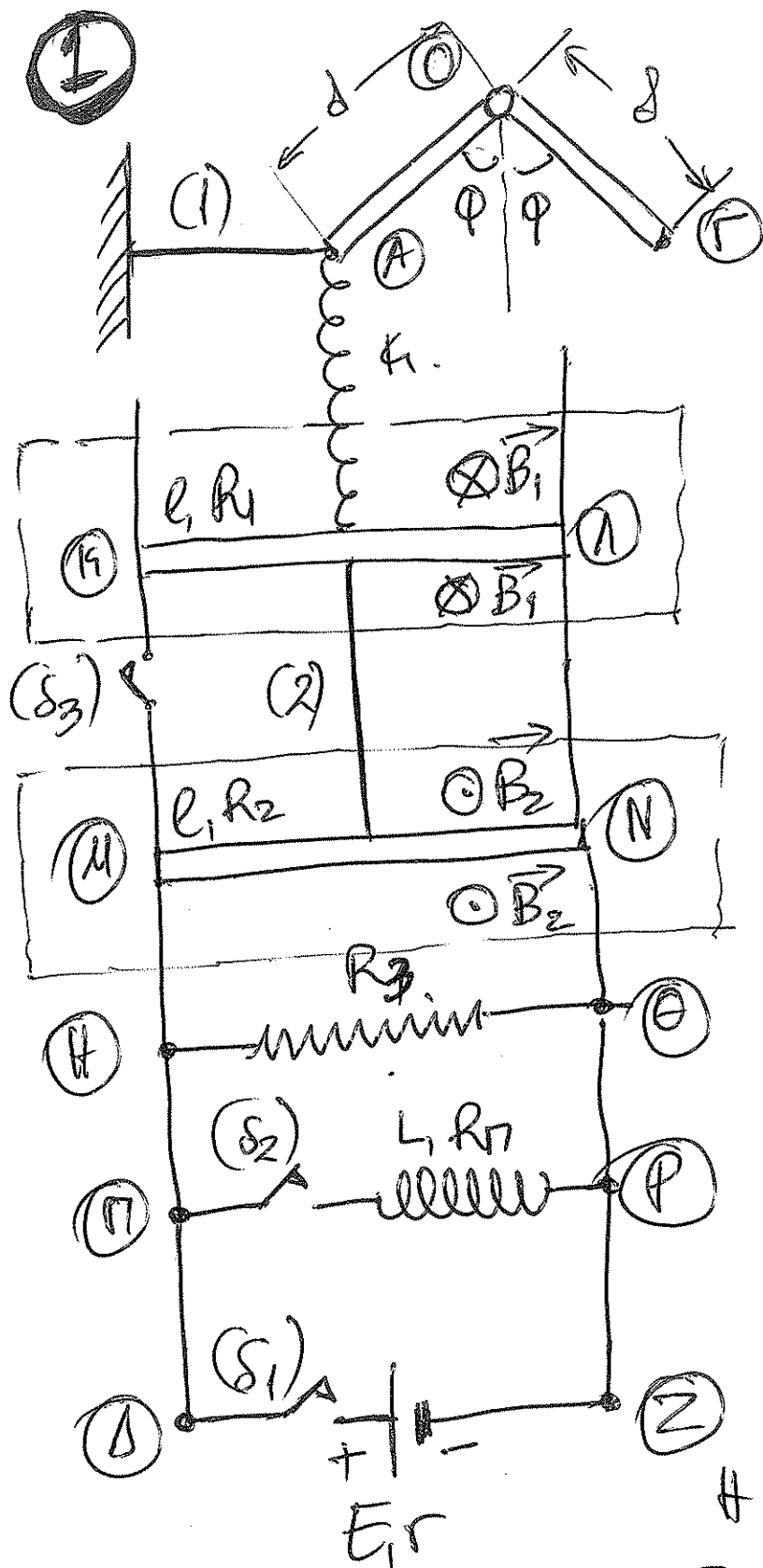


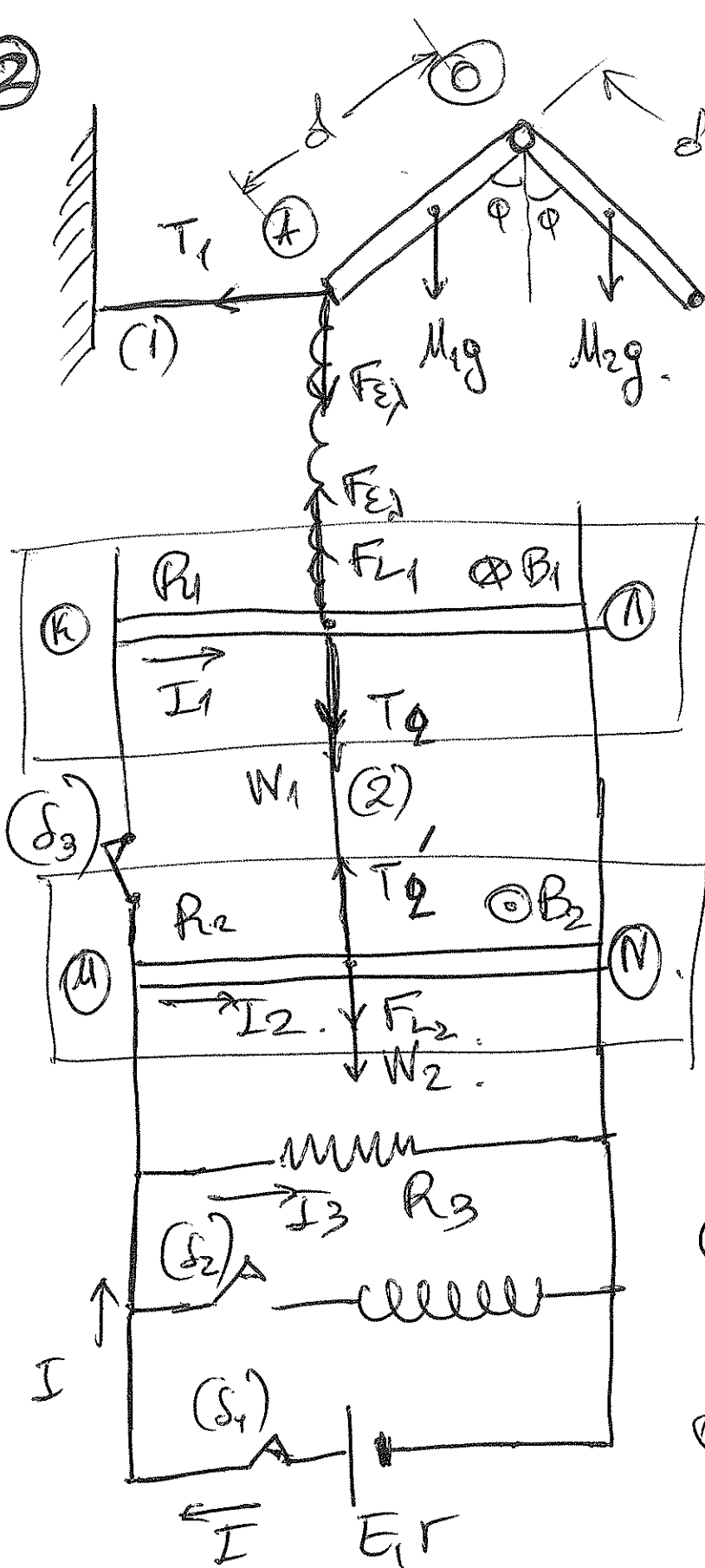


Οι ράβδοι ΟΑ
και ΟΓ είναι
ομογενείς και ισοπα-
χείς. Έχουν πάχος
 $\mu_1 = 0,3 \text{ kg}$ και $\mu_2 = 0,6 \text{ kg}$
Τα πλάτη τους είναι
ίσα με d .
Για τον γωνία ϕ έχουμε:
 $\phi = 53^\circ$ ($\sin \phi = 4/5$
 $\cos \phi = 3/5$).

Τα πλάτη των ράβδων
ΚΛ και ΜΝ είναι
 $l = 1 \text{ m}$ και το ελαστι-
κό έχει $k = 50 \text{ N/m}$.
Για την ΚΛ έχουμε:
 $m_1 = 0,5 \text{ kg}$ και $R_1 = 12 \Omega$
Για την ΜΝ έχουμε:
 $m_2 = 0,3 \text{ kg}$ και $R_2 = 4 \Omega$
Η R_3 είναι 6Ω ενώ

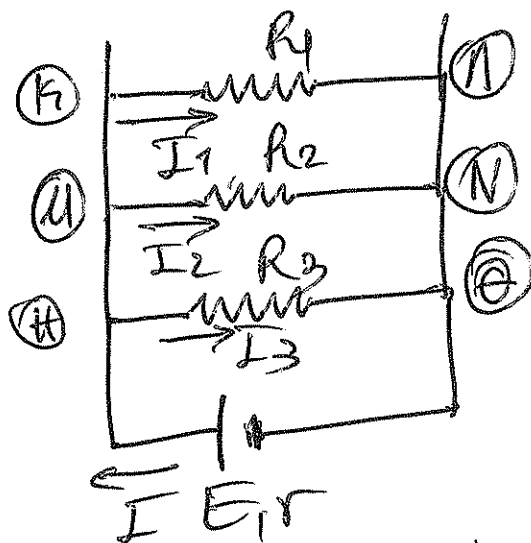
για την ράβδο έχουμε: $E = 36 \text{ Volt}$, $r = 4 \Omega$.
Το πηνίο έχει συντελεστή αυτεπαγωγής L , αγωγιμότητα $R_H = 3 \Omega$ και αποτελείται από $N = 200$
σπείρες επιβάρους $A = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ η κάθε μία και
Για τα πεδία B_1 και B_2 έχουμε: $p = 1000$
 $B_1 = 2 \text{ T}$ και $B_2 = 1 \text{ T}$.

②



Το νήμα (2) είναι
τεντωμένο και πρέπει
οπότε $T_2 = T_2'$.

Το νήμα (1) και
το ελατήριο υποθέ-
τουμε ότι είναι
τεντωμένο και επιθυ-
μωμένο αντίστοιχα.
Οι διακόπτες (S_1)
και (S_3) είναι αρχι-
κά κλειστοί, ο δια-
κόπτης (S_2) είναι
ανοικτός, οπότε ο
απόδοτος του κυκλώ-
ματος είναι ελάχισ-
τος και το ισοδύναμο υψ-
θωτικό είναι:



Με τα δεδομένα αυτά, μπορούμε αρχικά να
υπολογίσουμε τη δύναμη του ελατηρίου.
Από το ισοδύναμο υψθωτικό έχουμε:

$$\frac{1}{R_{1,2,3}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \Rightarrow \quad \textcircled{3}$$

$$\frac{1}{R_{1,2,3}} = \frac{1}{12} + \frac{1}{4} + \frac{1}{6} = \frac{1}{12} + \frac{3}{12} + \frac{2}{12} \Rightarrow$$

$$\frac{1}{R_{1,2,3}} = \frac{6}{12} \Rightarrow R_{1,2,3} = 2 \Omega$$

$$R_{\text{ολ}} = r + R_{1,2,3} = 4 + 2 = 6 \Omega$$

$$E = I \cdot R_{\text{ολ}} \Rightarrow I = \frac{E}{R_{\text{ολ}}} = \frac{36}{6} \Rightarrow I = 6 \text{ A}$$

$$V_{\Pi} = E - I r = I_1 R_1 \Rightarrow 36 - 6 \cdot 4 = I_1 \cdot 12 \Rightarrow$$

$$36 - 24 = 12 I_1 \Rightarrow I_1 = 1 \text{ A}$$

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 \Rightarrow 1 \cdot 12 = I_2 \cdot 4 \Rightarrow I_2 = 3 \text{ A}$$

Η F_{L1} που παύει ΚΑΙ έχει φορτίο $R_{\text{ολ}}$ και $R_{\text{ολ}}$ και η F_{L2} που παύει ΜΝ έχει φορτίο $R_{\text{ολ}}$ και $R_{\text{ολ}}$.

$$F_{L1} = B_1 I_1 l = 2 \cdot 1 \cdot 1 \Rightarrow F_{L1} = 2 \text{ N}$$

$$F_{L2} = B_2 I_2 l = 1 \cdot 3 \cdot 1 \Rightarrow F_{L2} = 3 \text{ N}$$

$$W_1 = m_1 g = 0,5 \cdot 10 \Rightarrow W_1 = 5 \text{ N}$$

$$W_2 = m_2 g = 0,3 \cdot 10 \Rightarrow W_2 = 3 \text{ N}$$

Οι παύες ΚΑΙ και ΜΝ ισορροπούν οριζόντια με όλες τις δυνάμεις να αλληλοαντισταθμίζονται.

τους, ενώ το σύστημα των ράβδων ΟΑ και ΟΓ
ισορροπεί όπως φαίνεται στο σχήμα. (4)

Ξεκινάμε από την κάτω ράβδο ΜΝ.

$$\Sigma F_{MN} = 0 \Rightarrow T_2' = F_{L2} + W_2 \Rightarrow T_2' = 3 + 3 = 6N.$$

Άρα $T_2 = T_2' = 6N$ « εδρά του νήκτα (2).

Υποθέτουμε ότι το ελατήριο είναι ελαγχυσμένο
νο, οπότε για τη ράβδο ΚΛ έχουμε:

$$\Sigma F_{KL} = 0 \Rightarrow T_2 + W_1 = F_{ελ} + F_{L1} \Rightarrow$$

$$6 + 5 = F_{ελ} + 2 \Rightarrow \boxed{F_{ελ} = 9N}$$

άρα είναι
ελαγχυσμένο

Αν υποθέταμε ότι το ελατήριο ήταν ευσταθωμέ-
νο, θα είχαμε: $\Sigma F_{KL} = 0 \Rightarrow T_2 + W_1 + F_{ελ} = F_{L1} \Rightarrow$

$$6 + 5 + F_{ελ} = 2 \Rightarrow F_{ελ} = -9N, \text{ που είναι το ίδιο.}$$

Τελικά, το ελατήριο είναι ελαγχυσμένο με
δύναμη $F_{ελ} = 9N$ όπως φαίνεται στο σχήμα.

Το επόμενο ερώτημα είναι να βρούμε τη δύναμη
που ασκείται στη ράβδο ΟΑ από το νήμα (1)
καθώς και τη δύναμη που ασκείται στο σύστημα
των δύο ράβδων ΟΑ και ΟΓ από τον άξονα περισ-
τροφής που διέρχεται από το Ο. (αλέτρο και
υατάθουνται)

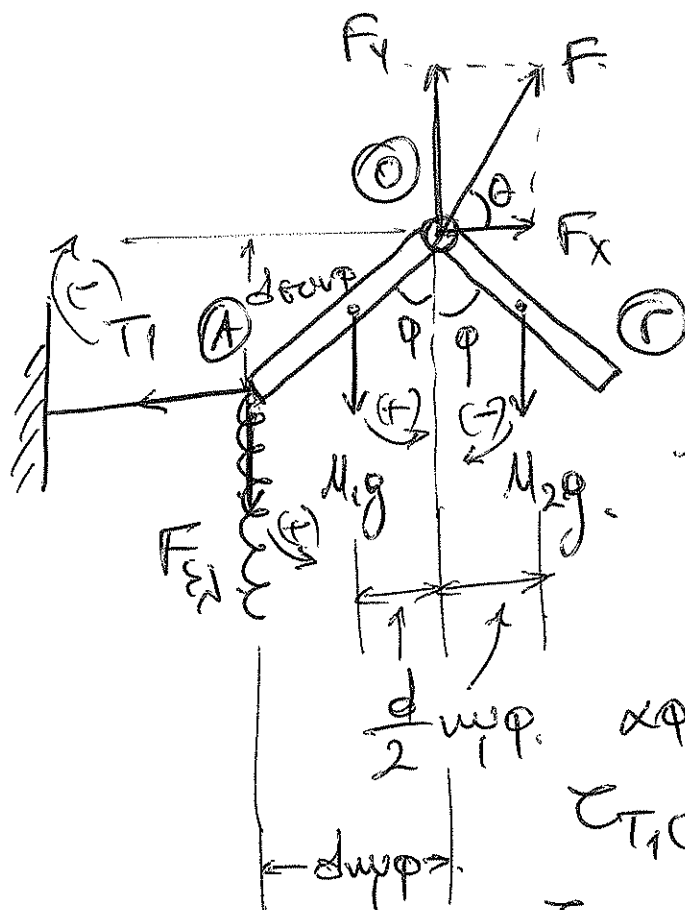
Για το σύστημα των ράβδων έχουμε το διήγημα:

(5)

Από την ισορροπία ραβδών ως προς το (C) έχουμε:

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

$$-T_1 d \sin \varphi + F_{El} d \sin \varphi + M_1 g \frac{d}{2} \cos \varphi - M_2 g \frac{d}{2} \cos \varphi = 0$$



$$\tau_{T_1(C)} = -T_1 d \sin \varphi$$

$$\tau_{F_{El}(C)} = F_{El} d \sin \varphi$$

$$\tau_{M_1 g(C)} = M_1 g \frac{d}{2} \cos \varphi \quad \text{και} \quad \tau_{M_2 g(C)} = -M_2 g \frac{d}{2} \cos \varphi$$

$$M_1 g = 0,3 \cdot 10 = 3 \text{ N}$$

$$F_{El} = 9 \text{ N}$$

$$M_2 g = 0,6 \cdot 10 = 6 \text{ N}$$

$$\cos \varphi = 0,8 \quad \sin \varphi = 0,6$$

$$\text{Άρα: } -T_1 \sin \varphi + F_{El} \sin \varphi + M_1 g \cdot \frac{1}{2} \cos \varphi - M_2 g \frac{1}{2} \cos \varphi = 0$$

$$\Rightarrow -T_1 \cdot 0,6 + 9 \cdot 0,6 + \frac{3}{2} \cdot 0,8 - \frac{6}{2} \cdot 0,8 = 0 \Rightarrow$$

$$-0,6 T_1 + 5,4 + 1,2 - 2,4 = 0 \Rightarrow$$

$$-0,6 T_1 + 4,2 = 0 \Rightarrow 0,6 T_1 = 4,2 \Rightarrow$$

$$T_1 = 10 \text{ N}$$

Από την ισορροπία συνδέσεων έχουμε:

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow F_y = F_{\text{ελ}} + M_1 g + M_2 g \Rightarrow$$

⑥

$$F_y = 9 + 3 + 6 \Rightarrow F_y = 18 \text{ N}$$

$$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow F_x = T_1 \Rightarrow F_x = 10 \text{ N}$$

$$F^2 = F_x^2 + F_y^2 = 10^2 + 18^2 = 100 + 324 = 424$$

$$\text{Άρα: } F = \sqrt{424} \Rightarrow \boxed{F \approx 21 \text{ N}}$$

Για τη γωνία θ έχουμε:

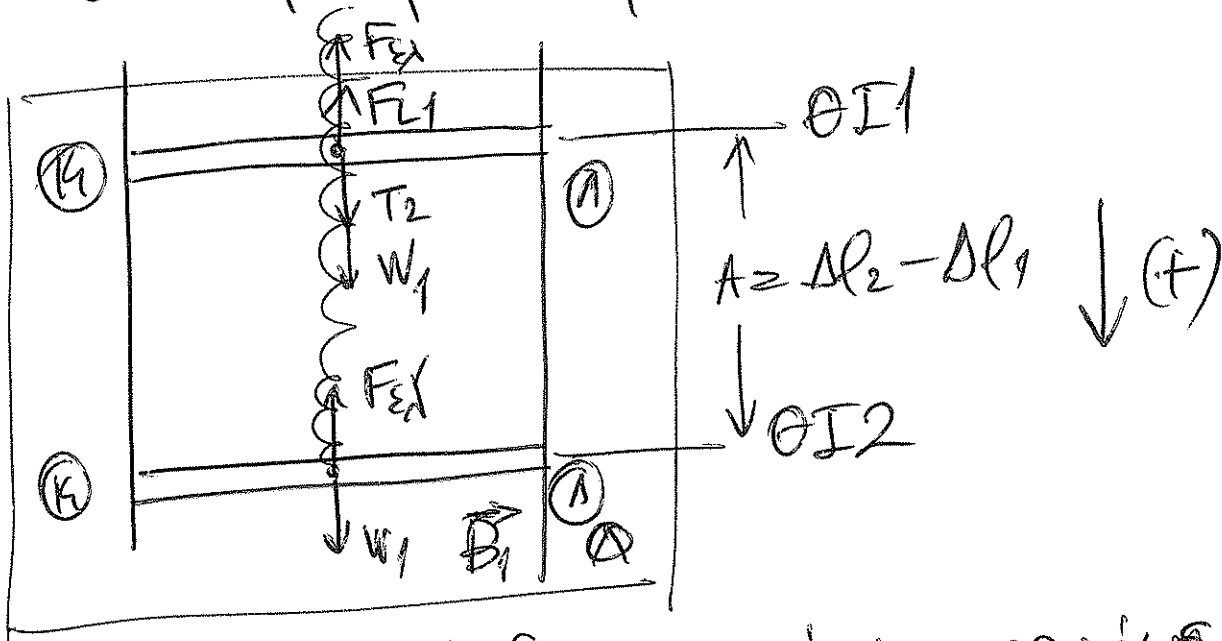
$$\tan \theta = \frac{F_y}{F_x} \Rightarrow \tan \theta = \frac{18}{10} \Rightarrow \boxed{\tan \theta = \frac{9}{5}}$$

Τώρα, τη χρονική στιγμή $t=0$, υδροϊκά υρεπ-
 φυσική δύναμη ή υδροϊκά αντάρια με τρία
 χέρια (αν θυμάσαι καλά, τρία χέρια είχε ο
 Ζαφάρντ Μπαμπανίγροφ, ο πρόεδρος του Γαλλικού
 στο «Τυρίστε τον Γαλλικό με υστερόφη» του Douglas
 Adams) κάνει τα εξής: Κόβει το νήμα (2)
 που ενώνει τα ράβδους ΚΑ και ΜΝ και ταυ-
 τχροτά ανοίγει τους διακόπτες (δ₃) και (δ₁)

Αυτό σημαίνει ότι η ράβδος ΚΑ γίνει πόνητα
 να απελευθερωθεί δαπάνη στο ελατήριο, ενώ
 το σύστημα των ράβδων ΟΑ και ΟΓ παραμένει

απόφαση ότι θέση του αφού το νήμα (1) 7 εξακολουθεί να είναι τεντωμένο. Βέβαια το αν το νήμα (1) είναι τεντωμένο και το ελατήριο συμπεριφέρονται είναι για υπόθεση που πρέπει να ελεγχθεί, αλλά υποθέτουμε προς το παρόν πως έτσι έχουν τα πράγματα.

Συμμεριωνούμε τώρα την προσοχή μας στην ταλάντωση του ράβδου ΚΛ. Θεωρήσαμε ότι παίρνουμε την προς τα κάτω. Σε όλη τη διάρκεια της κίνησης το νήμα ΚΛ βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο B_1 αλλά δεν διαφέρει από ρεύμα, αφού έχει κλειστεί. Κάνουμε πρώτα ένα πρόχειρο σχήμα:



Στα ϵ_{I1} η ράβδος κινείται ισορροπώντας και έχουμε ότι: $F_{ελ} = qN$.

Άρα: $F_{ελ} = K \cdot \Delta l_1 \Rightarrow q = 50 \cdot \Delta l_1 \Rightarrow \Delta l_1 = \frac{q}{50} \text{ m}$.

Στη νέα θέση ισορροπίας θ_{I2} η ράβδος 8
 ισορροπεί γόνο υπό την επίδραση του βάρους και
 αφού κόψαμε το νήμα και το ρεύμα ταυτόχρονα.

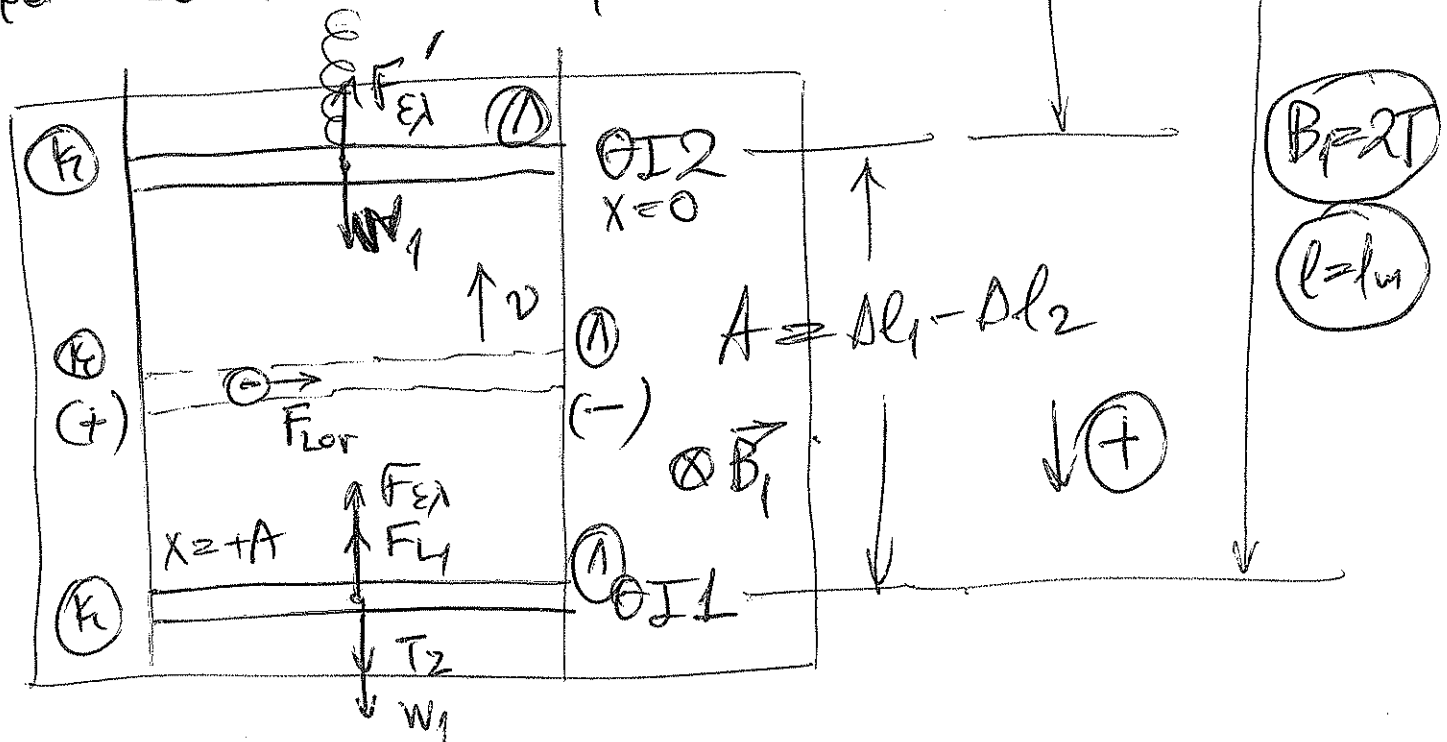
Άρα έχουμε: $F_{El}' = W_1 \Rightarrow k \cdot \Delta l_2 = m_1 g \Rightarrow$

$$50 \cdot \Delta l_2 = 0,5 \cdot 10 \Rightarrow \Delta l_2 = \frac{5}{50} \text{ m}$$

Συμπεραίνουμε, επομένως, ότι το προηγούμενο
 σχήμα δε μπορεί να είναι σωστό αφού είχα
 υποθέσει ότι η ράβδος μετά το κόψιμο του νή-
 ματος θα υψωθεί προς τα πάνω. Εξάλλου, στην
 περίπτωση αυτή, το πλάτος ταλάντωσης (που
 είναι η απόσταση ανάμεσα στη θέση ισορροπίας
 αφού δεν έχουμε αρχική ταχύτητα) θα έφτανε:

$$A = \Delta l_2 - \Delta l_1 = \frac{5}{50} - \frac{9}{50} = -\frac{4}{50} \text{ αδύνατο.}$$

Άρα το σωστό σχήμα είναι: $l_0 + \Delta l_2$ $l_0 + \Delta l_1$.



Στο σχήμα αυτό βλέπουμε ότι η νέα
 ΘΙ (ΘΙ2) βρίσκεται πάνω από την παλιά
 ΘΙ (ΘΙ1) οπότε η ταλάντωση ξεκινά χωρίς
 αρχική ταχύτητα από την κάτω αμφοί θέση
 που εδώ είναι $+A$.

Άρα οι αρχικές συνθήκες είναι:

$$x(0) = +A \quad \text{και} \quad v(0) = 0.$$

$$x = A \cos(\omega t + \phi_0) \Rightarrow +A = A \cos \phi_0 \Rightarrow \cos \phi_0 = 1 \Rightarrow$$

$$\phi_0 = \frac{\pi}{2} \text{ rad.}$$

$$\text{Συνεπώς: } x = A \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \text{ και } v = \omega A \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$A = \Delta l_1 - \Delta l_2 = \frac{9}{50} - \frac{5}{50} = \frac{4}{50} = 0,08 \text{ m.}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m_1}} = \sqrt{\frac{50}{0,5}} = 10 \text{ rad/sec.}$$

Η ράβδος ΚΑ κινείται από την κάτω αμφοί
 θέση ($+A$) προς τα πάνω και στο σχήμα
 φαίνεται η δύναμη Lorentz σε ένα ηλεκτρόνιο του
 καθώ και η πολικότητα του όταν εφεβαίνει.

$$v = \omega A \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = 10 \cdot 0,08 \sin\left(10t + \frac{\pi}{2}\right) =$$

$$v = 0,8 \sin\left(10t + \frac{\pi}{2}\right)$$

Συνεπώς η τάση V_{KL} είναι άμεσα του
παύσου είναι:

(10)

$$V_{KL} = B_1 v l = 2 \cdot 0,8 \sin\left(10t + \frac{\pi}{2}\right) \cdot 1 =$$

$$V_{KL} = 1,6 \sin\left(10t + \frac{\pi}{2}\right) \text{ (SI)}$$

Τη χρονική στιγμή $t=0$ που ο αγωγός KL αρχίζει να ταλαντεύεται, ο αγωγός MN αρχίζει να κινείται προς τα πάνω. Τη χρονική στιγμή t_1 ο αγωγός MN αποκτά ορισμένη ταχύτητα και ταυτόχρονα υφίσταται ο διασποράς (δ_2). Τη χρονική στιγμή t_2 το ρεύμα στο ρυθμίο σταθεροποιείται. Οι αγωγοί KL και MN αφού αποχωριστούν εφεξής ο υαθένας τη στιγμή του υνυαυ. Το επόμενο ερώτημα αναφέρεται σε πια άλλη χρονική στιγμή t_3 .

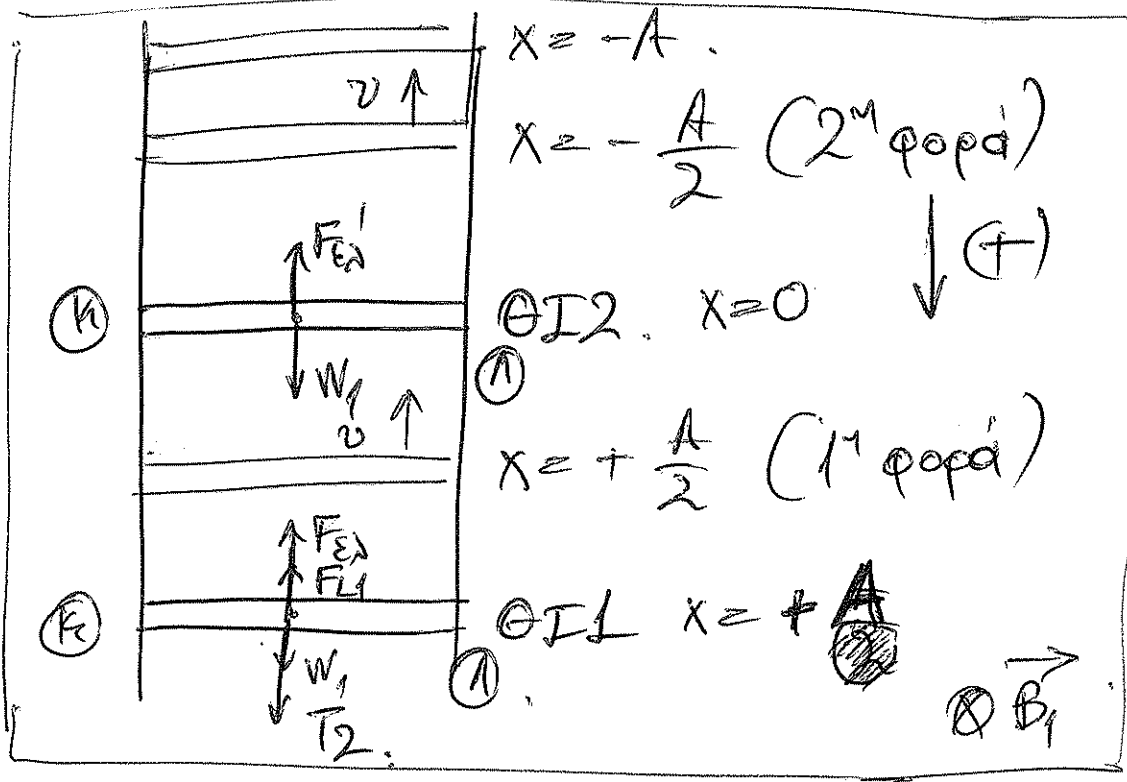
Συμπεριγμένα, πρέπει να υπολογίσουμε το ρυθμό μεταβολής της δυναμικής ενέργειας της ταλάντωσης που εφεξής ο αγωγός KL τη χρονική στιγμή t_3 όπου οποία η υνυαυ του εφέργεια γίνεται ίση με το 5% της εφέργειας της ταλάντωσης για δεύτερη φορά μετά τη χρονική στιγμή $t=0$.

$$k = \frac{5}{100} E = \frac{3}{4} E$$

$$K + U = E \Rightarrow \frac{3}{4}E + U = E \Rightarrow U = \frac{1}{4}E \Rightarrow \quad (11)$$

$$\frac{1}{2}KX^2 = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{2}KA^2 \Rightarrow X^2 = \frac{A^2}{4} \Rightarrow X = \pm \frac{A}{2}$$

Καθώς και το σχήμα του ταλαντωτή του ΚΑ



Από το σχήμα αυτό βλέπουμε ότι ο άρμος ΚΑ ξεκινά την ταλάντωση από την κάτω αριστερά θέση $+A$, πέρα για $1^{\text{η}}$ φορά από τη θέση $+\frac{A}{2}$ όπου η κινητική του ενέργεια είναι το 75% της ενέργειας ταλάντωσης και για $2^{\text{η}}$ φορά από τη θέση $-\frac{A}{2}$ όπου και η κινητική του ενέργεια είναι το 75% της ενέργειας ταλάντωσης.

$$X = A \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \Rightarrow X = A \cos \omega t \Rightarrow$$

$$-\frac{A}{2} = A \cos \omega t_3 \Rightarrow \cos \omega t_3 = -\frac{1}{2} \Rightarrow$$

$$\frac{dK}{dt} = \frac{\Delta K}{\Delta t} = \Sigma F \cdot v = -Kxv$$

(13)

$$K + U = E \Rightarrow \frac{\Delta K}{\Delta t} + \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{\Delta E}{\Delta t} \stackrel{0}{\Rightarrow}$$

$$\frac{\Delta U}{\Delta t} = - \frac{\Delta K}{\Delta t} \Rightarrow \frac{\Delta U}{\Delta t} = + Kxv$$

$$\text{Hence: } \frac{\Delta U}{\Delta t} = + K \cdot \left(-\frac{A}{2}\right) \cdot \left(-\frac{\omega A \sqrt{3}}{2}\right) \Rightarrow$$

$$\frac{\Delta U}{\Delta t} = + \frac{1}{4} K A^2 \omega \sqrt{3}$$

$$K = 50 \text{ N/m}, \quad A = 0,08 \text{ m} \quad \omega = \sqrt{\frac{K}{m}} = \sqrt{\frac{50}{0,5}} \Rightarrow$$

$$\omega = 10 \text{ rad/sec}$$

$$\frac{\Delta U}{\Delta t} = + \frac{1}{4} \cdot 50 \cdot (8 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 10 \sqrt{3} =$$

$$= \frac{1}{4} \cdot 5 \cdot 10^2 \cdot 64 \cdot 10^{-4} \sqrt{3} = \frac{320}{4} \cdot 10^{-2} \sqrt{3} \Rightarrow$$

$$\frac{\Delta U}{\Delta t} = 80 \cdot 10^{-2} \sqrt{3} \Rightarrow \boxed{\frac{\Delta U}{\Delta t} = 0,8 \sqrt{3} \text{ J/sec}}$$

Βλέπουμε ότι ο πυθμός μεταβολής της δυναμικής ενέργειας είναι θετικός, όπως θα έπρεπε, αφού το σώμα τη στιγμή t_3 απομακρύνεται από τη θέση ισορροπίας του υνολύμενο από την πάνω αμμοαία θέση $-A$, οπότε η δυναμική του ενέργεια αυξάνεται.

(14)

Το ερώτημα ερώτημα είναι να βρούμε το γέρο της δύναμης που ασκεί το νήμα (1) στη ράβδο OA καθώς και τη δύναμη που δέχεται το σύστημα των ράβδων OA και OF από τον άξονα που διέρχεται από το O, τη χρονική στιγμή t_3 .

Η κατάσταση είναι από την κατω αριστερά θέση + A, όπου το ελατήριο είναι επιμηυμένο κατά

$$\Delta l_1 = \frac{9}{50} \text{ m} \quad \text{και} \quad A = 0,08 \text{ m}.$$

Τη στιγμή t_3 που μας ενδιαφέρει, η ράβδος OA βρίσκεται στη θέση $-\frac{A}{2}$ έχοντας διαβεί απόσταση προς τα κάτω ίση με $A + \frac{A}{2} = 0,08 + 0,04 = 0,12 \text{ m}$.

Άρα τη στιγμή t_3 το ελατήριο εμφανίζεται να είναι επιμηυμένο κατά

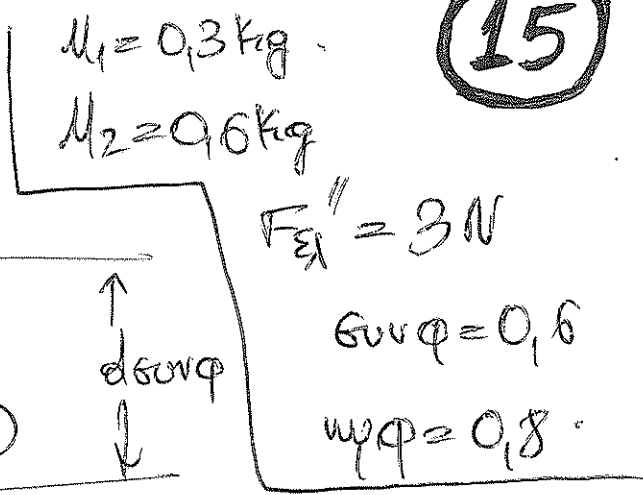
$$\Delta l_2 = \Delta l_1 - \frac{3A}{2} = \frac{9}{50} - 0,12 = \frac{9}{50} - \frac{12}{100} = \frac{9}{50} - \frac{6}{50}$$

$$\Rightarrow \Delta l_2 = \frac{3}{50} \text{ m}.$$

Άρα η δύναμη του ελατηρίου στο σύστημα των δύο ράβδων γίνεται:

$$F_{el}'' = k \cdot \Delta l_2 = 50 \cdot \frac{3}{50} = 3 \text{ N}.$$

Άρα επαναλαμβάνοντας τον παραπάνω υπολογισμό, υποθέτοντας ότι το σύστημα των δύο ράβδων μένει ακίνητο στη θέση του.



O₁ porter een foudpewer uit naar de 0 stuur:

$$Z_{T_1'}(\omega) = -T_1' d \ln \varphi$$

$$\tau_{F_{E\lambda}''}(0) = + F_{E\lambda}'' d\psi\phi$$

$$\tau_{Hg}(0) = + \mu_{Hg} \frac{d\psi_0}{2}$$

$$\tau_{H_2g}(0) = -\mu_{2g} \frac{d\psi\phi}{2}$$

$$\sum \tau_{(0)} = 0 \Rightarrow \tau_{T_1'}(0) + \tau_{F_{\Sigma_1}'}(0) + \tau_{M_1g}(0) + \tau_{M_2g}(0) = 0$$

$$\Rightarrow -T_1' d\cos\varphi + F_{EX}'' \sin\varphi + \mu_1 g \frac{d}{2} \sin\varphi - \mu_2 g \frac{d}{2} \sin\varphi = 0 \Rightarrow$$

$$T_1|_{\text{sur}\Phi} = F_{E1}' \psi\Phi + \frac{\mu_1 g}{2} \psi\Phi - \frac{\mu_2 g}{2} \psi\Phi. \Rightarrow$$

$$T_1 \cdot 0,6 = 3 \cdot 0,8 + \frac{3}{2} \cdot 0,8 - \frac{6}{2} \cdot 0,8 \Rightarrow$$

$$T_1' \cdot 0,6 = 2,4 + 1,2 - 2,4 \Rightarrow$$

$$T_1' \cdot 0,6 = 1,2 \Rightarrow \boxed{T_1' = 2N}$$

16

Αυτά είναι η τάση του νήματος τη στιγμή t_3 . Για τη δύναμη F' που ασκείται στις ράβδους από τον άξονα (που και αυτή αλληλίζει) έχουμε:

$$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow F_x' = F_{E1}'' \Rightarrow F_x' = 3N.$$

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow F_y' = F_{E1}'' + m_1 g + m_2 g = 3 + 3 + 6 \Rightarrow$$

$$F_y' = 12N.$$

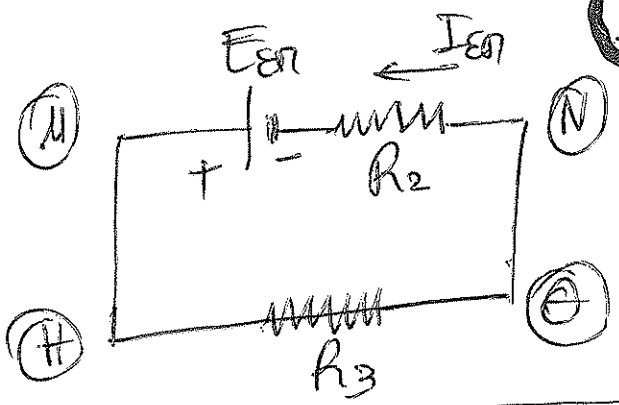
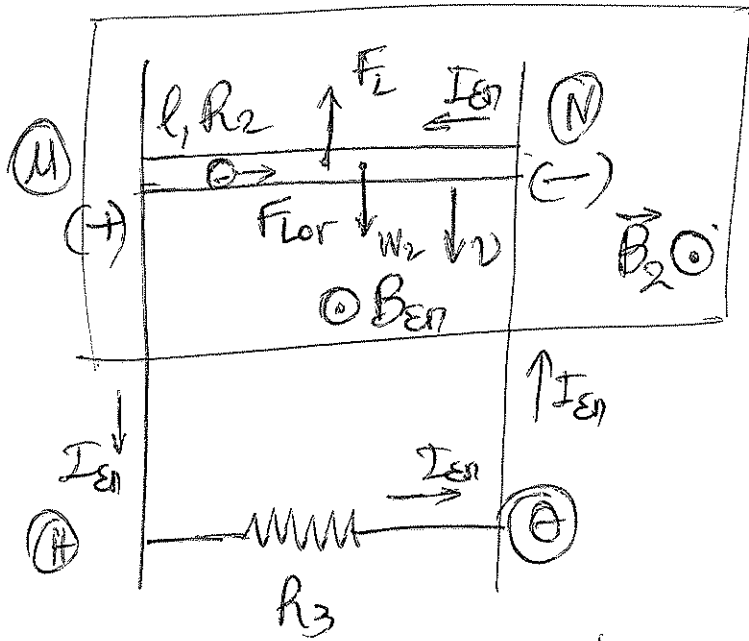
$$\text{Άρα: } F' = \sqrt{F_x'^2 + F_y'^2} = \sqrt{3^2 + 12^2} = \sqrt{9 + 144} \Rightarrow$$

$$F' = \sqrt{153} \Rightarrow F' = 3\sqrt{17} N.$$

$$\epsilon\phi\theta' = \frac{F_y'}{F_x'} \Rightarrow \epsilon\phi\theta' = \frac{12}{3} \Rightarrow \epsilon\phi\theta' = 4.$$

Αφαιρούμε τμήμα του αγωγού ΚΛ που εισέρχεται ταυτόχρονα και παράγει στον αγωγό ΜΝ ο οποίος αρχίζει να κινείται προς τα πάνω μέχρι να αποκτήσει ορισμένη ταχύτητα. Κατά τη διάρκεια κίνησης του αγωγού ΜΝ προς τα πάνω ο διακόπτης (δ_2) είναι ανοικτός.

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται η πολικότητα στον αγωγό ΜΝ και με τη δύναμη Lorentz σε ένα υδρερόνιο του και με το επαγωγικό μαγνητικό πεδίο που έχει φορά προς τα έξω καθώς η ροή του B_2 είναι προς τα έξω και γειώνεται όταν ο αγωγός ΜΝ κινείται προς τα πάνω.



$m_2 = 0,3 \text{ kg}$ $R_2 = 4 \Omega$
 $R_3 = 6 \Omega$ $B_2 = 1 \text{ T}$

Για τον αγωγό MN έχουμε:

$$m_2 \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} = W_2 - F_L \Rightarrow m_2 \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} = m_2 g - B_2 I_{en} l$$

Από το ισοδύναμο κύκλωμα (που δεν είναι απαραίτητο να σχεδιαστεί) έχουμε:

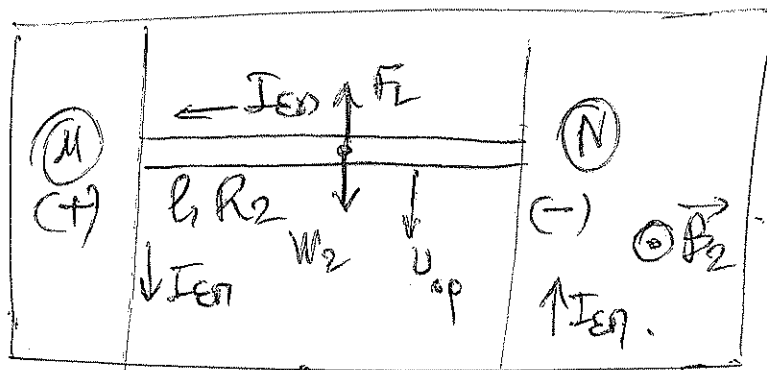
$$I_{en} = \frac{E_{en}}{R_2 + R_3} = \frac{B_2 v l}{R_2 + R_3}$$

Η ταχύτητα γίνεται οριστική όταν γίνει $\frac{\Delta v}{\Delta t} = 0$ οπότε:

$$m_2 g - B_2 \frac{B_2 v_{op} l}{R_2 + R_3} l = 0 \Rightarrow m_2 g = \frac{B_2^2 l^2 v_{op}}{R_2 + R_3}$$

$$3 = \frac{1^2 \cdot 1^2 v_{op}}{4 + 6} \Rightarrow v_{op} = 30 \text{ m/s}$$

Τώρα, τη χρονική στιγμή t_1 που ο αγωγός MN αρχικά οριστική ταχύτητα υφίσταται ο διαιρέτης (δ_2) οπότε αυτό και και μετά το συνίο αρχίζει να «φορτίζεται». Ο ρυθμός μεταβολής της έντασης του πεδίου που διαφέρει το συνίο τη στιγμή t_1 είναι ίσος με 30 A/s .



Τη στιγμή t_1 το ραβδό σπιντρίφεται στον ανοικτό διακόπτη με την πολικότητα που φαίνεται στο σχήμα. Άρα:

$$V_{np} = V_{MN} \Rightarrow V_L = V_{MN} \Rightarrow$$

$$L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t} = E_{en} - I_{en} R_2.$$

Στον υδρό του ραβδίου δεν

υπάρχει αμύγα ρεύμα, οπότε:

$$I_{en} = \frac{E_{en}}{R_2 + R_3} = \frac{B_2 v_{op} \cdot l}{R_2 + R_3} = \frac{1 \cdot 30 \cdot 1}{4 + 6} = 3 \text{ A}.$$

$$E_{en} = B_2 v_{op} \cdot l = 1 \cdot 30 \cdot 1 = 30 \text{ Volt}.$$

$$\text{Άρα: } L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t} = E_{en} - I_{en} R_2 \Rightarrow L \cdot 30 = 30 - 3 \cdot 4 \Rightarrow$$

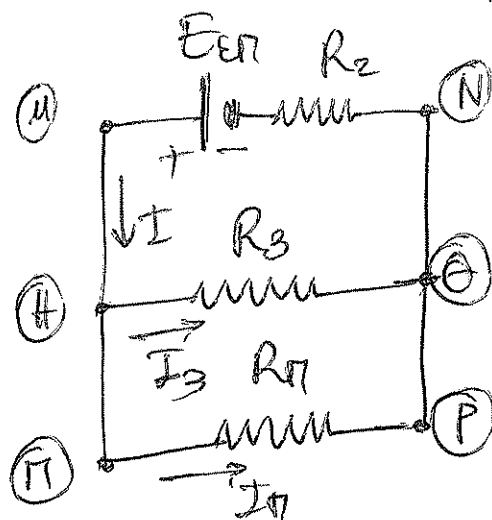
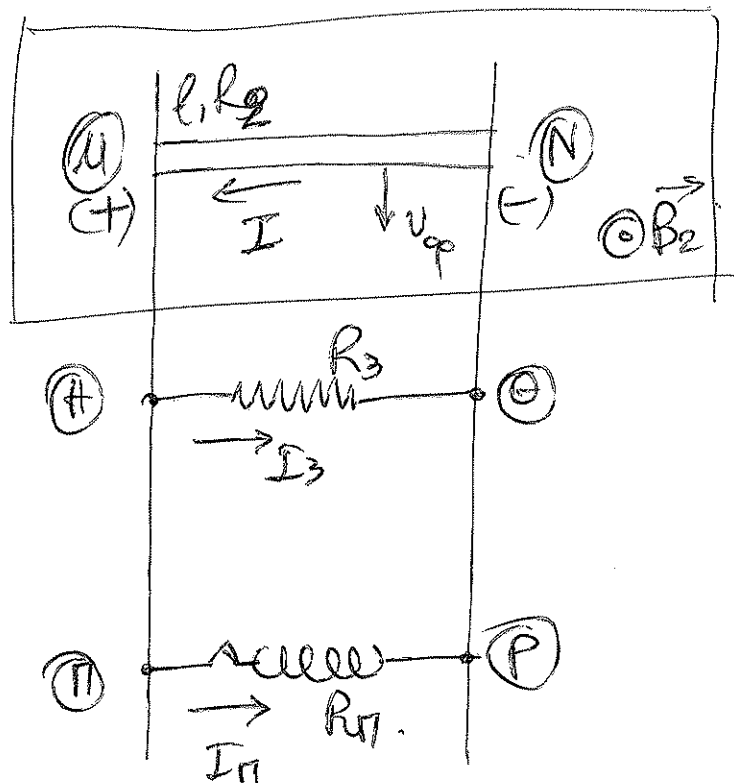
$$30L = 18 \Rightarrow L = \frac{18}{30} = \frac{3}{5} \Rightarrow$$

$$L = 0.6 \text{ H}$$

Τη χρονική στιγμή t_2 σταθεροποιείται το ρεύμα στο ραβδό. Αυτό σημαίνει ότι το ραβδό σπιντρίφεται σε βραχυκύκλωμα αφού $V_L = L \frac{\Delta i}{\Delta t} = 0$ οπότε

πάλι τότε έχουμε μόνο στην αρχή του αμύγας.

Το αμύγα είναι παράγωγο με το προηγούμενο με τον αγωγό MN να εξασφαλίζεται να κινείται προς τα αριστερά με την αρχική του ταχύτητα.



19

$$R_2 = 4\Omega \quad R_3 = 6\Omega$$

$$R_n = 3\Omega \quad E_{en} = 30V_{alt.}$$

$$\frac{1}{R_{3n}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_n} = \frac{1}{6} + \frac{1}{3} = \frac{1}{6} + \frac{2}{6} = \frac{3}{6} \Rightarrow$$

$$R_{3n} = 2\Omega$$

$$I = \frac{E_{en}}{R_{tot}} = \frac{B_2 v_{op} \cdot l}{R_2 + R_{3n}} = \frac{30}{4+2} \Rightarrow I = 5A.$$

$$V_{MN} = V_{\Pi P} \Rightarrow E_{en} - IR_2 = I_n R_n \Rightarrow 30 - 5 \cdot 4 = I_n \cdot 3 \Rightarrow$$

$$3I_n = 10 \Rightarrow I_n = \frac{10}{3} A.$$

Το επόμενο ερώτημα είναι να βρούμε την ένταση του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό του κυλίνδρου τη χρονική στιγμή t_2 κατά την οποία σταθεροποιείται στην τιμή του τηγ το ρεύμα σ' αυτό. Έχουμε:

$$|E_{ind}| = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \Rightarrow L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} = N \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \Rightarrow$$

$$L \cdot \Delta I = N \cdot \Delta \Phi \Rightarrow L \cdot (I_n - 0) = N(BA - 0) \quad (20)$$

$$\Rightarrow LI_n = NBA \Rightarrow$$

$$0,6 \cdot \frac{10}{3} = 200 \cdot B \cdot 5 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \frac{6}{3} = 1000 B \cdot 10^{-3} \Rightarrow$$

$$2 = 10^3 \cdot B \cdot 10^{-3} \Rightarrow \boxed{B = 2 \text{ Tesla}}$$

Παρατηρούμε ότι το δεσμεύμε για τη μαγνητική διαπερατότητα $\mu = 1000$ του διηλεκτρικού που βρίσκεται στο εσωτερικό του σπείρου δεν χρειάζεται.

Το παραπάνω είναι, βέβαια, το σωστό αποτέλεσμα. Ο υπολογισμός που σερφίεται στον (σωστό) τύπο:

$$L = \mu \mu_0 \frac{N^2}{\ell} A$$

και στον (λάθος) τύπο $B = \mu_0 \frac{N}{\ell} I_n$ και οδηγεί στο αποτέλεσμα:

$$L = \mu \left(\mu_0 \frac{N}{\ell} \right) NA = \mu \left(\frac{B}{I_n} \right) NA \Rightarrow LI_n = \mu NBA$$

είναι απλώς λανθασμένο και οδηγεί στο αποτέλεσμα

$$B = 2 \cdot 10^{-3} \text{ T. Το σωστό είναι:}$$

$$L = \mu \mu_0 \frac{N^2}{\ell} A \quad \left| \Rightarrow L = \left(\mu \mu_0 \frac{N}{\ell} \right) NA = \frac{B}{I_n} NA \Rightarrow \right.$$

$$B = \mu \mu_0 \frac{N}{\ell} I_n$$

$$LI_n = NBA \text{ που οδηγεί στο}$$

ίδιο αποτέλεσμα με το παραπάνω.

Για τον υπολογισμό των χρονικών διαστημάτων έχουμε τα εξής. Η χρονική στιγμή t_3 είναι ελεύθερο να υπολογιστεί ως εξής:

$$\omega t_3 = \frac{2\pi}{3} \Rightarrow 10 t_3 = \frac{2\pi}{3} \Rightarrow t_3 = \frac{2\pi}{30} \Rightarrow$$

$$t_3 = \frac{\pi}{15} \text{ sec.}$$

Η χρονική στιγμή t_1 είναι εκείνη που ο αγωγός MN υαθώς πέφτει, οπότε ορισμένη ταχύτητα. Έχουμε την εξίσωση:

$$m_2 \frac{\Delta v}{\Delta t} = m_2 g - B_2 I \ell \Rightarrow m_2 \frac{\Delta v}{\Delta t} = m_2 g - B_2 \frac{B_2 v \ell}{R_2 + R_3} \ell$$

$$\Rightarrow m_2 \frac{\Delta v}{\Delta t} = m_2 g - \frac{B_2^2 \ell^2}{R_2 + R_3} v \Rightarrow$$

$$\frac{m_2 (R_2 + R_3)}{B^2 \ell^2} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{m_2 g (R_2 + R_3)}{B^2 \ell^2} - v. \Rightarrow$$

$$\tau \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} = v_{op} - v \Rightarrow v_{op} = v + \tau \frac{\Delta v}{\Delta t}.$$

Η ορισμένη ταχύτητα αποκτάται σε χρόνο 5τ (πλεονάζει)

$$\tau = \frac{m_2 (R_2 + R_3)}{B^2 \ell^2} = \frac{0,3 \cdot 10}{1} = 3 \text{ sec}$$

Άρα η ορισμένη ταχύτητα αποκτάται σε χρονική στιγμή

$$t_1 = 5\tau \Rightarrow t_1 = 15 \text{ sec.}$$

Η απόσταση που διανύει ο αγωγός MN. πέφτοντας μέχρι να αποκτάει την ορισμένη ταχύτητα είναι:

$$\tau \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} = v_{op} - v \Rightarrow$$

22

$$\tau \cdot \Delta v = v_{op} \cdot \Delta t - v \cdot \Delta t \Rightarrow$$

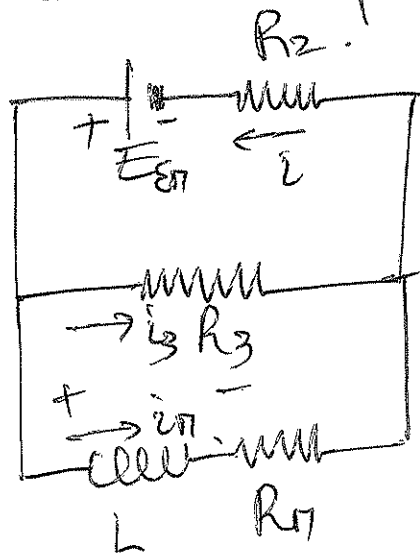
$$\tau \cdot \sum \Delta v = v_{op} \sum \Delta t - \sum v \cdot \Delta t \Rightarrow$$

$$\tau \cdot (v_{op} - 0) = v_{op} \cdot 5\tau - S \Rightarrow S = 5v_{op}\tau - v_{op}\tau \Rightarrow$$

$$S = 4v_{op} \cdot \tau = 4 \cdot 30 \cdot 3 \Rightarrow S = 360 \text{ m}.$$

Αυτή η ανδραγαθία είναι ήδη τελεσμένη αλλά δεν είναι γόνυ
αυτή. Ο αγωγός MN συνεχίζει να κινείται με τη στα-
θερή ράβδου οριζώντι του ταχύτητα, οπότε χρειάζεται
~~και~~ και άλλο χρόνο μέχρι το ρεύμα στο κυκλώ να
σταθεροποιηθεί στην τιμή της της $I_{\pi} = \frac{10}{3} \text{ A}$.

Από το κύκλωμα του κυκλώματος έχουμε:



$$\mathcal{E}_{\pi} = B_2 v l = 30 \text{ Volt}.$$

$$\mathcal{E}_{\pi} - i R_2 = v_L + i_{\pi} R_{\pi} \Rightarrow$$

$$\mathcal{E}_{\pi} - i R_2 = L \frac{di_{\pi}}{dt} + i_{\pi} R_{\pi}.$$

$$\mathcal{E}_{\pi} - i R_2 = i_3 R_3 =$$

$$i = i_{\pi} + i_3.$$

$$i_3 R_3 = L \frac{di_{\pi}}{dt} + i_{\pi} R_{\pi} \Rightarrow i_3 = \frac{L}{R_3} \frac{di_{\pi}}{dt} + \frac{R_{\pi}}{R_3} i_{\pi}.$$

$$i = i_{\pi} + i_3 = i_{\pi} + \frac{L}{R_3} \frac{di_{\pi}}{dt} + \frac{R_{\pi}}{R_3} i_{\pi} =$$

$$= i_{\pi} \left(1 + \frac{R_{\pi}}{R_3} \right) + \frac{L}{R_3} \frac{di_{\pi}}{dt}.$$

$$E_{en} - iR_2 = L \frac{di_n}{dt} + i_n R_1 \Rightarrow$$

(23)

$$E_{en} - \left[i_n \left(1 + \frac{R_1}{R_3} \right) + \frac{L}{R_3} \frac{di_n}{dt} \right] R_2 = L \frac{di_n}{dt} + i_n R_1 \Rightarrow$$

$$E_{en} - i_n \frac{R_2(R_3 + R_1)}{R_3} - \frac{L R_2}{R_3} \frac{di_n}{dt} = L \frac{di_n}{dt} + i_n R_1 \Rightarrow$$

$$E - i_n \left(\frac{R_2(R_3 + R_1)}{R_3} + R_1 \right) = L \left(\frac{R_2}{R_3} + 1 \right) \frac{di_n}{dt} \Rightarrow$$

$$E - i_n \frac{R_2(R_3 + R_1) + R_3 R_1}{R_3} = L \frac{R_2 + R_3}{R_3} \frac{di_n}{dt} \Rightarrow$$

$$\frac{E R_3}{R_2(R_3 + R_1) + R_3 R_1} - i_n = L \frac{R_2 + R_3}{R_2(R_3 + R_1) + R_3 R_1} \frac{di_n}{dt}$$

$$I_n = \frac{E R_3}{R_2(R_3 + R_1) + R_3 R_1} = \frac{30 \cdot 6}{4(6+3) + 6 \cdot 3} = \frac{30 \cdot 6}{4 \cdot 9 + 18} =$$

$$= \frac{30 \cdot 6}{3 \cdot 18} = \frac{10 \cdot 6}{18} = \frac{10}{3} A.$$

$$I_n - i_n = \tau' \frac{di_n}{dt} \Rightarrow I_n = i_n + \tau' \frac{di_n}{dt}$$

Η σταθερά χρόνου για την αντιστάση του επαγωγικού είναι:

$$\tau' = L \frac{R_2 + R_3}{R_2(R_3 + R_1) + R_3 R_1} = 0,6 \cdot \frac{4+6}{4(6+3) + 6 \cdot 3} \Rightarrow$$

$$\tau' = 0,6 \cdot \frac{10}{4 \cdot 9 + 18} = \frac{6}{36 + 18} = \frac{6}{54} = \frac{2}{18} \Rightarrow$$

(24)

$$\tau' = \frac{1}{9} \text{ sec.}$$

Άρα η χρονική διαφορά t_2 κατά την οποία το πείρα σταθεροποιείται είναι:

$$t_2 = t_1 + 5\tau' = 15 + \frac{5}{9} = \frac{27 \cdot 5 + 5}{9} = \frac{28 \cdot 5}{9} \Rightarrow$$

$$t_2 = \frac{140}{9} \text{ sec.}$$

Στο διάγραμμα αυτό ο αρχικός ΜΝ έχει διανύσει συνολικά περίπου γύρω από τα νεύρα:

$$S' = v_{op} \cdot 5\tau' = 30 \cdot \frac{5}{9} = \frac{50}{3} \text{ m.}$$

έχοντας διανύσει συνολικό διάστημα

$$\left(360 + \frac{50}{3} \right) \text{ m} \approx 377 \text{ m.}$$

Πάρα πολλά που δε βγάνει χιλιόμετρο !!!