

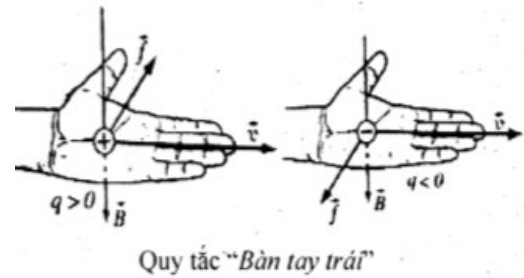
Chuyên đề 2: ĐIỆN TÍCH CHUYỂN ĐỘNG

A. TÓM TẮT KIẾN THỨC

I. LỰC LO-REN-XƠ

Lực Lo-ren-xơ là lực từ tác dụng lên hạt mang điện chuyển động trong từ trường. Lực Lo-ren-xơ có:

- Điểm đặt: Trên hạt mang điện chuyển động.
- Phương: Vuông góc với mặt phẳng chứa vectơ vận tốc $\vec{v}$ của điện tích và cảm ứng từ $\vec{B}$.
- Chiều:
 - + Với hạt mang điện dương: Tuân theo quy tắc “Bàn tay trái”: Đặt bàn tay trái sao cho các đường sức từ hướng vào lòng bàn tay, chiều từ cổ tay đến các ngón tay là chiều chuyển động của hạt mang điện, chiều ngón cái choãi ra 90° là chiều của lực từ.
 - + Với hạt mang điện âm: Lực từ có chiều ngược lại.



- Độ lớn: $f = |q|vB \sin \alpha$ (2.1)

(α là góc hợp bởi vectơ vận tốc $\vec{v}$ và vectơ cảm ứng từ $\vec{B}$)

II. CHUYỂN ĐỘNG CỦA HẠT MANG ĐIỆN TRONG ĐIỆN TRƯỜNG VÀ TỪ TRƯỜNG

1. Chuyển động của hạt mang điện trong từ trường đều

- Trường hợp $\alpha = 90^\circ$ ($\vec{v} \perp \vec{B}$): Quỹ đạo chuyển động của hạt mang điện là *đường tròn*, với:

- + Bán kính: $r = \frac{mv}{|q|B}$ (2.2)

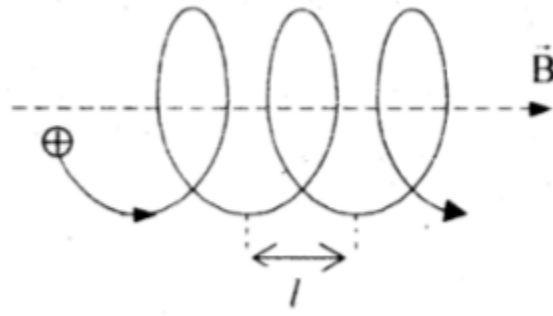
- + Chu kì: $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{|q|B}$ (2.3)

- + Tốc độ góc (tần số xi-clô-trôn): $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{|q|B}{m}$ (2.4)

- Trường hợp $0 < \alpha < 90^\circ$: Quỹ đạo chuyển động của hạt mang điện là *đường xoắn ốc*, với:

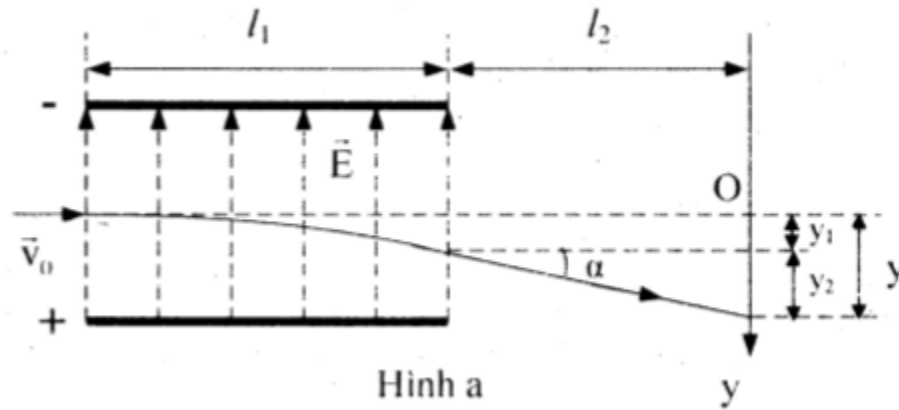
- + Bán kính, chu kì, tốc độ góc: Như trường hợp $\alpha = 90^\circ$ ($\vec{v} \perp \vec{B}$).

- + Bước xoắn: $l = \frac{2\pi v \cos \alpha \cdot m}{|q|B}$ (2.5)



2. Sự lệch của hạt mang điện chuyển động trong điện trường và từ trường

- Sự lệch của hạt mang điện chuyển động trong điện trường: Giả sử hạt mang điện có điện tích q , khối lượng m chuyển động với vận tốc v đi vào vùng điện trường giữa hai bản tụ điện đặt nằm ngang theo hướng vuông góc với các đường sức điện (hình a).



Hình a

Ta có:

- + Độ lệch (theo phương thẳng đứng) của hạt mang điện khi đi trong điện trường:

$$y_1 = \frac{|q|E}{2m} \frac{l_1^2}{v_0^2} = \frac{l_1}{2} \tan \alpha \quad (2.6)$$

- + Độ lệch (theo phương thẳng đứng) của hạt mang điện khi đi ra khỏi điện trường:

$$y_2 = \frac{|q|E}{m} \frac{l_1 l_2}{v_0^2} = l_2 \tan \alpha \quad (2.7)$$

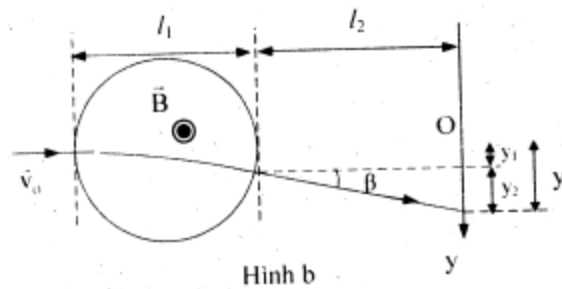
- + Độ lệch tổng cộng của hạt mang điện trong quá trình chuyển động:

$$\begin{aligned} y = y_1 + y_2 &= \frac{|q|E}{2m} \frac{l_1^2}{v_0^2} + \frac{|q|E}{m} \frac{l_1 l_2}{v_0^2} = \frac{|q|E}{m} \frac{l_1}{v_0^2} \left(\frac{l_1}{2} + l_2 \right) \\ &= \left(\frac{l_1}{2} + l_2 \right) \tan \alpha \quad (2.8) \end{aligned}$$

Với: $\tan \alpha = \frac{v_y}{v_0} = \frac{|q|E}{m} \frac{l_1}{v_0^2}$, α là góc lệch chuyển động của hạt so với phương ban đầu.

- Sự lệch của hạt mang điện chuyển động trong từ trường:

Xét hạt mang điện chuyển động đi vào vùng từ trường $\vec{B}$ (hình b).



Ta có:

Độ lệch (theo phương thẳng đứng) của hạt mang điện khi đi trong từ trường:

$$y_1 = \frac{l_1^2}{2R} = \frac{|q|B}{2m} \frac{l_1^2}{v_0} = \frac{l_1}{2} \tan \beta \quad (2.9)$$

Độ lệch (theo phương thẳng đứng) của hạt mang điện khi đi ra khỏi từ trường:

$$y_2 = \frac{|q|B}{m} \frac{l_1 l_2}{v_0} = l_2 \tan \beta \quad (2.10)$$

Độ lệch tổng cộng của hạt mang điện trong quá trình chuyển động:

$$y = y_1 + y_2 = \frac{|q|B}{2m} \frac{l_1^2}{v_0} + \frac{|q|B}{m} \frac{l_1 l_2}{v_0} = \frac{|q|B}{m} \frac{l_1}{v_0} \left(\frac{l_1}{2} + l_2 \right)$$

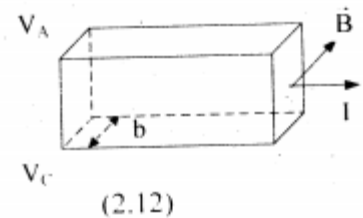
$$= \left(\frac{l_1}{2} + l_2 \right) \tan \beta \quad (2.11)$$

Với: $\tan \beta = \frac{y_1}{\frac{l_1}{2}} = \frac{2y_1}{l_1} = \frac{|q|Bl_1}{mv_0}$, β là góc lệch chuyển động của hạt so với phương ban đầu.

III. HIỆU ỨNG HÔN (HALL)

- Hiệu ứng Hôn là sự xuất hiện hiệu điện thế giữa hai mặt của tấm kim loại khi có dòng điện chạy qua và được đặt trong từ trường.

$$V_A - V_C = k \frac{IB}{b} \quad (2.12)$$



(b là bề dày của tấm kim loại; $k = \frac{1}{n_0 e}$: hằng số Hôn, n_0 là mật độ

electron trong kim loại)

- **Chú ý:** Thực nghiệm cho thấy, với kết quả chính xác thì: $k = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{n_0 e}$.

B. NHỮNG CHÚ Ý KHI GIẢI BÀI TẬP

□ VỀ KIẾN THỨC VÀ KĨ NĂNG

1. Trong quá trình chuyển động của hạt mang điện trong điện từ trường thì năng lượng của hạt được bảo toàn. Do đó ta có thể kết hợp sử dụng định lý động năng hoặc định luật bảo toàn năng lượng để giải bài toán về chuyển động của hạt trong điện từ trường. Cụ thể:

- Định lý động năng:

$$\Delta W_{\vec{v}} = A_{12} \Leftrightarrow \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 = q(v_1 - v_2) = qU.$$

- Định luật bảo toàn năng lượng:

$$W_1 = W_2 \Leftrightarrow \frac{1}{2} m_1^2 + qU_1 = \frac{1}{2} m v_2^2 + qU_2 = \text{const}$$

2. Trường hợp hạt bay vào điện trường dưới góc α so với $\vec{E}$ thì hạt sẽ chuyển động trong điện trường theo quỹ đạo là một pa-ra-bol với:

- Phương trình: $y = -\frac{1}{2} \frac{qE}{m v_0^2 \sin^2 \alpha} x^2 + x \cdot \cot \alpha.$

- Định: $x_M = \frac{1}{2} \frac{m v_0 \sin 2\alpha}{qE}; y_M = \frac{1}{2} \frac{m v_0^2 \sin^2 \alpha}{qE}.$

3. Trường hợp hạt bay vào từ trường dưới góc α so với $\vec{B}$ thì hạt sẽ chuyển động trong từ trường theo quỹ đạo là đường xoắn ốc với:

- Bán kính: $R = \frac{m v_0 \sin \alpha}{|q| B};$ chu kì: $T = \frac{2\pi m}{|q| B} v_0 \cos \alpha.$

- Bước xoắn: $l = v_0.$

□ VỀ PHƯƠNG PHÁP GIẢI

1. Với dạng bài tập về **chuyển động của hạt mang điện trong điện từ trường.**

Phương pháp giải là:

- Xác định các lực tác dụng vào hạt mang điện. Cụ thể:
 - + Có thể bỏ qua trọng lực tác dụng vào hạt (nếu m rất nhỏ).
 - + Lực Lo-ren-xơ: độ lớn $f = |q| v B \sin \alpha$, chiều được xác định theo quy tắc “Bàn tay trái”.
- Viết phương trình chuyển động của hạt theo định luật II Niu-ton: $F_{hl} = ma.$
- Trường hợp $\alpha = 90^\circ$, lúc đó quỹ đạo của hạt là đường tròn, với:

+ Bán kính $R = \frac{mv}{|q|B}$.

+ Chu kì: $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{|q|B}$.

+ Tốc độ góc (tần số xi-clô-trôn): $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{|q|B}{m}$.

- Trường hợp $0 < \alpha < 90^\circ$, lúc đó quỹ đạo của hạt là đường xoắn ốc, với:

+ Bán kính, chu kì, tốc độ góc như trường hợp $\alpha = 90^\circ$ ($\vec{v} \perp \vec{B}$).

+ Bước xoắn: $l = \frac{2\pi v \cos \alpha \cdot m}{|q|B}$.

- **Chú ý:** Các trường hợp phức tạp cần sử dụng kiến thức ở mục chú ý Về kiến thức và kỹ năng ở trên.

2. Với dạng bài tập về **hiệu ứng Hôn**. Phương pháp giải là:

- Sử dụng các công thức xác định hiệu điện thế Hôn, hằng số Hôn:

$$V_A - V_C = k \frac{|B|}{b}; k = \frac{1}{n_0 e}, \text{ b là bề dày của tấm kim loại}$$

- Một số chú ý: Chú ý đến giá trị chính xác của hằng số Hôn: $k = \frac{2}{3} \frac{1}{n_0 e}$ nếu đề bài yêu cầu.

C. CÁC BÀI TẬP VẬN DỤNG

1. CHUYỂN ĐỘNG CỦA HẠT MANG ĐIỆN TRONG ĐIỆN TỪ TRƯỜNG

2.1. Hạt α chuyển động trong từ trường có cảm ứng từ $B = 1,2T$ theo quỹ đạo tròn có bán kính 0,45m. Tính vận tốc v , chu kì quay T , động năng W của hạt trong từ trường và hiệu điện thế U cần thiết đã dùng để tăng tốc cho hạt trước khi đi vào từ trường. Biết hạt α là hạt nhân nguyên tử heli có khối lượng bằng 4 lần khối lượng prôtôn, có điện tích $+2e$, khối lượng prôtôn gấp 1840 lần khối lượng êlectrôn.

Bài giải

- Lực từ tác dụng lên hạt α : $F = |q|vB \cdot \sin \alpha = |q|vB$ (vì $\alpha = 90^\circ$)

- Vì hạt chuyển động theo quỹ đạo tròn nên lực F đóng vai trò là lực hướng tâm:

$$F = ma = m \frac{v^2}{R} \Leftrightarrow |q|vB = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow v = \frac{|q|BR}{m}$$

$$\text{Trong đó: } q = +2e = 2,1,6 \cdot 10^{-19} = 3,2 \cdot 10^{-19} C; m = 4m_p = 4,1840m_e$$

$$\Rightarrow m = 4,1840 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} = 6,6976 \cdot 10^{-27} \text{ kg.}$$

$$\Rightarrow v = \frac{3,2 \cdot 10^{-19} \cdot 1,2 \cdot 10^4}{6,6976 \cdot 10^{-27}} \approx 2,6 \cdot 10^7.$$

$$\text{- Chu kì: } T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2,3 \cdot 10^{-4}}{2,6 \cdot 10^7} \approx 1,1 \cdot 10^{-7} \text{ s.}$$

- Động năng:

$$W = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 6,6976 \cdot 10^{-27} \cdot (2,6 \cdot 10^7)^2 = 2,26 \cdot 10^{-12} \text{ J} = 14 \cdot 10^6 \text{ eV} = 14 \text{ MeV.}$$

(Lưu ý: $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$)

- Áp dụng định lý động năng ta có: $\Delta W_{\vec{v}} = A.$

$$\Rightarrow W - 0 = qU \Rightarrow U = \frac{W}{q} = \frac{14 \cdot 10^6 \text{ eV}}{2e} = 7 \cdot 10^6 \text{ V.}$$

2.2. Êlectrôn chuyển động trong một từ trường đều có cảm ứng từ B . Tại thời điểm ban đầu êlectrôn ở điểm O và vận tốc của nó vuông góc $\vec{B}$. Tìm khoảng cách từ O đến êlectrôn tại thời điểm t . Khối lượng m , điện tích e và vận tốc v của êlectrôn coi như đã biết.

Bài giải

- Vì vận tốc $\vec{v}$ vuông góc với $\vec{B}$ nên hạt chuyển động theo quỹ

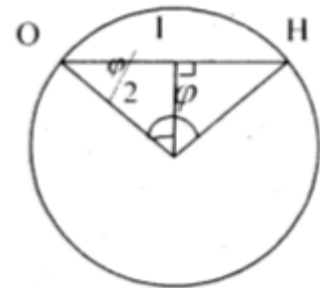
$$\text{đạo tròn với bán kính: } R = \frac{mv}{eB} \text{ và tần số góc: } \omega = \frac{v}{R} = \frac{eB}{m}.$$

- Từ đó, góc mà bán kính nối từ tâm đến hạt quay được trong thời gian t là:

$$\varphi = \omega t = \frac{eB}{m} t$$

$$\text{Ta có: } OH = 2OI = 2R \cdot \sin \frac{\varphi}{2} = \frac{2mv}{eB} \cdot \sin \left(\frac{eB}{2m} t \right)$$

$$\text{Vậy: Khoảng cách từ } O \text{ đến êlectrôn tại thời điểm } t \text{ là: } l = \frac{2mv}{eB} \cdot \sin \left(\frac{eB}{2m} t \right).$$



2.3. Máy phát điện từ thủy động (MHD). Tụ phẳng diện tích mỗi bản là S , khoảng cách giữa hai bản là d được đặt trong một dòng plasma dẫn điện có điện trở suất ρ . Plasma chảy với vận tốc $\vec{v}$ không đổi song song hai bản. Hệ thống được đặt trong từ trường có $\vec{B}$ song song hai bản và vuông góc $\vec{v}$. Hai bản tụ điện nối với một điện trở R .

a) Giải thích tại sao tụ điện lại có tác dụng như một nguồn điện cung cấp dòng điện không đổi cho R ? Tính công suất tiêu thụ của R .

b) Với giá trị nào của R , công suất là cực đại? Tính giá trị cực đại này.

Áp dụng số: $S=1\text{m}^2$; $d=1\text{m}$; $B=2\text{T}$; $\rho=10^2\Omega\text{m}$; $v=1000\text{m/s}$.

Bài giải

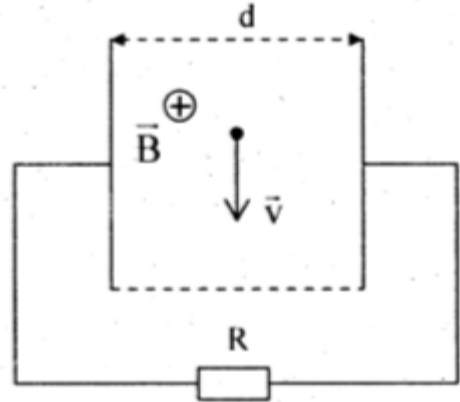
a) Công suất tiêu thụ của R

- Giải thích:

Vì dòng plasma dẫn điện nên khi chuyển động trong từ trường $\vec{B}$ thì sẽ chịu tác dụng của lực từ.

Vì vận tốc $\vec{v}$ của dòng plasma vuông góc với $\vec{B}$ nên lực từ tác dụng lên dòng plasma vuông góc với các bản tụ. Dưới tác dụng của lực từ này dẫn đến sự phân bố điện tích trái dấu trên hai bản của tụ.

Khi nối hai bản tụ với điện trở R thì sẽ có dòng điện qua R, khi đó tụ điện đóng vai trò như một nguồn điện.



- Tính công suất tiêu thụ trên R:

Ta có: $P = I^2 R$ (1)

Với $I = \frac{E}{R + R_t}$ (2)

(R_t : là điện trở của phần plasma nằm trong không gian giữa hai bản của tụ; E: là suất điện động).

Ta có: $R_t = \rho \cdot \frac{d}{S}$ (3) và $E = \frac{A}{q}$

(với q là điện tích của dòng plasma; A là công của lực điện làm di chuyển q từ bản này sang bản kia của tụ).

$\Rightarrow A = Fd = qvBd$; $E = vBd$ (4)

- Thay (4) vào (2), ta được: $I = \frac{vBd}{\left(R + \rho \frac{d}{S}\right)}$ (5)

- Thay (5) vào (1), ta được: $P = \frac{v^2 B^2 d^2}{\left(R + \rho \frac{d}{S}\right)^2} \cdot R$

Vậy: Công suất tiêu thụ của R là $P = \frac{v^2 B^2 d^2}{\left(R + \rho \frac{d}{S}\right)^2} \cdot R$

b) Xác định R để công suất P đạt cực đại

Ta có:
$$P = \frac{v^2 B^2 d^2}{\left(R + \rho \frac{d}{S}\right)^2} R \Rightarrow P = P_{\max} \text{ khi } \left(R + \rho \frac{d}{S}\right)_{\min}.$$

- Theo bất đẳng thức Cô-si, ta có: $R + \rho \frac{d}{S} \geq 2\sqrt{R \cdot \rho \frac{d}{S}}.$

$\Rightarrow \left(R + \rho \frac{d}{S}\right)_{\min} = 2\sqrt{R \cdot \rho \frac{d}{S}} \text{ khi và chỉ khi } R = \rho \frac{d}{S}.$

Và
$$P = P_{\max} = \frac{v^2 B^2 d^2}{4\rho \frac{d}{S}} = \frac{v^2 B^2 d S}{4\rho}.$$

- Áp dụng số: $R = 10^{-2} \cdot \frac{1}{1} = 10^{-2} \Omega.$

Và
$$P_{\max} = \frac{1000^2 \cdot 2^2 \cdot 1 \cdot 1}{4 \cdot 10^{-2}} = 10 \cdot 10^7 W = 10^5 kW.$$

Vậy: Để $P = P_{\max}$ thì $R = 10^{-2} \Omega$ và $P_{\max} = 10^5 kW.$

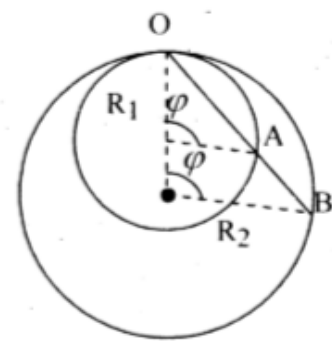
2.4. Hai hạt nhỏ giống nhau, có điện tích q và khối lượng m , chuyển động đồng thời từ một điểm theo phương vuông góc với vectơ cảm ứng từ $\vec{B}$ trong một từ trường đều. Hãy biểu diễn khoảng cách giữa hai hạt theo thời gian, nếu vận tốc đầu của chúng cùng chiều và bằng $\vec{v}_1$ và $\vec{v}_2$. Bỏ qua tương tác tĩnh điện giữa hai hạt điện.

Bài giải

- Giả sử ban đầu hai hạt cùng ở điểm O. Sau thời gian chuyển động hạt thứ nhất đến A, hạt thứ hai đến B.

- Ta có: $OA = \frac{2mv_1}{qB} \sin\left(\frac{qB}{2m}t\right);$

$OB = \frac{2mv_2}{qB} \sin\left(\frac{qB}{2m}t\right).$



- Vì vận tốc góc của hạt thứ nhất và hạt thứ hai đều bằng nhau và bằng $\omega = \frac{qB}{m}$ nên trong cùng thời gian t thì góc quay φ của hai bán kính đều bằng nhau (hình vẽ), suy ra ba điểm O, A, B nằm trên cùng đường thẳng.

$$\Rightarrow AB = OB - OA = \frac{2m}{qB} (v_2 - v_1) \sin\left(\frac{qB}{2m}t\right)$$

Vậy: Khoảng cách giữa hai hạt là: $r(t) = \frac{2m}{qB}(v_2 - v_1)\sin\left(\frac{qB}{2m}t\right)$, với $v_2 > v_1$.

2.5. Một electron đang bay với vận tốc $\vec{v}$ thì lọt vào một từ trường đều có vectơ cảm ứng từ $\vec{B}$ vuông góc với vectơ vận tốc $\vec{v}$.

- Khảo sát chuyển động của electron nói trên.
- Chứng minh rằng vùng từ trường đều trên có thể coi như là một “gương phản xạ” electron, nghĩa là electron bay vào vùng từ trường dưới một “góc tới” bao nhiêu thì bay ra khỏi vùng từ với “góc phản xạ” bấy nhiêu. Coi các điều kiện để hiện tượng xảy ra được thoả.
- Thiết lập mối tương quan giữa bề dày tối thiểu của vùng từ trường với vận tốc của electron và góc tới để có hiện tượng phản xạ.

Bài giải

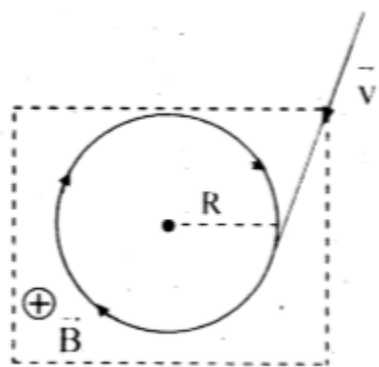
- Khảo sát chuyển động của electron trong từ trường

Có thể xảy ra 3 trường hợp như sau:

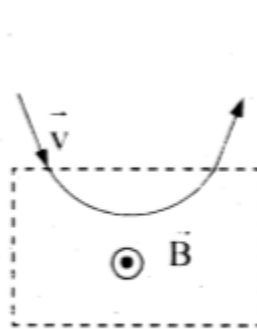
- Nếu vùng từ trường đủ rộng và electron bay vào theo phương phù hợp để cho quỹ đạo của electron nằm hoàn toàn trong vùng từ trường đó thì electron sẽ chuyển động theo quỹ đạo tròn (hình a) với

$$\text{bán kính: } R = \frac{mv}{eB}$$

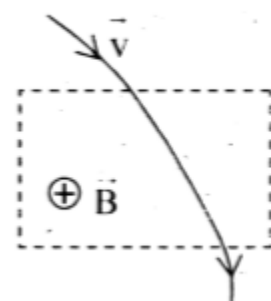
- Nếu vùng từ trường không đủ rộng và phương của electron thì có thể xảy ra hai trường hợp:
 - Electron sau khi đi một đoạn trong từ trường sẽ “chui” ra ngoài theo hướng “phản xạ” (hình b).
 - Electron sau khi đi một đoạn trong từ trường sẽ “chui” ra ngoài theo hướng hoặc theo hướng “khúc xạ” (hình c).



Hình a



Hình b



Hình c

- Chứng minh vùng từ trường đều có thể xem như một “gương phản xạ” electron

Ta có: Hiện tượng phản xạ ứng với trường hợp thứ hai ở câu a. Lúc đó, dưới tác dụng của lực Lorentz,

electron chuyển động trong vùng từ trường theo quỹ đạo là một cung tròn bán kính $R = \frac{mv}{eB}$. Nếu gọi i là

góc mà electron bay vào vùng từ trường, i' là góc mà electron bay ra khỏi từ trường thì ta dễ dàng chứng minh được $i' = i$, nghĩa là “góc phản xạ” bằng “góc tới”.

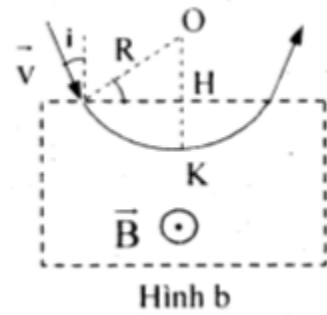
c) Bề dày tối thiểu của vùng từ trường

Ta thấy: Bề dày tối thiểu của vùng từ trường để có hiện tượng phản xạ là:

$$d_{\min} = HK.$$

$$\Rightarrow d_{\min} = OK - OH = R - R \sin i = R(1 - \sin i)$$

$$\Rightarrow d_{\min} = \frac{mv}{eB}(1 - \sin i) \quad (i \text{ là góc tới})$$



Hình b

Chú ý: Nếu bề dày của vùng từ trường $d < d_{\min}$ thì sẽ có hiện tượng “khúc xạ” như trường hợp c của câu a.

2.6. Một bản kim loại hình tròn rơi thẳng đứng xuống dưới trong một từ trường đều song song với mặt đất. Trong quá trình rơi nó luôn song song với các đường cảm ứng từ của từ trường và vuông góc với mặt đất. Cho biết bề dày d của bản kim loại nhỏ hơn bán kính R rất nhiều, khối lượng của nó bằng m , gia tốc rơi tự do là g . Xác định gia tốc rơi của bản.

(Trích Đề thi học sinh giỏi lần thứ VIII, Nga – 1974)

Bài giải

- Khi bản kim loại rơi thẳng đứng, lực Lo-ren-xơ $\vec{f}_l$ tác dụng lên các electron trong bản có độ lớn $f_l = evB$ và hướng sang phải làm các electron di chuyển sang bên phải của bản và xuất hiện điện trường $\vec{E}$ hướng sang phải. Lúc này các electron chịu tác dụng thêm lực điện trường $\vec{F}$ có độ lớn $F = eE$ hướng sang trái (độ lớn tăng dần). Khi $f_l = F$, các electron sẽ dừng di chuyển và:

$$f_l = F \Leftrightarrow evB = eE \Rightarrow E = vB$$

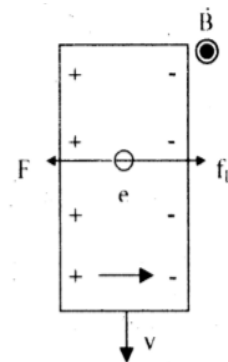
- Hiệu điện thế giữa hai mặt phẳng hai bên của bản kim loại:

$$U = Ed = vBd$$

- Vì bề dày bản kim loại rất nhỏ so với bán kính của nó nên có thể coi điện trường trong bản kim loại là điện trường đều và ta có thể coi bản là một tụ điện phẳng. Điện tích trên bản kim loại:

$$q = CU = \frac{\epsilon_0 S}{d} vBd = \epsilon_0 S vB;$$

$$S = \pi R^2 \text{ là diện tích của bản}$$



- Điện tích này phụ thuộc vào vận tốc rơi của bản. Khi bản chuyển động với gia tốc a , vận tốc của nó tăng dần và điện tích trên hai mặt của bản cũng thay đổi, trong bản xuất hiện một dòng điện:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \epsilon_0 S B \frac{\Delta v}{\Delta t} = \epsilon_0 S B a$$

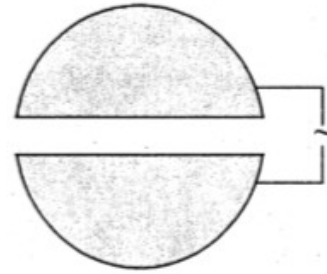
- Vì bản có dòng điện I chuyển động trong từ trường B nên chịu tác dụng của lực từ $F' = BId$ hướng lên. Bản rơi theo phương trình:

$$P - F' = ma \Leftrightarrow mg - BId = ma$$

$$\Leftrightarrow mg - \epsilon_0 S B^2 a d = ma \Leftrightarrow mg - \epsilon_0 \pi R^2 B^2 a d = ma \Rightarrow a = \frac{g}{1 + \frac{\epsilon_0 \pi R^2 B^2 d}{m}}$$

Vậy: Gia tốc rơi của bản kim loại là
$$a = \frac{g}{1 + \frac{\epsilon_0 \pi R^2 B^2 d}{m}}$$

2.7. Xiclotron là máy gia tốc gồm hai hộp rỗng bằng kim loại hình chữ D, cách nhau một khe (hình vẽ). Có một từ trường với cảm ứng từ $\vec{B}$ không đổi vuông góc với mặt hộp. Gần tâm của hai hộp đó có nguồn phát ra hạt tích điện dương với vận tốc $\vec{v}$ vuông góc với $\vec{B}$. Biết khối lượng m và điện tích q của hạt.



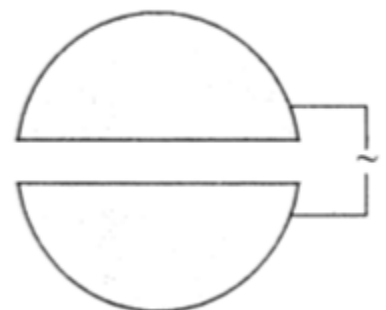
- Chứng minh rằng quỹ đạo của hạt trong từ trường là đường tròn. Tính bán kính đường tròn này.
- Có một hiệu điện thế xoay chiều đặt vào hai hộp D với tần số thích hợp để hạt được tăng tốc mỗi lần đi qua khe. Quỹ đạo của hạt gần giống đường xoắn ốc. Chính xác thì quỹ đạo ấy có dạng như thế nào?
- Tính tần số quay của hạt, cho nhận xét về tần số này. Tần số của điện áp xoay chiều phải bằng bao nhiêu để hạt được tăng tốc mỗi lần qua khe? Trong phần dưới đây, xét trường hợp gia tốc hạt prôtôn có khối lượng $m_p = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ và điện tích $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Điện áp đặt vào các hộp D có tần số $f = 10^{17} \text{ Hz}$. Vòng cuối cùng của prôtôn trước khi ra khỏi xiclotron có bán kính 0,42m.
- Tính cảm ứng từ B và động năng cuối cùng của prôtôn.
- Cực đại của điện áp giữa các hộp D là 20kV. Tính số vòng mà prôtôn đã quay trước khi ra khỏi xiclotron.

(Trích Đề thi chọn học sinh giỏi Quốc gia – Năm học 1991 – 1992)

Bài giải

- Chứng minh rằng quỹ đạo của hạt trong từ trường là đường tròn
 - Hạt điện tích chuyển động trong từ trường chịu tác dụng của lực Lo-ren có độ lớn:

$$f_1 = qvB \sin \alpha$$



- Vì $\vec{v} \perp \vec{B}$ nên $\alpha = 90^\circ$ và $f_L = qvB$, $\vec{f}_L$ có phương nằm trong mặt phẳng hộp và có chiều hướng tâm nên quỹ đạo của hạt trong từ trường là đường tròn.
- Bán kính của quỹ đạo: Ta có: $f_1 = F_{ht} \Leftrightarrow qvB = \frac{mv^2}{R} \Rightarrow R = \frac{mv}{qB}$

Vậy: Hạt chuyển động theo quỹ đạo tròn với bán kính $R = \frac{mv}{qB}$.

b) Quỹ đạo của hạt

Trong mỗi nửa hộp thì quỹ đạo của hạt mang điện là cung tròn, cung tròn này chỉ được nói rộng khi hạt mang điện được tăng tốc, lúc nó đi qua khe. Quỹ đạo thực của hạt gần như đường xoắn ốc và chính xác là như hình vẽ trên.

c) Tần số quay của hạt

Ta có: $\omega = \frac{v}{R} = \frac{qB}{m} = \text{const} \Rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{qB}{2\pi m} = \text{const}$

- Như vậy, tần số quay của hạt không phụ thuộc vào vận tốc của nó nên cứ sau một khoảng thời gian nhất định hạt lại đi qua khe.
- Cứ mỗi vòng quay, hạt mang điện qua khe hai lần. Khi qua khe 1, để hạt tăng tốc thì $U_1 = U_{\max}$; để qua khe 2, hạt lại được tăng tốc thì $U_2 = -U_{\max}$, nghĩa là hiệu điện thế đổi chiều hai lần trong một vòng quay của hạt.

Vậy: Tần số dòng điện đặt vào xiclotron bằng tần số quay của hạt.

d) Cảm ứng từ B và động năng cuối cùng của prôtôn

Từ: $f = \frac{qB}{2\pi m} \Rightarrow B = \frac{2\pi f m_p}{e} = \frac{2\pi \cdot 10^{17} \cdot 1,66 \cdot 10^{-27}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 0,65155T$.

Và từ: $R = \frac{mv}{qB} \Rightarrow v_{\max} = \frac{eBR_{\max}}{m_p} = 2\pi f R_{\max}$.

- Động năng cực đại của hạt khi ra khỏi xiclotron:

$$W_{\tilde{n}(\max)} = \frac{1}{2} m_p v_{\max}^2 = \frac{1}{2} \cdot (2\pi)^2 m_p^2 f^2 R_{\max}^2$$

$$\Leftrightarrow W_{\tilde{n}(\max)} = \frac{1}{2} \cdot 4\pi^2 \cdot (1,66 \cdot 10^{-27})^2 \cdot (10^{17})^2 \cdot 0,42^2 = 5,77 \cdot 10^{-13} \text{ J} = 3,6 \text{ MeV}$$

Vậy: Cảm ứng từ B và động năng cuối cùng của prôtôn là $B = 0,65155T$ và $W_{\tilde{n}(\max)} = 3,6 \text{ MeV}$.

e) Số vòng mà prôtôn đã quay trước khi ra khỏi xiclotron

- Mỗi lần qua khe, hạt prôtôn nhận được năng lượng $W_0 = eU_{\max}$. Năng lượng này chuyển hoá thành động năng của prôtôn. Do đó, sau mỗi vòng quay, hạt prôtôn nhận được một động năng: $2W_0 = 2eU_{\max}$.
- Coi vận tốc ban đầu của prôtôn là không đáng kể thì sau n vòng quay, hạt thu được động năng là:

$$W = 2neU_{\max} = W_{\max} \Rightarrow n = \frac{W_{\max}}{2eU_{\max}} = \frac{5,77 \cdot 10^{-5}}{2,16 \cdot 10^{-19} \cdot 20 \cdot 10^3} = 90 \text{ vòng}$$

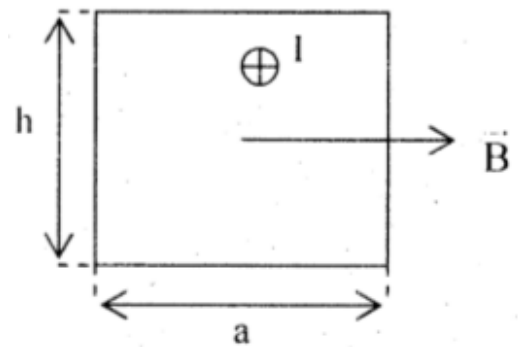
Vậy: Số vòng mà prôtôn đã quay trước khi ra khỏi xiclôtrôn là $n = 90$ vòng.

2. HIỆU ỨNG HÔN (HALL)

2.8. Dòng điện $I = 20\text{A}$ chạy qua một thanh đồng có tiết diện hình chữ nhật, chiều ngang $a = 0,5\text{mm}$, chiều cao $h = 10\text{mm}$. Thanh đồng được đặt vào một từ trường có $B = 1\text{T}$, $\vec{B}$ vuông góc với cạnh h và chiều dòng điện. Khi này, giữa hai mặt trên và dưới của thanh đồng xuất hiện một hiệu điện thế $U = 3,1 \cdot 10^{-6}\text{V}$. Giải thích hiện tượng, tính mật độ êlectrôn dẫn trong đồng và vận tốc trung bình của chuyển động có hướng của chúng.

Bài giải

- Giải thích hiện tượng:
 - + Trong hình vẽ dòng điện có chiều từ trước ra sau, nên vận tốc $\vec{v}$ của êlectrôn dẫn hướng từ sau ra trước (ngược chiều dòng điện).
 - + Vì êlectrôn chuyển động trong từ trường $\vec{B}$ nên sẽ chịu tác dụng lực từ. Theo quy tắc “*Bàn tay trái*” áp dụng cho hạt mang điện âm, lực $\vec{F}_+$ tác dụng lên êlectrôn sẽ



hướng xuống. Do đó, sau một thời gian, phần dưới của thanh đồng tích điện âm còn phần trên tích điện dương, khi này giữa mặt trên và mặt dưới của thanh đồng xuất hiện một điện trường có chiều từ trên xuống. Khi thời gian tăng lên thì cường độ điện trường này cũng tăng, đến lúc lực điện trường tác dụng lên êlectrôn cân bằng với lực từ tác dụng lên êlectrôn thì ta được một hiệu điện thế xác định là U .

Theo trên ta có: $F_{\vec{n}} = F_l \Leftrightarrow |q|E = |q|vB \cdot \sin \alpha$.

$$\Leftrightarrow E = vB \cdot \sin \alpha \Leftrightarrow \frac{U}{h} = vB \cdot \sin \alpha$$

$$\Rightarrow v = \frac{U}{hB \sin \alpha} = \frac{3,1 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-3} \cdot \sin 90^\circ} = 3,1 \cdot 10^{-4} (\text{m/s})$$

Mặt khác, ta có: $\frac{I}{S} = env$.

$$\Rightarrow n = \frac{1}{Sev} = \frac{20}{0,5.10.10.10^{-3}.1,6.10^{-19}.3,1.10^{-4}} = 8,1.10^{28} \text{ m}$$

Vậy: Mật độ của electron dẫn là $n = 8,1.10^{28} \text{ m}$, vận tốc trung bình chuyển động có hướng của electron $v = 3,1.10^{-4} (\text{m/s})$.