

ΖΥΓΟΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Επαλήθευση βασικών σχέσεων του ηλεκτρομαγνητισμού

A. ΣΤΟΧΟΙ

- Η εξοικείωση με τη δημιουργία μικρών βαρών από λεπτό σύρμα μετρώντας το μήκος του.
- Η εξοικείωση με τη ζύγιση μικρών μαζών.
- Η εξοικείωση με την οριζοντίωση σώματος αναρτημένου από δύο σημεία του, που βρίσκονται πάνω σε άξονα συμμετρίας του.
- Η εξοικείωση με τη χρήση τροφοδοτικού, σωληνοειδούς πηνίου και πολύμετρου.
- Η γνωριμία με τη δύναμη Laplace και η μέτρησή της.

B. ΘΕΜΑ

- Η μέτρηση της δύναμης Laplace που δέχεται ευθύγραμμος ρευματοφόρος αγωγός μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο.
- Η διαπίστωση ότι η δύναμη Laplace είναι ανάλογη του μαγνητικού πεδίου B , της έντασης I του ρεύματος και του μήκους ℓ του αγωγού.

Γ. ΟΡΓΑΝΑ

- Τροφοδοτικό 0 – 20 V DC
- Αμπερόμετρο
- Σωληνοειδές πηνίο
- Πλακέτες με ρευματοφόρο αγωγό ενεργού μήκους 2,1 cm ή 3,1 cm ή 4,1 cm
- 20 αυτοσχέδια βαρίδια μάζας 0,01 g το καθένα
- Καλώδια σύνδεσης
- Διακόπτης μπουτόν



Δ. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ

- Για την πραγματοποίηση και κατανόηση της άσκησης χρειάζονται οι παρακάτω γνώσεις από το σχολικό βιβλίο Γενικής Παιδείας της Β' τάξης Γενικού Λυκείου :
 - ✓ Ενότητα 3.3.2. : Μαγνητικό πεδίο ρευματοφόρων αγωγών (μαγνητικό πεδίο σωληνοειδούς)
 - ✓ Ενότητα 3.3.2. : Ηλεκτρομαγνητική δύναμη

Ε. ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ

- Η δύναμη Laplace, που αναπτύσσεται σ' έναν αγωγό μήκους ℓ , που διαρρέεται από ρεύμα έντασης I και είναι τοποθετημένος κάθετα μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο B , δίνεται από τη σχέση :

$$F_L = B I \ell \quad (1)$$

- Από το βάρος που απαιτείται για να ισορροπήσει ο ζυγός, μπορούμε να μετρήσουμε τη δύναμη Laplace που δέχεται.
- Από τη σχέση (1) μπορούμε να υπολογίσουμε την ένταση B του μαγνητικού πεδίου αν γνωρίζουμε το ρεύμα I που διαρρέει το πηνίο, το μήκος ℓ του αγωγού και τη δύναμη F_L .
- Είναι γνωστό ότι η ένταση του μαγνητικού πεδίου μέσα σε σωληνοειδές πηνίο, δίνεται από τη σχέση :

$$B = \lambda I \quad (2)$$

όπου λ η σταθερά του πηνίου.

- Από τη σχέση (2) μπορούμε να υπολογίσουμε τη σταθερά λ του πηνίου αν γνωρίζουμε την ένταση του μαγνητικού πεδίου B για συγκεκριμένο ρεύμα I στο σωληνοειδές.
- Είναι επίσης γνωστό ότι το B στο μέσο ενός σωληνοειδούς δίνεται από τη σχέση :

$$B = k_{\mu} 4 \pi \frac{N}{d} I \quad (3)$$

όπου N ο αριθμός σπειρών και d το μήκος του πηνίου.

- Από τις εξισώσεις (1) και (3) προκύπτει ότι :

$$F_L = k_{\mu} 4 \pi \frac{N}{d} \ell I^2 \quad (4)$$

- Από τη σχέση (4) μπορούμε να υπολογίσουμε το ρεύμα I που διαρρέει το πηνίο μετρώντας τη δύναμη Laplace και γνωρίζοντας τον αριθμό των σπειρών ανά μονάδα μήκους του πηνίου.
- Από τις εξισώσεις (2) και (3) προκύπτει ότι για το σωληνοειδές ισχύει :

$$\lambda = k_{\mu} 4 \pi \frac{N}{d} \quad (5)$$

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΥΤΟΣΧΕΔΙΩΝ ΒΑΡΙΔΙΩΝ :

- Για την εκτέλεση της άσκησης απαιτείται η χρήση πολύ μικρών βαρών τα οποία είναι δύσκολο να ζυγιστούν. Τα απαιτούμενα βάρη πρέπει να έχουν μάζες $m = 0,01$ g.
- Μπορούμε να δημιουργήσουμε τέτοια βάρη από τμήματα πολύκλωνου καλωδίου διαμέτρου π.χ. 0,2 mm αφαιρώντας το μονωτικό μανδύα και ζυγίζοντας ένα μήκος του γυμνού καλωδίου π.χ. 10 cm. Γνωρίζοντας τη μάζα αυτή και τον αριθμό των κλώνων (συρμάτων) του καλωδίου, μπορούμε να υπολογίσουμε πόσο πρέπει να είναι το μήκος του σύρματος που αντιστοιχεί σε μάζα 0,01 g.
- Δημιουργούμε 40 βαρίδια των 0,01 g κόβοντας συρματάκια από πολύκλωνο καλώδιο χάλκινου σύρματος με διάμετρο 0,2 mm και μήκος 4 cm και τα διαμορφώνουμε σε σχήμα Δ .

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ :

- Ο ζυγός ρεύματος αποτελείται από μία εποξική παραλληλόγραμμη πλακέτα στην οποία έχει δημιουργηθεί περιμετρικά αγωγός (βρόχος σε σχήμα Π), που καταλήγει σε άγκιστρα ανάρτησης τοποθετημένα στη μέση της κάθε μεγάλης πλευράς.
- Η πλακέτα μπορεί να αναρτάται μέσω των άγκιστρων σε κατάλληλα αγωγίμα στηρίγματα στερεωμένα στην άκρη του σωληνοειδούς έτσι ώστε το αγωγίμο μισό μέρος της να βρίσκεται μέσα στο πηνίο και το υπόλοιπο μισό έξω απ' αυτό. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να διοχετεύεται ρεύμα στο ζυγό. Το ρεύμα στον ζυγό μπορεί να είναι ίδιο ή και διαφορετικό με αυτό που διαρρέει το πηνίο.
- Όταν ο ζυγός δεν διαρρέεται από ρεύμα και είναι αναρτημένος στη θέση του ισορροπεί σε οριζόντια θέση, οπότε το κομμάτι του αγωγού, που αντιστοιχεί στη στενή πλευρά της πλακέτας, έχει θέση κάθετη προς τον άξονα του πηνίου και προς το μαγνητικό πεδίο.
- Όταν ο ζυγός και το πηνίο διαρρέονται από ρεύμα τότε ασκείται δύναμη Laplace πάνω στον ζυγό, η οποία ανατρέπει την ισορροπία του. Η δύναμη που αναπτύσσεται μπορεί να μετρηθεί ισορροπώντας την πλακέτα στην οριζόντια θέση με την προσθήκη κατάλληλων γνωστών βαριδιών.

ΣΤ. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

- Προσαρμόζουμε τα ορειχάλκινα ελάσματα ανάρτησης στο πλαίσιο του πηνίου, αφού πιέσουμε το διπλά διαμορφωμένο άκρο τους ώστε να σφίγγουν σταθερά πάνω στο πλαίσιο του πηνίου.
- Αφαιρούμε τα προστατευτικά των άγκιστρων ανάρτησης και τοποθετώντας τα άγκιστρα ανάρτησης πάνω στα ελάσματα ανάρτησης, αναρτούμε την εποξική πλακέτα με το μικρότερο πλάτος (ενεργό μήκος αγωγού κάθετου προς το μαγνητικό πεδίο $\ell = 3,1$ cm) μέσα στο πηνίο. Βεβαιωνόμαστε ότι μέσα στο πηνίο είναι τοποθετημένη η πλευρά της πλακέτας στην οποία υπάρχει περιμετρικά ο αγωγός που συνδέει τα δύο άγκιστρα ανάρτησης.
- Έχοντας το τροφοδοτικό εκτός λειτουργίας συνδέουμε σε σειρά το τροφοδοτικό (έξοδος 0–20 V DC), τον διακόπτη μπουτόν, το πολύμετρο ρυθμισμένο για μέτρηση ρεύματος στην υποδοχή 20 A DC, το σωληνοειδές και το ζυγό ρεύματος.

- Ισορροπούμε το ζυγό ρεύματος ώστε να είναι οριζόντιος, στρέφοντας ελαφρά (αριστερά, δεξιά) τα σκέλη στήριξής του. Η απόλυτη οριζοντίωση δεν είναι απαραίτητη, αλλά απαιτείται να υπάρχει μια στάθμη αναφοράς της θέσης της πλακέτας. Για το λόγο αυτό, τοποθετούμε τη μικρή βαθμονομημένη κλίμακα, που περιλαμβάνεται στο σετ, δίπλα ακριβώς από την μικρή πλευρά του (οριζοντιωμένου με το μάτι) ζυγού και σημειώνουμε τη θέση ισορροπίας της, όπως προκύπτει από την κλίμακα.

Z. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Λήψη μετρήσεων

1. Σημειώνουμε στον ΠΙΝΑΚΑ 1 τον αριθμό N των σπειρών, το μήκος d και τη σταθερά λ του σωληνοειδούς που χρησιμοποιούμε, τη μάζα m κάθε βαριδιού, την επιτάχυνση g της βαρύτητας καθώς και τη σταθερά k_{μ} του μαγνητικού πεδίου.
2. Γυρίζουμε το κουμπί ρύθμισης τάσης εξόδου του τροφοδοτικού 0–20 V DC τέρμα αριστερά και θέτουμε το τροφοδοτικό σε λειτουργία.
3. Με τη βοήθεια μιας τσιμπίδας κρεμάμε δύο (2) βαρίδια στην τρύπα που είναι ανοιγμένη στο μέσον της εξωτερικής μικρής πλευράς της εποξικής πλακέτας – ζυγού. Παρατηρούμε ότι ο ζυγός θα γείρει προς τα κάτω. Σημειώνουμε τον αριθμό μ των βαριδιών στον ΠΙΝΑΚΑ 1.
4. Κλείνουμε τον διακόπτη μπουτόν και αυξάνουμε αργά την τάση εξόδου 0–20 V DC του τροφοδοτικού μέχρις ότου ο ζυγός επανέλθει στην αρχική του οριζόντια θέση πάνω στην κλίμακα. Σημειώνουμε την ένδειξη I του αμπερόμετρου στον ΠΙΝΑΚΑ 1 (στη στήλη A με $\ell = 3,1$ cm).

ΣΗΜΕΙΩΣΗ :

Εάν αυξάνοντας την τάση εξόδου του τροφοδοτικού ο ζυγός γείρει περισσότερο προς τα κάτω, αντιστρέφουμε τα καλώδια τροφοδοσίας του ζυγού ή του πηνίου.

5. Κρεμάμε στο άκρο του ζυγού επιπλέον δύο (2) βαρίδια. Ο ζυγός θα γείρει πάλι προς τα κάτω. Σημειώνουμε το σύνολο του αριθμού μ των βαριδιών στον ΠΙΝΑΚΑ 1.
6. Κλείνουμε τον διακόπτη μπουτόν και επαναφέρουμε στην οριζόντια θέση τον ζυγό αυξάνοντας αργά την τάση εξόδου 0–20 V DC του τροφοδοτικού. Σημειώνουμε την ένδειξη I του αμπερομέτρου στον ΠΙΝΑΚΑ 1 (στη στήλη A με $\ell = 3,1$ cm).
7. Συνεχίζουμε κατά τον ίδιο τρόπο προσθέτοντας δύο (2) βαρίδια κάθε φορά (μέχρι 20 βαρίδια συνολικά) καταγράφοντας στον ΠΙΝΑΚΑ 1 το αντίστοιχο ρεύμα που απαιτείται για την επαναφορά του ζυγού στην αρχική θέση ισορροπίας.
8. Θέτουμε το τροφοδοτικό εκτός λειτουργίας.

ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ :

- Χρησιμοποιούμε το ζυγό ρεύματος που έχει πλάτος 3 cm (ενεργό μήκος αγωγού $\ell = 2,1$ cm) και επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία 2 – 8 καταγράφοντας τις μετρήσεις στον ΠΙΝΑΚΑ 1.
- Χρησιμοποιούμε το ζυγό ρεύματος που έχει πλάτος 5 cm (ενεργό μήκος αγωγού $\ell = 4,1$ cm) και επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία 2 – 8 καταγράφοντας τις μετρήσεις στον ΠΙΝΑΚΑ 1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 – ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ			
Αριθμός σπειρών σωληνοειδούς		N = 550 σπείρες	
Μήκος σωληνοειδούς		d = 14,8 cm	
Σταθερά σωληνοειδούς		$\lambda = 4,4 \cdot 10^{-3} \text{ N/A}^2 \text{ m}$	
Μάζα βαριδιού		m = 0,01 g	
Επιτάχυνση βαρύτητας		g = 9,81 m/s ²	
Σταθερά του μαγνητικού πεδίου		$k_{\mu} = 10^{-7} \text{ N/A}^2$	
Ενεργό μήκος αγωγού	$\ell = 2,1 \text{ cm}$	$\ell = 3,1 \text{ cm}$	$\ell = 4,1 \text{ cm}$
ΑΡΙΘΜΟΣ ΒΑΡΙΔΙΩΝ μ	ΕΝΤΑΣΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ I (A)		
	0	0	0
2			
4			
6			
8			
10			
12			
14			
16			
18			
20			

Επεξεργασία μετρήσεων

A. Εργασία με τον ζυγό ενεργού μήκους $\ell = 3,1 \text{ cm}$

- Υπολογίζουμε το βάρος w των μ βαριδιών και καταχωρούμε τις τιμές στην αντίστοιχη στήλη του ΠΙΝΑΚΑ 2.
- Υπολογίζουμε τη δύναμη Laplace F_L που ασκείται στο ζυγό κάθε φορά και καταχωρούμε τις τιμές της στην αντίστοιχη στήλη του ΠΙΝΑΚΑ 2.
- Μεταφέρουμε από τον ΠΙΝΑΚΑ 1 τις τιμές της έντασης I του ρεύματος στην αντίστοιχη στήλη του ΠΙΝΑΚΑ 2.
- Υπολογίζουμε τις τιμές I^2 και τις καταχωρούμε στην αντίστοιχη στήλη του ΠΙΝΑΚΑ 2.
- Υπολογίζουμε την ένταση B του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό του σωληνοειδούς για κάθε ρεύμα και καταχωρούμε τις τιμές στην αντίστοιχη στήλη του ΠΙΝΑΚΑ 2.
- Υπολογίζουμε τη δύναμη Laplace από τη θεωρητική σχέση $F_L = k_{\mu} 4 \pi (N/d) \ell I^2$ και καταχωρούμε τις τιμές στην αντίστοιχη στήλη του ΠΙΝΑΚΑ 2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ(Ενεργό μήκος αγωγού : $\ell = 3,1 \text{ cm}$)

Αριθμός βαριδιών μ	Βάρος μ βαριδιών $w = \mu m g$ (N)	Δύναμη Laplace $F_L = w$ (N)	Ένταση ρεύματος I (A)	I^2 (A ²)	Ένταση μαγν. πεδίου $B = F_L / I \ell$ (T)	Δύν. Laplace $F_L =$ $k_\mu 4\pi (N/d) \ell I^2$ (N)
0	0	0	0	0	0	0
2	$1,96 \cdot 10^{-4}$	$1,96 \cdot 10^{-4}$				
4	$3,92 \cdot 10^{-4}$	$3,92 \cdot 10^{-4}$				
6	$5,89 \cdot 10^{-4}$	$5,89 \cdot 10^{-4}$				
8	$7,85 \cdot 10^{-4}$	$7,85 \cdot 10^{-4}$				
10	$9,81 \cdot 10^{-4}$	$9,81 \cdot 10^{-4}$				
12	$11,77 \cdot 10^{-4}$	$11,77 \cdot 10^{-4}$				
14	$13,73 \cdot 10^{-4}$	$13,73 \cdot 10^{-4}$				
16	$15,70 \cdot 10^{-4}$	$15,70 \cdot 10^{-4}$				
18	$17,66 \cdot 10^{-4}$	$17,66 \cdot 10^{-4}$				
20	$19,62 \cdot 10^{-4}$	$19,62 \cdot 10^{-4}$				

7. Σχεδιάζουμε το διάγραμμα ($F_L - I$). Τι μορφή έχει η γραφική παράσταση ; Διατυπώνουμε στον ΠΙΝΑΚΑ 3 το ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ 1 διαγράφοντας την κατάλληλη υπογραμμισμένη λέξη.
8. Σχεδιάζουμε το διάγραμμα ($F_L - I^2$). Τι μορφή έχει η γραφική παράσταση ; Διατυπώνουμε στον ΠΙΝΑΚΑ 3 το ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ 2 διαγράφοντας την κατάλληλη υπογραμμισμένη λέξη.
9. Υπολογίζουμε την κλίση κ_1 της ($F_L - I^2$) και την καταχωρούμε στον ΠΙΝΑΚΑ 3.
10. Υπολογίζουμε την ποσότητα $\kappa_1' = k_\mu 4\pi (N/d) \ell$ και την καταχωρούμε στον ΠΙΝΑΚΑ 3.
11. Υπολογίζουμε το σφάλμα $\sigma(\kappa_1)\%$ μεταξύ των κ_1 και κ_1' και το καταχωρούμε στον ΠΙΝΑΚΑ 3.
12. Διατυπώνουμε στον ΠΙΝΑΚΑ 3 το ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ 3 διαγράφοντας την κατάλληλη υπογραμμισμένη λέξη.
13. Σχεδιάζουμε το διάγραμμα ($B - I$). Τι μορφή έχει η γραφική παράσταση ; Διατυπώνουμε στον ΠΙΝΑΚΑ 3 το ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ 4 διαγράφοντας την κατάλληλη υπογραμμισμένη λέξη.
14. Υπολογίζουμε την κλίση κ_2 της ($B - I$) και την καταχωρούμε στον ΠΙΝΑΚΑ 3.
15. Συγκρίνουμε την κλίση κ_2 με τη σταθερά λ του πηνίου και διατυπώνουμε στον ΠΙΝΑΚΑ 3 το ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ 5 διαγράφοντας την κατάλληλη υπογραμμισμένη λέξη.
16. Καταχωρούμε στο ΠΙΝΑΚΑ 3 μία τιμή της δύναμης Laplace που υπολογίσαμε μέσω του αντίστοιχου βαριδιού (π.χ. $F_L = 10 \cdot 10^{-4} \text{ N}$) καθώς και την αντίστοιχη τιμή που υπολογίσαμε στον ΠΙΝΑΚΑ 2 μέσω της σχέσης $F_L = k_\mu 4\pi (N/d) \ell I^2$.
17. Υπολογίζουμε το σφάλμα $\sigma(F_L)\%$ μεταξύ των δύο παραπάνω τιμών της δύναμης Laplace και το καταχωρούμε στον ΠΙΝΑΚΑ 3.
18. Συγκρίνουμε την πειραματική τιμή μέτρησης της δύναμης Laplace μέσω του βάρους με την θεωρητική τιμή της μέσω της σχέσης $F_L = k_\mu 4\pi (N/d) \ell I^2$ και διατυπώνουμε στον ΠΙΝΑΚΑ 3 το ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ 6 διαγράφοντας την κατάλληλη υπογραμμισμένη λέξη.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3			
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ			ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ
Γραφική παράσταση : $F_L - I$			1) Η γραφική παράσταση $F_L - I$ είναι <u>ευθεία / παραβολή</u> , οπότε τα μεγέθη F_L και I είναι / δεν είναι ανάλογα.
Γραφική παράσταση : $F_L - I^2$			2) Η γραφική παράσταση $F_L - I^2$ είναι <u>ευθεία / παραβολή</u> , οπότε τα μεγέθη F_L και I^2 είναι / δεν είναι ανάλογα.
Κλίση της $F_L - I^2$: κ_1		N/A^2	3) Οι ποσότητες κ_1 και κ_1' έχουν <u>μικρή / μεγάλη απόκλιση</u> , οπότε <u>επαληθεύσαμε / δεν επαληθεύσαμε</u> τις σχέσεις : $F_L = k_\mu 4 \pi (N/d) \ell I^2$ & $F_L = B I \ell$
$\kappa_1' = k_\mu 4 \pi (N/d) \ell$		N/A^2	
Σφάλμα (κ_1, κ_1') : $\sigma(\kappa_1)\%$		%	
Γραφική παράσταση : $B - I$			4) Η γραφική παράσταση $B - I$ είναι <u>ευθεία / παραβολή</u> .
Κλίση της $B - I$: κ_2		$N/A^2 m$	5) Οι ποσότητες κ_2 και λ έχουν <u>μικρή / μεγάλη απόκλιση</u> , οπότε <u>επαληθεύσαμε / δεν επαληθεύσαμε</u> τις σχέσεις : $B = \lambda I$ & $B = k_\mu 4 \pi (N/d) I$
Σταθερά πηνίου : λ	$4,4 \cdot 10^{-3}$	$N/A^2 m$	
Σφάλμα (κ_2, λ) : $\sigma(\kappa_2)\%$		%	
$F_L = w$	$9,81 \cdot 10^{-4}$	N	6) Το σφάλμα $\sigma(F_L)\%$ είναι <u>μικρό / μεγάλο</u> , οπότε <u>επαληθεύσαμε / δεν επαληθεύσαμε</u> τη σχέση : $F_L = k_\mu 4 \pi (N/d) \ell I^2$
$F_L = k_\mu 4 \pi (N/d) \ell I^2$		N	
Σφάλμα F_L : $\sigma(F_L)\%$		%	

B. Εργασία με τους ζυγούς ενεργού μήκους $\ell = 2,1 \text{ cm}$ και $\ell = 4,1 \text{ cm}$

- Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία της επεξεργασίας μετρήσεων 1 – 18 και για τους άλλους δύο ζυγούς (ενεργού μήκους $\ell = 2,1 \text{ cm}$ και $\ell = 4,1 \text{ cm}$) χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις των αντίστοιχων στηλών του ΠΙΝΑΚΑ 1.

H. ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

- Με ποια προϋπόθεση το βάρος των βαριδιών που χρησιμοποιούμε ισούται με τη δύναμη Laplace που δέχεται ο ζυγός ρεύματος ;
- Πώς θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε τον ζυγό ρεύματος για να μετρήσουμε βάρος ;
- Πώς θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε τον ζυγό ρεύματος για να μετρήσουμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος ;
- Πώς θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε τον ζυγό ρεύματος για να μετρήσουμε την ένταση του μαγνητικού πεδίου ;