**ΦΥΣΙΚΗ ΟΜΑΔΑΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΘΕΤΙΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**2ο ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΑ (Εφ' όλης της ύλης) - ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ**

## ΘΕΜΑ Α

**Α1α.** δ **Α1β.** γ

**Α2α.** α **Α2β.** δ

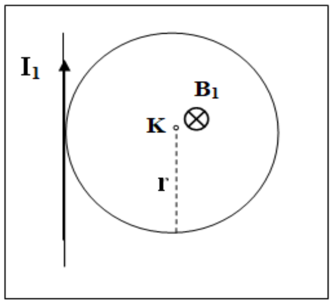
**Α3α.** γ **Α3β.** γ

**Α4α.** γ **Α4β.** δ

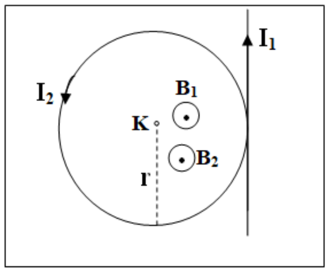
**Α5.** Σ, Λ, Σ, Λ, Λ

## ΘΕΜΑ Β

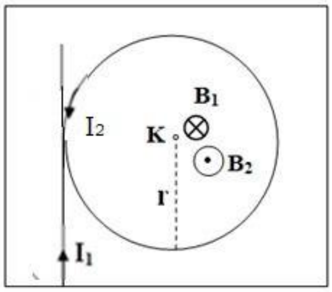
**Β1.** Σωστή είναι η απάντηση (**α**).




Στην αρχή, η ένταση $B_1$ του μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται από τον ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό στο κέντρο Κ του κυκλικού αγωγού έχει φορά από τα μάτια του αναγνώστη προς τη σελίδα, σύμφωνα με τον κανόνα του δεξιού χεριού. Όταν αλλάξουμε τη θέση του ευθύγραμμου ρευματοφόρου αγωγού, η συνισταμένη ένταση του μαγνητικού πεδίου εξαιτίας και των δύο αγωγών $B_1$ και $B_2$ αυξάνεται. Άρα, στην δεύτερη περίπτωση οι εντάσεις των μαγνητικών πεδίων, που δημιουργούν οι δύο ρευματοφόροι αγωγοί είναι ομόρροπες, ενώ στην πρώτη περίπτωση ήταν αντίρροπες. Κατά συνέπεια ο κυκλικός ρευματοφόρος αγωγός διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα έντασης $I_2$ που έχει φορά αντίθετη απ' αυτή των δεικτών του ρολογιού, σύμφωνα με τον κανόνα του δεξιού χεριού.




Η συνισταμένη ένταση $B_B$, στην 2η περίπτωση είναι ίδιας φοράς με την συνισταμένη ένταση $B_A$, στην 1η περίπτωση. Στη δεύτερη περίπτωση είναι από τη σελίδα προς τα μάτια του αναγνώστη, άρα στην πρώτη περίπτωση, η ένταση $B_2$ είναι μεγαλύτερη από την $B_1$. Έτσι έχουμε




$$B_B = 2B_A \Rightarrow B_1 + B_2 = 2(B_2 - B_1) \Rightarrow$$

$$3B_1 = B_2 \Rightarrow 3 \cdot \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2I_1}{r} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2\pi I_2}{r} \Rightarrow I_2 = \frac{3I_1}{\pi}$$

**Β2.** Σωστή είναι η απάντηση (**β**).

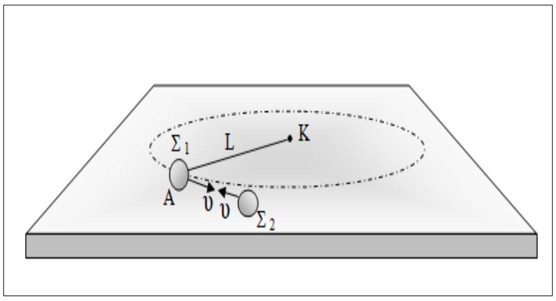
Για την ελαστική κρούση των δύο σφαιριδίων δεχόμαστε θετική φορά αυτήν της ταχύτητας του σφαιριδίου $Σ_1$, άρα η αλγεβρική τιμή της ταχύτητας του άλλου σφαιριδίου, $Σ_2$, θα είναι -υ.

Για τις ταχύτητες των σφαιριδίων μετά την κεντρική ελαστική κρούση ισχύει

$$\upsilon_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\upsilon + \frac{2m_2}{m_1 + m_2}(-\upsilon) \Rightarrow \upsilon_1' = \frac{m - 3m}{m + 3m}\upsilon + \frac{2 \cdot 3m}{m + 3m}(-\upsilon) \Rightarrow \upsilon_1' = -2\upsilon$$

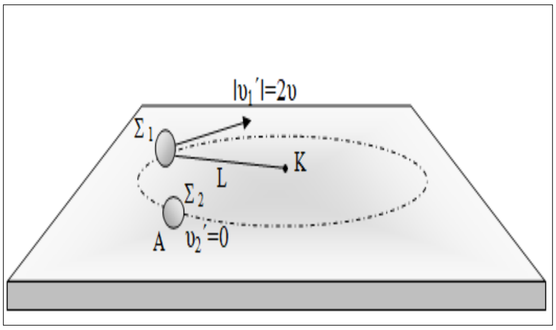
$$\upsilon_2' = \frac{2m_1}{m_1 + m_2}\upsilon + \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}(-\upsilon) \Rightarrow \upsilon_2' = \frac{2m}{m + 3m}\upsilon + \frac{3m - m}{m + 3m}(-\upsilon) \Rightarrow \upsilon_2' = 0$$

Όταν το σφαιρίδιο $\Sigma_1$ εκτελέσει μία περιστροφή θα συγκρουστεί ξανά ελαστικά με το ακίνητο σφαιρίδιο $\Sigma_2$ και οι τελικές ταχύτητες των σφαιριδίων, μετά τη δεύτερη κρούση θα είναι




$$\upsilon_{1\tau} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\upsilon_1' = \frac{m - 3m}{m + 3m}(-2\upsilon) \Rightarrow \upsilon_{1\tau} = \upsilon$$

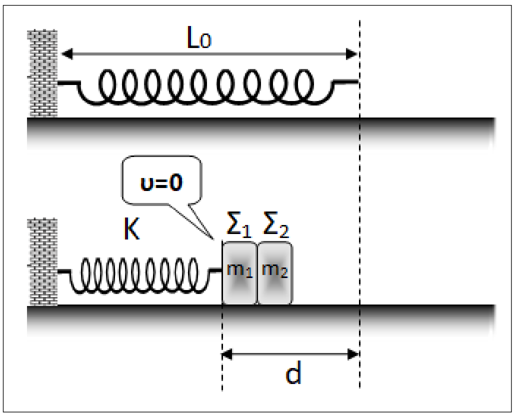
$$\upsilon_{2\tau} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2}\upsilon_1' = \frac{2m}{m + 3m}(-2\upsilon) \Rightarrow \upsilon_{2\tau} = -\upsilon$$




Μετά τη δεύτερη κρούση το σφαιρίδιο $\Sigma_2$ απομακρύνεται από την τροχιά του σφαιριδίου $\Sigma_1$ με σταθερή ταχύτητα μέτρου υ, ενώ το σφαιρίδιο $\Sigma_1$ εκτελεί ομαλή κυκλική κίνηση πάνω στο λείο επίπεδο με σταθερή ταχύτητα μέτρου υ.

Άρα, ο λόγος των μέτρων των τελικών ταχυτήτων των δύο σφαιριδίων είναι ίσος με $\frac{|\upsilon_{2\tau}|}{|\upsilon_{1\tau}|} = \frac{|-\upsilon|}{|\upsilon|} = 1$

**Β3.** Σωστή είναι η απάντηση (**α**).



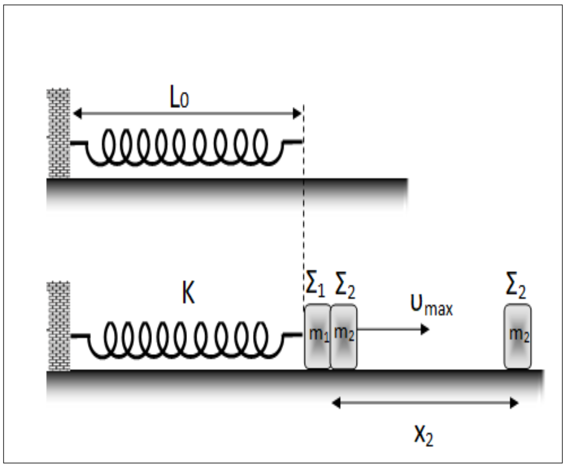

Τα δύο σώματα, μέχρι να χαθεί η επαφή τους, στη θέση ισορροπίας, εκτελούν απλή αρμονική ταλάντωση με πλάτος A=d και περίοδο

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{m_1 + m_2}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{m + 3m}{k}} \Rightarrow T_1 = 4\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

Στη θέση ισορροπίας, που συμπίπτει με το φυσικό μήκος του ελατηρίου, τα δύο σώματα έχουν τη μέγιστη ταχύτητα που είναι

$$\upsilon_{max} = \omega \cdot d = \sqrt{\frac{k}{m_1 + m_2}} \cdot d = \sqrt{\frac{k}{m + 3m}} \cdot d \Rightarrow \upsilon_{max} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot d$$

Τη χρονική στιγμή $t_1$, που χάνεται η επαφή μεταξύ των δύο σωμάτων, έχει περάσει χρονικό διάστημα $t_1 = \frac{T_1}{4} = \frac{4\pi\sqrt{\frac{m}{k}}}{4} = \pi\sqrt{\frac{m}{k}}$.




Μέχρι τη χρονική στιγμή $3t_1$, δηλαδή για χρονικό διάστημα $2t_1$ μετά το χάσιμο της επαφής, το σώμα $Σ_2$ εκτελεί ευθύγραμμη ομαλή κίνηση με ταχύτητα την $υ_{max}$, ενώ το σώμα $Σ_1$ εκτελεί απλή αρμονική ταλάντωση με περίοδο $T_2$

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{m_1}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2t_1.$$

Άρα στο χρονικό διάστημα $2t_1$, το σώμα $Σ_1$ εκτελεί μια πλήρη ταλάντωση και επιστρέφει στη θέση ισορροπίας του, στο φυσικό μήκος του ελατηρίου.

Το σώμα $Σ_2$ στο ίδιο χρονικό διάστημα μετατοπίζεται κατά

$$x_2 = \upsilon_{max} \cdot 2t_1 = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{k}{m}}d \cdot 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow x_2 = \pi d$$

που είναι και η απόσταση μεταξύ των δύο σωμάτων τη χρονική στιγμή $3t_1$.

**Β4.** Σωστή είναι η απάντηση (**γ**).

Η συχνότητα κατωφλίου $f_0$ και το έργο εξαγωγής $\phi$ συνδέονται με τη σχέση

$$f_0 = \frac{\phi}{h} \Rightarrow \phi = hf_0 \qquad (1)$$

Η φωτοηλεκτρική εξίσωση του Einstein δίνει τη μέγιστη κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων που εξέρχονται από την κάθοδο

$$K_{max} = hf - \phi \xrightarrow{(1)} K_{max} = hf - hf_0 \qquad (2)$$

Το ΘΜΚΕ για την επιταχυνόμενη κίνηση των ηλεκτρονίων συνδέει την τελική κινητική τους ενέργεια $K_{τελ}$, όταν φτάνουν στην άνοδο μετά την επιτάχυνσή τους υπό τάση V, με την ενέργεια $W_{Fηλ}$ που προσλαμβάνουν από το πεδίο

$$K_{τελ} - K_{max} = W_{F_{ηλ}} \Rightarrow K_{τελ} - K_{max} = (-e)(-V) \Rightarrow 4hf_0 - K_{max} = eV \xrightarrow{(2)}$$

$$4hf_0 - (hf - hf_0) = eV \Rightarrow 5hf_0 - hf = eV \qquad (3)$$

Για την τάση αποκοπής $V_0$ και με χρήση και της σχέσης (2) μπορούμε να γράψουμε

$$K_{τελ} - K_{max} = W_{F_{ηλ}} \Rightarrow 0 - K_{max} = -eV_0 \Rightarrow K_{max} = eV_0 \Rightarrow hf - hf_0 = eV_0 \qquad (4)$$

Επειδή η τάση V, μεταξύ ανόδου - καθόδου, έχει τιμή τριπλάσια από την τάση αποκοπής, $V_0$ και συνδυάζοντας τις σχέσεις (3) και (4) έχουμε

$$5hf_0 - hf = 3eV_0 \xrightarrow{(4)} 5hf_0 - hf = 3\left(hf - hf_0\right) \Rightarrow 8hf_0 = 4hf \Rightarrow f = 2f_0$$

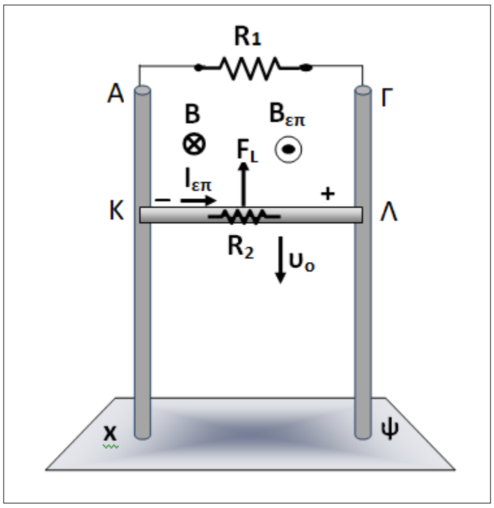
## ΘΕΜΑ Γ

**Γ1. i.** Οι δύο μεταλλικοί οδηγοί, η ράβδος και ο αντιστάτης αποτελούν ένα κλειστό πλαίσιο από το οποίο διέρχεται μαγνητική ροή Φ=BS, όπου S το εμβαδόν του σχηματιζόμενου πλαισίου. Καθώς η ράβδος κινείται, μεταβάλλεται η επιφάνεια S με συνέπεια να αυξάνεται η μαγνητική ροή που διέρχεται από το πλαίσιο και να εμφανίζεται επαγωγική τάση. Αν σε χρόνο dt η ράβδος έχει μετατοπιστεί κατά dy, τότε η επαγωγική τάση που εμφανίζεται στο πλαίσιο είναι

$$E_{\varepsilon\pi} = \left|\frac{d\Phi}{dt}\right| = \frac{d(BS)}{dt} = \frac{BdS}{\Delta t} \Rightarrow \ E_{\varepsilon\pi} = \frac{B\,L\,dy}{dt} \qquad (1)$$

Όμως, το $\frac{dy}{dt}$ ισούται την ταχύτητα της ράβδου, άρα η σχέση (1) γίνεται $E_{\varepsilon\pi} = B\upsilon L$ .

Επειδή το κύκλωμα είναι κλειστό δημιουργείται επαγωγικό ρεύμα, του οποίου η φορά βρίσκεται από τον κανόνα του Lenz, σύμφωνα με τον οποίο ότι το επαγωγικό ρεύμα έχει τέτοια φορά, ώστε να αντιτίθεται στο αίτιο που το προκάλεσε, δηλαδή στην αύξηση της μαγνητικής ροής. Για να συμβεί αυτό, το δευτερογενές μαγνητικό πεδίο, $B_{\varepsilon\pi}$, πρέπει να έχει φορά αντίθετη του B, από τη σελίδα προς τον αναγνώστη. Σύμφωνα με τον κανόνα του δεξιού χεριού, για την δημιουργία μαγνητικού πεδίου σε κυκλικό αγωγό, αφού το μαγνητικό πεδίο έχει φορά από τη σελίδα προς τον αναγνώστη, το επαγωγικό ρεύμα, $I_{\varepsilon\pi}$, έχει φορά αντίθετη με αυτή των δεικτών του ρολογιού και διαρρέει τον αγωγό ΚΛ με φορά από το Κ προς το Λ, όπως δείχνεται στο διπλανό σχήμα.




**ii.** Η ράβδος ΚΛ βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο έντασης B και διαρρέεται από ρεύμα με φορά από το Κ προς το Λ, άρα δέχεται δύναμη Laplace, η οποία σύμφωνα με τον κανόνα των τριών δαχτύλων είναι αντίθετη της ταχύτητας, δηλαδή προς τα πάνω, όπως δείχνεται στο διπλανό σχήμα.

Τη χρονική στιγμή $t_o$=0, η επαγωγική τάση είναι $E_{\varepsilon\pi,0} = B\upsilon_o L = 2T\cdot 4\frac{m}{s}\cdot 1m \Rightarrow E_{\varepsilon\pi,0} = 8V$

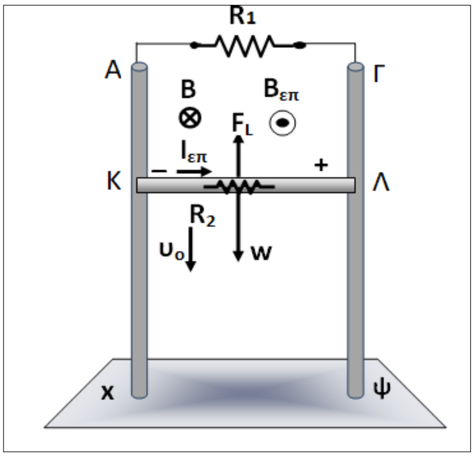
Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα είναι $I_{\varepsilon\pi,0} = \frac{E_{\varepsilon\pi,0}}{R_1 + R_2} = \frac{8V}{3\Omega + 1\Omega} \Rightarrow I_{\varepsilon\pi,0} = 2A$

Το μέτρο της δύναμης Laplace τη χρονική στιγμή $t_o$=0 είναι

$$F_{L,0} = BI_{\varepsilon\pi,0}L = 2T\cdot 2A\cdot 1m \Rightarrow F_{L,0} = 4N$$

**iii.** Τη χρονική στιγμή $t_1$, που η επιτάχυνση της ράβδου μηδενίζεται, η ταχύτητά της είναι ίση με $υ_1$=1m/s. Η επαγωγική τάση είναι $E_{επ} = Bυ_1 L = 2T \cdot 1\frac{m}{s} \cdot 1m \Rightarrow E_{επ} = 2V$

Σύμφωνα με τον νόμο του Ohm, η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα είναι $I_{επ} = \frac{E_{επ}}{R_{ολ}}$ και τη χρονική στιγμή $t_1$ είναι ίση με



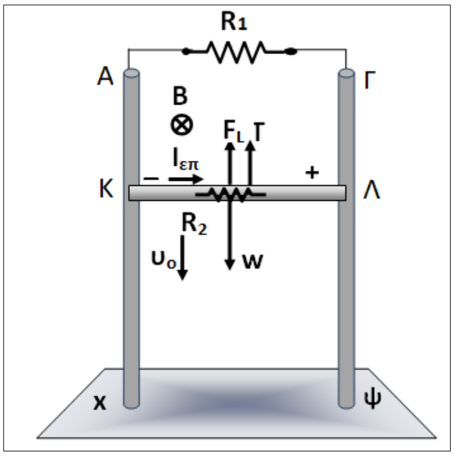

$$I_{επ} = \frac{E_{επ}}{R_1 + R_2} = \frac{2V}{3\Omega + 1\Omega} \Rightarrow I_{επ} = 0,5A$$

Το μέτρο της δύναμης Laplace τη χρονική στιγμή $t_1$ είναι $F_L = BI_1L = 2T \cdot 0,5A \cdot 1m \Rightarrow F_L = 1N$.

Η συνισταμένη δύναμη που ασκείται στη ράβδο, τη χρονική στιγμή $t_1$, είναι μηδέν, σύμφωνα με τον 2° νόμο του Νεύτωνα.

$$\Sigma F = m\alpha = 0 \Rightarrow w - F_L = 0 \Rightarrow mg - F_L = 0 \Rightarrow 0,5kg \cdot 10\frac{m}{s^2} - 1N = 0 \Rightarrow 4N = 0$$

Το αποτέλεσμα που προέκυψε είναι αδύνατο, άρα οι κατακόρυφοι οδηγοί ασκούν δυνάμεις τριβής στη ράβδο.




Επαναλαμβάνουμε την προηγούμενη σχέση ισορροπίας συνυπολογίζοντας το μέτρο της συνισταμένης της τριβής, που θα είναι προς τα πάνω.

$$\Sigma F = m\alpha = 0 \Rightarrow w - F_L - T = 0 \Rightarrow$$
$$T = mg - F_L = 5N - 1N \Rightarrow T = 4N$$

**Γ2.** Η συνισταμένη δύναμη που ασκείται στη ράβδο, τη χρονική στιγμή $t_o$=0, αν πάρουμε θετικά προς τα κάτω, είναι:

$$\Sigma F = w - F_{L,0} - T = mg - F_{L,0} - T \Rightarrow \Sigma F = 5N - 4N - 4N \Rightarrow \Sigma F = -3N$$

Η αρχική ταχύτητα της ράβδου είναι $υ_0$=4m/s και έπειτα γίνεται $υ_1$=1m/s, άρα η κίνηση της ράβδου είναι επιβραδυνόμενη. Παίρνοντας θετικά προς τα κάτω, αφού το μέτρο της επιτάχυνσης της ράβδου είναι $2m/s^2$, η αλγεβρική της τιμή είναι αρνητική, $α=-2m/s^2$. Το μέτρο της δύναμης Laplace σε συνάρτηση με την ταχύτητα ισούται με

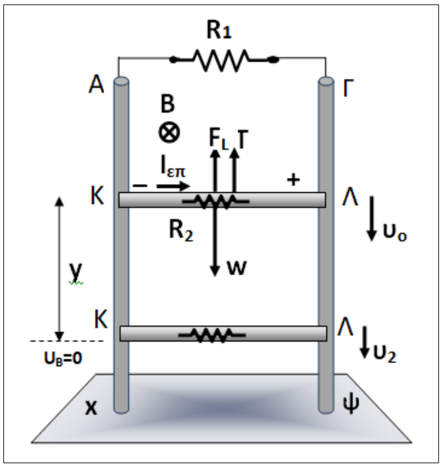
$$F_L = BIL = B\frac{E_{επ}}{R_{ολ}}L = B\frac{BυL}{R_1 + R_2}L = \frac{B^2 υ L^2}{R_1 + R_2}$$

Άρα ο θεμελιώδης νόμος της μηχανικής δίνει

$$\Sigma F = m\alpha \Rightarrow w - F_L - T = m\alpha \Rightarrow mg - \frac{B^2\upsilon L^2}{R_1+R_2} - T = m\alpha \Rightarrow \frac{B^2\upsilon L^2}{R_1+R_2} = mg - m\alpha - T \Rightarrow$$

$$\upsilon = \frac{(mg - m\alpha - T)(R_1+R_2)}{B^2L^2} \Rightarrow \upsilon = \frac{\left(0,5\text{kg}\cdot 10\frac{\text{m}}{\text{s}^2} - 0,5\text{kg}\cdot\left(-2\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) - 4\text{N}\right)(3\Omega+1\Omega)}{(2\text{T}\cdot 1\text{m})^2} \Rightarrow$$

$$\upsilon = 2\frac{\text{m}}{\text{s}}$$




**Γ3.** Έστω y η μετατόπιση της ράβδου από τη χρονική στιγμή $t_0$ μέχρι τη χρονική στιγμή που η ταχύτητα υποδιπλασιάζεται. Σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας, η αρχική μηχανική ενέργεια της ράβδου, θα ισούται με την τελική μηχανική ενέργεια της ράβδου, συν τη θερμική ενέργεια που εκλύθηκε στους ωμικούς αντιστάτες, συν τη θερμική ενέργεια λόγω τριβών. Θεωρώντας ως επίπεδο μηδενικής δυναμικής ενέργειας το οριζόντιο επίπεδο που περνάει από την θέση που η ταχύτητα $\upsilon_2$ της ράβδου γίνει μισή της αρχικής, $\upsilon_2 = \upsilon_0/2 = 2\text{m/s}$, έχουμε:

$$E_{\alpha\rho\chi} = E_{\tau\varepsilon\lambda} \Rightarrow U_{\alpha\rho\chi} + K_{\alpha\rho\chi} = U_{\tau\varepsilon\lambda} + K_{\tau\varepsilon\lambda} + Q_{R_{o\lambda}} + Q_T \Rightarrow$$

$$U_{\alpha\rho\chi} + K_{\alpha\rho\chi} = U_{\tau\varepsilon\lambda} + K_{\tau\varepsilon\lambda} + Q_{R_{o\lambda}} + |W_T| \Rightarrow mgy + \frac{1}{2}m\upsilon_0^{\,2} = 0 + \frac{1}{2}m\upsilon_2^{\,2} + Q_{R_{o\lambda}} + |-Ty| \Rightarrow$$

$$mgy - Ty = \frac{1}{2}m\upsilon_2^{\,2} - \frac{1}{2}m\upsilon_0^{\,2} + Q_{R_{o\lambda}} \Rightarrow (mg-T)y = \frac{1}{2}m\upsilon_2^{\,2} - \frac{1}{2}m\upsilon_0^{\,2} + Q_{R_{o\lambda}} \Rightarrow$$

$$y = \frac{\frac{1}{2}m\upsilon_2^{\,2} - \frac{1}{2}m\upsilon_0^{\,2} + Q_{R_{o\lambda}}}{mg-T} \Rightarrow y = \frac{\frac{1}{2}0,5\text{kg}\left(2\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 - \frac{1}{2}0,5\text{kg}\left(4\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 + 4,5\text{J}}{0,5\text{kg}\cdot 10\frac{\text{m}}{\text{s}^2} - 4\text{N}} \Rightarrow y = 1,5\text{m}$$

**Γ4.** Η ισχύς στις αντιστάσεις είναι $P_{R_{o\lambda}} = I^2R_{o\lambda} = \left(\frac{E_{\varepsilon\pi}}{R_{o\lambda}}\right)^2 R_{o\lambda} = \frac{B^2\upsilon^2L^2}{R_1+R_2}$

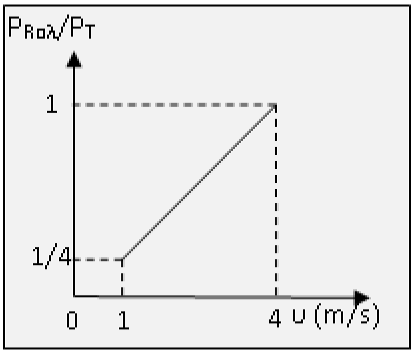
Ο ρυθμός μετατροπής ενέργειας σε θερμική λόγω των τριβών είναι

$$|P_T| = \frac{|Q_T|}{\Delta t} = \frac{|\Delta W_T|}{\Delta t} = \frac{|T\Delta x|}{\Delta t} = |T\upsilon|$$

Ο λόγος $\frac{P_{R_{o\lambda}}}{|P_T|}$ σε συνάρτηση με την ταχύτητα της ράβδου, αν διαιρέσουμε τις δύο παραπάνω σχέσεις, είναι

$$\frac{P_{R_{ολ}}}{P_T} = \frac{\dfrac{B^2\upsilon^2L^2}{R_1+R_2}}{T\upsilon} = \frac{B^2\upsilon L^2}{(R_1+R_2)T} = \frac{(2T)^2\cdot(1m)^2}{(3\Omega+1\Omega)\cdot 4N}\upsilon \Rightarrow$$

$$\frac{P_{R_{ολ}}}{P_T} = \frac{1}{4}\upsilon \quad (S.I)$$




Το διάγραμμα του λόγου $\frac{P_{R_{ολ}}}{|P_T|}$ σε συνάρτηση με την ταχύτητα της ράβδου, δείχνεται στο διπλανό σχήμα. Η ταχύτητα της ράβδου παίρνει τιμές από την αρχική τιμή, $\upsilon_0$=4m/s, μέχρι την οριακή ταχύτητα, $\upsilon_1$=1m/s, όταν η επιτάχυνση της ράβδου μηδενίζεται. Έπειτα η κίνηση της ράβδου είναι ευθύγραμμη ομαλή και η ταχύτητά της είναι σταθερή.

**ΘΕΜΑ Δ**

**Δ1.** Για το μήκος κύματος ισχύει $\upsilon = \lambda f \Rightarrow \lambda = \frac{\upsilon}{f} = \frac{1m/s}{10Hz} \Rightarrow \lambda = 0{,}1\,m$

Εφόσον το σημείο Δ βρίσκεται πάνω στη δεύτερη υπερβολή ενισχυτικής συμβολής, μετά τη μεσοκάθετο, θα ισχύει η σχέση της ενίσχυσης για N=-2

$$r_1 - r_2 = N\lambda = -2\lambda \Rightarrow r_2 = r_1 + 2\lambda \qquad (1)$$

Από τη γεωμετρία του σχήματος και με χρήση της σχέσης (1) προκύπτει

$$r_2^2 = r_1^2 + d^2 \Rightarrow (r_1+2\lambda)^2 = r_1^2 + d^2 \Rightarrow r_1^2 + 4\lambda^2 + 4r_1\lambda = r_1^2 + d^2 \Rightarrow 4\lambda^2 + 4r_1\lambda = d^2 \Rightarrow$$

$$r_1 = \frac{d^2 - 4\lambda^2}{4\lambda} = \frac{\left(\sqrt{8}\cdot 10^{-1}m\right)^2 - 4(0{,}1m)^2}{4\cdot 0{,}1m} \Rightarrow r_1 = 0{,}1m$$

Η χρονική στιγμή που θα αρχίσει να ταλαντώνεται το κομμάτι του φελλού είναι αυτή που θα φτάσει στο φελλό το κύμα που προέρχεται από την πλησιέστερη πηγή $Π_1$

$$t_1 = \frac{r_1}{\upsilon} = \frac{0{,}1m}{1m/s} \Rightarrow t_1 = 0{,}1s$$

**Δ2.** Η απόσταση της πηγής $Π_2$ από το σημείο Δ, από τη σχέση (1) είναι

$$r_2 = r_1 + 2\lambda = 0{,}1m + 2\cdot 0{,}1m = 0{,}3m$$

και το κύμα από αυτή την πηγή θα φτάσει στο σημείο Δ τη χρονική στιγμή

$$t_2 = \frac{r_2}{\upsilon} = \frac{0,3\text{m}}{1\text{m/s}} \Rightarrow t_2 = 0,3\text{s}.$$

Η περίοδος της ταλάντωσης του φελλού και κατά τη διάρκεια που ταλαντώνεται εξαιτίας του ενός κύματος και κατά τη διάρκεια που ταλαντώνεται εξαιτίας της συμβολής των δύο κυμάτων είναι $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{10\text{Hz}} \Rightarrow T = 0,1\text{s}$

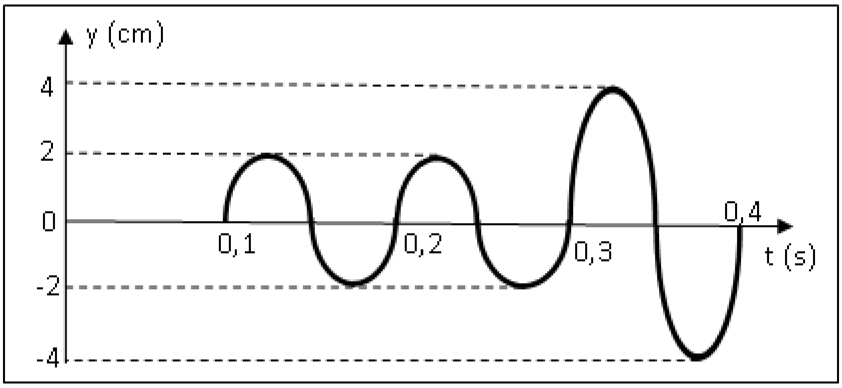
Μέχρι τη χρονική στιγμή $t_1$=0,1s, ο φελλός είναι ακίνητος. Από $t_1$=0,1s έως τη χρονική στιγμή $t_2$=0,3s ταλαντώνεται με πλάτος Α. Στο χρονικό διάστημα Δt= 0,3s-0,1s= 0,2s=2T, ο φελλός εκτελεί 2 πλήρεις ταλαντώσεις, δηλαδή διανύει διάστημα $s_1 = 2 \cdot 4A \Rightarrow s_1 = 8A$ .

Από $t_2$=0,3s έως τη χρονική στιγμή t=0,4s ο φελλός ταλαντώνεται με πλάτος 2Α, καθώς βρίσκεται πάνω σε σημείο ενισχυτικής συμβολής. Στο χρονικό διάστημα Δt=0,4s-0,3s=0,1s=T, ο φελλός εκτελεί 1 πλήρη ταλάντωση, δηλαδή διανύει διάστημα $s_2 = 4 \cdot 2A \Rightarrow s_2 = 8A$ .

Άρα, το συνολικό διάστημα που θα διανύσει το κομμάτι φελλού είναι

$$s = s_1 + s_2 = 16A \Rightarrow s = 32\text{cm}$$

**Δ3.** Η γραφική παράσταση της απομάκρυνσης του φελλού από τη θέση ισορροπίας του, σε συνάρτηση με το χρόνο, από τη χρονική στιγμή t=0 μέχρι τη χρονική στιγμή t=0,4s, φαίνεται στο διπλανό διάγραμμα.




**Δ4.** Το μέτρο της επιτάχυνσης του φελλού βρίσκεται από τη σχέση $|\alpha| = \omega^2 \cdot |y|$ (2)

Πρέπει να βρούμε την απομάκρυνση y όταν η ταχύτητα του φελλού είναι μισή κατά μέτρο της μέγιστης τιμής της.

Το σημείο Δ, είναι σημείο ενισχυτικής συμβολής και ταλαντώνεται με πλάτος 2Α. Αφού η ταχύτητα του φελλού είναι μισή κατά μέτρο της μέγιστης τιμής της, για το μέτρο της μετά τη συμβολή των δύο κυμάτων, ισχύει $|\upsilon| = \frac{\upsilon_{max}}{2} = \frac{\omega 2A}{2} \Rightarrow |\upsilon| = \omega A$

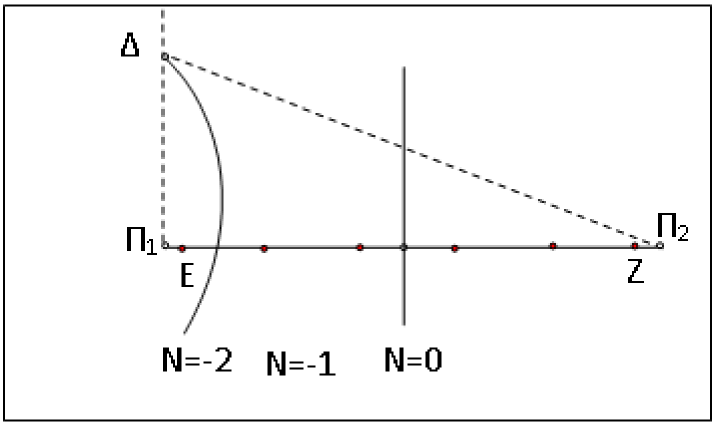
Με εφαρμογή της αρχής διατήρησης της ενέργειας για την ταλάντωσή του σημείου Δ υπολογίζεται η απομάκρυνση y

$$E = K + U \Rightarrow \frac{1}{2} D \cdot (2A)^2 = \frac{1}{2} m \cdot \upsilon^2 + \frac{1}{2} D \cdot y^2 \Rightarrow \quad m \cdot \omega^2 \cdot (2A)^2 = m \cdot \upsilon^2 + m \cdot \omega^2 \cdot y^2 \Rightarrow$$

$$y^2 = (2A)^2 - \frac{\upsilon^2}{\omega^2} \Rightarrow |y| = \sqrt{(2A)^2 - \frac{(\omega A)^2}{\omega^2}} = A\sqrt{3} \Rightarrow |y| = 2\sqrt{3}\text{cm}$$

Με αντικατάσταση στη σχέση (2) παίρνουμε

$$|\alpha| = \omega^2 \cdot |y| = (2\pi f)^2 \cdot |y| = 4\pi^2 \cdot (10\text{Hz})^2 \cdot 2\sqrt{3}\text{cm} \Rightarrow |\alpha| \approx 80\sqrt{3}\text{m}/\text{s}^2$$




**Δ5.** Θα βρούμε όλα τα σημεία μεταξύ των πηγών που παραμένουν διαρκώς ακίνητα (κόκκινα σημεία στο σχήμα). Για αυτά θα ισχύει

$r_1$-$r_2$=(2N+1)·λ/2 (3) και

$r_1$+$r_2$=d (4)

Προσθέτοντας κατά μέλη τις σχέσεις (3) και (4) έχουμε

$$2r_1 = (2N+1)\frac{\lambda}{2} + d \Rightarrow r_1 = (2N+1)\frac{\lambda}{4} + \frac{d}{2} \qquad (4)$$

Το $r_1$ παίρνει τιμές από μηδέν μέχρι d. Άρα

$$0 < r_1 < d \Rightarrow 0 < (2N+1)\frac{\lambda}{4} + \frac{d}{2} < d \Rightarrow -\frac{d}{\lambda} - \frac{1}{2} < N < \frac{d}{\lambda} - \frac{1}{2} \Rightarrow$$

$$-\sqrt{8} - \frac{1}{2} < N < \sqrt{8} - \frac{1}{2} \Rightarrow -3{,}3 < N < 2{,}3$$

Το Ν παίρνει τις τιμές Ν=0, 1, 2, -1, -2, -3, κατά συνέπεια τα σημεία Ε και Ζ, που έχουν μέγιστη απόσταση, είναι αυτά που αντιστοιχούν στα Ν=2 και Ν=-3, αντίστοιχα και απέχουν από την πηγή $Π_1$, σύμφωνα με τη σχέση (4)

$$r_{1,E} = \left[(2(-3)+1)\frac{\lambda}{4}\right] + \frac{d}{2} \Rightarrow r_{1,E} = -\frac{5\lambda}{4} + \frac{d}{2}$$

$$r_{1,Z} = \left[(2\cdot(2)+1)\frac{\lambda}{4}\right] + \frac{d}{2} \Rightarrow r_{1,Z} = \frac{5\lambda}{4} + \frac{d}{2}$$

$$r_{1,Z} - r_{1,E} = \frac{5\lambda}{4} + \frac{d}{2} - \left(-\frac{5\lambda}{4} + \frac{d}{2}\right) \Rightarrow r_{1,Z} - r_{1,E} = \frac{10\lambda}{4} \Rightarrow r_{1,Z} - r_{1,E} = 25\text{cm}$$

**Η εκπόνηση του διαγωνίσματος έγινε με τη βοήθεια Εθελοντών Εκπαιδευτικών:**

Τα θέματα επιμελήθηκαν οι **Βανταράκης Θάνος, Γκιόκας Κώστας, Μπετσάκος Παναγιώτης, Πασσαλίδης Δημοσθένης** και **Σφυρής Γιώργος,** Φυσικοί.

Ο επιστημονικός έλεγχος πραγματοποιήθηκε από τον **Παλόγο Αντώνιο**, Φυσικό.