

Hướng dẫn chấm thi chọn học sinh giỏi vào đội tuyển
dự thi olympic vật lý quốc tế năm 2008
(Đề chính thức, ngày thứ nhất 29/3/2008)
(Hướng dẫn này có 09 trang)

Câu I (4 điểm)

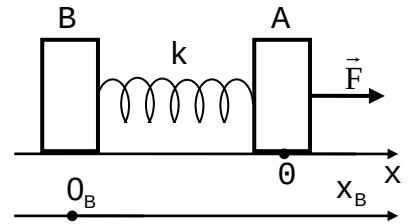
1. Phương trình chuyển động của A

Chọn trục Ox như hình vẽ, 0 là vị trí ban đầu của A.

$$mx_A'' = 2\mu mg - \mu mg - kx_A \Rightarrow x_A'' = -\frac{k}{m}\left(x_A - \frac{\mu mg}{k}\right)$$

$$x_A = A_1 \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t + \varphi\right) + \frac{\mu mg}{k} \quad (1)$$

$$v_A = x_A' = A_1 \sqrt{\frac{k}{m}} \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t + \varphi\right) \quad (2)$$



Thay $t = 0; x_A = 0; v_A = 0 \Rightarrow A_1 = \frac{\mu mg}{k}, \varphi = -\frac{\pi}{2}$. Và:

$$x_A = \frac{\mu mg}{k} \left[1 + \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t - \frac{\pi}{2}\right) \right]; v_A = \mu g \sqrt{\frac{m}{k}} \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t - \frac{\pi}{2}\right) \quad (3)$$

2. Khi $t = t_1$, vật B bắt đầu chuyển động, B chỉ chuyển động khi lực đàn hồi của lò xo tác dụng vào B ít nhất bằng lực ma sát nghỉ cực đại và từ lúc đó trở đi: $v_A = v_0 = \text{hs}$. Tính t_1 :

$$x_A = \frac{\mu mg}{k} \left[1 + \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t_1 - \frac{\pi}{2}\right) \right] = \frac{3\mu mg}{2k}$$

$$\Rightarrow t_1 = \frac{2\pi}{3} \sqrt{\frac{m}{k}}; v_A = \mu g \sqrt{\frac{3m}{4k}} = v_0 \quad (4)$$

Khi $t \geq t_1$ chọn trục tọa độ $0_B x_B$, với gốc 0_B là vị trí của B ở thời điểm nó cách A một khoảng bằng chiều dài tự nhiên của lò xo (chiều dài khi lò xo không bị biến dạng) và cho 0_B chuyển động cùng với A với vận tốc v_0 không đổi.

$$mx_B'' = -\mu mg - kx_B \Rightarrow x_B = -\frac{\mu mg}{k} + A \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t + \vartheta\right) \quad (5)$$

$$v_B = x_B' = A \sqrt{\frac{k}{m}} \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t + \vartheta\right)$$

Thay $t = t_1; x_B = -1,5 \frac{\mu mg}{k}$ (dấu trừ chỉ lò xo bị giãn), $v_B = -v_0$:

$$x_B = -\frac{\mu mg}{k} + A \sin\left(\frac{2\pi}{3} + \vartheta\right) = -1,5 \frac{\mu mg}{k}, v_B = x_B' = A \sqrt{\frac{k}{m}} \cos\left(\frac{2\pi}{3} + \vartheta\right) = -\mu g \sqrt{\frac{3m}{4k}},$$

Giải hệ: $\vartheta = -\frac{5\pi}{6}; A = \frac{\mu mg}{k}; v_{B\max} = \mu g \sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow$

$$x_B = \frac{\mu mg}{k} \left[\sin \left(\sqrt{\frac{k}{m}} (t - t_1) - \frac{5\pi}{6} \right) - 1 \right] = \frac{\mu mg}{k} \left[\sin \left(\sqrt{\frac{k}{m}} t - \frac{3\pi}{2} \right) - 1 \right],$$

$$v_B = \mu g \sqrt{\frac{m}{k}} \cos \left(\sqrt{\frac{k}{m}} t - \frac{3\pi}{2} \right),$$

$$t \geq \frac{2\pi}{3} \sqrt{\frac{m}{k}}.$$

Đối với mặt sàn B có vận tốc:

$$v_B^* = v_B + v_0 = \mu g \sqrt{\frac{m}{k}} \cos \left(\sqrt{\frac{k}{m}} t - \frac{3\pi}{2} \right) + v_0 = \mu g \sqrt{\frac{m}{k}} \left[\cos \left(\sqrt{\frac{k}{m}} t - \frac{3\pi}{2} \right) + \frac{\sqrt{3}}{2} \right] \quad (6)$$

ở thời điểm $t = t_2$; $v_B = -v_0$ thì B có vận tốc bằng 0 đối với đất:

$$\cos \left(\sqrt{\frac{k}{m}} t - \frac{3\pi}{2} \right) = -\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\Rightarrow t_2 = \frac{7\pi}{3} \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (7)$$

Lúc đó

$$x_B(t_2) = \frac{\mu mg}{k} \left[\sin \left(\frac{5\pi}{6} \right) - 1 \right] = -\frac{\mu mg}{2k}$$

Vậy lò xo giãn $0,5 \frac{\mu mg}{k}$, lực đàn hồi nhỏ hơn lực ma sát tĩnh và B đứng yên, chỉ có A chuyển

động đều cho đến thời điểm t_3 sao cho $v_0(t_3 - t_2) = \frac{\mu mg}{k}$ thì lò xo giãn $1,5 \frac{\mu mg}{k}$, B lại chuyển động. Quá trình lặp lại tuần hoàn với chu kỳ T.

Tính t_3 :

$$t_3 = t_2 + \frac{\mu mg}{kv_0} = \left(\frac{7\pi}{3} + \frac{2}{\sqrt{3}} \right) \sqrt{\frac{m}{k}} \approx 8,5 \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (8)$$

Chu kỳ chuyển động của vật B

$$T = t_3 - t_1 = \left(\frac{5\pi}{3} + \frac{2}{\sqrt{3}} \right) \sqrt{\frac{m}{k}} \approx 6,4 \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (9)$$

Kết luận:

$$t_1 = \frac{2\pi}{3} \sqrt{\frac{m}{k}}, \quad t_2 = \frac{7\pi}{3} \sqrt{\frac{m}{k}}, \quad t_3 = \left(\frac{7\pi}{3} + \frac{2}{\sqrt{3}} \right) \sqrt{\frac{m}{k}}, \quad T = \left(\frac{5\pi}{3} + \frac{2}{\sqrt{3}} \right) \sqrt{\frac{m}{k}}.$$

$$\begin{cases} 0 \leq t < t_1 : v_B^* = 0; \\ t_1 + nT \leq t < t_2 + nT : v_B^* = \mu g \sqrt{\frac{m}{k}} \left[\cos \left(\sqrt{\frac{k}{m}} t - \frac{3\pi}{2} \right) + \frac{\sqrt{3}}{2} \right] \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots) \\ t_2 + nT \leq t < t_3 + nT : v_B^* = 0 \end{cases}$$

Câu II (3 điểm)

1. áp dụng định luật Boyle – Mariotte cho khí ở ngăn A, và cho khí ở ngăn B (xem H₁ và H₂) [chọn đơn vị áp suất là kPa].

$$\begin{cases} 30V = (P' + 10)(4V - V') & (1) \\ 20V = P'V' & (2) \end{cases}$$

Khử V' trong hệ (1) và (2), ta có

$$30V = (P' + 10)\left(4V - \frac{20V}{P'}\right)$$

Đơn giản hai vế cho V, nhận được phương trình cho P':

$$2P'^2 - 5P' - 100 = 0 \quad (3)$$

Lấy nghiệm dương:

$$P' = \frac{5 + \sqrt{825}}{4} \approx 8,43 \text{ (kPa)}$$

$$V' = \frac{20V}{P'} \approx 2,37V$$

áp suất trong ngăn A là: $P' + 10 = 18,43 \text{ (kPa)}$

Thể tích của ngăn A là: $4V - V' = 1,63V$

2. Gọi T là nhiệt độ mà tại đó thể tích hai ngăn bằng nhau và bằng 2V. áp dụng phương trình trạng thái lần lượt cho lượng khí trong ngăn A và trong ngăn B.

$$\begin{cases} \frac{10.3V}{T_0} = \frac{(P'' + 10).2V}{T} & (4) \\ \frac{20.V}{T_0} = \frac{P''.2V}{T} & (5) \end{cases}$$

Từ (4) và (5) rút ra, bằng cách chia từng vế của (4) cho (5),

$$\frac{3}{2} = \frac{P'' + 10}{P''} \Rightarrow P'' = 20 \text{ (kPa)}$$

thay giá trị này của P'' vào (5) ta có

$$T = 2T_0$$

Như vậy phải tăng nhiệt độ tuyệt đối của hệ lên gấp 2 lần thì thể tích của hai ngăn sẽ bằng nhau.

3. Nhiệt lượng Q mà khí nhận được sẽ là $Q = \Delta U + A$.

Chuyển sang hệ đơn vị SI, áp suất tính ra Pa, thể tích m³:

$$\Delta U = (v_1 + v_2)C_v \Delta T = \left(\frac{10^4.3V}{RT_0} + \frac{2.10^4.V}{RT_0} \right) \frac{5}{2} R \Delta T = 12,5J$$

$$A = 10^4(2,37V - 2V) = 3700V = 0,37J$$

Cuối cùng

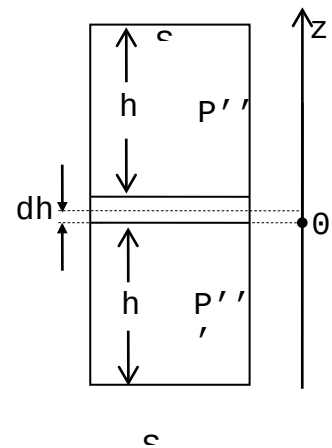
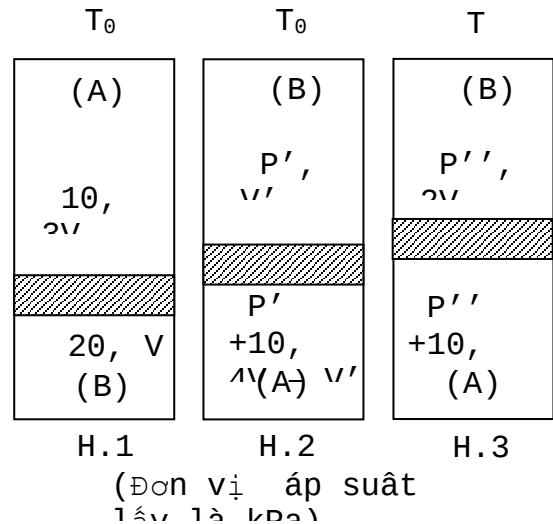
$$Q = 12,87J$$

4. Lấy trục Oz thẳng đứng, hướng lên trên, gốc 0 ứng với vị trí cân bằng của vách ngăn (đáy dưới)

Xét tại một thời điểm, độ dời của vách ngăn là dh. Toạ độ của đáy dưới vách ngăn là z = dh

Biến thiên áp suất ở hai ngăn tác dụng lên vách ngăn là hai lực cùng chiều SdP'' và SdP'''

$$F = S(dP'' + dP''')$$



Coi quá trình biến đổi của khí trong từng ngăn là đoạn nhiệt thuận nghịch

$$P''h^\gamma = \text{const} \Rightarrow \frac{dP''}{P''} + \gamma \frac{dh}{h} = 0 \Rightarrow dP'' = -\gamma P'' \frac{dh}{h}$$

cũng tương tự

$$P'''h^\gamma = \text{const} \Rightarrow dP''' = -\gamma P''' \frac{dh}{h}$$

$$F = -\gamma(P'' + P''') \frac{dh}{h} S = -\gamma(P'' + P''') \frac{z}{h} S$$

Gọi M là khối lượng của vách ngăn: $F = M\ddot{z}$

Mặt khác $Mg = S \cdot 10^4$

Suy ra
$$\ddot{z} + \frac{\gamma(P'' + P''')}{10^4} \frac{g}{h} z = 0$$

đây là phương trình dao động với tần số góc ω

$$\omega = \sqrt{\frac{\gamma(P'' + P''')}{10^4} \frac{g}{h}} = \sqrt{1,45 \cdot \frac{9,81}{0,2}} = 18,53 \text{ rad.s}^{-1}$$

Tần số dao động là

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = 3 \text{ Hz}$$

Câu III (3 điểm)

1. a. vì $d \ll a$ nên có thể xem lực từ do mỗi cạnh của vòng dây 1 tác dụng lên cạnh đối diện của vòng dây 2 là lực từ do dòng điện thẳng dài vô hạn gây ra với cảm ứng từ $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d}$. Lực từ tác dụng lên vòng dây 2 (lực đẩy) là:

$$F = IB \cdot (4a) = \frac{2\mu_0 I^2 a}{\pi d} \quad (1).$$

Điều kiện cân bằng của vòng dây 2: $F = mg \rightarrow I = \sqrt{\frac{\pi mgd}{2\mu_0 a}} \approx 11 \text{ A}$

b. ở thời điểm t, vòng dây 2 ở trên vị trí cân bằng một đoạn z, ta có phương trình

$$\mu_0 \frac{I^2 a}{\pi(d+z)} - mg = mz'' \quad (2)$$

Vì $z \ll d$,

$$\frac{1}{d+z} \approx \frac{1}{d} \left(1 - \frac{z}{d}\right) \quad (3)$$

Từ (1), (2), (3) suy ra:

$$z'' + \frac{2\mu_0 I^2 a}{\pi d^2} z = 0$$

Vòng dây 2 dao động với chu kỳ:

$$T = \frac{\pi^{3/2} d}{I} \sqrt{\frac{2}{\mu_0 a}}$$

Khoảng thời gian cần tìm là $\Delta t = \frac{T}{2} = \frac{\pi^{3/2} d}{I \sqrt{2\mu_0 a}}$. Thay số $\Delta t \approx 0,045 \text{ s}$

2. a. Lực từ tổng hợp hướng lên trên cân bằng với trọng lực:

$$\frac{\mu_0 I_1 I_2 a}{2\pi} \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{x+a} \right) = mg$$

$$\rightarrow x^2 + ax - \frac{\mu_0 I_1 I_2 a^2}{2\pi mg} = 0, \quad \left(\frac{2\mu_0 I_1 I_2 a}{\pi mg} \gg 1 \right)$$

$$\rightarrow x = \frac{a}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{2\mu_0 I_1 I_2 a}{\pi mg}} - 1 \right) \approx \frac{\mu_0 I_1 I_2 a^2}{2\pi mg}$$

Thay số $x \approx 1,6\text{cm}$.

b. Vòng dây luôn luôn bị dây dẫn hút vào nó nên sau khi buông tay ra, nó chuyển động về phía dây dẫn với gia tốc ngày càng tăng và cuối cùng va chạm với dây dẫn. Khoảng cách nhỏ nhất bằng $\frac{a}{2} = 20\text{cm}$.

Câu IV (3,5 điểm)

1. Năng lượng của sao chổi

+ tại điểm gần MT nhất:
$$E = \frac{1}{2}mv_1^2 - m \frac{GM_s}{kR_T} \quad (1)$$

+ tại điểm gần cắt quỹ đạo TĐ:
$$E = \frac{1}{2}mv^2 - m \frac{GM_s}{R_T} \quad (2)$$

trong đó m và M_s lần lượt là khối lượng của sao chổi và của Mặt Trời.

Vì quỹ đạo của Trái Đất là tròn, ta có:

$$v_T^2 = \frac{GM_s}{R_T} \quad (3)$$

Từ (1) và (2) suy ra

$$\frac{1}{2}mv_1^2 - m \frac{GM_s}{kR_T} = \frac{1}{2}mv^2 - m \frac{GM_s}{R_T}$$

$$\Rightarrow v^2 = v_1^2 + \frac{2GM_s}{R_T} \left(1 - \frac{1}{k} \right)$$

Dùng (3), ta được

$$v^2 = v_1^2 + 2v_T^2 \left(1 - \frac{1}{k} \right)$$

hay

$$v = \sqrt{v_1^2 + 2v_T^2 \left(1 - \frac{1}{k} \right)} = 41,8\text{km/s}$$

2.

+ Năng lượng của sao chổi bằng

$$E = \frac{1}{2}mv_1^2 - m\frac{GM_s}{kR_T} = \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{m}{k}v_T^2 = m\left(\frac{1}{2}v_1^2 - \frac{v_T^2}{k}\right) = -25.10^6 m(J) < 0$$

Điều này có nghĩa là quỹ đạo của sao chổi là một elip.

+ Năng lượng của sao chổi và bán trục lớn a của quỹ đạo của nó liên hệ với nhau bởi hệ thức

$$E = -m\frac{GM_s}{2a} = -m\frac{v_T^2 R_T}{2a}$$

Kết hợp với (1) ta được

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}mv_1^2 - m\frac{GM_s}{kR_T} &= -m\frac{v_T^2 R_T}{2a} \\ \Rightarrow \frac{1}{2}mv_1^2 - 2\frac{m}{k}v_T^2 &= -m\frac{v_T^2 R_T}{2a} \end{aligned}$$

Suy ra

$$a = -\frac{v_T^2 R_T^2}{v_1^2 - 2v_T^2/k} = \frac{R_T}{\frac{2}{k} - \frac{v_1^2}{v_T^2}} = \lambda R_T$$

với

$$\lambda = \frac{1}{\frac{2}{k} - \frac{v_1^2}{v_T^2}} = 17.9$$

+ Tại điểm cận nhật P, ta có: $r_p = kR_T = a(1-e)$, suy ra

$$e = 1 - \frac{kR_T}{a} = 1 - \frac{kR_T}{\lambda R_T} = 1 - \frac{k}{\lambda} = k\frac{v_1^2}{v_T^2} - 1 = 0,977 < 1.$$

Với $e < 1$ lại một lần nữa khẳng định quỹ đạo sao chổi là một elip.

+ Theo định luật ba Kepler:

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{T_0^2}{R_T^3} \Rightarrow \frac{T^2}{\lambda^3 R_T^3} = \frac{T_0^2}{R_T^3} \Rightarrow T = \lambda^{3/2} T_0 = nT_0$$

Vậy $n = \lambda^{3/2} = 75,7$ và chu kỳ của sao chổi này khoảng 76 năm (Đây chính là sao chổi Halley).

3. Theo định luật 2 Kepler (định luật về diện tích quét) hay định luật bảo toàn mômen động lượng, ta có:

$$r^2 \frac{d\theta}{dt} = \frac{L}{m} = kR_T v_1 \quad (4)$$

ở đây L là mô men động lượng và tại điểm cận nhật vận tốc của sao chổi vuông góc với vectơ bán kính. Phương trình quỹ đạo của sao chổi như đã biết là elip

$$r = \frac{p}{1 + e \cos \theta} \quad \text{với} \quad p = r_p(1 + e) = R_T \left(\frac{kv_1}{v_T} \right)^2$$

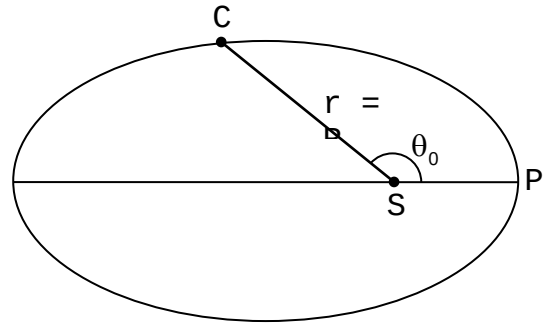
Thay vào (4), ta được

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{L}{m} \cdot \frac{(1 + e \cos \theta)^2}{p^2} = \frac{v_T^4}{R_T (kv_1)^3} (1 + e \cos \theta)^2$$

Đặt $z = R_T \frac{(kv_1)^3}{v_T^4}$, ta có

$$\tau = \int_{-\theta_0}^{\theta_0} dt = z \int_{-\theta_0}^{\theta_0} \frac{d\theta}{(1 + e \cos \theta)^2}$$

trong đó θ_0 là góc ứng với giao điểm của quỹ đạo sao chổi và quỹ đạo Trái Đất (xem hình vẽ). Vì chỉ cần xác định cỡ độ lớn, hơn nữa trong trường hợp đang xét $e = 0,977$ nên trong tích phân trên ta có thể lấy gần đúng $e = 1$. Khi đó:



$$\tau = 2z \left[\frac{1}{2} \tan(\theta_0 / 2) + \frac{1}{6} \tan^3(\theta_0 / 2) \right] \quad (5)$$

Để tính θ_0 ta có phương trình

$$R_T = \frac{p}{1 - e \cos \theta_0}$$

Hay

$$\cos \theta_0 = \frac{p - R_T}{e R_T}$$

Thay các biểu thức của p và e vào ta được

$$\cos \theta_0 = \frac{R_T \left(\frac{kv_1}{v_T} \right)^2 - R_T}{R_T \left(k \frac{v_1^2}{v_T^2} - 1 \right)} = \frac{k^2 v_1^2 / v_T^2 - 1}{k v_1^2 / v_T^2 - 1}$$

Suy ra $\theta_0 = 100^\circ$. Thay vào (5) ta tính được

$$\tau = 1,76z \approx 77 \text{ ngày.}$$

Câu V (3,5 điểm)

Biến thiên của động lượng:

$$dp_x = qEdt \rightarrow p_x = qEt$$

$$dp_y = 0 \rightarrow p_y = p_0 = \text{const}$$

$$p^2 = p_x^2 + p_y^2 = p_0^2 + (qEt)^2$$

Từ hệ thức năng - xung

$$\varepsilon = c\sqrt{p_0^2 + (qEt)^2 + m_0^2 c^2}$$

$$t = 0; \varepsilon_0 = c\sqrt{p_0^2 + m_0^2 c^2}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_0^2 + (qEct)^2}$$

Mặt khác ta lại có

$$\vec{p} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{\varepsilon}{c^2} \vec{v}$$

$$p_x = \frac{\varepsilon}{c^2} \frac{dx}{dt} = qEt \rightarrow \frac{dx}{dt} = \frac{qEc^2 t}{\varepsilon} \rightarrow dx = \frac{qEc^2 t dt}{\varepsilon} = \frac{qEc^2 t dt}{\sqrt{\varepsilon_0^2 + (qEct)^2}}$$

$$\rightarrow x = c\sqrt{t^2 + \left(\frac{\varepsilon_0}{qEc}\right)^2} - \frac{\varepsilon_0}{qE} \quad (1)$$

Tương tự với p_y :

$$p_y = \frac{\varepsilon}{c^2} \frac{dy}{dt} = p_0 \rightarrow dy = \frac{p_0 c^2 dt}{\sqrt{\varepsilon_0^2 + (qEct)^2}}$$

$$\rightarrow y = \frac{p_0 c}{qE} \ln\left(\frac{qEc}{\varepsilon_0}\right) + \frac{p_0 c}{qE} \ln\left(t + \sqrt{t^2 + \left(\frac{\varepsilon_0}{qEc}\right)^2}\right) \quad (2)$$

Phương trình quỹ đạo của hạt là phương trình tham số

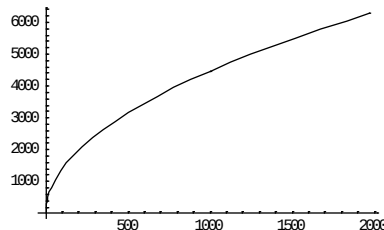
$$x = c\sqrt{t^2 + \left(\frac{\varepsilon_0}{qEc}\right)^2} - \frac{\varepsilon_0}{qE}; y = \frac{p_0 c}{qE} \ln\left(\frac{qEc}{\varepsilon_0}\right) + \frac{p_0 c}{qE} \ln\left(t + \sqrt{t^2 + \left(\frac{\varepsilon_0}{qEc}\right)^2}\right)$$

Quỹ đạo của hạt vẽ với số liệu sau:

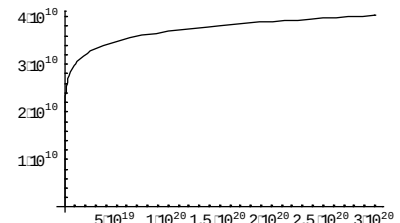
$q = 10^{-6} \text{C}; E = 10^4 \text{ A/m}^2;$
 $p_0 = 0,1 \text{ kg.m/s}; c = 3.10^8 \text{ m/s};$
 $m_0 = 10^{-4} \text{ kg}$

Khi $t \rightarrow \infty$, hạt chuyển động với phương song song với trục Ox.

(Học sinh chỉ cần vẽ phác dáng điệu của quỹ đạo là cho đủ điểm)



H.1 Khi t
nhỏ



H.2 Khi t
lớn

2. $\vec{v}$ của hạt tại thời điểm t có các thành phần được xác định:

$$\begin{cases} v_x = \frac{ct}{\sqrt{t^2 + A^2}} \\ v_y = B \frac{\left(1 + \frac{t}{\sqrt{t^2 + A^2}}\right)}{t + \sqrt{t^2 + A^2}} = \frac{B}{\sqrt{t^2 + A^2}} \end{cases} \Rightarrow v = c \sqrt{\frac{t^2 + \left(\frac{p_0}{qE}\right)^2}{t^2 + \left(\frac{\varepsilon_0}{qEc}\right)^2}}$$

Trong đó $A = \frac{\varepsilon_0}{qEc}$, $B = \frac{p_0 c}{qE}$.

$\vec{v}$ hợp với trục Ox góc φ xác định bởi công thức: $\text{tg}\varphi = \frac{v_y}{v_x} = \frac{B}{ct}$

$$\text{Khi } t = \frac{P_0}{qE}: v = \frac{P_0 c \sqrt{2}}{\sqrt{2P_0^2 c^2 + m_0^2 c^4}}; \varphi = \frac{\pi}{4}.$$

Câu VI (3 điểm)

Trước hết chúng ta tính góc khối $\Delta\omega$ nhìn hạt bismuth từ điểm phát tia X ở bản A. Góc khối $\Delta\omega$ được tính theo bán kính r của hạt bismuth và khoảng cách d từ bản A đến hạt bismuth:

$\Delta\omega = \frac{r^2 \pi}{d^2}$. Góc khối này chiếm tỷ lệ bằng $\rho = \frac{\Delta\omega}{4\pi} = \left(\frac{r}{2d}\right)^2 \approx 1,8 \cdot 10^{-6}$ của góc khối 4π từ điểm phát tia X ở bản A.

- Nếu quan niệm tia X là sóng, thì năng lượng của nó sẽ phân bố đều trên mặt sóng cầu và phần năng lượng mà hạt bismuth nhận được sẽ chỉ bằng $1,8 \cdot 10^{-6}$ phần năng lượng toàn phần của chùm tia X do bản A phát ra. Phần năng lượng nhỏ bé này lại phải phân phối cho một số rất lớn electron cấu tạo nên hạt bismuth, cho nên muốn làm bật một electron ra khỏi hạt bismuth thì phải cần một thời gian rọi sáng rất lâu, hoặc bằng một cách nào đó không thể hiểu được, phải truyền tất cả năng lượng của chúng cho một electron.

- Nếu giải thích theo quan niệm hạt, thì xác suất để một hạt photon đập trúng hạt bismuth là $1,8 \cdot 10^{-6}$. Tức là cứ có 1 800 000 photon bay ra từ bản A sẽ có trung bình một photon đập trúng hạt bismuth. Nhưng trong thí nghiệm, trong một giây trung bình có 1000 photon bay ra khỏi bản A, tức là trung bình cứ sau $\tau = \frac{1800000}{1000.60} = 30$ ph lại có một photon đập vào hạt bismuth và làm bật một electron từ hạt đó, làm cho hạt bismuth mất cân bằng. Tính toán này phù hợp với kết quả thu được từ thí nghiệm trên của Dobronravov và Ioffe.

-----HẾT-----