ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ

Τι ονομάζεται μαγνητισμός ; Τι είναι φυσικός και τι τεχνητός μαγνήτης ; Τι είναι μόνιμος και τι παροδικός μαγνήτης;

Όπως είναι γνωστό, ορισμένα υλικά έχουν από τη φύση τους την ιδιότητα να έλκουν μικρά τεμάχια σιδήρου (Fe), νικελίου (Ni) ή κοβαλτίου (Co). Η ιδιότητα αυτή, που πρώτοι παρατήρησαν οι αρχαίοι Έλληνες στο ορυκτό μαγνητίτη (Fe_3O_4), ονομάστηκε **μαγνητισμός** και τα σώματα που την παρουσιάζουν ονομάστηκαν **φυσικοί μαγνήτες**.

Εκτός από τους φυσικούς μαγνήτες έχουμε και τους τεχνητούς μαγνήτες, οι οποίοι αποκτούν τις μαγνητικές τους ιδιότητες με διάφορες μεθόδους. Έτσι, μπορούμε να μαγνητίσουμε μια ράβδο από χάλυβα είτε με τη μέθοδο της τριβής της μ' ένα ή δύο φυσικούς μαγνήτες είτε με τη μέθοδο της εισαγωγής της στο εσωτερικό ενός σωληνοειδούς που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα κ.λ.π.

Οι τεχνητοί μαγνήτες διακρίνονται σε **μόνιμους** και **παροδικούς** μαγνήτες. Μόνιμοι μαγνήτες ονομάζονται οι τεχνητοί μαγνήτες που διατηρούν τον μαγνητισμό τους για πολύ χρόνο αφότου έχει πάψει να επιδρά το αίτιο της μαγνήτισής τους, μια ράβδος από χάλυβα γίνεται μόνιμος μαγνήτης, ενώ παροδικοί μαγνήτες ονομάζονται οι τεχνητοί μαγνήτες που διατηρούν τον μαγνητισμό τους μόνο για όσο χρόνο επιδρά το αίτιο της μαγνήτισής τους, μία ράβδος από μαλακό σίδηρο γίνεται παροδικός μαγνήτης.

Ανάλογα με τη χρήση τους, οι τεχνητοί μαγνήτες έχουν μορφή μαγνητικής βελόνας, μορφή πετάλου (πεταλοειδείς μαγνήτες) ή κυλινδρική ή πρισματική μορφή (ραβδόμορφοι μαγνήτες).

Τι ονομάζονται πόλοι ενός μαγνήτη και πώς καθορίζεται ο βόρειος και ο νότιος πόλος του μαγνήτη ; Τι ονομάζεται στοιχειώδης μαγνήτης ;

Αν βυθίσουμε σε ρινίσματα σιδήρου ένα ραβδόμορφο μαγνήτη, θα παρατηρήσουμε ότι αυτά προσκολλώνται κυρίως στις περιοχές κοντά στα δυο άκρα του, που ονομάζονται **πόλοι** του μαγνήτη. Άρα πόλοι ενός μαγνήτη ονομάζονται οι δυο χαρακτηριστικές περιοχές του μαγνήτη όπου εμφανίζονται πιο έντονα οι μαγνητικές του ιδιότητες.

Αν δέσουμε με νήμα ένα ραβδόμορφο μαγνήτη από το μέσο του, θα παρατηρήσουμε ότι ισορροπεί τελικά σε μια τέτοια θέση, ώστε ο κατά μήκος άξονάς του να έχει τη διεύθυνση Βορρά-Νότου. Ο πόλος του μαγνήτη που δείχνει το Βορρά ονομάζεται βόρειος πόλος και συμβολίζεται με το γράμμα N (North=Βορράς), ενώ ο πόλος που δείχνει το Νότο ονομάζεται νότιος πόλος και συμβολίζεται με το γράμμα S (South=Νότος).

Αν κόψουμε ένα ραβδόμορφο μαγνήτη σε δυο κομμάτια, τότε το καθένα απ' αυτά είναι ένας νέος μαγνήτης. Αν κόψουμε καθένα από τους νέους μαγνήτες σε δύο νέα κομμάτια, τότε και πάλι το κάθε κομμάτι είναι ένας

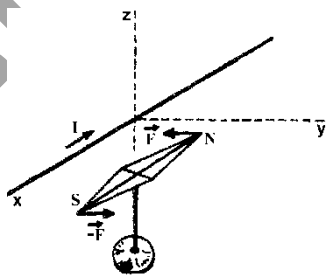
1ο ΓΕΛ ΔΡΑΠΕΤΣΩΝΑΣ

νέος μαγνήτης. Από το πείραμα αυτό συμπεραίνουμε ότι δεν μπορούμε να απομονώσουμε ένα μαγνητικό πόλο, δηλαδή δεν μπορούμε να έχουμε ένα απομονωμένο μαγνητικό μονόπολο.

Αν εξακολουθήσουμε την παραπάνω διαδικασία χωρισμού των μαγνητών σε διαρκώς μικρότερα κομμάτια, τότε θα διαπιστώσουμε ότι τα ελάχιστα τμήματα του αρχικού μαγνήτη, δηλαδή τα μόρια ή τα άτομα του μαγνήτη, είναι μαγνήτες με βόρειο και νότιο πόλο. Οι μικροί αυτοί μαγνήτες ονομάζονται στοιχειώδεις μαγνήτες.

Ποιο είναι και τι δείχνει το πείραμα του Oersted ;

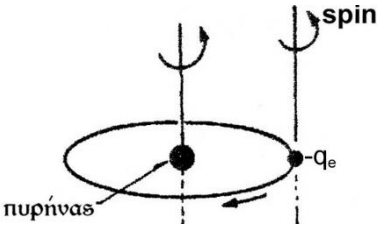
Ο Δανός φυσικός Oersted (Έρστεντ) ανακάλυψε πρώτος ότι το ηλεκτρικό ρεύμα επιδρά πάνω σε ένα μόνιμο μαγνήτη.



Ένας ευθύγραμμος αγωγός βρίσκεται ακριβώς πάνω από μια οριζόντια μαγνητική βελόνα που μπορεί να περιστρέφεται ελεύθερα γύρω από κατακόρυφο άξονα. Όταν ο αγωγός διαρρέεται από ρεύμα, τότε στους πόλους της μαγνητικής βελόνας ασκούνται οι αντίθετες δυνάμεις $\vec{F}$ και $-\vec{F}$, οι οποίες (και συγκεκριμένα η ροπή τους) εκτρέπουν τη βελόνα από τη θέση ισορροπίας της και την προσανατολίζουν σε μια νέα θέση. Όταν το ρεύμα διακόπτεται, η βελόνα επανέρχεται στην αρχική της θέση, ενώ όταν το ρεύμα έχει αντίθετη φορά, προκαλεί περιστροφή της βελόνας κατά την αντίθετη φορά. Η γωνία εκτροπής της βελόνας μεγαλώνει με την αύξηση της έντασης του ρεύματος και η βελόνα τείνει τελικά να προσανατολιστεί σχεδόν κάθετα προς τον αγωγό.

Το πείραμα του Oersted δείχνει ότι **γύρω από ένα ρευματοφόρο αγωγό δημιουργείται μαγνητικό πεδίο**. Επειδή, όμως, το ηλεκτρικό ρεύμα δεν είναι τίποτε άλλο παρά ηλεκτρικά φορτία σε κίνηση, μπορούμε να πούμε ότι : ο μαγνητισμός είναι μια ιδιότητα του κινούμενου ηλεκτρικού φορτίου.

Πως εξηγούνται τα μαγνητικά φαινόμενα ;



Στους μόνιμους μαγνήτες δεν υπάρχει κανένα εμφανές ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο θα εξηγούσε τις μαγνητικές τους ιδιότητες σύμφωνα με όσα αναφέραμε πιο πάνω. Άρα γεννήθηκε η σκέψη να αναζητήσουμε την ύπαρξη ηλεκτρικών ρευμάτων μέσα στους μαγνήτες. Όπως είναι γνωστό, κάθε μαγνήτης αποτελείται από έναν πολύ μεγάλο αριθμό ατόμων, στα οποία τα ηλεκτρόνια περιφέρονται γύρω από τον πυρήνα σε κλειστή τροχιά και ταυτόχρονα περιστρέφονται και γύρω από τον εαυτό τους (κίνηση που ονομάζεται spin).

Η κίνηση ενός ηλεκτρονίου γύρω από τον πυρήνα μπορεί να θεωρηθεί ισοδύναμη με κλειστό ρεύμα που έχει ένταση :

1ο ΓΕΛ ΔΡΑΠΕΤΣΩΝΑΣ

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \Leftrightarrow I = \frac{q_e}{T},$$

όπου q_e, το φορτίο του ηλεκτρονίου και T η περίοδος περιφοράς του γύρω από τον πυρήνα. Άρα μπορούμε να πούμε ότι η κίνηση του ηλεκτρονίου γύρω από τον εαυτό του ισοδυναμεί μ' ένα μικρό κυκλικό ρεύμα.

Επειδή η περιφορά και η ιδιοπεριστροφή των ηλεκτρονίων ενός ατόμου ισοδυναμούν με κλειστά κυκλικά ρεύματα, τα άτομα ενός μαγνήτη είναι στην πραγματικότητα στοιχειώδεις μαγνήτες με βόρειο και νότιο πόλο. Η άποψη που επικρατεί σήμερα δέχεται ότι τα μαγνητικά φαινόμενα των μαγνητών οφείλονται μόνο κατά ένα μικρό μέρος στην περιφορά των ηλεκτρονίων γύρω από τον πυρήνα, ενώ ως κύρια πηγή τους θεωρείται η περιστροφή των ηλεκτρονίων γύρω από τον εαυτό τους (spin).

Με βάση τα παραπάνω, η εξήγηση των μαγνητικών ιδιοτήτων των μαγνητών είναι απλή. Σ' ένα κομμάτι π.χ. χάλυβα που δεν είναι μαγνήτης, τα επίπεδα πάνω στα οποία κινούνται τα ηλεκτρόνια και κατά συνέπεια οι αντίστοιχοι στοιχειώδεις μαγνήτες έχουν τυχαίο προσανατολισμό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι μαγνητικές ιδιότητες των στοιχειωδών μαγνητών να αλληλοεξουδετερώνονται και έτσι το κομμάτι του χάλυβα να μην εμφανίζει μαγνητικές ιδιότητες. Αν, όμως, το κομμάτι του χάλυβα εισαχθεί στο εσωτερικό ενός σωληνοειδούς που διαρρέεται από ρεύμα, τότε το μαγνητικό πεδίο του σωληνοειδούς προσανατολίζει τα επίπεδα πάνω στα οποία κινούνται τα ηλεκτρόνια παράλληλα προς τα επίπεδα των σπειρών του και κατά συνέπεια προσανατολίζει τους αντίστοιχους στοιχειώδεις μαγνήτες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην αλληλοεξουδετερώνονται οι μαγνητικές ιδιότητες των στοιχειωδών μαγνητών στα δύο άκρα του κομματιού, το οποίο έτσι γίνεται ένας μόνιμος μαγνήτης.

Ποια είναι η θεωρία των μαγνητικών περιοχών ή θεωρία του Weiss ;

Η θεωρία που διατυπώθηκε πιο πάνω δεν μπορεί να εξηγήσει απόλυτα την ιδιαίτερη συμπεριφορά των σιδηρομαγνητικών υλικών (π.χ. Fe, Ni, Co). Η συμπεριφορά των υλικών αυτών ερμηνεύεται καλύτερα με τη λεγόμενη **θεωρία του Weiss**, η οποία υποστηρίζει ότι τα άτομα κάθε σιδηρομαγνητικού υλικού αποτελούν μικροσκοπικές περιοχές που λέγονται **μαγνητικές περιοχές**. Κάθε μαγνητική περιοχή περιλαμβάνει περίπου 10^{10} άτομα και έχει εύρος της τάξης των 10^{-3}mm. Όλα τα άτομα μιας μαγνητικής περιοχής έχουν τους μαγνητικούς τους άξονες παράλληλους και προσανατολισμένους και έτσι κάθε μαγνητική περιοχή είναι ένας ισχυρός μαγνήτης.

Σ' ένα σιδηρομαγνητικό υλικό που δεν είναι μαγνήτης, οι μαγνητικές περιοχές έχουν τυχαίο προσανατολισμό με αποτέλεσμα το υλικό αυτό να μην παρουσιάζει συνολικά μαγνητικές ιδιότητες. Όταν, όμως, το υλικό αυτό βρεθεί μέσα σε κάποιο μαγνητικό πεδίο, τότε ένας μεγάλος αριθμός μαγνητικών περιοχών τείνει να προσανατολιστεί προς ορισμένη κατεύθυνση, με αποτέλεσμα να παρουσιάζει συνολικά μαγνητικές ιδιότητες, δηλ. να

10 ΓΕΛ ΔΡΑΠΕΤΣΩΝΑΣ

γίνει ένας ισχυρός μαγνήτης. Όταν ο προσανατολισμός των μαγνητικών περιοχών εξακολουθεί να υφίσταται και μετά την απομάκρυνση του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου, τότε το υλικό αυτό είναι μόνιμος μαγνήτης.

Με την παραπάνω θεωρία, εξηγούνται αρκετά μαγνητικά φαινόμενα, όπως για παράδειγμα η μαγνήτιση μιας ράβδου μαλακού σιδήρου, όταν φέρουμε κοντά στο ένα άκρο της ή σε επαφή με αυτή ένα μαγνήτη, εξηγείται από το γεγονός ότι πολλές μαγνητικές περιοχές της ράβδου αποκτούν με την επίδραση του μαγνήτη τον ίδιο προσανατολισμό.

Τι ονομάζεται μαγνητικό πεδίο ; Τι ονομάζεται δυναμική γραμμή μαγνητικού πεδίου ; Ποιο μαγνητικό πεδίο χαρακτηρίζεται ως ομογενές ;

Μαγνητικό πεδίο ονομάζεται ο χώρος μέσα στον οποίο ασκούνται μαγνητικές δυνάμεις σε κάθε κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο. Μαγνητικό πεδίο είναι ο χώρος που περιβάλλει ένα μαγνήτη ή ένα ρευματοφόρο αγωγό ή ένα μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο.

Όπως τα άλλα πεδία (βαρυτικό, ηλεκτρικό) έτσι και το μαγνητικό πεδίο απεικονίζεται με τις δυναμικές του γραμμές και χαρακτηρίζεται σε κάθε σημείο του από ένα διανυσματικό μέγεθος $\vec{B}$ που ονομάζεται **ένταση ή μαγνητική επαγωγή του μαγνητικού πεδίου.**

Δυναμική γραμμή μαγνητικού πεδίου ονομάζεται κάθε γραμμή που σε κάθε σημείο της το αντίστοιχο διάνυσμα της έντασης $\vec{B}$ του μαγνητικού πεδίου, εφάπτεται στη γραμμή.

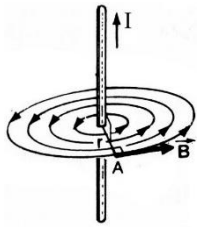
Οι δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου δεν έχουν ούτε αρχή ούτε τέλος, δηλαδή είναι γραμμές κλειστές. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι δεν μπορούμε να έχουμε μόνο ένα μαγνητικό πόλο, αφού οι μαγνητικοί πόλοι (βόρειος-νότιος) εμφανίζονται πάντοτε κατά ζεύγη. Αυτό αποτελεί και την βασική τους διαφορά από τις δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου που προέρχονται από ένα σημειακό φορτίο, οι οποίες είναι ανοικτές και έχουν ως αρχή ένα θετικό φορτίο +Q και ως τέλος ένα αρνητικό φορτίο -Q.

Στους μαγνήτες, οι δυναμικές γραμμές εξέρχονται από το βόρειο μαγνητικό πόλο και εισέρχονται από το νότιο, σχηματίζοντας έτσι κλειστούς βρόχους.

Ένα μαγνητικό πεδίο χαρακτηρίζεται ως **ομογενές**, όταν η ένταση $\vec{B}$ του πεδίου είναι σταθερή σ' όλα τα σημεία του. Άρα οι δυναμικές γραμμές ενός ομογενούς μαγνητικού πεδίου, όπως και στο ηλεκτρικό πεδίο, είναι παράλληλες και ισαπέχουσες μεταξύ τους. Σε αντίθετη περίπτωση, το πεδίο ονομάζεται ανομοιογενές.

Μαγνητικό πεδίο ευθύγραμμου, απείρου μήκους, ρευματοφόρου αγωγού.

Έστω ότι έχουμε έναν ρευματοφόρο αγωγό, απείρου μήκους. Γύρω από τον αγωγό, όπως απέδειξε το πείραμα του Oersted, αναπτύσσεται μαγνητικό πεδίο. Σ' ένα σημείο Α του πεδίου, που απέχει απόσταση r από τον αγωγό, η ένταση του μαγνητικού πεδίου, δίνεται από την σχέση :

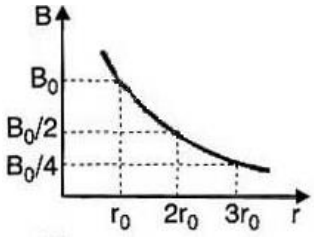


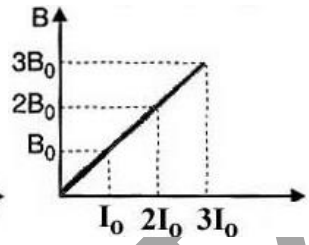
1ο ΓΕΛ ΔΡΑΠΕΤΣΩΝΑΣ

$$B = k_\mu \frac{2I}{r}$$

όπου I είναι η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό. Η μορφή του πεδίου είναι ομόκεντροι κύκλοι, με επίπεδα κάθετα στο επίπεδο του ρευματοφόρου αγωγού και με κέντρο πάνω στον αγωγό. Η φορά του μαγνητικού πεδίου, δίνεται με τον κανόνα του δεξιού χεριού. Δηλαδή, αν ο αντίχειρας του δεξιού μας χεριού έχει την φορά του ρεύματος του αγωγού, τότε τα άλλα δάκτυλα θα δείχνουν την μαγνητική ένταση $\vec{B}$.

Η γραφική παράσταση της έντασης $\vec{B}$ συναρτήσει της απόστασης r από τον αγωγό και της έντασης I του ρεύματος δίνεται στις παρακάτω παραστάσεις :





Η σταθερά k_μ είναι μια μαγνητική σταθερά με τιμή ίση 10^{-7}N/A^2, η οποία συνδέεται μέσω μιας άλλης μαγνητικής σταθεράς, της **μαγνητικής διαπερατότητας του κενού (μ_0)**, από την σχέση :

$$k_\mu = \frac{\mu_o}{4\pi}$$

απ' όπου : $\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7} = 1{,}256 \cdot 10^{-6}$ N/A^2. Έτσι η ένταση του μαγνητικού πεδίου γίνεται : $B = \frac{\mu_o I}{2\pi r}$.

Αν τέλος, ο ρευματοφόρος αγωγός αποτελείται από N ρευματοφόρα ευθύγραμμα σύρματα, η σχέση της έντασης του μαγνητικού πεδίου γίνεται : $B = k_\mu N \frac{2I}{r} = N \frac{\mu_o I}{2\pi r}$.

Μαγνητικό πεδίο ρευματοφόρου κυκλικού αγωγού (βρόγχος).

Έστω ότι έχουμε ένα ρευματοφόρο αγωγό, τον οποίο καμπυλώνουμε με αποτέλεσμα να φτιάξουμε έναν κυκλικό βρόγχο. Τότε μπορούμε να προσδιορίσουμε την ένταση του μαγνητικού πεδίου **μόνο στο κέντρο του**, και θα δίνεται από την σχέση :

$$B = k_\mu \frac{2\pi I}{r},$$

όπου I είναι η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό και r η ακτίνα του, ή με $B = \frac{\mu_o I}{2r}$.

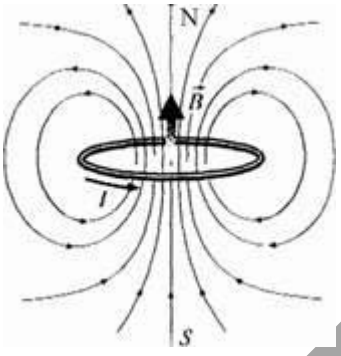
Και εδώ η φορά προσδιορίζεται από τον κανόνα του δεξιού χεριού. α) Αν ο αντίχειρας έχει την διεύθυνση του ρεύματος, τότε τα υπόλοιπα δάκτυλα κλείνουν προς την φορά της έντασης του μαγνητικού πεδίου, ή β) αν τα δάκτυλα έχουν την διεύθυνση του ρεύματος, τότε ο αντίχειρας θα μας δείχνει την φορά της έντασης του

1ο ΓΕΛ ΔΡΑΠΕΤΣΩΝΑΣ

μαγνητικού πεδίου. Άρα οι δυναμικές γραμμές είναι και εδώ κλειστοί βρόγχοι, με το επίπεδό τους κάθετο στο επίπεδο του ρευματοφόρου κυκλικού αγωγού.

Αν δεν έχουμε μόνο ένα κυκλικό αγωγό (σπείρα) αλλά N, τότε : $B=k_{\mu}N\frac{2\pi I}{r}=N\frac{\mu_o I}{2r}$, με την απαραίτητη προϋπόθεση όλοι οι αγωγοί να διαρρέονται από ρεύμα ίδιας έντασης και φοράς.

Η μορφή του πεδίου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

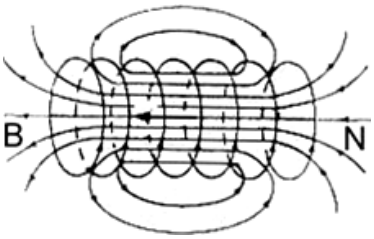


Μαγνητικό πεδίο σωληνοειδούς (πηνίο).

Ένα πηνίο αποτελείται από πολλές σπείρες, μικρής ακτίνας. Το μήκος του σωληνοειδούς είναι αρκετά μεγαλύτερο από την ακτίνα των σπειρών. Όταν το σωληνοειδές διαρρέεται από ρεύμα έντασης I, δημιουργεί έντονο μαγνητικό πεδίο, στο εσωτερικό του. Στο **κέντρο του σωληνοειδούς**, η ένταση του πεδίου δίνεται από την σχέση :

$$B=k_{\mu}4\pi I\frac{N}{\ell},$$

όπου N είναι ο αριθμός των σπειρών του πηνίου, και ℓ το μήκος του. Ο λόγος $\frac{N}{\ell}$=n, είναι ο αριθμός των σπειρών του σωληνοειδούς ανά μονάδα μήκους. Αν εισάγουμε την μαγνητική διαπερατότητα τότε η σχέση της έντασης γίνεται : $B=\mu_o I\frac{N}{\ell}$.



Η φορά της έντασης προσδιορίζεται και πάλι με τον κανόνα του δεξιού χεριού. Αν η δεξιά παλάμη αγκαλιάσει το σωληνοειδές και τα τέσσερα δάκτυλα δείχνουν την φορά του ρεύματος, ο αντίχειρας θα μας δώσει την φορά του μαγνητικού πεδίου.

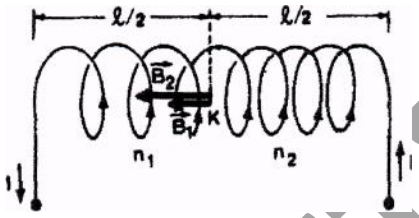
Όπως παρατηρούμε, η ένταση στο εσωτερικό του σωληνοειδούς είναι ισχυρή και μπορούμε να θεωρήσουμε εκεί το πεδίο ομογενές. Οι δυναμικές του γραμμές είναι κλειστές, εξέρχονται από το ένα άκρο, που θεωρείται ο Βόρειος πόλος και εισέρχονται στο εσωτερικό του από τον άλλο πόλο, που θεωρείται ο Νότιος. Στο εξωτερικό του μοιάζει με το μαγνητικό πεδίο ραβδόμορφου μαγνήτη.

10 ΓΕΛ ΔΡΑΠΕΤΣΩΝΑΣ

Αν θέλουμε να προσδιορίσουμε την ένταση **στα άκρα του σωληνοειδούς**, θα είναι η μισή από αυτή που έχει στο κέντρο, δηλαδή : $B = k_\mu 2\pi I \frac{N}{\ell} = \mu_o I \frac{N}{2\ell}$.

Ένα σωληνοειδές μεγάλου μήκους έχει στο μισό μήκος του n_1 σπείρες ανά μονάδα μήκους και στο άλλο μισό n_2 σπείρες ανά μονάδα μήκους. Ποιο είναι το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο Κ του σωληνοειδούς, όταν αυτό διαρρέεται από ρεύμα έντασης I;

Το κέντρο Κ του σωληνοειδούς, βρίσκεται στο άκρο καθενός από τα δύο τμήματά του, οπότε το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται εκεί έχει συνολική ένταση $\vec{B} = \vec{B}_{1(K)} + \vec{B}_{2(K)}$.



Επειδή τα διανύσματα $\vec{B}_{1(K)}$ και $\vec{B}_{2(K)}$ έχουν την ίδια διεύθυνση στο Κ, η παραπάνω σχέση γράφεται :

$$B = B_{1(K)} + B_{2(K)} = k_\mu 4\pi I + k_\mu 4\pi\iota \frac{n_2}{2} \Leftrightarrow B = k_\mu 2\pi I\left(n_1 + n_2\right).$$

Σιδηρομαγνητικά, παραμαγνητικά και διαμαγνητικά υλικά.

Αν στο εσωτερικό ενός ρευματοφόρου σωληνοειδούς, όπου δημιουργείται ομογενές μαγνητικό πεδίο $\vec{B}_o$, βάλουμε ένα κομμάτι σιδήρου, θα διαπιστώσουμε ότι : **α)** ο σίδηρος θα μαγνητισθεί και **β)** η εικόνα του πεδίου θα αλλοιωθεί. Στον χώρο που καταλαμβάνει ο σίδηρος θα πυκνώσουν οι δυναμικές γραμμές, άρα το πεδίο θα γίνει ισχυρότερο.

Πειραματικά αποδεικνύεται ότι στο εσωτερικό του σιδήρου η ένταση $\vec{B}$ του μαγνητικού πεδίου έχει μέτρο που δίνεται από την σχέση : $B=\mu B_o$ όπου μ ονομάζεται μαγνητική διαπερατότητα του υλικού και είναι καθαρός αριθμός.

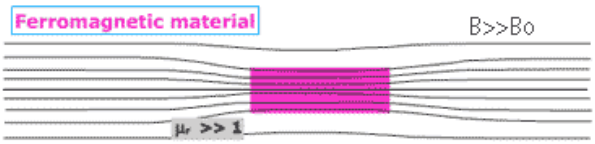
Άρα η μαγνητική διαπερατότητα ενός υλικού περιγράφεται από την σχέση :

$$\mu = \frac{B}{B_o},$$

όπου B είναι το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου με το υλικό στο εσωτερικό του, ενώ B_o είναι το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου χωρίς το υλικό στο εσωτερικό του.

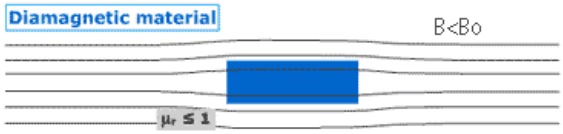
Τα υλικά, ανάλογα με την τιμή της μαγνητικής τους διαπερατότητας, τα διαχωρίζουμε στις παρακάτω κατηγορίες :

1ο ΓΕΛ ΔΡΑΠΕΤΣΩΝΑΣ



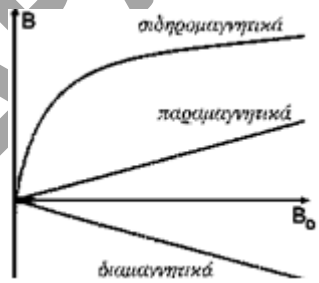
1. Τα υλικά εκείνα των οποίων η μαγνητική διαπερατότητα μ είναι πολύ μεγαλύτερη από τη μονάδα (μ>>1, π.χ. ο χάλυβας που είναι κράμα Fe-C, με μαγνητική διαπερατότητα 3000 και άνω) και τα οποία ονομάζονται **σιδηρομαγνητικά**. Άλλα σιδηρομαγνητικά υλικά είναι το νικέλιο (Ni), ο σίδηρος (Fe), το κοβάλτιο (Co) και ορισμένα κράματα τα οποία μαγνητίζονται ισχυρά, ακόμη και από ασθενή μαγνητικά πεδία. Διατηρούν την μαγνήτισή τους (αποτέλεσμα) ακόμη και αν τα βγάλουμε από το αρχικό πεδίο έντασης $\vec{B}_o$ (αίτιο). Μόνο αν βρεθούν σε θερμοκρασία ανώτερη από ένα ορισμένο όριο (θερμοκρασία Curie, T_c), χάνουν την μαγνήτισή τους, (για τον σίδηρο η T_c=785°C).

2. Τα υλικά (όπως το υγρό και στερεό οξυγόνο, το χρώμιο και το αργίλιο), τα οποία έχουν μαγνητική διαπερατότητα λίγο μεγαλύτερη από την μονάδα (μ>1) και ανεξάρτητη της τιμής $\vec{B}_o$, ονομάζονται **παραμαγνητικά**.



3. Τα περισσότερα υλικά στην φύση έχουν μαγνητική διαπερατότητα λίγο μικρότερη από την μονάδα (μ<1) και ονομάζονται **διαμαγνητικά**. Όταν ένα διαμαγνητικό υλικό μπει σε ομογενές μαγνητικό πεδίο έντασης $\vec{B}_o$, τότε στον χώρο του έχουμε εξασθένηση του πεδίου άρα οι δυναμικές γραμμές αραιώνουν.

Μια γραφική απεικόνιση της συμπεριφοράς των υλικών, φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Η κλίση των παραπάνω παραστάσεων ισούται με την μαγνητική διαπερατότητα του υλικού. Παρατηρούμε ότι η μαγνητική διαπερατότητα των παραμαγνητικών και διαμαγνητικών υλικών, είναι σταθερή και ανεξάρτητη του πεδίου, σε αντίθεση με την διαπερατότητα των σιδηρομαγνητικών, όπου σε μεγάλα μαγνητικά πεδία παρουσιάζουν μεγαλύτερη διαπερατότητα, άρα και το Β είναι μεγαλύτερο. Αυτό συμβαίνει γιατί στα μεγάλα μαγνητικά πεδία, ο προσανατολισμός των μαγνητικών περιοχών Weiss γίνεται εντονότατος. Παρατηρούμε επίσης ότι στα διαμαγνητικά υλικά, η μαγνητική διαπερατότητα είναι αρνητική ενώ στα παραμαγνητικά και σιδηρομαγνητικά θετική, αλλά των σιδητομαγνητικών αρκετά μεγαλύτερη από αυτή των παραμαγνητικών, συμπεράσματα που έχουν αποδειχθεί και στο πείραμα.

10ΓΕΛ ΔΡΑΠΕΤΣΩΝΑΣ

Δύναμη πάνω σε ρευματοφόρο αγωγό από μαγνητικό πεδίο - Δύναμη Laplace.

Όταν μέσα σ' ένα μαγνητικό πεδίο, βρεθεί ένας ρευματοφόρος αγωγός, αποδεικνύεται πειραματικά ότι αναπτύσσεται πάνω στον αγωγό μαγνητική δύναμη, που ονομάζεται δύναμη Laplace. Η κατεύθυνση της δύναμης Laplace είναι κάθετη και στον αγωγό αλλά και στην ένταση $\vec{B}$ του μαγνητικού πεδίου, είναι δηλαδή κάθετη στο επίπεδο που ορίζουν ο αγωγός και το διάνυσμα $\vec{B}$. Η κατεύθυνση της δύναμης Laplace εξαρτάται επίσης από τις κατευθύνσεις της έντασης $\vec{B}$ και του ρεύματος I.

Αν αναστρέψουμε την φορά του ρεύματος, διατηρώντας την φορά του πεδίου αμετάβλητη, έχουμε αναστροφή της δύναμης Laplace. Ομοίως, αν αναστρέψουμε την φορά του μαγνητικού πεδίου, διατηρώντας την φορά του ρεύματος αμετάβλητη, βλέπουμε ότι η φορά της δύναμης Laplace αναστρέφεται. (Προφανώς αν αναστραφούν ταυτόχρονα οι φορές του ρεύματος και της έντασης $\vec{B}$, δεν έχουμε καμία μεταβολή στην φορά της δύναμης Laplace).

Το μέτρο της δύναμης Laplace δίνεται από την σχέση :

$$F_{Laplace} = BI\ell\eta\mu\phi,$$

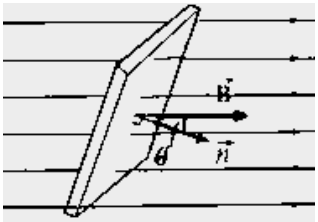
όπου B είναι η ένταση του μαγνητικού πεδίου, I είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό, ℓ είναι το μήκος του αγωγού και φ είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της έντασης του μαγνητικού πεδίου και της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος. Σαν σημείο εφαρμογής είναι το μέσο του αγωγού.

Η φορά της δύναμης Laplace βρίσκεται με τον κανόνα των τριών δακτύλων του δεξιού χεριού. Αν ο δείκτης έχει την φορά του μαγνητικού πεδίου και ο αντίχειρας την φορά της έντασης του ρεύματος, ο μέσος δείχνει την φορά της δύναμης Laplace.

Ορισμός του Tesla.

Έστω ότι ο ρευματοφόρος αγωγός είναι κάθετος στις δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου. Άρα φ=90° και ημ90°=1. Τότε η δύναμη Laplace, γίνεται ίση με : $F_{Laplace} = BI\ell \Leftrightarrow B = \frac{F_{Laplace}}{I\ell}$. Άρα μαγνητικό πεδίο έντασης 1T είναι το μαγνητικό πεδίο που ασκεί δύναμη 1N, σ' έναν ρευματοφόρο αγωγό, μήκους 1m που διαρρέεται από ρεύμα έντασης 1A και ο οποίος είναι κάθετος στις δυναμικές γραμμές του πεδίου.

Μαγνητική ροή.



Έστω ότι μέσα στον χώρο ενός ομογενούς μαγνητικού πεδίου εντάσεως $\vec{B}$, υπάρχει μια επιφάνεια εμβαδού S. Κάθε επιφάνεια χαρακτηρίζεται από ένα διάνυσμα $\vec{n}$, κάθετο σ' αυτήν που δείχνει τον προσανατολισμό της.

Καθώς η επιφάνεια βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο, διέρχεται διαμέσου αυτής

1ο ΓΕΛ ΔΡΑΠΕΤΣΩΝΑΣ

κάποιος αριθμός δυναμικών μαγνητικών γραμμών του πεδίου.

Ορίζουμε ως μαγνητική ροή, το μονόμετρο μέγεθος το μέτρο του οποίου ορίζεται ως :

$$\Phi_B = B \cdot S \cdot \text{συν}\theta,$$

όπου θ είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της έντασης $\vec{B}$ του μαγνητικού πεδίου και του κάθετου διανύσματος $\vec{n}$ που χαρακτηρίζει την επιφάνεια. Η μαγνητική ροή Φ_B εκφράζει τον αριθμό των δυναμικών μαγνητικών γραμμών που διαπερνούν την επιφάνεια.

Μονάδα μέτρησης της μαγνητικής ροής Φ_B είναι το Weber, που ορίζεται ως $1Wb = 1T \cdot 1m^2$.

Διερεύνηση της μαγνητικής ροής.

- Αν η κατεύθυνση του $\vec{n}$ συμπίπτει με την κατεύθυνση των δυναμικών μαγνητικών γραμμών, άρα θ=0°, τότε η επιφάνεια είναι κάθετη στις δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου και η μαγνητική ροή γίνεται μέγιστη και ίση με :

$$\Phi_B = B \cdot S.$$

- Αν η κατεύθυνση του $\vec{n}$ είναι κάθετη με την κατεύθυνση των δυναμικών μαγνητικών γραμμών, άρα θ=90°, τότε η επιφάνεια είναι παράλληλη στις δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου, και η μαγνητική ροή μηδενίζεται :

$$\Phi_B = 0.$$

Άρα καμία δυναμική μαγνητική γραμμή δεν περνάει από την επιφάνεια.

Μαγνητική επαγωγή.

Έστω ότι έχουμε ένα σωληνοειδές τα άκρα του οποίου έχουμε συνδέσει με ένα αρκετά ευαίσθητο αμπερόμετρο, που ονομάζεται γαλβανόμετρο. Αν πλησιάσουμε έναν ραβδόμορφο μαγνήτη στο σωληνοειδές, θα παρατηρήσουμε ότι το γαλβανόμετρο θα δείξει κάποια ένδειξη, πράγμα που σημαίνει ότι το κύκλωμα του πηνίου διαρρέεται από ρεύμα, παρ' όλο που δεν υπάρχει ηλεκτρική πηγή ενώ όταν κινούμε προς την αντίθετη κατεύθυνση τον μαγνήτη βλέπουμε μια ένδειξη στο γαλβανόμετρο αντίθετη της πρώτης. Όταν σταματήσουμε την κίνηση του μαγνήτη, θα μηδενιστεί η ένδειξη του γαλβανόμετρου. Παρατηρούμε επίσης, ότι όσο πιο γρήγορα κινούμε τον μαγνήτη, τόσο μεγαλύτερη είναι η ένδειξη του γαλβανόμετρου, αλλά και αν αντικαταστήσουμε το σωληνοειδές με ένα άλλο περισσότερων σπειρών, και πάλι οι ενδείξεις του γαλβανόμετρου θα είναι μεγαλύτερες από πριν. Η εμφάνιση του ρεύματος είναι ανεξάρτητη από το τι κινούμε. Άρα αν κινούμε το πηνίο, έχοντας σταθερό τον μαγνήτη, το κύκλωμα του πηνίου θα διαρρέεται ξανά από ρεύμα.

Από τις παραπάνω πειραματικές ενδείξεις, καταλαβαίνουμε ότι η **σχετική κίνηση** του μαγνήτη σε σχέση με το πηνίο, προκαλεί την **εμφάνιση του ηλεκτρικού ρεύματος** που μετράει το γαλβανόμετρο. Για να έχουμε όμως

10ΓΕΛ ΔΡΑΠΕΤΣΩΝΑΣ

κυκλοφορία ηλεκτρικού ρεύματος, θα πρέπει να υπάρχει μια διαφορά δυναμικού. Άρα στα άκρα του γαλβανόμετρου, πρέπει να αναπτύσσεται μια τάση.

Από πού όμως προέρχεται η τάση, αφού δεν υπάρχει πηγή για να την διατηρεί ;

Κατά την σχετική κίνηση του πηνίου και του μαγνήτη, μεταβάλλεται ο αριθμός των δυναμικών μαγνητικών γραμμών, του πεδίου του μαγνήτη, που διέρχονται μέσα από τις σπείρες του σωληνοειδούς. Άρα μεταβάλλεται η μαγνητική ροή μέσα από τις σπείρες του πηνίου.

Όταν πλησιάζουμε τον μαγνήτη, όλο και αυξάνεται ο αριθμός των δυναμικών γραμμών που περνούν από το πηνίο, άρα η μεταβολή της μαγνητικής ροής είναι θετική ($\Delta\Phi>0$). Όταν απομακρύνουμε τον μαγνήτη, όλο και μειώνεται ο αριθμός των δυναμικών γραμμών που περνούν από το πηνίο, άρα η μεταβολή της μαγνητικής ροής είναι αρνητική ($\Delta\Phi<0$), ενώ όταν ο μαγνήτης είναι ακίνητος μέσα ή έξω από το σωληνοειδές, όσες δυναμικές γραμμές μπαίνουν τόσες βγαίνουν, άρα η μεταβολή της μαγνητικής ροής είναι ίση με μηδέν ($\Delta\Phi=0$).

Το παραπάνω φαινόμενο, δηλαδή η ανάπτυξη τάσης λόγω της μεταβολής της μαγνητικής ροής, διαμέσου μιας επιφάνειας, ονομάζεται **επαγωγή** και η αναπτυσσόμενη τάση στα άκρα του γαλβανόμετρου **επαγωγική τάση**, ενώ το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα του σωληνοειδούς ονομάζεται **επαγωγικό ρεύμα**.

Ο πρώτος ο οποίος μελέτησε και ανακάλυψε το φαινόμενο της επαγωγής, ήταν ο Faraday. Για αυτό ο νόμος της επαγωγής ονομάζεται και **νόμος του Faraday**, ο οποίος λέει ότι : όταν μεταβάλλεται η μαγνητική ροή που διαπερνά μια επιφάνεια που βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, αναπτύσσεται στα άκρα της επιφάνειας τάση, η οποία ονομάζεται επαγωγική τάση, η οποία δίνεται από τον τύπο :

$$E_{\epsilon\pi\alpha\gamma.} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t},$$

όπου N είναι ο αριθμός των σπειρών του σωληνοειδούς ενώ το μείον (-) εξηγείται από τον **κανόνα του Lenz**. Όταν μας ενδιαφέρει το μέτρο της επαγωγικής τάσης, θα παραλείπουμε το πρόσημο. Ο νόμος του Faraday, που αποδείχθηκε για σωληνοειδές, είναι γενικός και ισχύει για οποιοδήποτε κύκλωμα.

Η ένταση του επαγωγικού ρεύματος που αναπτύσσεται στο κύκλωμα του σωληνοειδούς, δίνεται από την σχέση :

$$\left.\begin{array}{l} I = \dfrac{|E_{\epsilon\pi\alpha\gamma.}|}{R} \\ E_{\epsilon\pi\alpha\gamma.} = -N\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} \end{array}\right\} \Leftrightarrow I = \frac{N\dfrac{|\Delta\Phi|}{\Delta t}}{R} \Leftrightarrow I = \frac{N}{R}\cdot\frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t},$$

όπου R είναι η συνολική αντίσταση του κυκλώματος του σωληνοειδούς.

Το ρεύμα όμως δεν είναι τίποτε άλλο από προσανατολισμένη κίνηση φορτίου. Συγκεκριμένα, το φορτίο που διαπερνά από μια διατομή του σωληνοειδούς σε χρόνο Δt, θα είναι :

1ο ΓΕΛ ΔΡΑΠΕΤΣΩΝΑΣ

$$\left.\begin{array}{l} I=\dfrac{\Delta Q}{\Delta t}\Leftrightarrow \Delta Q=I\cdot\Delta t \\ I=\dfrac{N}{R}\cdot\dfrac{|\Delta\Phi|}{\Delta t} \end{array}\right\}\Leftrightarrow \Delta Q=\frac{N}{R}\cdot\frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t}\cdot\Delta t\Leftrightarrow \Delta Q=N\frac{|\Delta\Phi|}{R}.$$

Δηλαδή το επαγωγικό φορτίο είναι ανεξάρτητο από τον χρόνο που διαρκεί η μεταβολή της μαγνητικής ροής που το προκαλεί. Η τελευταία σχέση αποτελεί τον **νόμο του Neumann**.

<u>Σημείωση :</u> όταν στο κύκλωμα όπου μεταβάλλεται η μαγνητική ροή, υπάρχει και πηγή ηλεκτρεγερτικής δύναμης Ε, τότε υπάρχουν οι παρακάτω περιπτώσεις :

a) Αν το επαγωγικό ρεύμα είναι ομόρροπο με το ρεύμα που δίνει η πηγή, θα ισχύει: $E_{ολ}=E_{επαγ.}+E$.

b) Αν το επαγωγικό ρεύμα είναι αντίρροπο με το ρεύμα που δίνει η πηγή, θα ισχύει: $E_{ολ}=|E_{επαγ}-E|$.

Κανόνας του Lenz.

Ο κανόνας του Lenz, είναι αποτέλεσμα της **αρχής διατήρησης της ενέργειας**. Αναφέρει ότι : η φορά του επαγωγικού ρεύματος που αναπτύσσεται λόγω της μεταβολής της μαγνητικής ροής διαμέσου μιας επιφάνειας που βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, θα είναι τέτοια ώστε να αντιστέκεται στο αίτιο που προκαλεί την μεταβολή της ροής.

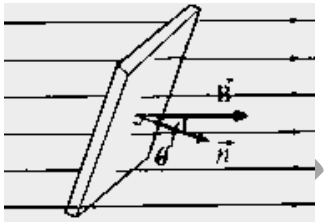
Άρα στο παράδειγμά μας, με το σωληνοειδές και τον ραβδόμορφο μαγνήτη, όταν πλησιάζουμε στο σωληνοειδές τον μαγνήτη με τον βόρειο πόλο του, το επαγωγικό ρεύμα στο σωληνοειδές, θα έχει τέτοια φορά ώστε να δημιουργήσει στο άκρο του σωληνοειδούς που είναι πλησιέστερα στον μαγνήτη, βόρειο πόλο με αποτέλεσμα να ασκούμε δύναμη στον μαγνήτη για να συνεχίσει η κίνησή του προς το σωληνοειδές. Άρα η ενέργεια που ξοδεύουμε για να πλησιάσει ο μαγνήτης στο σωληνοειδές, γίνεται ηλεκτρική ενέργεια σ' αυτό. Αλλιώς, αν το επαγωγικό ρεύμα δημιουργούσε νότιο πόλο, το σωληνοειδές θα έλκυε τον μαγνήτη, χωρίς την δική μας βοήθεια, άρα θα είχαμε παραγωγή ενέργειας από το μηδέν.

Έτσι, με τον κανόνα του δεξιού χεριού μπορούμε να βρούμε την φορά που θα έχει το επαγωγικό ρεύμα στο σωληνοειδές, για κάθε σχετική κίνηση του μαγνήτη.

Άρα έτσι καταλαβαίνουμε, γιατί η φορά του επαγωγικού ρεύματος κατά την προσέγγιση του μαγνήτη στο πηνίο, έχει αντίθετη φορά από αυτή που εμφανίζεται κατά την απομάκρυνση του μαγνήτη από το πηνίο.

1ο ΓΕΛ ΔΡΑΠΕΤΣΩΝΑΣ

Τετραγωνικό πλαίσιο πλευράς α, κινείται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο έντασης $\vec{B}$ με τέτοιο τρόπο, ώστε η επαγωγική τάση που αναπτύσσεται στα άκρα του να είναι διαρκώς ίση με μηδέν. Πως πρέπει να κινείται το πλαίσιο ;



Έστω ότι το κάθετο διάνυσμα $\vec{n}$ στο επίπεδο του πλαισίου, πλευράς α, σχηματίζει γωνία θ με τις δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου. Η μαγνητική ροή που διέρχεται από το πλαίσιο στην θέση αυτή θα είναι: $\Phi=BS\sigma\upsilon\nu\theta \Leftrightarrow \Phi=B\alpha^2\sigma\upsilon\nu\theta$.

Για να είναι η επαγωγική τάση ίση με μηδέν, θα πρέπει :

$$E_{\epsilon\pi\alpha\gamma.}=0 \Leftrightarrow \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=0 \Leftrightarrow \Delta\Phi=0 \Leftrightarrow \Phi=\sigma\tau\alpha\theta\varepsilon\rho\acute{o} \Leftrightarrow B\alpha^2\sigma\upsilon\nu\theta=\sigma\tau\alpha\theta. \underset{\alpha=\sigma\tau\alpha\theta.}{\overset{B=\sigma\tau\alpha\theta.}{\Leftrightarrow}} \sigma\upsilon\nu\theta=\sigma\tau\alpha\theta. \Leftrightarrow \theta=\sigma\tau\alpha\theta.$$

Άρα θα πρέπει το πλαίσιο να κινείται έτσι ώστε να διατηρείται η γωνία θ σταθερή. Οι τρόποι με τους οποίους επιτυγχάνεται κάτι τέτοιο είναι οι εξής :

- Μετακίνηση του πλαισίου παράλληλα προς τον εαυτό του και προς κάθε κατεύθυνση.
- Περιστροφή του πλαισίου γύρω από άξονα παράλληλο προς το διάνυσμα $\vec{n}$.
- Περιστροφή του πλαισίου γύρω από άξονα παράλληλο προς την ένταση $\vec{B}$.

Δύο πλαίσια, το ένα από χαλκό και το άλλο από αργίλιο, έχουν τις ίδιες διαστάσεις και τον ίδιο αριθμό σπειρών N. Τα τοποθετούμε μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο με τα επίπεδά τους κάθετα στην διεύθυνση του πεδίου και τα απομακρύνουμε ταυτόχρονα από αυτό. Ποιος είναι ο λόγος του επαγωγικού φορτίου που μετατοπίζεται μέσα στα πλαίσια ;

Το φορτίο που θα μετατοπιστεί μέσα στο χάλκινο πλαίσιο θα είναι ίσο με : $Q_1=N\frac{|\Delta\Phi_1|}{R_1}$, ενώ το φορτίο μέσα από το δεύτερο πλαίσιο θα είναι ίσο με : $Q_2=N\frac{|\Delta\Phi_2|}{R_2}$.

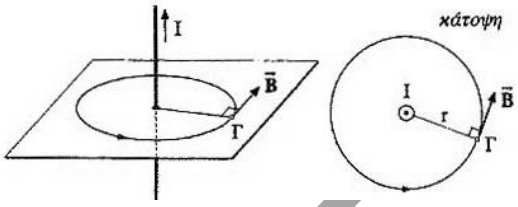
Επειδή τα πλαίσια είναι όμοια (ίδιο εμβαδόν) και βρίσκονται μέσα στο ίδιο πεδίο $\vec{B}$, στο οποίο και τα δύο είναι κάθετα (άρα το $\vec{n}$ σχηματίζει γωνία με το πεδίο 0°), συμπεραίνουμε ότι $\Delta\Phi_1=\Delta\Phi_2$. Άρα από τις παραπάνω σχέσεις, κι από την σχέση $R=\rho\frac{\ell}{S}$, προκύπτει :

$$\left.\begin{array}{l} Q_1=N\frac{|\Delta\Phi_1|}{R_1} \\ Q_2=N\frac{|\Delta\Phi_2|}{R_2} \end{array}\right\} \overset{\div}{\Leftrightarrow} \frac{Q_1}{Q_2}=\frac{N\frac{|\Delta\Phi_1|}{R_1}}{N\frac{|\Delta\Phi_2|}{R_2}}=\frac{R_2}{R_1}=\frac{\rho_1\frac{\ell_1}{S_1}}{\rho_2\frac{\ell_2}{S_2}}=\frac{\rho_1\ell_1S_2}{\rho_2\ell_2S_1}=\frac{\rho_1}{\rho_2} \Leftrightarrow \frac{Q_1}{Q_2}=\frac{\rho_1}{\rho_2},$$

όπου ρ_1 και ρ_2 είναι οι ειδικές αντιστάσεις για τον χαλκό και το αργίλιο, αντίστοιχα.

1ο ΓΕΛ ΔΡΑΠΕΤΣΩΝΑΣ

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ



a) Για την σχεδίαση της έντασης του μαγνητικού πεδίου ευθύγραμμου αγωγού, βολικότερο σχήμα είναι η κάτοψη, όπως φαίνεται στο σχήμα. Οπότε το διάνυσμα της έντασης είναι κάθετο στην αντίστοιχη ακτίνα και η φορά της βρίσκεται με τον κανόνα του δεξιού χεριού.

b) Όταν σε μια περιοχή του χώρου συνυπάρχουν δύο ή περισσότερα μαγνητικά πεδία ρευματοφόρων αγωγών οποιουδήποτε σχήματος, τότε σε κάθε σημείο του χώρου η ολική ένταση $\vec{B}_{ολ.}$ του μαγνητικού πεδίου είναι η συνισταμένη των επιμέρους εντάσεων , δηλαδή : $\vec{B}_{ολ.} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + ...$

Άρα αν έχουμε για παράδειγμα δύο εντάσεις οι οποίες :

i) είναι ομόρροπες, τότε $B_{ολ.}=B_1+B_2$.

ii) είναι αντίρροπες με $B_1>B_2$, τότε $B_{ολ.}=B_1-B_2$.

iii) είναι κάθετες, τότε $B_{ολ.} = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}$.

iv) σχηματίζουν τυχαία γωνία φ, τότε $B_{ολ.} = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 + 2B_1B_2 συνφ}$.

Οπότε προσδιορίζουμε το μέτρο και την διεύθυνση των επιμέρους εντάσεων, σχεδιάζουμε τα αντίστοιχα διανύσματα, και έπειτα ανάλογα με την περίπτωση εφαρμόζουμε έναν από τους παραπάνω τύπους.

c) Όταν ένας ρευματοφόρος αγωγός βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, εκτός του βάρους του θα ασκείται και η δύναμη Laplace. Άρα αν $B=F_{Laplace}$, τότε $ΣF=0$ και άρα ο αγωγός ισορροπεί ή θα εκτελεί ευθύγραμμη ομαλή κίνηση, ενώ όταν $B \neq F_{Laplace}$, τότε $ΣF \neq 0$ και άρα ο αγωγός αποκτά επιτάχυνση $α=\frac{ΣF}{m}$.

d) Όταν ένα μαγνητικό πεδίο είναι κάθετο στο επίπεδο της σελίδας, τότε χρησιμοποιούμε τους εξής συμβολισμούς : **α)** $\otimes\vec{B}$ για να δείξουμε ότι το πεδίο έχει φορά προς την σελίδα και **β)** $\odot\vec{B}$ για να δείξουμε ότι το πεδίο έχει φορά από την σελίδα προς εμάς. Τα ίδια σύμβολα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και για την φορά του ρεύματος. Έτσι αν έχουμε το σύμβολο $\otimes I$ σημαίνει ότι το ρεύμα έχει φορά προς την σελίδα, ενώ το σύμβολο $\odot I$ σημαίνει ότι το ρεύμα έχει φορά από την σελίδα προς εμάς.

e) Η μεταβολή της μαγνητικής ροής θα υπολογίζεται αλγεβρικά από την σχέση : $ΔΦ=Φ_{τελ.}-Φ_{αρχ.}$, ενώ το μέτρο της μεταβολής θα είναι: $|ΔΦ|=|Φ_{τελ.}|-|Φ_{αρχ.}|$

f) Η μαγνητική ροή μεταβάλλεται με τρεις τρόπους :

α) όταν μεταβάλλεται με τον χρόνο η ένταση του μαγνητικού πεδίου, δηλαδή :

$$ΔΦ=Φ_{τελ.}-Φ_{αρχ.}=B_{τελ.}Sσυνφ-B_{αρχ.}Sσυνφ \Leftrightarrow ΔΦ=(B_{τελ.}-B_{αρχ.})Sσυνφ ,$$

1ο ΓΕΛ ΔΡΑΠΕΤΣΩΝΑΣ

β) όταν αλλάζει ο προσανατολισμός της επιφάνειας, άρα η γωνία φ, δηλαδή :

$$\Delta\Phi=\Phi_{\tau\varepsilon\lambda.}-\Phi_{\alpha\rho\chi.}=BS\sigma\upsilon\nu\varphi_{\tau\varepsilon\lambda.}-BS\sigma\upsilon\nu\varphi_{\alpha\rho\chi.} \Leftrightarrow \Delta\Phi=BS(\sigma\upsilon\nu\varphi_{\tau\varepsilon\lambda.}-\sigma\upsilon\nu\varphi_{\alpha\rho\chi.}),$$ και

γ) όταν μεταβάλλεται χρονικά το εμβαδόν της επιφάνειας, δηλαδή :

$$\Delta\Phi=\Phi_{\tau\varepsilon\lambda.}-\Phi_{\alpha\rho\chi.}=BS_{\tau\varepsilon\lambda.}\sigma\upsilon\nu\varphi-BS_{\alpha\rho\chi.}\sigma\upsilon\nu\varphi \Leftrightarrow \Delta\Phi=B(S_{\tau\varepsilon\lambda.}-S_{\alpha\rho\chi.})\sigma\upsilon\nu\varphi.$$

Και στις τρεις παραπάνω περιπτώσεις αναπτύσσεται τάση από επαγωγή.

g) Όταν το επίπεδο του αγωγού είναι αρχικά κάθετο στις δυναμικές γραμμές ενός ομογενούς μαγνητικού πεδίου, τότε θα προσανατολίζουμε τον αγωγό έτσι ώστε το διάνυσμα $\vec{n}$ να έχει την ίδια κατεύθυνση με τις δυναμικές γραμμές του πεδίου για να είναι $\varphi_{\alpha\rho\chi.}=0°$.

h) Το (-) στον νόμο της επαγωγής οφείλεται στον κανόνα του Lenz και σχετίζεται με την πολικότητα της επαγωγικής τάσης. Η τιμή όμως της τάσης από επαγωγή θα προσδιορίζεται από τον τύπο : $E_{\varepsilon\pi\alpha\gamma.}=N\frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t}$. Αν όμως ο ρυθμός μεταβολής της μαγνητικής ροής $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ μεταβάλλεται αλγεβρικά με τον χρόνο (η ροή αυξάνεται ή ελαττώνεται), τότε το πρόσημο θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. Αυτή η περίπτωση εμφανίζεται σε περιπτώσεις όπου η άσκηση δίνει διάγραμμα Φ-t.

i) Ενώ η επαγωγική τάση εμφανίζεται όποτε έχουμε μεταβολή της μαγνητικής ροής, τα μεγέθη $I_{\varepsilon\pi\alpha\gamma.}$, $Q_{\varepsilon\pi\alpha\gamma.}$ και $F_{Laplace}$ εμφανίζονται **ΜΟΝΟ** σε κλειστό κύκλωμα.

<u>ΤΥΠΟΛΟΓΙΟ</u>

Α/Α	ΤΥΠΟΣ	ΕΡΜΗΝΕΙΑ
1.	$B=k_\mu\frac{2I}{r}$	Μέτρο έντασης μαγνητικού πεδίου ευθύγραμμου ρευματοφόρου αγωγού απείρου μήκους σε απόσταση r από αυτόν.
2.	$B=k_\mu\frac{2\pi I}{r}$	Μέτρο έντασης μαγνητικού πεδίου στο κέντρο κυκλικού ρευματοφόρου αγωγού ακτίνας r.
3.	$B=k_\mu 4\pi I\frac{N}{\ell}$	Μέτρο έντασης μαγνητικού πεδίου στο κέντρο ρευματοφόρου σωληνοειδούς N σπειρών και μήκους ℓ .
4.	$n=\frac{N}{\ell}$	Αριθμός σπειρών ανά μονάδα μήκους.
5.	$F_{Laplace}=BI\ell\eta\mu\varphi$	Δύναμη Laplace.
6.	$\Phi_B=B\cdot S\cdot\sigma\upsilon\nu\theta$	Μαγνητική ροή.

10 ΓΕΛ ΔΡΑΠΕΤΣΩΝΑΣ

7.	$E_{επαγ.} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$	Νόμος της επαγωγής (νόμος Faraday).
8.	$I_{επαγ.} = \frac{\lvert E_{επαγ.}\rvert}{R} = \frac{N}{R}\cdot\frac{\lvert\Delta\Phi\rvert}{\Delta t}$	Επαγωγικό ρεύμα.
9.	$Q_{επαγ.} = \frac{N}{R}\cdot\lvert\Delta\Phi\rvert$	Επαγωγικό φορτίο (νόμος Neumann).
10.	$\mu = \frac{B}{B_o}$	Μαγνητική διαπερατότητα υλικού.
11.	$k_\mu = \frac{\mu_o}{4\pi}$	Σχέση της σταθεράς k_μ και της μαγνητικής διαπερατότητας του κενού μ_o.

1ο ΓΕΛ ΔΡΑΠΕΤΣΩΝΑΣ