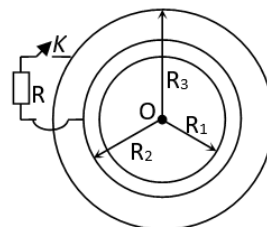


Câu 1. Tĩnh điện (4 điểm)

Ba mặt cầu kim loại rất mỏng, đồng tâm bán kính R_1, R_2, R_3 ($R_1 < R_2 < R_3$) được đặt trong chân không, cách xa các vật khác. Mặt cầu ở giữa và mặt cầu phía ngoài cùng được nối với nhau bằng dây dẫn thông qua khóa K như hình.



1. K mở. Tính điện q_1, q_2, q_3 cho các mặt cầu có bán kính tương ứng R_1, R_2, R_3 . Tính điện trường và điện thế tại điểm cách tâm chung O của các mặt cầu khoảng r . Coi điện thế ở điểm rất xa mặt cầu bằng 0.

2. Đóng K . Tính điện lượng chuyển qua dây dẫn và nhiệt lượng tổng cộng tỏa ra trên dây đó.

Giải:

Ý	Nội dung	Điểm
1.	Chọn mặt Gaus là mặt cầu (C) tâm O bán kính r . $\text{Đặt } k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$	
	+/- Cường độ điện trường Với $r < R_1$, trong C không có điện tích. Suy ra: $\Phi = E_1 \cdot 4\pi r^2 = 0 \rightarrow E_1 = 0$	0,25
	Với $R_1 \leq r < R_2$, trong C có điện tích q_1 . Suy ra: $\Phi = E_2 \cdot 4\pi r^2 = \frac{q_1}{\epsilon_0} \rightarrow E_2 = k \frac{q_1}{r^2}$	0,25
	Với $R_2 \leq r < R_3$, trong C có điện tích q_1 và q_2 . Suy ra: $\Phi = E_3 \cdot 4\pi r^2 = \frac{q_1 + q_2}{\epsilon_0} \rightarrow E_3 = k \frac{q_1 + q_2}{r^2}$	0,25

	Với $r \geq R_3$, trong C có điện tích q_1, q_2 và q_3. Suy ra: $\Phi = E_4.4\pi r^2 = \frac{q_1 + q_2 + q_3}{\epsilon_0} \rightarrow E_4 = k \frac{q_1 + q_2 + q_3}{r^2}$.	0,25
	+/- Điện thế: $r < R_1$: Tại O và các điểm trong R_1 có điện thế như nhau (kể cả mặt cầu R_1) $V_1 = V_O = k \left(\frac{q_1}{R_1} + \frac{q_2}{R_2} + \frac{q_3}{R_3} \right)$	0,25
	$R_1 < r < R_2$, ta có $dV = -E_2 dr \rightarrow V_2 - V_1 = k \left(\frac{q_1}{r} - \frac{q_1}{R_1} \right)$ $\rightarrow V_2(r) = k \left(\frac{q_1}{r} + \frac{q_2}{R_2} + \frac{q_3}{R_3} \right)$	0,25
	$R_2 < r < R_3$, ta có $dV = -E_3 dr \rightarrow V_3 - V_2(R_2) = k(q_1 + q_2) \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R_2} \right)$ $\rightarrow V_3(r) = k \left(\frac{q_1 + q_2}{r} + \frac{q_3}{R_3} \right)$	0,25
	Tương tự, $r > R_3 \rightarrow V_4(r) = k \frac{q_1 + q_2 + q_3}{r}$.	0,25
2.	+/- Đóng K, điện thế của mặt cầu R_2 và mặt cầu R_3 sau một thời gian sẽ bằng nhau $\rightarrow$ điện trường trong vùng 3 (giữa mặt cầu 2 và mặt cầu 3) sẽ bằng 0	0,25
	Áp dụng O-G, chọn mặt cầu tâm O bán kính $r, R_2 < r < R_3$: $\Phi = E.4\pi r^2 = 0 \rightarrow q_1 + q'_2 = 0 \rightarrow q'_2 = -q_1$	0,5
	Điện lượng Δq chuyển qua R (theo chiều dương từ mặt R_2 đến mặt R_3) là: $\Delta q = q_2 - q'_2 = q_1 + q_2$	0,25
	+/- Đóng K, năng lượng điện trường sẽ giảm và chuyển hóa thành nhiệt năng	0,25

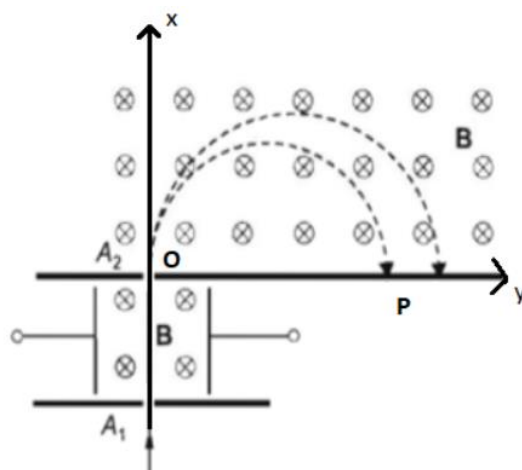
	Năng lượng điện trường ban đầu (khi chưa đóng K) là: $W_{\text{đầu}} = \frac{1}{2} \sum q_i V_i = \frac{k}{2} \left(\frac{q_1^2}{R_1} + \frac{q_1 q_2}{R_2} + \frac{q_1 q_3}{R_3} \right) + \frac{k}{2} \left(\frac{q_1 q_2}{R_2} + \frac{q_2^2}{R_2} + \frac{q_2 q_3}{R_3} \right) + \frac{k}{2} \left(\frac{q_1 q_3}{R_3} + \frac{q_2 q_3}{R_3} + \frac{q_3^2}{R_3} \right)$	
	Khi đóng K, $q'_2 = -q_1$; $q'_3 = q_3 + \Delta q = q_3 + q_1 + q_2$ $\rightarrow W_{\text{sau}} = \frac{k}{2} \left[\frac{q_1^2}{R_1} - \frac{q_1^2}{R_2} + \frac{q_1 (q_1 + q_2 + q_3)}{R_3} \right] + \frac{k}{2} \frac{-q_1 (q_1 + q_2 + q_3)}{R_3} + \frac{k}{2} \frac{(q_1 + q_2 + q_3)^2}{R_3}$ $= \frac{k}{2} \left[\frac{q_1^2}{R_1} - \frac{q_1^2}{R_2} \right] + \frac{k}{2} \frac{(q_1 + q_2 + q_3)^2}{R_3}$	0,25
	Nhiệt lượng tỏa ra trên R là $A = W_{\text{trước}} - W_{\text{sau}}$ $= \frac{k}{2} \left(\frac{q_1 q_2}{R_2} \right) + \frac{k}{2} \left(\frac{q_1 q_2}{R_2} + \frac{q_2^2}{R_2} \right) + \frac{k}{2} \left[\frac{q_1^2}{R_2} \right] - \frac{k}{2} \left[\frac{q_1^2}{R_3} \right] - \frac{k}{2} \left[\frac{q_2^2}{R_3} \right] - \frac{k}{2} \left(\frac{2q_1 q_2}{R_3} \right)$ $= \frac{k (q_1 + q_2)^2}{2} \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_3} \right)$	0,5

Câu 2. Điện – điện từ (5 điểm)

2.1 Khối phổ kế

Khối phổ kế là thiết bị dùng để đo khối lượng của các ion. Nó hoạt động theo nguyên lý sau:

- Các ion được gia tốc đến vận tốc lớn, đi vào bộ phận lọc tốc (vùng A_1) theo phương Ox. Vùng A_1 là một trường điện từ.
- Sau đó các ion chuyển động sang vùng A_2 chỉ có từ trường.
- Kính ảnh được đặt tại lân cận điểm P trên trục Oy và vuông góc với phương Ox.
- Các ion chuyển động sẽ tới đập vào kính ảnh tại P. Căn cứ vào khoảng cách OP, người ta suy ra được khối lượng của ion (xem hình vẽ).

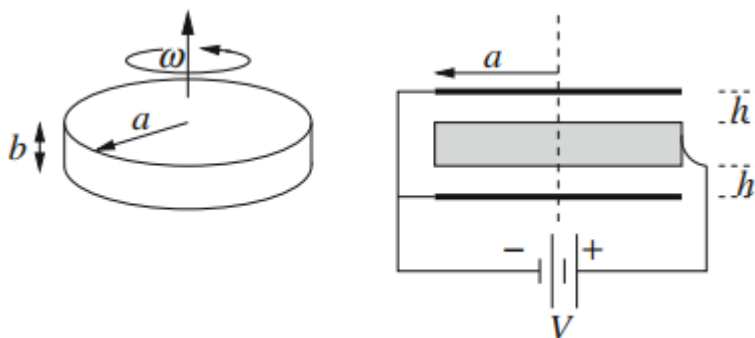


Giả sử chùm ion gồm các ion ^{35}Cl và ^{37}Cl , đã được gia tốc có vận tốc là $1,92 \cdot 10^4 \text{ m/s}$; cảm ứng từ ở cả 2 vùng A_1 và A_2 đều là $B = 0,02 \text{ T}$ và có hướng vuông góc với mặt phẳng Oxy như hình vẽ. Cho $1u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $m_{\text{Cl}35} = 35u$; $m_{\text{Cl}37} = 37u$; $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

1. Xác định độ lớn và hướng của điện trường ở vùng A_1 ?
2. Tính khoảng cách giữa 2 điểm mà 2 ion đập vào phim?
3. Nếu góc của chùm ion tới có thăng giáng $\pm 5^\circ$ (trên mặt xOy) thì có thể phân biệt được vết của hai loại ion đó không?

2.2 Thí nghiệm Rowland

Thí nghiệm của Henry A. Rowland năm 1876 hướng đến việc chứng minh rằng điện tích chuyển động tạo ra từ trường. Một đĩa kim loại có bán kính a và bề dày $b \ll a$ được tích điện và giữ cho chuyển động quay với tốc độ góc không đổi là ω .



1. Đĩa quay giữa 2 bản vật dẫn, bản dẫn trên cách mặt trên của đĩa $h = 0,5 \text{ cm}$ và bản dẫn dưới cách mặt dưới của đĩa đoạn h , như hình vẽ. Hai bản vật dẫn cùng nối với cực âm của một nguồn điện được duy trì một hiệu điện thế $V_0 = 10^4 \text{ (V)}$. Cực dương của nguồn điện được nối với đĩa thông qua một đầu tiếp xúc trượt. Xác định phân bố điện tích trên bề mặt đĩa.

2. Tính từ trường B_C gần tâm của đĩa và từ trường thành phần B_r song song và ở gần bề mặt của đĩa là một hàm của bán kính r tính từ trục quay.

3. Thành phần từ trường B_r được sinh ra bởi đĩa ở $r = a$ có thể được đo bởi việc định hướng thiết bị sao cho $\vec{r}$ vuông góc với từ trường Trái đất B_E có độ lớn $B_E = 5.10^{-5} \text{ T}$, và đo độ lệch của kim nam châm khi đĩa quay. Tìm góc lệch của kim?

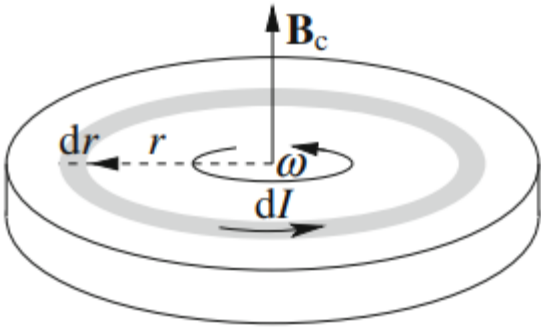
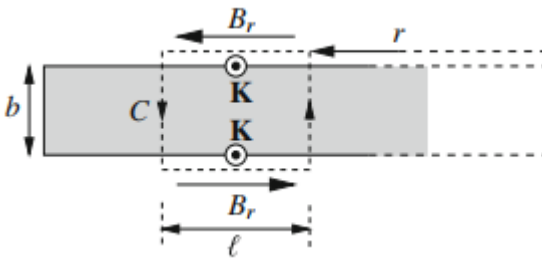
Giải:

2.1. (2,5 điểm) Khối phổ kế

Ý	Nội dung	Điểm
1.	Hạt chuyển động theo quỹ đạo thẳng qua vùng A_1 nên lực điện và lực từ cân bằng với nhau.	0,25
	Áp dụng công thức: $eE = Bev$	0,25
	Do đó, cường độ của điện trường là: $E = Bv = 2.10^{-2} \frac{Vs}{m^2} \cdot 1,92.10^4 \frac{m}{s} = 384 \frac{V}{m}$	0,25
	Điện trường là đều hướng theo chiều dương của trục Ox	0,25
2.	Vùng A_2 chỉ có từ trường đều nên: $Bev = \frac{mv^2}{R}$	0,25
	$r_1 = \frac{m_1 v}{Be}$, và $r_2 = \frac{m_2 v}{Be}$	0,25
	Khoảng cách giữa 2 ion là $\Delta x = 2\Delta r = 2(r_2 - r_1) = \frac{2v}{Be}(m_2 - m_1)$	0,25
	Tính toán ra ta có $\Delta x = 4cm$	0,25
3.	- Xét một chùm tia bất kì đi vào vùng A_2 , Khi vector vận tốc vuông góc với Ox thì ion đập vào điểm P có $OP = 2r$ - Khi góc của v thay đổi thì r của quỹ đạo không đổi. Khi góc thay đổi $\pm\varphi$ thì vùng va chạm là P_1P . Trong đó: $OP_1 = OP \cdot \cos\varphi$	0,25
	Tính toán ta có: với ^{35}Cl : P_1 và P có tọa độ là: 0,6945 - 0,6972 (m)	0,25

	với ^{37}Cl : P_1 và P có tọa độ là: 0,73424 - 0,73704 (m) Như vậy là vẫn phân biệt được vết của 2 kim loại đó.	
--	---	--

2.2. Thí nghiệm Rowland

Ý	Nội dung	Điểm
1.	- Bỏ qua hiệu ứng bờ, điện trường E_0 ở vùng giữa đĩa và 2 bản là đều, vuông góc với bề mặt đĩa và có độ lớn là V_0/h ở cả 2 vùng. - Mật độ điện mặt ở cả mặt trên và mặt dưới của đĩa đều là σ bằng nhau về cả dấu và độ lớn (để cho điện trường bên trong đĩa bằng không)	0,5
	$\sigma = E_0/(4\pi k) = V_0/(4\pi kh) = 1,77 \cdot 10^{-5} \text{ (C/m}^2\text{)}$	0,5
	 Xét 1 vành tròn bán kính r dày dr. Điện tích vành tròn là: $dq = \sigma dS = 2\pi\sigma r dr$	0,25
	Từ đó suy ra $dI = \omega dq/(2\pi)$	0,25
	$dB_C = 2\pi k_m dI/r$	0,25
	$B_C = 2 \int_0^a 2\pi k_m \frac{dI}{r} = 4\pi k_m \omega \sigma a = 1,4 \cdot 10^{-9} \text{ (T)}$	0,25
	 Sử dụng định luật Ampe: $4\pi k_m I_c = \oint_c B \cdot d\ell \simeq 2B_r \ell$	0,25
	$B_r(r) = \frac{2\pi k_m I_c}{\ell} = \frac{2\pi k_m}{\ell} 2\sigma \omega r \ell = 4\pi k_m \sigma \omega r.$ Nhận thấy B_r lớn nhất khi $r=a$ và $B_r(a) = B_C$	0,25

	Góc lệch của kim nam châm được tính theo công thức: $\tan \theta = \frac{B}{B_E}$	0,25
	Tính ra: $\theta \simeq \frac{B}{B_E} = 2.8 \times 10^{-5} \text{rad}$	0,25

Câu 3. Quang hình (4 điểm) (2-1-1)

Một môi trường trong suốt được ngăn cách với không khí bởi một mặt phẳng (P). Trục Ox có gốc O thuộc (P) và có phương vuông góc với (P). Chiết suất của môi trường trong suốt $n(r)$ thay đổi theo khoảng cách r đến trục Ox theo quy luật $n_r = n_A \sqrt{1 + k^2(a^2 - r^2)}$ với n_A là chiết suất của môi trường tại điểm cách trục Ox một đoạn a . Chiếu một chùm sáng nhỏ hình trụ có bán kính R và có trục trùng với Ox từ không khí tới (P). Gọi MN là tập hợp giao điểm của các tia sáng với trục Ox lần đầu tiên. Biết chiết suất của không khí bằng 1.

Cho $\int \frac{dz}{\sqrt{b^2 - z^2}} = \arcsin\left(\frac{z}{b}\right) + C$ với $b > 0$ và C là hằng số.

a) Xác định chiều dài đoạn MN.

b) Tính hiệu quang trình cực đại của các tia sáng trong chùm sáng khi đi từ mặt phân cách đến đoạn MN.

Giải:

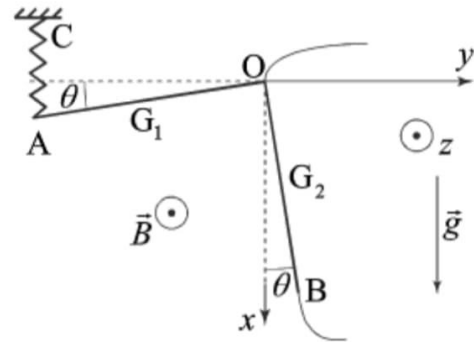
4.0 điểm	a. 2,0 điểm	
	- Xét tia sáng vào môi trường tại B cách O một khoảng $OB = b$. - Chia môi trường thành các mặt trụ mỏng, có trục là Ox thỏa mãn chiết suất của từng mặt không đổi. - Tại mọi vị trí, theo ĐL KXAS ta có: $n_r \sin i_r = \text{const} = n_B \sin 90^\circ = n_B$	0,25
	$\Rightarrow \frac{1}{\sin^2 i_r} = \frac{n_r^2}{n_B^2} = \left(\frac{n_A \sqrt{1 + k^2(a^2 - r^2)}}{n_A \sqrt{1 + k^2(a^2 - b^2)}} \right)^2 = \frac{1 + k^2(a^2 - r^2)}{1 + k^2(a^2 - b^2)}$	0,25
	Mà: $\cot i_r = \frac{dr}{dx} = \sqrt{\frac{1}{\sin^2 i_r} - 1} \Rightarrow \frac{dr}{dx} = \sqrt{\frac{k^2}{1 + k^2(a^2 - b^2)}} \cdot \sqrt{(b^2 - r^2)}$	0,25

Đặt: $\sqrt{\frac{k^2}{1+k^2(a^2-b^2)}} = k_b$ $\Rightarrow \frac{dr}{dx} = k_b \sqrt{b^2 - r^2} \Rightarrow r = b \sin(k_b x + C)$	0,25
Tại $r = b, x = 0$ nên $C = \frac{\pi}{2} \rightarrow r = b \cos(k_b x)$ Quỹ đạo của tia sáng trong môi trường trong suốt có dạng hình sin.	0,25
Vị trí tia sáng cắt trục Ox lần đầu tiên là: $f_b = \frac{\pi}{2k} \sqrt{1+k^2(a^2-b^2)}$	0,25
Như vậy: $f_{\max} = f_0 = \frac{\pi}{2k} \sqrt{1+k^2 a^2}; f_{\min} = f_R = \frac{\pi}{2k} \sqrt{1+k^2(a^2-R^2)}$	0,25
Chiều dài vật sáng: $\Delta f = f_{\max} - f_{\min} = \frac{\pi}{2k} \sqrt{1+k^2 a^2} - \frac{\pi}{2k} \sqrt{1+k^2(a^2-R^2)}$	0,25
b. 2,0 điểm	
Quang trình của đoạn ứng với 1/4 chu kỳ của tia đi theo đường $r = b \cos(k_b x)$ (từ mặt phân cách tới vị trí cắt trục Ox lần đầu tiên) bằng: $L_b = \int n_r dl = \int n_r \sqrt{1+(r'_x)^2} dx$ $L_b = \int_0^{\frac{\pi}{2k_b}} n_A \sqrt{1+k^2(a^2-r^2)} \sqrt{1+\frac{k^2(b^2-r^2)}{1+k^2(a^2-b^2)}} dx$ $= \frac{n_A \pi \left(1+k^2 a^2 - \frac{k^2 b^2}{2}\right)}{2k}$	0,75
$L_0 = \frac{n_A \pi}{2k} (1+k^2 a^2); \quad L_R = \frac{n_A \pi}{2k} \left(1+k^2 a^2 - \frac{k^2 R^2}{2}\right)$	0,75
$\Rightarrow \Delta L_{\max} = \frac{n_A \pi}{4} k R^2$	0,5

Câu 4. Dao động cơ (4 điểm) (2-1-1)

Một vật rắn (T) cấu tạo từ hai thanh cứng đồng chất hàn với nhau OA và OB tạo với nhau một góc 90° . Mỗi thanh có khối lượng m và chiều dài $2l$, có khối tâm lần lượt là G_1 và G_2 . (T) có thể quay quanh trục nằm ngang đi qua O với ổ trục O là trục quay lý tưởng. Một lò xo nhẹ, độ cứng k , một đầu gắn vào A, đầu C còn lại được giữ cố định. Khi cả hệ cân bằng, OA nằm ngang và OB thẳng đứng (hình bên). Dưới

của thanh OB nằm trong vùng từ trường đều $\vec{B}$ có độ lớn cảm ứng từ B_0 có chiều như hình vẽ. Thanh OB dẫn điện và nối vào mạch có tổng trở R . Giả thiết dây dẫn nối vào OB có khối lượng không đáng kể và không cản trở chuyển động cơ.



1. Bỏ qua tác dụng của từ trường. Thiết lập phương trình vi phân cho θ .

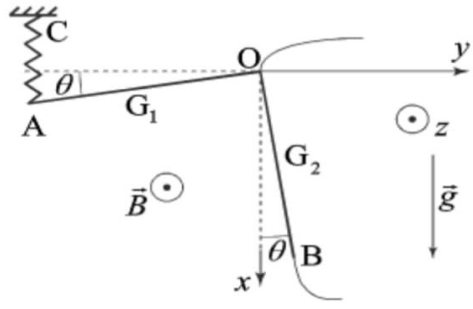
2. Xét đến tác dụng của từ trường, tại thời điểm ban đầu, hệ nghiêng góc nhỏ θ_0 sao với vị trí cân bằng và thả ra không vận tốc đầu. Có thể thấy đây là chuyển động giả tuần hoàn.

a) Thiết lập phương trình θ như là một hàm của thời gian.

b) Xác định chu kỳ giả dao động.

(Biết: $\theta'' + 2\alpha\theta' + \omega_0^2\theta = 0$ có nghiệm dạng $\theta(t) = (A\cos\omega t + B\sin\omega t)e^{-\alpha t}$ với $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}$)

Giải:

Hướng dẫn chấm	Điểm
 1. Tính được momen quán tính của hệ đối với trục quay qua O là: $J = \frac{8}{3}ml^2 \quad (1)$	0.25

Gọi Δl_0 là độ giãn lò xo ở vị trí cân bằng, tổng momen qua O bằng không nên: $k\Delta l_0 2l = mgl \Rightarrow \Delta l_0 = \frac{mg}{2k}$ (2)	0.25
Khi hệ quay một góc θ như hình, ta có: $J \frac{d^2\theta}{dt^2} = mgl \cos \theta - 2k(\Delta l_0 + 2l \sin \theta)l - mgl \sin \theta$ Vì $\theta \ll 1$ nên làm gần đúng bỏ qua bậc cao ta có: $J \frac{d^2\theta}{dt^2} = mgl - 2k(\Delta l_0 + 2l\theta)l - mgl\theta \quad (3)$	0.25
Thay (1) và (2) và (3) ta được: $\frac{d^2\theta}{dt^2} + \left(\frac{3k}{2m} + \frac{3g}{8l}\right)\theta = 0$ (4) Đây là phương trình vi phân của θ.	0.5
2.a) Khi xét đến từ trường, thanh OB chịu lực Laplace bởi từ trường $\vec{B}$, gây ra momen đối với trục quay qua O là: $M_L = \left[\int_l^{2l} \vec{r} \times (i d\vec{r} \times \vec{B}) \right] \vec{e}_z = \int_l^{2l} -iBrdr \Rightarrow M_L = -\frac{3}{2}iBl^2 \quad (5)$	0.25
Ta xác định được cường độ dòng điện cảm ứng đi qua thanh OB chiều từ O đến B với sức điện động có giá trị: $e = \frac{d\theta}{dt} B \int_l^{2l} r dr = \frac{3}{2}Bl^2 \frac{d\theta}{dt} \Rightarrow i = \frac{e}{R} = \frac{3Bl^2}{2R} \frac{d\theta}{dt} \quad (6)$	0.5
Thay (6) vào (5) ta được: $M_L = -\frac{9B^2l^4}{4R} \frac{d\theta}{dt}$ (7)	0.25
Vậy khi xét đến từ trường, bổ sung (7) vào (3) ta được: $\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{9B^2l^4}{4RJ} \frac{d\theta}{dt} + \frac{4kl^2 + mgl}{J} \theta = 0 \quad (\text{Với } J = \frac{8}{3}ml^2) \quad (8)$	0.25
Phương trình (8) là phương trình của một dao động tắt dần. Đặt: $\omega_0^2 = \frac{4kl^2 + mgl}{J}; \alpha = \frac{9B^2l^4}{8RJ}$ (9) Khi đó: (8) $\Leftrightarrow \frac{d^2\theta}{dt^2} + 2\alpha \frac{d\theta}{dt} + \omega_0^2 \theta = 0$ Sử dụng nghiệm đề cho, ta được: $\theta(t) = (A \cos \omega t + B \sin \omega t) e^{-\alpha t}$	

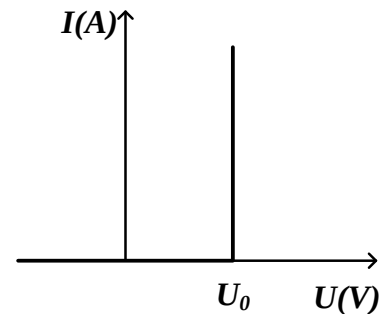
Với $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2} = \sqrt{\frac{4kl^2 + mgl}{J} - \left(\frac{9B^2l^4}{8RJ}\right)^2}$ (10) Từ điều kiện ban đầu: $A = \theta_0$ Vận tốc ban đầu bằng không nên: $-\alpha A + \omega B = 0 \Rightarrow B = \frac{A}{\omega} \alpha$	0.5
Vậy: $\theta(t) = (\theta_0 \cos \omega t + \frac{\theta_0}{\omega} \sin \omega t) e^{-\alpha t}$ với α tính theo (9) và ω tính theo (10)	0.5
b. Chu kỳ giả điều hòa: $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\omega_0} \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{9B^2l^4}{8RJ\omega_0}\right)^2}}$	0.5

Câu 5. Phương án thực nghiệm (3 điểm) (cơ, quang, điện)

Xác định điện dung của một tụ điện cho trước.

Cho các dụng cụ sau:

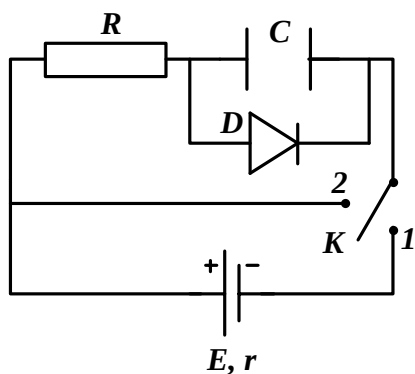
- Tụ điện cần xác định điện dung;
- 01 nguồn điện một chiều có suất điện động đã biết và điện trở trong chưa biết.
- 01 đèn LED có đặc tuyến vôn-ampe như hình vẽ (đèn có thể xem là đi-ốt lí tưởng, giá trị U_0 đã biết);
- 01 hộp điện trở thuần có thể đặt được các giá trị của điện trở;
- Đồng hồ bấm giây;
- Khóa điện, dây nối đủ dùng.



Đề xuất phương án thí nghiệm xác định điện dung của tụ.

Giải:

Nội dung	Điểm
1. Mắc mạch điện như hình vẽ	0,5



Tại $t = 0$, đóng khóa K vào 1 , lúc đầu tụ chưa tích điện, hiệu điện thế giữa hai cực của đèn LED nhỏ hơn U_0 , đèn không sáng, do đó cường độ dòng điện qua mạch là i và điện tích q của tụ điện liên hệ với nhau theo hệ thức: $Ri + \frac{q}{C} + ri = E$

Trong đó: $i = \frac{dq}{dt} \rightarrow \int_0^q \frac{dq}{q - CE} = - \int_0^t \frac{dt}{(R + r)C}$

0,5

$$\ln \frac{|q - CE|}{CE} = \ln \frac{CE - q}{CE} = - \frac{t}{C(R + r)}$$

Đèn LED sẽ sáng khi $q = CU_0$, sau đó hiệu điện thế giữa hai cực của D không đổi nên tụ sẽ không tích thêm điện và LED sáng ổn định ở dòng $i = \frac{E}{R + r}$. Thời điểm D bắt đầu sáng, τ thỏa mãn:

0,5

$$\ln \frac{CE - CU_0}{CE} = - \frac{\tau}{(R + r)C} \rightarrow \frac{\tau}{\ln \frac{E}{E - U_0}} = C(R + r) \quad (1)$$

Từ hệ thức (1) ta thấy, nếu sử dụng các điện trở R khác nhau ta có các thời gian τ khác nhau và

0,5

$$R_i - R_j = \frac{1}{C} \frac{\tau_i - \tau_j}{\ln \left(\frac{E}{E - U_0} \right)} \rightarrow C = \frac{1}{\ln \left(\frac{E}{E - U_0} \right)} \frac{\tau_i - \tau_j}{R_i - R_j} \quad (2)$$

Ta tiến hành thí nghiệm như sau:

0,5

- Lắp mạch điện theo sơ đồ hình vẽ trên.
- Tại thời điểm $t = 0$ ta tức thì đóng khóa K vào 1 đồng thời khởi động đồng hồ bấm giây.
- Đến khi đèn D loé sáng ta ngay lập tức ngừng đồng hồ bấm giây.

- Đọc số liệu của điện trở R_i và thời gian τ_i. - Chuyển K về 2, đợi cho tụ phóng điện hết rồi thay điện trở R đã dùng bằng một điện trở khác rồi lặp lại phép đo trên, đọc số liệu điện trở R_j và thời gian τ_j. - Thay các số liệu đo được và các thông số của các dụng cụ đã biết vào (2), tính được C.	
---	--