

- Το Μαγνητικό πεδίο σαν διάνυσμα
- Μέτρηση οριζόντιας συνιστώσας του μαγνητικού πεδίου της γης

## A. Το Μαγνητικό πεδίο σαν διάνυσμα

Το μαγνητικό πεδίο περιγράφεται με το μέγεθος που αποκαλούμε ένταση μαγνητικού πεδίου ή μαγνητική επαγωγή και το συμβολίζουμε με **B**. Συνήθως για να δηλώσουμε το μαγνητικό πεδίο που έχει ένταση **B**, χρησιμοποιούμε την έκφραση "το μαγνητικό πεδίο **B**".

Επίσης είναι γνωστό πως το μαγνητικό πεδίο χαρακτηρίζεται από μέτρο, διεύθυνση και φορά.

Όμως δυο πεδία που δρουν ταυτόχρονα φέρνουν το αποτέλεσμα που προκύπτει από το διανυσματικό τους άθροισμα; \*

Θα προσπαθήσουμε πειραματικά να απαντήσουμε στο παραπάνω ερώτημα.

### 1. Πρόσθεση δύο μαγνητικών πεδίων με ίσο μέτρο.

Το αποτέλεσμα της δράσης δύο τέτοιων πεδίων, σε κάποιο σημείο του χώρου, θα ανιχνεύσουμε με μια μικρή μαγνητική βελόνα, που τοποθετείται με τέτοιο τρόπο, ώστε να μπορεί να περιστρέφεται γύρο από κατακόρυφο άξονα. Είναι γνωστό πως, σε οποιοδήποτε σημείο του χώρου, υπάρχει πάντα το μαγνητικό πεδίο της γης. Έτσι θα θεωρήσουμε το πεδίο της γης σαν ένα από τα δυο πεδία που θα προσθέσουμε. Εμείς με κάποιο τρόπο πρέπει να δημιουργήσουμε ένα πεδίο ίσου μέτρου με το πεδίο της γης (ουσιαστικά ίσου μέτρου με την οριζόντια συνιστώσα του γήινου μαγνητικού πεδίου). Για να το πετύχουμε θα χρησιμοποιήσουμε ένα αγωγίμο κυκλικό βρόχο. Όταν ο κυκλικός βρόχος διαρρέετε από ρεύμα, δημιουργεί μαγνητικό πεδίο, που στο κέντρο του, έχει μέτρο  $B_{κ,β} = κ \frac{2π \cdot I}{R}$ , είναι αρκετά ομογενές και με διεύθυνση, τη διεύθυνση του άξονα του.

1) Τοποθετούμε στο κέντρο του βρόχου μια μικρή μαγνητική βελόνα και όταν το ρεύμα που διαρρέει το βρόχο είναι μηδενικό, ευθυγραμμίζουμε τη διεύθυνση του άξονα του βρόχου με τη διεύθυνση της βελόνας. Αν διαλέξουμε τέτοια φορά για το ρεύμα, που διαρρέει το βρόχο, ώστε το πεδίο που δημιουργείται να έχει αντίθετη φορά από το πεδίο της γης, με σταδιακή αύξηση της τιμής του ρεύματος, βρίσκουμε πως υπάρχει μια τιμή, για το ρεύμα, που η βελόνα "ελευθερώνεται" και ισορροπεί σε οποιαδήποτε διεύθυνση. Δεν υπάρχει δηλαδή δύναμη για να την ευθυγραμμίσει προς μια καθορισμένη κατεύθυνση. Η βελόνα δείχνει ότι το πεδίο στο κέντρο του βρόχου είναι μηδέν, το πεδίο της γης έχει ισορροπηθεί από ένα αντίθετο πεδίο που οφείλεται στο ρεύμα του βρόχου:

**Δύο πεδία ίσου μέτρου με αντίθετες κατευθύνσεις έχουν άθροισμα μηδέν.**

1) Ας προσθέσουμε αυτά τα δύο ίσα πεδία κατά ορθή μεταξὺ τους γωνία. Περιστρέφουμε το βρόχο γύρο από μια κατακόρυφη διάμετρο του έτσι, ώστε ο άξονας του να στραφεί κατά  $90^\circ$ . Χωρίς να αλλάξει η τιμή του ρεύματος που διαρρέει το

βρόχο, βρίσκουμε ότι η βελόνα προσανατολίζεται σε κατεύθυνση  $45^\circ$  ως προς την κατεύθυνση του πεδίου της γης.

**Παρατήρηση που ενισχύει την άποψη ότι τα μαγνητικά πεδία προστίθενται σαν διανύσματα.**

## 2. Πρόσθεση δύο μαγνητικών πεδίων με διαφορετικό μέτρο.

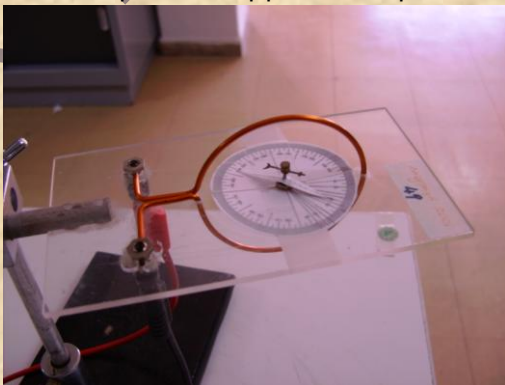
Ας δοκιμάσουμε ξανά. Δεχόμαστε πως η ένταση  $B$  του μαγνητικού πεδίου του βρόχου είναι ανάλογη με το ρεύμα που τον διαρρέει. Χωρίς να αλλάξουμε τίποτε στη διάταξη μας αρχίζουμε να αυξάνουμε το ρεύμα μέχρι να πετύχουμε το διπλασιασμό του. Παρατηρούμε ότι με το διπλασιασμό του ρεύματος η γωνία αυξάνει και από τις  $45^\circ$  σταματά λίγο πιο πάνω από στις  $63^\circ$ , όπως ακριβώς προβλέπεται από την πρόσθεση κάθετων διανυσμάτων με μήκη που έχουν λόγο  $2:1$ . Τα πειραματικά αποτελέσματα λοιπόν, είναι εκείνα που θα μας οδηγήσουν στο συμπέρασμα πως αν δυο μαγνητικά πεδία δρουν ταυτόχρονα σε κάποιο σημείο του χώρου, το αποτέλεσμα τους ισοδυναμεί με το διανυσματικό τους άθροισμα.

### Όργανα – συσκευές

1. Χρησιμοποιούμε τη συσκευή φάσματος μαγνητικού πεδίου κυκλικού αγωγού ( ΗΛ. 325.0), που αποτελείται από κυκλικό βρόχο από σύρμα εμαγέ πάχους  $2,5 \text{ mm}$ , μιας σπείρας διαμέτρου  $7 \text{ cm}$ , που στηρίζεται σε διαφανή πλάκα που φέρει μεταλλική ράβδο για τη στήριξή της σε ορθοστάτη και ακροδέκτες για παροχή ηλεκτρικού ρεύματος. Πάνω στη διαφανή πλάκα και στο κέντρο του βρόχου υπάρχει μια ακίδα για στήριξη μιας μικρής μαγνητικής βελόνας. Επίσης πάνω στη διαφανή πλάκα, εμείς προσθέσαμε, χάρτινο κυκλικό δίσκο, βαθμολογημένο από  $0 - 360^\circ$ /μοίρα, με διάμετρο λίγο μικρότερη από εκείνη του κυκλικού βρόχου. Το κέντρο του δίσκου και του βρόχου συμπίπτουν, τα σημεία  $0 - 180$  της κλίμακας συμπίπτουν με τα σημεία τομής του βρόχου με τη διαφανή πλάκα. ( βλέπε εικόνα)
2. μαγνητική βελόνα
3. Ορθοστάτης
4. Τροφοδοτικό DC  $0 - 25 \text{ V}$
5. Αμπερόμετρο DC  $20 \text{ Amax}$
6. Ροοστάτης  $20\Omega$ ,  $3^A$
7. Διακόπτης
8. Καλώδια.

### Πειραματική διαδικασία

1. Στερέωσε το βρόχο σε ορθοστάτη, ώστε το επίπεδό του να είναι κατακόρυφο.



Τοποθέτησε τη μικρή βελόνα πάνω στην ακίδα, που υπάρχει στο κέντρο του και περιστρέφοντας τον ορθοστάτη φέρε το επίπεδο του βρόχου κάθετο στη διεύθυνση της βελόνας ( του μαγνητικού πεδίου της  $G_{\eta}$ ).

2. Σύνδεσε σε σειρά μέσω διακόπτη το βρόχο, το αμπερόμετρο συνεχούς και τον ροοστάτη με το τροφοδοτικό συνεχούς τάσης. Πρόσεξε την συναρμολόγηση,



ώστε το ρεύμα στο βρόχο να έχει τέτοια φορά, που το πεδίο του βρόχου να έχει αντίθετη κατεύθυνση από το πεδίο της γης.

3. Με το διακόπτη ανοικτό (off) ρύθμισε, την τάση στο τροφοδοτικό περίπου στα 5V και την αντίσταση του ροοστάτη στη μεγαλύτερή της τιμή.
4. Κλείσε τον διακόπτη (on) και μετακινώντας τον δρομέα\*\* του ροοστάτη, ρύθμισε το ρεύμα, ώστε η μαγνητική βελόνα να "ελευθερωθεί" ( να ισορροπεί δηλαδή σε οποιαδήποτε θέση)

*Η τιμή του ρεύματος που "ελευθερώνεται" η βελόνα είναι:  $I_1 = \dots\dots A$*

5. Άνοιξε το διακόπτη (off) και χωρίς καμιά αλλαγή στο κύκλωμα, φέρε το επίπεδο του βρόχου παράλληλο στη διεύθυνση της βελόνας, έτσι που η διεύθυνση του πεδίου στο βρόχο να σχηματίζει με το πεδίο της γης γωνία  $\pi/2$ . Κλείσε τον διακόπτη (on)

*α) Πως προσανατολίζεται η μαγνητική βελόνα ;  
( έλεγξε αν το ρεύμα έχει την ίδια περίπου τιμή, όπως και στην περίπτωση 4 )*

*β) Ποια είναι η τιμή της γωνίας  $\varphi$ , που σχηματίζει η διεύθυνση της βελόνας με το μαγνητικό πεδίο της γης;  $\varphi = \dots\dots\dots$*

*γ) Η τιμή που παίρνει η γωνία  $\varphi$  αποτελεί μια πρώτη ένδειξη ότι τα μαγνητικά πεδία προστίθενται σαν διανύσματα;*

6. Χωρίς να αλλάξεις τίποτε στην συνδεσμολογία, μετακίνησε το δρομέα του ροοστάτη, μέχρι να διπλασιαστεί η τιμή του ρεύματος.

*α) Καθώς αυξάνει η τιμή του ρεύματος, παρατήρησε ότι αλλάζει κατεύθυνση και η μαγνητική βελόνα, έτσι που και η τιμή της γωνίας  $\varphi$  να  $\dots\dots\dots$*

*β) Η νέα τιμή της γωνίας  $\varphi$  είναι αυτή που προβλέπει η σχετική θεωρία;*

*Δηλ.  $\varphi = \dots\dots\dots$  με ένταση ρεύματος  $I_2 = 2I_1 = \dots\dots A$*

7. Στην πειραματική διαδικασία 4, έχεις πετύχει, με κάποια τιμή ρεύματος, το πεδίο του κυκλικού βρόχου  $B_{κ.β}$  να είναι ίσο με το πεδίο της γης  $B_{γης}$  (οριζόντια συνιστώσα). Αυτό σου επιτρέπει να έχεις μια πρώτη ένδειξη για την τιμή της οριζόντιας συνιστώσας του πεδίου της γης. Υπολόγισε αυτή την τιμή.

\* 1. ΦΥΣΙΚΗ PSSC, έκτη έκδοση, Ίδρυμα Ευγενίδου: α. Είναι διάνυσμα η δύναμη; Για να απαντήσουμε σ' αυτή την ερώτηση, πρέπει να εξετάσουμε πως προστίθενται οι δυνάμεις, § 3-9. β. "Δεν είναι διάνυσμα οποιοδήποτε μέγεθος που έχει μέτρο, διεύθυνση και φορά, ας εξετάσουμε πειραματικά την πρόσθεση των μαγνητικών πεδίων. § 15.3

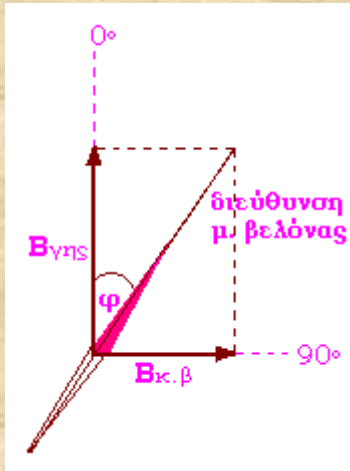
2. : το μακρόν ΦΥΣΙΚΗ προ του βραχέως ΔΙΔΑΣΚΩ, Α. Κασσέτας 1996, σελίς 72, εκδόσεις Σαβάλλας : ... για να απονεύσουμε σ' ένα μέγεθος τον τίτλο "διανυσματικό" πρέπει να ερευνήσουμε πειραματικά το "πως προστίθεται με ένα ομοειδές".

\*\* για να πετύχουμε καλύτερα αποτελέσματα, πλησιάζουμε την τιμή του ρεύματος μετακινώντας τον δρομέα του ροοστάτη και έπειτα μετακινούμε το μικρομετρικό κουμπί στο τροφοδοτικό μας.

## B. Μέτρηση οριζόντιας συνιστώσας του μαγνητικού πεδίου της γης

Για να έχουμε μια καλύτερη προσέγγιση στην τιμή της οριζόντιας συνιστώσας του μαγνητικού πεδίου της γης, θα δουλέψουμε πειραματικά, χρησιμοποιώντας την ίδια πειραματική διάταξη όπως και στο Α.

Προσανατολίζουμε έτσι τον κυκλικό βρόχο, ώστε το μαγνητικό του πεδίο να είναι κάθετο στο μαγνητικό πεδίο της γης. Στην περίπτωση αυτή η μαγνητική βελόνα προσανατολίζεται έτσι που σχηματίζει γωνία  $\varphi$  με το πεδίο της γης ( βλέπε σχήμα) .



$$\text{Τότε ισχύει. } \varepsilon\varphi\varphi = \frac{B_{\kappa,\beta}}{B_{\gamma\eta\varsigma}} \quad \text{ή} \quad \varepsilon\varphi\varphi = \kappa \frac{2\pi \cdot I}{B_{\gamma\eta\varsigma} \cdot R} \quad \text{ή}$$

$$\varepsilon\varphi\varphi = \kappa \frac{2\pi}{B_{\gamma\eta\varsigma} \cdot R} \cdot I \quad \text{δηλ η εφαπτομένη της γωνίας } \varphi \text{ είναι}$$

ανάλογη προς το ρεύμα  $I$ , που διαρρέει το βρόχο με σταθερή αναλογίας  $\frac{\kappa \cdot 2\pi}{B_{\gamma\eta\varsigma} \cdot R}$  όπου  $\kappa=10^{-7}$  μονάδες S.I και  $R$  η ακτίνα

του βρόχου σε  $m$ .

Είναι φανερό, ότι μεταβάλλοντας την τιμή του ρεύματος μπορούμε να σχεδιάσουμε το διάγραμμα  $\varepsilon\varphi\varphi = f(I)$ , να

προσδιορίσουμε την κλίση του  $\frac{\kappa \cdot 2\pi}{B_{\gamma\eta\varsigma} \cdot R}$  και από κει το  $B_{\gamma\eta\varsigma}$ .

(βλέπε και στην ιστοσελίδα του ΕΚΦΕ Κέρκυρας, <http://dide.ker.sch.gr/ekfe> στο Πειράματα/ Μέτρηση του μαγνητικού πεδίου της γης)

### Πειραματική διαδικασία

1. Στερέωσε το βρόχο σε ορθοστάτη, ώστε το επίπεδό του να είναι κατακόρυφο και παράλληλο στη διεύθυνση της μαγνητικής βελόνας. Τοποθέτησε τη μικρή βελόνα πάνω στην ακίδα. Έλεγξε αν η μύτη της βελόνας δείχνει την ένδειξη μηδέν ( στο βαθμολογημένο κυκλικό δίσκο που παίζει το ρόλο μοιρογνωμονίου). Ο άξονας του βρόχου είναι τώρα κάθετος στη βελόνα.
2. Σύνδεσε σε σειρά μέσω διακόπτη το βρόχο, το αμπερόμετρο συνεχούς και τον ροοστάτη με το τροφοδοτικό συνεχούς τάσης. Με το διακόπτη ανοικτό (off) ρύθμισε, την τάση στο τροφοδοτικό περίπου στα 12V και την αντίσταση του ροοστάτη στη μεγαλύτερή της τιμή.
3. Κλείσε τον διακόπτη (on) και μετακινώντας τον δρομέα του ροοστάτη, ρύθμισε το ρεύμα, ώστε η μαγνητική βελόνα να προσανατολιστεί δείχνοντας γωνία  $20^\circ$  και κατέγραψε την τιμή του ρεύματος στην αντίστοιχη στήλη (στήλη 4) του πίνακα I.
4. Αντίστρεψε την πολικότητα της πηγής και ρύθμισε ξανά το ρεύμα ( που έχει πάρει αρνητική τιμή), ώστε η βελόνα να δείχνει τώρα  $-20^\circ$  και κατέγραψε την τιμή του ρεύματος στην αντίστοιχη θέση (στήλη 4) του πίνακα I.
5. Συνέχισε την ίδια διαδικασία για να συμπληρώσεις τις τιμές του ρεύματος στον πίνακα I. Για να μην αλλάξεις συνέχεια την πολικότητα, μπορείς να πάρεις πρώτα τις τιμές του ρεύματος για τις θετικές γωνίες και μετά για τις αρνητικές.



6. Συμπλήρωσε τον πίνακα I με τις τιμές των εφαπτόμενων, στήλη 3 και σχεδίασε το διάγραμμα  $\text{εφ}\varphi = f(I)$ . Είναι μια ευθεία που περνάει από την αρχή των αξόνων;
7. Υπολόγισε την κλίση αυτής της ευθείας και απ' αυτήν την τιμή της οριζόντιας συνιστώσας του μαγνητικού πεδίου της γης.

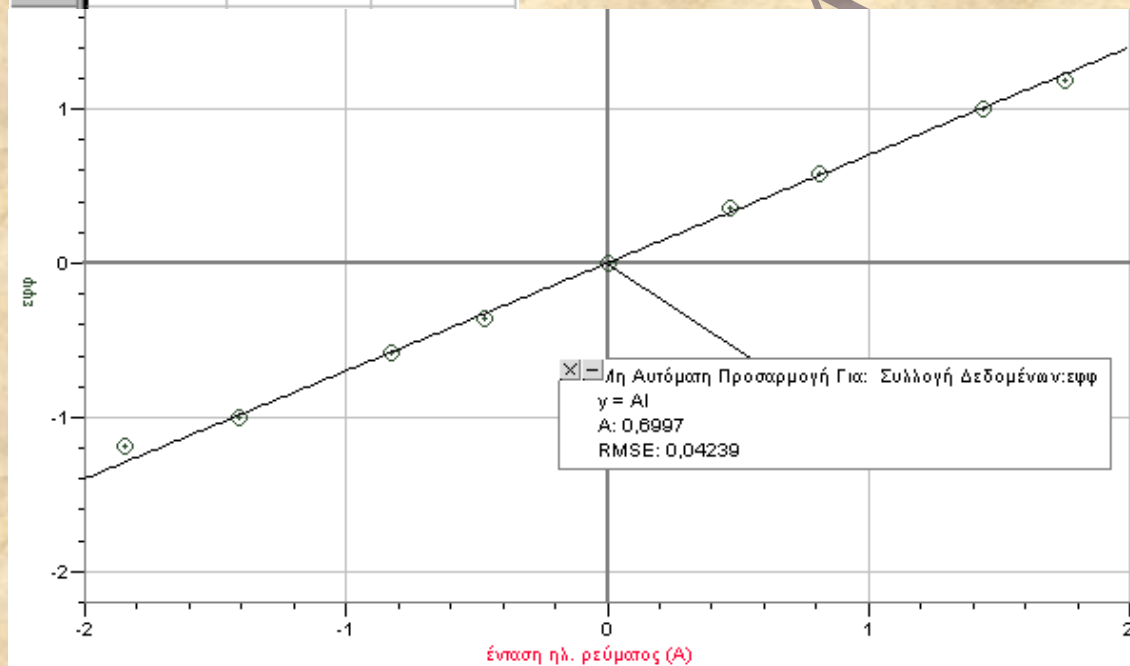
α/α	$\varphi$ σε $^{\circ}$	εφ $\varphi$	I σε A
1	-60		-
2	-50		-
3	-45		-
4	-30		-
5	-20		-
6	0		0
7	20		
8	30		
9	45		
10	50		
11	60		

ΠΙΝΑΚΑΣ I

Παρακάτω παραθέτουμε τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας που πραγματοποιήσαμε στο εκφε

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι

	γωνία (μοίρες)	εμφ	I (A)
1	-60,0	-1,732	-2,60
2	-50,0	-1,192	-1,85
3	-45,0	-1,000	-1,41
4	-30,0	-0,577	-0,83
5	-20,0	-0,364	-0,47
6	0,0	0,000	0,00
7	20,0	0,364	0,47
8	30,0	0,577	0,81
9	45,0	1,000	1,44
10	50,0	1,192	1,75
11	60,0	1,732	2,50
12			



**Υπολογισμοί**

Από το διάγραμμα φαίνεται ότι η κλίση είναι ίση με 0,6997 δηλ.  $\frac{\kappa \cdot 2\pi}{B_{\gamma\eta\varsigma} \cdot R} = 0,7$  από την παραπάνω σχέση προκύπτει  $B_{\gamma\eta\varsigma} = 256,30 \cdot 10^{-7} \text{ T}$  ή  $B_{\gamma\eta\varsigma} = 25,63 \mu\text{T}$ .

**γ. Κουρούκλης**