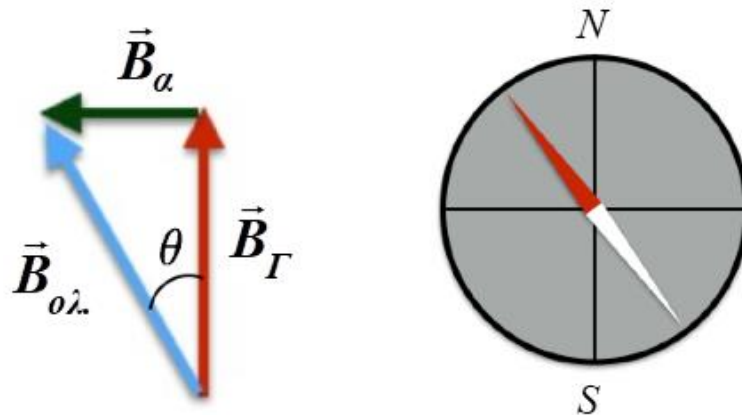


## Το μαγνητικό πεδίο ευθύγραμμου ρευματοφόρου αγωγού

Στις επόμενες εργαστηριακές ασκήσεις για τη μέτρηση της έντασης του μαγνητικού πεδίου χρησιμοποιούμε μια εφαρμογή τύπου «πυξίδα», που διαθέτουν σήμερα τα περισσότερα σύγχρονα κινητά τηλέφωνα. Η χρήση μιας τέτοιας εφαρμογής απαιτεί το κινητό τηλέφωνο να είναι εφοδιασμένο με κατάλληλο αισθητήρα μέτρησης των τριών συνιστωσών του μαγνητικού πεδίου στην περιοχή του κινητού. Με αυτές τις μετρήσεις η εφαρμογή προσδιορίζει το μέτρο και τον προσανατολισμό του μαγνητικού πεδίου στην περιοχή του κινητού, και επιπλέον απεικονίζει στην οθόνη του τηλεφώνου τον προσανατολισμό που θα αποκτούσε μια μαγνητική βελόνη αν βρισκόταν μέσα σ' αυτό το πεδίο.

### Στοιχεία θεωρίας

Μια μαγνητική βελόνη ισορροπεί μέσα στο γήινο μαγνητικό πεδίο, προσανατολισμένη στη διεύθυνση Βορράς-Νότος. Σε μικρή απόσταση πάνω από τη μαγνητική βελόνη και στο ίδιο κατακόρυφο επίπεδο με αυτή βρίσκεται οριζόντιος αγωγός, παραλληλισμένος με τη βελόνη. Όταν ο αγωγός διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, η μαγνητική βελόνη αποκλίνει από τον αρχικό της προσανατολισμό, και ισορροπεί στη διεύθυνση του συνολικού οριζόντιου μαγνητικού πεδίου.



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

Το συνολικό οριζόντιο μαγνητικό πεδίο ισούται με το διανυσματικό άθροισμα του μαγνητικού πεδίου  $\vec{B}_\alpha$  που παράγεται από τον ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό και της οριζόντιας συνιστώσας  $\vec{B}_G$  του γήινου μαγνητικού πεδίου (Εικόνα 4). Ισχύει:

$$\varepsilon\varphi\theta = \frac{B_\alpha}{B_G} \Rightarrow B_\alpha = B_G \varepsilon\varphi\theta \text{ και επειδή } B_\alpha = \frac{\mu_o I}{2\pi r}, \text{ τελικά παίρνουμε:}$$

$$r = \left( \frac{\mu_o I}{2\pi B_G} \right) \frac{1}{\varepsilon\varphi\theta} \quad (1)$$

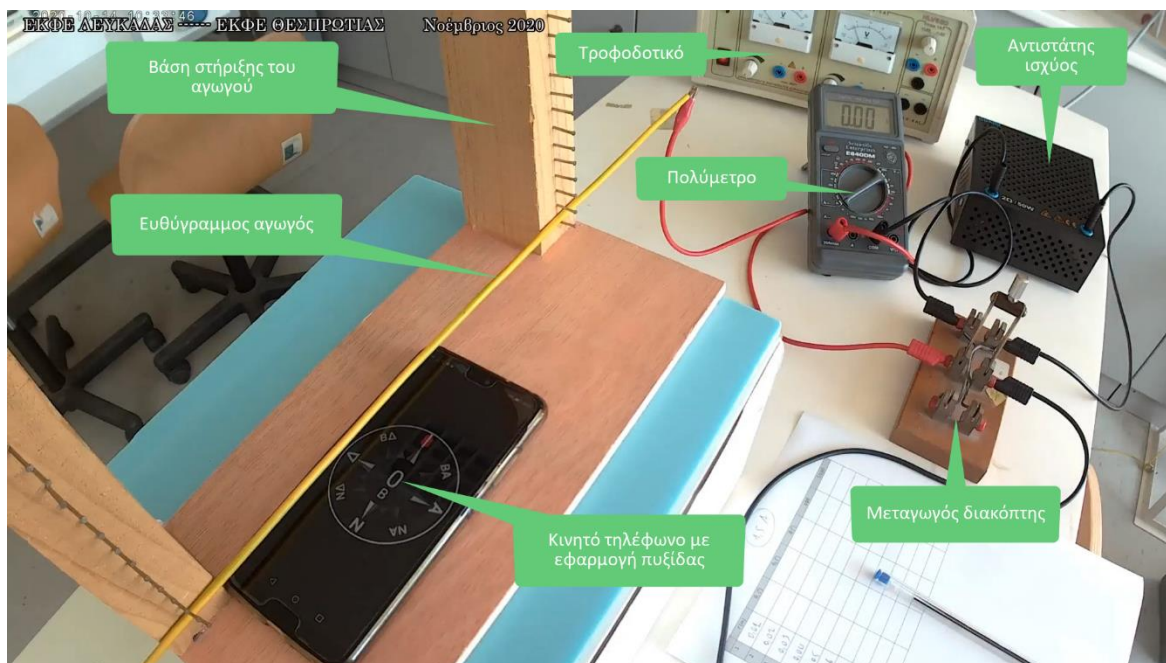
Δηλαδή στην περίπτωση που το μέτρο της έντασης του πεδίου που παράγεται από το ρευματοφόρο αγωγό είναι αντίστροφα ανάλογη της απόστασης από τον αγωγό, η γραφική παράσταση

$$r = f \left( \frac{1}{\varepsilon\varphi\theta} \right) \text{ θα είναι ευθεία γραμμή με κλίση } \lambda = \frac{\mu_o I}{2\pi B_G}.$$

### Πειραματική διάταξη

Για την εκτέλεση των πειραμάτων θα χρειαστούμε:

- Ευθύγραμμο χάλκινο αγωγό διαμέτρου περίπου 1-2 mm και μήκους τουλάχιστον 50 cm.
- Εργαστηριακό τροφοδοτικό χαμηλής τάσης.
- Ηλεκτρονικό πολύμετρο σε λειτουργία αμπερομέτρου (20A).
- Ένα ωμικό αντιστάτη 2Ω, ισχύος τουλάχιστον 15 W.
- «Έξυπνο» κινητό τηλέφωνο, που διαθέτει στο υλικό του αισθητήρα μαγνητικού πεδίου και είναι εφοδιασμένο με εφαρμογή Compass (π.χ. Compass της Keuwlsoft).
- Μεταλλική μετροταινία.
- Κατάλληλα καλώδια σύνδεσης.
- Ξύλινη βάση για την τοποθέτηση του ευθύγραμμου αγωγού σε συγκεκριμένες αποστάσεις πάνω από τη «μαγνητική βελόνη» στην οθόνη του κινητού.
- Μεταγωγό διακόπτη, για την εύκολη αλλαγή της φοράς του ρεύματος.



Εικόνα 2 : Η πειραματική διάταξη

### Προεργασία

Κατ' αρχάς η διάταξη πρέπει να τοποθετηθεί μακριά από σιδηρομαγνητικά υλικά που μπορεί να επηρεάσουν τις ενδείξεις της πυξίδας. Μετά με τη βοήθεια της πυξίδας του κινητού τηλεφώνου προσανατολίζουμε τη διάταξη ώστε ο αγωγός να έχει τη διεύθυνση Βορράς-Νότος. Τροφοδοτούμε τη διάταξη με ηλεκτρικό ρεύμα και ρυθμίζουμε την τάση στο τροφοδοτικό, ώστε η ένταση του ρεύματος να πάρει την τιμή  $I = 1,50 \text{ A}$ . Μετακινούμε με μικρές κινήσεις το κινητό τηλέφωνο παράλληλα προς τον εαυτό του (και κάθετα προς τον αγωγό), μέχρι να βρούμε τη θέση μέγιστης απόκλισης της μαγνητικής βελόνης από τον αρχικό της προσανατολισμό (διεύθυνση Β – Ν). Τότε είμαστε βέβαιοι πως ο αισθητήρας μαγνητικού πεδίου είναι ακριβώς από κάτω από τον ευθύγραμμο αγωγό (στο ίδιο κατακόρυφο επίπεδο), και συνεπώς το μαγνητικό πεδίο του αγωγού είναι οριζόντιο στη θέση του αισθητήρα.

1<sup>η</sup> Εργαστηριακή άσκηση

<https://youtu.be/jttuElm2wCk>



**Σκοπός** της εργαστηριακής άσκησης είναι να επιβεβαιώσουμε πως το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου που παράγεται από ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό μεγάλου μήκους είναι αντίστροφα ανάλογο της απόστασης από τον αγωγό. Ως παράπλευρο αποτέλεσμα θα υπολογίσουμε την οριζόντια συνιστώσα του γήινου μαγνητικού πεδίου, καθώς και τη θέση του αισθητήρα μαγνητικού πεδίου μέσα στο κινητό τηλέφωνο.

**Πειραματική διαδικασία**

1. Μετράμε την κάθετη απόσταση  $r$  από το μέσο του πάχους του αγωγού μέχρι την ξύλινη βάση και καταγράφουμε το αποτέλεσμα.
2. Τροφοδοτούμε τη διάταξη με ηλεκτρικό ρεύμα και ρυθμίζουμε την τάση στο τροφοδοτικό, ώστε η ένταση του ρεύματος όπως τη διαβάζουμε στο ηλεκτρονικό πολύμετρο να πάρει την τιμή  $I = 1,50 \text{ A}$ .
3. Καταγράφουμε τη γωνία εκτροπής  $\theta_1$  της μαγνητικής βελόνης που απεικονίζεται στην οθόνη του κινητού, και η οποία όπως έχουμε ήδη πει συμπίπτει με τη διεύθυνση του συνολικού οριζόντιου μαγνητικού πεδίου στην περιοχή του αισθητήρα μαγνητικού πεδίου του κινητού μας.
4. Αντιστρέφουμε στη συνέχεια τη φορά του ρεύματος στην αγωγή (εναλλάσσοντας μεταξύ τους τα δύο καλώδια που συνδέονται στο τροφοδοτικό). Αν χρειάζεται ξαναρυθμίζουμε την τάση ώστε το ρεύμα να έχει σταθερή τιμή  $I = 1,50 \text{ A}$ . Η βελόνη αποκλίνει τώρα προς την αντίθετη κατεύθυνση και έστω  $\theta_2$  η νέα τιμή της γωνίας εκτροπής. Καταγράφουμε και αυτή την τιμή. Η τελική τιμή  $\theta$  της γωνίας εκτροπής υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των γωνιών  $\theta_1$  και  $\theta_2$ .

Μετακινώντας τον ευθύγραμμο αγωγό σε μεγαλύτερη απόσταση από το κινητό επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία ακόμη πέντε φορές. Τέλος να μεταφέρετε τα πειραματικά δεδομένα από το βίντεο της άσκησης στον Πίνακα των πειραματικών δεδομένων.

Πίνακας : Πειραματικά δεδομένα

$\alpha/\alpha$	$r \text{ (m)}$	$\theta_1 \text{ (}^\circ\text{)}$	$\theta_2 \text{ (}^\circ\text{)}$	$\theta \text{ (}^\circ\text{)}$	$\epsilon\phi\theta$	$1/\epsilon\phi\theta$
1						
2						
3						
4						
5						
6						

**Εργασία**

- α. Να συμπληρώσετε τις τιμές και στις υπόλοιπες στήλες του Πίνακα πειραματικών δεδομένων, και να σχεδιάσετε σε μιλιμετρέ χαρτί τη γραφική παράσταση  $r = f\left(\frac{1}{\varepsilon\varphi\theta}\right)$ .
- β. Φανερώνει η γραφική παράσταση που μόλις σχεδιάσατε τη γραμμική εξάρτηση των πειραματικών σημείων  $\left(r, \frac{1}{\varepsilon\varphi\theta}\right)$ ; Διατυπώστε το συμπέρασμά σας για τη σχέση μεταξύ μαγνητικού πεδίου του ευθύγραμμου ρευματοφόρου αγωγού και της απόστασης από αυτόν.
- γ. 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).
- δ. Με τη βοήθεια του EXCEL, εύκολα μπορείτε να διαπιστώσετε πως η καλύτερη ευθεία προσαρμογής στα πειραματικά δεδομένα δε διέρχεται από την αρχή των αξόνων. Που νομίζετε ότι οφείλεται αυτό; Στον υπολογισμό ποιου μεγέθους θα μπορούσε να είναι χρήσιμη αυτή η παρατήρηση;

## 2<sup>η</sup> Εργαστηριακή άσκηση



<https://youtu.be/gQOFM6E4GDY>



<https://youtu.be/gQOFM6E4GDY>

**Σκοπός** αυτής της εργαστηριακής άσκησης είναι να επιβεβαιώσουμε πως το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου που παράγεται από ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό μεγάλου μήκους είναι ανάλογο της έντασης του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό. Ως παράπλευρο αποτέλεσμα θα υπολογίσουμε την οριζόντια συνιστώσα του γήινου μαγνητικού πεδίου.

### Θεωρητικά στοιχεία

Αναδιατάσσοντας τη σχέση (1) παίρνουμε:

$$I = \left( \frac{2\pi r B_{\Gamma}}{\mu_0} \right) \varepsilon \varphi \theta \quad (2)$$

Είναι δηλαδή φανερό πως στην περίπτωση που το μέτρο της έντασης του πεδίου που παράγεται από το ρευματοφόρο αγωγό είναι ανάλογο της έντασης του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό (όπως προβλέπει το θεωρητικό μας μοντέλο), η γραφική παράσταση  $I = f(\varepsilon \varphi \theta)$  θα είναι ευθεία

γραμμή με κλίση  $\lambda = \frac{2\pi r B_{\Gamma}}{\mu_0}$ .

### Πειραματική διάταξη

Θα χρησιμοποιήσουμε την πειραματική διάταξη της προηγούμενης εργαστηριακής άσκησης (όπως φαίνεται στην Εικόνα 2).

### Πειραματική διαδικασία

Εκτελούμε τις ρυθμίσεις που περιγράφονται στην παράγραφο «Προετοιμασία» και μετά τοποθετούμε τον ευθύγραμμο αγωγό στη βάση στήριξης και σε απόσταση  $r = 0,036 \text{ m}$  από την ξύλινη βάση της διάταξης. Στη συνέχεια:

1. Τροφοδοτούμε τη διάταξη με ηλεκτρικό ρεύμα και ρυθμίζουμε την τάση στο τροφοδοτικό, ώστε η ένταση του ρεύματος όπως τη διαβάζουμε στο ηλεκτρονικό πολύμετρο να πάρει την τιμή  $I = 0,5 \text{ A}$ .
2. Σημειώνουμε στον Πίνακα των πειραματικών δεδομένων της άσκησης τη γωνία εκτροπής  $\theta_1$  της μαγνητικής βελόνης που απεικονίζεται στην οθόνη του κινητού, και η οποία όπως έχουμε ήδη πει συμπίπτει με τη διεύθυνση του συνολικού οριζόντιου μαγνητικού πεδίου στην περιοχή του αισθητήρα μαγνητικού πεδίου του κινητού μας.
3. Αντιστρέφουμε στη συνέχεια τη φορά του ρεύματος στην αγωγή. Αν χρειάζεται ξαναρυθμίζουμε την τάση ώστε το ρεύμα να έχει την ίδια σταθερή τιμή  $I = 0,5 \text{ A}$ . Η βελόνη αποκλίνει τώρα προς την αντίθετη κατεύθυνση και έστω  $\theta_2$  η νέα τιμή της γωνίας εκτροπής. Σημειώνουμε και αυτή την τιμή στην αντίστοιχη στήλη του Πίνακα των πειραματικών δεδομένων. Η τελική τιμή  $\theta$  της γωνίας εκτροπής υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των γωνιών  $\theta_1$  και  $\theta_2$ .

Διατηρώντας τον ευθύγραμμο αγωγό στην ίδια απόσταση από το κινητό αυξάνουμε την τάση στο

τροφοδοτικό, ώστε η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό να αυξηθεί κατά  $0,5A$ , και επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία μέχρι να πάρουμε συνολικά δέκα (10) ζεύγη μετρήσεων.

Τέλος, να μεταφέρετε τα πειραματικά δεδομένα από το βίντεο της άσκησης στον Πίνακα των πειραματικών δεδομένων.

Πίνακας : Πειραματικά δεδομένα

α/α	I (A)	$\theta_1$ (°)	$\theta_2$ (°)	$\theta$ (°)	$\varepsilon\phi\theta$
1	0,00	0	0	0	0
2	0,50				
3	1,00				
4	1,50				
5	2,00				
6	2,50				
7	3,00				
8	3,50				
9	4,00				
10	4,50				

### Εργασία

- Να συμπληρώσετε τις τιμές και στις υπόλοιπες στήλες του Πίνακα με τα πειραματικά δεδομένα, και να σχεδιάσετε σε μιλιμετρέ χαρτί τη γραφική παράσταση  $I = f(\varepsilon\phi\theta)$ .
- Φανερώνει η γραφική παράσταση που μόλις σχεδιάσατε τη γραμμική εξάρτηση των πειραματικών σημείων ( $I, \varepsilon\phi\theta$ ); Διατυπώστε το συμπέρασμά σας για τη σχέση μεταξύ μαγνητικού πεδίου του ευθύγραμμου ρευματοφόρου αγωγού και της έντασης του ρεύματος που τον διαρρέει.
- 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. Για μεγαλύτερη ακρίβεια θα χρειαστεί να εκτιμήσετε την απόσταση του αισθητήρα μαγνητικού πεδίου από τον ευθύγραμμο αγωγό (γιατί άραγε;). 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).