ΦΥΣΙΚΗ ΟΜΑΔΑΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΘΕΤΙΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

1ο ΔΙΑΓΩΝΙΣΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ - ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ

ΘΕΜΑ Α

Α1α. (β) Α1β. (γ)

Α2α. (α) Α2β. (δ)

Α3α. (β) Α3β. (γ)

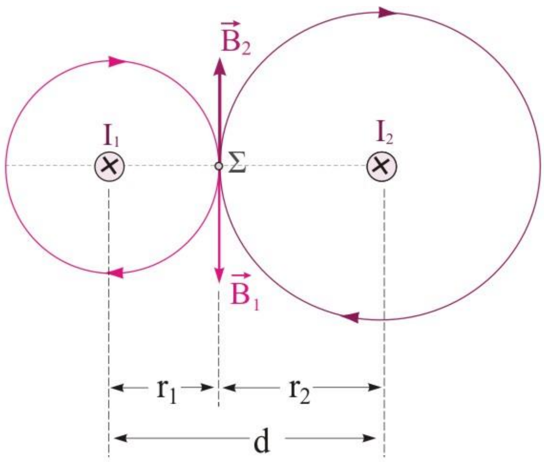
Α4α. (α) Α4β. (δ)

Α5. α. Σ β. Λ γ. Σ δ. Σ ε. Σ

ΘΕΜΑ Β

Β1. Η σωστή επιλογή είναι το (β).

Έστω ένα επίπεδο κάθετο στους δύο αγωγούς. Πάνω στο επίπεδο φαίνονται οι κυκλικές διατομές των αγωγών με σημειωμένη τη φορά των ηλεκτρικών ρευμάτων. Όταν τα ηλεκτρικά ρεύματα είναι ομόρροπα, το σημείο Σ, όπου η ένταση του μαγνητικού πεδίου είναι μηδέν, βρίσκεται πάνω στο ευθύγραμμο τμήμα που ενώνει τα κέντρα των δύο διατομών. Το σημείο Σ απέχει από τον πρώτο αγωγό απόσταση r_1 τέτοια ώστε:



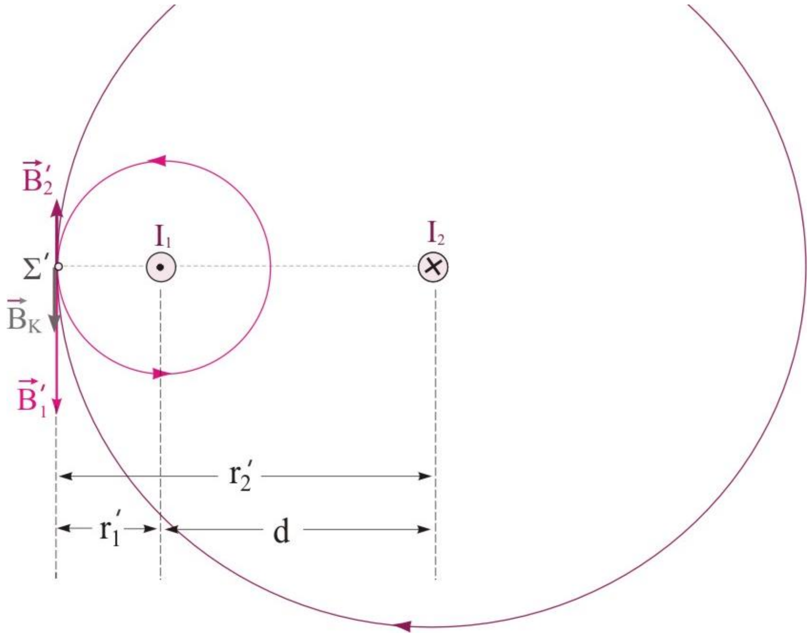
$$B_1 = B_2 \Rightarrow k_\mu \frac{2I_1}{r_1} = k_\mu \frac{2I_2}{r_2} \Rightarrow \frac{r_1}{r_2} = \frac{I_1}{I_2} \qquad (1)$$

Αν η απόσταση μεταξύ των αγωγών είναι d, τότε

$r_1 + r_2 = d$ και με εφαρμογή ιδιότητας αναλογιών παίρνουμε:

$$\frac{r_1}{r_1+r_2}=\frac{I_1}{I_1+I_2}\Rightarrow r_1=d\cdot\frac{I_1}{I_1+I_2}$$

Όταν τα ηλεκτρικά ρεύματα είναι αντίρροπα το σημείο Σ', όπου η ένταση του μαγνητικού πεδίου είναι μηδέν, βρίσκεται πάνω στην ευθεία που περνάει από τα κέντρα των δύο διατομών, εκτός του ευθύγραμμου τμήματος που ενώνει τα δύο κέντρα και προς την πλευρά του ρεύματος μικρότερης έντασης. Το σημείο Σ΄ απέχει από τον πρώτο αγωγό απόσταση r_1' τέτοια ώστε:



$$B_1'=B_2'\Rightarrow k_\mu\frac{2I_1}{r_1'}=k_\mu\frac{2I_2}{r_2'}\Rightarrow\frac{r_1'}{r_2'}=\frac{I_1}{I_2}\Rightarrow\frac{r_1'}{r_2'-r_1'}=\frac{I_1}{I_2-I_1}\Rightarrow r_1'=d\cdot\frac{I_1}{I_2-I_1} \quad (2)$$

Διαιρώντας κατά μέλη τις σχέσεις (1) και (2) έχουμε:

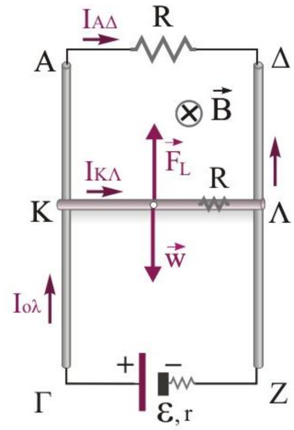
$$\frac{r_1}{r_1'}=\frac{d\cdot\dfrac{I_1}{I_1+I_2}}{d\cdot\dfrac{I_1}{I_2-I_1}}\Rightarrow\frac{r_1}{r_1'}=\frac{I_2-I_1}{I_2+I_1}$$

Β2.

Η σωστή επιλογή είναι το (β).

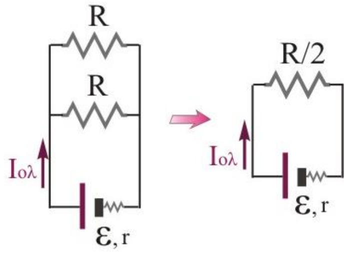
Η δύναμη Laplace $F_L=BI_{ΚΛ}l$ είναι κάθετη στην οριζόντια ράβδο με φορά προς τα πάνω και πρέπει να εξισορροπεί το βάρος, $W=mg$.

Οπότε: $F_L=W\Rightarrow BI_{ΚΛ}l=mg\Rightarrow B=\dfrac{mg}{I_{ΚΛ}l}$ (1).



Από το νόμο του Ohm για κλειστό κύκλωμα, η ένταση του ρεύματος που διαρρέει την ηλεκτρική πηγή είναι: $I_{ο\lambda} = \dfrac{\mathcal{E}}{R_{ο\lambda}}$. (2)

Η εξωτερική αντίσταση του κυκλώματος προκύπτει από τον παράλληλο συνδυασμό των αντιστατών R και R και ισούται με $R_{\varepsilon\xi} = \dfrac{R}{2}$.



Άρα, $R_{ο\lambda} = \dfrac{R}{2} + r$ και με αντικατάσταση στη σχέση (2) παίρνουμε:

$$I_{ο\lambda} = \frac{2\mathcal{E}}{R + 2r}$$

Το ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει τη ράβδο έχει τη μισή ένταση από εκείνη του συνολικού ρεύματος που διαρρέει την ηλεκτρική πηγή. Οπότε:

$$I_{\mathrm{K\Lambda}} = \frac{I_{ο\lambda}}{2} \Rightarrow I_{\mathrm{K\Lambda}} = \frac{\mathcal{E}}{R + 2r} \qquad (3)$$

Αντικαθιστώντας την (3) στην (1) έχουμε $B = \dfrac{mg\left(R + 2r\right)}{\mathcal{E}\, l}$.

Β3.

Η σωστή επιλογή είναι το (α).

Στην περίπτωση που οι δύο αντιστάτες είναι συνδεδεμένοι σε σειρά διαρρέονται από το ίδιο εναλλασσόμενο ρεύμα του οποίου η ενεργός τιμή είναι $I_{\varepsilon\nu}$. Οι αντιστάτες παράγουν θερμότητα με μέσο ρυθμό $P_1 = I_{\varepsilon\nu}^2 R_1$ και $P_2 = I_{\varepsilon\nu}^2 R_2$ αντίστοιχα, και ο λόγος των μέσων ισχύων είναι:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{R_1}{R_2} \qquad (1)$$

Στην περίπτωση που οι δύο αντιστάτες είναι συνδεδεμένοι παράλληλα έχουν στα άκρα τους την ίδια εναλλασσόμενη τάση της οποίας η ενεργός τιμή είναι $V_{\varepsilon\nu}$. Οι αντιστάτες παράγουν θερμότητα με ρυθμό $P_1' = V_{\varepsilon\nu}^2 / R_1$ και $P_2' = V_{\varepsilon\nu}^2 / R_2$ αντίστοιχα, και ο λόγος των μέσων ισχύων είναι:

$$\frac{P_1'}{P_2'} = \frac{R_2}{R_1} \qquad (2)$$

Πολλαπλασιάζοντας κατά μέλη τις (1) και (2) έχουμε: $\dfrac{P_1}{P_2} \cdot \dfrac{P_1'}{P_2'} = 1$

Β4.

Η σωστή επιλογή είναι το (γ).

Από το νόμο του Faraday η ηλεκτρεγερτική δύναμη που αναπτύσσεται στα άκρα του κυκλικού αγωγού, κατ΄ απόλυτη τιμή, είναι:

$E_{\varepsilon\pi} = \dfrac{|\Delta\Phi|}{\Delta t}$ (1), όπου $\Phi = \pi r_1^2 \cdot B$ (2) είναι η μαγνητική ροή που διαρρέει τον κυκλικό αγωγό και

$B = k_\mu 4\pi I \dfrac{N}{l}$ (3) είναι η ένταση του ομογενούς μαγνητικού πεδίου που δημιουργεί το σωληνοειδές στο κέντρο του.

Αντικαθιστώντας την (3) στην (2) και το αποτέλεσμα της αντικατάστασης στην (1) έχουμε:

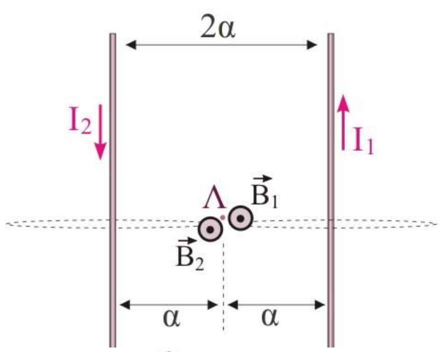
$$E_{\varepsilon\pi} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \pi r_1^2 \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t} \Rightarrow E_{\varepsilon\pi} = \pi r_1^2 \cdot k_\mu 4\pi \frac{N}{l} \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Σύμφωνα με την εκφώνηση η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το σωληνοειδές αυξάνεται με σταθερό ρυθμό $a\,\dfrac{A}{s}$, άρα η τελευταία σχέση γίνεται

$$E_{\varepsilon\pi} = \frac{k_\mu 4\pi^2 r_1^2 N}{l} \cdot a$$

Συνοψίζοντας, η ηλεκτρεγερτική δύναμη που αναπτύσσεται στα άκρα του κυκλικού αγωγού είναι σταθερή και ανεξάρτητη από το εμβαδόν του κυκλικού αγωγού.

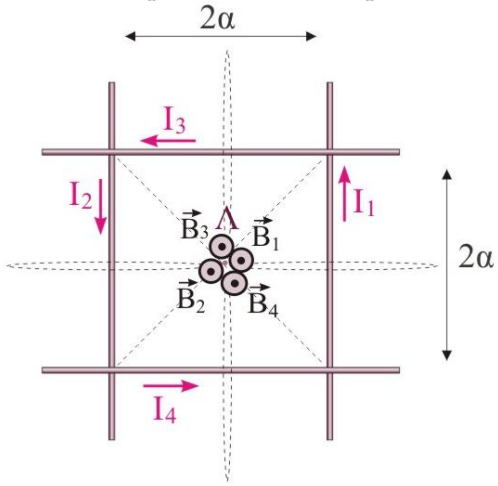
ΘΕΜΑ Γ



Γ1. Το ρεύμα I_1, δημιουργεί μαγνητικό πεδίο που στο σημείο Λ η ένταση είναι κάθετη στο επίπεδο της σελίδας και με φορά από τη σελίδα προς τον αναγνώστη. Το μέτρο της έντασης του πεδίου εκεί είναι:

$$B_1 = k_\mu \frac{2I_1}{a} = \left(10^{-7}\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{A}^2}\right)\frac{2\cdot 10\mathrm{A}}{0{,}1m} \Rightarrow B_1 = 20\cdot 10^{-6}T .$$

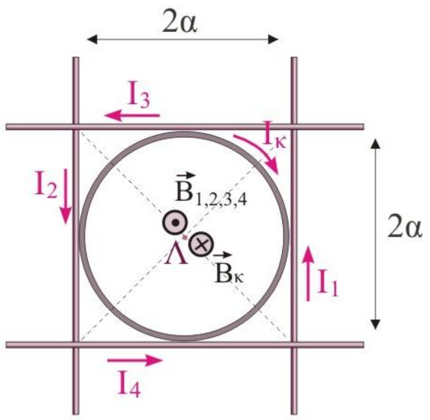
Το ρεύμα I_2, δημιουργεί μαγνητικό πεδίο που στο σημείο Λ η ένταση $\vec{B}_2 = \vec{B}_1$ και επομένως τα δύο ρεύματα I_1 και I_2 δημιουργούν μαγνητικό πεδίο που στο σημείο Λ η ένταση είναι $\vec{B}_{1,2} = 2\vec{B}_1$ και το μέτρο της είναι $B_{1,2} = 40\cdot 10^{-6}T$.



Γ2. Τα ρεύματα I_3 και I_4 δημιουργούν μαγνητικό πεδίο που στο σημείο Λ η ένταση είναι κάθετη στο επίπεδο της σελίδας και με φορά από τη σελίδα προς τον αναγνώστη , άρα $\vec{B}_{3,4} = 2\vec{B}_1$. Άρα το μέτρο της έντασης του πεδίου στο σημείο Λ είναι:

$$B_{1,2,3,4} = 4\left(20\cdot 10^{-6}T\right) \Rightarrow B_{1,2,3,4} = 80\cdot 10^{-6}T .$$

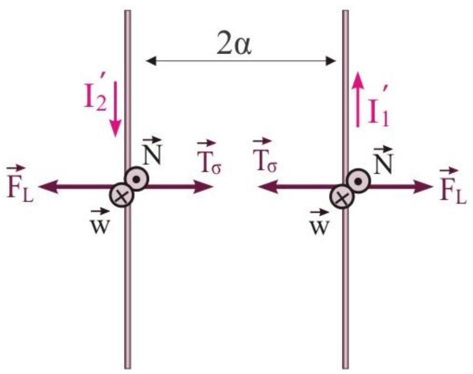
Γ3. Ο κυκλικός αγωγός δημιουργεί στο σημείο Λ μαγνητικό πεδίο του οποίου το μέτρο δίνεται από την σχέση $B_\kappa = k_\mu \dfrac{2\pi I_\kappa}{a}$.



Για να μηδενίζεται η ολική ένταση του μαγνητικού πεδίου στο σημείο Λ, σύμφωνα με τον κανόνα του δεξιού χεριού, ο κυκλικός αγωγός θα πρέπει να διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα έντασης I_κ τέτοιο ώστε, η ένταση στο κέντρο του κυκλικού αγωγού να έχει μέτρο $80\cdot 10^{-6}T$ και η φορά του να είναι ίδια με αυτήν των δεικτών του ρολογιού.

Άρα, $\left(10^{-7}\dfrac{\mathrm{N}}{\mathrm{A}^2}\right)\dfrac{2\pi I_\kappa}{0{,}1m} = 80\cdot 10^{-6}T \Rightarrow \ I_\kappa = \dfrac{40}{\pi}A .$

Γ4.



Έχουμε δύο παράλληλους ρευματοφόρους αγωγούς πάνω σε οριζόντιο επίπεδο που διαρρέονται από αντίρροπα ρεύματα, οπότε και αναπτύσσεται μεταξύ τους απωστική δύναμη, που το διάνυσμά της βρίσκεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο, είναι κάθετο στον αγωγό και έχει μέτρο $F_L = k_\mu \dfrac{2I_1' I_2'}{2a}\cdot \ell$, όπου ℓ είναι το μήκος των αγωγών.

Στο σχήμα δείχνονται οι δύο αγωγοί σε ισορροπία και οι 4 δυνάμεις που ασκούνται σε κάθε έναν. Στον αγωγό που διαρρέεται από το ηλεκτρικό ρεύμα έντασης I_1': (το βάρος του $W = mg$ με κατεύθυνση από τον αναγνώστη προς τη σελίδα, η κάθετη αντίδραση από το οριζόντιο επίπεδο N με κατεύθυνση από τη σελίδα προς τον αναγνώστη, η δύναμη Laplace F_L προς τα δεξιά και η δύναμη της στατικής τριβής T_σ προς τ' αριστερά). Η ισορροπία του αγωγού για τις δυνάμεις απαιτεί $W = N$ και $F_L = T_\sigma$.

Η μέγιστη τιμή της στατικής τριβής που αναπτύσσεται σε κάθε αγωγό είναι:

$$T_{\sigma,\max} = \mu_\sigma N = \mu_\sigma W = \mu_\sigma mg = \mu_\sigma \lambda \ell g .$$

Για να μην ολισθήσουν οι αγωγοί πρέπει:

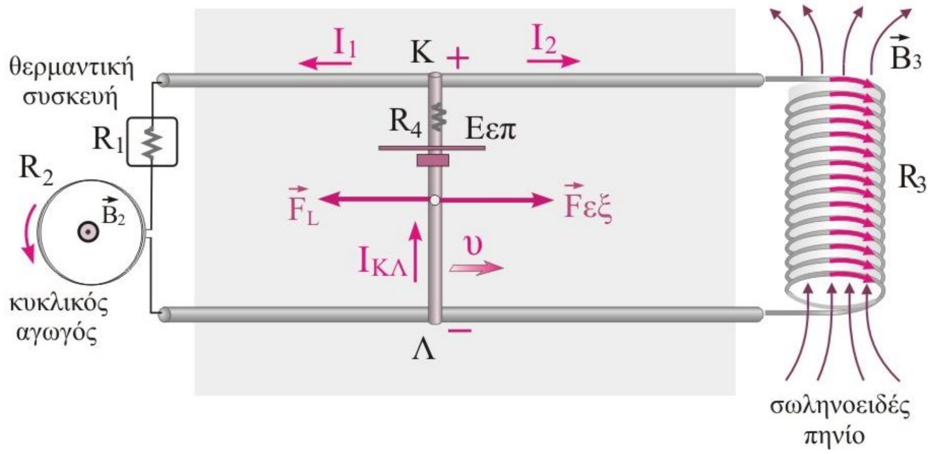
$$\mathrm{F_L} \le \mathrm{T_{\sigma,max}} \Rightarrow \mathrm{k_\mu}\frac{2\mathrm{I_1' I_2'}}{2\mathrm{a}}\cdot \ell \le \mu_\sigma \lambda \ell \mathrm{g} \Rightarrow \mu_\sigma \ge \frac{\mathrm{k_\mu I_1' I_2'}}{\lambda \mathrm{ag}} = \frac{\left(10^{-7}\,\mathrm{N/A^2}\right)\cdot 100\mathrm{A}\cdot 100\mathrm{A}}{\left(10\times 10^{-3}\mathrm{kg/m}\right)\cdot 0{,}1\mathrm{m}\cdot\left(10\mathrm{m/s^2}\right)} = 0{,}1 \Rightarrow$$

$$\mu_{\sigma(\min)} = 0{,}1$$

ΘΕΜΑ Δ

Δ1. $P_\kappa = V_\kappa I_\kappa \Rightarrow I_\kappa = P_\kappa / V_\kappa = 2\ A$ και από το νόμο του Ohm για αντιστάτες $R_1 = V_\kappa / I_\kappa = 5\,\Omega$.

Δ2.



Η προς τα δεξιά κινούμενη ράβδος μέσα στο ομογενές μαγνητικό πεδίο προκαλεί μεταβολή μαγνητικής ροής στα δημιουργούμενα πλαίσια και δημιουργεί στα άκρα της ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή η οποία προκύπτει ίση με $E_{\varepsilon\pi} = B\upsilon l = 6\,V$. Σύμφωνα με τον κανόνα του Lenz το επαγωγικό ρεύμα θα έχει φορά από το Λ προς το Κ , δηλαδή ο θετικός πόλος της ράβδου θα είναι στο σημείο της Κ.

Από το νόμο του Ohm για κλειστό κύκλωμα, η ράβδος διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα με ένταση:

$$I_{\mathrm{K\Lambda}} = \frac{E_{\varepsilon\pi}}{\left[(R_1 + R_2)//R_3\right] + R_4} = \frac{6V}{\left[\dfrac{6\cdot 3}{6+3}\Omega\right] + 0,5\Omega} \Rightarrow I_{\mathrm{K\Lambda}} = \frac{6V}{(2+0,5)\Omega} \Rightarrow I_{\mathrm{K\Lambda}} = 2,4\ A$$

Η δύναμη Laplace που ασκείται στη ράβδο, σύμφωνα με τον κανόνα των τριών δαχτύλων έχει οριζόντια διεύθυνση και φορά προς τα αριστερά. Το μέτρο της είναι:

$F_L = BI_{\mathrm{K\Lambda}}\, l = 4{,}8\ N$.

Η απαραίτητη εξωτερική δύναμη ώστε η ράβδος να κινείται με σταθερή ταχύτητα είναι αντίθετη της δύναμης Laplace, δηλαδή έχει φορά προς τα δεξιά και μέτρο $F_{\varepsilon\xi} = 4,8\ N$

Δ3. Η πολική τάση στα άκρα της ράβδου είναι:

$$V_{\mathrm{K\Lambda}} = E_{\varepsilon\pi} - I_{\mathrm{K\Lambda}} R_4 = 6V - (2,4A)\cdot(0,5\Omega) \Rightarrow V_{\mathrm{K\Lambda}} = 4,8\,V$$

και το ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει τη θερμαντική συσκευή είναι

$$I_1 = \frac{V_{\text{ΚΛ}}}{R_1 + R_2} = \frac{4,8V}{6\Omega} \Rightarrow I_1 = 0,8\ A.$$

Η θερμαντική συσκευή υπολειτουργεί.

Για να λειτουργεί κανονικά θα πρέπει να διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα έντασης $I_\kappa = 2\ A$ πράγμα που θα απαιτούσε πολική τάση στα άκρα της ράβδου ίση με

$$2\ A = \frac{V'_{\text{ΚΛ}}}{R_1 + R_2} \Rightarrow V'_{\text{ΚΛ}} = 12\,V.$$

Με αυτήν την πολική τάση το σωληνοειδές διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα έντασης $I_3 = \frac{V'_{\text{ΚΛ}}}{R_3} = \frac{12V}{3\Omega} \Rightarrow I_3 = 4\ A$.

Επομένως το ηλεκτρικό ρεύμα που έπρεπε να διαρρέει τη ράβδο θα έπρεπε να έχει φορά από το Λ προς το Κ και ένταση $I'_{\text{ΚΛ}} = 2 + 4 = 6\ A$.

Με το ρεύμα αυτό η δύναμη Laplace που θα ασκείται στη ράβδο θα έχει μέτρο: $F'_L = BI'_{\text{ΚΛ}}l = (2T)\cdot(6A)\cdot(1m) \Rightarrow F'_L = 12\ N$.

Έτσι η εξωτερική δύναμη θα έπρεπε από $4,8\ N$ να αυξηθεί σε $12\ N$ πράγμα που αντιστοιχεί σε ποσοστιαία αύξηση:

$$\pi\% = \frac{12 - 4,8}{4,8}\cdot 100\% = \frac{7,2}{4,8}\cdot 100\% \Rightarrow \pi\% = 150\%$$

Δ4. Ο κλάδος με την θερμαντική συσκευή και ο κλάδος με το σωληνοειδές έχουν στα άκρα τους την ίδια διαφορά δυναμικού $V_{\text{ΚΛ}}$. Αν I_1 είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον κλάδο με τη θερμαντική συσκευή και I_3 είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον κλάδο με το σωληνοειδές θα ισχύει:

$$V_{\text{ΚΛ}} = I_1 \cdot (R_1 + R_2) = I_3 \cdot R_3 \Rightarrow I_1/I_3 = 1/2$$

Στο κέντρο του κυκλικού αγωγού η ένταση του μαγνητικού πεδίου έχει μέτρο: $B_2 = k_\mu \frac{2\pi I_1}{a} N_2$

Στο κέντρο του σωληνοειδούς η ένταση του μαγνητικού πεδίου έχει μέτρο: $B_3 = k_\mu 4\pi I_3 \frac{N_3}{l}$

Ο λόγος των δύο εντάσεων θα είναι:

$$\frac{B_2}{B_3} = \frac{k_\mu \frac{2\pi I_1}{a} N_2}{k_\mu 4\pi I_3 \frac{N_3}{l}} = \frac{lN_2}{2aN_3}\cdot\frac{I_1}{I_3} \Rightarrow \frac{B_2}{B_3} = \frac{1}{100}$$

Η εκπόνηση του διαγωνίσματος έγινε με τη βοήθεια Εθελοντών Εκπαιδευτικών:

Τα θέματα επιμελήθηκαν οι **Στέλιος Χατζηθεοδωρίδης και Θανάσης Τσάδαρης, Φυσικοί.**

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