

Μια μαγνητική βελόνα, η Γη και ένα πηνίο

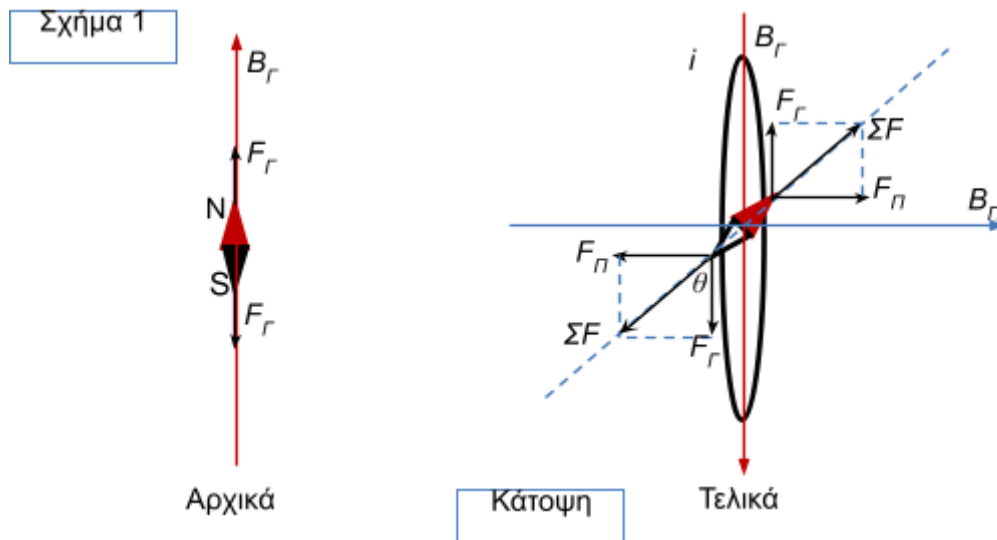
Μαγνητική βελόνα μπορεί να στρέφεται περί κατακόρυφο άξονα (βελόνα απόκλισης) και τοποθετείται στο κέντρο κυκλικού λεπτού πηνίου (σχεδόν δακτύλιος) με $N = 10$ σπείρες ακτίνας $r = 5\text{cm}$. Το επίπεδο του πηνίου είναι κατακόρυφο και η μαγνητική βελόνα προσανατολίζεται κατά τη διεύθυνση της οριζόντιας διαμέτρου του. Αν με ένα αμπερόμετρο μετρήσουμε ότι το πηνίο διαρρέεται από ρεύμα έντασης $i = 0,16\text{A}$, παρατηρούμε ότι η μαγνητική βελόνα εκτρέπεται και τελικά ισορροπεί σε διεύθυνση που σχηματίζει γωνία $\theta = 45^\circ$, με την αρχική της διεύθυνση.



- α) Να εξηγήσετε ποιοτικά το φαινόμενο της αλλαγής διεύθυνσης της μαγνητικής βελόνας.
 - β) Να υπολογίσετε την οριζόντια συνιστώσα* της έντασης του μαγνητικού πεδίου της Γης.
 - γ) Συνδέουμε παράλληλα στο πηνίο μια αντίσταση $R = 10\Omega$, όπως στο σχήμα 2. Αν το αμπερόμετρο δείχνει πάλι ένταση $i = 0,16\text{A}$ και η μαγνητική βελόνα αποκλίνει κατά $\phi = 30^\circ$, να βρεθεί η αντίσταση του πηνίου.
- Δίνεται $k_\mu = 10^{-7}\text{N/A}^2$ και ότι - κατά αντιστοιχία με το Ηλεκτροστατικό πεδίο - η δύναμη, που δέχεται κάθε πόλος από μαγνητικό πεδίο, είναι ανάλογη με την ένταση του πεδίου, δηλαδή
- $$F = \lambda \cdot B, \text{ όπου } \lambda \text{ θετική σταθερά.}$$

Απάντηση

α) Αρχικά η μαγνητική βελόνα προσανατολίζεται εξαιτίας του μαγνητικού πεδίου της Γης, στη διεύθυνση Μαγνητικός Βορράς – Μαγνητικός Νότος, με το βόρειο πόλο της να δείχνει το Μαγνητικό Νότο (που βρίσκεται πλησίον του Γεωγραφικού Βορρά) και ισορροπεί οριζόντια, αφού η συνισταμένη των ροπών και των δυνάμεων που δέχεται είναι μηδέν. Όταν το πηνίο διαρρέεται από ρεύμα, δημιουργεί επιπλέον μαγνητικό πεδίο και η βελόνα δέχεται ροπή ζεύγους που την περιστρέφει. Αν παρατηρήσουμε προσεκτικά θα δούμε ότι εκτελεί μια φθίνουσα στροφική ταλάντωση, μέχρι τελικά να ισορροπήσει ακίνητη σε νέα θέση, όπου και πάλι η συνισταμένη των ροπών και των δυνάμεων που δέχεται είναι μηδέν.



β) Στο σχήμα 1 έχουν σχεδιαστεί οι δυνάμεις που δέχονται οι πόλοι της μαγνητικής βελόνας στις θέσεις ισορροπίας, πριν και μετά την ρευματοδότηση του πηνίου. Κατά αντιστοιχία με το Ηλεκτροστατικό πεδίο, μπορούμε να δεχτούμε ότι η δύναμη, που δέχεται κάθε πόλος από μαγνητικό πεδίο, είναι ανάλογη με την ένταση του πεδίου.

ΑΡΧΙΚΑ: Επιδρά μόνο το μαγνητικό πεδίο της Γης, άρα

$$F_r = \lambda \cdot B_r$$

ΤΕΛΙΚΑ: Επιδρά και το μαγνητικό πεδίο του πηνίου, από το οποίο κάθε πόλος δέχεται δύναμη:

$$F_\pi = \lambda \cdot B_\pi$$

Από το σχήμα
$$\varepsilon\varphi\theta = \frac{F_\pi}{F_r} \Leftrightarrow \varepsilon\varphi\theta = \frac{\lambda \cdot B_\pi}{\lambda \cdot B_r} \Leftrightarrow \varepsilon\varphi\theta = \frac{B_\pi}{B_r} \Leftrightarrow B_r = \frac{B_\pi}{\varepsilon\varphi\theta} \quad (1)$$

Η ένταση όμως του μαγνητικού πεδίου που δημιουργεί το πηνίο στο κέντρο του θα είναι

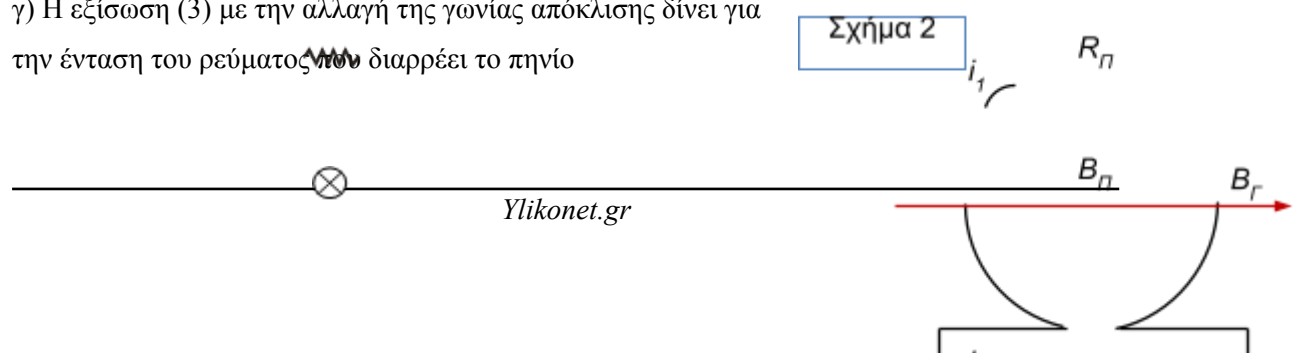
$$B_\pi = k_\mu \frac{2\pi i}{r} \cdot N \quad (2)$$

Από τις (1) και (2) προκύπτει ότι

$$B_r = k_\mu \frac{2\pi N i}{r \cdot \varepsilon\varphi\theta} \quad (3)$$

Αν $\theta = 45^\circ$ η (3) δίνει
$$B_r = 10^{-7} \cdot \frac{2\pi \cdot 10 \cdot 0,16}{0,05 \cdot 1}; \quad 2 \cdot 10^{-5} T$$

γ) Η εξίσωση (3) με την αλλαγή της γωνίας απόκλισης δίνει για την ένταση του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο



$$B_r = k_\mu \frac{2\pi N i_l}{r \cdot \varepsilon \varphi \varphi} \Leftrightarrow i_l = \frac{B_r \cdot r \cdot \varepsilon \varphi \varphi}{2\pi k_\mu N}$$

$$\Leftrightarrow i_l = \frac{2 \cdot 10^{-5} \cdot 0,05 \cdot \frac{\sqrt{3}}{3}}{2\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10} \Leftrightarrow i_l = 0,09 A$$

Στο σχήμα 2, ο 1ος κανόνας του Kirchhoff δίνει

$$i_{o\lambda} = i_l + i_2 \Leftrightarrow i_2 = 0,07 A$$

Η τάση στα άκρα της αντίστασης R θα είναι

$$V = i_2 \cdot R = 0,07 \cdot 10 = 0,7V$$

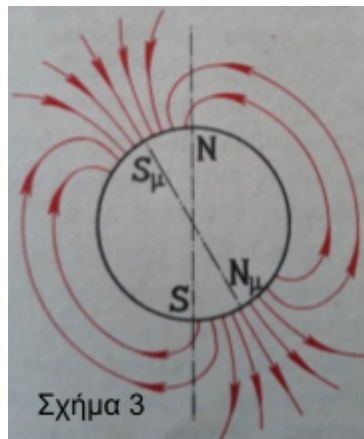
Η τάση στην αντίσταση του πηνίου είναι ίδια άρα

$$R_\pi = \frac{V}{i_l} = \frac{0,7}{0,09} \approx 8\Omega$$

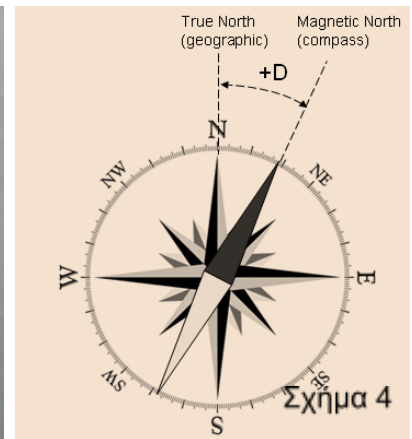
*Σχόλια

Η Γη όπως φαίνεται στο σχήμα 3, συμπεριφέρεται σαν ένας τεράστιος ραβδόμορφος μαγνήτης με το Νότιο Μαγνητικό πόλο του (μαγνητικός βορράς) στον κόλπο Hudson (BA. ακτές Καναδά) και το Βόρειο Μαγνητικό πόλο (μαγνητικός νότος) πλησίον της South Victoria Land (στην Ανταρκτική). Οι θέσεις των μαγνητικών πόλων δεν είναι χρονικά σταθερές αλλά μετακινούνται συνεχώς, σε περίοδο εκατοντάδων ετών. Μάλιστα η πολικότητα αντιστρέφεται με περίοδο μερικών χιλιάδων ετών.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η διεύθυνση προσανατολισμού της μαγνητικής βελόνας της άσκησής μας, με τη δράση του μαγνητικού πεδίου της Γης, δεν είναι ίδια με τη διεύθυνση Βορράς – Νότος του χάρτη, αλλά παρουσιάζει μια μικρή γωνία απόκλισης, που λέγεται μαγνητική απόκλιση. Αυτή οφείλεται στην οριζόντια συνιστώσα της έντασης του γήινου



Σχήμα 3



Σχήμα 4

μαγνητικού πεδίου. Στην Πάτρα π.χ. η μαγνητική απόκλιση είναι ανατολική (ο μαγνητικός βορράς βρίσκεται ανατολικά του γεωγραφικού βορρά) ίση με $4^\circ 23'$ (σχήμα 4).

Αν η μαγνητική βελόνα μπορούσε να στραφεί και περί οριζόντιο άξονα, θα διαπιστώναμε (σχήμα 5) ότι ο βόρειος πόλος της, αν βρισκόμαστε στο Βόρειο ημισφαίριο, ισορροπεί κάτω από το οριζόντιο επίπεδο, σχηματίζοντας μια μικρή γωνία με τον ορίζοντα, που λέγεται μαγνητική έγκλιση. Αυτή



Σχήμα 5

οφείλεται στην κατακόρυφη συνιστώσα της έντασης του γήινου μαγνητικού πεδίου. Αν βρισκόμαστε στο Νότιο ημισφαίριο, ο νότιος πόλος της μαγνητικής βελόνας ισορροπεί κάτω από το οριζόντιο επίπεδο. Άρα σε μια ελεύθερη μαγνητική βελόνα θα σχηματίζονταν δύο γωνίες, η γωνία απόκλισης και η γωνία έγκλισης.

Η ένταση του μαγνητικού πεδίου της Γης είναι της τάξεως του 10^{-5}T , δηλαδή ασθενής. Αυτό δεν εμποδίζει το μαγνητικό πεδίο να αποτελεί την ασπίδα του πλανήτη μας, απέναντι στα επικίνδυνα σωματίδια που φέρνει ο ηλιακός άνεμος και να δημιουργεί στους πόλους το πανέμορφο Σέλας...

Ανδρέας Ριζόπουλος