

ΦΥΣΙΚΗ Γ ΛΥΚΕΙΟΥ ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΙ ΓΥΜΝΑΣΙΑ

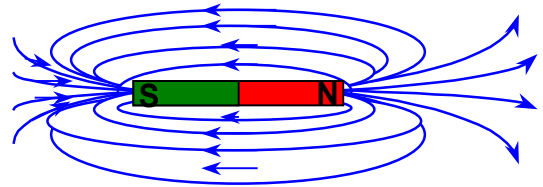
Τεύχος Α Κεφ. 4 : Μαγνητικές Αλληλεπιδράσεις
Τεύχος Β Κεφ. 5 : Εναλλασσόμενα Ρεύματα

ΘΕΩΡΙΑ

1. Μαγνητικό πεδίο

α. Περιγραφή

Αν ρίξουμε ρινίσματα σιδήρου πάνω σε ένα τζάμι και κάτω από αυτό τοποθετήσουμε ένα μαγνήτη θα πάρουμε μια εικόνα όπως το διπλανό σχήμα. Η εικόνα αυτή είναι το **μαγνητικό φάσμα**, δηλαδή το σύνολο των μαγνητικών δυναμικών γραμμών.



Από την μορφή του μαγνητικού φάσματος συμπεραίνουμε:

- 1 Οι περιοχές του μαγνήτη που το πεδίο είναι ισχυρό είναι οι πόλοι. Ο ένας ονομάζεται Βόρειος μαγνητικός πόλος (N) και ο άλλος Νότιος μαγνητικός πόλος (S)
- 2 Οι δυναμικές γραμμές σχεδιάζονται έτσι ώστε η πυκνότητά τους να είναι ανάλογη με το μέτρο της έντασης B .
- 3 Οι δυναμικές γραμμές δεν τέμνονται.
- 4 Οι δυναμικές γραμμές είναι κλειστές δηλαδή βγαίνουν από τον βόρειο μαγνητικό πόλο και μπαίνουν στον νότιο μαγνητικό πόλο.

Μαγνητικό πεδίο ονομάζεται ο χώρος μέσα στον οποίο μία μαγνητική βελόνα δέχεται δυνάμεις με αποτέλεσμα να προσανατολίζεται.

Η διεύθυνση του πεδίου σε κάποιο σημείο του είναι η διεύθυνση του άξονα της βελόνας όταν αυτή είναι ελεύθερη να κινηθεί.

Το μαγνητικό πεδίο ενός μαγνήτη έχει την μορφή του παραπάνω σχήματος.

Μπορούμε να ορίσουμε το μαγνητικό πεδίο γενικότερα:

Μαγνητικό πεδίο ονομάζεται ο χώρος στον οποίο γίνονται αισθητές οι μαγνητικές αλληλεπιδράσεις μαγνητών, ρευματοφόρων αγωγών ή κινούμενων ηλεκτρικών φορτίων.

Η **ένταση του μαγνητικού πεδίου B** (ή μαγνητική επαγωγή) δείχνει πόσο ισχυρό είναι το μαγνητικό πεδίο σε κάποιο σημείο του.

Μονάδα έντασης στο σύστημα S.I. είναι το 1 Tesla ή 1 T.

Η κατεύθυνση του \vec{B} δίνει την κατεύθυνση της δυναμικής γραμμής.

Επομένως **δυναμική γραμμή του μαγνητικού πεδίου** είναι η γραμμή σε κάθε σημείο της οποίας το διάνυσμα της μαγνητικής επαγωγής είναι εφαπτόμενο.

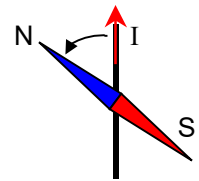
Ένα πολύ ευαίσθητο όργανο για την ανίχνευση του μαγνητικού πεδίου είναι η μαγνητική βελόνα. Επιπλέον μας δείχνει και την κατεύθυνση της έντασης B της περιοχής.

Ομογενές μαγνητικό πεδίο ονομάζεται το μαγνητικό πεδίο όταν η ένταση B παραμένει σταθερή κατά μέτρο, διεύθυνση και φορά. Στο πεδίο αυτό οι δυναμικές γραμμές είναι παράλληλες και ισαπέχουσες.

β. Το ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργεί μαγνητικό πεδίο

I. Επίδραση ηλεκτρικού ρεύματος σε μαγνήτη (πείραμα Oersted)

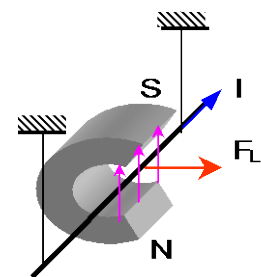
Ο Oersted τοποθέτησε έναν αγωγό παράλληλα σε μία μαγνητική βελόνα. Όταν ο αγωγός διαρρέεται από ρεύμα η βελόνα εκτρέπεται από τη θέση ισορροπίας. Όταν διακοπεί το ρεύμα η βελόνα επανέρχεται στην αρχική της θέση. Όταν ο αγωγός διαρρέεται από ρεύμα αντίθετης φοράς η βελόνα εκτρέπεται στην αντίθετη κατεύθυνση. Όταν αυξανόταν η ένταση του ρεύματος αυξανόταν και η εκτροπή της βελόνας, όχι όμως ανάλογα. Το πείραμα Oersted είναι από τα σπουδαιότερα στη Φυσική γιατί έδειξε ότι όταν ένας αγωγός διαρρέεται από ρεύμα δημιουργεί γύρω του μαγνητικό πεδίο.



II. Επίδραση μαγνήτη σε ρευματοφόρο αγωγό (δύναμη Laplace)

Ένας αγωγός βρίσκεται κρεμασμένος μέσα σε μαγνητικό πεδίο. Ο αγωγός δεν δέχεται δύναμη από το μαγνητικό πεδίο. Αν ο αγωγός διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα δέχεται από το πεδίο δύναμη που ονομάζεται δύναμη Laplace.

Δύναμη δέχονται και φορτία που κινούνται μέσα σε μαγνητικό πεδίο (δύναμη Lorentz)



γ. Μαγνητικές ιδιότητες των σωμάτων

Οι μαγνητικές ιδιότητες των υλικών οφείλονται στους στοιχειώδεις μαγνήτες από τους οποίους αποτελούνται τα υλικά. Σαν στοιχειώδεις μαγνήτες μπορούμε να θεωρήσουμε τα άτομα του υλικού.

Η περιστροφή των ηλεκτρονίων γύρω από τον πυρήνα κατά ένα μέρος και κυρίως η περιστροφή των ηλεκτρονίων γύρω από τον άξονά τους (spin) είναι υπεύθυνη για τις μαγνητικές ιδιότητες των σωμάτων.

Στις περισσότερες περιπτώσεις τα ηλεκτρόνια σχηματίζουν ζεύγη με αντίθετα spin με αποτέλεσμα η συνολική μαγνητική επίδραση να είναι μηδέν.

Μέσα στα μαγνητικά υλικά δημιουργούνται μικρές μαγνητικές περιοχές που περιέχουν περίπου 10^{10} άτομα (περιοχές Weiss), οι οποίες συμπεριφέρονται σαν μικροί μόνιμοι μαγνήτες. Στα υλικά που δεν είναι μαγνητισμένα οι περιοχές αυτές βρίσκονται σε αταξία. Όταν το υλικό μαγνητιστεί, όλες οι μαγνητικές περιοχές προσανατολίζονται ομοιόμορφα.

Απομαγνήτιση μαγνητισμένου υλικού

Ένα μαγνητισμένο υλικό χάνει τις μαγνητικές του ιδιότητες αν θερμανθεί πάνω από κάποια θερμοκρασία που λέγεται **θερμοκρασία Curie**. Αυτό συμβαίνει γιατί οι μαγνητικές περιοχές χάνουν τον προσανατολισμό τους πάνω από την θερμοκρασία αυτή.

Το ίδιο επιτυγχάνεται και αν σφυρηλατήσουμε το υλικό. Η σφυρηλάτηση καταστρέφει τον προσανατολισμό των μαγνητικών περιοχών.

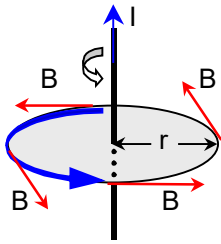
δ. Τρόποι μαγνήτισης

Η μαγνήτιση ενός σώματος επιτυγχάνεται κυρίως:

- Με επαφή (με ισχυρό μαγνήτη).
- Με επαγωγή (κοντά σε ισχυρό μαγνήτη).
- Με τριβή

2. Μαγνητικό πεδίο ρευματοφόρων αγωγών

α. Μαγνητικό πεδίο ευθύγραμμου αγωγού



Ο ευθύγραμμος αγωγός με μεγάλο μήκος όταν διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργεί γύρω του μαγνητικό πεδίο, του οποίου οι δυναμικές γραμμές είναι ομόκεντροι κύκλοι, με το κέντρο τους πάνω στον αγωγό και το επίπεδό τους κάθετο στον αγωγό.

Η διεύθυνση της έντασης B του μαγνητικού πεδίου είναι εφαπτόμενη στις δυναμικές γραμμές.

Η φορά καθορίζεται από τον κανόνα του δεξιού χεριού: Κρατάμε τον αγωγό με το δεξί μας χέρι ώστε ο αντίχειρας να δείχνει την φορά του ρεύματος και

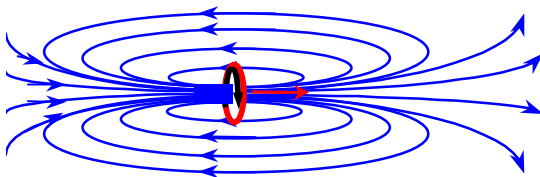
τότε η φορά των υπόλοιπων δακτύλων δείχνει την φορά της έντασης.

Το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου είναι ανάλογο της έντασης I του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό και αντιστρόφως ανάλογο με την απόσταση r από τον αγωγό.

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

Το k_{μ} είναι η μαγνητική σταθερά με τιμή $k_{\mu} = 10^{-7} \text{ N/A}^2$.

β. Μαγνητικό πεδίο κυκλικού αγωγού



Κυκλικός αγωγός που διαρρέεται από ρεύμα δημιουργεί γύρω του μαγνητικό πεδίο όπως στο σχήμα. Αν τα δάκτυλα του δεξιού χεριού δείχνουν την φορά του ρεύματος τότε ο αντίχειρας δείχνει την φορά των δυναμικών γραμμών. Στο κέντρο του αγωγού ο οποίος έχει ακτίνα r η ένταση του μαγνητικού πεδίου δίνεται από την σχέση

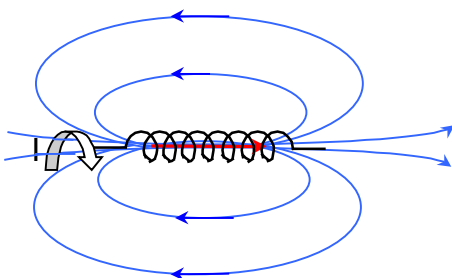
$$B = k_{\mu} \frac{2\pi I}{r}$$

Παρατήρηση

Αν ο κυκλικός αγωγός αποτελείται από N σύρματα που διαρρέονται από ρεύμα με την ίδια ένταση και την ίδια φορά, τότε

$$B_{ολ} = k_{\mu} \frac{2\pi I}{r} N$$

γ. Μαγνητικό πεδίο σωληνοειδούς



Το σωληνοειδές είναι ένα σύνολο από παράλληλα κυκλικά ρεύματα που έχει μορφή σωλήνα με διάμετρο πολύ μικρή σε σχέση με το μήκος του.

Μορφή μαγνητικού πεδίου: Στο εξωτερικό του σωληνοειδούς το μαγνητικό πεδίο είναι όμοιο με το πεδίο ραβδόμορφου μαγνήτη. Στο εσωτερικό το μαγνητικό πεδίο είναι ομογενές. Η κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου είναι εφαπτόμενη σε κάθε σημείο στις δυναμικές γραμμές στο εξωτερικό. Στο εσωτερικό είναι παράλληλη στον άξονα του σωληνοειδούς. Η φορά βρίσκεται με τον κανόνα του Maxwell. Αν θεωρήσουμε ότι τα δάκτυλα του δεξιού χεριού ακολουθούν την φορά του ηλεκτρικού ρεύματος τότε ο αντίχειρας δείχνει την φορά των δυναμικών γραμμών στο εσωτερικό του πηνίου.

Ένταση μαγνητικού πεδίου: Το σωληνοειδές πηνίο έχει δύο βασικά χαρακτηριστικά, το μήκος του ℓ και τον αριθμό των σπειρών του N .

(Ο αριθμός σπειρών ανά μονάδα μήκους συμβολίζεται με n , άρα $n = \frac{N}{\ell}$)

Το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου είναι:

- ανάλογο με την ένταση I του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο
- ανάλογο με τον αριθμό σπειρών N του πηνίου
- αντιστρόφως ανάλογο με το μήκος ℓ του πηνίου

$$B = 4\pi k_{\mu} \frac{N}{\ell} I \quad \text{ή} \quad B = 4\pi k_{\mu} n I$$

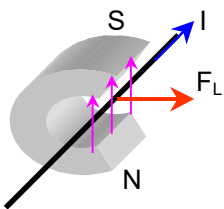
Παρατήρηση

Η ένταση του μαγνητικού πεδίου στα άκρα του σωληνοειδούς έχει μέτρο ίσο με το μισό του μέτρου της έντασης στο κέντρο του σωληνοειδούς:

$$B_{\text{ακρ}} = \frac{B}{2} \quad \text{άρα} \quad B_{\text{ακρ}} = 2\pi k_{\mu} \frac{N}{\ell} I$$

3. Ηλεκτρομαγνητική δύναμη Laplace

α. Δύναμη σε ρευματοφόρο αγωγό από ομογενές μαγνητικό πεδίο



Όταν ένας ευθύγραμμος αγωγός που διαρρέεται από ρεύμα βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, δέχεται από το πεδίο δύναμη που ονομάζεται δύναμη Laplace. Σε κάθε στοιχειώδες τμήμα του αγωγού ασκείται δύναμη και η συνισταμένη τους είναι η δύναμη Laplace, που θεωρούμε ότι ασκείται στο κέντρο του τμήματος του αγωγού που βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο.

Διεύθυνση της δύναμης Laplace

Η ευθεία στην οποία βρίσκεται η διεύθυνση της δύναμης Laplace είναι η ευθεία που περνάει από το κέντρο του αγωγού και είναι κάθετη στο επίπεδο που ορίζουν ο αγωγός και οι δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου.

Μέτρο της δύναμης Laplace

Το μέτρο της δύναμης Laplace που ασκείται σε ρευματοφόρο αγωγό που βρίσκεται κάθετα στις δυναμικές γραμμές μαγνητικού πεδίου είναι ανάλογο:

- Με την ένταση I του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό
- Με το μήκος ℓ του αγωγού που βρίσκεται μέσα στο πεδίο
- Με το μέτρο της έντασης B του μαγνητικού πεδίου

$$F_L = B I \ell$$

Αν ο ρευματοφόρος αγωγός είναι παράλληλος στις δυναμικές γραμμές του πεδίου τότε η δύναμη Laplace είναι μηδέν.

Αν ο ρευματοφόρος αγωγός σχηματίζει γωνία ϕ με τις δυναμικές γραμμές τότε η δύναμη Laplace είναι $F_L = B I \ell \sin \phi$, όπου ϕ η γωνία που σχηματίζει η κατεύθυνση που ορίζει η φορά της έντασης του ρεύματος με το διάνυσμα της έντασης του μαγνητικού πεδίου B .

Φορά της δύναμης Laplace

Για να βρούμε την φορά της δύναμης Laplace χρησιμοποιούμε τρεις τρόπους

I. Κανόνας του Maxwell: “Η φορά της δύναμης Laplace είναι η φορά κατά την οποία θα περιστραφεί δεξιόστροφη βίδα (ή κοχλίας) έτσι ώστε το διάνυσμα $\vec{I}\ell$ να στραφεί για να συμπέσει με το διάνυσμα \vec{B} κατά την μικρότερη γωνία περιστροφής”.

Το διάνυσμα $\vec{I}\ell$, βρίσκεται πάνω στο ρευματοφόρο αγωγό, έχει την φορά της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος και μήκος ℓ .

II. Κανόνας της δεξιάς παλάμης: Ανοίγουμε την παλάμη του δεξιού χεριού μας και τεντώνουμε τον αντίχειρα. Τοποθετούμε το χέρι μας έτσι ώστε ο αντίχειρας να δείχνει την φορά του ηλεκτρικού ρεύματος και τα δάκτυλα την φορά των δυναμικών γραμμών. Τότε η δύναμη Laplace είναι κάθετη στο επίπεδο της παλάμης με φορά προς τα έξω.

III. Κανόνας των τριών δακτύλων: Τεντώνουμε τον αντίχειρα, τον δείκτη και το μεσαίο δάκτυλο του δεξιού χεριού ώστε να είναι κάθετα μεταξύ τους, δηλαδή να σχηματίζουν τρισσορθογώνιο σύστημα αξόνων. Όπως και πριν ο αντίχειρας δείχνει τη φορά του ηλεκτρικού ρεύματος και ο δείκτης την φορά των δυναμικών γραμμών. Τότε το μεσαίο δάκτυλο δείχνει την κατεύθυνση της δύναμης Laplace.

β. Ορισμός έντασης ομογενούς μαγνητικού πεδίου

Ο ορισμός της έντασης του μαγνητικού πεδίου γίνεται μέσω της δύναμης Laplace. Για την διεύθυνση, την φορά και το μέτρο του B έχουμε:

Διεύθυνση: Είναι η διεύθυνση εκείνη στην οποία αν τοποθετηθεί αγωγός που διαρρέεται από ρεύμα δεν ασκείται πάνω του δύναμη.

Φορά: Είναι η φορά εκείνη που ανταποκρίνεται στην κατεύθυνση της δύναμης Laplace με βάση τον κανόνα Maxwell.

Μέτρο: Το μέτρο της έντασης B του μαγνητικού πεδίου είναι ίσο με το πηλίκο της δύναμης Laplace που ασκείται σε ρευματοφόρο αγωγό προς το μήκος ℓ του αγωγού και προς την ένταση I του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό, όταν τοποθετηθεί κάθετα στις δυναμικές γραμμές ομογενούς μαγνητικού πεδίου.

$$B = \frac{F_L}{I\ell}$$

Το πηλίκο αυτό: α) είναι ανεξάρτητο από την δύναμη Laplace, αλλά και το υπόθεμα $I\ell$ στο πεδίο β) εκφράζει την συμβολή του πεδίου στη διαμόρφωση του μαγνητικού πεδίου.

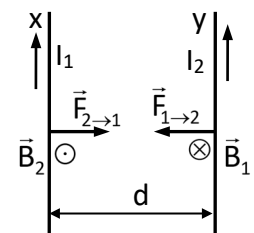
Μονάδα έντασης μαγνητικού πεδίου είναι το 1 Tesla (1 T) και $1 T = \frac{1 N}{1 Am}$

γ. Δύναμη μεταξύ ρευματοφόρων αγωγών

Δύο όμοιοι ρευματοφόροι αγωγοί μήκους L ο καθένας που απέχουν απόσταση d, **έλκονται αν διαρρέονται από ομόρροπα ρεύματα** και **απωθούνται αν διαρρέονται από αντίρροπα ρεύματα**. Το μέτρο της δύναμης που δέχεται ο κάθε αγωγός

δίνεται από την σχέση: $F = k_\mu \frac{2I_1 I_2 L}{d}$

Απόδ. Ο αγωγός που διαρρέεται από ρεύμα έντασης I_1 δημιουργεί στην περιοχή του άλλου αγωγού μαγνητικό πεδίο με ένταση $B_1 = k_\mu \frac{2I_1}{d}$ με φορά όπως στο σχήμα. Ο αγωγός που διαρρέεται από ρεύμα έντασης I_2 βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο έντασης B_1 , επομένως δέχεται δύναμη



Laplace $F_L = B_1 I_2 L$ και με αντικατάσταση του μέτρου της έντασης B_1 βρίσκουμε $F = k_\mu \frac{2I_1 I_2}{d} L$. Η φορά της δύναμης Laplace είναι όπως στο σχήμα. Όμοια για την δύναμη στον άλλο αγωγό.

4. Η ύλη μέσα στο μαγνητικό πεδίο

Μαγνητική διαπερατότητα μ : Αν στο εσωτερικό ενός σωληνοειδούς βάλουμε ένα κομμάτι μαλακό σίδηρο τότε θα διαπιστώσουμε ότι ο σίδηρος θα μαγνητιστεί και το μαγνητικό φάσμα θα αλλοιωθεί. Στα άκρα του σιδήρου θα δημιουργηθεί πύκνωση των μαγνητικών γραμμών, δηλαδή η ένταση έχει αυξηθεί. Αν B_0 είναι η αρχική ένταση του πεδίου και B μετά την εισαγωγή του σιδήρου ισχύει: **$B = \mu \cdot B_0$**

Το πηλίκο **$\mu = \frac{B}{B_0}$** ονομάζεται μαγνητική διαπερατότητα του υλικού, είναι καθαρός αριθμός και η τιμή του εξαρτάται από το αρχικό μέτρο της έντασης B_0 . Για το κενό και τον αέρα είναι $\mu = 1$.

Κατάταξη των υλικών ανάλογα με την τιμή της μαγνητικής διαπερατότητας

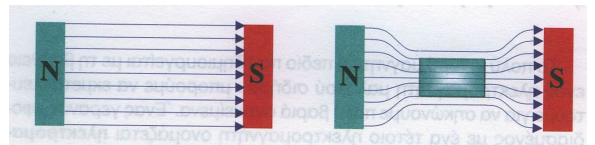
- **Διαμαγνητικά υλικά:** Η τιμή του μ είναι λίγο μικρότερη από την μονάδα ($\mu < 1$). Διαμαγνητικά είναι τα περισσότερα υλικά στην φύση (Ag, Cu, Zn)
- **Παραμαγνητικά υλικά:** Η τιμή του μ είναι λίγο μεγαλύτερη από την μονάδα ($\mu > 1$). Τέτοια υλικά είναι: Al, Ca, Cr, Mg, Pt, Mn, υγρό και στερεό O_2 .
- **Σιδηρομαγνητικά υλικά:** Η τιμή του μ είναι πολύ μεγαλύτερη από την μονάδα ($\mu \gg 1$). Τέτοια υλικά είναι: Fe, Co, Ni και τα κράματά τους.

Τα σιδηρομαγνητικά υλικά :

- 1 Μαγνητίζονται ισχυρά, ακόμη και με ασθενή μαγνητικά πεδία
- 2 Διατηρούν τις μαγνητικές τους ιδιότητες και μετά την έξοδό τους από το μαγνητικό πεδίο.
- 3 Χάνουν τις μαγνητικές τους ιδιότητες όταν η θερμοκρασία τους ξεπεράσει μία ορισμένη θερμοκρασία που λέγεται **θερμοκρασία Curie**. Η θερμοκρασία αυτή είναι χαρακτηριστική για κάθε υλικό.

Παραμόρφωση μαγνητικού πεδίου λόγω της παρουσίας σιδήρου

Με την εισαγωγή πυρήνα σιδήρου οι γραμμές του μαγνητικού φάσματος παραμορφώνονται και είναι σαν να θέλουν να περάσουν όσο το δυνατό περισσότερες μέσα από το σίδηρο.



Οι δυναμικές γραμμές παραμορφώνονται και στην περίπτωση που μέσα στο μαγνητικό πεδίο τοποθετήσουμε σιδερένιο δακτύλιο. Τότε οι δυναμικές γραμμές περνούν μέσα από το υλικό του δακτυλίου, αλλά όχι μέσα από το εσωτερικό κοίλωμα. Αυτήν την ιδιότητα την εκμεταλλευόμαστε ώστε να προστατεύουμε συσκευές από ισχυρούς μαγνήτες (μαγνητική θωράκιση).

Ηλεκτρομαγνήτης

Εισάγοντας μέσα σε ένα σωληνοειδές κάποιο σιδηρομαγνητικό υλικό, το μαγνητικό πεδίο μεγαλώνει πάρα πολύ. Είναι **$B = \mu B_0$** άρα **$B = \mu 4\pi k_\mu n I$** . Ο μαλακός σίδηρος έχει $\mu = 15000$.

Ο μαλακός σίδηρος μαγνητίζεται προσωρινά, δηλαδή μόνο για όσο βρίσκεται μέσα σε κάποιο μαγνητικό πεδίο. Το σύστημα αυτό (σωληνοειδές – ράβδος μαλακού σιδήρου) ονομάζεται ηλεκτρομαγνήτης. Αν, αντί για μαλακό σίδηρο, βάλουμε χάλυβα, αυτός διατηρεί τις μαγνητικές του ιδιότητες, δηλαδή γίνεται μόνιμος μαγνήτης.

5. Ηλεκτρομαγνητική επαγωγή

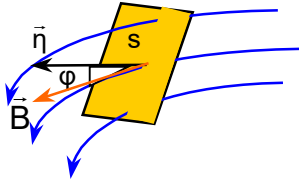
α. Μαγνητική ροή

Μαγνητική ροή είναι το φυσικό μέγεθος που δίνει τον αριθμό των μαγνητικών γραμμών που περνάνε από μία επιφάνεια όταν αυτή βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο.

Έστω μαγνητικό πεδίο έντασης B και μία επιφάνεια εμβαδού s μέσα σε αυτό. Το μοναδιαίο κάθετο διάνυσμα \vec{n} στην επιφάνεια σχηματίζει με την ένταση \vec{B} γωνία ϕ . Η μαγνητική ροή Φ είναι :

$$\Phi = B \cdot s \cdot \cos\phi$$

Μαγνητική ροή ενός μαγνητικού πεδίου είναι το φυσικό μέγεθος που ισούται με το γινόμενο της έντασης B του μαγνητικού πεδίου επί το εμβαδόν s της επιφάνειας που τοποθετείται μέσα στο πεδίο επί το συνημίτονο της γωνίας ϕ που σχηματίζει η διεύθυνση της έντασης B με το κάθετο διάνυσμα στην επιφάνεια s .



Η μαγνητική ροή είναι μονόμετρο μέγεθος και η μονάδα της στο σύστημα S.I. είναι:

$$1 \text{ Weber} = 1 \text{ Tesla} \cdot \text{m}^2 \quad \text{ή} \quad 1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot \text{m}^2$$

Παρατηρήσεις

- α. Αν $\phi = 0$ τότε $\cos\phi = 1$ άρα $\Phi = B \cdot s$
- β. Αν $\phi = 90^\circ$ τότε $\cos\phi = 0$ άρα $\Phi = 0$
- γ. Αν $\phi = 180^\circ$ τότε $\cos\phi = -1$ άρα $\Phi = -B \cdot s$
- δ. Γενικά επειδή $-1 \leq \cos\phi \leq 1$ θα είναι $-B \cdot s \leq \Phi \leq B \cdot s$
- ε. Αν η επιφάνεια είναι κλειστή τότε η ολική ροή είναι μηδέν γιατί όση ροή εισέρχεται στην επιφάνεια τόση εξέρχεται.

β. ΗΕΔ από επαγωγή

Συνδέουμε τις άκρες ενός πηνίου με ένα γαλβανόμετρο που στο κέντρο του έχει την ένδειξη μηδέν.

- Πλησιάζουμε ένα μαγνήτη προς το πηνίο και το γαλβανόμετρο δείχνει ότι το πηνίο διαρρέεται από ρεύμα σε μία κατεύθυνση.
- Ακινητοποιούμε τον μαγνήτη και το γαλβανόμετρο δείχνει ένδειξη μηδέν.
- Απομακρύνουμε τον μαγνήτη από το πηνίο και το γαλβανόμετρο δείχνει ότι το πηνίο διαρρέεται από ρεύμα στην αντίθετη κατεύθυνση από την αρχική.
- Αν μετακινήσουμε το πηνίο πιο γρήγορα το γαλβανόμετρο δείχνει μεγαλύτερη ένδειξη από την αρχική.
- Αν αυξήσουμε τον αριθμό των σπειρών του πηνίου το γαλβανόμετρο δείχνει μεγαλύτερη ένδειξη από την αρχική.

Το ρεύμα στο γαλβανόμετρο οφείλεται στην εμφάνιση ΗΕΔ στα άκρα του πηνίου η οποία προκαλείται από την κίνηση του μαγνήτη.

Εξήγηση του φαινομένου της επαγωγής

Η κίνηση του μαγνήτη προκαλεί τη μεταβολή της μαγνητικής ροής που διέρχεται μέσα από τις σπείρες του πηνίου, άρα:

Η μεταβολή με οποιονδήποτε τρόπο της μαγνητικής ροής που περνά από τις σπείρες ενός πηνίου προκαλεί ανάπτυξη ηλεκτρεγερτικής δύναμης στο πηνίο που διαρκεί όσο χρόνο διαρκεί η μεταβολή της μαγνητικής ροής. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **επαγωγή**.

γ. Νόμος της επαγωγής ή νόμος Faraday

Από τα παραπάνω ο Faraday διατύπωσε τον νόμο της επαγωγής:

Η ΗΕΔ από επαγωγή που δημιουργείται σε ένα πηνίο είναι ανάλογη με τον ρυθμό μεταβολής της μαγνητικής ροής $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ και ανάλογη με τον αριθμό N των σπειρών του πηνίου

$$E = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} N$$

Το “ - ” δικαιολογείται από τον κανόνα του Lenz.

Για τις μονάδες στο SI ισχύει: $1V = \frac{1Wb}{1s}$ άρα $1Wb = 1V \cdot s$

Ορισμός μονάδας μαγνητικής ροής Wb

1 Wb είναι η μαγνητική ροή η οποία όταν περνά από μία σπείρα και ελαττώνεται ομοιόμορφα ως την τιμή μηδέν μέσα σε 1 s, αναπτύσσει ΗΕΔ επαγωγής ίση με 1 V.

Παρατήρηση

Επειδή συνήθως μας ενδιαφέρει το μέτρο της επαγωγικής τάσης και όχι η πολικότητα, παραλείπουμε το αρνητικό πρόσημο.

δ. Επαγωγικό ρεύμα και επαγωγικό φορτίο

I. Επαγωγικό ρεύμα

Όταν το κύκλωμα στο οποίο έχουμε επαγωγική τάση είναι **κλειστό**, έχουμε επαγωγικό ρεύμα.

Η **ένταση του επαγωγικού** ρεύματος είναι:

$I_{\text{επ}} = \frac{E_{\text{επ}}}{R}$ αλλά το μέτρο της επαγωγικής τάσης από τον νόμο του Faraday είναι $E_{\text{επ}} = \frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t}$ άρα για το

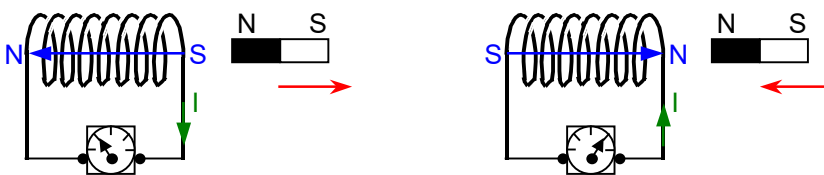
επαγωγικό ρεύμα έχουμε $I_{\text{επ}} = \frac{|\Delta\Phi|}{R\Delta t}$

II. Κανόνας Lenz

Η **φορά του επαγωγικού** ρεύματος καθορίζεται από τον **κανόνα του Lenz**:

Το επαγωγικό ρεύμα έχει τέτοια φορά ώστε να **αντιτίθεται** στο αίτιο που το προκάλεσε

Ο κανόνας του Lenz είναι αποτέλεσμα της αρχής διατήρησης της ενέργειας.



Στο 1^ο σχήμα ο μαγνήτης απομακρύνεται από το πηνίο. Το πηνίο διαρρέεται από ρεύμα με φορά, όπως

φαίνεται στο σχήμα, ώστε να λειτουργεί σαν μαγνήτης που έλκει τον μαγνήτη που απομακρύνεται.

Στο 2^ο σχήμα ο μαγνήτης πλησιάζει το πηνίο. Το πηνίο διαρρέεται από ρεύμα με φορά, όπως φαίνεται στο σχήμα, ώστε να λειτουργεί σαν μαγνήτης που απωθεί τον μαγνήτη που πλησιάζει.

III. Επαγωγικό φορτίο

Το ηλεκτρικό φορτίο που περνάει από μια διατομή του αγωγού είναι:

$$q = I \cdot \Delta t \text{ αλλά το επαγωγικό ρεύμα είναι } I_{\text{επ}} = \frac{|\Delta\Phi|}{R \cdot \Delta t} \text{ άρα } q = \frac{|\Delta\Phi|}{R} \cdot \Delta t \text{ άρα}$$

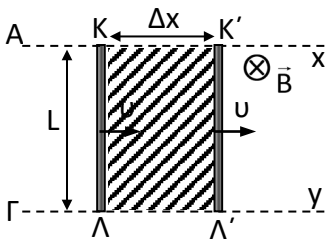
$$q = \frac{|\Delta\Phi|}{R}$$

Νόμος Neumann:

Το ηλεκτρικό φορτίο που μετατοπίζεται σε ορισμένη μεταβολή μαγνητικής ροής είναι ανεξάρτητο από τον χρόνο που διαρκεί η μεταβολή.

Παρατήρηση : Διαβάζεται Νόιμαν

ε. Αγωγός μήκους L κινούμενος μέσα σε μαγνητικό πεδίο



Ο αγωγός ΚΛ του σχήματος, έχει μήκος L και κινείται με σταθερή ταχύτητα u, η οποία είναι κάθετη στον αγωγό, μέσα στο ομογενές μαγνητικό πεδίο έντασης B. Σε χρονική διάρκεια Δt ο αγωγός μετατοπίζεται κατά Δx παράλληλα στον εαυτό του.

Η μεταβολή της μαγνητικής ροής είναι ΔΦ = B·A, όπου A το εμβαδόν που σαρώνει ο αγωγός, με A = L·Δx

Επομένως η επαγόμενη ΗΕΔ, σύμφωνα με τον νόμο της επαγωγής είναι

ιση με $E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ή $E = \frac{B \cdot A}{\Delta t}$ άρα $E = \frac{B \cdot L \cdot \Delta x}{\Delta t}$. Ο αγωγός κινείται με σταθερή ταχύτητα, επομένως Δx = u·Δt

άρα $E = \frac{B \cdot L \cdot u \cdot \Delta t}{\Delta t}$ και τελικά **$E = B \cdot u \cdot L$** .

Η σχέση αποδεικνύεται γενικότερα και ισχύει για στιγμιαίες τιμές της ταχύτητας u ακόμη και αν αυτή μεταβάλλεται.

Επομένως η σχέση $E = B \cdot u \cdot L$ δίνει την στιγμιαία ΗΕΔ από επαγωγή.

Προσοχή: L είναι το μήκος του αγωγού που βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο.

Αν ο αγωγός σχηματίζει με την ταχύτητα γωνία φ, τότε ισχύει $E = B \cdot u \cdot L \cdot \eta \mu\phi$

Η πολικότητα της ΗΕΔ από επαγωγή υπολογίζεται με χρήση του νόμου Lorentz για την κίνηση θετικού φορτίου με ταχύτητα u μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο.

Σε κάθε περίπτωση η μέση ΗΕΔ από επαγωγή υπολογίζεται από τον νόμο της επαγωγής **$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$** .

Προσοχή: ΗΕΔ από επαγωγή έχουμε σε κάθε περίπτωση που αγωγός κινείται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, για να έχουμε όμως επαγωγικό ρεύμα πρέπει να συμμετέχει σε κλειστό κύκλωμα.