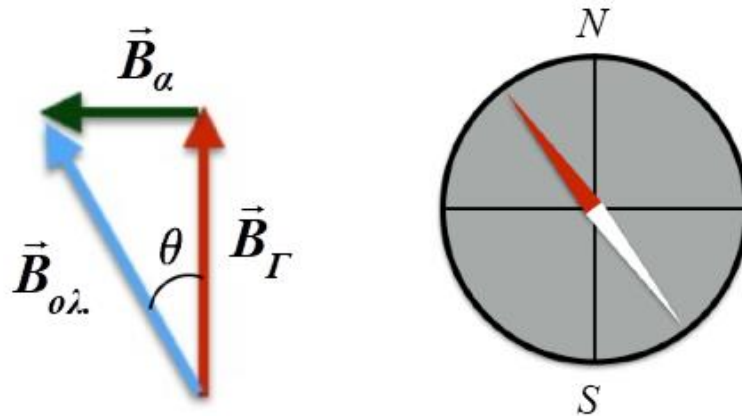


Το μαγνητικό πεδίο σωληνοειδούς πηνίου

Σ' αυτή την εργαστηριακή άσκηση για τη μέτρηση της έντασης του μαγνητικού πεδίου ενός σωληνοειδούς πηνίου χρησιμοποιούμε μια πυξίδα. Με βάση τη θεωρητική ανάλυση που ακολουθεί η ένταση του μαγνητικού πεδίου (πέραν του γήινου) στο οποίο βρίσκεται η πυξίδα έχει μέτρο ανάλογο της εφαπτομένης της γωνίας κατά την οποία εκτρέπεται η μαγνητική βελόνα από τον αρχικό της προσανατολισμό στη διεύθυνση Βορράς-Νότος.

Στοιχεία θεωρίας

Μια μαγνητική βελόνη ισορροπεί μέσα στο γήινο μαγνητικό πεδίο, προσανατολισμένη στη διεύθυνση Βορράς-Νότος. Αν ένα επιπλέον οριζόντιο μαγνητικό πεδίο δημιουργηθεί στην περιοχή της μαγνητικής βελόνας, αυτή αποκλίνει από τον αρχικό της προσανατολισμό, και ισορροπεί στη διεύθυνση του συνολικού οριζόντιου μαγνητικού πεδίου.



Εικόνα 1 : Η μαγνητική βελόνη προσανατολίζεται στη διεύθυνση του συνολικού οριζόντιου μαγνητικού πεδίου

Το συνολικό οριζόντιο μαγνητικό πεδίο ισούται με το διανυσματικό άθροισμα του επιπλέον μαγνητικού πεδίου \vec{B}_α και της οριζόντιας συνιστώσας \vec{B}_Γ του γήινου μαγνητικού πεδίου (Εικόνα 1), οπότε:

$$\varepsilon\varphi\theta = \frac{B_\alpha}{B_\Gamma} \Rightarrow B_\alpha = B_\Gamma \varepsilon\varphi\theta$$

Αν το επιπλέον μαγνητικό πεδίο \vec{B}_α είναι το πεδίο στην κεντρική περιοχή ενός σωληνοειδούς πηνίου, έντασης $B_\alpha = \mu_0 n I$, τελικά παίρνουμε:

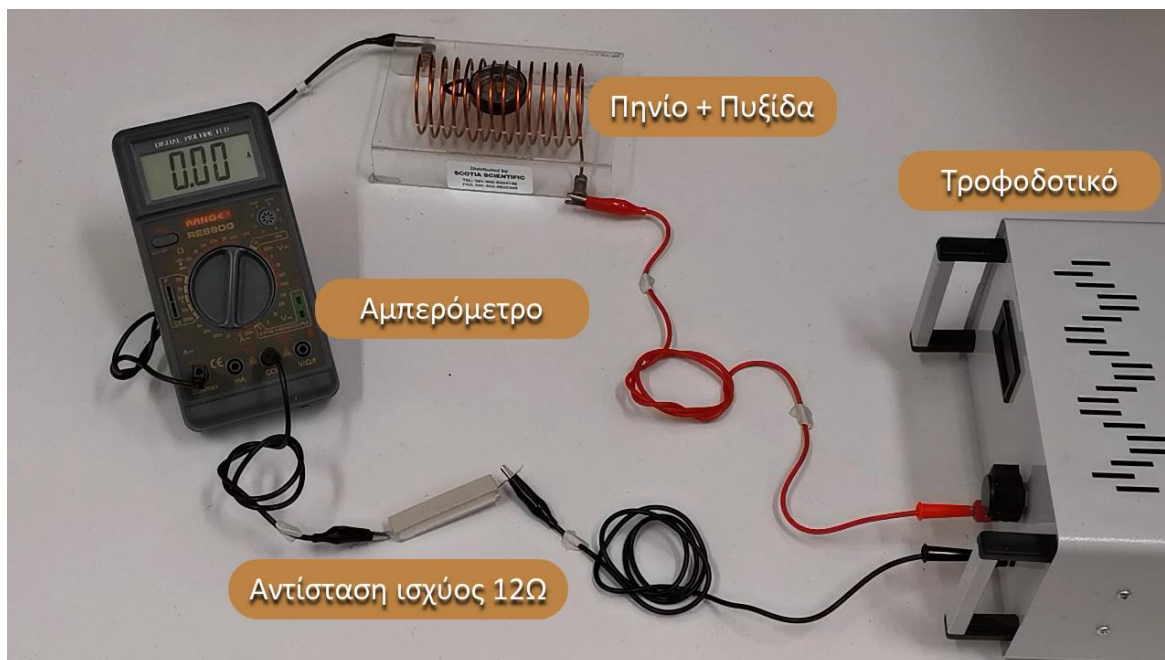
$$I = \left(\frac{B_\Gamma}{\mu_0 n} \right) \varepsilon\varphi\theta \quad (1)$$

Δηλαδή με βάση το θεωρητικό μας μοντέλο, η γραφική παράσταση $I = f(\varepsilon\varphi\theta)$ θα είναι ευθεία γραμμή με κλίση $\lambda = \frac{B_\Gamma}{\mu_0 n}$.

Πειραματική διάταξη

Για την εκτέλεση του πειράματος χρησιμοποιήσαμε:

- Πηνίο σε βάση με $N = 10$ σπείρες κατανεμημένες ομοιόμορφα σε μήκος $L=10,5$ cm.
- Εργαστηριακό τροφοδοτικό χαμηλής τάσης.
- Ηλεκτρονικό πολύμετρο σε λειτουργία αμπερομέτρου (20A).
- Μια ωμική αντίσταση 12Ω , ισχύος 20 W.
- Μικρή πυξίδα και κατάλληλα καλώδια σύνδεσης.



Εικόνα 2 : Η πειραματική διάταξη

Προεργασία

Τοποθετούμε την πυξίδα στο εσωτερικό του πηνίου και μετά προσανατολίζουμε τη βάση με το πηνίο, ώστε η μαγνητική βελόνη να τοποθετηθεί κάθετα στον άξονα του πηνίου.

Η διάταξη πρέπει να τοποθετηθεί μακριά από σιδηρομαγνητικά υλικά που μπορεί να επηρεάσουν τις ενδείξεις της πυξίδας.

Κάθε νέα ένδειξη από την πυξίδα θα πρέπει να λαμβάνεται αφού προηγουμένως χτυπήσουμε ελαφρά την πλαστική βάση του πηνίου με το μολύβι μας, ώστε να οριστικοποιηθεί η θέση της μαγνητικής βελόνας.

Προβλήματα

Το πηνίο που χρησιμοποιούμε πολύ δύσκολα θα μπορούσε να θεωρηθεί «σωληνοειδές», αφού ούτε το μήκος του είναι πολύ μεγαλύτερο από τη διάμετρό του, ούτε οι σπείρες του είναι σφιχτά τυλιγμένες η μία με την άλλη. Γι' αυτό άλλωστε και η μέθοδος υπολογίζει γενικά υψηλότερες τιμές για το γήινο μαγνητικό πεδίο, αν και δεν επηρεάζεται η γραμμική εξάρτηση της έντασης του παραγόμενου μαγνητικού πεδίου από την ένταση του ρεύματος.

Επιπλέον πρόβλημα είναι η αβεβαιότητα στη μέτρηση της απόκλισης της μαγνητικής βελόνας, που είναι ίση με $\pm 1^\circ$.

Εργαστηριακή άσκηση

Σκοπός της εργαστηριακής άσκησης είναι να επιβεβαιώσουμε πως το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου που παράγεται στην κεντρική περιοχή ενός «σωληνοειδούς» πηνίου είναι ανάλογο του ρεύματος που το διαρρέει. Ως παράπλευρο αποτέλεσμα θα υπολογίσουμε την οριζόντια συνιστώσα του γήινου μαγνητικού πεδίου.

Πειραματική διαδικασία

1. Ως πρώτη μέτρηση παίρνουμε την τιμή μηδέν μοίρες (0°) για την απόκλιση της μαγνητικής βελόνης, όταν το πηνίο δε διαρρέεται από ρεύμα.
2. Τροφοδοτούμε το πηνίο με ηλεκτρικό ρεύμα και ρυθμίζουμε την τάση στο τροφοδοτικό, ώστε η ένταση του ρεύματος να πάρει την τιμή $I = 0,15 \text{ A}$.
3. Καταγράφουμε τη γωνία εκτροπής θ_1 της μαγνητικής βελόνης, η οποία συμπίπτει με τη διεύθυνση του συνολικού οριζόντιου μαγνητικού πεδίου στην περιοχή της πυξίδας.
4. Αντιστρέφουμε στη συνέχεια τη φορά του ρεύματος στο πηνίο. Αν χρειάζεται ξαναρυθμίζουμε την τάση, ώστε το ρεύμα να έχει σταθερή τιμή $I = 0,15 \text{ A}$. Η βελόνη αποκλίνει τώρα προς την αντίθετη κατεύθυνση και έστω θ_2 η νέα τιμή της γωνίας εκτροπής. Καταγράφουμε και αυτή την τιμή.

Αυξάνοντας την ένταση του ρεύματος επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία συνολικά πέντε φορές. Να μεταφέρετε τα πειραματικά δεδομένα από το βίντεο της άσκησης



<https://youtu.be/vBSsrs14CJ4>



<https://youtu.be/vBSsrs14CJ4>

στον πίνακα των πειραματικών δεδομένων.

Πίνακας : Πειραματικά δεδομένα

α/α	I (A)	Εκτροπή μαγνητικής βελόνας		Απόκλιση θ ($^\circ$)	εφθ
		θ_1 ($^\circ$)	θ_2 ($^\circ$)		
1	0	-	-	0	0
2					
3					
4					
5					
6					
7					

Εργασία

- α. Αν θ_0 είναι η ένδειξη της πυξίδας όταν το πηνίο δε διαρρέεται από ρεύμα, τότε για κάθε μια από τις γωνίες εκτροπής η απόκλιση της μαγνητικής βελόνας υπολογίζεται ως

$(\theta_1 - \theta_o)$ και $(\theta_o - \theta_2)$, υπό την προϋπόθεση πως $\theta_1 > \theta_o > \theta_2$. Η τελική τιμή της απόκλισης είναι η μέση τιμή των επιμέρους αποκλίσεων, δηλαδή:

$$\theta = \frac{(\theta_1 - \theta_o) + (\theta_o - \theta_2)}{2} \quad \text{ή} \quad \theta = \frac{(\theta_1 - \theta_2)}{2}$$

- β. Να συμπληρώσετε στον πίνακα των πειραματικών δεδομένων την τιμή της γωνίας απόκλισης (θ) και την τιμή της εφαπτομένης της, και να σχεδιάσετε σε μιλιμετρέ χαρτί τη γραφική παράσταση $I = f(\varepsilon\varphi\theta)$.
- γ. Φανερώνει η γραφική παράσταση που μόλις σχεδιάσατε τη γραμμική εξάρτηση των πειραματικών σημείων $(I, \varepsilon\varphi\theta)$; Διατυπώστε το συμπέρασμά σας για τη σχέση μεταξύ μαγνητικού πεδίου του πηνίου και της έντασης του ρεύματος που τον διαρρέει.
- δ. Σχεδιάστε την ευθεία που κατά τη γνώμη σας προσεγγίζει καλύτερα τα πειραματικά δεδομένα, υπολογίστε την κλίση της και από αυτή την τιμή της οριζόντιας συνιστώσας του γήινου μαγνητικού πεδίου στην περιοχή σας.
Ελέγξτε την ακρίβεια του υπολογισμού σας με βάση την τιμή της οριζόντιας συνιστώσας του γήινου μαγνητικού πεδίου που θα βρείτε είτε από βιβλιογραφικές πηγές, είτε με τη χρήση άλλης κατάλληλης εφαρμογής για το κινητό τηλέφωνο (π.χ. Physics Toolbox).
- ε. Λεπτομερείς υπολογισμοί για το συγκεκριμένο πηνίο, έδειξαν ότι η πραγματική τιμή του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο του, είναι ίση με το 87% της τιμής που υπολογίζεται θεωρητικά από τη σχέση $B_\alpha = \mu_o nI$ που ισχύει για σωληνοειδές, θεωρητικά απείρου μήκους. Με βάση αυτό το στοιχείο και σύμφωνα με την προηγούμενη επεξεργασία των πειραματικών μετρήσεων υπολογίστε ξανά την τιμή της οριζόντιας συνιστώσας του μαγνητικού πεδίου της Γης.