ΠΑΝΕΛΛΑΔΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ ΓΕΝΙΚΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ
ΔΕΥΤΕΡΑ 8 ΙΟΥΝΙΟΥ 2026
ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟ ΜΑΘΗΜΑ: ΦΥΣΙΚΗ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ
ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ & ΛΥΣΕΙΣ ΤΩΝ ΘΕΜΑΤΩΝ

ΘΕΜΑ Α

Α1. Σωστή επιλογή: **δ**

Αιτιολόγηση: Η αρχή διατήρησης της στροφορμής ενός συστήματος ισχύει όταν το αλγεβρικό άθροισμα (ή η συνισταμένη) των εξωτερικών ροπών είναι μηδέν ($\Sigma\tau_{\varepsilon\xi} = 0$).

Α2. Σωστή επιλογή: **β**

Αιτιολόγηση: Κατά τη διάδοση ενός κύματος σε ομογενές μέσο χωρίς απώλειες, όλα τα σημεία εκτελούν ταλάντωση με την ίδια συχνότητα (άρα και την ίδια περίοδο T) που επιβάλλει η πηγή, και με το ίδιο πλάτος A. Οι στιγμιαίες απομακρύνσεις και ταχύτητες διαφέρουν ανάλογα με τη φάση του κάθε σημείου.

Α3. Σωστή επιλογή: **α**

Αιτιολόγηση: Τα όργανα μέτρησης (αμπερόμετρα, βολτόμετρα) εναλλασσόμενου ρεύματος είναι βαθμονομημένα ώστε να δείχνουν τις ενεργές τιμές ($I_{\varepsilon\nu}$, $V_{\varepsilon\nu}$) των αντίστοιχων μεγεθών.

Α4. Σωστή επιλογή: **γ**

Αιτιολόγηση: Λόγω ίσων μαζών ($m_1 = m_2$) και κεντρικής ελαστικής κρούσης με αντίθετες ταχύτητες ίδιου μέτρου, οι σφαίρες ανταλλάσσουν ταχύτητες. Έτσι, μετά την κρούση θα κινηθούν προς τις αντίθετες κατευθύνσεις, απομακρυνόμενες η μία από την άλλη με ταχύτητες ίδιου μέτρου υ.

Α5.
α) Σωστό. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα συνίστανται από αμοιβαία μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία.

β) Σωστό. Στον συντονισμό η συχνότητα του διεγέρτη ισούται με την ιδιοσυχνότητα του συστήματος και το πλάτος γίνεται μέγιστο.

γ) Λάθος. Στην ελαστική κρούση, εξ ορισμού, η μηχανική (κινητική) ενέργεια του συστήματος διατηρείται.

δ) Λάθος. Ο συντελεστής αυτεπαγωγής L εξαρτάται μόνο από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πηνίου και τη μαγνητική διαπερατότητα του πυρήνα του, όχι από την ένταση του ρεύματος.

ε) Σωστό. Σύμφωνα με τη σχέση de Broglie, $\lambda = \frac{h}{p}$, το μήκος κύματος είναι αντιστρόφως ανάλογο της ορμής.

ΘΕΜΑ Β

Β1

α) Σωστή απάντηση: iii) $\frac{5}{3}$

β) Δικαιολόγηση:

Η χορδή $ΟΓ$ μήκους L έχει το άκρο $Γ$ σταθερό (άρα στη θέση $x = L$ δημιουργείται πάντα **δεσμός**) και το άκρο $Ο$ ελεύθερο να ταλαντώνεται (άρα στη θέση $x = 0$ δημιουργείται **κοιλία**).

Για μια χορδή με κοιλία στο ένα άκρο και δεσμό στο άλλο, το μήκος L της χορδής συνδέεται με το μήκος κύματος λ μέσω της σχέσης:

$L = (2k+1)\frac{\lambda}{4}$,   όπου $k = 0,1,2, \ldots$

1. **1η Περίπτωση (Περίοδος T_1):** Το στάσιμο κύμα έχει συνολικά δύο δεσμούς, επομένως:

$$L = (2 \cdot 1 + 1)\frac{\lambda_1}{4} = \frac{3\lambda_1}{4} \Rightarrow \lambda_1 = \frac{4L}{3}$$

Επειδή $v = \frac{\lambda_1}{T_1}$, έχουμε $T_1 = \frac{\lambda_1}{v} = \frac{4L}{3v}$.

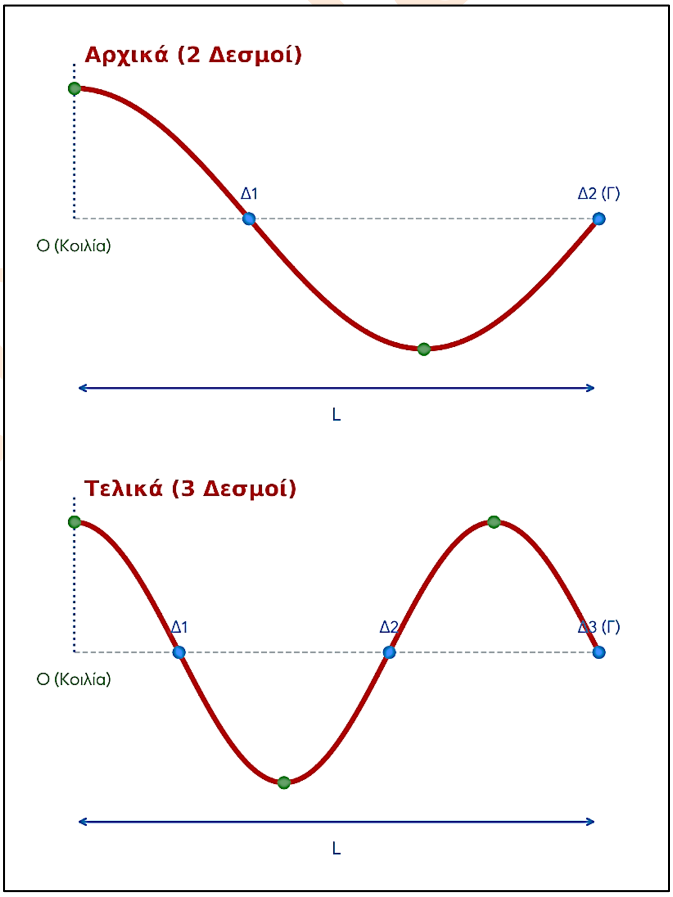
2. **2η Περίπτωση (Περίοδος T_2):** Το στάσιμο κύμα έχει συνολικά τρεις δεσμούς, επομένως:

$$L = (2 \cdot 2 + 1)\frac{\lambda_2}{4} = \frac{5\lambda_2}{4} \Rightarrow \lambda_2 = \frac{4L}{5}$$

Αντίστοιχα, $T_2 = \frac{\lambda_2}{v} = \frac{4L}{5v}$.

Διαιρώντας κατά μέλη τους δύο λόγους:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\frac{4L}{3v}}{\frac{4L}{5v}} => \boxed{\frac{T_1}{T_2} = \frac{5}{3}}$$

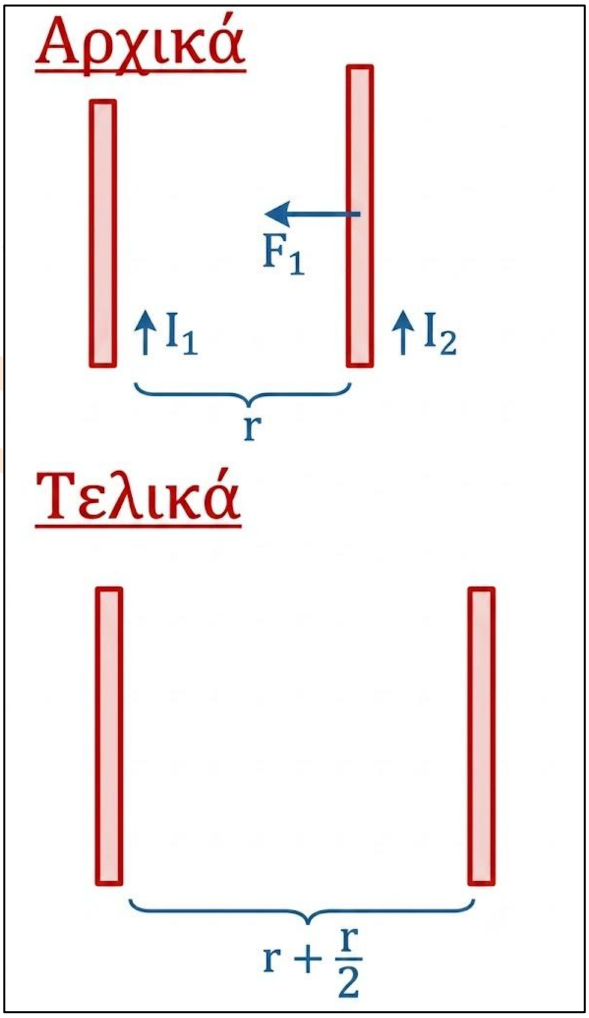


B2

α) Σωστή απάντηση: i) $\frac{3}{4}$

β) Δικαιολόγηση: Η δύναμη Laplace ανά μονάδα μήκους l μεταξύ δύο παράλληλων αγωγών που απέχουν απόσταση d και διαρρέονται από ρεύματα I_1 και I_2 δίνεται από τον τύπο:

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I_1 I_2}{d}\ell$$



1. **Αρχική κατάσταση:** Οι αγωγοί απέχουν απόσταση $d_1 = r$ και διαρρέονται από ρεύματα $I_1 = I$ και $I_2 = 2I$.

$$F_1 = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I\cdot 2I}{r}\ell = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{2I^2}{r}\ell$$

2. **Τελική κατάσταση:** Ο αγωγός (2) απομακρύνεται κατά $d = r/2$ προς τα δεξιά, άρα η νέα απόσταση είναι:

$d_2 = r + \frac{r}{2} = \frac{3r}{2}$.

Ταυτόχρονα, το ρεύμα του διπλασιάζεται, άρα $I_2{}' = 2\cdot I_2 = 4I$, ενώ $I_1 = I$.

$$F_2 = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I\cdot 4I}{\frac{3r}{2}}l = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{8I^2}{3r}l$$

Διαμορφώνουμε τον λόγο $\frac{F_1}{F_2}$:

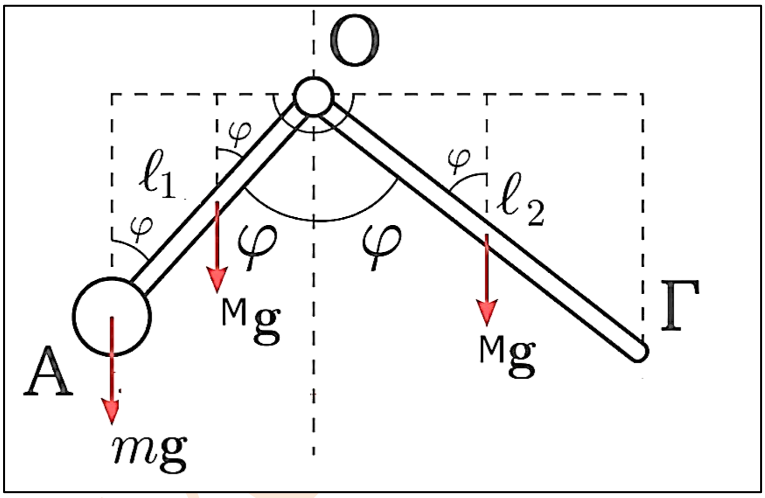
$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{\frac{\mu_0}{2\pi}\frac{2I^2}{r}l}{\frac{\mu_0}{2\pi}\frac{8I^2}{3r}l} = \frac{2}{\frac{8}{3}} = \frac{6}{8} \Rightarrow \boxed{\frac{F_1}{F_2} = \frac{3}{4}}$$

Β3

α) Σωστή απάντηση: ii) $\frac{1}{2}$

β) Δικαιολόγηση: Το σύστημα ισορροπεί, επομένως η συνισταμένη των ροπών ως προς τον άξονα περιστροφής στο σημείο O πρέπει να είναι μηδέν ($\Sigma\tau_{(O)} = 0$).

Θεωρούμε θετική τη φορά των δεικτών του ρολογιού. Οι δυνάμεις που δημιουργούν ροπή ως προς το O είναι:



- Το βάρος της ράβδου OA:
- $w_1 = Mg$ στο μέσο της $\frac{\ell_1}{2}$.
- Το βάρος της σφαίρας στο άκρο A:

  $w_m = mg = \frac{M}{2}g$ σε απόσταση ℓ_1.
- Το βάρος της ράβδου $O\Gamma$:
- $w_2 = Mg$ στο μέσο της $\frac{\ell_2}{2}$.

Οι δύο ράβδοι σχηματίζουν την ίδια γωνία ϕ με την κατακόρυφο Oy. Γράφουμε τη συνθήκη ισορροπίας ροπών:

$$\Sigma\tau_{(O)} = 0 \Rightarrow \tau_{w_1} + \tau_{w_m} - \tau_{w_2} = 0$$

$$\left(Mg \cdot \frac{\ell_1}{2} \cdot \eta\mu\phi\right) + \left(\frac{M}{2}g \cdot \ell_1 \cdot \eta\mu\phi\right) - \left(Mg \cdot \frac{\ell_2}{2} \cdot \eta\mu\phi\right) = 0$$

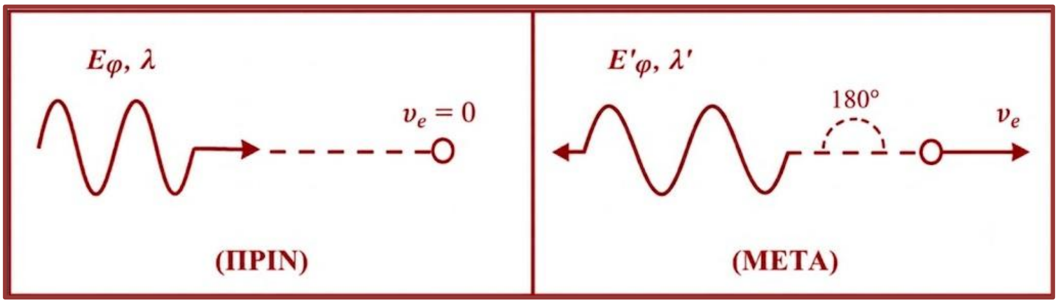
Επειδή $\phi \neq 0$, διαιρούμε όλη τη σχέση με $Mg\eta\mu\phi$:

$$\frac{\ell_1}{2} + \frac{\ell_1}{2} - \frac{\ell_2}{2} = 0$$

$$\ell_1 = \frac{\ell_2}{2} \Rightarrow \boxed{\frac{\ell_1}{\ell_2} = \frac{1}{2}}$$

ΘΕΜΑ Γ

Γ1. Υπολογισμός μήκους κύματος λ'



Από τον τύπο του φαινομένου Compton έχουμε:

$$\lambda' - \lambda = \lambda_c(1 - \sigma\upsilon\nu\varphi)$$

Για γωνία σκέδασης $\varphi = 180°$ είναι $\sigma\upsilon\nu 180° = -1$, και δίνεται $\lambda = 8\lambda_c$. Συνεπώς:

$$\lambda' - 8\lambda_c = \lambda_c\big(1 - (-1)\big)$$

$$\lambda' - 8\lambda_c = 2\lambda_c \Rightarrow \boxed{\lambda' = 10\lambda_c}$$

Γ2. Εκφράσεις ενεργειών και κινητικής ενέργειας ηλεκτρονίου

Η ενέργεια ενός φωτονίου δίνεται από τη σχέση $E = \frac{hc}{\lambda}$.

Γνωρίζουμε ότι $\lambda_c = \frac{h}{m_e c} \Rightarrow hc = \lambda_c m_e c^2$.

Για το προσπίπτον φωτόνιο ($\lambda = 8\lambda_c$):

$$E_\varphi = \frac{hc}{8\lambda_c} = \frac{\lambda_c m_e c^2}{8\lambda_c} = \frac{1}{8}m_e c^2$$

Για το σκεδαζόμενο φωτόνιο ($\lambda' = 10\lambda_c$):

$$E_\varphi{}' = \frac{hc}{10\lambda_c} = \frac{\lambda_c m_e c^2}{10\lambda_c} = \frac{1}{10}m_e c^2$$

Από την αρχή διατήρησης της ενέργειας, η κινητική ενέργεια K_e του ανακρουόμενου ηλεκτρονίου ισούται με την απώλεια ενέργειας του φωτονίου:

$$K_e = E_\varphi - E_\varphi{}' = \frac{1}{8}m_e c^2 - \frac{1}{10}m_e c^2 = \frac{5-4}{40}m_e c^2 = \frac{1}{40}m_e c^2$$

Δίνεται ότι $m_e c^2 = 5 \cdot 10^5$ eV, άρα:

$$\boxed{K_e = \frac{5 \cdot 10^5}{40}\ \text{eV} = 1{,}25 \cdot 10^4\ \text{eV}}$$

Γ3. Απόδειξη και υπολογισμός συχνότητας κατωφλίου f_0

Η συχνότητα κατωφλίου f_0 είναι η ελάχιστη συχνότητα που πρέπει να έχει το προσπίπτον φωτόνιο ώστε να προκαλέσει φωτοηλεκτρικό φαινόμενο (δηλαδή να εξάγει ηλεκτρόνιο με μηδενική κινητική ενέργεια $K_{\max} = 0$).

Από τη φωτοηλεκτρική εξίσωση του Einstein:

$$K_{\max} = hf - \phi \Rightarrow 0 = hf_0 - \phi \Rightarrow \phi = hf_0 \Rightarrow f_0 = \frac{\phi}{h}$$

Μετατρέπουμε το έργο εξαγωγής $\phi = 1{,}4$ eV σε Joule (J):

$$\phi = 1{,}4 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{J} = 2{,}24 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{J}$$

Υπολογισμός της f_0:

$$f_0 = \frac{2{,}24 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{J}}{6{,}4 \cdot 10^{-34}\ \mathrm{J \cdot s}} = 0{,}35 \cdot 10^{15}\ \mathrm{Hz} => \boxed{f_0 = 3{,}5 \cdot 10^{14}\ \mathrm{Hz}}$$

Γ4. Υπολογισμός δυναμικού αποκοπής V_0

Η ενέργεια του φωτονίου ακτινοβολίας μήκους κύματος $\lambda_1 = 400$ nm είναι:

$$E_1 = \frac{hc}{\lambda_1} = \frac{1200\ \mathrm{eV \cdot nm}}{400\ \mathrm{nm}} = 3\ \mathrm{eV}$$

Από τη φωτοηλεκτρική εξίσωση, η μέγιστη κινητική ενέργεια των εξερχόμενων ηλεκτρονίων είναι:

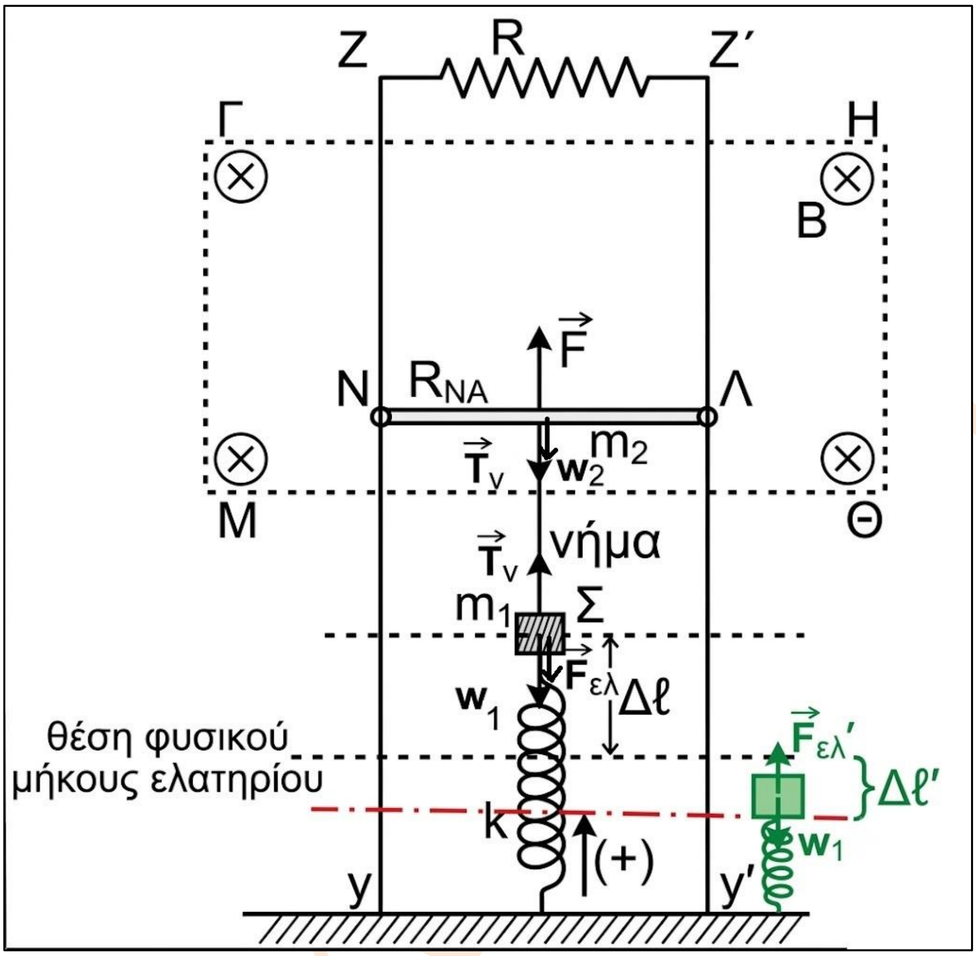
$$K_{\max} = E_1 - \phi = 3\ \mathrm{eV} - 1{,}4\ \mathrm{eV} = 1{,}6\ \mathrm{eV}$$

Το δυναμικό αποκοπής V_0 συνδέεται με την $K_{\max}$ μέσω της σχέσης:

$$K_{\max} = e \cdot V_0 \Rightarrow 1{,}6\ \mathrm{eV} = e \cdot V_0 \Rightarrow \boxed{V_0 = 1{,}6\ \mathrm{V}}$$

ΘΕΜΑ Δ

1. Δ1. Χρονική εξίσωση απομάκρυνσης του σώματος Σ



Πριν κοπεί το νήμα, το σύστημα ισορροπεί. Για το σώμα Σ μάζας $m_1 = 0{,}1$ kg:

$$\Sigma F = 0 \Rightarrow T_\nu - F_{\varepsilon\lambda} - m_1 g = 0 \quad (1)$$

Για τον αγωγό $N\Lambda$ μάζας $m_2 = 0{,}1$ kg (δεν διαρρέεται από ρεύμα αρχικά αφού είναι ακίνητος, άρα $F_L = 0$):

$$\Sigma F = 0 \Rightarrow F - m_2 g - T_\nu = 0 \Rightarrow T_\nu = F - m_2 g = 3 - 0{,}1 \cdot 10 = 2\ \mathrm{N}$$

Από τη σχέση (1) για την αρχική επιμήκυνση Δl του ελατηρίου:

$$F_{\varepsilon\lambda} + m_1 g - T_\nu = 0 \Rightarrow k \cdot \Delta\ell = -0{,}1 \cdot 10 + 2 = 1\ \mathrm{N} \Rightarrow \Delta\ell = \frac{3}{10} = 0{,}1\ \mathrm{m}$$

Μόλις κόβεται το νήμα ($t_0 = 0$), το σώμα Σ εκτελεί Α.Α.Τ. με σταθερά $D = k = 10$ N/m. Η νέα Θέση Ισορροπίας (Θ.Ι.) της ταλάντωσης ορίζεται από τη συνθήκη:

$$\Sigma F = 0 \Rightarrow F_{\varepsilon\lambda}{}' = m_1 g \Rightarrow k \cdot \Delta\ell' = m_1 g \Rightarrow 10 \cdot \Delta\ell' = 1 \Rightarrow \Delta\ell' = 0{,}1\ \mathrm{m}$$

Η αρχική θέση του σώματος τη στιγμή $t_0 = 0$ (όπου κόπηκε το νήμα) απέχει από τη νέα Θ.Ι. απόσταση ίση με το πλάτος A της ταλάντωσης:

$$A = \Delta l + \Delta\ell' = 0{,}1 + 0{,}1 = 0{,}2\ \mathrm{m}$$

Επειδή τη στιγμή $t_0 = 0$ το σώμα βρίσκεται κάτω από τη Θ.Ι. (σε μέγιστη απομάκρυνση) και η θετική φορά ορίζεται προς τα πάνω, η αρχική θέση είναι $x_0 = A = 0{,}2$ m με $v_0 = 0$. Συνεπώς, η αρχική φάση είναι $\phi_0 = \frac{\pi}{2}$ rad.

Η γωνιακή συχνότητα ω είναι:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m_1}} = \sqrt{\frac{10}{0{,}1}} = 10 \text{ rad/s}$$

Η χρονική εξίσωση της απομάκρυνσης $x(t)$ είναι:

$$x = A \cdot \eta\mu(\omega t + \phi_0) \Rightarrow \boxed{x = 0{,}2 \cdot \eta\mu\left(10t + \frac{\pi}{2}\right) \text{(SI)}}$$

Δ2. Υπολογισμός μέτρου επιτάχυνσης

Δίνεται η σχέση:

$$\frac{K}{E} = \frac{3}{4} \Rightarrow K = \frac{3}{4}E$$

Από τη διατήρηση της ενέργειας $E = K + U$:

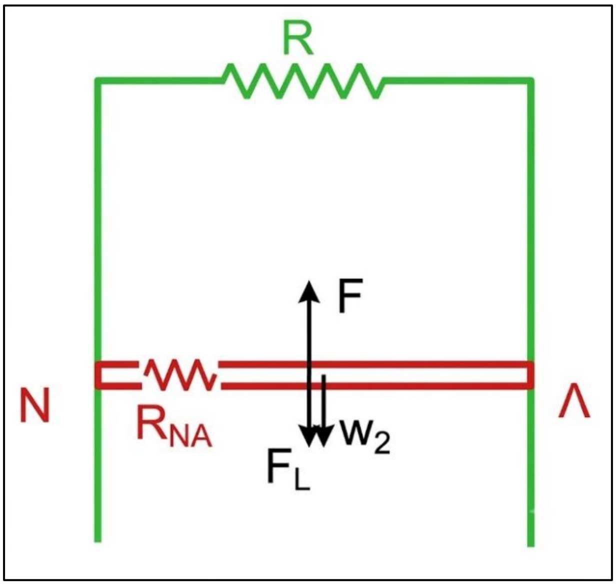
$$\frac{3}{4}E + U = E \Rightarrow U = \frac{1}{4}E \Rightarrow \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{4}\left(\frac{1}{2}kA^2\right) \Rightarrow x^2 = \frac{A^2}{4} \Rightarrow x = \pm\frac{A}{2}$$

Το μέτρο της επιτάχυνσης σε μια Α.Α.Τ. συνδέεται με την απομάκρυνση μέσω της σχέσης:

$$|a| = \omega^2|x| = \omega^2\frac{A}{2} = 10^2 \cdot \frac{0{,}2}{2} = 100 \cdot 0{,}1 => \boxed{|a| = 10 \text{ m/s}^2}$$

Δ3. Περιγραφή κίνησης και οριακή ταχύτητα του $N\Lambda$

Όταν κόβεται το νήμα, στον αγωγό $N\Lambda$ ασκούνται η σταθερή προς τα πάνω δύναμη F, το βάρος του $w_2 = m_2 g$ προς τα κάτω και, καθώς αποκτά ταχύτητα v προς τα πάνω, αναπτύσσεται επαγωγική ΗΕΔ $E_{\varepsilon\pi} = Bvl$. Αυτή προκαλεί επαγωγικό ρεύμα $I = \frac{E_{\varepsilon\pi}}{R_{o\lambda}} = \frac{Bvl}{R+R_{N\Lambda}}$, το οποίο με τη σειρά του δημιουργεί δύναμη Laplace $F_L = BI\ell$ με φορά προς τα κάτω (αντίθετη της κίνησης).



Η συνισταμένη δύναμη στον αγωγό είναι:

$$\Sigma F = F - m_2 g - F_L = F - m_2 g - \frac{B^2 l^2 v}{R + R_{N\Lambda}}$$

Καθώς η ταχύτητα v αυξάνεται, η F_L αυξάνεται, με αποτέλεσμα η συνισταμένη δύναμη (και η επιτάχυνση) να μειώνεται. **Ο αγωγός εκτελεί επιταχυνόμενη κίνηση με συνεχώς μειούμενη επιτάχυνση**, μέχρι η επιτάχυνση να μηδενιστεί ($a = 0$). Τότε ο αγωγός αποκτά σταθερή οριακή ταχύτητα $v_{o\rho}$.

Στην οριακή κατάσταση ($\Sigma F = 0$):

$$F - m_2 g - \frac{B^2 \ell^2 v_{\text{ορ}}}{R + R_{N\Lambda}} = 0$$

$$3 - 0{,}1 \cdot 10 = \frac{1^2 \cdot 1^2 \cdot v_{\text{ορ}}}{1+1} \Rightarrow 2 = \frac{v_{\text{ορ}}}{2} \Rightarrow \boxed{v_{\text{ορ}} = 4\ \text{m/s}}$$

2. Δ4. Ποσοστό έργου της δύναμης F που γίνεται θερμότητα

Στο χρονικό διάστημα $\Delta t = 0{,}125$ s ο αγωγός κινείται με τη σταθερή οριακή ταχύτητα $v_{\text{ορ}} = 4$ m/s. Το διάστημα που διανύει είναι:

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

Το έργο της σταθερής δύναμης $F = 3$ N είναι:

$$W_F = F \cdot \Delta s = 3 \cdot 0{,}5 = 1{,}5\ \text{J}$$

Η ηλεκτρική ισχύς που αναπτύσσεται στο κύκλωμα και μετατρέπεται εξ ολοκλήρου σε θερμότητα (λόγω φαινομένου Joule) στους αντιστάτες είναι:

$$P_{\text{θερμ}} = I^2 R_{\text{ολ}} = \left(\frac{B v_{\text{ορ}} l}{R_{\text{ολ}}}\right)^2 R_{\text{ολ}} = \frac{B^2 l^2 v_{\text{ορ}}^2}{R_{\text{ολ}}} = \frac{1^2 \cdot 1^2 \cdot 4^2}{1+1} = \frac{16}{2} = 8\ \text{W}$$

Η θερμότητα Q που παράγεται στο διάστημα Δt είναι:

$$Q = P_{\text{θερμ}} \cdot \Delta t = 8 \cdot 0{,}125 = 1\ \text{J}$$

Το ζητούμενο ποσοστό επί τοις % είναι:

$$\pi = \frac{Q}{W_F} \cdot 100\% = \frac{1}{1{,}5} \cdot 100\% => \boxed{\pi = \frac{2}{3} \cdot 100\%}$$