

ΘΕΜΑ Α

A1: (δ)

A2: (β)

A3: (α)

A4: (γ)

A5: (α)→Σ, (β)→Σ, (γ)→Λ, (δ)→Λ, (ε)→Σ

ΘΕΜΑ Β

B1: (iii)

Το άκρο Ο (x=0) είναι κοιλία, το Γ (x=L) δεσμός.

2 δεσμοί: $L = 3\lambda_1/4$, 3 δεσμοί: $L = 5\lambda_2/4$

$$3\lambda_1/4 = 5\lambda_2/4 \Rightarrow \lambda_1/\lambda_2 = 5/3$$

Είναι $u_\delta = \lambda/T \Rightarrow \lambda = u_\delta T$

Η ταχύτητα διάδοσης είναι ίδια (ίδια χορδή), άρα $\lambda_1 = u_\delta T_1$ και $\lambda_2 = u_\delta T_2$ οπότε από την παραπάνω σχέση προκύπτει $T_1/T_2 = 5/3$.

B2 → (i)

Είναι $F = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I_1 I_2}{r} l$ οπότε $F_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I(2I)}{r} l$ και $F_2 = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I(4I)}{(r+\frac{r}{2})} l$

$$\text{Άρα } \frac{F_1}{F_2} = \frac{\frac{\mu_0 2I(2I)l}{4\pi \frac{r}{2}}}{\frac{\mu_0 2I(4I)l}{4\pi \frac{3r}{2}}} = \frac{3}{4}$$

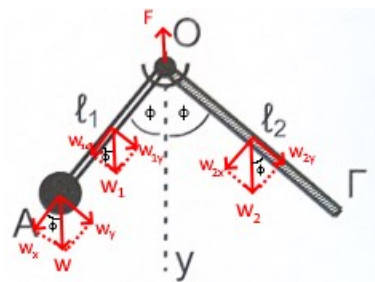
B3 → (ii)

Το σύστημα ισορροπεί στροφικά οπότε

$$\Sigma \tau_{(O)} = 0 \Rightarrow$$

$$\tau_{F_{O(O)}} + \tau_{W_{yO}} + \tau_{W_{1yO}} + \tau_{W_{2xO}} = 0 \Rightarrow$$

$$\frac{M}{2} g \eta \mu \phi \cdot l_1 + M g \eta \mu \phi \cdot \frac{l_1}{2} - M g \eta \mu \phi \cdot \frac{l_2}{2} = 0 \Rightarrow \frac{l_1}{l_2} = \frac{1}{2}$$



ΘΕΜΑ Γ

G1. Είναι $\lambda' - \lambda = \lambda_c(1 - \text{συν}\phi) \Rightarrow \lambda' = 8\lambda_c + \lambda_c(1 - (-1)) \Rightarrow$

$$\lambda' = 10\lambda_c = 10 \frac{h}{m_e c} = \frac{10hc}{m_e c^2} = \frac{10 \cdot 1200}{5 \cdot 10^5} \Rightarrow \lambda' = 0,024 \text{ nm}$$

G2. Για το προσπίπτον φωτόνιο $E_\phi = hf = hc/\lambda = \frac{hc}{8\lambda_c} = \frac{hc}{8 \frac{h}{m_e c}} \Rightarrow E_\phi = \frac{m_e c^2}{8}$ άρα $E_\phi = 62500 \text{ eV}$

Για το σκεδαζόμενο φωτόνιο $E'_\phi = hf' = hc/\lambda' = \frac{hc}{10\lambda_c} = \frac{hc}{10 \frac{h}{m_e c}} \Rightarrow E'_\phi = \frac{m_e c^2}{10}$ άρα $E'_\phi = 50000 \text{ eV}$

Κατά τη σκέδαση διατηρείται η ενέργεια του συστήματος οπότε $K_e = E_\phi - E'_\phi \Rightarrow K_e = 12500 \text{ eV}$

Γ3. Για να εξέλθει ένα ηλεκτρόνιο από το μέταλλο πρέπει $hf - \phi \geq 0$, δηλ. Η ενέργεια του προσπίπτοντος φωτονίου να είναι μεγαλύτερη ή οριακά ίση με το έργο εξαγωγής του μετάλλου $hf \geq \phi$ ή $f \geq \frac{\phi}{h}$

Η ελάχιστη τιμή $f_0 = \frac{\phi}{h}$ είναι η συχνότητα κατωφλίου και για το υλικό της καθόδου της διάταξης είναι ίση με $f_0 = \frac{1,4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{6,4 \cdot 10^{-34}} \Rightarrow f_0 = 3,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

Γ4. Το δυναμικό αποκοπής είναι η τάση στην οποία διακόπτεται το ρεύμα καθώς τα φωτοηλεκτρόνια δεν φτάνουν στην άνοδο (δηλ. ίσα που δεν φτάνουν με μηδενική ταχύτητα).

Από το ΘΜΚΕ για αυτήν την κίνηση ενός φωτοηλεκτρονίου από την κάθοδο στην άνοδο προκύπτει ότι $K_{καθ} = |e|V_0$.

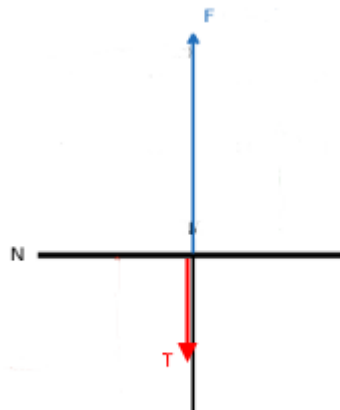
Λαμβάνοντας υπόψη τη φωτοηλεκτρική εξίσωση του Einstein έχουμε

$$hf - \phi = |e|V_0 \Rightarrow V_0 = \frac{h}{|e|}f - \frac{\phi}{|e|} \Rightarrow V_0 = 4 \cdot 10^{-15}f - 1,4, (S.I.)$$

Είναι $c = \lambda_1 f_1 \Rightarrow f_1 = \frac{3 \cdot 10^8}{400 \cdot 10^{-9}} = 7,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

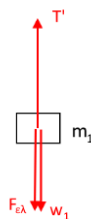
Αντικαθιστώντας στην παραπάνω σχέση προκύπτει $V_0 = 4 \cdot 10^{-15} \cdot 7,5 \cdot 10^{14} - 1,4 \Rightarrow V_0 = 1,6 \text{ V}$

ΘΕΜΑ Δ



Η ράβδος ΝΛ ισορροπεί, οπότε $\Sigma F=0 \Rightarrow F - m_2g + T = 0 \Rightarrow T = 3 - 1 = 2 \text{ N}$.

Το τεντωμένο νήμα είναι αβαρές, οπότε $|T'| = |T|$ άρα $T' = 2 \text{ N}$



Και το σώμα Σ ισορροπεί, οπότε $\Sigma F=0 \Rightarrow T' - m_1g - k\Delta l_0 = 0 \Rightarrow \Delta l_0 = 0,1 \text{ m}$

Δ1. Μόλις κοπεί το νήμα, παύει να ασκείται η τάση T' (προς τα πάνω).

Η συνισταμένη δύναμη στο Σ είναι πλέον προς τα κάτω, οπότε το Σ ξεκινά να ταλαντώνεται από μία θέση χωρίς ταχύτητα άρα αυτή είναι η άνω θετική ακραία της ταλάντωσης.

Η νέα Θ.Ι. του Σ κατά την ταλάντωσή του είναι κάτω από τη Θ.Φ.Μ. του ελατηρίου κατά Δl_1 :

$$\Sigma F = 0 \Rightarrow m_1 g - k \Delta l_1 = 0 \Rightarrow \Delta l_1 = 0,1 \text{ m}$$

Άρα $A = \Delta l_0 + \Delta l_1 = 0,2 \text{ m}$

$$\text{Είναι } kD = m_1 \omega^2 \Rightarrow m_1 \omega^2 = k \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{k}{m_1}} \Rightarrow \omega = 10 \text{ rad/s}$$

Με θετική φορά προς τα πάνω και εκκίνηση από την άνω ακραία τη στιγμή t_0 είναι

$$y_0 = +0,2 \Rightarrow 0,2 \cdot \eta \mu \varphi_0 = +0,2 \Rightarrow \eta \mu \varphi_0 = +1 \Rightarrow \varphi_0 = \frac{\pi}{2} \text{ rad}$$

$$\text{Άρα } y(t) = 0,2 \cdot \eta \mu(10t + \frac{\pi}{2}), \text{ (S.I.)}$$

Δ2. $K/E = 3/4 \Rightarrow K = 3E/4 \Rightarrow E - U = E/4 \Rightarrow U = E/4 \Rightarrow \frac{1}{2}ky^2 = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{2}kA^2 \Rightarrow |y| = A/2 = 0,1 \text{ m}$.

Είναι $a = -\omega^2 A \cdot \eta \mu(\omega t + \varphi_0) \Rightarrow a = -\omega^2 y \varphi_0$ άρα $|a| = \omega^2 \cdot |y| = 100 \cdot 0,1 \Rightarrow |a| = 10 \text{ m/s}^2$

Δ3. Τη χρονική στιγμή που το νήμα κόβεται ο αγωγός ΝΛ αρχίζει να ανέρχεται καθώς η μόνη δύναμη που δέχεται είναι η F οπότε αρχίζει και ανέρχεται επιταχυνόμενος. Καθώς κινείται μεταβάλλεται η μαγνητική ροή από την επιφάνεια που σαρώνει με αποτέλεσμα στα άκρα του να εμφανίζεται επαγωγική ΗΕΔ και αφού το κύκλωμα ΝΛΖΖ' είναι κλειστό, θα διαρρέεται από ρεύμα. Το επαγωγικό ρεύμα (σύμφωνα με τον κανόνα του Lenz) έχει τέτοια φορά ώστε να αντιτίθεται στο αίτιό του (εδώ αύξηση της μαγνητικής ροής λόγω της καθόδου του αγωγού, με συνέπεια η δύναμη Laplace που προκαλεί να έχει κατεύθυνση αντίρροπη της ταχύτητάς του). Έτσι ο αγωγός επιταχύνεται με διαρκώς μειούμενη επιτάχυνση αφού όσο μεγαλώνει η ταχύτητά του μεγαλώνει και η επαγωγική ΗΕΔ κατά συνέπεια και το επαγωγικό ρεύμα άρα και η δύναμη Laplace.

Κάποια στιγμή η δύναμη Laplace θα γίνει ίση με το βάρος του αγωγού οπότε και ο αγωγός θα αποκτήσει σταθερή (οριακή) ταχύτητα.

Η ταχύτητα αυτή υπολογίζεται ως εξής:

Ο αγωγός ανέρχεται με ταχύτητα v οπότε αναπτύσσεται ΗΕΔ $E = B\ell v$ και ρεύμα $I = B\ell v / (R + R_{NL})$.

Η δύναμη Laplace (με μέτρο $B^2 \ell^2 v / (R + R_{NL})$) αντιτίθεται στην κίνηση.

Από τον 2ο νόμο Newton έχουμε $m_2 a = F - m_2 g - B^2 \ell^2 v / (R + R_{NL})$

(Κίνηση επιταχυνόμενη με μειούμενη επιτάχυνση)

Οριακή ταχύτητα αποκτά όταν $\Sigma F = 0$ ή $a = 0$:

$$v_{op} = (F - m_2 g)(R + R_{NL}) / (B^2 \ell^2) = (2) \cdot (2) / (1) \Rightarrow v_{op} = 4 \text{ m/s}$$

Δ4. Αφού αποκτήσει ο αγωγός την οριακή ταχύτητα, η κίνηση γίνεται ομαλή ($v = \text{σταθ.}$):

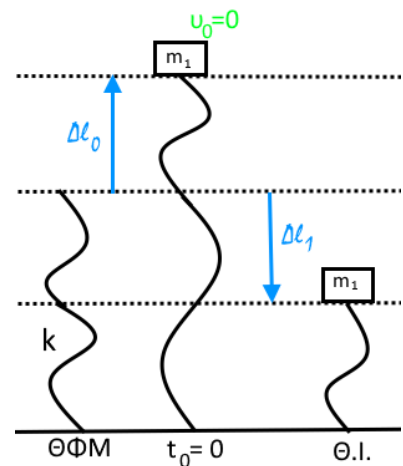
$$h = v_{op} \cdot \Delta t = 4 \cdot 0,125 = 0,5 \text{ m}$$

Για το έργο της δύναμης F είναι $W_F = F \cdot h = 3 \cdot 0,5 = + 1,5 \text{ J}$

Για το έργο του βάρους του αγωγού είναι $W_{W_2} = -m_2 g h = -0,5 \text{ J}$

Για το έργο της δύναμης Laplace είναι $|W_{F_L}| = Q_{joule}$ καθώς εκφράζει την ενέργεια του αγωγού που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια και στη συνέχεια λόγω φαινομένου Joule σε θερμότητα στους αντιστάτες του κυκλώματος.

Εφαρμόζουμε το ΘΜΚΕ για την κίνηση του αγωγού καθώς ανεβαίνει κατά h , έχουμε



$$\Delta K = W_F + W_{W_2} + W_{F_L} \xrightarrow{v=\sigma\tau\alpha\theta} 0 = 1,5 - 0,5 - |W_{F_L}| \Rightarrow Q = 1J$$

Οπότε το ζητούμενο ποσοστό είναι $\pi\% = \frac{Q}{W_F} 100\% \Rightarrow \pi\% = \frac{200}{3}\%$