điểm tập trung ở tâm của nó.

Điện trường. Vectơ cường độ điện trường

- Các điện tích tương tác với nhau ngay cả khi chúng cách nhau một khoảng r nào đó trong chân không. Vậy lực tương tác giữa các điện tích được truyền đi như thế nào?
- Khoa học đã xác nhận sự tồn tại của điện trường trong không gian bao quanh mỗi điện tích. Chính nhờ điện trường làm nhân tố trung gian, lực tương tác tĩnh điện được truyền từ điện tích này tới điện tích kia với vận tốc hữu hạn.
- Mọi điện tích đặt trong điện trường đều bị điện trường đó tác dụng.

Vectơ cường độ điện trường

- Giả sử ta đặt một điện tích nhỏ q_0 tại một điểm M trong điện trường (gọi là điện tích thử). Điện tích q_0 sẽ bị điện trường tác dụng một lực \vec{F} . Thực nghiệm chứng tỏ tỉ số $\frac{\vec{F}}{q_0}$ không phụ thuộc vào điện tích thử q_0 mà chỉ phụ thuộc vào vị trí của điểm M trong điện trường.
- Tại mỗi điểm xác định trong điện trường tỉ số

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \overrightarrow{const}$$

- Vectơ \vec{E} đặc trưng cho điện trường tại điểm đang xét về mặt tác dụng lực và được gọi là vectơ cường độ điện trường.
- Độ lớn E của vectơ được gọi là cường độ điện trường.

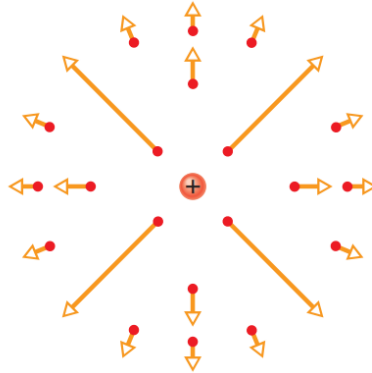
Vectơ cường độ điện trường gây ra bởi một điện tích điểm

- Xét một điện tích điểm có giá trị đại số q . Tại không gian bao quanh điện tích q sẽ xuất hiện điện trường. Ta xác định vectơ cường độ điện trường \vec{E} tại một điểm M cách điện tích q một khoảng r .

- Ta giả sử đặt một điện tích điểm q_0 tại điểm M đó. Lực tác dụng của điện trường lên điện tích q_0 bằng

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|q| \cdot |q_0|}{\epsilon \cdot r^2}$$

- Vectơ cường độ điện trường tại M có phương nằm trên đường thẳng nối hai điện tích.
- Nếu q là điện tích dương thì vectơ cường độ điện trường do nó gây ra sẽ hướng ra xa điện tích q .
- Nếu q là điện tích âm thì vectơ cường độ điện trường do nó gây ra sẽ hướng vào điện tích q .



Vecto cường độ điện trường ở các điểm khác nhau xung quanh một điện tích dương

Vectơ cường độ điện trường gây ra bởi một hệ vật mang điện

- Bài toán: biết sự phân bố điện tích trong không gian, hãy xác định vectơ cường độ điện trường tại mỗi điểm trong điện trường

Nguyên lí chồng chất điện trường

- Xét trường hợp một hệ điện tích điểm q_1, q_2, \dots, q_n phân bố không liên tục trong không gian. Để xác định vectơ cường độ điện trường tổng hợp \vec{E} tại một điểm M nào đó trong điện trường của hệ điện tích điểm trên, ta giả sử đặt tại M một điện tích thử q_0 .
- Lực tổng hợp tác dụng lên q_0

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

Vectơ cường độ điện trường gây ra bởi một hệ vật mang điện

- Vectơ cường độ điện trường tổng hợp tại M

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

“Vectơ cường độ điện trường gây ra bởi một hệ điện tích điểm bằng tổng các vectơ cường độ điện trường gây ra bởi từng điện tích điểm của hệ.”(nguyên lí chồng chất điện trường)

Vecto cường độ điện trường gây ra bởi một hệ vật mang điện

- Nguyên lí chồng chất điện trường có thể áp dụng cho trường hợp hệ điện tích được phân bố liên tục, ví dụ: một dây tích điện đều, một mặt tích điện đều, một vật khối tích điện đều.
- Ta tưởng tượng chia vật tích điện thành nhiều phần nhỏ điện tích điểm dq . Vật đó được coi như một hệ vô số điện tích điểm. $d\vec{E}$ là vecto cường độ điện trường gây ra bởi dq tại một điểm M cách dq một khoảng r và \vec{r} là bán kính vecto hướng từ dq tới điểm M.
- Vecto cường độ điện trường do vật gây ra tại M

$$\vec{E} = \int_{\text{toàn vật}} d\vec{E} = \int_{\text{toàn vật}} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{dq}{\epsilon \cdot r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$$

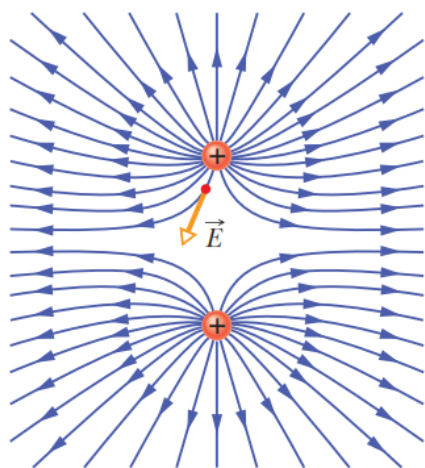
Bài tập: Hãy xác định vecto cường độ điện trường gây bởi: a) một dây chiều dài l tích điện đều q , b) một mặt diện tích S tích điện đều q , c) một vật thể tích V tích điện đều q , tại một điểm M nào đó cách dây/dĩa/vật một khoảng r .

Đường sức điện trường

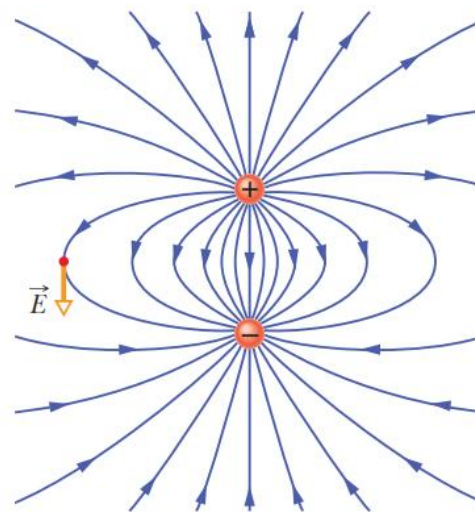
- Đường sức điện trường là đường cong mà tiếp tuyến tại mỗi điểm của nó trùng với phương của vectơ cường độ điện trường tại điểm đó; chiều của đường sức điện trường là chiều của vectơ cường độ điện trường.
- Quy ước: vẽ số đường sức điện trường qua một đơn vị diện tích vuông góc với đường sức bằng cường độ điện trường E tại nơi đặt điện tích. Tập hợp các đường sức điện trường gọi là điện phổ.
- Dựa vào điện phổ ta có thể biết được phương, chiều và độ lớn của vectơ cường độ điện trường tại những điểm khác nhau trong điện trường, chỗ đường sức mau hơn thì điện trường sẽ mạnh hơn; với điện trường đều, điện phổ là những đường thẳng song song cách đều nhau.

Điện phổ

- Ví dụ : Điện phổ của hệ gồm 1 điện tích dương, hệ gồm 1 điện tích âm, hệ gồm 2 điện tích dương, và hệ lưỡng cực điện

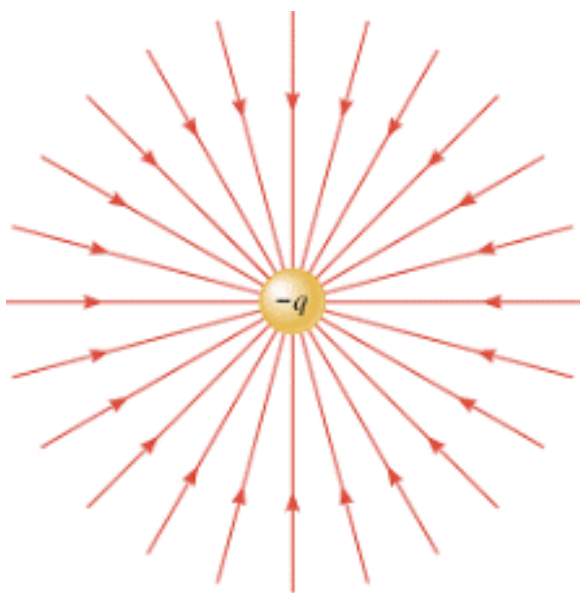


Điện phổ của hệ hai hạt
điện tích dương bằng nhau

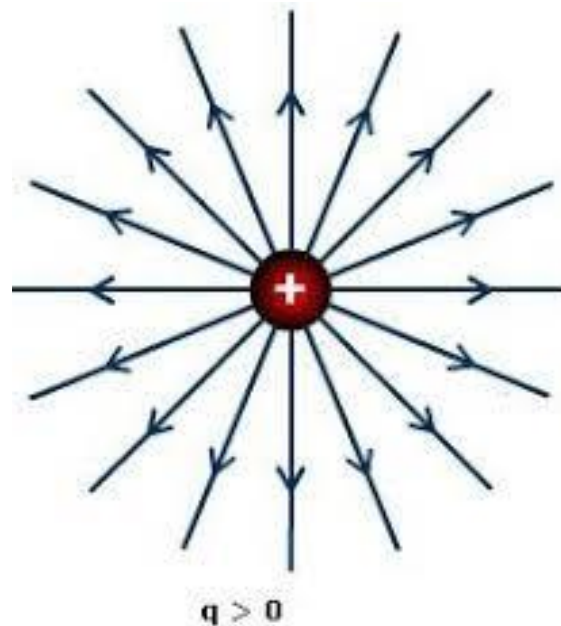


Điện phổ của một dipole điện

Điện phổ

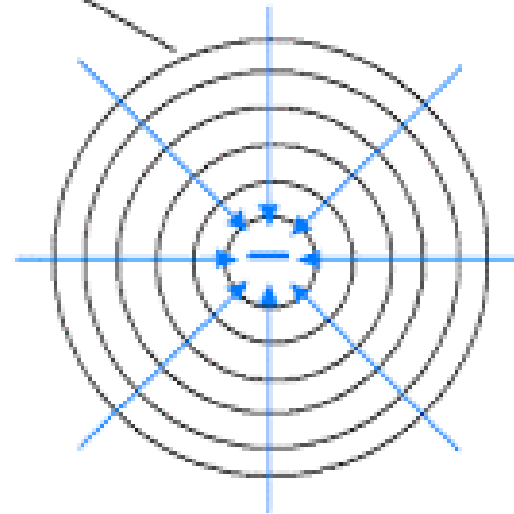
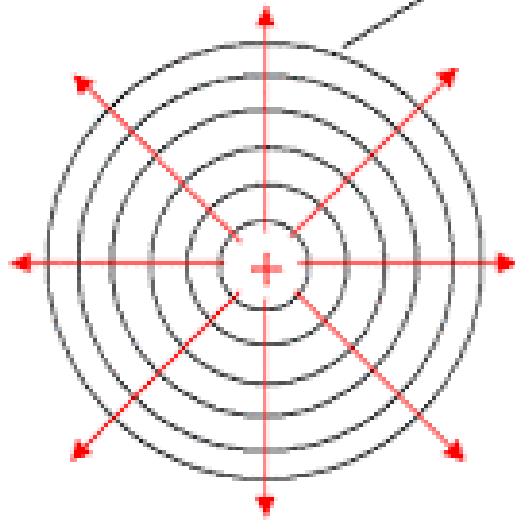


Điện phổ xung quanh một điện tích âm

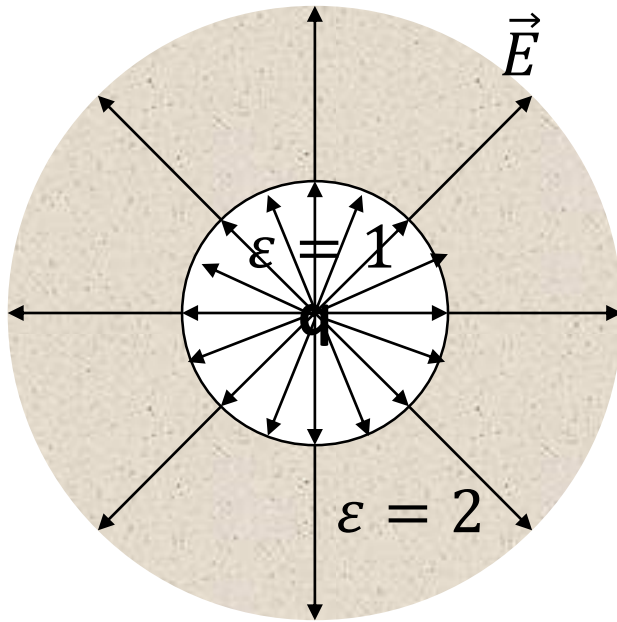


Điện phổ xung quanh một điện tích dương

Equipotential Lines



Vecto cảm ứng điện



Sự gián đoạn của phổ đường sức điện trường

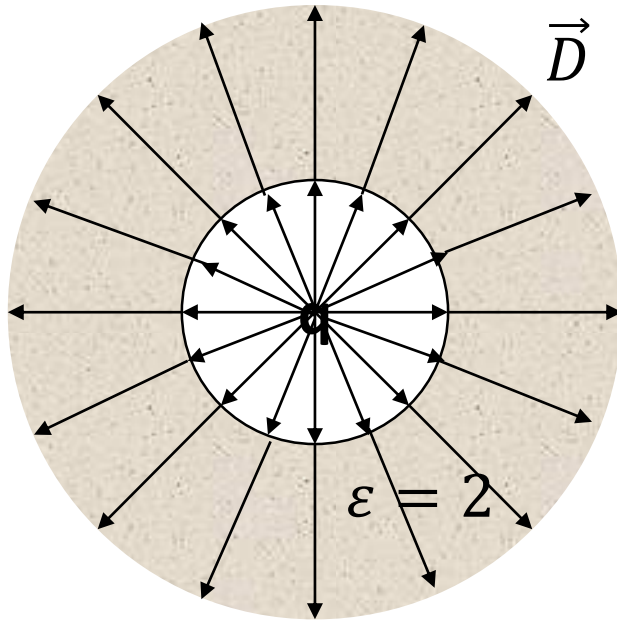
$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|q|}{\epsilon \cdot r^2}$$

- Phổ các đường sức điện trường bị gián đoạn ở mặt phân cách của hai môi trường.
- Đại lượng vật lí không phụ thuộc vào tính chất của môi trường- vecto cảm ứng điện

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

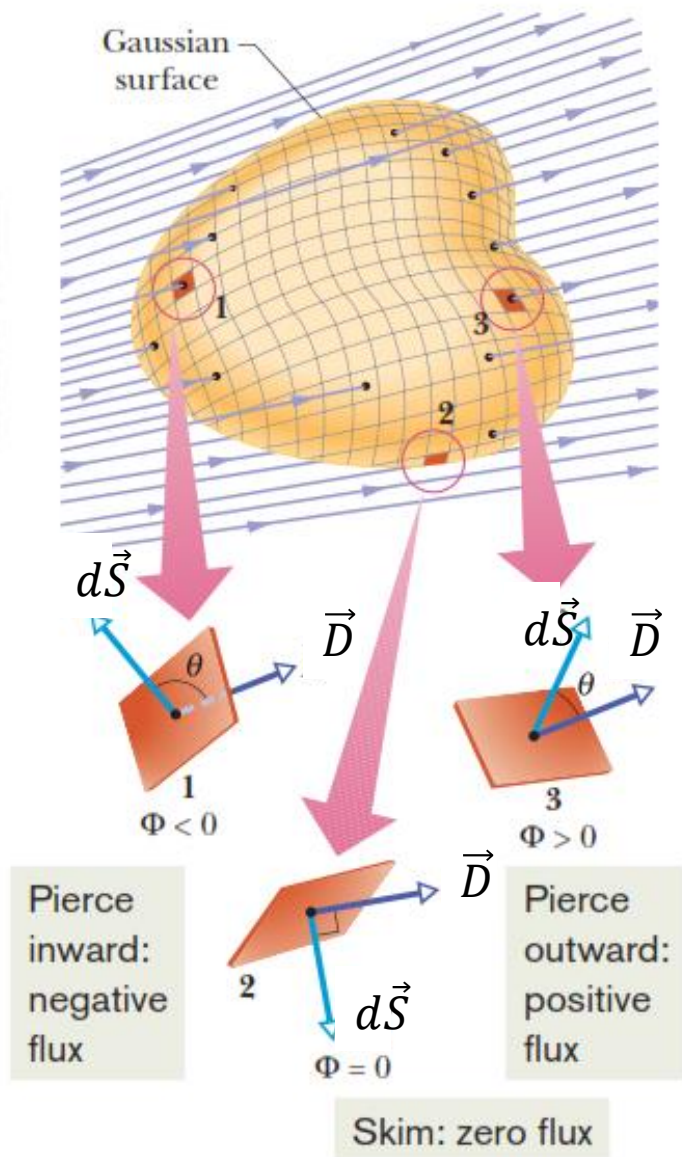
$$D = \frac{|q|}{4\pi r^2}$$

Vecto cảm ứng điện



- Khi đi qua mặt phân cách của hai môi trường, phổ các đường cảm ứng là liên tục

Điện thông (thông lượng cảm ứng điện)



- Giả sử ta đặt một mặt S trong một điện trường bất kì \vec{D} . Ta chia diện tích S thành những diện tích vô cùng nhỏ dS sao cho vectơ cảm ứng điện \vec{D} tại mọi điểm trên diện tích dS có thể coi là bằng nhau.
- Định nghĩa: thông lượng cảm ứng điện hay điện thông gửi qua diện tích dS bằng

$$d\phi = \vec{D} \cdot d\vec{S}$$

$$d\phi = \vec{D} \cdot d\vec{S} = D \cdot dS \cdot \cos\alpha = D_n dS$$

- Thông lượng cảm ứng điện gửi qua toàn bộ diện tích S

$$\phi = \int_{(S)} d\phi = \int_{(S)} \vec{D} \cdot d\vec{S} = \int_{(S)} D_n dS$$

Định lí Gauss

- Điện thông qua một mặt kín bằng tổng đại số các điện tích chứa trong mặt kín ấy

$$\phi = \int_{(S)} \vec{D} \cdot d\vec{S} = \sum_i q_i$$

- Chứng minh định lí (tự đọc)
- Ứng dụng đ/lí Gauss tính điện trường của một mặt cầu mang điện đều

Áp dụng định lí Gauss

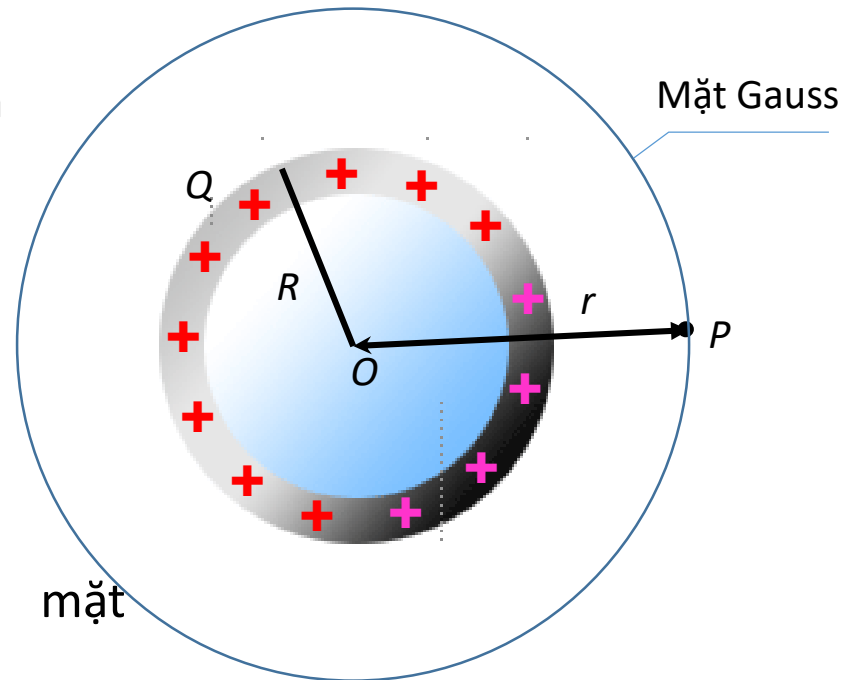
- Xác định cường độ điện trường ứng dụng định lí Gauss

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

- Điểm P bên ngoài, cách O khoảng r

- Dựng mặt Gauss bao quanh, bán kính $r > R$.

- Thông lượng điện cảm qua mặt Gauss, bk r



$$\phi = \int_{(S)} D_n dS = \int_{(S)} D dS = D \int_{(S)} dS = D \cdot 4\pi \cdot r^2$$

- Theo định lí Gauss $\phi = Q \implies D = \frac{Q}{4\pi r^2}$

- Cường độ điện trường bên ngoài quả cầu $E = \frac{D}{\epsilon_0 \epsilon} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0 \epsilon} \cdot \frac{Q}{r^2}$

Áp dụng định lí Gauss

- Bài tập: áp dụng định lí Gauss xác định điện trường của: a) một mặt phẳng vô hạn mang điện đều, b) hai mặt phẳng mang điện tích đối nhau, c) một mặt trụ thẳng dài vô hạn mang điện đều

Điện thế



- Điện tích điểm q_1 đặt tại điểm P trong điện trường của q_2
- Nếu ta “buông” q_1 thì q_1 sẽ di chuyển xa q_2 . Năng lượng này có được từ đâu? -> Đó là thế năng của điện trường bao quanh q_2 . Ta sẽ xác định giá trị của thế năng này
- Điện tích q_1 sẽ di chuyển ra xa q_2 để tới vị trí có thế năng thấp hơn. Công của lực điện trường bằng độ giảm thế năng. Nếu q_1 ra xa tới ∞ thì thế năng của nó coi như bằng 0 và không còn chịu tác dụng của điện trường.
- Thế năng U của điện tích điểm q_1 tại điểm P trong điện trường được định nghĩa là công của điện trường để di chuyển điện tích q_1 từ điểm P ra xa vô cùng

$$U = -W_{\infty}$$

Điện thế

- Điện thế V ở điểm P trong điện trường được định nghĩa

$$V = \frac{-W_{\infty}}{q_0} = \frac{U}{q_0}$$

- W_{∞} là công của lực tĩnh điện để đưa điện tích q_0 từ ∞ tới P và U là thế năng điện được lưu trữ bởi q_0 tại điểm P .
- Thế năng điện của một điện tích q trong điện trường

$$U = qV$$

- Điện thế của điện trường gây ra bởi một điện tích điểm q tại điểm cách điện tích q đó một khoảng r

Điện thế

- Ta di chuyển điện tích từ điểm i đến điểm f trong điện trường, điện thế thay đổi

$$\Delta V = V_f - V_i$$

- Thế năng của điện tích thay đổi

$$\Delta U = q\Delta V = q(V_f - V_i)$$

- Công thực hiện bởi lực tĩnh điện

$$W = -\Delta U = -q\Delta V = q(V_i - V_f)$$

Điện thế

- Một điện tích điểm q_0 di chuyển trong một điện trường không đều từ điểm i đến điểm f. Tại bất kì điểm nào trên đường đi từ i tới f, điện tích q_0 đều chịu tác dụng của lực $q_0\vec{E}$ trong đoạn dịch chuyển $d\vec{s}$. Công của lực tĩnh điện trong đoạn dịch chuyển $d\vec{s}$ là

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

- Công dịch chuyển điện tích q_0 từ i đến f

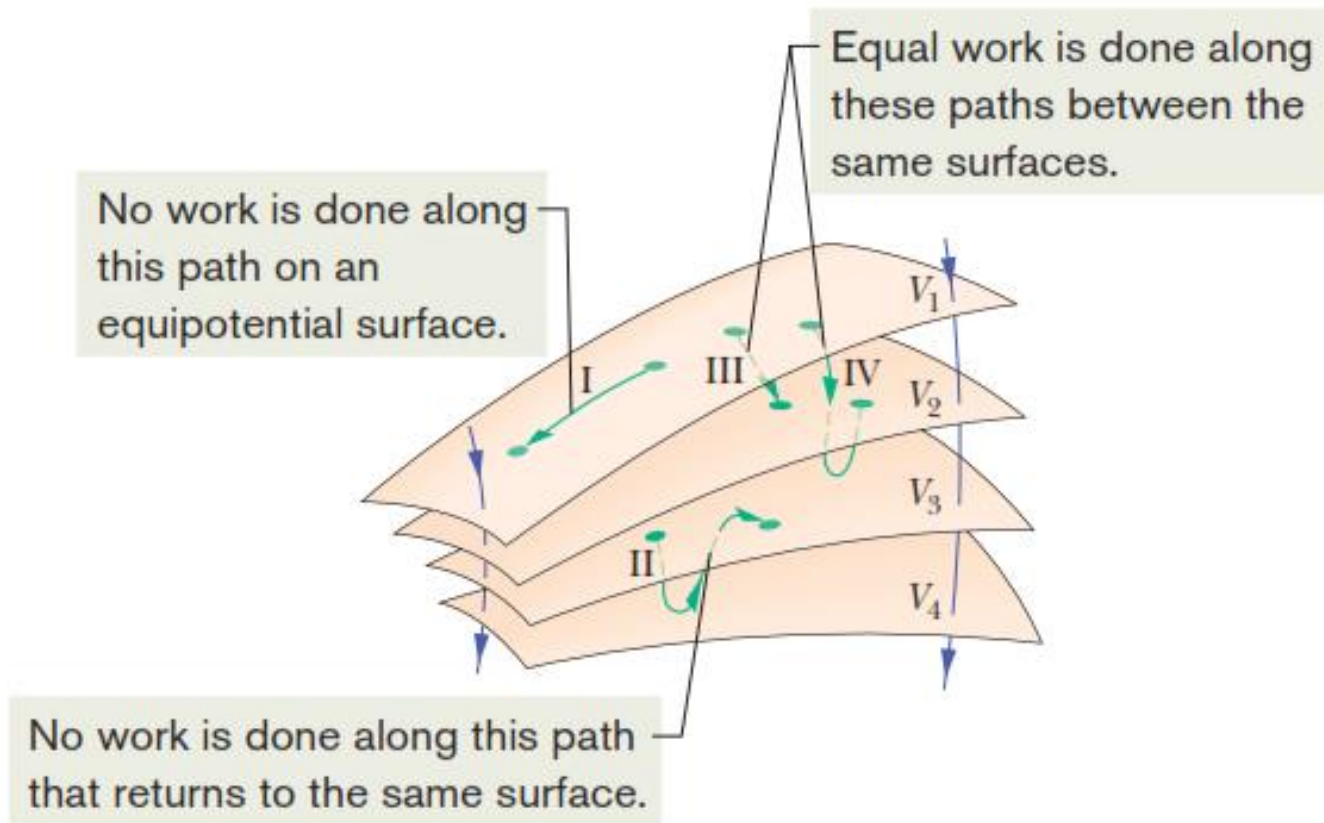
$$W = q_0 \int_i^f \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

$$W = q_0(V_i - V_f)$$

$$V_f - V_i = - \int_i^f \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

Mặt đẳng thế

- Các điểm trên mặt đẳng thế có cùng điện thế.



Điện thế gây ra bởi điện tích điểm

- Điện thế của điện trường gây ra bởi một điện tích điểm q tại điểm cách nó một khoảng r

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{q}{r}$$

- Điện thế của điện trường gây ra bởi một hệ điện tích điểm q_1, q_2, \dots, q_n tại một điểm nào đó trong điện trường

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

r_i là khoảng cách từ điểm đang xét tới điện tích q_i

Liên hệ giữa vecto cường độ điện trường và điện thế

$$V_f - V_i = - \int_i^f \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

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

$$E_s ds = -dV$$

$$E_s = -\frac{dV}{ds}$$

- Hình chiếu của vecto cường độ điện trường trên một phương nào đó về trị số bằng độ giảm điện thế trên một đơn vị dài của phương đó.
- Hình chiếu của \vec{E} trên ba trục tọa độ Decartes

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

1.2. Dòng điện không đổi. Mật độ dòng điện.

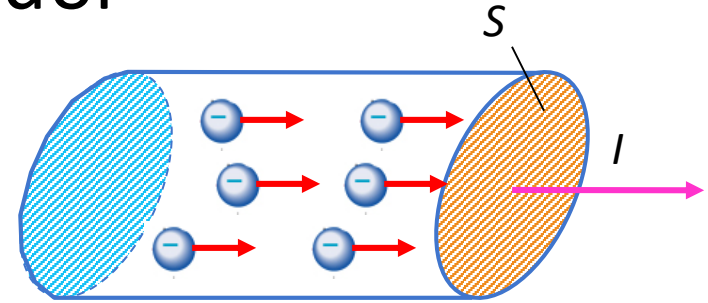
Phương trình liên tục. Suất điện động

1.3 Các định luật cơ bản của dòng điện không đổi.

1.4 Độ dẫn điện và điện trở suất

Dòng điện không đổi

- Dòng điện là dòng chuyển dời có hướng của các điện tích (điện tử tự do trong vật dẫn, các i-ôn trong dung dịch điện phân, cả electron và i-ôn trong khối plasma).



- Cường độ dòng điện là đại lượng có trị số bằng số điện tích chuyển qua một tiết diện trong một đơn vị thời gian. Đơn vị: Ampere (A)

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

- Vật dẫn có 2 loại điện tích chuyển động

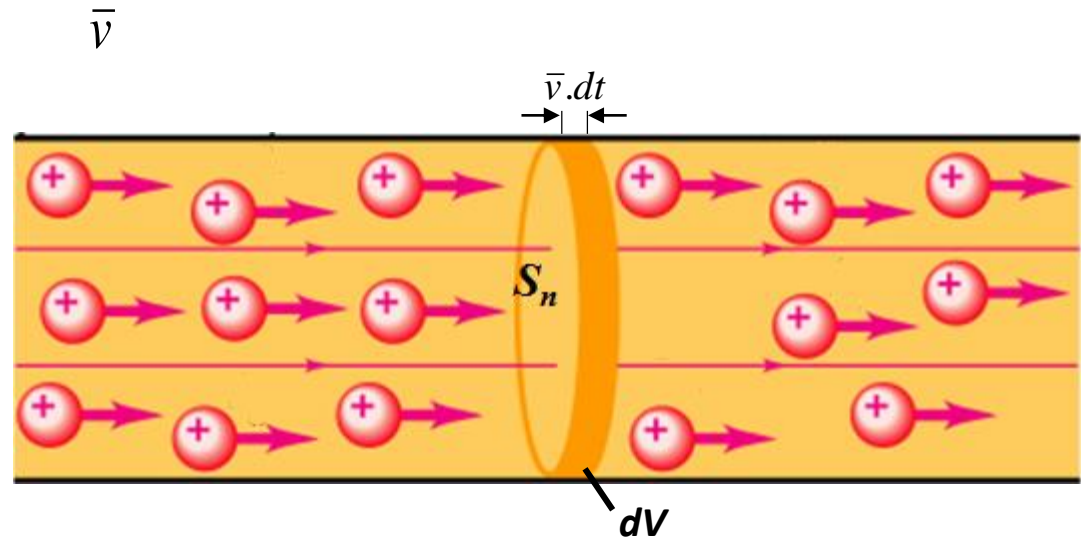
$$I = \frac{dq_1}{dt} + \frac{dq_2}{dt}$$

- Điện lượng $q = \int_0^t dq = \int_0^t Idt$

- Nếu $I = \text{const}$ $q = It$

Mật độ dòng điện

- Các điện tích $+q$, CĐ với vận tốc \bar{v} đi qua tiết diện S_n của dây dẫn
- Trong khoảng thời gian dt , số điện tích nằm trong thể tích dV của dây



$$dQ = q \cdot dn = q \cdot n_0 \cdot dV = q \cdot n_0 \cdot S_n \cdot \bar{v} \cdot dt$$

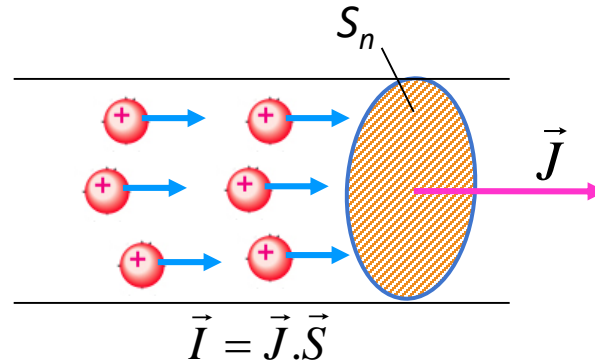
- Cường độ dòng điện trong dV

$$I = \frac{qdn}{dt} = q \cdot n_0 \cdot S_n \cdot \bar{v}$$

- Dòng điện đi qua một đơn vị tiết diện = Mật độ dòng điện

$$J = \frac{I}{S_n} = q \cdot n_0 \cdot \bar{v}$$

Vecto mật độ dòng điện



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

Định luật Ohm (Georg Ohm)

Dạng thông thường

- Thực nghiệm $V_1 - V_2 = RI$

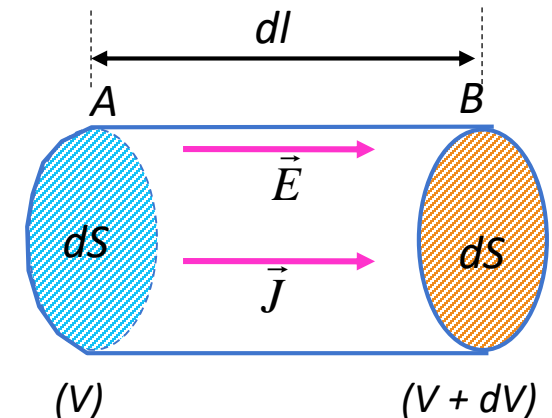
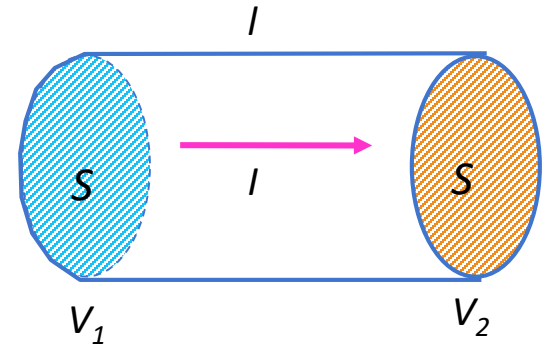
$$R = \rho \frac{l}{S}$$

- Biểu thức đ/l

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

Dạng vi phân

- Xét đoạn dây dẫn độ dài dl , tiết diện dS , điện trở R , có điện thế tại 2 đầu là V và $V + dV$.

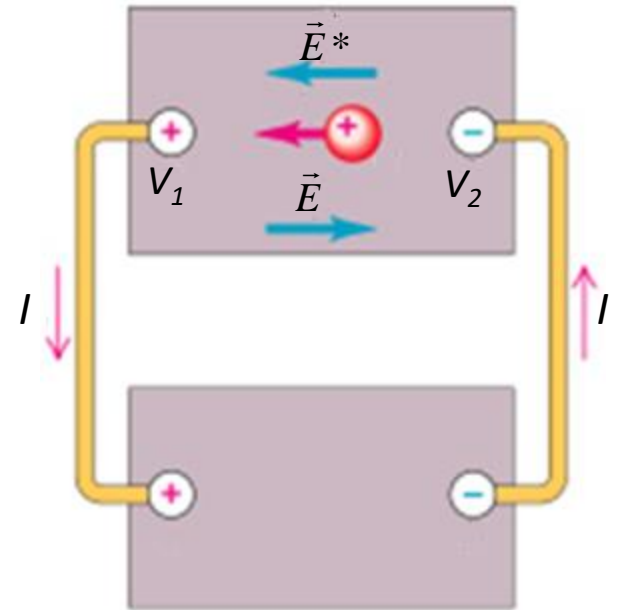


$$dI = \frac{V - (V + dV)}{R} = -\frac{dV}{R} = -\frac{1}{\rho} \frac{dV}{dl} dS = \frac{EdS}{\rho}$$

- Biểu thức đ/l $J = \frac{dI}{dS} = \frac{E}{\rho} = \sigma \cdot E$ Với $\sigma = \frac{1}{\rho}$ là độ dẫn điện

Nguồn điện

- Nguồn trường lực có khả năng đưa các điện tích (+) từ nơi có điện thế thấp đến nơi có điện thế cao, ngược chiều điện trường thông thường



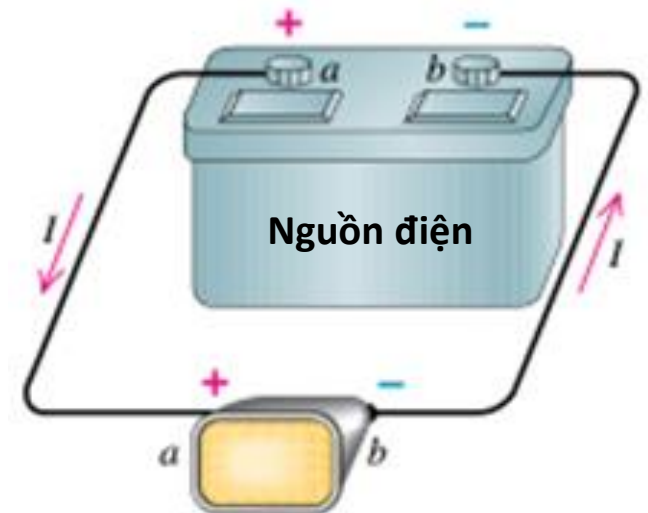
- Năng lượng tạo ra nguồn điện:

Hóa năng: Ắc qui dùng chất điện phân

Cơ năng: Tua bin gió, Tua bin nước,...

Quang năng: Pin mặt trời

Nhiệt năng: Than, dầu mỏ, khí đốt



Sức điện động

- Sức điện động (electromotive force - emf) $\mathcal{E} = \frac{dA}{dq}$ hay $\mathcal{E} = \frac{A}{q}$

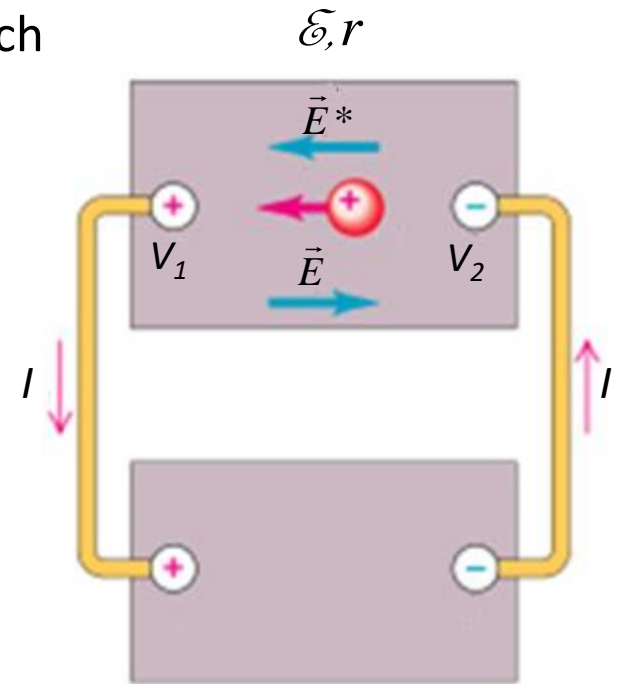
“Công của lực điện trường do nguồn tạo ra làm dịch chuyển điện tích +1 một vòng quanh mạch kín của nguồn đó”

- Hiệu điện thế của nguồn điện

Thực tế, luôn có sự cản trở bên trong đối với chuyển động của điện tích từ cực (-) đến cực (+) tạo ra điện trở trong của nguồn điện (r). Hiệu điện thế nội: $u = I.r$

- Hiệu điện thế thực giữa 2 cực của nguồn điện

$$U = \mathcal{E} - I.r$$



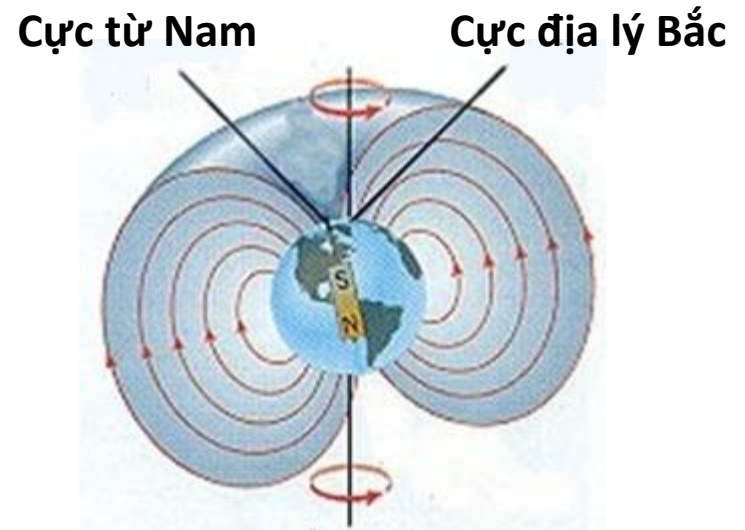
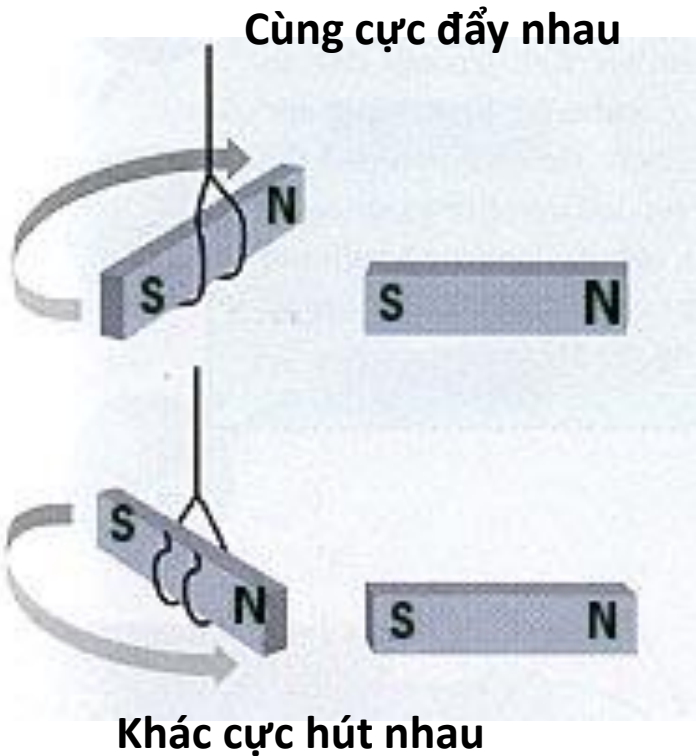
Các định luật cơ bản dòng điện không đổi

- Định luật I Kiarokhop về nút: Tại mỗi nút của mạch điện, tổng cường độ những dòng điện đi vào nút bằng tổng cường độ dòng điện từ nút đi ra
- Định luật IIA Kiarokhop về đường đi: Hiệu điện thế giữa hai điểm cho trước của 1 mạch điện bằng tổng đại số các hiệu điện thế giữa hai đầu của những nhánh liên tiếp trên một đường đi của mạch nối liền hai điểm ấy
- Định luật IIB Kiarokhop về vòng kín: Tổng đại số các hiệu điện thế giữa hai đầu của những nhánh liên tiếp trên 1 vòng kín của mạch điện bằng 0

1.5 Từ trường, các đại lượng của từ trường

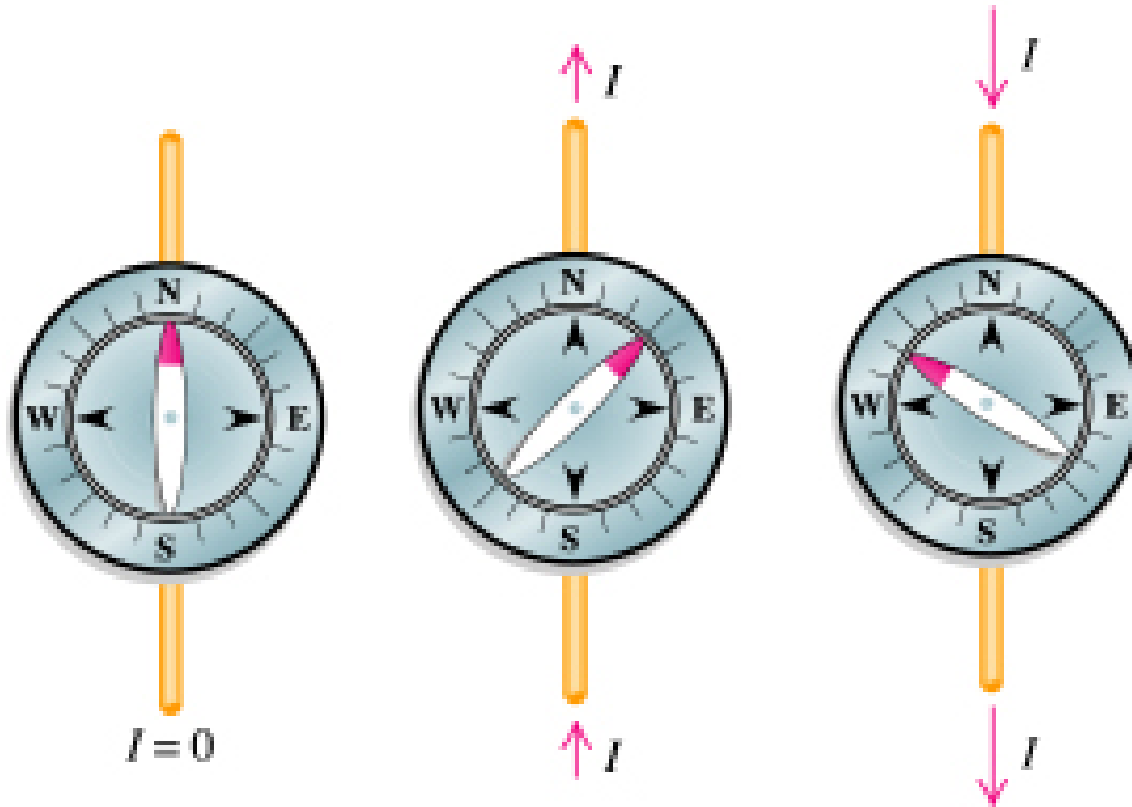
Thí nghiệm về tương tác từ

Hiện tượng tự nhiên



Thí nghiệm về tương tác từ

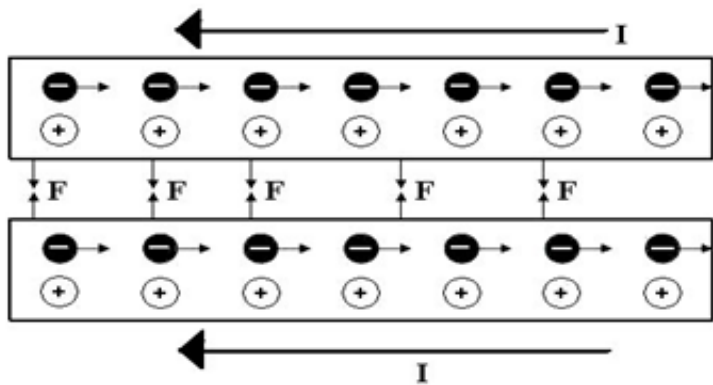
Tương tác của các dòng điện với kim la bàn



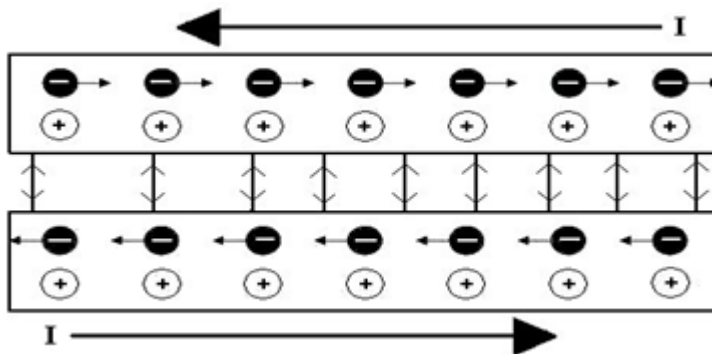
Hans Christian Oersted

Thí nghiệm về tương tác từ

Tương tác của các dòng điện với nhau



Andre Marie Ampere



1.5 Từ trường, các đại lượng của từ trường

1.6 Từ thông và định lý O-G đối với từ trường

1.7 Định luật Ampe về tương tác từ của dòng điện và dòng điện toàn phần

1.8 Tương tác của từ trường với dòng điện và hạt điện tích

1.9. Một số ứng dụng thực tiễn của điện trường và từ trường

Vecto cảm ứng từ

- Dòng điện gây ra xung quanh nó một từ trường. Từ trường này sẽ tác dụng lực lên bất kì dòng điện nào đặt trong nó.
- Để đặc trưng cho từ trường về mặt định lượng ta có đại lượng vật lí: vecto cảm ứng từ.
- Vecto cảm ứng từ $d\vec{B}$ do một phần tử dòng điện $Id\vec{l}$ gây ra tại điểm M cách phần tử một khoảng r là một vecto có
 - ✓ Gốc tại điểm M
 - ✓ Phương vuông góc với mặt phẳng chứa phần tử dòng điện $Id\vec{l}$ và điểm M
 - ✓ Chiều sao cho ba vecto $d\vec{l}$, \vec{r} và $d\vec{B}$ theo thứ tự này hợp thành một tam diện thuận
 - ✓ Độ lớn (gọi là cảm ứng từ) dB được xác định bởi công thức

$$dB = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{Idl \sin \theta}{r^2} \quad (\text{đơn vị: T (Tesla)})$$

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{Id\vec{l} \wedge \vec{r}}{r^3} \quad (\text{định luật Biot-Savart-Laplace})$$

Nguyên lí chồng chất từ trường

- Vector cảm ứng từ gây bởi nhiều dòng điện bằng tổng các vector cảm ứng từ do từng dòng điện gây ra.

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

- Vector cường độ từ trường tại một điểm trong trường bằng

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu\mu_0} \quad (\text{Đơn vị : Oersted } [\mathbf{A/m}])$$

- Bài tập: xác định vecto cảm ứng từ của dòng điện thẳng và dòng điện tròn

Lực tương tác giữa hai phần tử dòng điện

- Lực tác dụng $d\vec{F}$ của phần tử dòng điện $I d\vec{l}$ lên phần tử dòng điện $I_0 d\vec{l}_0$ có thể viết lại như sau

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

Định luật Ampere về tương tác giữa hai phần tử dòng điện

- Phần tử dòng điện là một đoạn rất ngắn của dây dẫn có dòng điện, được biểu diễn bằng vecto $I d\vec{l}$ nằm ngay trên phần tử dây dẫn có phương chiều là phương chiều của dòng điện, và có độ lớn bằng $I \cdot dl$
- Xét hai dòng điện hình dạng bất kì, nằm trong chân không, và có cường độ là I và I_0 . Trên hai dòng điện đó ta xét hai phần tử dòng điện bất kì $I \cdot d\vec{l}$ và $I_0 \cdot d\vec{l}_0$
- Từ lực do phần tử dòng điện $I \cdot d\vec{l}$ tác dụng lên phần tử dòng điện $I_0 \cdot d\vec{l}_0$ cùng đặt trong chân không là một vecto $d\vec{F}_0$
 - ✓ Có phương vuông góc với mặt phẳng chứa phần tử $I_0 \cdot d\vec{l}_0$ và pháp tuyến \vec{n}
 - ✓ Có chiều sao cho ba vecto $d\vec{l}_0, \vec{n}$ và $d\vec{F}_0$ theo thứ tự đó hợp thành một tam diện thuận
 - ✓ Có độ lớn bằng
$$dF_0 = k \cdot \frac{I dl \sin \theta I_0 dl_0 \sin \theta_0}{r^2}$$

Định luật Ampere về tương tác giữa hai phần tử dòng điện

- k là hệ số tỉ lệ

$$k = \frac{\mu_0}{4\pi}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{H}{m}$$

- Định luật Ampere biểu diễn bằng biểu thức vectơ

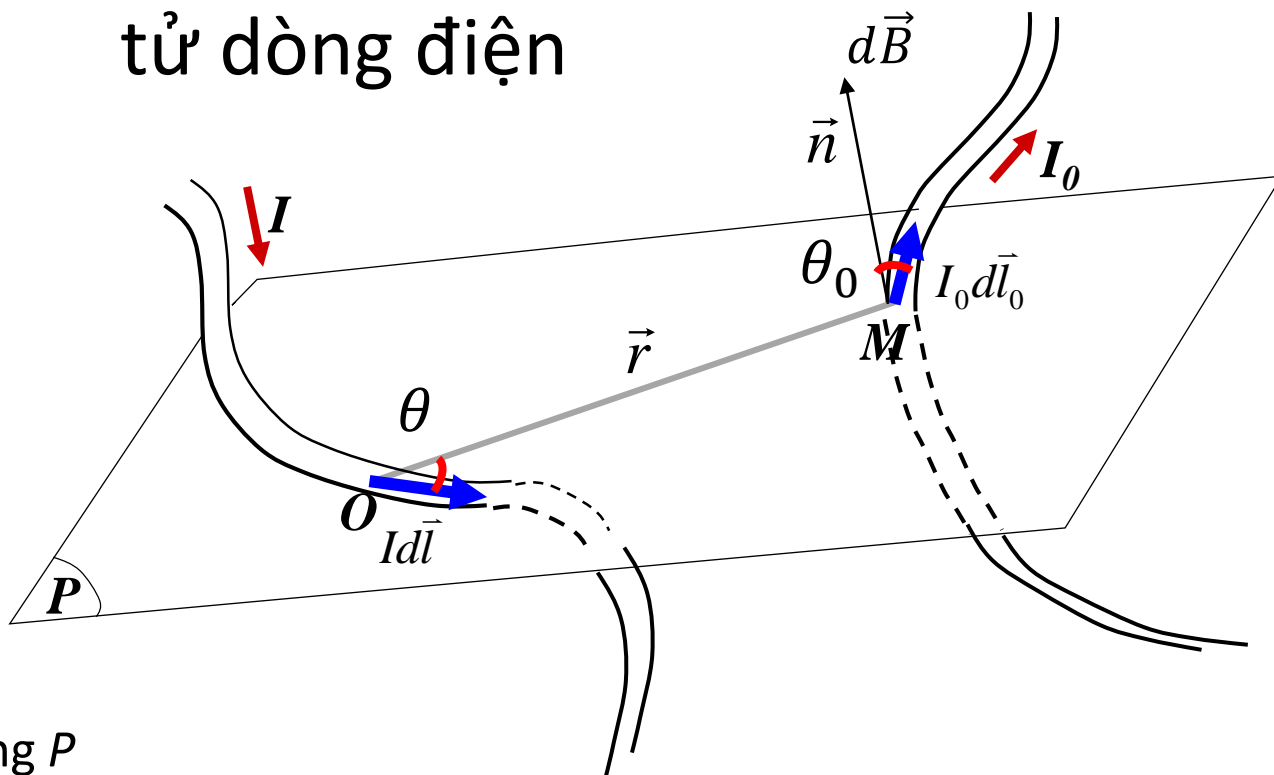
$$d\vec{F}_0 = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I_0 d\vec{l}_0 \wedge (Id\vec{l} \wedge \vec{r})}{r^3}$$

- Nếu hai dòng điện I và I_0 cùng đặt trong môi trường đồng chất nào đó thì lực tương tác tăng lên μ lần

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

μ là độ từ thẩm của môi trường

Định luật Ampere về tương tác giữa hai phần tử dòng điện



$I \cdot d\vec{l} \in \text{mặt phẳng } P$

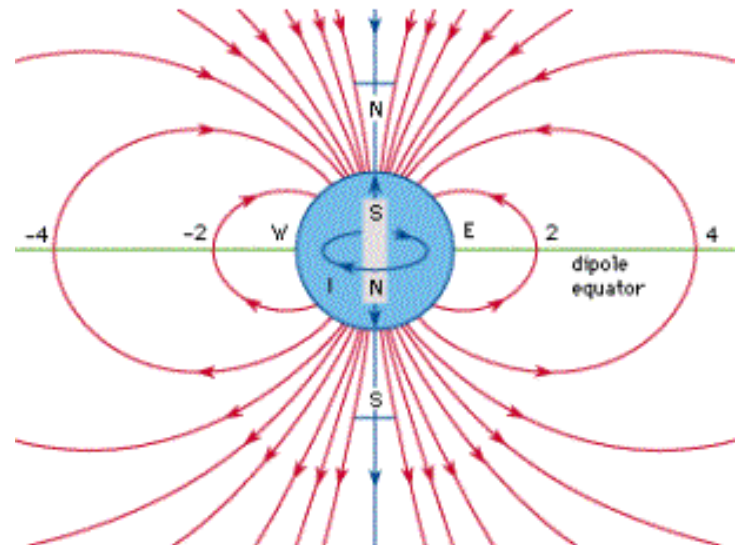
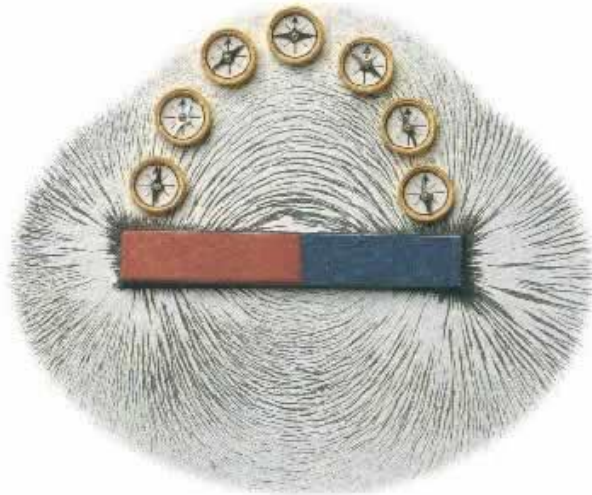
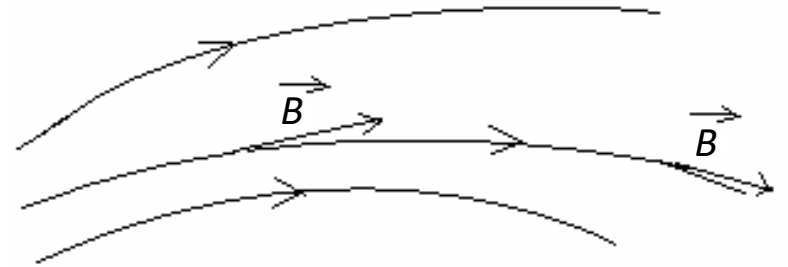
\vec{n} là pháp tuyến của (P) tại M

$\vec{r} = \overrightarrow{OM}$ là khoảng cách giữa 2 gốc vector phần tử dòng điện

θ là góc giữa $I \cdot d\vec{l}$ và \vec{r} , θ_0 là góc giữa $I_0 \cdot d\vec{l}_0$ và \vec{n}

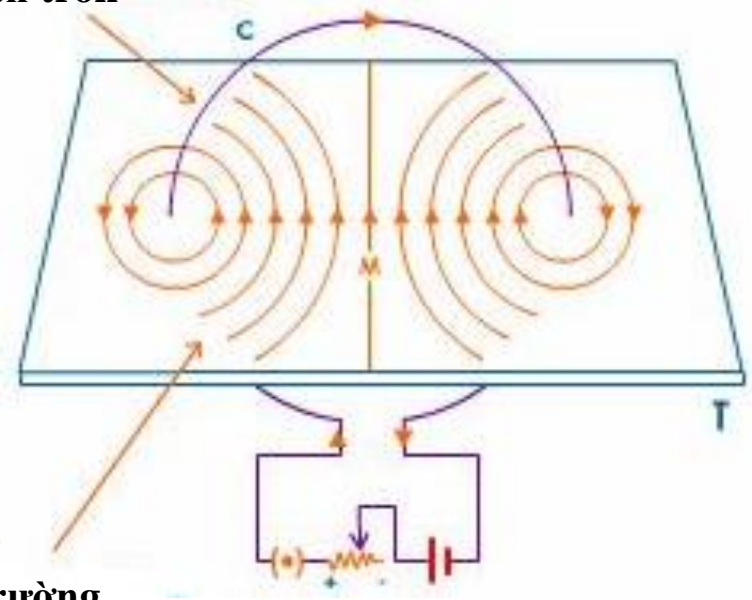
Đường sức từ trường

- Đường cong hình học mô tả từ trường mà tiếp tuyến tại mỗi điểm của nó trùng với phương của vector cảm ứng từ tại điểm đó.
- Chiều đường sức từ trường là chiều vector cảm ứng từ.
- Từ phổ: tập hợp các đường sức từ trường

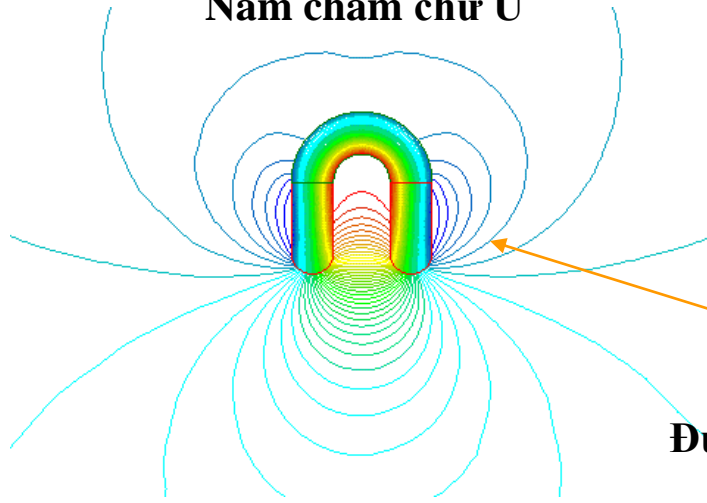


Từ phổ

Dòng điện tròn

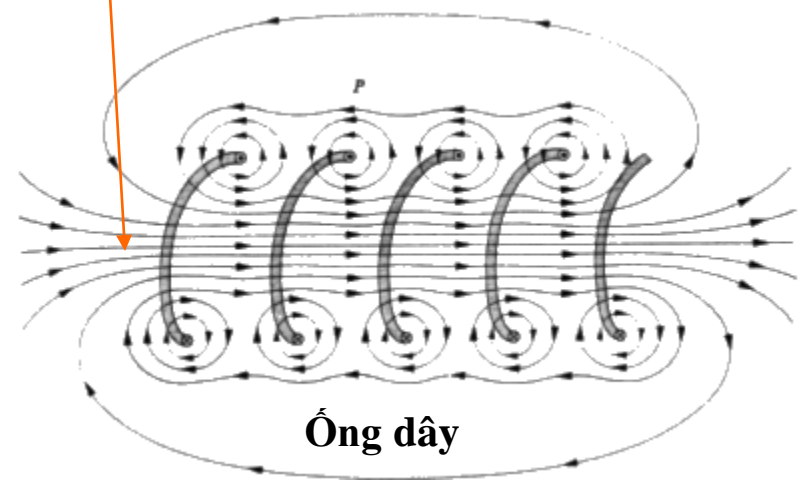
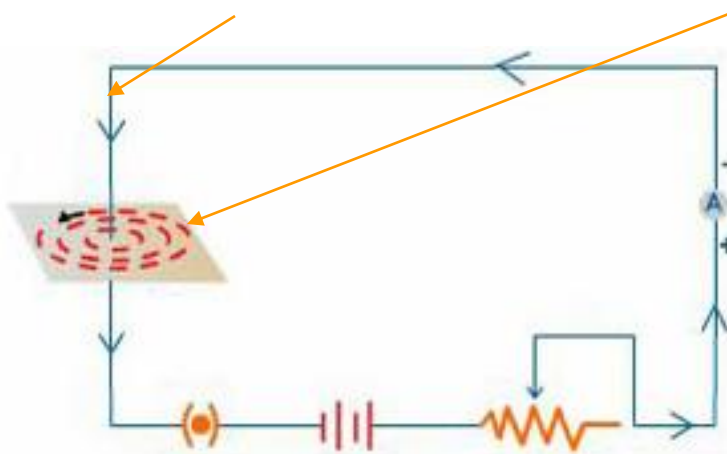


Nam châm chữ U



Đường sức từ trường

Dòng điện thẳng

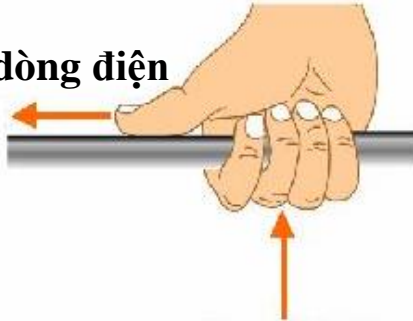


Ống dây

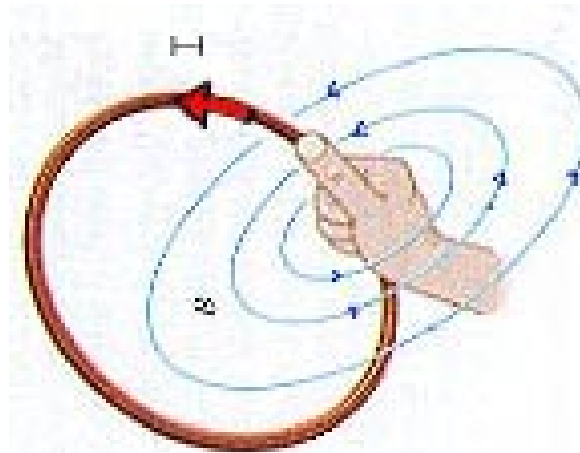
Qui tắc bàn tay phải

Xác định chiều đường sức từ trường bằng qui tắc nắm bàn tay phải

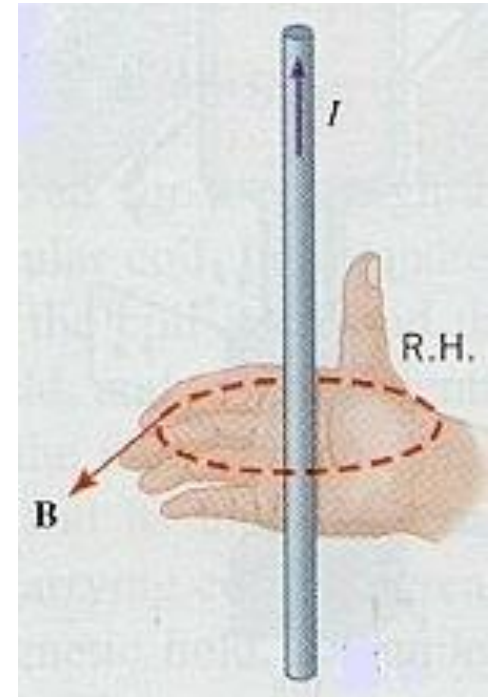
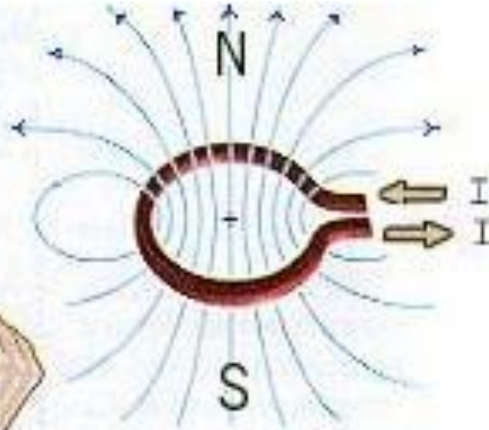
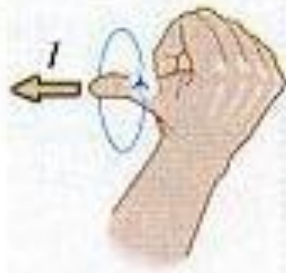
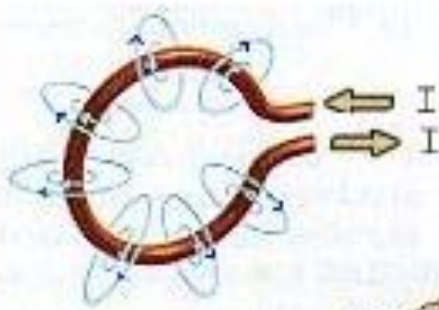
Chiều dòng điện



Chiều đường sức



Dòng điện tròn



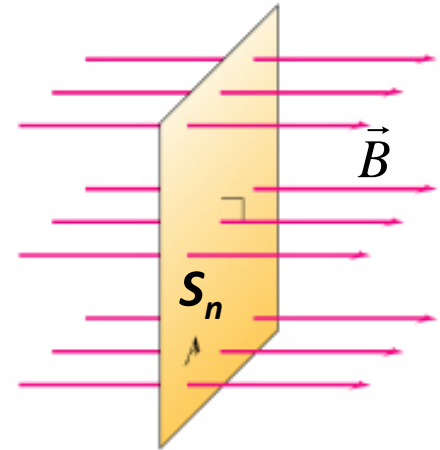
Dòng điện thẳng

Từ thông

Định nghĩa

- Thông lượng vector cảm ứng từ \vec{B} gửi qua một thiết diện vuông góc S_n

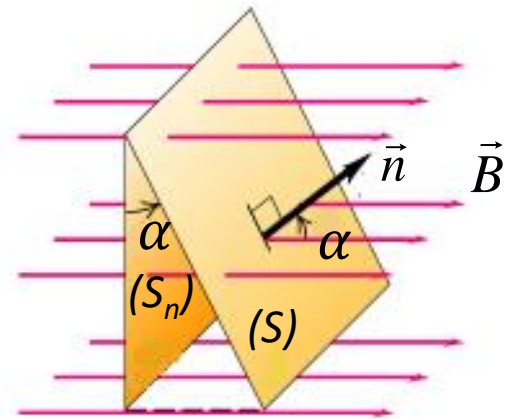
$$\phi = B \cdot S_n$$



Thông lượng đi qua tiết diện bất kỳ

- Tiết diện (S) tạo với S_n góc α

$$\phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$



Đơn vị: Weber (Wb)

Từ thông

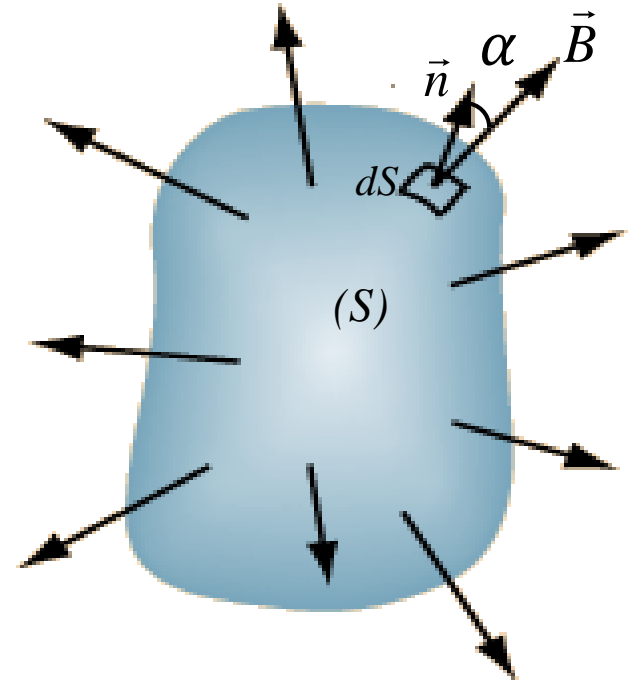
Từ trường thay đổi và S lớn

- S tạo bởi vô số phần tử diện tích dS :

$$d\phi = B_n \cdot dS = B \cdot dS_n$$

- Từ thông gửi qua S :

$$\phi = \int_{(S)} d\phi = \int_{(S)} B_n \cdot dS = \int_{(S)} \vec{B} \cdot d\vec{S}$$



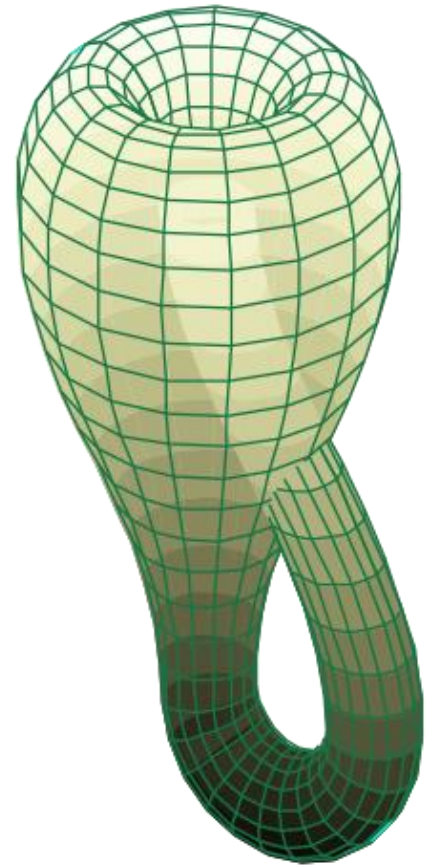
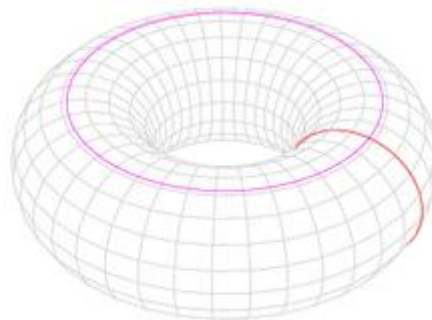
- Để tính từ thông gửi qua S bất kỳ ta chia S thành những phần tử diện tích vô cùng nhỏ dS , sao cho có thể coi vector cảm ứng từ B không đổi trên mỗi phần tử đó.
- Đơn vị từ thông: Weber (Wb) $1 T = 1 Wb/m^2$

Định lý Gauss đối với từ trường

- Qui ước: Chiều dương của pháp tuyến đối với mặt cong kín luôn hướng ra phía ngoài mặt đó.
- ✓ Từ thông âm : đường sức đi vào,
- ✓ Từ thông dương : đường sức đi ra.

Định lý Gauss

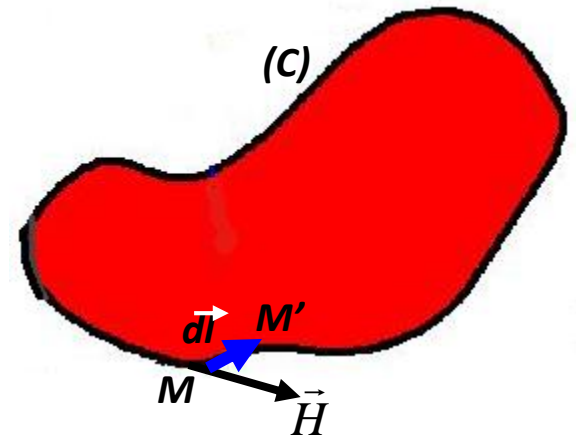
Từ thông toàn phần gửi qua một mặt kín (S) bất kỳ bằng không, $\Phi = \oint_{(S)} \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$



Lưu số vector cường độ từ trường

- Lưu số của vector cường độ từ trường \vec{H} lấy theo đường cong kín (C) có giá trị bằng tích phân của \vec{H} lấy theo đường cong kín đó.

$$\oint_{(C)} \vec{H} d\vec{l} = \oint_{(C)} H \cdot dl \cdot \cos(\vec{H}, d\vec{l})$$



Định lý Ampere về dòng điện toàn phần

- Xét: {
 - + Từ trường \vec{H} gây bởi dòng điện I thẳng dài vô hạn
 - + Đường cong kín (C) bao quanh và thuộc mặt phẳng vuông góc với I

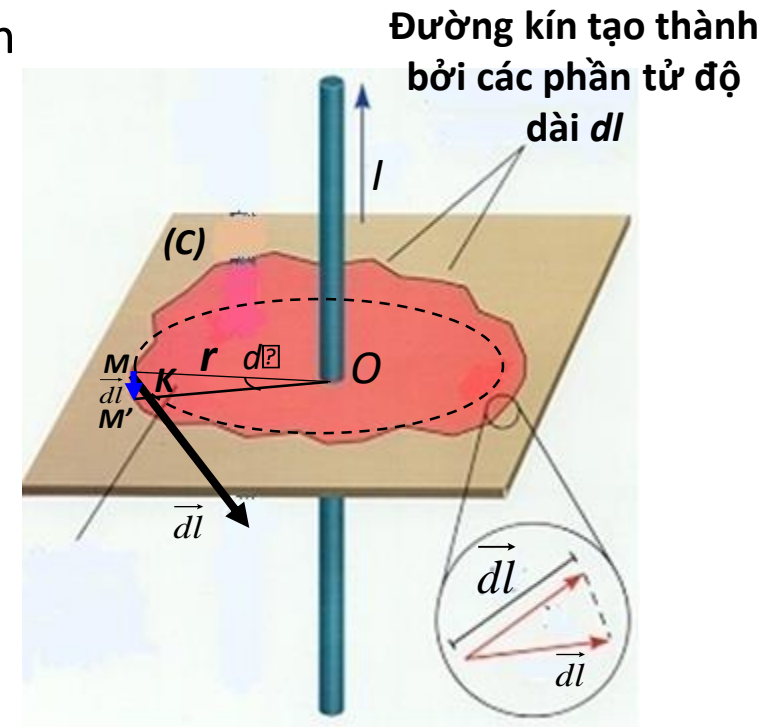
$$\oint_{(C)} \vec{H} d\vec{l} = \oint_{(C)} H \cdot dl \cdot \cos(\vec{H}, d\vec{l})$$

- Từ trường gây bởi dòng điện thẳng:

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

$$dl \cdot \cos(\vec{H}, d\vec{l}) \approx r d\varphi$$

$$\oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \frac{I}{2\pi} \oint_{(C)} d\varphi$$



Định lý Ampere về dòng điện toàn phần

$$\oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \frac{I}{2\pi} \oint_{(C)} d\varphi$$

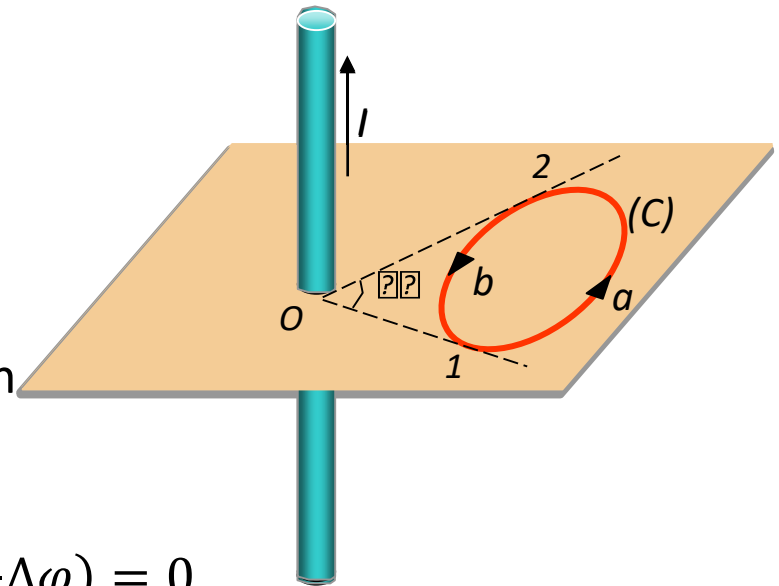
- Trường hợp (C) bao quanh dòng điện:

$$\oint_{(C)} d\varphi = 2\pi \Rightarrow \oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = I$$

- Trường hợp (C) không bao quanh dòng điện

$$\oint_{(C)} d\varphi = \oint_{(1a2)} d\varphi + \oint_{(2b1)} d\varphi = \Delta\varphi + (-\Delta\varphi) = 0$$

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



Định lý Ampere về dòng điện toàn phần

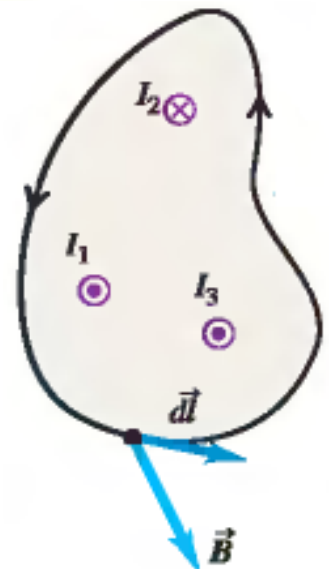
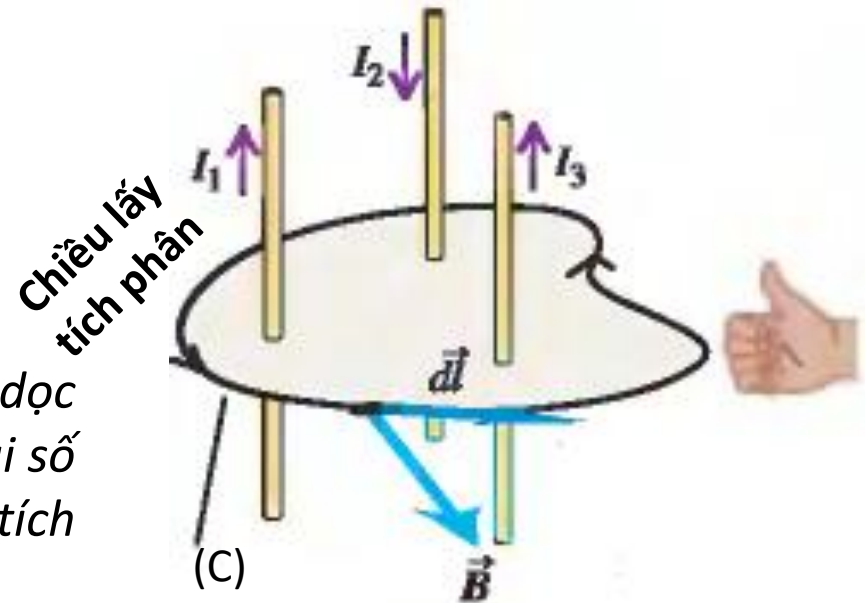
- Từ trường gây bởi nhiều dòng điện /

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

Lưu số của vector cường độ từ trường dọc theo một đường kín bất kỳ bằng tổng đại số cường độ của các dòng xuyên qua diện tích giới hạn bởi đường kín đó.

- Ý nghĩa của định lý Ampere**

- ✓ Từ trường có nguồn gốc từ dòng điện;
- ✓ Từ trường $\oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum_{i=1}^n I_i \neq 0$
- ✓ Từ trường không phải là trường thế



Tác dụng của từ trường lên dòng điện

- Tác dụng lên phần tử dòng điện: phần tử dòng điện $I d\vec{l}$ đặt trong từ trường \vec{B} chịu tác dụng bởi lực Ampere

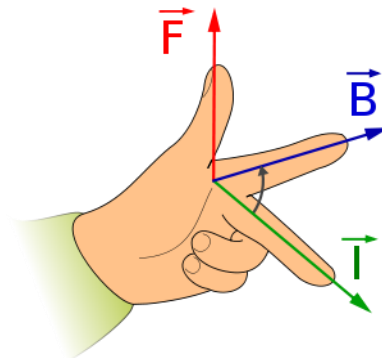
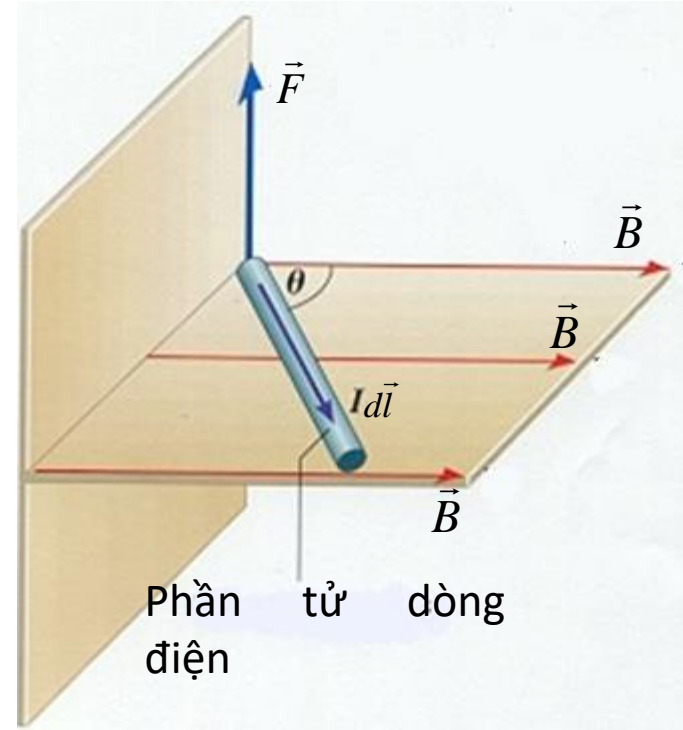
$$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$$

- Tác dụng lên dòng điện thẳng: một dòng điện thẳng có độ dài l đặt trong từ trường \vec{B} chịu tác dụng bởi lực Ampere

$$\vec{F} = I \vec{l} \times \vec{B}$$

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

- Chiều của lực \vec{F} được xác định bằng qui tắc bàn tay trái



Tương tác giữa 2 dòng điện thẳng song song dài vô hạn

- Xét 2 dòng điện cùng chiều, đặt // và cách nhau 1 khoảng d

- ✓ Theo đ/l Biot-Savart-Laplace, xuất hiện

\vec{B}_1 gây bởi I_1 trên I_2

$$B_1 = \frac{\mu_0 \mu I_1}{2\pi d}$$

- ✓ \vec{B}_1 tác dụng lên đoạn dây độ dài l trên I_2 lực

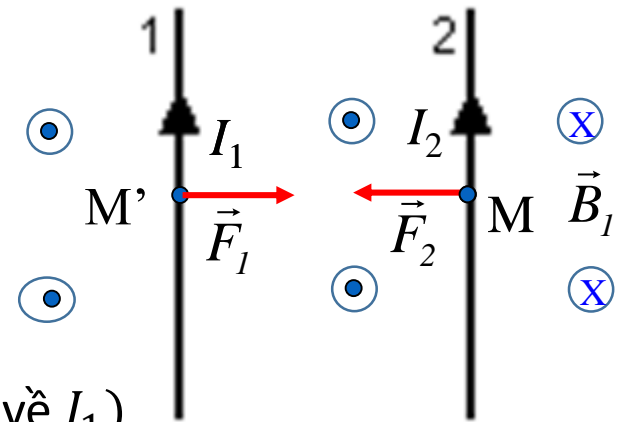
$$\vec{F}_2 = I_2 \cdot \vec{l} \times \vec{B}_1 \quad (\text{hướng về } I_1)$$

$$F_2 = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2}{2\pi d}$$

- ✓ I_2 cũng tác động một lực F_1 có cùng độ lớn hướng về I_2 .

- ✓ Hai dòng điện song song cùng chiều hút nhau

- Tương tự : hai dòng điện song song ngược chiều đẩy nhau



Tác dụng của từ trường lên hạt tích điện chuyển động

- Các hạt tích điện q chuyển động với vận tốc \vec{v} trong từ trường \vec{B}
- Chuyển động của q hình thành phần tử dòng điện $I d\vec{l}$

$$I = J.S = n_0.q.v.S$$
$$I.dl = n_0.S.dl.q.v = dn.q.v$$

- Trong từ trường \vec{B} phần tử dòng $I d\vec{l}$ chịu tác dụng của lực Ampere

$$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$$
$$dF = I.dl.B.\sin\alpha$$

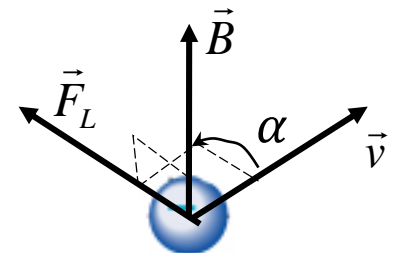
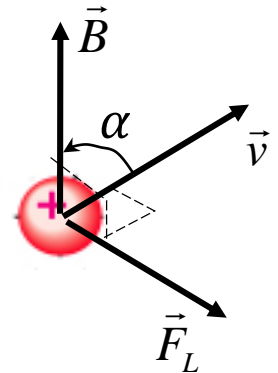
- Lực từ tác dụng lên số dn điện tích

$$dF = dn.q.v.B.\sin\alpha$$

- Lực từ tác dụng lên một điện tích

$$\frac{dF}{dn} = q.v.B.\sin\alpha = F_L (\text{lực Lorentz})$$

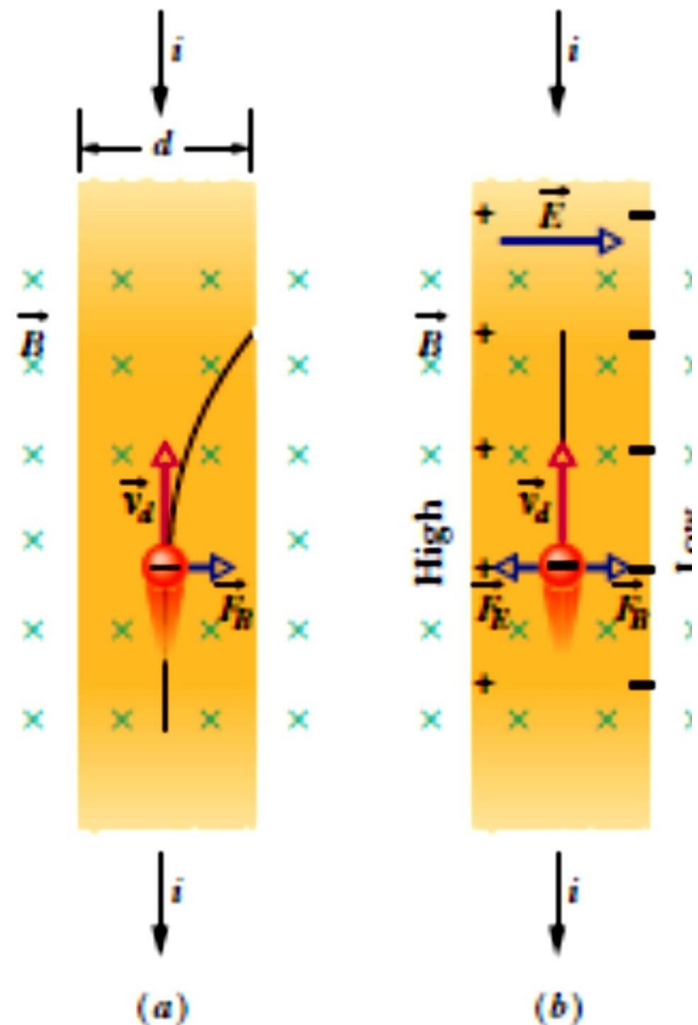
$$\vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B}$$



Hiệu ứng Hall

Phân bố điện tích trong dây dẫn bị lệch trong từ trường

- Ban đầu phân bố điện tích trong dây dẫn là đều như hình (a)
- Sau đó do tác dụng của từ trường điện tử bị cuốn sang phải làm cho phía bên trái thiếu điện âm và bên phải dư điện tích âm, tức là tạo ra một điện trường trong dây dẫn.
- Điện trường này tác dụng lực lên điện tử và lực này ngược chiều với lực do từ trường tác dụng.
- Trạng thái cân bằng nhanh chóng được thiết lập khi lực tác dụng của từ trường bằng lực tác dụng của điện trường



Hiệu ứng Hall

Phân bố điện tích trong dây dẫn bị lệch trong từ trường

- Hiệu điện thế Hall tương ứng với điện trường trong dây dẫn.
- Độ lớn của hiệu điện thế Hall

$$V = E \cdot d$$

d là độ rộng của dây dẫn

- Lực từ bằng lực điện

$$e \cdot E = e \cdot v \cdot B$$

- Vận tốc cuốn

$$v = \frac{J}{n \cdot e} = \frac{I}{n \cdot e \cdot A}$$

- Mật độ hạt tải

$$n = \frac{I}{e \cdot A \cdot v} = \frac{I \cdot B}{e \cdot A \cdot E}$$

