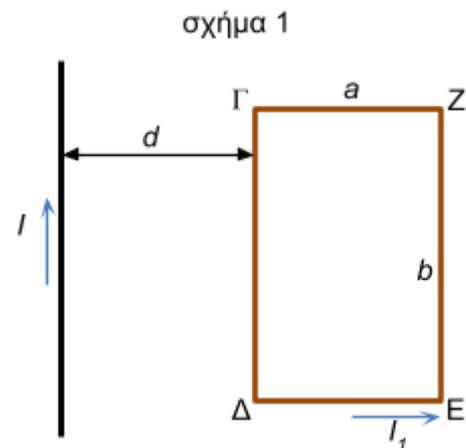


Μαγνητική αιώρηση τραίνου

A) Η αρχή λειτουργίας

Ένα μακρύ ευθύγραμμο σύρμα, βρίσκεται στο επίπεδο που ορίζει ένας ορθογώνιος συρμάτινος βρόχος και είναι τοποθετημένο παράλληλα στις μεγαλύτερες πλευρές του ορθογώνιου όπως στο σχήμα 1. Οι εντάσεις των ρευμάτων στο σύρμα και στο βρόχο είναι αντίστοιχα $I = 10A$ και $I_1 = 1A$, με φορές που φαίνονται στο σχήμα 1. Οι διαστάσεις του ορθογώνιου είναι $a = 0,2m$ και $b = 0,3m$, ενώ η απόσταση του σύρματος από το βρόχο είναι $d = 0,25m$. Υπολογίστε την ηλεκτρομαγνητική δύναμη που δέχεται ο βρόχος, από το σύρμα. Δίνεται $k_\mu = 10^{-7}N/A^2$.



B) Η εφαρμογή στην πράξη...

Η διάταξη του Α' μέρους μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην μαγνητική αιώρηση τραίνου. Κατακόρυφο ορθογώνιο λεπτό πηνίο με N σπείρες, πλάτους a και μήκους b , που στο σχήμα 2 φαίνεται η πλάγια όψη του, τοποθετείται κάτω από κάθε βαγόνι. Το μήκος b του πηνίου, είναι ίσο με το μήκος του βαγονιού και η ένταση του ρεύματος που το διαρρέει είναι I_1 . Στη γραμμή του τραίνου, ακριβώς κάτω από το πηνίο και στο ίδιο κατακόρυφο επίπεδο με αυτό βρίσκεται ευθύγραμμο καλώδιο, που διαρρέεται από ρεύμα έντασης I και έχει ελάχιστη απόσταση d από το πηνίο. Το βαγόνι έχει βάρος ανά μονάδα μήκους W^* .



α) Τι επιλογές πρέπει να κάνουμε στην κατασκευή και τοποθέτηση του πηνίου, ώστε να ελαχιστοποιήσουμε την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια για την αιώρηση;

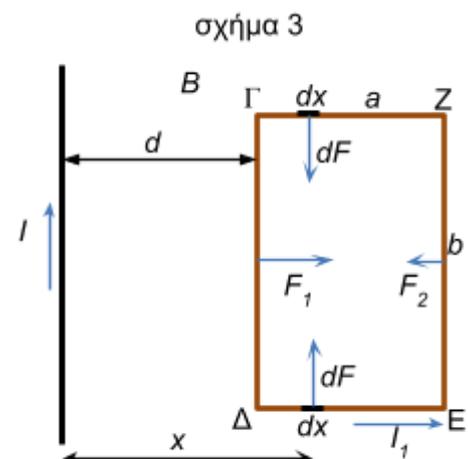
β) Αν $d = 1cm$, $a = 1m$, $W^* = 10^3N/m$ και $I = I_1 = 100A$, πόσες είναι οι σπείρες του πηνίου;

Απάντηση

A) Το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί το ρευματοφόρο σύρμα στην περιοχή του βρόχου είναι προς τα «μέσα» (σχήμα 3) και βέβαια είναι ανομοιογενές. Στις πλευρές ΓΖ και ΔΕ θεωρούμε δύο, ακριβώς απέναντι, στοιχειώδη τμήματα μήκους dx . Αυτά απέχουν εξίσου από τον ευθύγραμμο αγωγό απόσταση x , οπότε δέχονται αντίθετες

δυνάμεις Laplace με μέτρα
$$dF = k_\mu \frac{2I \cdot I_1}{x} \cdot dx$$
 και φορά που φαίνεται στο σχήμα 3.

Αλλά αν ισχύει αυτό για κάθε στοιχειώδες τμήμα, θα ισχύει και για ολόκληρες τις πλευρές, δηλαδή οι



ασκούμενες δυνάμεις στις πλευρές ΓΖ και ΔΕ θα είναι αντίθετες και η συνισταμένη τους θα είναι μηδενική.

Οι πλευρές ΓΔ και ΖΕ δέχονται τις δυνάμεις Laplace \vec{F}_1, \vec{F}_2 , κάθετες σε αυτές, στο μέσον τους, με κατευθύνσεις που φαίνονται στο σχήμα 3. Για τα μέτρα τους έχουμε

$$F_1 = k_\mu \frac{2I \cdot I_1}{d} \cdot b \quad \text{και} \quad F_2 = k_\mu \frac{2I \cdot I_1}{d+a} \cdot b$$

Το πλαίσιο απωθείται προς τα δεξιά αφού η συνισταμένη αυτών των δυνάμεων θα έχει

- μέτρο

$$F = F_1 - F_2 \Leftrightarrow F = k_\mu \frac{2I \cdot I_1}{d} \cdot b - k_\mu \frac{2I \cdot I_1}{d+a} \cdot b \Leftrightarrow$$

$$F = 2k_\mu \cdot I \cdot I_1 \cdot b \cdot \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{d+a} \right) \quad (1)$$

Με αντικατάσταση η (1) δίνει $F = 10,67 \cdot 10^{-7} \text{ N}$.

- σημείο εφαρμογής το κέντρο του πλαισίου
- διεύθυνση της διαμέσου MN του ορθογωνίου
- φορά προς τα δεξιά, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.

B) α) Η σχέση (1) ισχύει, αλλά πρέπει να πολλαπλασιαστεί με τον αριθμό N των σπειρών του πηνίου.

$$F = 2k_\mu N \cdot I \cdot I_1 \cdot b \cdot \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{d+a} \right) \quad (2)$$

Η δύναμη αυτή πρέπει να εξουδετερώνει το βάρος του τραίνου, ώστε αυτό να ισορροπεί.

Τότε:

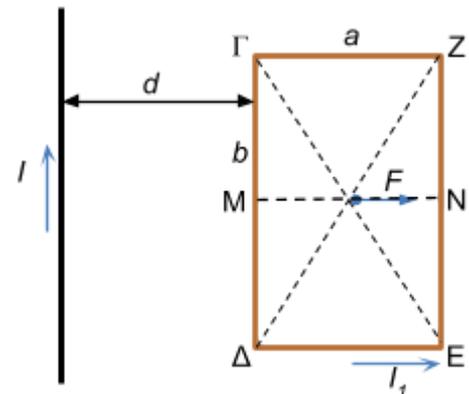
$$\sum \vec{F} = 0 \Leftrightarrow F = W \xrightarrow{(2)} 2k_\mu N \cdot I \cdot I_1 \cdot b \cdot \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{d+a} \right) = W^* \cdot b \Leftrightarrow 2k_\mu N \cdot I \cdot I_1 \cdot \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{d+a} \right) = W^* \Leftrightarrow$$

$$I \cdot I_1 = \frac{W^*}{2k_\mu N \cdot \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{d+a} \right)} \quad (3)$$

Η (3) μας δείχνει ότι εφόσον το W^* είναι δεδομένο, τα ρεύματα, που απαιτούνται (και επομένως η ηλεκτρική ενέργεια) ελαχιστοποιούνται αν:

i) ελαχιστοποιηθεί ο παρονομαστής $d+a$, δηλαδή επιλέξουμε $d \ll a$, που σημαίνει ότι το πηνίο σχεδόν αγγίζει το καλώδιο.

ii) επιλέξουμε όσο το δυνατόν περισσότερες σπείρες.



Η Ισπανία δε μας κερδίζει μόνο στο basket αλλά και στα τρένα...

Ανδρέας Ριζόπουλος