

PHẦN THỨ BA: ĐIỆN TỬ

CHƯƠNG 1

TÍNH ĐIỆN

1. KHÁI NIỆM MỞ ĐẦU

1.1 Sự nhiễm điện do cọ sát:

Từ thế kỷ VI trước công nguyên người ta đã nhận thấy khi đem cọ sát thủy tinh, êbônít và một số vật khác vào len dạ, thì thủy tinh, êbônít ... có khả năng hút các vật nhẹ như giấy vụn, lông chim ... Hiện tượng đó gọi là hiện tượng nhiễm điện do cọ sát. Thủy tinh, êbônít ... được gọi là vật nhiễm điện. Qua sự nhiễm điện do cọ sát người ta thấy chỉ xuất hiện 2 loại điện tích:

- Loại điện tích xuất hiện giống như ở thủy tinh khi cọ sát vào len dạ gọi là điện tích dương (+).

- Loại điện tích xuất hiện như ở thanh êbônít khi cọ sát vào len dạ gọi là điện tích âm (-).

Qua thực nghiệm còn thấy các loại điện tích tương tác với nhau: hai điện tích cùng dấu thì đẩy nhau, khác dấu thì hút nhau.

1.2. Sơ lược về thuyết điện tử:

Qua nhiều thí nghiệm các nhà bác học đã đi đến kết luận:

- Điện tích trên một vật mang điện bất kỳ có cấu tạo gián đoạn, nó luôn luôn bằng một số nguyên lần của một điện lượng nhỏ nhất gọi là điện tích nguyên tố: điện tích nguyên tố có giá trị $|q_0| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Các hạt mang điện tích nguyên tố có electron mang điện tích nguyên tố âm, proton mang điện tích nguyên tố dương:

Proton và điện tử (electron) đều có trong thành phần cấu tạo nguyên tử của mọi chất. Proton nằm ở hạt nhân nguyên tử, điện tử chuyển động xung quanh hạt nhân.

Ở trạng thái bình thường số proton và điện tử của một nguyên tử luôn luôn bằng nhau (bằng số thứ tự Z của nguyên tố trong bảng tuần hoàn Mendeleev), ta nói nguyên tử trung hoà về điện. Nếu vì lý do nào đó nguyên tử mất, thu thêm điện tử sẽ trở thành một phần tử mang điện. Nếu mất điện tử nguyên tử sẽ mang điện dương gọi là ion (+), nếu thu thêm điện tử nguyên tử trở thành mang điện âm gọi là ion (-).

Học thuyết căn cứ vào chuyển động của điện tử để giải thích các hiện tượng về điện gọi là thuyết điện tử.

1.3. Định luật bảo toàn điện tích:

Các hiện tượng về điện luôn luôn tuân theo định luật bảo toàn điện tích: *Các điện tích không thể tự nhiên sinh ra, cũng không tự biến mất, nó chỉ có thể truyền từ vật này sang vật khác hoặc phần này sang phần khác của vật.*

Nói một cách khác: *Tổng đại số các điện tích trong một hệ cô lập là không đổi.*

Thí dụ: Khi cọ sát thủy tinh vào len dạ nếu thủy tinh mang điện dương thì điện tử từ thủy tinh đã mất đi, có nghĩa là nó phải chuyển sang len dạ, do đó len dạ phải mang điện âm. Độ lớn điện tích trên hai vật luôn luôn bằng nhau nếu trước đó hai vật đều chưa mang điện.

1.4. Vật dẫn điện, vật cách điện

1.4.1. Vật dẫn điện:

Là những vật mà điện tích có thể chuyển động tự do trong toàn bộ thể tích của vật. Thí dụ như kim loại, các dung dịch điện phân, chất khí đã bị ion hoá, các cơ thể sống...

1.4.2. Vật cách điện (điện môi)

Là các vật mà điện tích không thể chuyển động từ điểm này đến điểm kia của vật (không có điện tích tự do). Thí dụ: Thủy tinh, êbônit, cao su, gỗ, không khí khô ...

Chú ý: Sự phân chia ra vật dẫn điện và cách điện chỉ có tính chất quy ước. Thực vậy trong những điều kiện nhất định vật nào cũng có thể dẫn điện được, chúng chỉ khác nhau là độ dẫn điện nhiều hay ít. Khi thay đổi điều kiện thì tính dẫn điện thay đổi. Thí dụ: thủy tinh ở điều kiện bình thường dẫn điện rất yếu (không dẫn điện) nhưng ở nhiệt độ cao có thể dẫn điện.

Ngoài ra có một nhóm chất có tính chất dẫn điện trung gian giữa vật dẫn điện và điện môi. Đó là các chất bán dẫn.

Trong chương này chỉ nghiên cứu tương tác và tính chất của các điện tích đứng yên (so với hệ quy chiếu dùng để nghiên cứu điện tích đó).

2. ĐỊNH LUẬT CULÔNG (COULOMB)

Như ta đã biết các điện tích tương tác với nhau: cùng dấu thì đẩy nhau, khác dấu thì hút nhau. Tương tác giữa hai điện tích đứng yên gọi là tương tác tĩnh điện (hay là tương tác Cu lông). 1875 Cu lông, nhà bác học người Pháp bằng thực nghiệm đã xác định được lực tương tác giữa hai điện tích điểm.

2.1. Điện tích điểm:

Là những vật mang điện có kích thước nhỏ không đáng kể so với khoảng cách từ điểm đó đến những điểm hoặc những vật mang điện khác mà ta đang khảo sát. Như vậy khái niệm điện tích điểm chỉ có tính chất tương đối, tương tự như khái niệm chất điểm trong cơ học.

2.2. Định luật Cu lông trong chân không.

Giả sử có hai điện tích điểm q_1, q_2 đặt trong chân không cách nhau một khoảng r . Định luật Cu lông phát biểu như sau: **Lực tương tác giữa hai điện tích điểm có phương nằm trên đường thẳng kẻ, hai điện tích, có chiều: 2 điện tích cùng dấu thì đẩy nhau, 2 điện tích khác dấu hút nhau (Hình 1.1). Có độ lớn tỷ lệ thuận với tích số độ lớn của hai điện tích, tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa hai điện tích đó.**

Về mặt độ lớn ta có:

$$|\vec{F}_{21}| = |\vec{F}_{12}| = K \cdot \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}$$

Trong đó K là hệ số tỷ lệ. Trong hệ SI:

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \text{ được gọi là hằng số điện, có giá trị } \epsilon_0 =$$

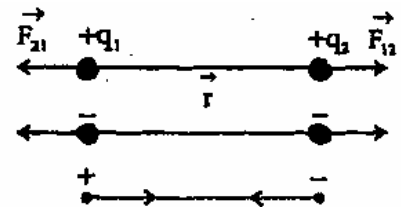
$$8,86 \cdot 10^{-12} (\text{N}^{-1} \cdot \text{C}^2 \text{m}^{-2})$$

$$K = 9 \cdot 10^9 (\text{N} \cdot \text{C}^2 \text{m}^{-2})$$

Ta có thể biểu diễn định luật Cu lông dưới dạng véc tơ như sau: Kẻ véc tơ $\vec{r}$ gốc q_1 ngọn q_2 thì:

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\vec{r}}{r} \quad (1)$$

$$\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12} \quad (2)$$



Hình 1.1

2.3. Định luật Cu lông trong các môi trường.

Thực nghiệm cũng chứng tỏ nếu hai điện tích điểm đặt trong chất điện môi có cùng khoảng cách như khi chúng đặt trong chân không thì lực tương tác sẽ giảm đi ϵ lần.

Công thức (1) sẽ là:

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 \cdot \epsilon} \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\vec{r}}{r} \quad (3)$$

Trong đó ϵ được gọi là hằng số điện môi phụ thuộc vào bản chất của điện môi, nhiệt độ.

Thí dụ: Trong chân không $\epsilon = 1$

Không khí: $\epsilon = 1,006 \approx 1$

Nước $\epsilon = 81$

Chú ý: Định luật Cu lông mới chỉ cho ta xét tương tác giữa hai điện tích điểm Tuy nhiên nếu áp dụng nguyên lý tổng hợp lực trong cơ học ta có thể xét tương tác giữa hai vật mang điện bất kỳ. Thật vậy,

- Nếu hệ gồm nhiều điện tích điểm $q_1, q_2, \dots, q_n$

Phân bố gián đoạn trong không gian và một điện tích do đặt trong không gian đó. Ta xét tương tác từng hệ 2 điện tích q_1 và q_0 ; q_2 và $q_0 \dots q_n$ và q_0 ta sẽ có:

$$\vec{F} = \vec{F}_{10} + \vec{F}_{20} + \vec{F}_{30} + \dots + \vec{F}_{n0}$$

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_{i0}$$

- Nếu vật mang điện bất kỳ. Ta có thể chia vật thành vô số phần mang điện rất nhỏ hợp thành, mỗi phần như thế coi như điện tích điểm.

- Dựa vào phương pháp tính toán trên đây người ta chứng minh được tương tác giữa hai quả cầu mang điện đều có thể xác định bằng định luật Cu lông song phải coi điện tích của mỗi quả cầu như một điện tích điểm nằm ở tâm quả cầu đó.

3. ĐIỆN TRƯỜNG CỦA CÁC ĐIỆN TÍCH ĐIỂM

3.1. Khái niệm về điện trường.

Ta đã biết các điện tích tương tác với nhau ngay cả khi chúng đặt trong chân không. Ở đây có thể đặt ra nhiều câu hỏi: Lực tương tác đó truyền đi như thế nào? Có cần môi trường xung quanh không? Khi chỉ có một điện tích thì môi trường xung quanh có gì thay đổi?

Để trả lời các câu hỏi trên trong quá trình phát triển của vật lý học đã có hai giả thuyết đối lập nhau: Thuyết tác dụng xa, thuyết tác dụng gần.

Theo thuyết tác dụng xa, điện tích tương tác với nhau không cần một môi trường trung gian mà nó được truyền từ điện tích này đến điện tích kia một cách tức thời với vận tốc vô cùng lớn.

Cũng theo thuyết này nếu chỉ có một điện tích thì môi trường xung quanh điện tích đó không biến đổi gì.

Thừa nhận thuyết tương tác (tức là truyền vận động) không cần thông qua vật chất, thuyết tác dụng xa đã thừa nhận có vận động phi vật chất do đó thuyết đã bị bác bỏ.

Trái với thuyết tác dụng xa, thuyết tác dụng gần cho rằng xung quanh mỗi điện tích có xuất hiện một dạng vật chất "đặc biệt" gọi là điện trường.

Nhờ điện trường các điện tích mới tương tác được với nhau, vận tốc truyền phải là hữu hạn. Một tính chất cơ bản của điện trường là khi đặt một điện tích trong điện trường thì đều bị điện trường tác dụng lực.

Khoa học hiện đại đã chứng minh thuyết tác dụng gần là đúng.

Vậy xung quanh điện tích đứng yên xuất hiện một điện trường. Điện trường là một dạng của vật chất.

3.2. Véc tơ cường độ điện trường.

3.2.1. Định nghĩa.

Giả sử có một điện tích do đặt tại một điểm trong điện trường. Điện tích do rất nhỏ để nó không làm thay đổi điện trường mà ta đang xét, điện tích q_0 được gọi là điện tích thử ($q_0 > 0$).

Thực nghiệm chứng tỏ:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \text{const} \quad (4)$$

đối với một điểm xác định $\vec{E}$ được gọi là véc tơ cường độ điện trường.

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

Vì vậy véc tơ cường độ điện trường đặc trưng cho điện trường về phương diện tác dụng lực.

Trong hệ SI đơn vị của $\vec{E}$ là (V.m^{-1}).

3.2.2. Véc tơ cường độ điện trường gây ra bởi một điện tích điểm:

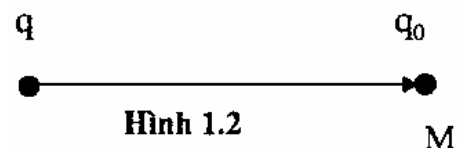
Giả sử có một điện tích điểm q . Xung quanh q có một điện trường. Tại một điểm M cách q một khoảng r nếu ta đặt điện tích qui. Theo định luật Cu lông lực tác dụng của điện trường q lên q_0 là:

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

Do đó: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon} \cdot \frac{q}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r} \quad (5)$

Rõ ràng: $q > 0$ thì $\vec{E}$ cùng chiều $\vec{r}$ $q < 0$ thì $\vec{E}$ ngược chiều $\vec{r}$

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



3.2.3. Véc tơ cường độ điện trường do hệ điện tích điểm.

Giả sử có hệ điện tích điểm $q_1, q_2, \dots, q_n$ Tại một điểm M trong điện trường do hệ điện tích điểm trên gây ra nếu ta đặt điện tích thử q_0 .

Ta có:

$$\vec{F}_{q_0} = \vec{F}_{q_1 q_0} + \vec{F}_{q_2 q_0} + \dots + \vec{F}_{q_n q_0}$$
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_{q_0}}{q_0} = \frac{\vec{F}_{q_1 q_0}}{q_0} + \frac{\vec{F}_{q_2 q_0}}{q_0} + \dots + \frac{\vec{F}_{q_n q_0}}{q_0}$$

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

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i \quad (6)$$

Biểu thức (6) được gọi là nguyên lý chồng chất của điện trường.

3.3. Lượng cực điện

3.3.1. Định nghĩa:

Lượng cực điện là hệ hai điện tích điểm có điện tích bằng nhau và trái dấu (+q, -q) cách nhau một khoảng l rất nhỏ so với khoảng cách từ lượng cực điện tới điểm đang xét.

Để đặc trưng cho lượng cực điện người ta dùng một đại lượng vật lý gọi là mô men lưỡng cực điện, được định nghĩa:

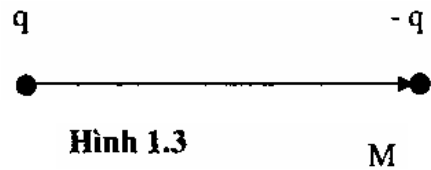
$$\vec{P}_e = q \cdot \vec{l}$$

Đường thẳng nối giữa q và -q được gọi là trục lưỡng cực điện.

3.3.2. Điện trường do lưỡng cực điện gây ra:

Trong đó: q: là độ lớn của mỗi điện tích $\vec{l}$: được kể từ -q đến +q.

Để đơn giản ta chỉ xét cường độ điện trường do lưỡng cực điện gây ra tại những điểm nằm trên đường trung trục của l, cách l một khoảng $r \gg l$.



Hình 1.3

Theo nguyên lý chồng chất của điện trường ta có:

$$\vec{E} = \vec{E}_+ + \vec{E}_-$$

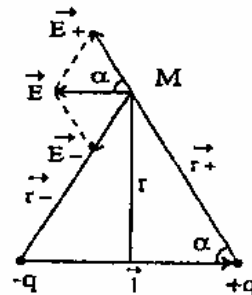
Về độ lớn:

$$E_+ = E_- = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q}{r_+^2}$$

$$r_+^2 = r^2 + \frac{l^2}{4}$$

$$\text{Vì } r \gg l \text{ nên } r_+^2 \approx r^2$$

$$\text{Vậy } E_+ = E_- = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q}{r^2}$$



Hình 1.4

$\vec{E}$ có phương song song $\vec{l}$, có chiều ngược chiều với $\vec{l}$.

$$|\vec{E}| = E = 2 \cdot E_+ \cdot \cos\alpha = 2 \cdot E_+ \cdot \frac{l}{2r} = \frac{l}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q \cdot l}{r^3} = \frac{l}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{P_e}{r^3}$$

$$\text{Tóm lại ta có: } \vec{E} = -\frac{\vec{P}_e}{4\pi\epsilon_0\epsilon \cdot r^3} \quad (7)$$

3.3.3. Lưỡng cực điện trong điện trường.

Giả sử có một lưỡng cực điện đặt trong điện trường đều véc tơ cường độ điện trường $\vec{E}$ làm với $\vec{P}_e$ một góc α . Các điện tích q và $-q$ sẽ chịu một lực tác dụng của điện trường:

$$\vec{F}_+ = q\vec{E}$$

$$\vec{F}_- = -q\vec{E}$$

$\vec{F}_+$ và $\vec{F}_-$ làm thành một ngẫu lực có mô men ngẫu lực

$$\vec{M} = \vec{P}_e \wedge \vec{E} \quad (8)$$

Dưới tác dụng của $\vec{M}$ lưỡng cực điện sẽ bị quay sao cho P_e trùng với phương của $\vec{E}$ và tại đó $\vec{M} = 0$, lưỡng cực điện ở trạng thái cân bằng.

* Chú ý:

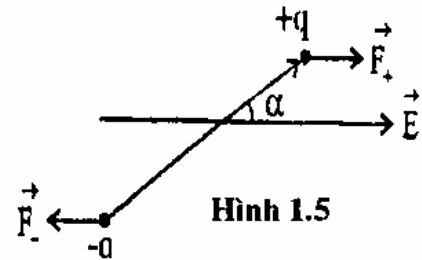
Trạng thái cân bằng của lưỡng cực điện còn phụ thuộc vào chuyển động nhiệt của các phân tử lưỡng cực.

- Nếu lưỡng cực không vững chắc thì trong quá trình quay, nó có thể bị biến dạng.

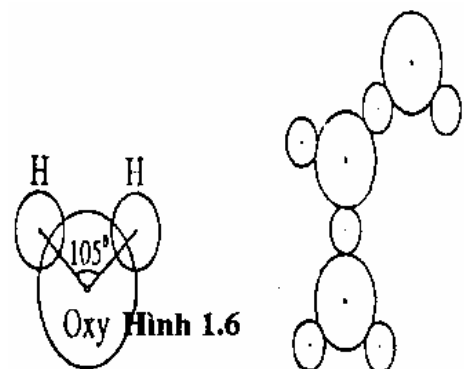
• Ứng dụng thực tế: nấu nướng bằng lò vi sóng. Một phân tử nước (H_2O) là một lưỡng cực điện.

Oxy và 2 nguyên tử hydro liên kết với nhau không nằm trên cùng một đường thẳng mà tạo thành một góc chừng 105° (Hình 13.6). Kết quả là phân tử nước có hai phía xác định, phía oxy và phía hydro. Ngoài ra 10 điện tử trong phân tử nước có xu hướng ở gần hạt nhân oxy hơn gần hạt nhân hydro. Điều đó làm cho phân tử nước tạo thành một lưỡng cực điện, phía dương là hydro, phía âm là oxy.

Trong nước, khi các phân tử có thể chuyển động tương đối. Điện trường do mỗi lưỡng cực điện sinh ra ảnh hưởng đến các lưỡng cực điện xung quanh. Kết quả là các phân tử nước có thể liên kết thành nhóm 2 hoặc nhóm 3 phân tử (Hình 1.6) (vì đầu âm của phân tử lưỡng cực này hút đầu dương của phân tử lưỡng cực khác). Mỗi lần hình thành một nhóm như vậy thế năng điện được chuyển



Hình 1.5



Hình 1.6

thành động năng chuyển động của các phân tử.

Và mỗi lần va chạm khi một nhóm tan rã thì năng lượng lại chuyển theo chiều ngược lại. Nhiệt độ của nước không thay đổi vì trung bình sự chuyển đổi năng lượng tổng cộng bằng không.

Khi lò vi sóng hoạt động, các sóng micromet tạo ra trong lò điện trường xoay chiều (với các lò vi sóng phổ biến hiện nay tần số $f \sim 10^{14} \text{Hz}$)

Nếu trong lò có H_2O , các phân tử lưỡng cực nước quay tới, quay lui một cách liên tục để định hướng mô men lưỡng cực điện theo điện trường. Các phân tử lưỡng cực liên kết thành cặp có thể quay quanh mỗi liên kết chung, chúng có thể định hướng theo điện trường. Tuy nhiên trong các liên kết nhóm 3 ít nhất một phân tử bị gãy trong nhóm liên kết, và lúc đó giải phóng năng lượng dưới dạng nhiệt, nước nóng lên.

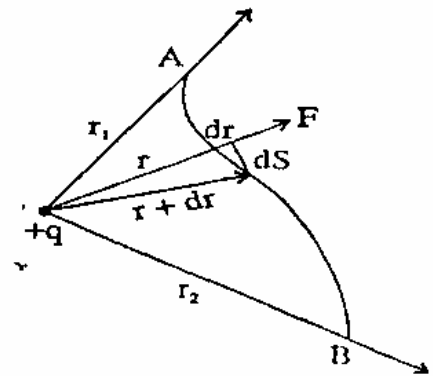
Vậy trong lò vi sóng năng lượng sóng điện từ đã chuyển thành nhiệt năng.

4. ĐIỆN THẾ, HIỆU ĐIỆN THẾ

4.1. Công của lực điện trường.

Giả sử có một điện tích $+q$. Xung quanh q có một điện trường. Ta hãy tính công của lực điện trường làm do dịch chuyển từ A đến B theo một đường bất

$$\begin{aligned} A &= \int_A^B dA = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{S} = \int_A^B F \cdot dS \cdot \cos\alpha \\ &= \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q \cdot q_0}{r^2} \cdot dr = \frac{q \cdot q_0}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \left(-\frac{1}{r}\right) \Big|_{r_1}^{r_2} \\ A &= \frac{q \cdot q_0}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad (9) \end{aligned}$$



Hình 1.7

Nhận xét: Công của lực điện trường không phụ thuộc vào hình dạng đường đi, chỉ phụ thuộc vào vị trí các điểm đầu và điểm cuối. Vì vậy điện trường cũng là một trường thế và lực điện là một lực thế.

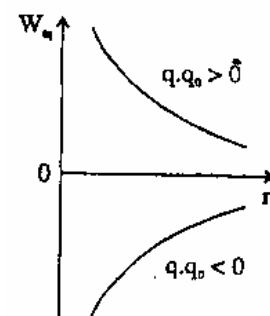
4.2. Thế năng điện tích điểm trong điện trường.

Ta đã biết đối với trường thế.

$$A_{12} = W_{t_1} - W_{t_2}$$

Áp dụng vào điện trường:

$$\begin{aligned} A_{12} &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q \cdot q_0}{r_1} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q \cdot q_0}{r_2} \\ \text{Đặt: } W_{t_1} &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q \cdot q_0}{r_1}; \quad W_{t_2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q \cdot q_0}{r_2} \end{aligned}$$



Hình 1.8

Tổng quát: Thế năng của một điện tích điểm trong điện trường tại một vị trí cách q một khoảng r là:

$$W_{tq} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q \cdot q_0}{r} + C$$

C là hằng số tùy ý chọn. Tuy nhiên trong thực tế ta không tính thế năng mà chỉ tính hiệu thế năng, nên hằng số C đơn giản ta chọn bằng 0.

Do đó:

$$W_{tq} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q \cdot q_0}{r} \quad (10)$$

Vậy nếu q và q₀ cùng dấu thế năng dương, còn q và q₀ khác dấu thế năng âm.

4.3. Điện thế

Nếu ta dùng đại lượng:

$$W_{tq} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q \cdot q_0}{r}$$

Từ biểu thức:

$$V = \frac{W_{tq}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q}{r} \quad (11)$$

Thì rõ ràng V không phụ thuộc vào q₀, chỉ còn phụ thuộc vào điện tích q gây ra điện trường và r tính từ vị trí xét. V được gọi là điện thế.

Nếu có hệ điện tích điểm:

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

Trong hệ SI đơn vị của điện thế là Vôn (V)

4.4. Hiệu điện thế.

Với khái niệm hiệu điện thế thì công của lực điện trường có thể viết:

$$\begin{aligned} A_{12} &= q_0 \left(\frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon \cdot r_1} - \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon \cdot r_2} \right) \\ A_{12} &= q_0 (V_1 - V_2) \\ V_1 - V_2 &= \frac{A_{12}}{q_0} \end{aligned} \quad (12)$$

Đại lượng V₁ - V₂ được gọi là hiệu điện thế giữa hai điểm 1 và 2 trong điện trường, có giá trị bằng công làm dịch chuyển một đơn vị điện tích dương giữa hai điểm đó. Do đó hiệu điện thế đặc trưng cho điện trường về khả năng sinh công.

Rõ ràng điện thế và hiệu điện thế cùng đơn vị đo (Vôn).

CHƯƠNG 2

DÒNG ĐIỆN KHÔNG ĐỔI

1. NHỮNG KHÁI NIỆM MỞ ĐẦU

1.1. Định nghĩa dòng điện:

Trong môi trường dẫn điện các điện tích tự do luôn luôn chuyển động hỗn loạn.

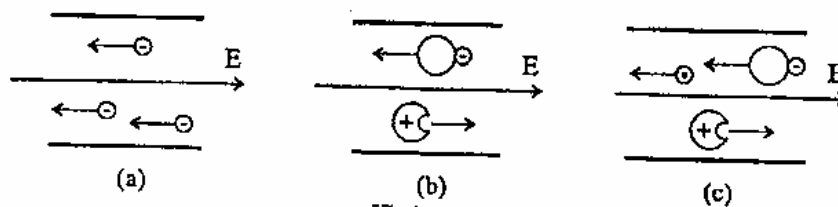
Dưới tác dụng của điện trường ngoài các điện tích tự do đó sẽ chuyển động có hướng: điện tích dương chuyển động cùng chiều điện trường, điện tích âm chuyển động ngược chiều điện trường. ***Dòng các hạt điện tích chuyển động có hướng dưới tác dụng của điện trường gọi là dòng điện.***

Theo quy ước chiều của dòng điện là chiều chuyển dời của các hạt điện tích dương hay là ngược chiều với chiều chuyển động của các hạt điện tích âm.

1.2. Bản chất dòng điện trong các môi trường

Bản chất dòng điện trong các môi trường khác nhau cũng khác nhau (Hình 2.1).

Thực vậy như ta đã biết trong kim loại các nguyên tử liên kết chặt chẽ với nhau tạo thành mạng tinh thể kim loại. Các ion dương chỉ dao động xung quanh nút mạng, dòng các điện tử tự do (electron tự do) chuyển động hỗn loạn trong không gian giữa các nút mạng. Dưới tác dụng của điện trường chính các điện tử tự do này chuyển động tạo ra dòng điện (Hình 2.1.a)



Hình 2.1

Trái lại trong chất điện phân khi chưa có điện trường ngoài các phân tử chất điện phân do tương tác với nhau đã tự phân ly thành ion dương, ion âm. Dưới tác dụng của điện trường các ion này chuyển động tạo ra dòng điện (Hình 2.1.b). Khối lượng m của chất được giải phóng ra ở điện cực bình điện phân được tính theo công thức:

$$m(g) = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{n} \cdot It$$

Trong đó F là một hằng số gọi là số Faraday: $F = 96500 \text{ C/mol}$, A là khối lượng một nguyên tử của chất thu được ở điện cực.

Đối với chất khí ở trạng thái bình thường các phân tử khí hầu như đều ở trạng thái trung hoà về điện. Tuy nhiên khi có kích thích bên ngoài các phân tử khí có thể giải phóng điện tử thành ion dương. Các điện tử được giải phóng một số ở trạng thái tự do,

một số kết hợp với nguyên tử trung hoà khác thành ion âm. Khi có điện trường ngoài cả ion dương, ion âm, điện tử đều chuyển động tạo ra dòng điện (Hình 2.1.c).

Chân không vốn không có hạt mang điện. Nó chỉ dẫn được điện khi đưa electron vào. Dòng điện trong chân không là dòng chuyển dời có hướng của các electron bứt ra từ catốt bị nung nóng do tác dụng của điện trường. Đặc điểm của dòng điện trong chân không là nó chỉ chạy theo một chiều nhất định từ anốt sang catốt.

Dòng điện trong bán dẫn là dòng dịch chuyển có hướng của các electron tự do và lỗ trống dưới tác dụng của điện trường. Tùy theo tạp chất pha vào bán dẫn tinh khiết mà bán dẫn thuộc một trong hai loại là bán dẫn loại n và bán dẫn loại p. Dòng điện trong bán dẫn loại n chủ yếu là dòng electron, còn trong bán dẫn loại p chủ yếu là dòng các lỗ trống. 1.3. Tác dụng của dòng điện.

Tuy có bản chất khác nhau nhưng dòng điện bao giờ cũng có tác dụng đặc trưng giống nhau như tác dụng nhiệt, tác dụng từ, tác dụng sinh lý, tác dụng cơ học, ... Các tác dụng này được ứng dụng nhiều trong y học.

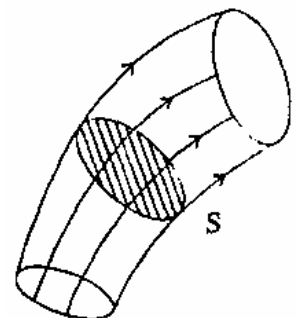
2. NHỮNG ĐẠI LƯỢNG ĐẶC TRƯNG CỦA DÒNG ĐIỆN

2.1. Cường độ dòng điện.

Xét một diện tích S bất kỳ nằm trong môi trường có dòng điện chạy qua (Hình 2.2)

Theo định nghĩa: *Cường độ dòng điện qua diện tích S là đại lượng có trị số bằng điện lượng chuyển qua diện tích ấy trong một đơn vị thời gian.*

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1)$$



Hình 2.2

Từ đó suy ra điện lượng q đi qua diện tích S trong thời gian t sẽ là:

$$q = \int_0^t dq = \int_0^t i \cdot dt \quad (2)$$

Nếu i có phương chiều độ lớn không đổi theo thời gian thì dòng điện đó được gọi là dòng điện không đổi từ (2) nếu $i = I = \text{hs}$. Ta có:

$$q = \int_0^t i \cdot dt = I \cdot t \quad (3)$$

Hệ SI, đơn vị cường độ dòng điện là Ampe (A), đơn vị điện tích q là Cu lông (C).

Ngoài ra trong thực tế còn dùng:

Kilo Ampe: $1\text{Ka} = 10^3 \text{A}$

Mili Ampe: $1\text{mA} = 10^{-3} \text{A}$

Micro Ampe: $1\mu \text{A} = 10^{-6} \text{A}$

2.2. Véc tơ mật độ dòng điện.

Cường độ dòng điện chỉ đặc trưng cho độ mạnh yếu của dòng điện qua một diện tích nào đó, chưa đặc trưng cho độ mạnh yếu của dòng điện tại từng điểm trong môi trường, ngoài ra cường độ dòng điện còn chưa cho ta biết phương, chiều các dòng điện. Vì vậy, ngoài cường độ dòng điện người ta còn dùng một đại lượng vật lý khác để đặc trưng cho dòng điện đó là véc tơ mật độ dòng điện.

2.2.1. Định nghĩa.

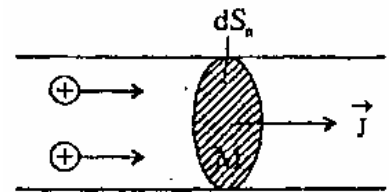
Véc tơ mật độ dòng điện tại một điểm M trong môi trường có dòng điện là một véc tơ có gốc tại M , có phương chiều là phương chiều của điện tích dương chuyển động qua điểm đó có độ lớn bằng cường độ dòng điện qua một đơn vị diện tích đặt vuông góc với phương chuyển động ấy. (Hình 2.3)

Về độ lớn ta có:

$$I = \int_{S_n} dI = \int_{S_n} j \cdot dS_n \quad (5)$$

Từ (4) ta suy ra cường độ dòng điện qua diện tích vuông góc S_n là:

$$j = \frac{dI}{dS_n} \quad (4)$$



Hình 2.3

Nếu trên cả mặt S_n mà $j = \text{const}$. Ta có:

$$I = j \cdot S_n$$

Để tính cường độ qua diện tích S bất kỳ ta phải chia diện tích S đó thành những phần tử dS . Sao cho trên dS , $\vec{j}$ không đổi. Gọi dS_n là hình chiếu dS trên phương vuông góc với $\vec{j}$; thì rõ ràng cường độ dòng điện qua dS_n bằng cường độ qua dS .

Ta có:

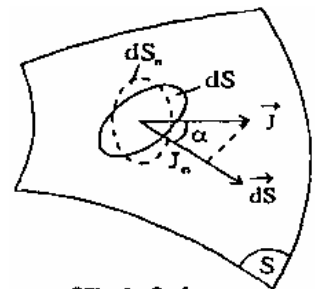
$$dI = j \cdot dS_n = j \cdot dS \cdot \cos \alpha$$

Vì: $j \cdot \cos \alpha = j_n$

j_n là hình chiếu $\vec{j}$ trên pháp tuyến n của dS . Nên dựng $d\vec{S}$ là một véc tơ có phương pháp tuyến n , có độ lớn bằng giá trị của dS .

Theo toán học ta có:

$$\begin{aligned} dI &= \vec{j} \cdot d\vec{S} \\ I &= \int_S dI = \int_S \vec{j} \cdot d\vec{S} \end{aligned} \quad (6)$$



Hình 2.4

Trong hệ SI đơn vị của $\vec{j}$ là: A/m²

2.2.2. Sự liên hệ giữa véc tơ mật độ dòng điện và véc tơ vận tốc của các điện tích chuyển động.

Nếu gọi n_0 là mật độ điện tích tự do $|q|$ là độ lớn mỗi hạt điện tích, $\vec{v}$ là độ lớn vận tốc mỗi hạt thì j , n_0 , $|q|$, $\vec{v}$ lại có mối liên hệ với nhau.

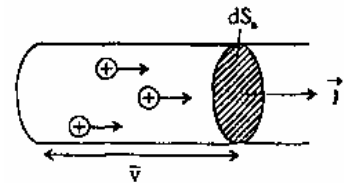
Thực vậy trong một đơn vị thời gian số hạt điện tích đi qua dS_n sẽ là:

$$d_n = n_0 \cdot \vec{v} \cdot dS_n$$

Do đó cường độ di qua dS_n sẽ là:

$$dI = n_0 \cdot \vec{v} \cdot dS_n \cdot |q|$$

$$j = \frac{dI}{dS_n} = n_0 \cdot |q| \cdot \vec{v}$$



Hình 2.5

Ta có thể biểu diễn dưới dạng tổng quát như sau:

$$\vec{j} = n_0 \cdot q \cdot \vec{v} \quad (7)$$

Dễ dàng nhận thấy (7) đúng cho cả hạt mang điện tích dương và điện tích âm.

Thật vậy: $q > 0 \rightarrow \vec{j}$ cùng chiều $\vec{v}$

$q < 0 \rightarrow \vec{j}$ ngược chiều $\vec{v}$

CHƯƠNG 3

TỪ TRƯỜNG DÒNG ĐIỆN KHÔNG ĐỔI

1. THÍ NGHIỆM VỀ TƯƠNG TÁC TỪ CỦA DÒNG ĐIỆN

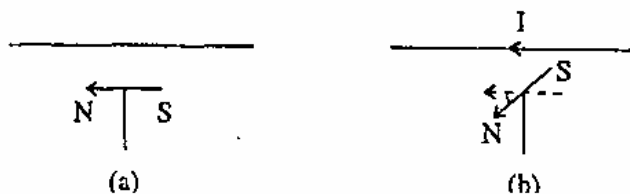
Ta đã biết xung quanh một nam châm xuất hiện một từ trường. Nhờ từ trường mà các nam châm tương tác được với nhau (các cực cùng dấu đẩy nhau, khác dấu hút nhau). Tương tác của nam châm với nhau gọi là tương tác từ.

Các thí nghiệm sau đây cũng chứng tỏ dòng điện cũng có từ tính như nam châm, nghĩa là xung quanh dòng điện cũng xuất hiện một từ trường.

1.1. Thí nghiệm 1:

Đặt một kim nam châm tự do thì kim nam châm luôn luôn chỉ theo hướng Bắc Nam.

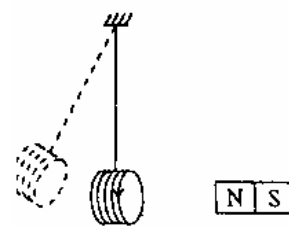
Căng một sợi dây dẫn sao cho phương của sợi dây song song với trục của nam châm (hình 3.1a). Nếu cho dòng điện không đổi đi qua sợi dây thì kim nam châm bị quay đi 1 góc (Hình 3.1 b)



Hình 3.1

1.2. Thí nghiệm 2:

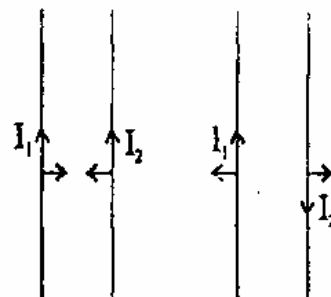
Đưa nam châm thẳng vào gần một ống dây dẫn có dòng điện chạy thì thấy nam châm có thể hút hoặc đẩy ống dây đó (hình 3.2)



Hình 3.2

1.3. Thí nghiệm 3:

Có hai dây dẫn đặt song song với nhau. Nếu cho dòng điện chạy qua hai dây dẫn đó cùng chiều thì thấy hai dây dẫn đó 1 chạy ngược chiều thì hai dây dẫn đó đẩy nhau. (Hình 3.3)



Hình 3.3

1.4. Kết luận.

Qua nhiều thí nghiệm chứng tỏ nam châm tác dụng lên nam châm cũng giống dòng điện tác dụng

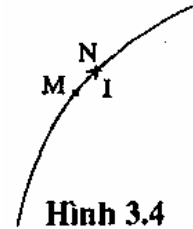
lên nam châm, hay nam châm tác dụng lên dòng điện hoặc dòng điện tác dụng lên dòng điện.

Vây xung quanh nam châm và xung quanh dây dẫn có dòng điện chạy qua đều xuất hiện một từ trường. Tương tác giữa nam châm với nam châm, dòng điện với dòng điện, hay giữa nam châm với dòng điện đều có cùng bản chất được gọi là tương tác từ.

2. ĐỊNH LUẬT AMPE (AMPER) VỀ TƯƠNG TÁC TỪ CỦA ĐỒNG ĐIỆN

2.1. Phần tử dòng điện.

Trên một dây dẫn có dòng điện I chạy qua nếu ta thấy một đoạn nhỏ MN , MN coi là thẳng, thì phần tử dòng điện MN được định nghĩa là: $I \cdot \vec{dl}$ trong đó $\vec{dl}$ là véc tơ có độ dài MN , có chiều là chiều dòng điện I chạy trong dây dẫn (Hình 3.4).



Hình 3.4

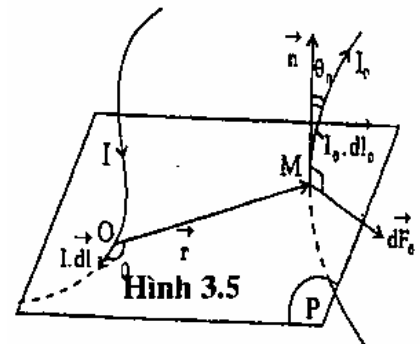
2.2. Định luật Ampe

2.2.1. Trong chân không.

Giả sử trong chân không có 2 dòng điện I, I_0 . Trên dây dẫn có cường độ I , tại O ta thấy phần tử dòng điện $I \cdot \vec{dl}$, trên dây dẫn có cường độ I_0 ta lấy phần tử dòng điện $I_0 \cdot \vec{dl}_0$ ta lấy phần tử dòng điện $I \cdot \vec{dl}$, tại điểm M . Kẻ véc tơ $\vec{r} = \vec{OM}$.

Dựng mặt phẳng P chứa $I \cdot \vec{dl}$ và $\vec{r}$. Tại M kẻ pháp tuyến $\vec{n}$ với mặt phẳng P sao cho thứ tự 3 véc tơ $I \cdot \vec{dl}$, $\vec{r}$, $\vec{n}$ lập thành một tam diện thuận.

Gọi θ góc giữa $I \cdot \vec{dl}$ và $\vec{r}$, θ_0 là góc giữa $I_0 \cdot \vec{dl}_0$ và $\vec{n}$ (Hình 3.5)



Hình 3.5

Qua thực nghiệm chứng tỏ lực tác dụng của phần tử $I \cdot \vec{dl}$ lên phần tử $I_0 \cdot \vec{dl}_0$ cho là một lực $\vec{dF}_0$.

- Có phương vuông góc với phần tử $I_0 \cdot \vec{dl}_0$ và vuông góc với $\vec{n}$.
- Có chiều sao cho thứ tự ba véc tơ $I_0 \cdot \vec{dl}_0$, $\vec{n}$ và $\vec{dF}_0$ lập thành tam diện thuận.

Có độ lớn:

$$dF_0 = K \cdot \frac{I \cdot dl \cdot \sin \theta \cdot I_0 \cdot dl_0 \cdot \sin \theta_0}{r^2}$$

K : là hệ số tỷ lệ trong hệ SI:

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

μ_0 được gọi là hằng số từ có giá trị:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{H}{m} \text{ (henri/met).}$$

Ta có thể biểu diễn bằng biểu thức toán học tổng quát như sau:

$$\overrightarrow{dF_0} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{(I_0 \cdot d\vec{l}_0) \wedge (I \cdot d\vec{l} \wedge \vec{r})}{r^3} \quad (1)$$

2.2.2. Trong các môi trường.

Thực nghiệm cũng chứng tỏ, hai phần tử dòng điện nếu đặt trong môi trường, cùng khoảng cách so với khi chúng đặt trong chân không thì lực tác dụng sẽ thay đổi μ lần.

$$\overrightarrow{dF} = \mu \cdot \overrightarrow{dF_0}.$$

μ được gọi là độ từ thẩm của môi trường.

Nếu $\mu > 1$ thì môi trường đó gọi là chất thuận từ. $\mu < 1$ thì được gọi là môi trường nghịch từ.

Và định luật Ampe được viết tổng quát cho các môi trường là:

$$\overrightarrow{dF} = \frac{\mu \cdot \mu_0}{4\pi} \cdot \frac{(I_0 \cdot d\vec{l}_0) \wedge (I \cdot d\vec{l} \wedge \vec{r})}{r^3} \quad (2)$$

Nhận xét: định luật Ampe là định luật cơ bản của tương tác từ. Thật vậy dòng điện chính là tập hợp của các phần tử dòng điện do đó nếu biết tương tác giữa hai phần tử dòng điện ta có thể tính được tương tác giữa các dòng điện, cũng giống như định luật Cu lông là định luật cơ bản của tương tác điện tích.

3. VÉC TƠ CẢM ỨNG TỪ, VÉC TƠ CƯỜNG ĐỘ TỪ TRƯỜNG

3.1. Véc tơ cảm ứng từ B.

Từ định luật Ampe nếu ta xét vector

$$\overrightarrow{dB} = \frac{\mu \cdot \mu_0}{4\pi} \cdot \frac{(I \cdot d\vec{l}) \wedge \vec{r}}{r^3} \quad (3)$$

Thì véc tơ $\overrightarrow{dB}$ chỉ phụ thuộc vào $I \cdot d\vec{l}$ là phần tử dòng điện gây ra từ trường và vị trí các điểm xét, không phụ thuộc vào $I_0 \cdot d\vec{l}_0$. $\overrightarrow{dB}$ được gọi là véc tơ cảm ứng từ do phần tử dòng điện $I \cdot d\vec{l}$ gây ra tại điểm M. Biểu thức (3) được gọi là định luật Bio-sava-laplat.

Định lý được phát biểu như sau: *Véc tơ cảm ứng từ do phần tử dòng điện gây ra tại một điểm trong từ trường có:*

- *Phương vuông góc với mặt phẳng chứa phần tử dòng điện và điểm xét (mặt phẳng chứa $I \cdot d\vec{l}$ và $\vec{r}$).*
- *Chiều cho thứ tự ba véc tơ $I \cdot d\vec{l}$, $\vec{r}$, do lập thành tam diện thuận (chiều của $\vec{r}$).*
- *Có độ lớn:*

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

* *Chú ý:*

- Với khái niệm $\vec{dB}$ thì định luật Ampe có thể biểu diễn:

$$d\vec{F} = (I_0 \cdot d\vec{l}_0) \wedge \vec{dB} \quad (4)$$

- Rõ ràng so sánh với biểu thức lực tĩnh điện:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

Thì thấy $\vec{dB}$ tương đương với véc tơ $\vec{E}$.

- Chùm của vectơ $\vec{dB}$ còn có thể tìm theo quy tắc đinh ốc sau đây:

Đặt cái đinh ốc theo phương của dòng điện và vận đinh ốc sao cho nó tiến theo chiều dòng điện, thì chiều quay của cái đinh ốc là chiều của véc tơ $\vec{dB}$.

- Trong hệ SI đơn vị cảm ứng từ là Tesla (T).

3.2. Nguyên lý chồng chất từ trường.

Dựa vào định luật Ampe ta có thể tính được véc tơ cảm ứng từ của cả dòng điện hoặc n dòng điện gây ra tại một điểm trong từ trường. Thật vậy:

- Đối với một dòng điện:

$$\vec{B} = \int_{\text{cadongdien}} \vec{dB} \quad (5)$$

- Đối với n dòng điện:

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i \quad (6)$$

Trong đó $\vec{B}$ là véc tơ cảm ứng từ do dòng điện thứ i gây ra.

Biểu thức (5) và (6) gọi là nguyên lý chồng chất của từ trường.

3.3. Véc tơ cường độ từ trường H

Cũng giống như điện trường, ngoài véc tơ $\vec{E}$ người ta còn dùng véc tơ $\vec{D}$ để đặc trưng cho điện trường. Trong từ trường ngoài véc tơ $\vec{B}$ ta còn dùng một đại lượng véc tơ cường độ từ trường $\vec{H}$ được định nghĩa:

Rõ ràng $\vec{H}$ và $\vec{B}$ cùng phương chiều chỉ khác nhau về độ lớn, và $\vec{H}$ không phụ thuộc vào μ Trong hệ SI đơn vị của H là Ampelmet (Anh)

3.4. Véc tơ cảm ứng từ B và cường độ từ trường H trong một vài trường hợp đặc biệt.

Dựa vào định luật Ampe và nguyên lý chồng chất của từ trường ta có thể tính được véc tơ cảm ứng từ $\vec{B}$ cho các dòng điện. Ta chỉ xét một số trường hợp đặc biệt sau:

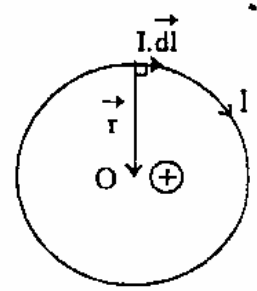
3.4.1. Dòng điện tròn.

Giả sử có một dây dẫn hình tròn bán kính R , có dòng điện I chạy qua. Ta hãy tính cảm ứng từ do dòng điện gây tại tâm O . Xét phần tử $I \cdot d\vec{l}$ bất kỳ, ta thấy:

$$\alpha = 90^\circ$$

về độ lớn:

$$dB = \frac{\mu \cdot \mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot dl \cdot \sin \alpha}{r^2} = \frac{\mu \cdot \mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot dl}{R^2}$$



Hình 3.6

Còn phương chiều áp dụng quy tắc đinh ốc (trong trường hợp này có phương vuông góc với mặt phẳng chứa dây dẫn, chiều đi vào) (Hình 3.6).

Các phần tử $I \cdot d\vec{l}$ bất kỳ trên dây dẫn đều gây ra ở O những véc tơ cảm ứng từ dB cùng phương cùng chiều và có độ lớn đều bằng:

$$dB = \frac{\mu \cdot \mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot dl}{R^2}$$

Do đó:

$$\begin{aligned} B &= \int_{\text{cadongdien}} dB = \int_{\text{cadongdien}} \frac{\mu \cdot \mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot dl}{R^2} \\ B &= \frac{\mu \cdot \mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot dl}{R^2} \int_{\text{cadongdien}} dl = \frac{\mu \cdot \mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{R^2} \cdot 2\pi \cdot R \\ B &= \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot I}{2R} \end{aligned}$$

Chú ý:

- Để đặc trưng cho tính chất từ của dòng điện tròn người ta ra một đại lượng vật lý là mô men từ của dòng điện tròn được định nghĩa như sau:

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

Trong đó: I là cường độ dòng điện

$\vec{S}$ là một véc tơ có cường độ lớn bằng diện tích của hình tròn chứa vòng dây có dòng điện chạy, chiều của $\vec{S}$ là chiều của $\vec{B}$ tại đó:

Nếu dùng khái niệm:

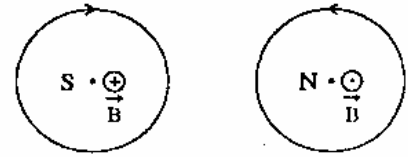
$$\vec{P}_m = I \cdot \vec{S}$$

Thì cảm ứng từ $\vec{B}$ do dòng điện tròn gây ra tại tâm O có thể viết.

$$\vec{B}_0 = \frac{\mu_0 \cdot \mu \cdot I \cdot \vec{S}}{2\pi \cdot R^3} = \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot \vec{P}_m}{2\pi \cdot R^3} \quad (8)$$

Để tìm chiều của véc tơ cảm ứng từ gây ra đối với dòng điện tròn người ta còn dùng quy tắc kim đồng hồ như sau:

Nhìn vào vòng dây, nếu dòng điện chạy ngược chiều kim đồng hồ thì đó là cực bắc (đường sức cảm ứng từ đi ra từ cực bắc) nếu dòng điện chạy cùng chiều kim đồng hồ đó là cực nam.



Hình 3.7

Biết $\vec{B}_0$ ta có thể tính $\vec{H}_0$:

$$\vec{H}_0 = \frac{\vec{B}_0}{\mu_0 \mu} = \frac{I \vec{S}}{2 \pi R^3} = \frac{\vec{P}_m}{2 \pi R^3}$$

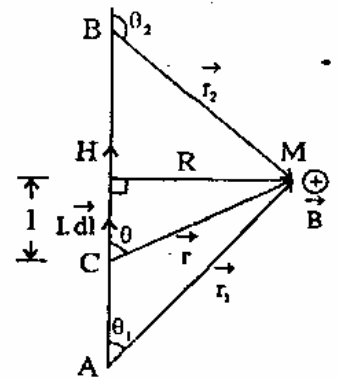
Về độ lớn:

$$H_0 = \frac{I}{2R} \quad (9)$$

Rõ ràng theo (9) trong hệ SI đơn vị của H sẽ là (A/m)

3.4.2. Dòng điện thẳng.

Giả sử có dây điện thẳng dài AB, có cường độ I đi qua. Hãy tính cảm ứng từ $\vec{B}$ và $\vec{H}$ do dòng điện gây ra tại một điểm M cách dây dẫn một khoảng R (Hình 3.8) Muốn vậy trên dây dẫn tại một điểm C bất kỳ ta lấy một phần tử dòng điện $I \cdot d\vec{l}$ thì $I \cdot d\vec{l}$ sẽ gây ra tại M một véc tơ cảm ứng từ có phương chiều xác định bằng quy tắc đinh ốc (trong hình vẽ có phương vuông góc với mặt phẳng chứa $I \cdot d\vec{l}$ và điểm xét, chiều đi vào)



Hình 3.8

Có độ lớn:

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

Gọi CH = l ta có:

$$\frac{l}{R} = \cot \theta$$

$$d(\cot \theta) = -\frac{d\theta}{\sin^2 \theta}$$

$$dl = -\frac{R \cdot d\theta}{\sin^2 \theta}$$

Vì $dl > 0$ nên:

$$dl = \frac{R \cdot d\theta}{\sin^2 \theta}$$

Mặt khác ta có:

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

Do đó:

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

Ta thấy các phần tử dòng điện trên dây dẫn đều gây ra tại M các véc tơ cảm ứng từ đều có cùng phương, cùng chiều. Do đó về độ lớn.

$$\begin{aligned} B &= \int_{\text{cà dòng điện}} dB = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot I}{4\pi \cdot R} \cdot \sin \theta \cdot d\theta \\ B &= \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot I}{4\pi \cdot R} \cdot (-\cos \theta) \Big|_{\theta_1}^{\theta_2} \\ B &= \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot I}{4\pi \cdot R} \cdot (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \end{aligned} \quad (10)$$

Nếu dây dẫn dài vô hạn thì:

$$\theta_1 = 0; \theta_2 = \pi$$

Và (10) trở thành:

$$B = \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot I}{4\pi \cdot R} \cdot [1 - (-1)] = \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot I}{2\pi \cdot R}$$

Tương tự véc tơ cường độ từ trường $\vec{H}$ do dòng điện gây ra tại M có phương, chiều cùng chiều với B.

Còn độ lớn:

$$H = \frac{I}{4\pi \cdot R} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \quad (11)$$

Và trường hợp dây dẫn dài vô hạn:

$$H = \frac{I}{2\pi \cdot R} \quad (12)$$