

Quỹ đạo của electron trong điện trường

A. Phương pháp & Ví dụ

- Nếu điện tích cân bằng thì: $F \rightarrow F_1 \rightarrow F_2 \rightarrow \dots + F_n \rightarrow 0 \rightarrow$

- Khi hạt mang điện được thả tự do không vận tốc đầu trong một điện trường đều thì dưới tác dụng của lực điện, hạt mang điện chuyển động theo một đường thẳng song song với đường sức điện.

Nếu điện tích dương ($q > 0$) thì hạt mang điện (q) sẽ chuyển động cùng chiều điện trường.

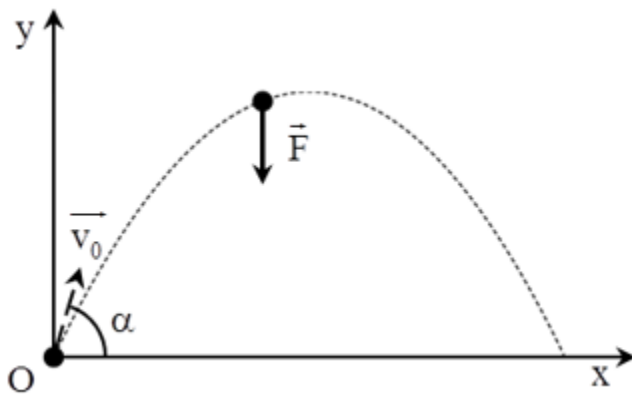
Nếu điện tích âm ($q < 0$) thì hạt mang điện (q) sẽ chuyển động ngược chiều điện trường.

Khi đó chuyển động của hạt mang điện là chuyển động thẳng biến đổi đều.

Áp dụng các công thức: Tọa độ: $x = x_0 + v_0.t + (1/2)a.t^2$.

Vận tốc: $v = v_0 + a.t$.

Công thức độc lập thời gian $v^2 - v_0^2 = 2.a.s$ và $s = |x - x_0|$.



- Khi hạt mang điện bay vào trong điện trường với vận tốc ban đầu v_0 vuông góc với các đường sức điện. Hạt chịu tác dụng của lực điện không đổi có hướng vuông góc với v_0 chuyển động của hạt tương tự như chuyển động của một vật bị ném ngang trong trường trọng lực. Quỹ đạo của hạt là một phần của đường parabol.

Lực tác dụng $F \rightarrow qE \rightarrow$

Sử dụng phương pháp tọa độ, phân tích chuyển động của vật thành hai thành phần để giải toán

Khi đó:

$$\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = \frac{F}{m} \end{cases}$$

Gia tốc của chuyển động:

$$\text{Vận tốc ban đầu} \begin{cases} v_{0x} = v_0 \cos \alpha \\ v_{0y} = v_0 \sin \alpha \end{cases}$$

$$\rightarrow \text{Vận tốc} \begin{cases} v_x = v_0 \cos \alpha \\ v_y = v_0 \sin \alpha + at \end{cases}$$

$$\rightarrow \text{Tọa độ} \begin{cases} x = (v_0 \cos \alpha) t \\ y = (v_0 \sin \alpha) t + \frac{1}{2} at^2 \end{cases}$$

$$\rightarrow \text{Quỹ đạo: } y = \left(\frac{a}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} \right) x^2 + (\tan \alpha) x$$

Ví dụ 1: Một electron bay với vận tốc $v = 1,12 \cdot 10^7$ m/s từ một điểm có điện thế $V_1 = 600$ V, theo hướng của đường sức. Xác định điện thế V_2 tại điểm mà electron dừng lại.

Hướng dẫn:

+ Áp dụng định lý động năng

$$A = 0 - \frac{1}{2}mv^2 = -6,65 \cdot 10^{-17} \text{ J}$$

+ Mặc khác $A = eU$

$$\Rightarrow U = \frac{A}{q} = 410 \text{ V} \Rightarrow V_2 = V_1 - U = 190 \text{ V}$$

Ví dụ 2: Một electron bắt đầu chuyển động dọc theo đường sức của điện trường giữa hai bản tụ của một tụ điện phẳng. Hai bản tụ cách nhau một khoảng $d = 2$ cm và giữa chúng có một hiệu điện thế $U = 120$ V. Electron sẽ có vận tốc là bao nhiêu khi dịch chuyển được một quãng đường 3 cm.

Hướng dẫn:

+ Áp dụng định lý động năng

$$A = \frac{1}{2}mv^2 - 0$$

+ Mặc khác

$$A = Fs = qEs = q \frac{U}{d} s \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2qUs}{md}} = 7,9 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

Ví dụ 3: Một electron bay từ bản âm sang bản dương của một tụ điện phẳng. Điện trường trong khoảng hai bản tụ là điện trường đều có cường độ $E = 6.10^4 \text{ V/m}$. Khoảng cách giữa hai bản tụ là $d = 5 \text{ cm}$.

- Tính gia tốc của electron.
- Tính thời gian bay của electron biết vận tốc ban đầu bằng 0.
- Tính vận tốc của electron khi nó chạm vào bản dương.

Hướng dẫn:

- Gia tốc của electron

$$a = \frac{F}{m} = \frac{|q|E}{m} = 1,05.10^{16} \text{ m/s}^2.$$

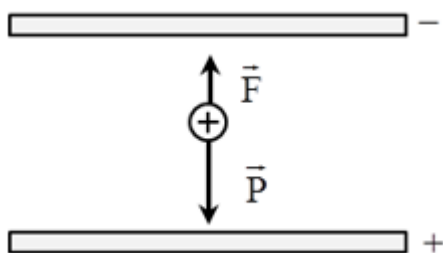
- Thời gian bay của electron

$$t = \sqrt{\frac{2d}{a}} = 3.10^{-9} \text{ s}.$$

- Vận tốc của electron khi chạm bản dương $v = at = 3,2.10^7 \text{ m/s}$.

Ví dụ 4: Giữ hai bản của một tụ điện phẳng, đặt nằm ngang có một hiệu điện thế $U_1 = 1000 \text{ V}$, khoảng cách giữa hai bản là $d = 1 \text{ cm}$. Ở đúng giữa hai bản có một giọt thủy ngân nhỏ tích điện, nằm lơ lửng. Đột nhiên hiệu điện thế giảm xuống chỉ còn $U_2 = 995 \text{ V}$. Hỏi sau bao lâu giọt thủy ngân rơi xuống bản dương?

Hướng dẫn:



+ Khi giọt thủy ngân nằm cân bằng

$$P = F_1 \Leftrightarrow mg = q \frac{U_1}{d} \Rightarrow m = q \frac{U_1}{gd} (*)$$

+ Khi giọt thủy ngân rơi xuống bản dương thì gia tốc của nó là

$$a = \frac{P - F_2}{m} = g - \frac{qU_2}{md} \xrightarrow{(*)} a = g - g \frac{U_2}{U_1} = g \left(1 - \frac{U_2}{U_1} \right) = 0,05 \text{ m/s}^2$$

$$t = \sqrt{\frac{d}{a}} = 0,45 \text{ s}$$

+ Thời gian rơi

Ví dụ 5: Một electron bay vào trong điện trường theo hướng ngược với hướng của đường sức điện với vận tốc 2000 km/s . Vận tốc của electron ở cuối đoạn đường sẽ là bao nhiêu biết hiệu điện thế ở hai đầu đoạn đường là 15 V .

Hướng dẫn:

Áp dụng định lý động năng

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = |e|U \Rightarrow v_2 = \sqrt{v_1^2 + \frac{2|e|U}{m}} = 3.10^6 \text{ m/s}$$

Ví dụ 6: Một electron bay trong điện trường giữa hai bản của một tụ điện đã được tích điện và đặt cách nhau 2 cm. với vận tốc 3.10^7 m/s theo phương song song với các bản của tụ điện. Hiệu điện thế giữa hai bản phải là bao nhiêu để electron lệch đi 2,5 mm khi đi được quãng đường 5 cm trong điện trường.

Hướng dẫn:

+ Gia tốc chuyển động của electron:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{|e|E}{m} = \frac{|e|U}{md} \Rightarrow U = \frac{amd}{|e|}.$$

+ Mặt khác

$$h = \frac{1}{2}at^2 \Rightarrow a = \frac{2h}{t^2} = \frac{2h}{\left(\frac{s}{v}\right)^2} = \frac{2hv^2}{s^2}.$$

+ Từ hai biểu thức trên ta thu được

$$U = \frac{2mhv^2}{|e|s^2} = 200 \text{ V}$$

B. Bài tập

Bài 1: Hai bản kim loại phẳng song song mang điện tích trái dấu được đặt cách nhau 2 cm. Cường độ điện trường giữa hai bản bằng 3000 V/m. Sát bề mặt bản mang điện dương, người ta đặt một hạt mang điện dương $q_0 = 1,2.10^{-2} \text{ C}$, khối lượng $m = 4,5.10^{-6} \text{ g}$. Tính:

a) Công của điện trường khi hạt mang điện chuyển động từ bản dương sang bản âm.

b) Vận tốc của hạt mang điện khi nó đập vào bản mang điện âm.

Lời giải:

a) Công của lực điện trường: $A = |q_0|Ed = 0,9 \text{ J}$.

b) Vận tốc của hạt mang điện khi đập vào bản âm:

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = A \rightarrow v = \sqrt{\frac{2A}{m}} = 2.10^4 \text{ m/s}.$$

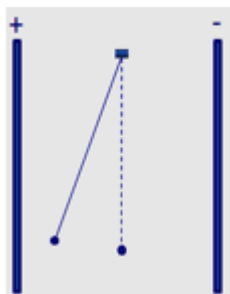
Bài 2: Một hạt bụi nhỏ có khối lượng $m = 0,1 \text{ mg}$, nằm lơ lửng trong điện trường giữa hai bản kim loại phẳng. Các đường sức điện có phương thẳng đứng và chiều hướng từ dưới lên trên. Hiệu điện thế giữa hai bản là 120 V. Khoảng cách giữa hai bản là 1 cm. Xác định điện tích của hạt bụi. Lấy $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Lời giải:

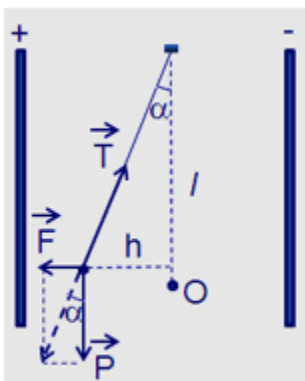
Hạt bụi nằm cân bằng nên lực điện trường cân bằng với trọng lực. Lực điện trường phải có phương thẳng đứng và hướng lên, do đó hạt bụi phải mang điện tích dương (lực điện F —ùng phương, cùng chiều với E)→ Ta có:

$$qE = q \frac{U}{d} = mg \rightarrow q = \frac{mgd}{U} = 8,3.10^{-11} \text{ C.}$$

Bài 3: Một quả cầu khối lượng $4,5.10^{-3}$ kg treo vào một sợi dây dài 1 m. Quả cầu nằm giữa hai tấm kim loại song song, thẳng đứng như hình vẽ. Hai tấm cách nhau 4 cm. Đặt một hiệu điện thế 750 V vào hai tấm đó thì quả cầu lệch ra khỏi vị trí ban đầu 1 cm. Tính điện tích của quả cầu.



Lời giải:



Điều kiện cân bằng: $P \rightarrow F \rightarrow T \rightarrow 0 \rightarrow$
 Vì α nhỏ nên

$$\tan \alpha = \frac{F}{P} \approx \sin \alpha = \frac{h}{l} \rightarrow \frac{|q| \frac{U}{d}}{mg} = \frac{h}{l}$$

$$\rightarrow |q| = \frac{mgdh}{Ul} = 2,4.10^{-8} \text{ C.}$$

Quả cầu lệch về bản dương nên mang điện tích âm: $q = - 2,4.10^{-8} \text{ C.}$

Bài 4: Một prôtôn bay trong điện trường. Lúc prôtôn ở điểm A thì vận tốc của nó bằng $2,5.10^4$ m/s. Khi bay đến B vận tốc của prôtôn bằng không. Điện thế tại A bằng 500 V. Tính điện thế tại B. Biết prôtôn có khối lượng $1,67.10^{-27}$ kg và có điện tích $1,6.10^{-19}$ C.

Lời giải:

$$\text{Ta có: } \Delta W_d = W_{dB} - W_{dA} = -\frac{1}{2}mv^2 = A = q(V_A - V_B) \rightarrow V_B = V_A + \frac{mv^2}{2q} = 503,26 \text{ V.}$$

Bài 5: Một electron di chuyển một đoạn 0,6 cm, từ điểm M đến điểm N dọc theo một đường sức điện thì lực điện sinh công $9,6 \cdot 10^{-18} \text{ J}$.

a) Tính công mà lực điện sinh ra khi electron di chuyển tiếp 0,4 cm từ điểm N đến điểm P theo phương và chiều nói trên.

b) Tính vận tốc của electron khi đến điểm P. Biết tại M, electron không có vận tốc ban đầu. Khối lượng của electron là $9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.

Lời giải:

a) $A_{MN} = q \cdot E \cdot MN \rightarrow E = \frac{A_{MN}}{q \cdot MN} = -10^4 \text{ V/m}$; dấu "-" cho biết E ngược chiều chuyển động của electron (được mặc nhiên chọn làm chiều dương); $A_{NP} = q \cdot E \cdot NP = 6,4 \cdot 10^{-18} \text{ J}$.

b) Ta có: $\Delta W_d = W_{dP} - W_{dM} = \frac{1}{2}mv_P^2 = A_{MP} = A_{MN} + A_{NP}$

$$\rightarrow v_P = \sqrt{\frac{2(A_{MN} + A_{NP})}{m}} = 5,93 \cdot 10^6 \text{ m/s.}$$