SỞ GD&ĐT HẢI DƯƠNG
TRƯỜNG THPT CHUYÊN
NGUYỄN TRÃI

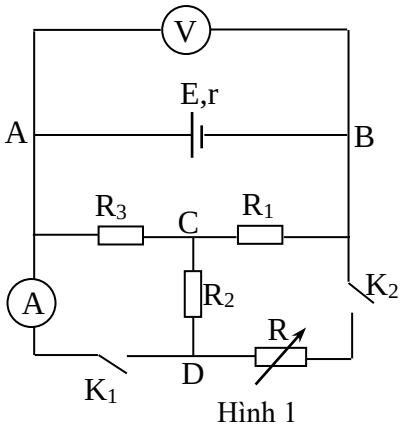
ĐỀ CHÍNH THỨC

ĐỀ THI NĂNG KHIẾU LỚP 11L (LẦN 5)
NĂM HỌC 2021 – 2022
MÔN: VẬT LÍ

Thời gian làm bài: 180 phút (không kể thời gian giao đề)
(Đề thi có 02 trang, gồm 06 câu)

Câu 1 (2,0 điểm):

Cho mạch điện như hình vẽ 1. Nguồn điện có suất điện động E = 6,9 V, điện trở trong của nguồn r = 1 Ω, $R_1 = R_2 = R_3 = 2\ \Omega$, biến trở R. Ampe kế và Vôn kế lí tưởng, bỏ qua điện trở các dây nối và khóa K.



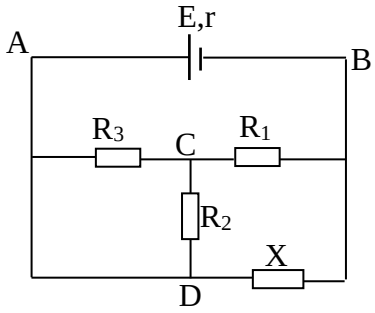
Hình 1

1. Khóa K_1, K_2 đều mở. Tìm số chỉ vôn kế?

2. Khóa K_1 mở, K_2 đóng, điều chỉnh chậm biến trở R, khi $R = R_0$ thì vôn kế chỉ giá trị ổn định là 5,4V. Tìm R_0 và hiệu điện thế giữa hai điểm A, D khi đó.

3. Khóa K_1, K_2 đều đóng. Với giá trị $R = R_0$ (đã tìm được ở phần 2), tìm số chỉ của ampe kế?

4. Thay biến trở R bằng một điện trở không tuyến tính X (gọi tắt là phần tử X) và mắc lại mạch điện như hình vẽ 2. Biết cường độ dòng điện I_X qua phần tử X phụ thuộc vào hiệu điện thế U_X giữa hai đầu phần tử X theo công thức $I_X = 0,25U_X^2$. Khi mạch ổn định, tìm công suất tỏa nhiệt trên X.



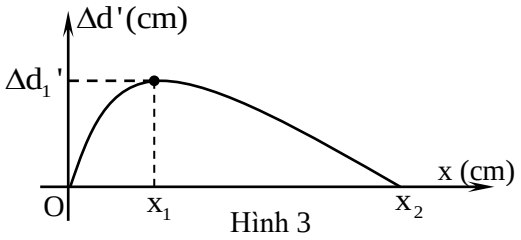
Hình 2

Câu 2 (2,0 điểm):

Một thấu kính hội tụ tiêu cự 20cm, một nguồn sáng điểm S đặt cố định trên trục chính của thấu kính và cách thấu kính 30cm. Gọi S' là ảnh của S qua thấu kính.

1. Xác định khoảng cách giữa S và S'.

2. Cho thấu kính chuyển động thẳng, chậm, dọc theo trục chính, ra xa S. Gọi $\Delta d'$ là khoảng cách từ ảnh của S tại thời điểm đang xét đến ảnh ban đầu (S') của S. Gọi x là khoảng cách từ vị trí của thấu kính tại thời điểm đang xét đến vị trí của thấu kính lúc đầu. Chỉ xét trong phạm vi dịch chuyển của thấu kính thỏa mãn điều kiện tương điểm.



Hình 3

a. Viết biểu thức xác định $\Delta d'$ theo x.

b. Biết đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của $\Delta d'$ theo x (trong phạm vi dịch chuyển thấu kính đang xét ở bài) như hình vẽ 3. (Tọa độ đỉnh của đường cong trên hình vẽ là $(x_1, \Delta d_1')$). Tìm giá trị của $\Delta d_1'$, x_2.

Câu 3 (1,0 điểm):

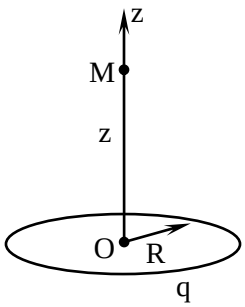
Một con lắc lò xo treo thẳng đứng gồm vật nặng có khối lượng m = 100g và lò xo nhẹ có độ cứng $k = 100N/m$. Kéo vật xuống dưới vị trí cân bằng một đoạn 10cm rồi thả nhẹ, vật dao động điều hòa dọc theo trục Ox có phương thẳng đứng hướng xuống và trùng với trục lò xo (gốc O ở vị trí cân bằng của vật). Lấy $\pi^2 = 10$. Chọn gốc thời gian là lúc vật có li độ x = - 5cm và đang đi lên.

1. Viết phương trình dao động của vật.

2. Tính độ lớn lực đàn hồi tác dụng lên vật tại vị trí có giá trị vận tốc v và giá trị li độ x thỏa mãn $v = -\sqrt{3}\omega x$ và lực kéo về đang giảm.

Câu 4 (2,0 điểm):

Một vòng dây mảnh, tròn có bán kính R được tích điện q phân bố đều theo chiều dài của vòng dây. Vòng dây được đặt nằm ngang trong không khí (Hình vẽ). Chọn trục Oz thẳng đứng trùng với trục của vòng dây, gốc O tại tâm vòng dây. Một điểm M nằm trên trục Oz, tọa độ của điểm M là z.



Cho biết: Một vi phân điện tích dq (ứng với vi phân chiều dài $d\ell$ trên vòng

dây) gây ra tại điểm M một điện thế dV được xác định theo công thức $dV = k\frac{dq}{\varepsilon r}$ (với $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$, ε_0 là hằng số điện).

1. Áp dụng công thức trên hãy tính điện thế do toàn bộ điện tích trên vòng dây gây ra tại điểm M (kết quả tính theo q, ε_0, R, z).

2. Xét một hạt khối lượng m, mang điện tích đúng bằng điện tích q của vòng dây. Ta chỉ nghiên cứu chuyển động của hạt dọc theo trục Oz. Ban đầu hạt ở vị trí N có tọa độ z = h. Hạt được cung cấp vận tốc đầu $\overrightarrow{v_0}$ hướng về phía tâm O của vòng dây. Bỏ qua tác dụng của trọng lực.

a. Tính công của lực điện do vòng dây tác dụng lên hạt đó trong quá trình dịch chuyển từ vị trí N đến vị trí O.

b. Tìm điều kiện của v_0 (theo $q, \varepsilon_0, R, h, m$) để hạt có thể vượt qua mặt phẳng vòng dây.

3. Xét có ảnh hưởng của trọng lực, chọn khối lượng m của hạt thỏa mãn điều kiện $2\sqrt{2}\,mg = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 R^2}$, với g là gia tốc trọng trường. Xác định tọa độ của hạt trên trục Oz khi nó ở vị trí cân bằng (kết quả tính theo R).

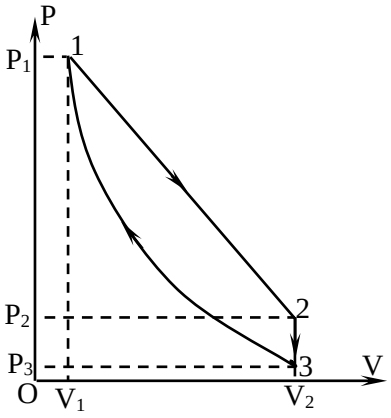
Câu 5 (1,5 điểm):

Một mol khí lí tưởng đơn nguyên tử thực hiện một chu trình như hình vẽ. Trong chu trình đó khối khí thực hiện công A = 2026 J.

+ Quá trình $1 \to 2$: Trong quá trình này, áp suất là hàm tuyến tính của thể tích.

+ Quá trình đẳng tích $2 \to 3$.

+ Quá trình $3 \to 1$: Trong quá trình này, nhiệt dung của chất khí không đổi.



Biết

$T_1 = T_2 = 2T_3 = 100K$, $\frac{V_2}{V_1} = 8$, R = 8,31 J/mol.K.

Với khí lí tưởng đang xét, nhiệt dung mol đẳng tích và đẳng áp có giá trị tương ứng là $C_V = \frac{3}{2}R; C_P = \frac{5}{2}R$.

Tính hiệu suất của chu trình.

Câu 6 (1,5 điểm):

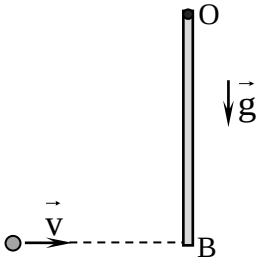
Một thanh cứng OB tiết diện đều, chiều dài L, khối lượng M, mật độ khối lượng σ phụ thuộc chiều dài, σ được xác định theo công thức $\sigma = k.x$ (trong đó k là hằng số dương, x là khoảng cách tới đầu O của thanh). Bề dày của thanh OB rất nhỏ so với chiều dài L. Gia tốc trọng trường là g. Bỏ qua mọi ma sát, lực cản.

1. Xác định giá trị của k theo M, L.

2. Xác định vị trí khối tâm G của thanh OB.

3. Xác định mô men quán tính của thanh OB đối với trục quay (Δ) đi qua đầu O và vuông góc với thanh OB.

4. Treo thanh OB thẳng đứng, thanh có thể quay tự do trong mặt phẳng hình vẽ quanh trục quay cố định qua đầu O và vuông góc với mặt phẳng hình vẽ. Thanh OB đang đứng yên tại vị trí cân bằng (thanh ở vị trí thẳng đứng như hình vẽ). Một vật có khối lượng m chuyển động theo phương nằm ngang với vận tốc $\vec{v}$ đến va chạm với thanh OB tại vị trí B và dính chặt với thanh tại vị trí đó.



a. Tính tốc độ góc ω của thanh OB ngay sau va chạm.

b. Trong trường hợp sau va chạm, thanh OB lệch khỏi vị trí cân bằng một góc nhỏ. Chứng minh thanh OB dao động điều hòa, tìm chu kì dao động của thanh.

----------Hết----------

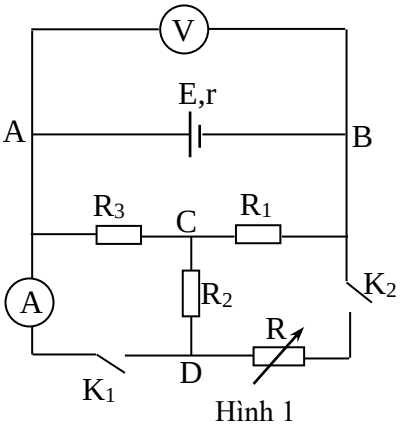
- Thí sinh không được sử dụng tài liệu.

- Giám thị không giải thích gì thêm.

ĐÁP ÁN

Câu 1 (2,0 điểm):

Cho mạch điện như hình vẽ 1. Nguồn điện có suất điện động E = 6,9 V, điện trở trong của nguồn r = 1 Ω, $R_1 = R_2 = R_3 = 2$ Ω, biến trở R. Ampe kế và Vôn kế lí tưởng, bỏ qua điện trở các dây nối và khóa K.



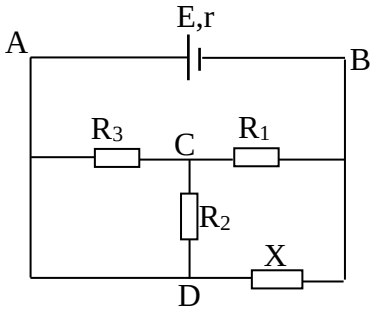
Hình 1

1. Khóa K_1, K_2 đều mở. Tìm số chỉ vôn kế?

2. Khóa K_1 mở, K_2 đóng, điều chỉnh chậm biến trở R, khi R = R_0 thì vôn kế chỉ giá trị ổn định là 5,4V. Tìm R_0 và hiệu điện thế giữa hai điểm A, D khi đó.

3. Khóa K_1, K_2 đều đóng. Với giá trị R = R_0 (đã tìm được ở phần 2), tìm số chỉ của ampe kế?

4. Thay biến trở R bằng một điện trở không tuyến tính X (gọi tắt là phần tử X) và mắc lại mạch điện như hình vẽ 2. Biết cường độ dòng điện I_X qua phần tử X phụ thuộc vào hiệu điện thế U_X giữa hai đầu phần tử X theo công thức $I_X = 0,25U_X^2$. Khi mạch ổn định, tìm công suất tỏa nhiệt trên X.



Hình 2

BG:

1. Khóa K_1, K_2 đều mở.

$$R_{13} = R_1 + R_3 = 4\Omega \Rightarrow I = \frac{E}{r + R_{13}} = 1,38A$$

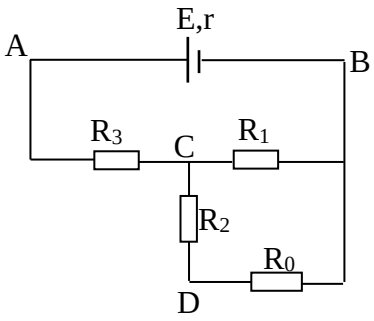
$$\Rightarrow U_V = I.R_{13} = 5,52V$$

2. Khóa K_1 mở, K_2 đóng.

$$U_V = U_{AB} = 5,4V;\ U_{AB} = E - I.r \Leftrightarrow 5,4 = 6,9 - I \Leftrightarrow I = 1,5A$$

$$I = \frac{E}{r + R_N} \Leftrightarrow 1,5 = \frac{6,9}{1 + R_N} \Leftrightarrow R_N = 3,6\Omega$$

$$R_N = R_3 + \frac{R_1(R_0 + R_2)}{R_1 + R_0 + R_2} \Leftrightarrow R_0 = 6\Omega$$



3. Khóa K_1, K_2 đều đóng. Với giá trị $R = R_0 = 6\Omega$.

Tại nút A:

$$I = I_A + I_3 \Leftrightarrow I_A = I - I_3$$

$$R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = 1\Omega \Rightarrow R_{123} = R_{23} + R_1 = 3\Omega$$

$$R_{AB} = \frac{R_0 R_{123}}{R_0 + R_{123}} = 2\Omega \Rightarrow I = \frac{E}{r + R_{AB}} = 2,3A$$

$$\Rightarrow U_{AB} = I.R_{AB} = 4,6V \Rightarrow I_{123} = \frac{U_{AB}}{R_{123}} = \frac{23}{15}A$$

$$\Rightarrow U_{23} = I_{123}.R_{23} = \frac{23}{15}V \Rightarrow I_3 = \frac{U_{23}}{R_3} = \frac{23}{30}A$$

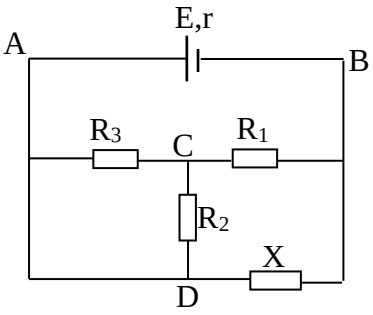
$$\Rightarrow I_A = I - I_3 = 2,3 - \frac{23}{30} = \frac{23}{15}A \simeq 1,533A$$

4. Thay biến trở R bằng một điện trở không tuyến tính X.

$$I_X = 0,25U_X^2$$

$$U_X = U_{AB} = E - I.r$$

$$U_X = U_{AB} = I_{123}.R_{123} \;\; ; \; R_{123} = R_1 + \frac{R_2R_3}{R_2 + R_3} = 3\Omega$$



Hình 2

Tại nút A:

$$I = I_{123} + I_X$$

$$\Leftrightarrow \frac{E - U_X}{r} = \frac{U_X}{R_{123}} + I_X$$

$$\Leftrightarrow 6,9 - U_X = \frac{U_X}{3} + 0,25U_X^2$$

$$\Leftrightarrow 0,75U_X^2 + 4U_X - 20,7 = 0 \Leftrightarrow U_X \simeq 3,225A$$

$$\Rightarrow P_X = I_X.U_X = 0,25.U_X^3 \simeq 8,3855W$$

Câu 2 (2,0 điểm):

1. 90 cm.

2.

a.

$$\Delta d' = \frac{x(x-30)}{x+10}$$

b.

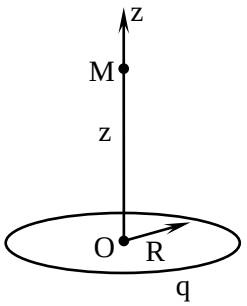
$x_2 = 30cm \;\; ; \;\; \Delta d_1' = 10cm$.

Câu 3 (1,0 điểm):

Câu 4 (2,0 điểm):

Chia vành thành nhiều phần tử dl , điện tích trên mỗi phần tử

$$dq = \frac{dl}{2\pi R}q = \frac{q}{2\pi}d\alpha$$



- Điện thế do mỗi phần tử gây ra tại điểm M trên trục, có tọa độ z:

$$dV = k\frac{dq}{\sqrt{R^2 + z^2}} = \frac{qd\alpha}{8\pi^2\varepsilon_0\sqrt{R^2 + z^2}}$$

- Điện thế V do vành tròn tích điện gây ra tại M:

$$V = \int_0^{2\pi} dV = \int_0^{2\pi} \frac{qd\alpha}{8\pi^2\varepsilon_0\sqrt{R^2 + z^2}} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\sqrt{R^2 + z^2}}$$

2- a- Điện thế do vành gây ra tại tâm: $V_o = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 R}$.

Để hạt có thể xuyên qua vòng dây thì :

$$\frac{1}{2}mv_0^2 + qV_M \geq qV_o \Leftrightarrow$$

$$\frac{1}{2}mv_0^2 + \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0\sqrt{R^2 + h^2}} \geq \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 R}$$

$$\Rightarrow v_0 \geq \sqrt{\frac{q^2}{2\pi m\varepsilon_0}\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{\sqrt{R^2 + h^2}}\right)}$$

b- Khi hạt ở độ cao z, thế năng của hạt: $U = mgz + \dfrac{q^2}{4\pi\varepsilon_0\sqrt{R^2 + z^2}}$

- Có $\dfrac{dU}{dz} = mg - \dfrac{q^2 z}{4\pi\varepsilon_0\sqrt{\left(R^2 + z^2\right)^3}}$

- Thay $2\sqrt{2}\,mg = \dfrac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 R^2}$, tìm được: $\dfrac{dU}{dz} = mg\left(1 - \dfrac{2\sqrt{2}\,R^2 z}{\sqrt{\left(R^2 + z^2\right)^3}}\right)$

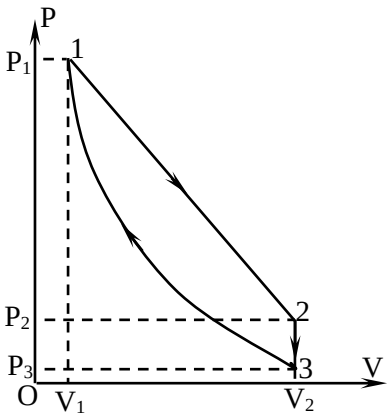
Khi $z = R$ thì $\dfrac{dU}{dz} = 0$. Vậy $z = R$ là vị trí cân bằng của hạt.

Câu 5 (1,5 điểm):

a. Đối với quá trình $3 \to 1$: $Q_{31} = \Delta U_{31} + A_{31}$

Sự thay đổi nội năng trong quá trình $3 \to 1$:

$$\Delta U_{31} = \frac{3}{2}R\Delta T_{31} = \frac{3}{2}R(T_1 - T_3) = \frac{3}{2}R(T_1 - \frac{1}{2}T_1) = \frac{3}{4}RT_1 \quad (1)$$



Công A_{31} mà chất khí thực hiện được trong quá trình có thể tìm được bằng điện tích của đường cong dưới đường $3 \to 1$:

$$|A_{31}| = S_{A12B} - S_{12}$$

ở đây $S_{A12B} = \dfrac{P_1 + P_2}{2}(V_2 - V_1)$ (2)

Từ phương trình khí lí tưởng đối với các điểm 1 và 2 ta có:

$$p_1V_1 = RT_1;\ p_2V_2 = RT_2$$

Vì $T_1 = T_2$ và $\dfrac{V_2}{V_1} = 8$ thì $p_2 = \dfrac{p_1}{8}$

Vì vậy: $S_{A12B} = \dfrac{8p_1 + p_1}{2.8}(8V_1 - V_1) = \dfrac{63}{16}p_1V_1$ (3)

Diện tích tam giác cong 123 cho ta biết công của chu trình 123: $S_{A12B} = A$

Khi đó: $|A_{31}| = \dfrac{63}{16}p_1V_1 - A = 1246,0625(J)$.

Vì chất khí bị nén nên $A_{31} < 0$, $A_{31} = -1246,0625(J)$

b.Phương trình của đoạn 1-2**:**

$$P = aV + b \quad (5)$$

Thay toạ độ các điểm 1, 2 ta tính được:

$$a = -\frac{P_1}{8V_1}$$

$$b = \frac{9}{8}P_1$$

Áp dụng nguyên lí I: dQ = dU + dA => dQ = CvdT + pdV (6)

Phương trình trạng thái khí cho quá trình 1-2:

PV = RT => PdV + VdP = RdT

Ta có $P = aV + b$ => dP = adV

=> PdV +aVdV = RdT $\Leftrightarrow$ $dT = \frac{P + aV}{R}dV$ thay vào phương trình (6) và $C_V = \frac{3}{2}R$

$$=> dQ = \left(\frac{3}{2}P + \frac{3}{2}aV + P\right)dV \Rightarrow \frac{dQ}{dV} = \frac{5}{2}P + \frac{3}{2}aV$$

Khí nhận nhiệt trong quá trình 1-2:

$$\frac{dQ}{dV} \geq 0 \Rightarrow V \leq \frac{45}{8}V_1$$

Nhiệt lượng khí nhận được trong quá trình 1-M

$$dQ = \int_{V_1}^{\frac{45}{8}V_1} \left(\frac{3}{2}P + \frac{3}{2}aV + P\right)dV$$

$$= \int_{V_1}^{\frac{45}{8}V_1} (4aV + \frac{5}{2}b)dV = 2aV_1^2 + \frac{5}{2}bV \Big|_{V_1}^{\frac{45}{8}V_1} \approx 5.35P_1V_1 = 4445,85J$$

Trong qua trình 2-3; 3-1 khí toả nhiệt.

Hiệu suất của chu trình: $\eta = \frac{A}{Q_{12}} = \frac{2026}{4445,85} \approx 45,6\%$

Câu 6 (4,0 điểm:

1. Xác định k.

Chọn trục Ox trùng với thanh OB, chiều dương từ O đến B.

Xét một phần tử nhỏ dx, có toạ độ x, khối lượng $dm = kx.dx$

$$M = \int dm = \int_0^L kx.dx = \frac{kL^2}{2} \Leftrightarrow k = \frac{2M}{L^2}$$

2. Xác định khối tâm G

$$x_G = \frac{1}{M}\int xdm = \frac{1}{M}\int_0^L kx^2dx = \frac{kL^3}{3M}$$

Thay $k = \frac{2M}{L^2} \Rightarrow x_G = \frac{2L}{3}$

3. Xác định mômen quán tính I_O (đối với trục quay (Δ)).

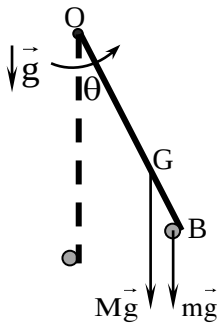
$$dI_O = x^2dm \Rightarrow I_O = \int x^2dm = \int_0^L kx^3dx$$

Thay $k = \frac{2M}{L^2} \Rightarrow I_O = \frac{ML^2}{2}$

4.

a. Xác định vận tốc góc ω sau va chạm mềm:

Áp dụng định luật bảo toàn mômen động lượng cho hệ ngay trước và ngay sau va chạm (đối với trục quay (Δ)).



$$MvL = I\omega \Leftrightarrow \omega = \frac{MvL}{I} \qquad (1)$$

Với $I = \frac{ML^2}{2} + mL^2 = \frac{(M + 2m)L^2}{2}$

$$\xrightarrow{(1)} \omega = \frac{2mv}{(M + 2m)L}$$

b. Sau va chạm mềm, momen quán tính của hệ thanh và vật (đối với trục quay (Δ)).

$$I = \frac{ML^2}{2} + mL^2$$

Phương trình cơ bản của chuyển động quay (đối với trục quay (Δ)).

$$\overrightarrow{M} = I\vec{\gamma}$$

$$-Mg\frac{2L}{3}.\sin\theta - mgL.\sin\theta = \left(\frac{ML^2}{2} + mL^2\right)\theta''$$

Với θ nhỏ $\Rightarrow \sin\theta \simeq \theta$

$$\Rightarrow \left(\frac{2}{3}M + m\right)gL\theta = -\left(\frac{ML^2}{2} + mL^2\right)\theta''$$

$$\Leftrightarrow \theta'' = -\frac{2(2M+3m)g}{3(M+2m)L}\theta$$

Vậy thanh dao động điều hòa với tần số góc

$$\omega = \sqrt{\frac{2(2M+3m)g}{3(M+2m)L}}$$