

ΠΑΝΕΛΛΑΔΙΚΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ & ΕΣΠΕΡΙΝΩΝ ΓΕΝΙΚΩΝ ΛΥΚΕΙΩΝ
ΤΕΤΑΡΤΗ 12 ΙΟΥΝΙΟΥ 2024
ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟ ΜΑΘΗΜΑ: ΦΥΣΙΚΗ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ

ΘΕΜΑ Α

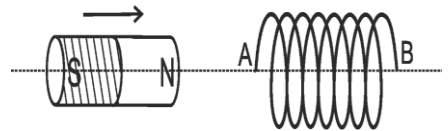
Στις ερωτήσεις **A1-A4** να γράψετε στο τετράδιό σας τον αριθμό της ερώτησης και δίπλα το γράμμα που αντιστοιχεί στην επιλογή σας, η οποία συμπληρώνει σωστά την ημιτελή πρόταση.

A1. Δύο σφαίρες πολύ μικρών διαστάσεων, ίδιας μάζας, που κινούνται σε λείο οριζόντιο επίπεδο με αντίθετες ταχύτητες μέτρου u , συγκρούονται κεντρικά και πλαστικά. Μετά την κρούση

- α) οι σφαίρες θα ανταλλάξουν ταχύτητες.
- β) η μία σφαίρα θα ακινητοποιηθεί και η άλλη θα κινηθεί με ταχύτητα μέτρου u .
- γ) οι σφαίρες θα απομακρυνθούν με ταχύτητες ίδιου μέτρου.
- δ) η συνολική κινητική ενέργεια των δύο σφαιρών θα μηδενιστεί.

Μονάδες 5

A2. Στο παρακάτω σχήμα ραβδόμορφος μαγνήτης πλησιάζει προς το ανοικτό πηνίο, έτσι ώστε ο άξονας του να ταυτίζεται με τον άξονα του πηνίου.

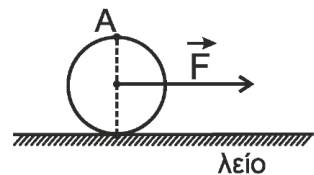


Τότε

- α) στο άκρο A του πηνίου δημιουργείται βόρειος (N) μαγνητικός πόλος.
- β) το πηνίο διαρρέεται από επαγωγικό ρεύμα.
- γ) στα άκρα A και B του πηνίου αναπτύσσεται τάση από επαγωγή.
- δ) το πηνίο απωθεί τον μαγνήτη.

Μονάδες 5

A3. Ο ομογενής δίσκος του σχήματος βρίσκεται ακίνητος πάνω σε λείο οριζόντιο δάπεδο με το επίπεδό του κατακόρυφο. Ασκώντας στο κέντρο μάζας του σταθερή οριζόντια δύναμη $\vec{F}$, στο επίπεδο του δίσκου, αυτό αποκτά επιτάχυνση μέτρου a_{cm} . Το μέτρο της επιτάχυνσης του σημείου A που είναι αντιδιαμετρικό με το σημείο επαφής του δίσκου με το έδαφος κάθε χρονική στιγμή είναι



- α) $2a_{cm}$
- β) 0.
- γ) a_{cm}
- δ) $\sqrt{2}a_{cm}$

Μονάδες 1

- A4.** Κατά τη διάρκεια μιας εξαναγκασμένης ταλάντωσης αυξάνουμε τη σταθερά απόσβεσης b . Αν η συχνότητα του διεγέρτη
- α) είναι μεγαλύτερη από την ιδιοσυχνότητα του συστήματος, το πλάτος της εξαναγκασμένης ταλάντωσης θα παραμείνει σταθερό.
 - β) είναι ίση με την ιδιοσυχνότητα του συστήματος το πλάτος της εξαναγκασμένης ταλάντωσης θα μειωθεί.
 - γ) είναι ίση με την ιδιοσυχνότητα του συστήματος, το πλάτος της εξαναγκασμένης ταλάντωσης θα παραμείνει σταθερό.
 - δ) είναι μικρότερη από την ιδιοσυχνότητα του συστήματος, το πλάτος της εξαναγκασμένης ταλάντωσης θα παραμείνει σταθερό.

Μονάδες 5

A5. Να χαρακτηρίσετε τις προτάσεις που ακολουθούν, γράφοντας στο τετράδιό σας, δίπλα στο γράμμα που αντιστοιχεί σε κάθε πρόταση, τη λέξη **Σωστό**, αν η πρόταση είναι σωστή, ή τη λέξη **Λάθος**, αν η πρόταση είναι λανθασμένη.

- α) Σύμφωνα με τον Heisenberg, η αβεβαιότητα στη μέτρηση της ενέργειας μιας κατάστασης ενός συστήματος είναι αντιστρόφως ανάλογη με το χρόνο που το σύστημα παραμένει σε αυτή την κατάσταση.
- β) Σε μία φθίνουσα ταλάντωση, στην οποία το πλάτος μειώνεται εκθετικά με το χρόνο σύμφωνα με τη σχέση $A = A_0 e^{-\Lambda t}$, η σταθερά Λ εξαρτάται μόνο από τη μάζα του ταλαντούμενου συστήματος.
- γ) Η αυτεπαγωγή είναι ιδιότητα των ηλεκτρικών κυκλωμάτων αντίστοιχη με την αδράνεια των σωμάτων.
- δ) Στην Ελλάδα στα δίκτυα των πόλεων το πλάτος της εναλλασσόμενης τάσης, στην κατανάλωση, είναι $V = 220\sqrt{2}$ V και η συχνότητα $f = 50$ Hz.
- ε) Σε μία χορδή, στην οποία έχει δημιουργηθεί στάσιμο κύμα, μεταφέρεται ενέργεια από το ένα σημείο της χορδής στο άλλο.

Μονάδες 5

ΘΕΜΑ Α

- A1. δ A2. γ A3. γ A4. β
A5. α. Σωστό, β. Λάθος, γ. Σωστό δ. Σωστό, ε. Λάθος.

ΘΕΜΑ Β

B1. Ένα μέλαν σώμα έχει θερμοκρασία T_1 , βρίσκεται σε χώρο όπου επικρατεί κενό και εκπέμπει ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το μεγαλύτερο τμήμα της ενέργειας που εκπέμπεται από το μέλαν σώμα περιορίζεται σε μια στενή περιοχή με «αιχμή» στο μήκος κύματος λ_{1max} . Η φάση του ηλεκτρικού πεδίου της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με μήκος κύματος αιχμής λ_{1max} είναι ίση με $\varphi_1 = 2\pi(10^{15}t - \frac{10^7}{3}x)$ (S.I.).

Το ίδιο μέλαν σώμα, στον ίδιο χώρο, έχοντας θερμοκρασία T_2 διπλάσια της T_1 εκπέμπει ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Στη θερμοκρασία T_2 το μεγαλύτερο τμήμα της ενέργειας που εκπέμπεται από το μέλαν σώμα περιορίζεται σε μια στενή περιοχή με «αιχμή» στο μήκος κύματος

$\lambda_{2\max}$.

Η φάση φ_2 του ηλεκτρικού πεδίου της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με μήκος κύματος αιχμής $\lambda_{2\max}$ θα είναι ίση με:

i. $\varphi_2 = 2\pi(10^{15}t - 10^7x)$ (S.I.).

ii. $\varphi_2 = 2\pi(10^{15}t - \frac{2 \cdot 10^7}{3}x)$ (S.I.)

iii. $\varphi_2 = 2\pi(10^{15}t - \frac{3 \cdot 10^7}{3}x)$ (S.I.)

α) Να επιλέξετε τη σωστή απάντηση.

Μονάδες 2

β) Να δικαιολογήσετε την επιλογή σας.

Μονάδες 6

Λύση

B1 ► Σωστή είναι η απάντηση ii.

Η φάση του ηλεκτρικού πεδίου της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με μήκος κύματος αιχμής $\lambda_{1\max}$ είναι ίση με $\varphi_1 = 2\pi(10^{15}t - \frac{10^7}{3}x)$ (S.I.).

Η γενική εξίσωση της φάσης είναι: $\varphi = 2\pi(ft - \frac{x}{\lambda})$ (S.I.).

Συγκρίνοντας τις δυο παραπάνω σχέσεις προκύπτει: $f_1 = 10^{15}\text{Hz}$ και $\lambda = 3 \cdot 10^{-7}\text{m}$

Με εφαρμογή του νόμου Wien προκύπτει:

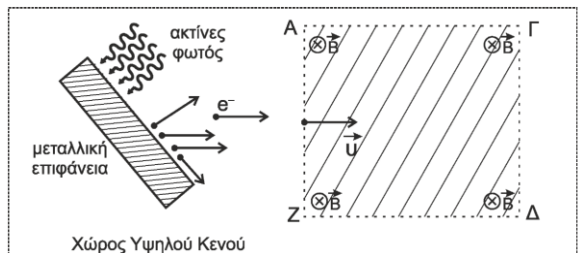
$$\lambda_{1\max} \cdot T_1 = \lambda_{2\max} \cdot T_2 \rightarrow \lambda_{1\max} \cdot T_1 = \lambda_{2\max} \cdot 2T_1 \rightarrow \lambda_{2\max} = \frac{\lambda_{1\max}}{2} = 1,5 \cdot 10^{-7}\text{m}$$

Η ταχύτητα της ακτινοβολίας όμως είναι σταθερή και ίση με c οπότε ισχύει: $\lambda_{1\max} \cdot$

$$f_1 = \lambda_{2\max} \cdot f_2 \rightarrow \lambda_{1\max} \cdot f_1 = \frac{\lambda_{1\max}}{2} \cdot f_2 \rightarrow f_2 = 2f_1 = 2 \cdot 10^{15}\text{Hz}$$

Η φάση επομένως της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με «αιχμή» στο μήκος κύματος $\lambda_{2\max}$ θα είναι: $\varphi_2 = 2\pi(2 \cdot 10^{15}t - \frac{2 \cdot 10^7}{3}x)$ (S.I.).

B2. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται μια μεταλλική επιφάνεια σε χώρο όπου επικρατεί υψηλό κενό και το υλικό κατασκευής της μπορεί να είναι από Βάριο ή Βολφράμιο ή Ταντάλιο.



Γνωρίζουμε ότι το Βάριο έχει έργο εξαγωγής 2,5 eV, το Βολφράμιο 4,5 eV και το Ταντάλιο 4,2 eV. Σε ένα εργαστήριο πραγματοποιούμε δύο πειράματα για να προσδιορίσουμε το υλικό κατασκευής της μεταλλικής επιφάνειας.

Πείραμα 1°

Στη μεταλλική επιφάνεια προσπίπτει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία καθορισμένου μήκους κύματος $\lambda_1 = 375\text{nm}$, οπότε εξέρχονται από αυτή φωτοηλεκτρόνια μέγιστης κινητικής ενέργειας K_1 . Κάποια από αυτά κατευθύνονται προς ομογενές μαγνητικό πεδίο έντασης B και εισέρχονται κάθετα στις δυναμικές γραμμές του, οι οποίες έχουν διεύθυνση κάθετη στο επίπεδο της σελίδας και φορά από τον αναγνώστη προς τη σελίδα. Κατά τη διάρκεια της κίνησής τους εντός του μαγνη-

τικού πεδίου, τα φωτοηλεκτρόνια αυτά έχουν στροφορμή L_1 ως προς άξονα που διέρχεται από το κέντρο της τροχιάς τους και είναι κάθετος σε αυτή.

Πείραμα 2°

Επαναλαμβάνουμε το πείραμα με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μήκους κύματος $\lambda_2 = \lambda_1/2$, οπότε από τη μεταλλική επιφάνεια εξέρχονται φωτο-ηλεκτρόνια μέγιστης κινητικής ενέργειας K_2 . Τα φωτοηλεκτρόνια που εισέρχονται κάθετα στο μαγνητικό πεδίο, κατά τη διάρκεια της κίνησής τους εντός αυτού, έχουν στροφορμή L_2 ως προς άξονα που διέρχεται από το κέντρο της τροχιάς τους και είναι κάθετος σε αυτή.

Αν ισχύει ότι $L_2 = 5L_1$, συμπεραίνουμε ότι η μεταλλική επιφάνεια είναι κατασκευασμένη από:

i. Βάριο

ii. Βολφράμιο

iii. Ταντάλιο

Να θεωρήσετε ότι $hc = 1250 \text{ eV} \cdot \text{nm}$

α) Να επιλέξετε τη σωστή απάντηση.

Μονάδες 2

β) Να δικαιολογήσετε την επιλογή σας.

Μονάδες 6

Λύση

B2 ► Α) Σωστή είναι η πρόταση i.

Ισχύει η σχέση: $L_2 = 5L_1 \rightarrow m v_2 R_2 = 5 m v_1 R_1 \rightarrow v_2 R_2 = 5 v_1 R_1 \rightarrow v_2 \cdot \frac{mv_2}{B \cdot |q|} = v_1 \cdot \frac{mv_1}{B \cdot |q|} \rightarrow v_2^2 = 5 v_1^2$

Από το 1ο πείραμα σύμφωνα με τη φωτοηλεκτρική εξίσωση του Einstein έ-

με: $K_1 = hf_1 - \phi = h \frac{c}{\lambda_1} - \phi \rightarrow \frac{1}{2} m v_1^2 = h \frac{c}{\lambda_1} - \phi$ (1)

Από το 2ο πείραμα έχουμε: $K_2 = hf_2 - \phi = h \frac{c}{\lambda_2} - \phi \rightarrow \frac{1}{2} m v_2^2 = h \frac{c}{\lambda_2} - \phi = 2h \frac{c}{\lambda_1} - \phi$ (2)

Διαιρούμε κατά μέλη τις δυο παραπάνω σχέσεις οπότε προκύπτει:

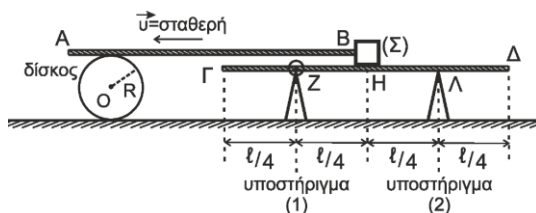
$\frac{\frac{1}{2} m v_2^2}{\frac{1}{2} m v_1^2} = \frac{2h \frac{c}{\lambda_1} - \phi}{h \frac{c}{\lambda_1} - \phi} \rightarrow 2h \frac{c}{\lambda_1} - \phi = 5(h \frac{c}{\lambda_1} - \phi) \rightarrow \phi = \frac{3}{4} h \frac{c}{\lambda_1}$ και με αντικατάσταση προκύπτει:

$\phi = \frac{3}{4} \frac{1250 \text{ eV} \cdot \text{nm}}{375 \text{ nm}} = 2,5 \text{ eV}$ επομένως πρόκειται για το Βάριο

B3. Το σώμα Σ του παρακάτω σχήματος, μάζας m , έχει στερεωθεί στο άκρο Β οριζόντιας, ομογενούς, άκαμπτης και αβαρούς ράβδου ΑΒ. Η ράβδος ακουμπά πάνω στην περιφέρεια ομογενούς δίσκου κέντρου Ο και ακτίνας R. Ο δίσκος βρίσκεται πάνω σε οριζόντιο επίπεδο με το επίπεδό του κατακόρυφο. Το σώμα Σ μπορεί να κινείται πάνω σε λεία, οριζόντια, ομογενή και άκαμπτη δοκό ΓΔ μήκους l και μάζας $M = m/2$.

Η δοκός έχει αρθρωθεί κατάλληλα στο σημείο Ζ, με την κορυφή κατακόρυφου και ακλόνητου υποστηρίγματος (1) που βρίσκεται σε απόσταση $l/4$ από

το άκρο της Γ. Σε απόσταση $l/4$ από το άκρο Δ της δοκού έχει τοποθετηθεί ένα δεύτερο, όμοιο κατακόρυφο υποστήριγμα (2), πάνω στην κορυφή Λ του οποίου



ακουμπά η δοκός ΓΔ. Τα υποστηρίγματα έχουν τοποθετηθεί στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο με αυτό στο οποίο βρίσκεται ο δίσκος, όπως φαίνεται στο σχήμα.

Το σύστημα ράβδου-σώματος Σ κινείται προς τα αριστερά με σταθερή ταχύτητα μέτρου u . Ο δίσκος εκτελεί κύλιση χωρίς ολίσθηση και η περιφέρειά του βρίσκεται σε συνεχή επαφή με τη ράβδο AB, χωρίς να παρατηρείται ολίσθηση μεταξύ τους. Το σώμα Σ, κινούμενο από το Δ προς το Γ, τη χρονική στιγμή $t = 0$ περνά από το μέσο Η της δοκού. Τη χρονική στιγμή t_1 το σώμα Σ περνά από ένα σημείο της δοκού, στο οποίο η δοκός μόλις που χάνει οριακά την επαφή της με την κορυφή του υποστηρίγματος (2).

α) Η απόσταση που έχει διανύσει το σώμα Σ από τη χρονική στιγμή $t = 0$ μέχρι τη χρονική στιγμή t_1 είναι:

- i. $\frac{5l}{6}$ ii. $\frac{3l}{8}$ iii. $\frac{l}{3}$

Να επιλέξετε τη σωστή απάντηση (μονάδες 2).

Να δικαιολογήσετε την επιλογή σας (μονάδες 4).

Μονάδες 5

β) Το διάστημα s που έχει διανύσει το κέντρο μάζας Ο του δίσκου από τη χρονική στιγμή $t=0$ μέχρι τη χρονική στιγμή t_1 είναι:

- i. $\frac{3l}{16}$ ii. $\frac{3l}{8}$ iii. $\frac{l}{16}$

Να επιλέξετε τη σωστή απάντηση (μονάδα 1).

Να δικαιολογήσετε την επιλογή σας (μονάδες 2).

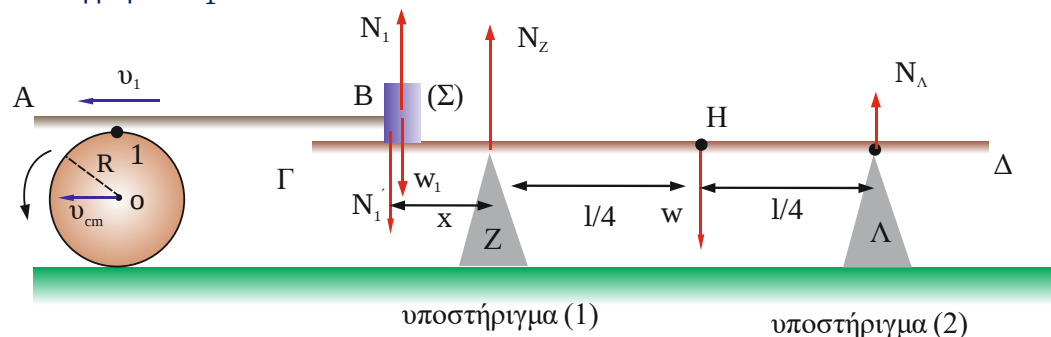
Μονάδες 3

Να θεωρήσετε ότι η αντίσταση του αέρα είναι αμελητέα για όλα τα σώματα.

Λύση

B3 ► α) Σωστή είναι η πρόταση ii.

Στο κιβώτιο μάζας m ασκούνται οι δυνάμεις του βάρους του w_1 και η κάθετη αντίδραση από τη ράβδο N_1 .



Λόγω της ισορροπίας του κιβωτίου στον κατακόρυφο άξονα ισχύει: $\Sigma F=0 \rightarrow w_1 - N_1 = 0 \rightarrow N_1=mg$

Από το νόμο δράσης αντίδρασης στην δοκό ΓΔ ασκείτε δύναμη N_1' με φορά προς τα κάτω για την οποία ισχύει $N_1'=mg$

Τη στιγμή που η ράβδος χάνει την επαφή στο 2ο υποστήριγμα στο σημείο Λ μηδενίζεται η N_Λ

Εκείνη τη στιγμή το σώμα Σ είναι βρίσκεται αριστερά του υποστηρίγματος 1 κατά x .

Από την ισορροπία ροπών ως προς το σημείο Z ισχύει : $\Sigma \tau = 0 \rightarrow \tau_{N_1} = \tau_W \rightarrow mgx = Mg \frac{l}{4} \rightarrow x = \frac{l}{8}$. Άρα το σώμα Σ έχει μετακινηθεί οριζόντια κατά $d = \frac{l}{4} + \frac{l}{8} = \frac{3l}{8}$

β) Σωστή είναι η πρόταση i.

Το σημείο επαφής του δίσκου με τη ράβδο AB έχει ταχύτητα $v_1 = v_{\sigma\alpha\nu} = 2v_{cm}$ όπου η v_{cm} είναι η μεταφορική ταχύτητα του δίσκου. Συνεπώς

Για τη σανίδα ισχύει: $d = v_{\sigma\alpha\nu} t = 2v_{cm} t$

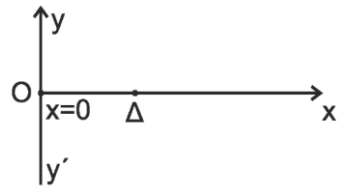
Για τον δίσκο $x_d = v_{cm} t$, άρα από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει $x_d = \frac{d}{2} = \frac{\frac{3l}{8}}{2} = \frac{3l}{16}$.

ΘΕΜΑ Γ

Εγκάρσιο αρμονικό κύμα, πλάτους A και μήκους κύματος λ, διαδίδεται χωρίς απώλειες ενέργειας σε ομογενές γραμμικό ελαστικό μέσο μεγάλου μήκους που ταυτίζεται με τον οριζόντιο ημιάξονα Ox προς τη θετική κατεύθυνση, όπως φαίνεται στο σχήμα.

Το κύμα παράγεται από πηγή που βρίσκεται στο σημείο O στη θέση $x = 0$ του ελαστικού μέσου και το οποίο αρχίζει να ταλαντώνεται με θετική ταχύτητα τη χρονική στιγμή $t = 0$ σύμφωνα με την εξίσωση $y = A \sin \omega t$.

Το υλικό σημείο O κατά τη διάρκεια της ταλάντωσής του διέρχεται 60 φορές το λεπτό από τη θέση ισορροπίας του.



Κάποια χρονική στιγμή που το υλικό σημείο O βρίσκεται στην ακραία αρνητική του απομάκρυνση ($y = -A$) από την αρχική θέση ισορροπίας του, το υλικό σημείο Δ του ημιάξονα Ox που απέχει από την πηγή O οριζόντια απόσταση $x_\Delta = 2,5 \text{ m}$ και έχει ήδη αρχίσει να ταλαντώνεται, βρίσκεται στην ακραία θετική του απομάκρυνση ($y = +A$) από την αρχική θέση ισορροπίας του. Την ίδια χρονική στιγμή μεταξύ της πηγής ($x = 0$) και του σημείου Δ υπάρχουν δύο υλικά σημεία που βρίσκονται στην ακραία θετική τους απομάκρυνση ($y = +A$).

Από τη χρονική στιγμή $t = 0$ μέχρι τη στιγμή που το κύμα φτάνει στο υλικό σημείο Δ, το συνολικό διάστημα που έχει διανύσει το υλικό σημείο που βρίσκεται στη θέση $x = 0$ είναι ίσο με 2 m.

Γ1. Να υπολογίσετε α) την περίοδο T (μονάδες 2), β) το μήκος κύματος λ (μονάδες 2) και γ) την ταχύτητα διάδοσης του κύματος (μονάδα 1), καθώς και δ) το πλάτος A της ταλάντωσης των υλικών σημείων του μέσου (μονάδες 2).

Μονάδες 7

Γ2. Να αποδείξετε ότι η μαθηματική σχέση που περιγράφει την ταλάντωση του υλικού σημείου Δ είναι: $y = A \cdot \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_\Delta}{\lambda} \right)$

Μονάδες 5

Γ3. Να γράψετε την εξίσωση ταχύτητας σε συνάρτηση με το χρόνο για το υλικό σημείο Δ (μονάδες 3) και να σχεδιάσετε τη γραφική της παράσταση σε βαθμολογημένους άξονες, από την χρονική στιγμή $t = 0$ μέχρι τη χρονική στιγμή $t = 8 \text{ s}$ (μονάδες 4).

Μονάδες 7

Μειώνουμε τη συχνότητα ταλάντωσης της πηγής, διατηρώντας το ίδιο πλάτος, έτσι ώστε η πηγή Ο και το υλικό σημείο Δ να είναι δύο διαδοχικά σημεία του ελαστικού μέσου, τα οποία κάθε χρονική στιγμή απέχουν το ίδιο από τη θέση ισορροπίας τους και κινούνται με την ίδια ταχύτητα.

Γ4. Να υπολογίσετε τη μείωση της συχνότητας της πηγής.

Μονάδες 6**Λύση**

Γ1. Το υλικό σημείο Ο κατά τη διάρκεια της ταλάντωσής του διέρχεται 60 φορές το λεπτό από τη θέση ισορροπίας του, επομένως εκτελεί 30 πλήρεις ταλαντώσεις σε 60s συνεπώς $f = \frac{N}{t} = \frac{30}{60}$

$$= 0,2\text{Hz} \rightarrow T = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,5} = 2\text{s}$$

Σύμφωνα με την εκφώνηση το κύμα έχει στιγμιότυπο που φαίνεται στο διπλανό σχήμα

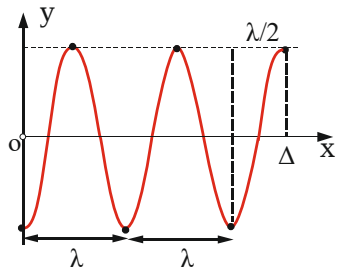
$$\text{Είναι } x_{\Delta} = 2\lambda + \frac{\lambda}{2} = \frac{5\lambda}{2} \rightarrow \lambda = \frac{2x_{\Delta}}{5} = \frac{5}{5} = 1\text{m}$$

Η ταχύτητα διάδοσης του κύματος σύμφωνα με τα παραπάνω είναι: $u = \lambda f = 1 \cdot 0,5 = 0,5\text{m/s}$

Το κύμα φτάνει στο σημείο Δ σε χρόνο $t_{\Delta} = \frac{x_{\Delta}}{u} = \frac{2,5}{0,5} = 5\text{s}$

$$\text{Ισχύει ότι } t_{\Delta} = 2T + \frac{T}{2} = \frac{5T}{2}$$

το συνολικό διάστημα που έχει διανύσει το υλικό σημείο που βρίσκεται στη θέση $x = 0$ είναι ίσο με 2 m και επειδή σε κάθε περίοδο διανύει διάστημα 4A επομένως ισχύει: $S = 10A \rightarrow 2\text{m} = 20A \rightarrow A = 0,2\text{m}$



Γ2. Το σημείο Ο που βρίσκεται στη θέση $x=0$ ταλαντώνεται στον άξονα yy' σύμφωνα με την εξίσωση $y = A\eta\mu\omega t$

Ο χρόνος που απαιτείται για να μεταφερθεί το κύμα στο Δ σε οριζόντια απόσταση x_{Δ} είναι

$$t_{\Delta} = \frac{x_{\Delta}}{u} \quad \text{Ησχέση που περιγράφει την ταλάντωση του σημείου Δ είναι}$$

$$y = A\eta\mu\omega t_{\Delta} = A\eta\mu\frac{2\pi}{T}(t - t_{O\Delta}) = A\eta\mu 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x_{\Delta}}{uT}\right) \rightarrow y = A\eta\mu 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x_{\Delta}}{\lambda}\right)$$

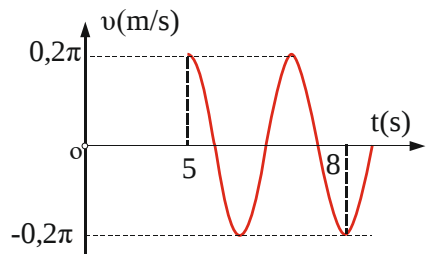
Γ3. Η εξίσωση του αρμονικού κύματος για το σημείο Δ είναι

$$y_{\Delta} = A\eta\mu 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x_{\Delta}}{\lambda}\right) = 0,2\eta\mu 2\pi(0,5t - 2,5) \text{ SI}$$

$$v_0 = \omega A = \frac{2\pi}{T} 0,2 = 0,2\pi \text{ m/s}$$

Η εξίσωση της ταχύτητας του σημείου Δ είναι: $v = \omega A \sigma\upsilon\nu 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x_{\Delta}}{\lambda}\right) = 0,2\pi \sigma\upsilon\nu 2\pi\left(\frac{t}{2} - 2,5\right) \text{ (S.I.)}$, για $t \geq 5\text{ s}$.

Το κύμα φτάνει στο σημείο Δ σε χρόνο $t_{\Delta} = \frac{x_{\Delta}}{u} = \frac{2,5}{0,5} = 5\text{s}$



Από 5 sec έως 8 sec το σημείο Δ κινήθηκε για χρονική διάρκεια $\Delta t = 3 \text{ s} = 3T/2$

Η γραφική της παράσταση σε βαθμολογημένους άξονες, από την χρονική στιγμή $t = 0$ μέχρι τη χρονική στιγμή $t = 8 \text{ s}$ φαίνεται στο παραπάνω σχήμα

Γ4. Ισχύει ότι το σημείο Ο και το σημείο Δ είναι δυο σημεία συμφασικά και διαδοχικά, άρα η απόστασή τους είναι ίση με το νέο μήκος κύματος συνεπώς είναι $x_{\Delta} = \lambda' = 2,5 \text{ m}$ άρα

$u = \lambda' \cdot f' \rightarrow 0,5 = f' \cdot 2,5 \rightarrow f' = \frac{1}{5} \text{ Hz} = 0,2 \text{ Hz}$ και η μεταβολή της συχνότητας είναι

$$f' - f = \frac{1}{5} - \frac{1}{2} = 0,2 - 0,5 = -0,3 \text{ Hz}$$

Άρα η μείωση είναι 0,3 Hz.

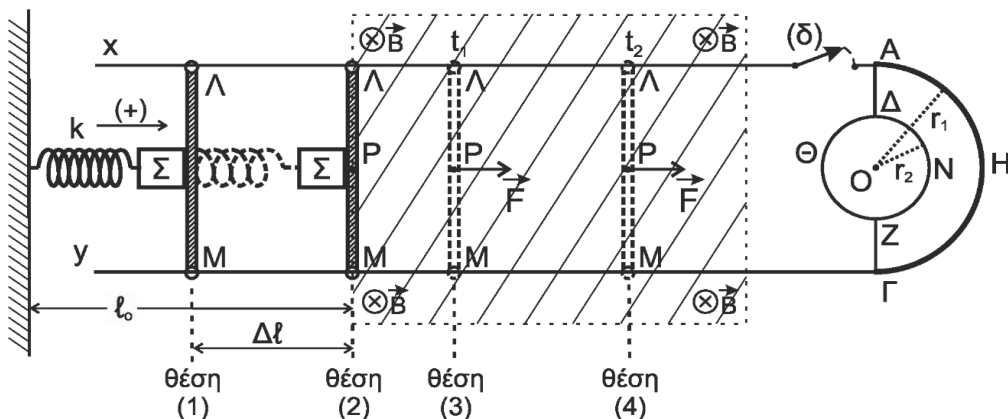
ΘΕΜΑ Δ

Ένα σώμα Σ μικρών διαστάσεων, μάζας $m = 0,4 \text{ kg}$ και μια ευθύγραμμη λεπτή και ομογενής μεταλλική ράβδος ΛΜ μήκους $L = 1 \text{ m}$ και μάζας $M_p = 1,2 \text{ kg}$ αμελητέας ωμικής αντίστασης, έχουν τοποθετηθεί πάνω σε λείο οριζόντιο δάπεδο. Το σώμα Σ έχει δεθεί στο ελεύθερο άκρο οριζόντιου ιδανικού ελατηρίου σταθεράς $k = 10 \text{ N/m}$, το άλλο άκρο του οποίου είναι ακλόνητα στερεωμένο. Το ελατήριο βρίσκεται στο φυσικό του μήκος. Στη θέση αυτή (θέση (2)), το σώμα Σ βρίσκεται σε επαφή με τη ράβδο στο μέσον της Ρ. Ο άξονας του ελατηρίου, το σώμα Σ και το μέσον της ράβδου βρίσκονται στην ίδια οριζόντια διεύθυνση, η οποία είναι κάθετη στη ράβδο.

Η ράβδος είναι κάθετα τοποθετημένη με τα άκρα της Λ, Μ πάνω σε δύο οριζόντιους και παράλληλους αγωγούς (xA) και (yΓ), αμελητέας ωμικής αντίστασης, οι οποίοι έχουν στερεωθεί πάνω στο οριζόντιο δάπεδο. Η ράβδος μπορεί να ολισθαίνει πάνω στους δύο παράλληλους αγωγούς, χωρίς τριβές, έχοντας τα άκρα της σε συνεχή επαφή με αυτούς.

Μεταξύ των άκρων Α και Γ των παράλληλων αγωγών έχει συνδεθεί ένας λεπτός ημικυκλικός αγωγός (ΑΗΓ) κέντρου Ο και ακτίνας $r_1 = L/2$, κατασκευασμένος από σύρμα σταθερής διατομής και ωμικής αντίστασης $R_1 = 10 \Omega$.

Στα άκρα Α και Γ έχει συνδεθεί επιπλέον ένας λεπτός κυκλικός αγωγός (ΔΝΖΘ) κατασκευασμένος από σύρμα σταθερής διατομής ωμικής αντίστασης $R_2 = 10 \Omega$, μέσω των αγωγιμων συρμάτων ΑΔ και ΓΖ που έχουν αμελητέα ωμική αντίσταση. Στον κυκλικό αγωγό σχηματίζονται δύο ημικύκλια ΔΝΖ και ΔΘΖ. Το κέντρο του κυκλικού αγωγού ταυτίζεται με το κέντρο του ημικυκλικού αγωγού ΑΗΓ, ενώ η ακτίνα του r_2 είναι μικρότερη από την ακτίνα r_1 .



Ο διακόπτης (δ) του αγωγού xA είναι αρχικά ανοικτός, όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα.

Στον χώρο μεταξύ της ράβδου ΛΜ και του αγωγού (ΑΗΓ) υπάρχει κατακόρυφο ομογενές μαγνητικό πεδίο, το οποίο στο σχήμα απεικονίζεται με τη γραμμοσκιασμένη περιοχή. Το μέτρο της έντασής του είναι $B = 1\text{ T}$ και οι δυναμικές του γραμμές έχουν διεύθυνση κάθετη στο επίπεδο της σελίδας και φορά από τον αναγνώστη προς τη σελίδα.

Μετακινούμε τη ράβδο ΛΜ μαζί με το σώμα Σ, ώστε το ελατήριο να συσπειρωθεί κατά $\Delta l = 0,4\text{ m}$ από το φυσικό του μήκος και να έρθει στη θέση (1). Στη συνέχεια αφήνουμε ελεύθερο το σύστημα του σώματος Σ και της ράβδου.

Δ1. α) Να αποδείξετε ότι η ράβδος ΛΜ θα αποχωριστεί από το σώμα Σ στη θέση όπου το ελατήριο θα αποκτήσει το φυσικό του μήκος για πρώτη φορά μετά τη στιγμή που τα αφήσαμε ελεύθερα (μονάδες 2).

β) Να βρείτε το πλάτος της απλής αρμονικής ταλάντωσης που θα εκτελέσει το σώμα Σ, αφού αποχωριστεί από τη ράβδο ΛΜ (μονάδες 3).

Μονάδες 5

Τη χρονική στιγμή $t=0$ η ράβδος ΛΜ αποχωρίζεται από το σώμα Σ και με την ταχύτητα που έχει εισέρχεται αμέσως μέσα στο ομογενές μαγνητικό πεδίο.

Δ2. Να αιτιολογήσετε την ανάπτυξη ηλεκτρεγερτικής δύναμης (ΗΕΔ) από επαγωγή ανάμεσα στα άκρα Λ, Μ της ράβδου αμέσως μετά τη χρονική στιγμή $t = 0$ και να σχεδιάσετε την πολικότητά της.

Μονάδες 4

Τη χρονική στιγμή $t_1 = 1\text{ s}$ (θέση (3)) ασκείται στο μέσον Ρ της ράβδου σταθερή οριζόντια δύναμη προς τη θετική κατεύθυνση μέτρου $F=3\text{ N}$, κάθετη σε αυτήν. Τη χρονική στιγμή $t_2 = 3\text{ s}$ ο διακόπτης (δ) κλείνει (θέση (4)).

Δ3. Να υπολογίσετε το μέτρο της επιτάχυνσης της ράβδου ΛΜ για το χρονικό διάστημα $\Delta t = (t_2 - t_1)$ και το μέτρο της ταχύτητάς της στο τέλος αυτού του χρονικού διαστήματος.

Μονάδες 4

Δ4. Αμέσως μετά το κλείσιμο του διακόπτη (δ):

α) να αποδείξετε ότι η ράβδος ΛΜ θα εκτελέσει ευθύγραμμη ομαλή κίνηση (μονάδες 2).

β) να υπολογίσετε τις εντάσεις των ρευμάτων που διαρρέουν τη ράβδο, τον ημικυκλικό αγωγό και τα δύο τμήματα του κυκλικού αγωγού (μονάδες 4).

Μονάδες 6

Δ5. Αφού έχει κλείσει ο διακόπτης (δ) να υπολογίσετε:

α) την ένταση του μαγνητικού πεδίου που δημιουργεί στο κέντρο του Ο αποκλειστικά ο ημικυκλικός αγωγός, κάνοντας χρήση του νόμου των Biot - Savart (μονάδες 3).

β) τη συνολική ένταση του μαγνητικού πεδίου που δημιουργούν αποκλειστικά ο ημικυκλικός και ο κυκλικός αγωγός στο κοινό τους κέντρο Ο (μονάδες 3).

Μονάδες 10

Να θεωρήσετε ότι:

- Η όλη διάταξη βρίσκεται πάνω σε λείο οριζόντιο δάπεδο μεγάλων διαστάσεων το οποίο είναι ηλεκτρικά μονωμένο.
- Η ράβδος μετά το κλείσιμο του διακόπτη τη χρονική στιγμή t_2 παραμένει συνεχώς μέσα στο μαγνητικό πεδίο, δεν επηρεάζεται η κίνησή της από το μαγνητικό πεδίο που δημιουργούν ο ημικυκλικός και ο κυκλικός αγωγός και δεν έρχεται σε επαφή με αυτούς.
- Η αντίσταση του αέρα είναι αμελητέα για όλα τα σώματα.
- Το σχήμα δεν είναι υπό κλίμακα

• **Λύση**

Δ1. α) Στη τυχαία θέση του συστήματος σώμα Σ και ράβδος ΛΜ οι δυνάμεις που ασκούνται είναι στο σώμα Σ

η δύναμη $F_{ελ}$ από το ελατήριο και η δύναμη F' από τη ράβδο

στην ράβδο ΛΜ η δύναμη F από το σώμα ($F' = F$) δράση-αντίδραση.

Άρα στο σύστημα σώμα Σ-ράβδος ΛΜ η συνισταμένη δύναμη είναι ίση με $\Sigma F = F_{ελ} = -kx$ (x αρνητική).

Επομένως η συνισταμένη δύναμη είναι ανάλογη της απομάκρυνσης από τη Θ.Ι. που είναι ίδια με τη θέση φυσικού μήκους του ελατηρίου επομένως εκτελεί απλή αρμονική τα-

λάντωση με $D = k$ και περίοδο $T = 2\pi\sqrt{\frac{m+M_p}{k}}$

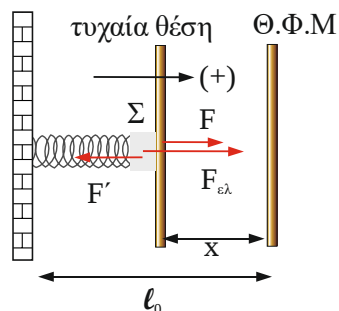
$$\omega = \frac{2\pi}{T} \rightarrow \omega = \sqrt{\frac{k}{m+M_p}} = \sqrt{\frac{10}{0,4+1,2}} = \sqrt{\frac{10}{1,6}} = \sqrt{6,25} = 2,5 \text{ rad/s}$$

Η ράβδος δέχεται μόνο τη δύναμη F και εκτελεί απλή αρμονική ταλάντωση με την ίδια ω και σταθερά επαναφοράς $D_p = M_p \omega^2$

$$\Sigma F_{\text{ράβδου}} = -D_p x = -M_p \omega^2 x$$

Η ράβδος χάνει την επαφή με το σώμα Σ όταν $F = 0 \rightarrow x = 0$, δηλαδή στη θέση φυσικού μήκους του ελατηρίου.

β) Μετά το χάσιμο επαφής τα σώματα έχουν την ίδια ταχύτητα με εκείνη που είχε το σύ-



στημα λίγο πριν το χάσιμο επαφής, δηλαδή $v_{\max} = \omega A$, όπου $A = \Delta l$ από όπου με αντικατάσταση έχουμε $v_{\max} = \omega A = 2,5 \cdot 0,4 = 1 \text{ m/s}$.

Το σώμα Σ , μετά το χάσιμο επαφής, είναι δεμένο στο ελατήριο και εκτελεί απλή αρμονική

ταλάντωση με $\omega_{\Sigma} = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{10}{0,4}} = \sqrt{25} = 5 \text{ rad/s} \rightarrow v_{\max} = \omega_{\Sigma} \cdot A_{\Sigma} \rightarrow 1 = 5 \cdot A_{\Sigma} \rightarrow A_{\Sigma} =$

$0,2 \text{ m}$ το πλάτος ταλάντωσης του σώματος Σ .

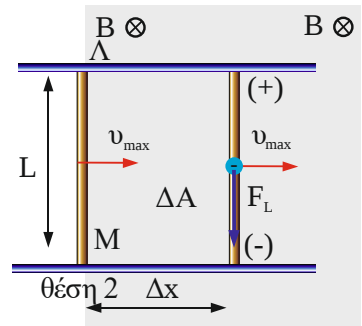
Η ράβδος θα εκτελέσει ευθύγραμμη ομαλή κίνηση με ταχύτητα $v = v_{\max} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ γιατί η συνισταμένη δύναμη που της ασκείται είναι ίση με μηδέν.

Δ2. Η ράβδος όταν κινείται μέσα στο μαγνητικό πεδίο έντασης B , σαρώνει μια επιφάνεια εμβαδού ΔA σε χρόνο Δt .

Σύμφωνα με το νόμο της επαγωγής, στα άκρα LM της ράβδου αναπτύσσεται ΗΕΔ ίση με:

$$E_{\varepsilon\pi} = -N \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right| = -B \left| \frac{\Delta A}{\Delta t} \right| = -B \left| \frac{L \cdot \Delta x}{\Delta t} \right| = BLv_{\max}$$

Η δύναμη Lorentz που θα δεχτεί ένα ηλεκτρόνιο της ράβδου σύμφωνα με τον κανόνα των τριών δαχτύλων, θα είναι προς τα κάτω, άρα θετικός πόλος στο $\Lambda(+)$ και αρνητικός στο $K(-)$. όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα.

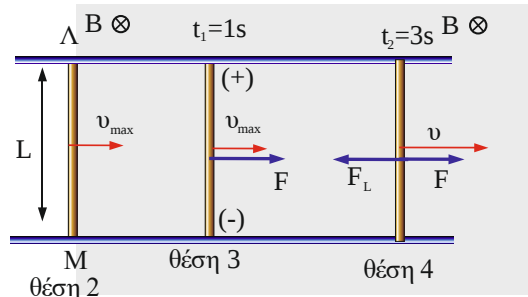


Δ3. Στο χρονικό διάστημα $t=0$ ως $t_1=1\text{s}$ η ράβδος δέχεται μηδενική συνισταμένη δύναμη. Άρα $\Sigma F = 0 \rightarrow a=0$. Η ράβδος εκτελεί επομένως ευθύγραμμη ομαλή κίνηση με ταχύτητα $v_{\max}=1\text{m/s}$.

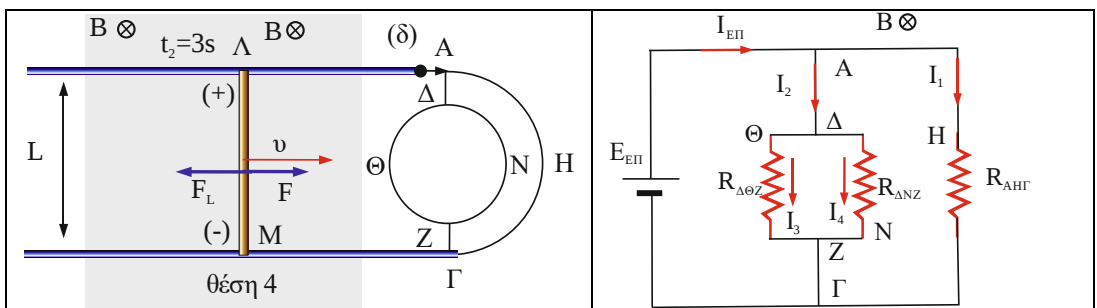
Στο χρονικό διάστημα $t_1=1\text{s}$ ως $t_2=3\text{s}$ η ράβδος δέχεται μόνο την επίδραση της σταθερής δύναμης $F=3\text{N}$. Από το 2^ο νόμο Newton ισχύει ότι $F = M_{\rho} a \rightarrow 3 = 1,2 \cdot a \rightarrow a = 2,5 \text{ m/s}^2$.

Επειδή η επιτάχυνση είναι σταθερή η ράβδος εκτελεί ευθύγραμμη ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση. Επομένως η ταχύτητα της ράβδου τη χρονική στιγμή $t_2=3\text{s}$ είναι:

$$v = v_{\max} + a\Delta t = 1 + 2,5 \cdot (t_2 - t_1) = 1 + 2,5 \cdot (3 - 1) \rightarrow v = 6 \text{ m/s}.$$



Δ4



Όταν κλείνουμε τον διακόπτη (δ) σχηματίζεται κλειστό κύκλωμα.

α) Οι δυο αντιστάτες του κυκλικού αγωγού έχουν το ίδιο μήκος, την ίδια διατομή και το ίδιο υλικό άρα ισχύει ότι $R_{\Delta\Theta Z} = R_{\Delta N Z} = \frac{R_2}{2} = \frac{10}{2} = 5\Omega$ και $I_3 = I_4 = \frac{I_2}{2}$

Οι τρεις αντιστάσεις $R_{\Delta\Theta Z}$, $R_{\Delta N Z}$ και $R_{\Lambda\Gamma}$ είναι παράλληλα συνδεδεμένες οπότε ισχύει :

$$\frac{1}{R_{\text{ολ}}} = \frac{1}{R_{\Delta\Theta Z}} + \frac{1}{R_{\Delta N Z}} + \frac{1}{R_1} \rightarrow \frac{1}{R_{\text{ολ}}} = \frac{1}{5} + \frac{1}{5} + \frac{1}{10} \rightarrow \frac{1}{R_{\text{ολ}}} = \frac{2}{10} + \frac{2}{10} + \frac{1}{10} \rightarrow R_{\text{ολ}} = \frac{10}{5} = 2\Omega$$

Από το νόμο του Ohm στο κλειστό κύκλωμα:

$$E_{\text{επ}} = BvL = 1 \cdot 6 \cdot 1 = 6V$$

$$I_{\text{επ}} = \frac{E_{\text{επ}}}{R_{\text{ολ}}} = \frac{BvL}{R_{\text{ολ}}} = \frac{1 \cdot 6 \cdot 1}{2} = 3A$$

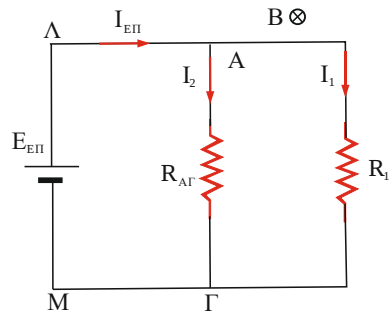
Η δύναμη Laplace που ασκείται στον αγωγό ΛΜ, λόγω του επαγωγικού ρεύματος είναι ίση με $F_L = BI_{\text{επ}}L = 1 \cdot 3 \cdot 1 = 3N$. Συνεπώς $\Sigma F = F - F_L = 3 - 3 \rightarrow \Sigma F = 0$

Επειδή $\Sigma F = 0$ η ράβδος εκτελεί ευθύγραμμη ομαλή κίνηση με ταχύτητα $v = 6 \text{ m/s}$.

β) Έχουμε $R_{\Lambda\Gamma} = \frac{R_{\Delta\Theta Z} \cdot R_{\Delta N Z}}{R_{\Delta\Theta Z} + R_{\Delta N Z}} = \frac{5 \cdot 5}{5 + 5} = 2,5\Omega$,

$$I_1 = \frac{V_{\Lambda\Gamma}}{R_1} = \frac{E_{\text{επ}}}{R_1} = \frac{6}{10} \rightarrow I_1 = 0,6A,$$

$$I_2 = \frac{V_{\Lambda\Gamma}}{R_{\Lambda\Gamma}} = \frac{E_{\text{επ}}}{R_{\Lambda\Gamma}} = \frac{6}{2,5} \rightarrow I_2 = 2,4A \text{ και } I_3 = I_4 = \frac{I_2}{2} = 1,2A$$



Δ5. α) Θεωρούμε στοιχειώδες τμήμα Δl του ημικυκλικού αγωγού ΑΓ. Σύμφωνα με το νόμο Biot-Savart αυτό δημιουργεί στο Ο στοιχειώδες μαγνητικό πεδίο:

$$\Delta B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I_1 \Delta l}{r_1^2} \sin 90^\circ \rightarrow \Delta B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I_1 \Delta l}{r_1^2}$$

Το συνολικό μαγνητικό πεδίο:

$$B_1 = \Sigma \Delta B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I_1}{r_1^2} \Sigma \Delta l \rightarrow B_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I_1}{r_1^2} \pi r_1 = \frac{\mu_0 I_1}{4r_1} = 1,2\pi \cdot 10^{-7} T$$

Η κατεύθυνση του B_1 είναι κάθετη στη διεύθυνση της σελίδας, με φορά από τον αναγνώστη προς τη σελίδα.

β) Η συνολική ένταση θα είναι ίση με το διανυσματικό άθροισμα των τριών επιμέρους μαγνητικών πεδίων. Όμως τα μαγνητικά πεδία των ημικυκλικών αγωγών ΔΝΖ και ΔΘΖ αλληλοαναιρούνται αφού πρόκειται για δύο αγωγούς που διαρρέονται από το ίσα και ομόρροπα ρεύματα και έχουν την ίδια ακτίνα.

$$B_{\text{ολ}} = B_{\Delta\Theta Z} + B_{\Delta N Z} + B_{\Lambda\Gamma} = B_{\Lambda\Gamma} = B_1$$

Έχει δηλαδή μέτρο $B_{\text{ολ}} = 1,2\pi \cdot 10^{-7} T$ και κατεύθυνση από τον αναγνώστη προς τη σελίδα.

