

Άσκηση Η15

Μέτρηση της έντασης του μαγνητικού πεδίου της γής

Γήινο μαγνητικό πεδίο (Γεωμαγνητικό πεδίο)

Το γήινο μαγνητικό πεδίο αποτελείται, ως προς την προέλευσή του, από δύο συνιστώσες, το μόνιμο μαγνητικό πεδίο (εσωτερικό πεδίο) και το μεταβλητό μαγνητικό πεδίο (εξωτερικό πεδίο).

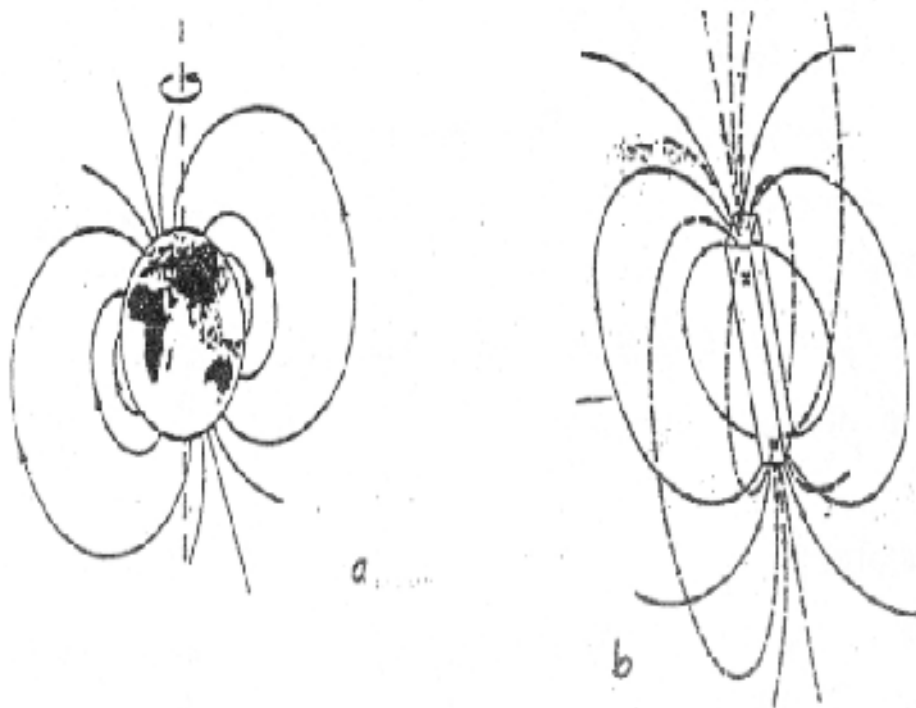
Προέλευση

Οι αιτίες για την ύπαρξη του μόνιμου μαγνητικού πεδίου οφείλονται σε διεργασίες, οι οποίες υλοποιούνται στο εσωτερικό της γής. Οι διεργασίες αυτές είναι οι κινήσεις της ηλεκτρικά αγώγιμης ύλης στα πάνω στρώματα του πυρήνα της γής. Σε αυτό το κύριο μέρος των διεργασιών προστίθενται και τα μαγνητικά πεδία των μαγνητικών πετρωμάτων του εξωτερικού φλοιού της γής στην μορφή τοπικών ανωμαλιών. Το μόνιμο μαγνητικό πεδίο, συνεισφέρει στο υλικό γεωμαγνητικό πεδίο κατά 94%.

Το μεταβλητό μαγνητικό πεδίο, οφείλεται στα ηλεκτρικά ρεύματα, στους ιονισμένους χώρους της γήινης ατμόσφαιρας και υπόκειται βραχύχρονες διακυμάνσεις, οι οποίες μπορεί να είναι και περιοδικές και μή περιοδικές (ενοχλήσεις και θύελλες). Το εξωτερικό πεδίο (6%), θεωρείται, σε σύγκριση με το εσωτερικό πεδίο, ασήμαντο.

Χαρακτηριστικά του μόνιμου μαγνητικού πεδίου

Το γεωμαγνητικό πεδίο είναι κατά κύριο λόγο διπολικό. Αυτό φαίνεται καθαρά στο παρακάτω σχήμα, όπου απεικονίζονται τα μαγνητικά πεδία της γής και ενός ραβδόμορφου μαγνήτη.



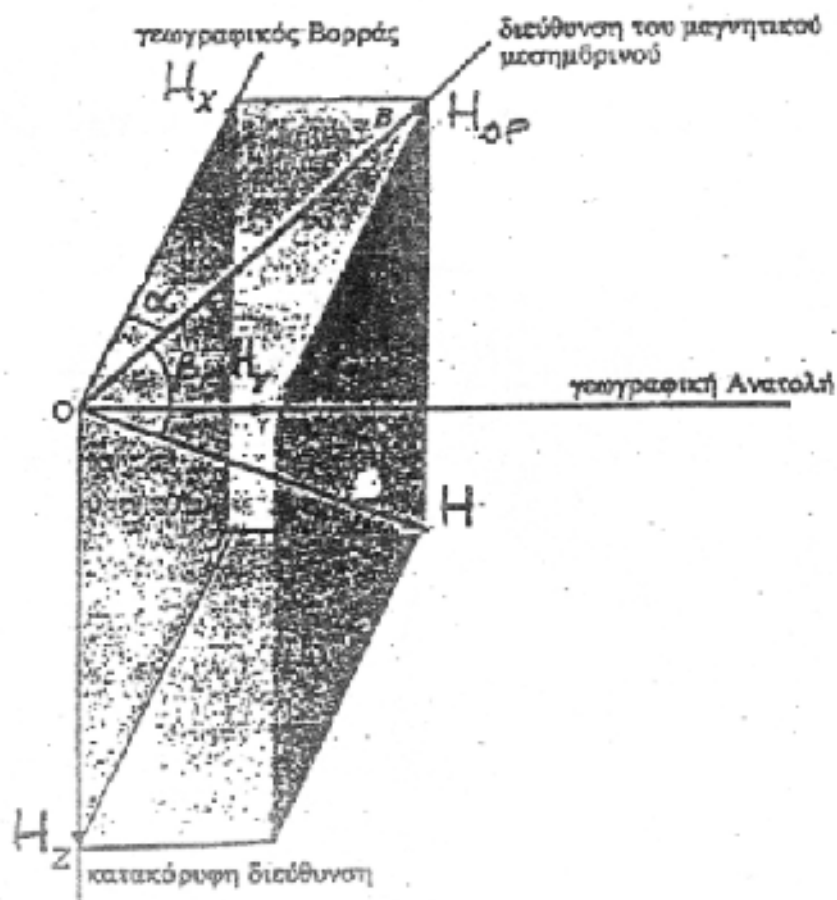
Σχήμα 1 – α) Μαγνητικό πεδίο της γης β) Μαγνητικό πεδίο ενός ραβδόμορφου μαγνήτη

Αυτό δεν σημαίνει ότι το μαγνητικό πεδίο της γής παράγεται αναγκαστικά από έναν ραβδόμορφο μαγνήτη, ο οποίος βρίσκεται μέσα στην γή. Μάλλον σημαίνει ότι η μορφή του μοιάζει πολύ με την μορφή του πεδίου ενός ραβδόμορφου μαγνήτη. Για αυτόν τον λόγο είπαμε πιο πάνω 'κατά κύριο λόγο'. Ωστόσο, οι πραγματικές διεργασίες, οι οποίες παράγουν το διπολικό πεδίο της γής, είναι μάλλον εξαιρετικά περίπλοκες. Για τον λόγο αυτόν, είναι δύσκολο να απεικονιστούν οπτικά. Συνεπώς, κατασκευάζουμε την εικόνα, ότι μέσα στην γή, υπάρχει ένα δίπολο, το οποίο το ονομάζουμε γεωμαγνητικό δίπολο και το οποίο το τοποθετούμε στο κέντρο της γής.

Το γεωμαγνητικό δίπολο, δεν είναι η μοναδική συνιστώσα του μαγνητικού πεδίου της γής. Εκτός από το διπολικό πεδίο, υπάρχει και ένα μη διπολικό πεδίο, το οποίο είναι ανώμαλο. Αυτό είναι κάτι, το οποίο οφείλεται στα μαγνητικά πετρώματα. Δηλαδή το μαγνητικό πεδίο της γής είναι ένα αποτέλεσμα της σύνθεσης ενός διπολικού και ενός μη διπολικού πεδίου.

Ορισμός μεγεθών

Ας υποθέσουμε ότι το μαγνητικό πεδίο σε κάποιο σημείο O πάνω στην επιφάνεια της γής έχει μια ένταση H και διεύθυνση και φορά, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Η ένταση H είναι ένα μέγεθος, το οποίο χαρακτηρίζεται από την αριθμητική τιμή, την διεύθυνση και την φορά. Έτσι στο παρακάτω σχήμα, το ευθύγραμμο τμήμα H , είναι ανάλογο της έντασης του πεδίου.



Σχήμα 2 – Συνιστώσες του μαγνητικού πεδίου

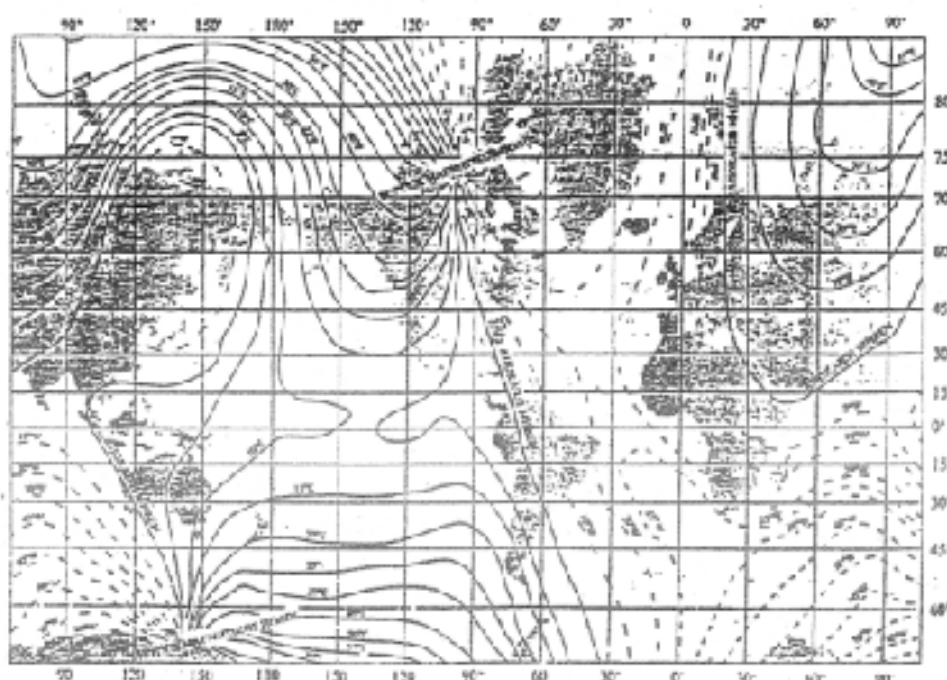
Αν στο σημείο 0 τοποθετηθεί μια μαγνητική βελόνη, η οποία θα είναι ελεύθερη να περιστρέφεται στο οριζόντιο επίπεδο, αυτή η βελόνη, θα ηρεμήσει στην διεύθυνση $H_{ορ}$, η οποία διεύθυνση είναι η οριζόντια συνιστώσα της H . Με άλλα λόγια, η $H_{ορ}$ είναι η διεύθυνση του γεωμετρικού μεσημβρινού. Επομένως, η γωνία ανάμεσα στην $H_{ορ}$ και τον γεωγραφικό Βορρά, θα είναι η απόκλιση α , και η γωνία που σχηματίζει η H με το οριζόντιο επίπεδο, θα είναι η έγκλιση B του σημείου 0.

Η ένταση H μπορεί να θεωρηθεί ισοδύναμη με την H_x , την H_y και την H_z , τις τρεις συνιστώσες του πεδίου, οι οποίες δρούν αντίστοιχα στην διεύθυνση του γεωγραφικού Βορρά, στην διεύθυνση της γεωγραφικής Ανατολής και στην κατακόρυφη διεύθυνση. Τα μεγέθη H_x , H_y και H_z , θεωρούνται θετικά αν έχουν την φορά που φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Το μήκος των H_x , H_y και H_z στο παραπάνω σχήμα, είναι ανάλογο με το μέγεθος που έχουν οι τρεις συνιστώσες του μαγνητικού πεδίου.

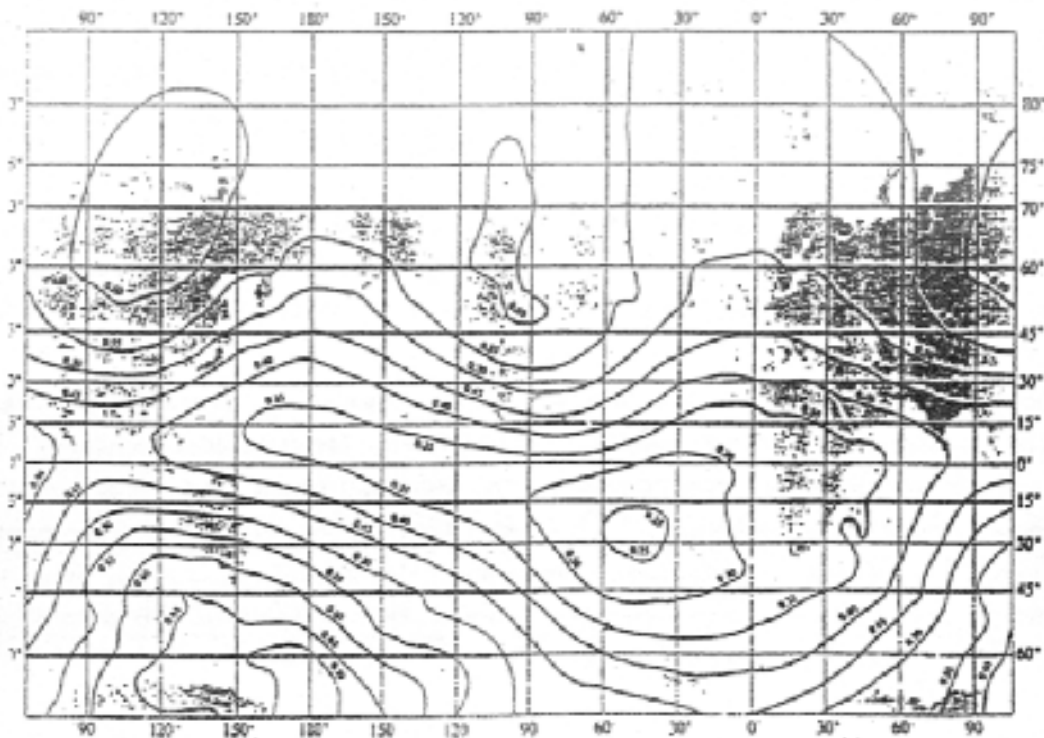
Τα μαγνητικά στοιχεία ενός τόπου είναι: H_x , H_y , H_z , $H_{ορ}$, H_α και H_B . Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιούνται για την περιγραφή του μαγνητικού πεδίου και συνδέονται μεταξύ τους με απλές τριγωνομετρικές σχέσεις. Αν τρία από αυτά είναι γνωστά, τότε μπορούν να προσδιοριστούν και όλα τα υπόλοιπα.

Ισομαγνητικοί χάρτες

Οι γραμμές, οι οποίες ενώνουν τα σημεία ίδιας απόκλισης, ονομάζονται ισογώνες γραμμές και ο αντίστοιχος χάρτης ονομάζεται ισογωνιακός χάρτης. Με τον ίδιο τρόπο, οι γραμμές των οποίων τα σημεία, έχουν την ίδια έγκλιση, ονομάζονται ισοκλινείς γραμμές. Οι ισομαγνητικές γραμμές για τα άλλα στοιχεία δεν έχουν ιδιαίτερες ονομασίες, αλλά ο σχεδιασμός τους βασίζεται πάνω στις ίδιες αρχές. Στην μορφή αυτών των γραμικών παραστάσεων του πεδίου της γής, αναφέρονται τα δύο παρακάτω σχήματα, τα οποία δείχνουν τον χάρτη ίσης απόκλισης α και τον χάρτη ίσης έντασης του γεωμαγνητικού πεδίου H , για το έτος 1955.



Σχήμα 3 – Ισογωνιακός χάρτης



Σχήμα 4 – Χάρτης ίσης έντασης

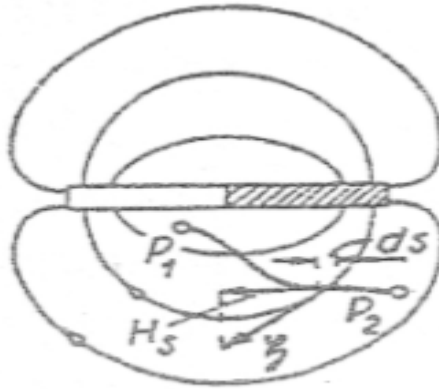
Μαγνητικά μεγέθη

Τα μαγνητικά μεγέθη, τα οποία είναι απαραίτητα για την εκτέλεση και για την κατανόηση των αποτελεσμάτων της άσκησης, είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος I , η ένταση του μαγνητικού πεδίου H , η μαγνητική τάση $V_m = \int \vec{H} d\vec{s}$ και η μαγνητική επαγωγή $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$.

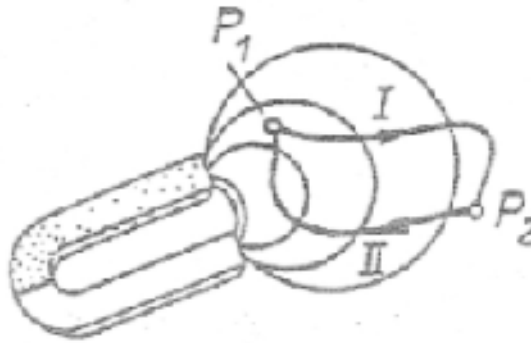
Στατικό μαγνητικό πεδίο

Όταν λέμε στατικό μαγνητικό πεδίο, εννοούμε όλα εκείνα τα πεδία, των οποίων ο σχηματισμός δεν προϋποθέτει την ύπαρξη ενός ηλεκτρικού ρεύματος. Συνεπώς, το μαγνητικό πεδίο του μόνιμου μαγνήτη, είναι στατικό, εφόσον δεν δημιουργείται από το ηλεκτρικό ρεύμα.

Σε ένα στατικό μαγνητικό πεδίο, όπως για παράδειγμα αυτό που απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα, σημειώνονται δύο σημεία Σ_1 και Σ_2 , τα οποία συνδέονται μέσω μιας καμπύλης. Η καμπύλη αυτή, διαιρείται σε πολλά μικρά στοιχεία d_s . Για κάθε ds μετريέται η συνιστώσα H_s του πεδίου, η οποία έχει την φορά του στοιχείου. Για κάθε στοιχείο, υπολογίζεται το γινόμενο $H_s \cdot d_s$ και τέλος όλα τα γινόμενα αθροίζονται.



Σχήμα 5 – Μαγνητική τάση στο στατικό πεδίο



Σχήμα 6 – Ορισμός της τάσης εκ' περιστροφής

Το μέγεθος, το οποίο λαμβάνεται με το παραπάνω γινόμενο, ονομάζεται Μαγνητική Τάση και συμβολίζεται με το σύμβολο V_m , ενώ ο ορισμός της είναι:

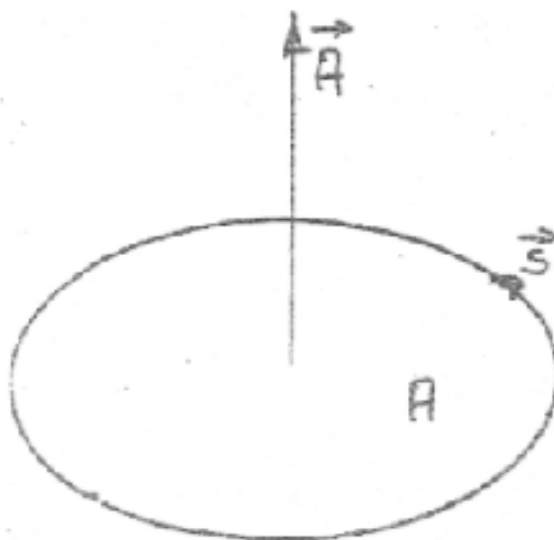
$$V_m = \int_{\Sigma_1}^{\Sigma_2} \vec{H} d\vec{s}$$

Η μαγνητική τάση λοιπόν, ισούται με το άθροισμα των γινομένων της έντασης του μαγνητικού πεδίου επί το κάθε στοιχείο ds . Η σχέση αυτή ερμηνεύεται ως εξής: στο στατικό μαγνητικό πεδίο, η μαγνητική τάση δεν εξαρτάται από την διαδρομή, αλλά μόνο από τις συντεταγμένες του αρχικού και του τελικού σημείου.

Μαγνητικό πεδίο στάσιμων ρευμάτων

Στο μαγνητικό πεδίο στάσιμων ρευμάτων, η μαγνητική τάση σχετίζεται με τις εντάσεις των ρευμάτων. Το εμβαδόν A , το οποίο εσωκλείεται από την καμπύλη ολοκλήρωσης, παίρνει

θετική φορά, σύμφωνα με την αρχή του δεξιόστροφου κοχλίου, κάτι το οποίο φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 7 – Ορισμός της φοράς

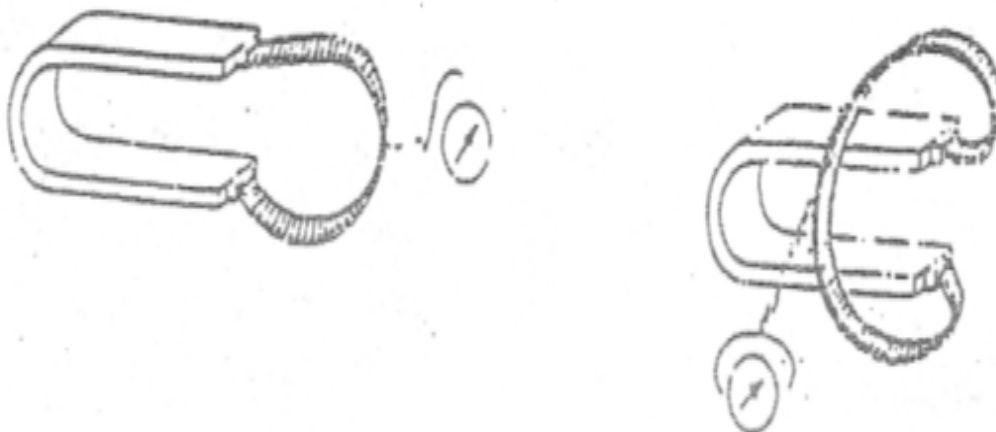
Όλες οι εντάσεις των ρευμάτων, οι οποίες διαπερνούν το εμβαδόν, θα πρέπει να συνιπολογιστούν. Οι εντάσεις των ρευμάτων θεωρούνται θετικές, εφόσον διαπερνούν το εμβαδόν με την φορά του ίδιου του εμβαδού, δηλαδή όταν με το A σχηματίζουν οξεία γωνία. Σε αντίθετη περίπτωση, θεωρούνται αρνητικά ρεύματα. Τώρα πια, μπορεί να υπολογιστεί το άθροισμα όλων των ρευμάτων. Ένα ρεύμα το οποίο διαπερνά το εμβαδόν n φορές, θα πρέπει να ληφθεί n φορές υπόψιν. Για το άθροισμα των ρευμάτων, το οποίο προσδιορίστηκε με αυτόν τον τρόπο, ισχύει ο νόμος του Ampere. Η μαγνητική τάση κλειστής καμπύλης στο στάσιμο μαγνητικό πεδίο, ισούται με το σύνολο της έντασης των εσωκλειόμενων ρευμάτων από την κλειστή καμπύλη.

Ο νόμος του Ampere, μπορεί να αποδειχθεί πολύ εύκολα ακόμα και για έναν ευθύγραμμο αγωγό. Ως καμπύλη ολοκλήρωσης επάγεται ένας κύκλος ακτίνας r , όπου στο κέντρο του κύκλου τοποθετείται ο αγωγός. Επειδή η ένταση H του μαγνητικού πεδίου σε έναν τέτοιο κύκλο είναι σταθερή, τότε η μαγνητική τάση ισούται με την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος I .

Παραδείγματα μετρήσεων

Στατικό πεδίο

A) Τα άκρα ενός μετρητή μαγνητικής τάσης τοποθετούνται στους πόλους ενός μόνιμου μαγνήτη. Στην συνέχεια ο μετρητής απομακρύνεται απότομα και αυτό είναι κάτι το οποίο επαναλαμβάνεται πολλές φορές, το οποίο απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα. Η ένταση είναι πάντα η ίδια, παρά το γεγονός ότι ο μετρητής τοποθετείται διαφορετικά στον χώρο. Αυτό σημαίνει ότι στο στατικό πεδίο, η μαγνητική τάση είναι πράγματι ανεξάρτητη από την διαδρομή.



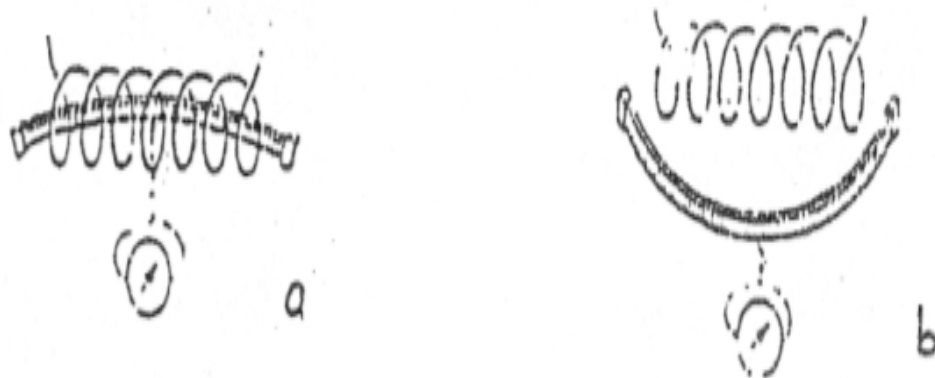
Σχήμα 8 – Μέτρηση της μαγνητικής τάσης στατικού πεδίου

Β) Ο μετρητής της μαγνητικής τάσης τοποθετείται στον χώρο του μαγνητικού πεδίου, αλλά τα δύο άκρα του είναι πάντα ενωμένα. Κατά την απότομη απομάκρυνσή του από τον χώρο του πεδίου, η ένδειξη είναι πάντα μηδενική. Το αποτέλεσμα αυτό, σημαίνει ότι, η μαγνητική τάση κλειστής καμπύλης είναι πάντα ίση με μηδέν.

Μαγνητικό πεδίο στάσιμων (σταθερών) ρευμάτων

Το μαγνητικό πεδίο, το οποίο παράγεται από ηλεκτρικά ρεύματα, χαρακτηρίζεται από μαγνητικές τάσεις, οι οποίες εξαρτώνται από τον δρόμο. Αυτό σημαίνει ότι το δυναμικό τους δεν είναι ένα βαθμωτό δυναμικό, όπως αυτό του στατικού πεδίου, αλλά το δυναμικό τους είναι μάλλον ανυσματικό.

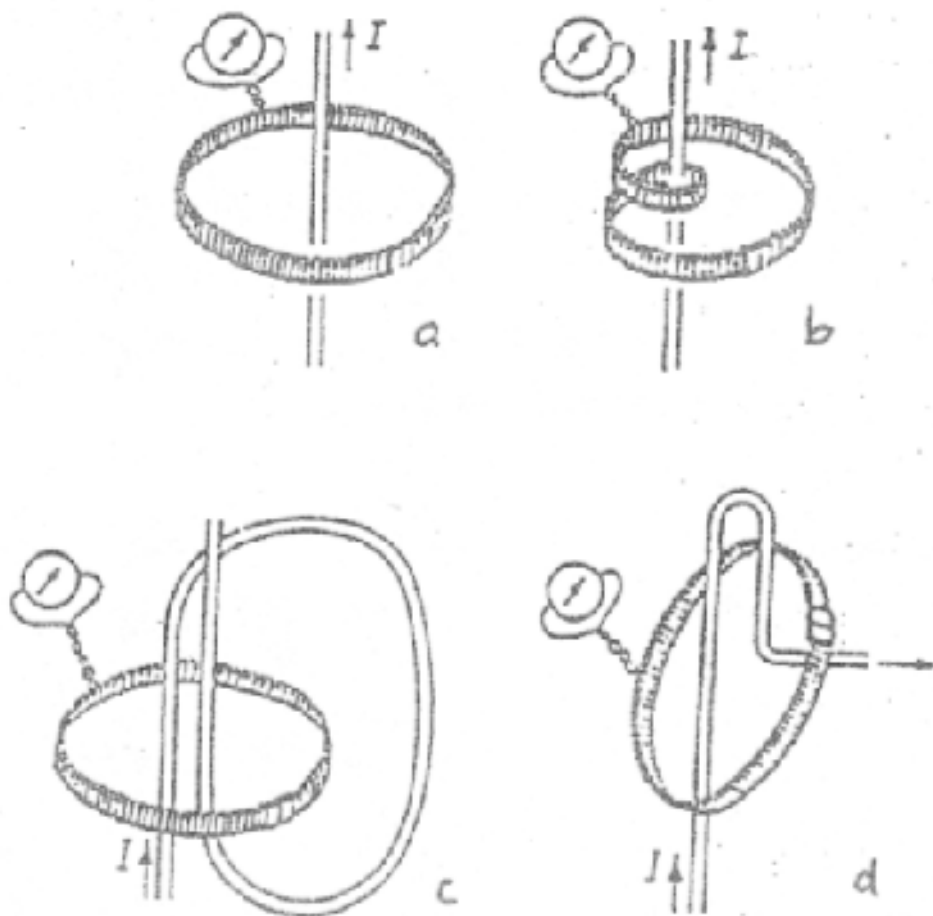
Με την διάταξη του παρακάτω σχήματος, μετριέται στην περίπτωση (α) μια υψηλή μαγνητική τάση, ενώ στην περίπτωση (β) μετριέται μια πολύ χαμηλότερη μαγνητική τάση.



Σχήμα 9 – Μαγνητική τάση στο πεδίο ενός πηνίου

Μαγνητική τάση κλειστής καμπύλης στον ευθύγραμμο αγωγό

Με την διάταξη το παρακάτω σχήματος, αποδεικνύεται, ότι η μαγνητική τάση κλειστής καμπύλης και η ένταση του ρεύματος είναι ανάλογα μεγέθη. Αν ο ευθύγραμμος αγωγός εσωκλείεται δύο φορές, τότε η μαγνητική τάση θα έχει την διπλάσια τιμή. Το ίδιο αποτέλεσμα παρατηρείται, αν το ρεύμα διαρρέει δύο φορές το εμβαδόν που εσωκλείει το πηνίο. Εφόσον δεν εσωκλείεται κανένα ρεύμα, τότε ο παλμός τάσης, ή αντίστοιχα η μαγνητική τάση, μηδενίζεται. Οι διατάξεις του παρακάτω σχήματος επαληθεύουν την γενική διατύπωση του νόμου του Ampere. Ο νόμος αυτός περιγράφει την σχέση μεταξύ μαγνητικού πεδίου και ηλεκτρικού ρεύματος σε γενική μορφή. Για τον λόγο αυτό, είναι ένας από τους πιο σημαντικούς νόμους του 'στάσιμου' ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.



Σχήμα 10 – Μαγνητική τάση κλειστής καμπύλης στον ευθύγραμμο αγωγό

Πρακτικό μέρος

1. Τα όργανα τα οποία είναι απαραίτητα για την εκτέλεση του πειράματος, είναι:
3. Τροφοδοτικό συνεχούς ρεύματος με διακόπτη και ποτενσιόμετρο για την ρύθμιση της έντασης του ρεύματος και αμπερόμετρο
4. Μαγνητική βελόνη που περιβάλλεται από δύο στερεά εγκατεστημένα σύρματα, των οποίων δύο άκρα είναι συνδεδεμένα (σύνδεση κατά σειρά). Η μαγνητική βελόνη συνοδεύεται από ένα περιστρεφόμενο πλαίσιο με μοιρογνωμόνιο.
5. Αντί του ποτενσιόμετρου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας ροοστάτης
2. Διαδικασία της άσκησης
 - 2.1. Το επίπεδο της μαγνητικής βελόνης τοποθετείται οριζόντια. Δια μετακίνησης του πλαισίου βρίσκεται εκείνη η θέση, όπου ο άξονας της βελόνης συμπίπτει με την ένδειξη μηδέν (0). Δι' αυτού έχει βρεθεί η φορά και η διεύθυνση του μαγνητικού μεσημβρινού, δηλαδή H_{op} .
 - 2.2. Το επίπεδο της βελόνης στρέφεται τώρα κατά 90° . Η βελόνη εκτρέπεται αμέσως και ισορροπεί μετά από μικρό χρονικό διάστημα. Η ένδειξη της βελόνης παρέχει την τοπική έγκλιση β (σε μοίρες). Η ύπαρξη της έγκλισης σημαίνει την ύπαρξη της συνιστώσας H_z .
 - 2.3. Τα βήματα 2.1 και 2.2 επαναλαμβάνονται πέντε φορές με σκοπό τον προσδιορισμό μιας μέσης τιμής της έγκλισης β .

$$\overline{\beta} = \frac{1}{5} \sum_1^5 \beta_2$$

2.4. Τα άκρα των δύο συρμάτων που περιβάλλουν την βελόνη, συνδέονται με την συνεχή τάση του τροφοδοτικού. Με ποτενσιόμετρο ή ροοστάτη, ρυθμίζεται η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τα σύρματα, μέχρι που η βελόνη ισορροπήσει στην ένδειξη μηδέν, συγχρόνως σημειώνουμε την ένδειξη της έντασης του ρεύματος. Το βήμα αυτό επαναλαμβάνεται πέντε φορές με σκοπό τον προσδιορισμό μιας μέσης τιμής της έντασης I του ρεύματος. Δια του χειρισμού αυτού, παράχθηκε ένα τεχνητό μαγνητικό πεδίο, το οποίο εξουδετερώνει την συνιστώσα H_z του γήινου μαγνητικού πεδίου.

3. Αξιολόγηση των μετρήσεων

3.1. Υπολογισμός της συνιστώσας $H_z = H'_z$. Η H'_z υπολογίζεται σύμφωνα με τον νόμο του Ampere. Για τον σκοπό αυτό, χρειάζεται η απόσταση μεταξύ των συρμάτων και της βελόνης. Αυτή είναι $r = 0.5 \cdot 10^{-2} m$

3.2. Με γνωστή πλέον την συνιστώσα H_z και την έγκλιση β μπορεί να υπολογιστεί μέσω μιας απλής τριγωνομετρικής σχέσης η συνισταμένη ένταση του μαγνητικού πεδίου H (βλέπε σχήμα 2)

3.3. Υπολογισμός της ολικής μαγνητικής επαγωγής $B = \mu_0 H$

3.4. Υπολογισμός του σφάλματος του αποτελέσματος B στην μορφή:

$$B = B_{\text{Μετρ}} \pm \Delta B$$