

Παρουσίαση Εννοιών στη Φυσική της Β΄ Λυκείου

Κεφάλαιο Τρίτο Ενότητα: Ηλεκτρομαγνητισμός

3.1. ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

«Μαγνητικό πεδίο ονομάζεται ο χώρος μέσα στον οποίο, αν βρεθεί κάποιος μαγνήτης, θα ασκηθεί πάνω του μαγνητική δύναμη».

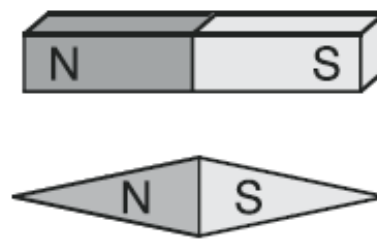
Τι είναι όμως οι μαγνήτες;

Οι μαγνήτες είναι εκείνα τα σώματα που έχουν την ιδιότητα να έλκουν διάφορα μέταλλα όπως σίδηρο (Fe), κοβάλτιο (Co), νικέλιο (Ni) κλπ. Το όνομά τους προέρχεται από την πόλη Μαγνησία της Μ. Ασίας στην οποία υπάρχει σε μεγάλες ποσότητες το ορυκτό του σιδήρου που ονομάζεται **επιτεταρτοξειδίο του σιδήρου (Fe_3O_4)** ή αλλιώς **μαγνητίτης**. Το ορυκτό αυτό αποτελεί ένα φυσικό μαγνήτη και διαφέρει από τους τεχνητούς μαγνήτες που κατασκευάζονται από τον άνθρωπο χρησιμοποιώντας διάφορα κράματα μετάλλων.

Αν κρεμάσουμε μια μαγνητική βελόνα (ή ένα ραβδόμορφο μαγνήτη) με τη βοήθεια κατακόρυφου νήματος που είναι δεμένο στο μέσο της, αυτή θα ισορροπήσει ώστε το ένα άκρο της να δείχνει, περίπου, το γεωγραφικό Βορρά και το άλλο το γεωγραφικό Νότο. Εκτρέποντας τη βελόνα από τη θέση ισορροπίας της αυτή θα ισορροπήσει πάλι ώστε τα ίδια άκρα, όπως και πριν, να δείχνουν προς τον Βορρά και το Νότο, αντίστοιχα.

Κατά σύμβαση, το άκρο που δείχνει το γεωγραφικό Βορρά το ονομάζουμε βόρειο μαγνητικό πόλο, και το άκρο που δείχνει το γεωγραφικό Νότο το ονομάζουμε νότιο μαγνητικό πόλο. Ο βόρειος μαγνητικός πόλος συμβολίζεται με το γράμμα **N** (από την αγγλική λέξη North) και ο νότιος μαγνητικός πόλος συμβολίζεται με το γράμμα **S** (από την αγγλική λέξη South).

Στο σχήμα 1 σημειώνονται ενδεικτικά οι μαγνητικοί πόλοι σ' ένα ραβδόμορφο μαγνήτη και σε μια μαγνητική βελόνα.



ραβδόμορφο
μαγνήτης

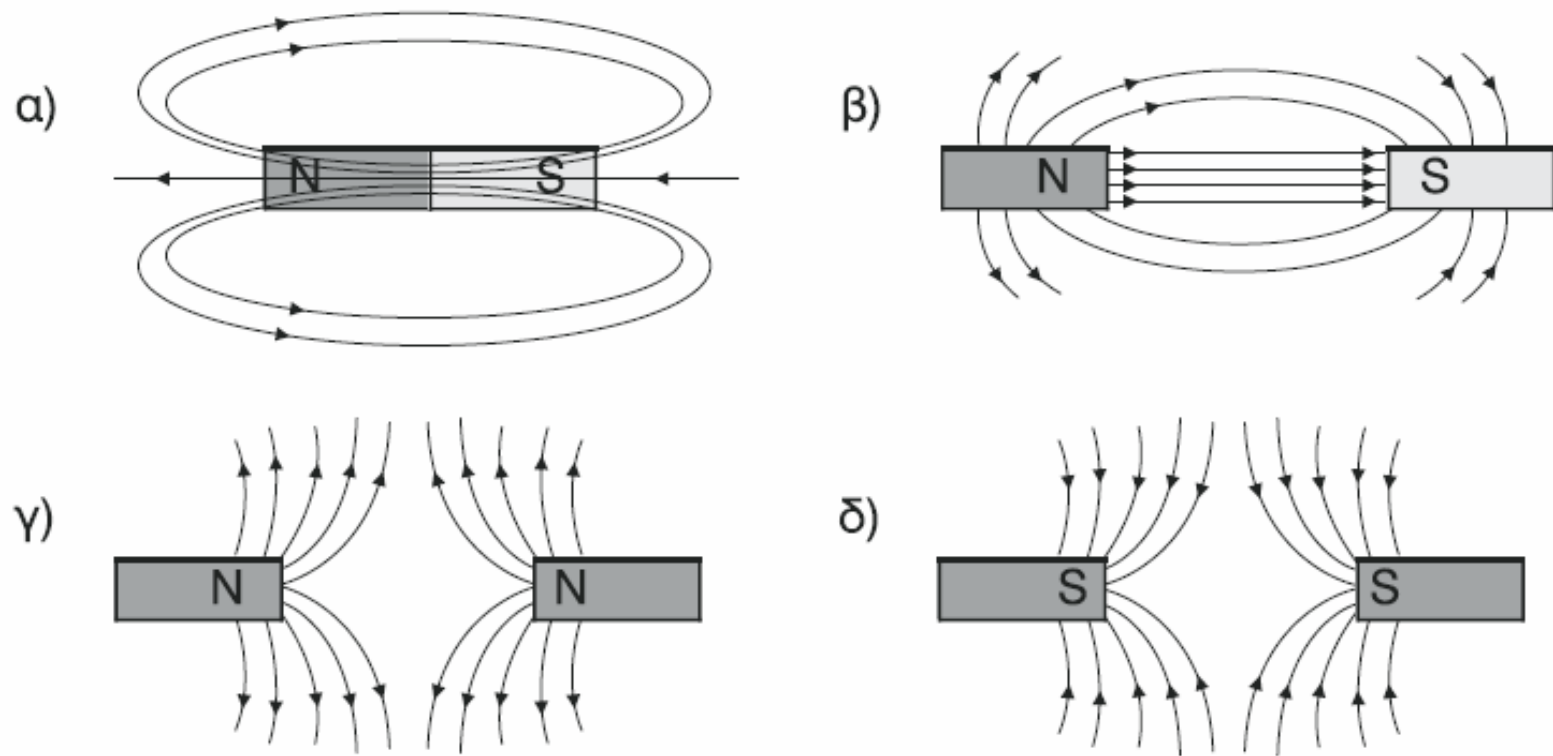
μαγνητική
βελόνα

Σχήμα 1

Αν κόψουμε έναν ραβδόμορφο μαγνήτη ακριβώς στο μέσο του προσπαθώντας να απομονώσουμε τους δύο μαγνητικούς πόλους, θα παρατηρήσουμε ότι σε κάθε κομμάτι που θα προκύψει εμφανίζονται, εκ νέου, στα άκρα του βόρειος και νότιος μαγνητικός πόλος. Το ίδιο θα συμβεί αν ακολουθήσουμε την ίδια διαδικασία για τα κομμάτια που προκύπτουν. Άρα:

Στη φύση δεν υπάρχουν απομονωμένοι μαγνητικοί πόλοι (μαγνητικοί μονόπολα) αλλά μόνο ζεύγη βόρειου και νότιου μαγνητικού πόλου (μαγνητικά δίπολα).

«Δυναμική γραμμή ενός μαγνητικού πεδίου ονομάζεται εκείνη η νοητή γραμμή στην οποία η ένταση του πεδίου εφάπτεται σε κάθε σημείο της».



Σχήμα 2

Ιδιότητες των δυναμικών γραμμών

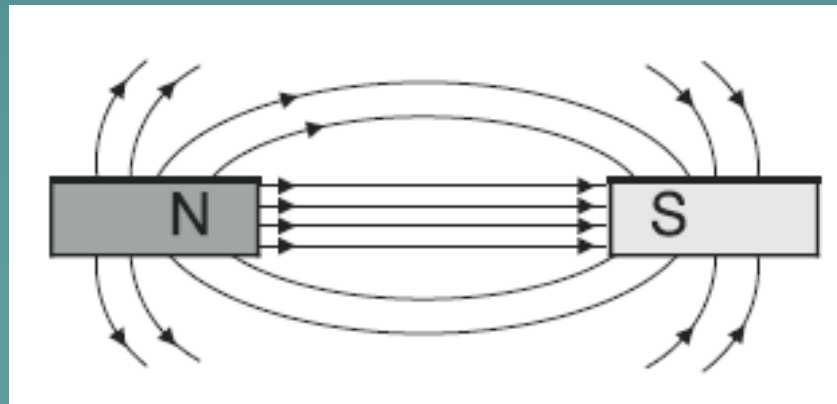
Οι δυναμικές γραμμές ενός μαγνητικού πεδίου χαρακτηρίζονται από τις εξής ιδιότητες:

- α.** Οι δυναμικές γραμμές είναι **κλειστές**. Για την περίπτωση ραβδόμορφου μαγνήτη, στο εξωτερικό του μαγνήτη οι δυναμικές γραμμές κατευθύνονται από το βόρειο προς το νότιο μαγνητικό πόλο ενώ στο εσωτερικό του μαγνήτη κατευθύνονται από το νότιο προς το βόρειο μαγνητικό πόλο.
- β.** Στις περιοχές του πεδίου που οι δυναμικές γραμμές είναι πιο πυκνές, το πεδίο είναι πιο ισχυρό, δηλαδή, η ένταση του πεδίου έχει μεγαλύτερο μέτρο.
- γ.** Οι δυναμικές γραμμές **δεν τέμνονται** ούτε και **εφάπτονται** σε κάποιο σημείο.

Ομογενές μαγνητικό πεδίο

«Ομογενές ονομάζεται κάθε μαγνητικό πεδίο στο οποίο η ένταση είναι η ίδια (κατά διεύθυνση φορά και μέτρο) σε κάθε σημείο του».

Σε κάθε ομογενές μαγνητικό πεδίο, όπως και στο ομογενές ηλεκτρικό πεδίο, οι δυναμικές του γραμμές είναι παράλληλες με ίδια φορά και ισοπέχουσες. Ομογενές μαγνητικό πεδίο δημιουργείται, για παράδειγμα, στο εσωτερικό ενός ραβδόμορφου μαγνήτη, με τις δυναμικές γραμμές να κατευθύνονται από το νότιο προς το βόρειο μαγνητικό πόλο



Σημείωση

1. Μεταξύ δύο **ομώνυμων** μαγνητικών πόλων (βόρειος με βόρειο, νότιος με νότιο) αναπτύσσονται **απωστικές** μαγνητικές δυνάμεις ενώ μεταξύ δύο **ετερόνυμων** μαγνητικών πόλων (βόρειος με νότιο) αναπτύσσονται **ελκτικές** μαγνητικές δυνάμεις.
2. Μονάδα της έντασης \vec{B} του μαγνητικού πεδίου στο SI είναι το **1 Tesla** (1 Τέσλα). Ο ορισμός του ενός Tesla θα δοθεί στη συνέχεια μαζί με τον ορισμό της έντασης \vec{B} .

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ

Βάλτε σε κύκλο το γράμμα με τη σωστή απάντηση.

1. Το μαγνητικό πεδίο:

- α. δεν μπορεί να παραχθεί από φυσικούς μαγνήτες
- β. παράγεται μόνο από φυσικούς μαγνήτες
- γ. μπορεί να παραχθεί και από φυσικούς μαγνήτες
- δ. μπορεί να παραχθεί και από ακίνητα ηλεκτρικά φορτία

2. Το μαγνητικό πεδίο ενός ραβδόμορφου μαγνήτη:

- α. είναι παντού ομογενές
- β. είναι ανομοιογενές στο εξωτερικό του μαγνήτη
- γ. είναι παντού ανομοιογενές
- δ. είναι πιο ισχυρό στην περιοχή κοντά στο μέσο του μαγνήτη

3. Σ' ένα μαγνήτη που έχει τη μορφή κέρματος:

- α. ο ένας μαγνητικός πόλος βρίσκεται από τη μία του όψη και ο άλλος από την άλλη του όψη
- β. δεν υπάρχουν μαγνητικοί πόλοι
- γ. οι μαγνητικοί πόλοι βρίσκονται σε δύο απέναντι περιοχές στην περιφέρειά του
- δ. δεν υπάρχει νότιος μαγνητικός πόλος

5. Οι μαγνητικές δυναμικές γραμμές:

- α. Ξεκινούν από βόρειους και καταλήγουν σε νότιους μαγνητικούς πόλους
- β. Ξεκινούν από νότιους και καταλήγουν σε βόρειους μαγνητικούς πόλους
- γ. είναι πάντα παράλληλες μεταξύ τους
- δ. είναι κλειστές



Πείραμα του Oersted – Το ηλεκτρικό ρεύμα παράγει μαγνητικό πεδίο

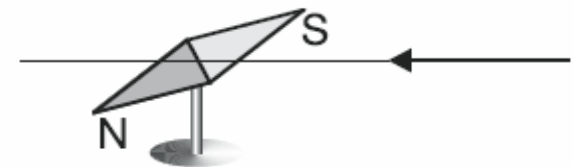
Η μαγνητική βελόνα μπορούσε να στρέφεται ελεύθερα σε οριζόντιο επίπεδο γύρω από κατακόρυφο άξονα που διερχόταν από το κέντρο της (σχήμα 3).

Κατά τη διάρκεια του πειράματος παρατηρήθηκαν τα εξής:

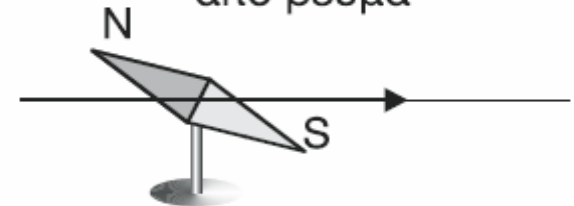
- α.** Όταν ο ευθύγραμμος αγωγός δεν διαρρέοταν από ρεύμα, η βελόνα ισορροπούσε με τον μεγάλο άξονά της παράλληλα στον αγωγό.
- β.** Όταν ο ευθύγραμμος αγωγός διαρρέοταν από ρεύμα (σταθερής έντασης), η βελόνα εκτροπόταν από την αρχική της θέση και ισορροπούσε σε μια νέα θέση.
- γ.** Όταν μηδενιζόταν το ρεύμα που διέρεε τον αγωγό, η βελόνα επέστρεφε και ισορροπούσε στην αρχική της θέση.
- δ.** Αλλάζοντας τη φορά του ρεύματος στον αγωγό άλλαζε και η φορά εκτροπής της μαγνητικής βελόνας.



ο αγωγός δεν διαρρέεται από ρεύμα



ο αγωγός διαρρέεται από ρεύμα



ο φορά του ρεύματος αντιστράφηκε

Σχήμα 3

Συμπέρασμα

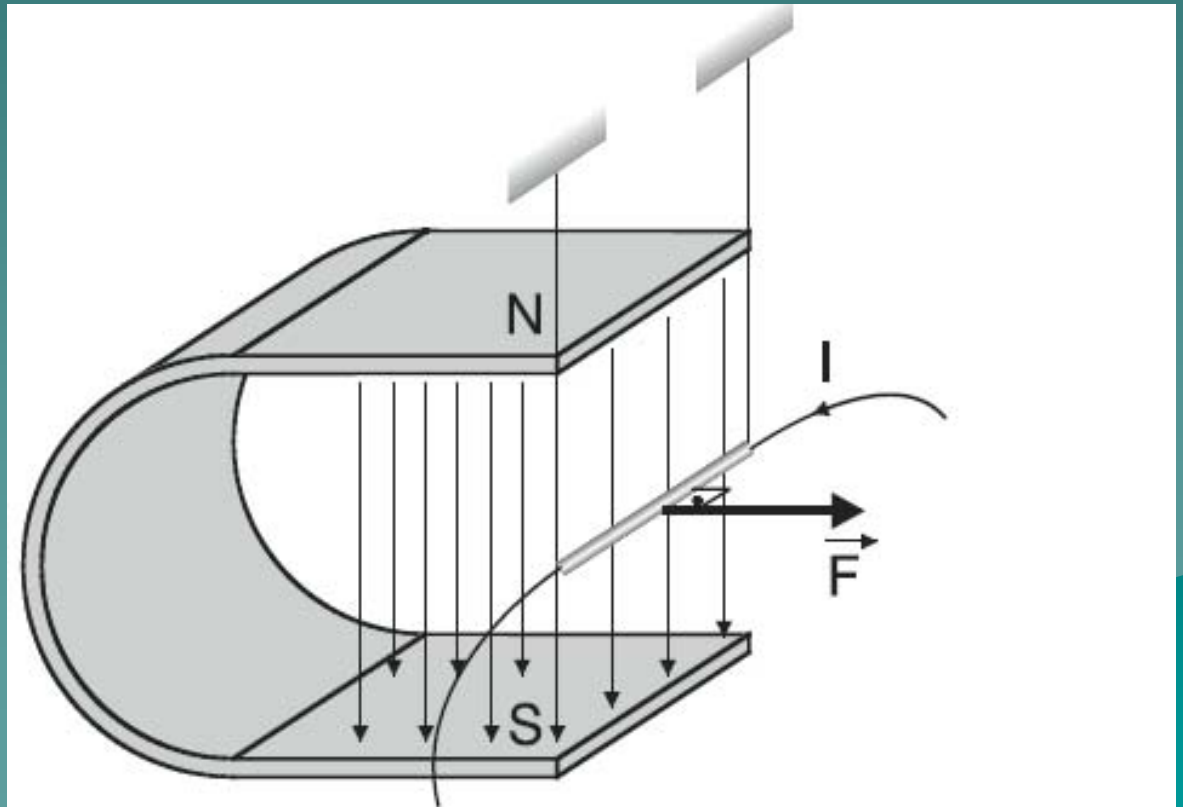
Τα μαγνητικά πεδία προέρχονται από ηλεκτρικά ρεύματα, δηλαδή από κινούμενα ηλεκτρικά φορτία

ΑΠΟΜΑΓΝΗΤΙΣΗ ΥΛΙΚΟΥ

- α) Με θέρμανση
- β) Με κρούση

Το μαγνητικό πεδίο οφείλεται στην κίνηση του ηλεκτρονίου γύρω από τον πυρήνα (προσανατολισμένα άτομα προς μια κατεύθυνση)

Διαπιστώσαμε, επανερχόμενοι στο πείραμα του Oersted, ότι ένας ρευματοφόρος αγωγός ασκεί, μέσω του μαγνητικού πεδίου που δημιουργεί γύρω του, δύναμη σε κάποιο μαγνήτη (μαγνητική βελόνα). Άρα, λόγω δράσης αντίδρασης, αναμένουμε και ο μαγνήτης, μέσω του δικού του μαγνητικού πεδίου, να ασκεί δύναμη σε κάποιο ρευματοφόρο αγωγό.



Τρόποι μαγνήτισης υλικών

Στην προηγούμενη ενότητα είδαμε τρόπους με τους οποίους μπορούμε να **απομαγνητίσουμε** κάποιο μαγνήτη. Ας αναφερθούμε και σε ορισμένους τρόπους με τους οποίους μπορούμε να **μαγνητίσουμε** κάποιο σώμα, αρκεί βέβαια να είναι φτιαγμένο από υλικό που μπορεί να μαγνητιστεί.

1ος τρόπος: Με επαφή

Διατηρώντας σε επαφή τον πόλο ενός μαγνήτη με κάποιο αντικείμενο από μαλακό σίδηρο το αντικείμενο αυτό αποκτά την ικανότητα να έλκει διάφορα μεταλλικά αντικείμενα. Δηλαδή το αντικείμενο από μαλακό σίδηρο μαγνητίζεται. Η μαγνήτιση όμως είναι παροδική γιατί μετά την απομάκρυνση του μαγνήτη αυτό χάνει τις μαγνητικές του ιδιότητες. Αν το αντικείμενο ήταν από χάλυβα τότε η μαγνήτισή του θα ήταν μόνιμη. Στην περιοχή του αντικειμένου που έρχεται σε επαφή με τον πόλο του μαγνήτη εμφανίζεται ετερώνυμος μαγνητικός πόλος.

2ος τρόπος: Με επαγωγή


Αν πλησιάσουμε στον πόλο ενός μαγνήτη κάποιο αντικείμενο από μαλακό σίδηρο ή χάλυβα παρατηρούμε πάλι ότι το αντικείμενο μαγνητίζεται είτε παροδικά (μαλακός σίδηρος) είτε μόνιμα (χάλυβας). Στην περιοχή του αντικειμένου που έρχεται σε επαφή με τον πόλο του μαγνήτη εμφανίζεται πάλι **ετερώνυμος μαγνητικός πόλος**.

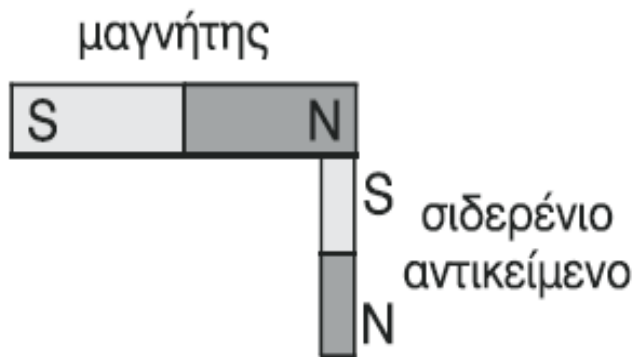
3ος τρόπος: Με τριβή

Αν τρίψουμε τον πόλο ενός μαγνήτη πάνω σε κάποιο αντικείμενο από μαλακό σίδηρο ή χάλυβα, κατά την ίδια πάντα φορά, θα παρατηρήσουμε ότι το αντικείμενο μαγνητίζεται πάλι παροδικά ή μόνιμα. Στην περιοχή του αντικειμένου από την οποία αρχίσαμε την τριβή με τον πόλο του μαγνήτη, εμφανίζεται **ομώνυμος** μαγνητικός πόλος.

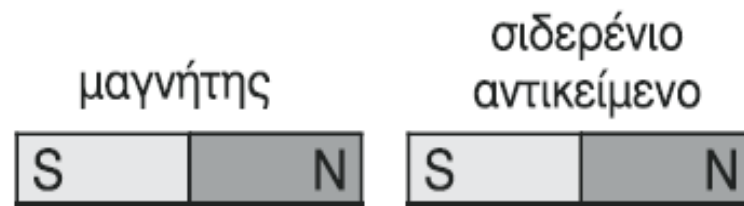
4ος τρόπος: Με ρεύμα

Αν γύρω από μια κυλινδρική ράβδο, από μαλακό σίδηρο ή χάλυβα, τυλίξουμε με τη μορφή σπειρών έναν μονωμένο αγωγό που διαρρέεται από ρεύμα, θα παρατηρήσουμε ότι η ράβδος μαγνητίζεται παροδικά ή μόνιμα.

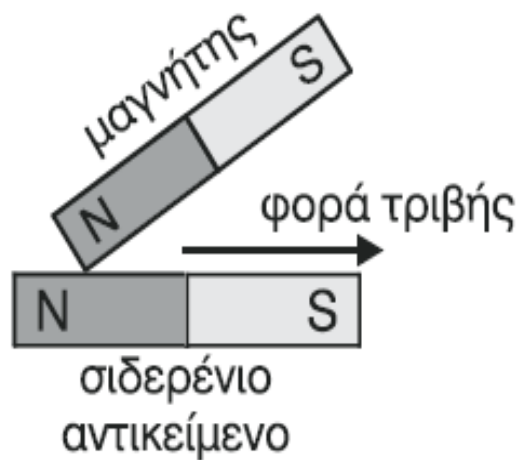




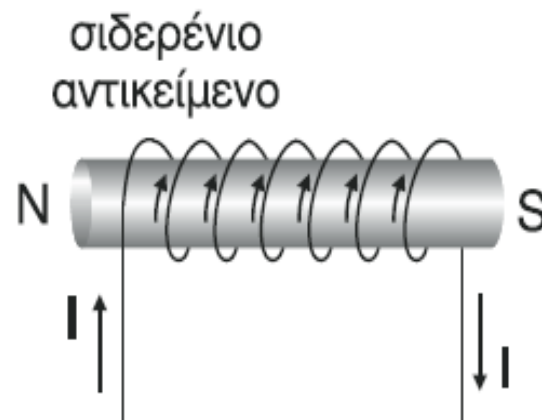
α. Με επαφή



β. Με επαγωγή



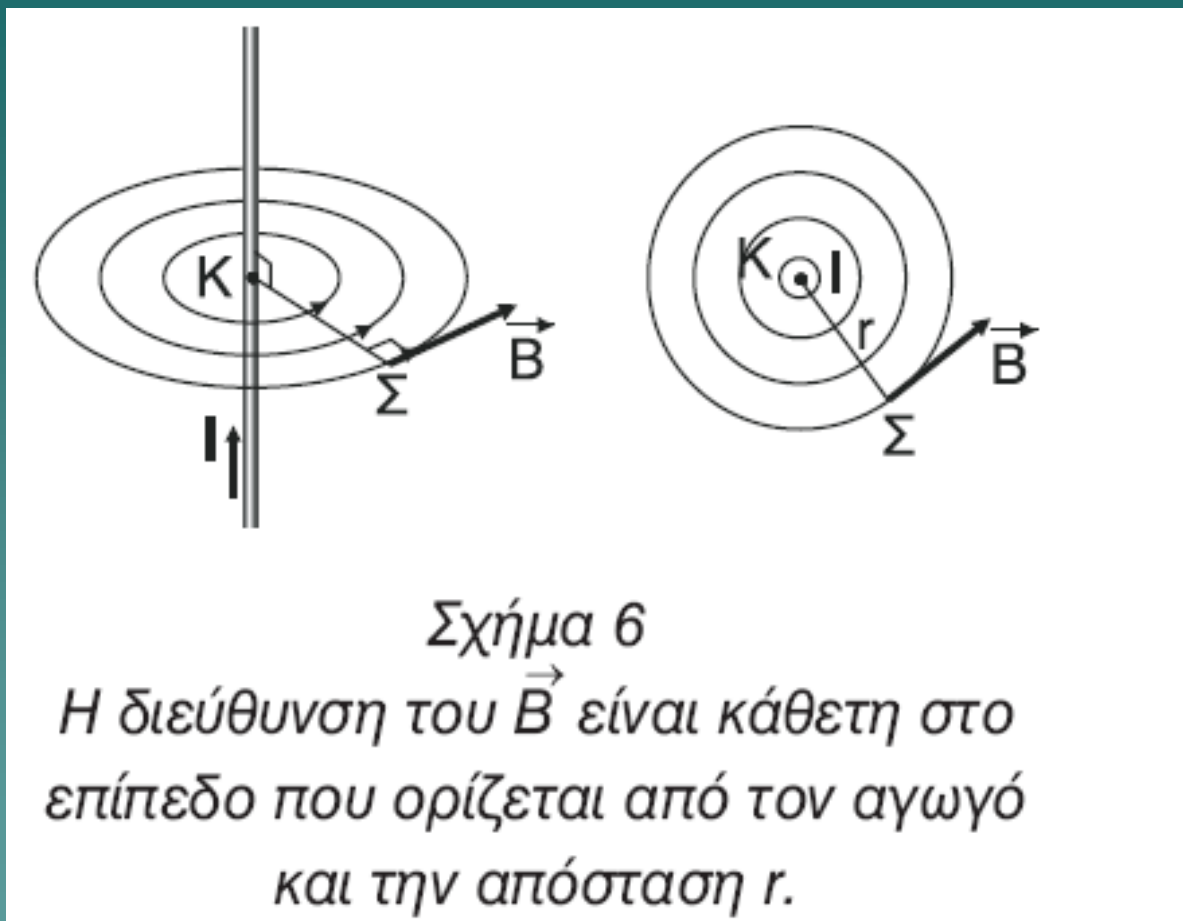
β. Με τριβή



δ. Με συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα

Σχήμα 5
Τρόποι μαγνήτισης

3.2. ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΡΕΥΜΑΤΟΦΟΡΩΝ ΑΓΩΓΩΝ



Γύρω από ευθύγραμμο αγωγό που διαρρέεται από ρεύμα δημιουργείται μαγνητικό πεδίο. Οι δυναμικές γραμμές του πεδίου είναι ομόκεντροι κύκλοι με το κέντρο τους να είναι ένα σημείο του αγωγού. Οι δυναμικές γραμμές βρίσκονται σε επίπεδο κάθετο στον αγωγό και κάθε σημείο του αγωγού αποτελεί κέντρο των ομόκεντρων κυκλικών δυναμικών γραμμών οι οποίες εκτείνονται σε αντίστοιχο επίπεδο. Η φορά των δυναμικών γραμμών καθορίζεται με τον κανόνα του δεξιού χεριού.



Το μέτρο B της έντασης του μαγνητικού πεδίου σ' ένα σημείο Σ που απέχει απόσταση r από το σημείο K του αγωγού, το οποίο είναι και το κέντρο των δυναμικών γραμμών, αποδεικνύεται ότι δίνεται από τη σχέση

$$B = K_{\mu} \frac{2I}{r} \quad (1) \quad \text{ή}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (2)$$

όπου $K_{\mu} = 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2} = 10^{-7} \frac{\text{Tm}}{\text{A}}$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Tm}}{\text{A}}$$

η μαγνητική σταθερά και

η απόλυτη μαγνητική διαπερατότητα του κενού

Ισχύει

$$K_{\mu} = \frac{\mu_0}{4\pi} \quad (3)$$

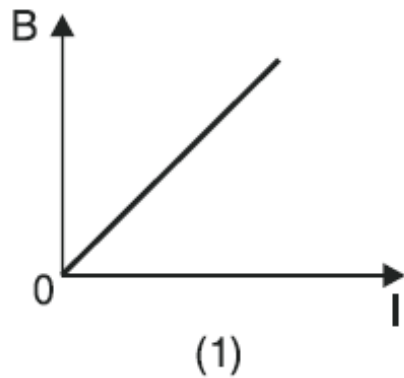
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

1. Οι σχέσεις (1) και (2) ισχύουν με την προϋπόθεση ότι ο αγωγός έχει άπειρο, ή κατά προσέγγιση, πολύ μεγάλο μήκος. Αν ο αγωγός έχει πεπερασμένο μήκος ℓ τότε πρέπει η απόσταση r να είναι πολύ μικρότερη από το ℓ και το σημείο Σ στο οποίο θέλουμε να υπολογίσουμε το μέτρο B της έντασης του μαγνητικού πεδίου να βρίσκεται σε επίπεδο κάθετο στον αγωγό που διέρχεται περίπου από το μέσο του αγωγού.
2. Το σύμβολο \odot δηλώνει ότι ένα διανυσματικό μέγεθος έχει διεύθυνση κάθετη στο επίπεδο της σελίδας του βιβλίου και φορά από τη σελίδα προς τον αναγνώστη.
Το σύμβολο \otimes δηλώνει ότι ένα διανυσματικό μέγεθος έχει διεύθυνση κάθετη στο επίπεδο της σελίδας του βιβλίου και φορά από τον αναγνώστη προς τη σελίδα.
3. Ανάμεσα στην ηλεκτρική σταθερά κ και στη μαγνητική σταθερά K_μ ισχύει η σχέση $\frac{\kappa}{K_\mu} = C^2$ (4), όπου $C = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$ η ταχύτητα διάδοσης του φωτός στο κενό ή κατά προσέγγιση στον αέρα.

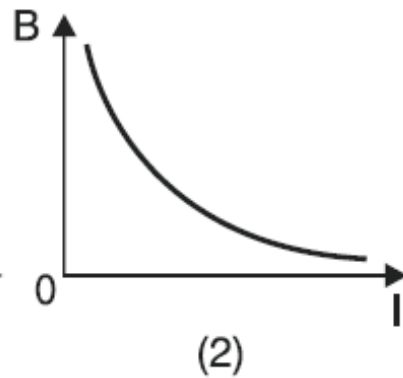
4. Η ένταση \vec{B} σ' ένα σημείο του μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται από δύο ή περισσότερους ευθύγραμμους ρευματοφόρους αγωγούς ισούται με το διανυσματικό άθροισμα των εντάσεων $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \dots$ στο σημείο εκείνο, εξ' αιτίας του κάθε αγωγού. Δηλαδή:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots \quad (6) \quad (\text{Αρχή επαλληλίας})$$

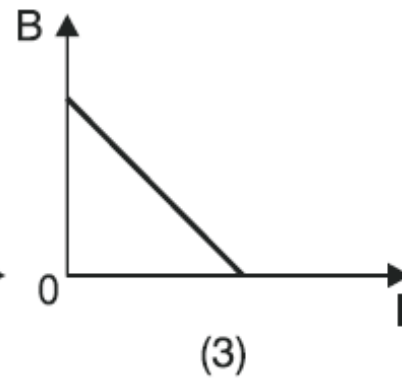
10. Η γραφική παράσταση του μέτρου B της έντασης του μαγνητικού πεδίου γύρω από ευθύγραμμο αγωγό άπειρου μήκους σε σχέση με την ένταση I του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό για σταθερή απόσταση r από αυτόν, είναι η:



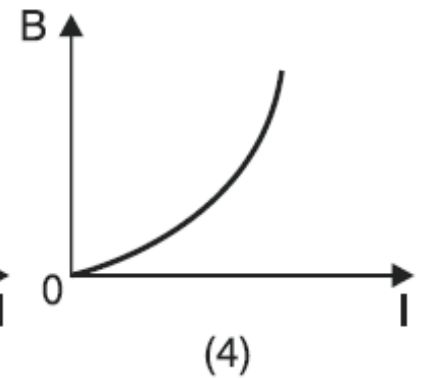
α. (1)



β. (2)



γ. (3)



δ. (4)

Πρόβλημα 1

Ευθύγραμμος αγωγός πολύ μεγάλου (απείρου) μήκους διαρρέεται από σταθερό ρεύμα έντασης I και σε χρόνο $t = 0,2 \text{ s}$ από μια διατομή του διέρχεται φορτίο $q = 0,4 \text{ C}$. Αν σ'ένα σημείο A που απέχει από τον αγωγό απόσταση r , το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου είναι $B = 10^{-5} \text{ T}$, βρείτε την απόσταση r . Δίνεται ότι $K_\mu = 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}$.

Λύση

Δεδομένα

$$q = 0,4 \text{ C}$$

$$t = 0,2 \text{ S}$$

$$B = 10^{-5} \text{ T}$$

$$K_{\mu} = 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}$$

Ζητούμενα

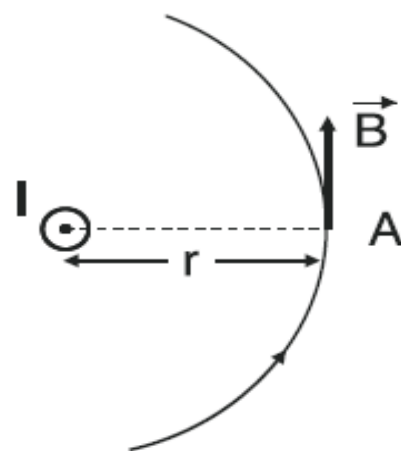
$$r = ;$$

Γνωρίζουμε ότι $I = \frac{dq}{dt}$, και όταν $I = \text{σταθερό}$ τότε

$$\frac{dq}{dt} = \frac{q}{t}$$

Άρα θα ισχύει:

$$I = \frac{q}{t} \Rightarrow I = \frac{0,4}{0,2} \text{ A} \Rightarrow \boxed{I = 2\text{A}}$$

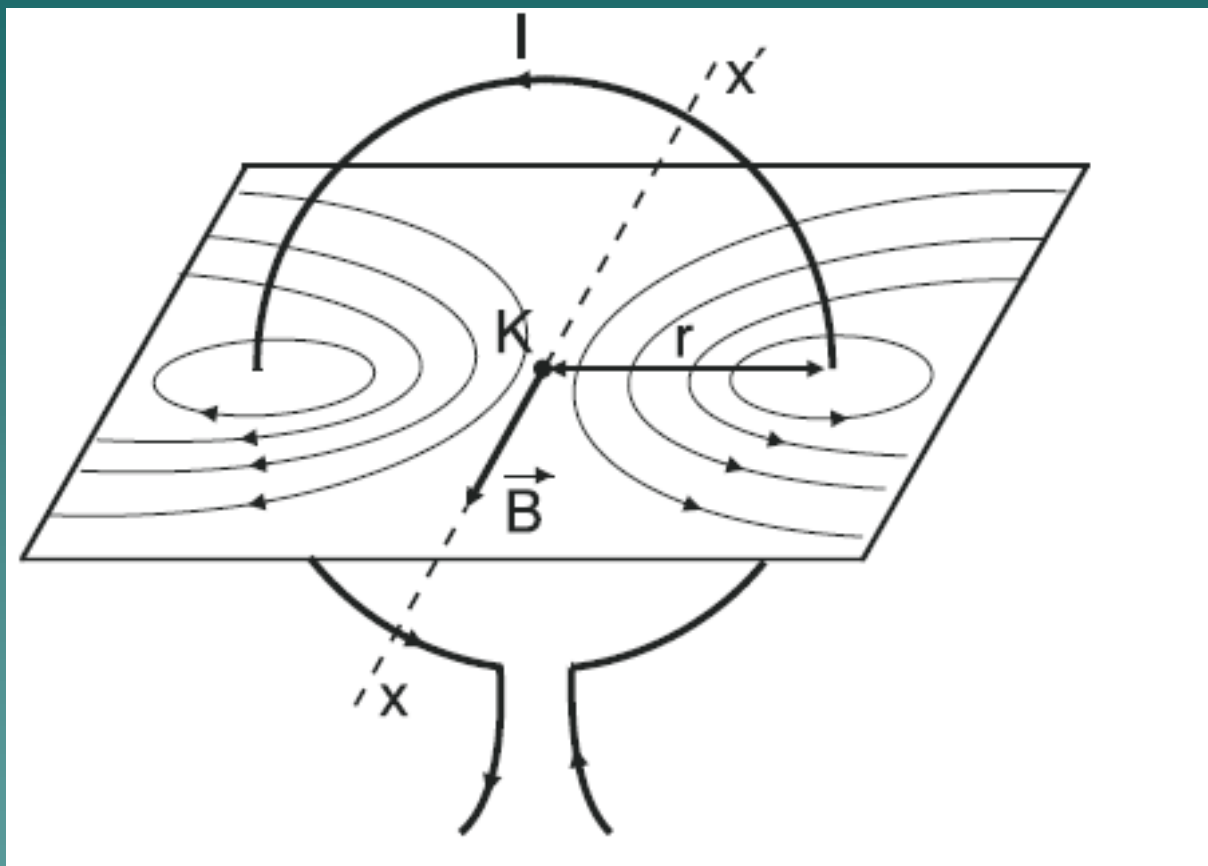


Για το μέτρο B της έντασης του μαγνητικού πεδίου ισχύει:

$$B = K_{\mu} \frac{2I}{r} \Rightarrow B \cdot r = K_{\mu} 2I \Rightarrow r = \frac{K_{\mu} 2I}{B} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow r = \frac{10^{-7} \cdot 2 \cdot 2}{10^{-5}} \text{ m} \Rightarrow \boxed{r = 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}}$$

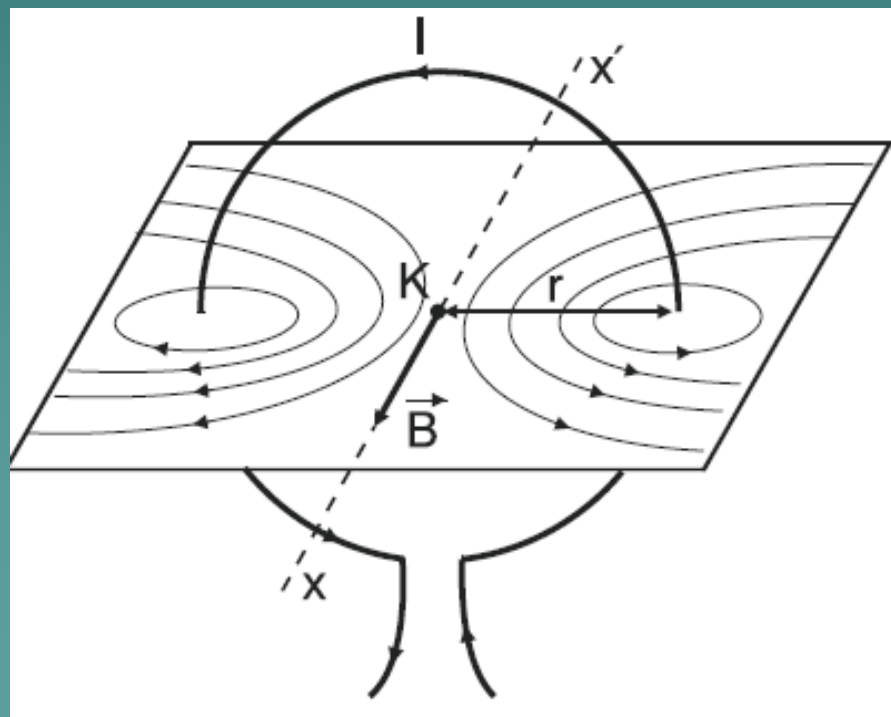
β. Μαγνητικό πεδίο κυκλικού ρευματοφόρου αγωγού



Γύρω από κυκλικό αγωγό που διαρρέεται από ρεύμα δημιουργείται μαγνητικό πεδίο του οποίου η μορφή είναι διαφορετική από αυτό που δημιουργεί ένας ευθύγραμμος αγωγός. Συγκεκριμένα, γύρω από κάθε στοιχειώδες τμήμα του κυκλικού ρευματοφόρου αγωγού, το οποίο μπορεί να θεωρηθεί ευθύγραμμο, η μορφή του πεδίου σε κοντινή απόσταση είναι ίδιο με τη μορφή του πεδίου (ομόκεντροι κύκλοι) γύρω από ευθύγραμμο αγωγό. Σε μεγαλύτερες αποστάσεις οι δυναμικές γραμμές είναι μεν κλειστές αλλά όχι ομόκεντροι κύκλοι.



Η ένταση \vec{B} του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο K του κυκλικού αγωγού, ο οποίος έχει ακτίνα r , έχει **διεύθυνση** κάθετη στο επίπεδο του αγωγού και διέρχεται από το κέντρο του. Η **φορά** της έντασης καθορίζεται με τον κανόνα του δεξιού χεριού. Σύμφωνα μ' αυτόν, τοποθετούμε **τα δάχτυλα του δεξιού χεριού** ώστε να "αγκαλιάζουν" τον κυκλικό αγωγό δείχνοντας **τη φορά της έντασης I** του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό. Τότε **ο αντίχειρας**, τεντωμένος, δείχνει **τη φορά της έντασης \vec{B}** (σχήμα 7).

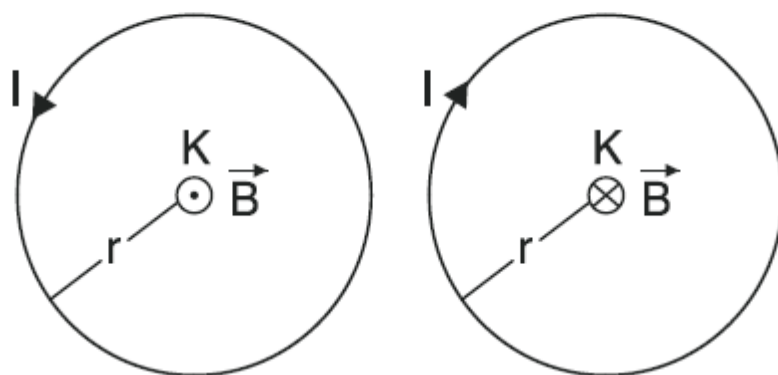


Το μέτρο B της έντασης του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο K του κυκλικού αγωγού, ακτίνας r , ο οποίος διαρρέεται από ρεύμα έντασης I αποδεικνύεται ότι δίνεται από τη σχέση:

$$B = K_{\mu} \frac{2\pi I}{r} \quad (7) \quad \text{ή} \quad B = \frac{\mu_0 I}{2r} \quad (8)$$

όπου $K_{\mu} = 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2} = 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}}$ και $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}}$

Ένας άλλος τρόπος απεικόνισης της έντασης \vec{B} στο κέντρο κυκλικού ρευματοφόρου αγωγού, εκτός από αυτόν του σχήματος 7, είναι αυτός που φαίνεται στο σχήμα 8.



Σχήμα 8

Ένταση \vec{B} μαγνητικού πεδίου στο κέντρο K κυκλικού ρευματοφόρου αγωγού.

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

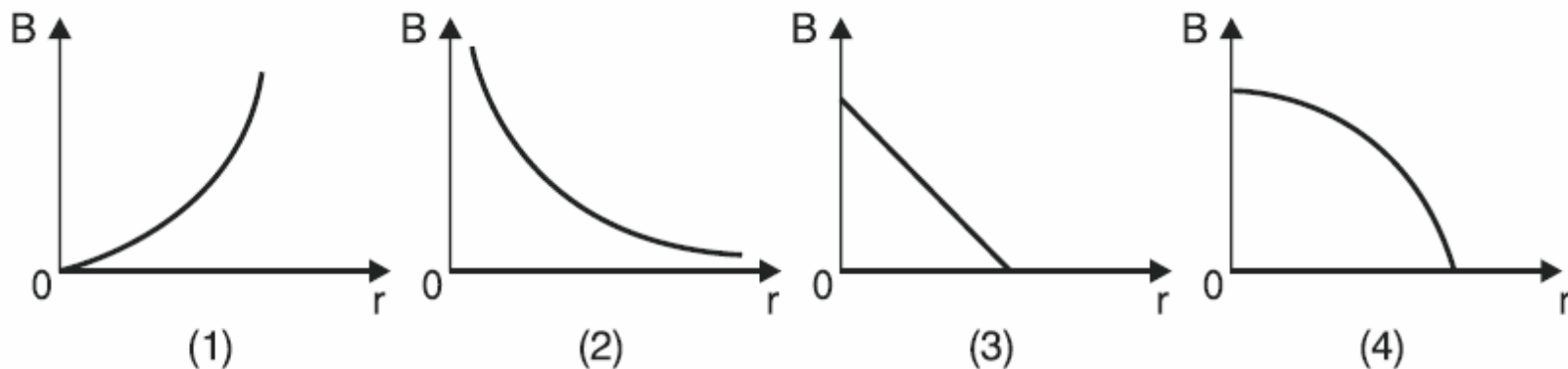
Αν, αντί για έναν, διαθέτουμε N ομοεπίπεδους και ομόκεντρους κυκλικούς ρευματοφόρους αγωγούς ίδιας ακτίνας r τότε η ένταση \vec{B} του μαγνητικού πεδίου των αγωγών στο κοινό τους κέντρο K , ισούται με το διανυσματικό άθροισμα των εντάσεων $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \dots$ στο σημείο K , εξαιτίας του κάθε αγωγού. Δηλαδή:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_N \quad (9) \quad (\text{Αρχή επαλληλίας})$$

Αν οι N κυκλικοί αγωγοί διαρρέονται από ρεύματα ίδιας φοράς με εντάσεις I_1, I_2, \dots, I_N αντίστοιχα τότε οι εντάσεις $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \dots, \vec{B}_N$ εκτός από ίδια διεύθυνση έχουν και ίδια φορά. Οπότε για το μέτρο της έντασης (B) από τη σχέση (4), προκύπτει:

$$B = B_1 + B_2 + \dots + B_N \Rightarrow B = K_\mu \frac{2\pi I_1}{r} + K_\mu \frac{2\pi I_2}{r} + \dots + K_\mu \frac{2\pi I_N}{r} \quad (10)$$

18. Η γραφική παράσταση του μέτρου B της έντασης του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο κυκλικού ρευματοφόρου αγωγού σε σχέση με την ακτίνα του r :



19. Στο κέντρο κυκλικού μεταλλικού σύρματος ακτίνας r , που διαρρέεται από ρεύμα έντασης I , η ένταση του μαγνητικού πεδίου έχει μέτρο B . Διπλώνουμε το σύρμα δημιουργώντας δύο όμοια ομόκεντρα κυκλικά σύρματα. Τότε, η ένταση του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο των δύο συρμάτων ίση με:

α. $4B$

β. $2B$

γ. B

δ. $\frac{B}{2}$

Πρόβλημα 4

Κυκλικό πλαίσιο ακτίνας $r_1 = 10 \text{ cm}$ αποτελείται από $N = 4$ σπείρες και παρουσιάζει ωμική αντίσταση $R = 9\Omega$. Τα άκρα του πλαισίου συνδέονται στους πόλους πηγής με ΗΕΔ $E = 12\text{V}$ και εσωτερική αντίσταση r , με αποτέλεσμα στο κέντρο του κυκλικού πλαισίου, η ένταση του μαγνητικού πεδίου να είναι $B = 96\pi \cdot 10^{-7}\text{T}$. Αν $K_\mu = 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}$, βρείτε την εσωτερική αντίσταση r της πηγής.

Λύση

Δεδομένα

$$r_1 = 10\text{cm} = 10^{-1}\text{m}$$

$$N = 4 \text{ σπείρες}$$

$$R = 9\Omega$$

$$E = 12\text{V}$$

$$B = 96\pi \cdot 10^{-7}\text{T}$$

$$K_\mu = 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}$$

Ζητούμενα

$$r = ;$$

Αν I η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το πλαίσιο, για το μέτρο B της έντασης του μαγνητικού πεδίου ισχύει:

$$B = K_{\mu} \frac{2\pi IN}{r_1} \Rightarrow B \cdot r_1 = K_{\mu} 2\pi I \cdot N \Rightarrow I = \frac{B r_1}{K_{\mu} 2\pi N} \xrightarrow{\text{s.i.}}$$

$$\Rightarrow I = \frac{96\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-1}}{10^{-7} 2\pi \cdot 4} \text{ A} \Rightarrow I = 12 \cdot 10^{-1} \text{ A} \Rightarrow \boxed{I = 1,2 \text{ A}}$$

Από το νόμο του Ohm για κλειστό κύκλωμα έχουμε:

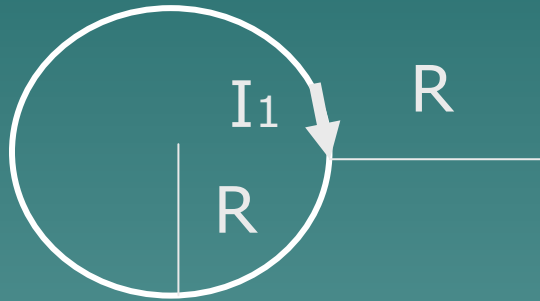
$$I = \frac{E}{R_{\text{ολ}}} \text{ με } R_{\text{ολ}} = R + r.$$

$$\text{Άρα: } I = \frac{E}{R + r} \Rightarrow (R + r) I = E \Rightarrow R + r = \frac{E}{I} \Rightarrow$$

$$r = \frac{E}{I} - R \Rightarrow r = \left(\frac{12}{1,2} - 9 \right) \Omega \Rightarrow r = (10 - 9) \Omega \Rightarrow \boxed{r = 1\Omega}.$$

Άσκηση

$N = 10$ σπείρες

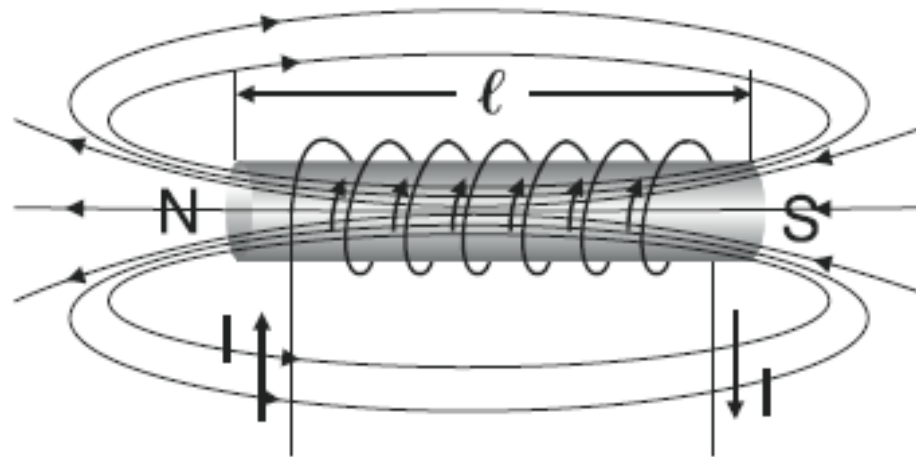


$$I_1 = 2\text{A}$$

$$R = 10\text{cm}$$

Να βρείτε τη φορά και την τιμή του ρεύματος στον ευθύγραμμο αγωγό, ώστε το B στο κέντρο του κυκλικού δακτυλίου να είναι 0

γ. Μαγνητικό πεδίο σωληνοειδούς



Μαγνητικό πεδίο σωληνοειδούς

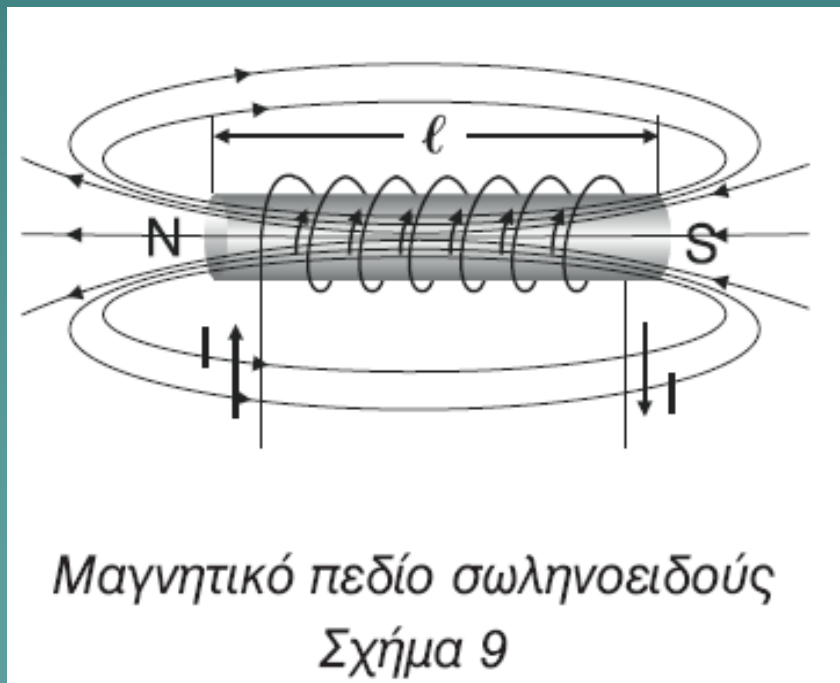
Σχήμα 9

Αν ένα μεταλλικό αγωγό τον τυλίξουμε με τη μορφή σπειρών (όπως ένα ελατήριο) τότε θα δημιουργήσουμε ένα σωληνοειδές.

Ένα σωληνοειδές το οποίο διαρρέεται από ρεύμα, δημιουργεί γύρω του, αλλά και στο εσωτερικό του, μαγνητικό πεδίο (σχήμα 9), ίδιας μορφής με το μαγνητικό πεδίο ενός ραβδόμορφου μαγνήτη (σχήμα 2α). Οι δυναμικές γραμμές του πεδίου είναι κλειστές και στο εξωτερικό του σωληνοειδούς έχουν φορά από το βόρειο προς το νότιο μαγνητικό πόλο, οι οποίοι εμφανίζονται στα άκρα του σωληνοειδούς, ενώ στο εσωτερικό του σωληνοειδούς έχουν φορά από το νότιο προς το βόρειο μαγνητικό πόλο.

Κανόνας του δεξιού χεριού.

Σύμφωνα μ' αυτόν, τοποθετούμε τα δάχτυλα του δεξιού χεριού ώστε να "αγκαλιάζουν" τις σπείρες του σωληνοειδούς δείχνοντας τη φορά της έντασης I του ρεύματος που τις διαρρέει. Τότε ο δείκτης, τεντωμένος, δείχνει τη φορά της έντασης B (σχήμα 9), και συγχρόνως το βόρειο μαγνητικό πόλο.



Το μέτρο B της έντασης του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο του σωληνοειδούς, αλλά κατά προσέγγιση και σε κοντινά προς το κέντρο εσωτερικά σημεία του σωληνοειδούς, αποδεικνύεται ότι δίνεται από τη σχέση:

$$B = K_{\mu} 4\pi \frac{N}{\ell} I \quad (13)$$

$$\text{ή} \quad B = \mu_0 \frac{N}{\ell} I \quad (14)$$

όπου, N το πλήθος των σπειρών, ℓ το μήκος του σωληνοειδούς, I η ένταση του ρεύματος που το διαρρέει,

$$K_{\mu} = 10^{-7} \frac{N}{A^2} = 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A} \quad \text{και}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{N}{A^2} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}$$

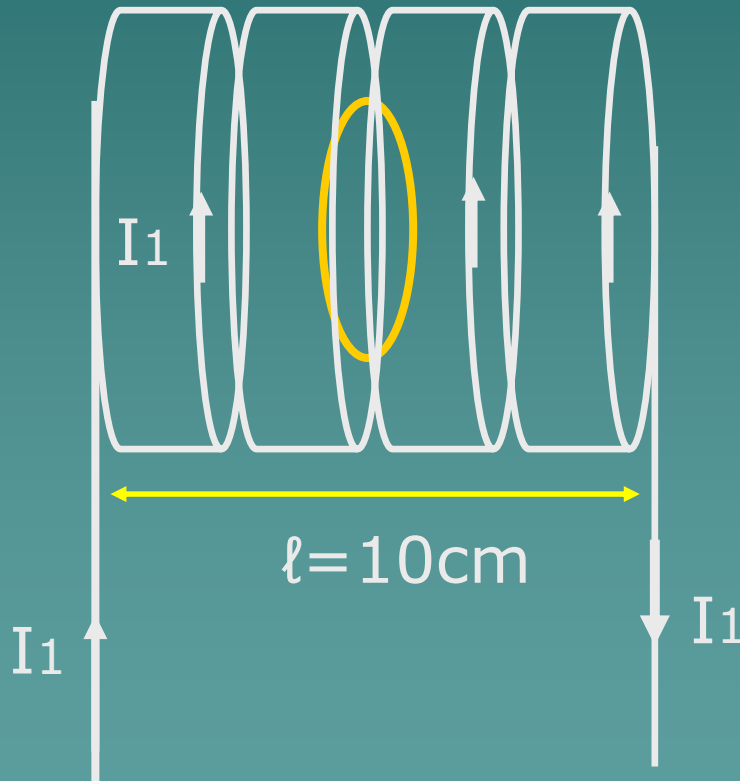
Το πηλίκο $\frac{N}{\ell} = n$ εκφράζει τον αριθμό των σπειρών ανά μονάδα μήκους του σωληνοειδούς, οπότε οι σχέσεις (13) και (14) γίνονται αντίστοιχα:

$$B = K_{\mu} 4\pi n I \quad (15) \quad \text{ή} \quad B = \mu_0 n I \quad (16).$$

Άσκηση

$N=10$ σπείρες, $I_1=2\text{A}$

$\ell=10\text{cm}$



Αν η ακτίνα του κυκλικού δακτυλίου είναι $R = 5\text{cm}$, βρείτε τη φορά και την τιμή του ρεύματος I_2 στο δακτύλιο, ώστε στο κέντρο του κυκλικού δακτυλίου να έχει $B = 0$

3.3. ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ

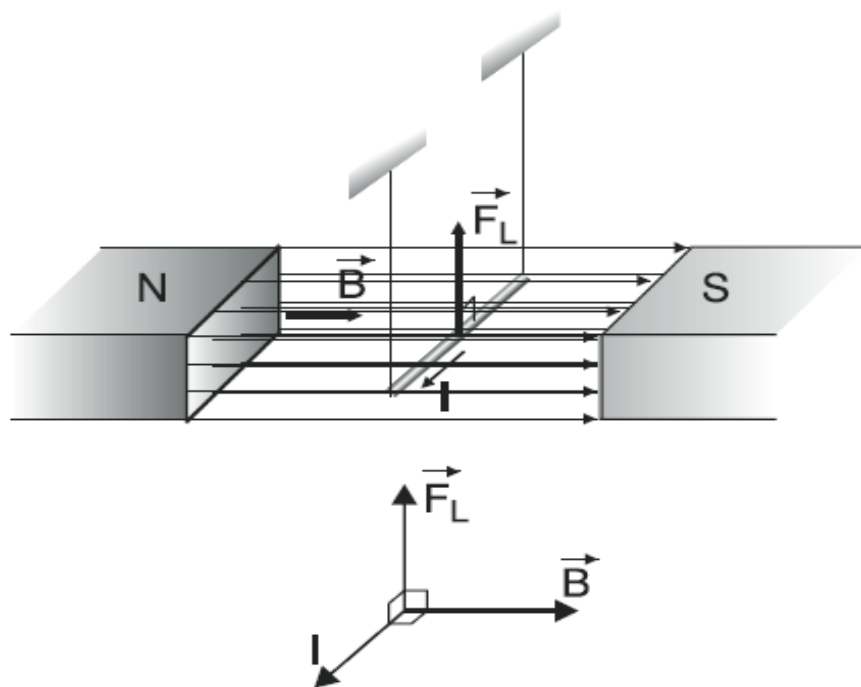
α. Δύναμη σε ρευματοφόρο αγωγό από ομογενές μαγνητικό πεδίο

Μάθαμε ότι ένας ευθύγραμμος ρευματοφόρος αγωγός που βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο, δέχεται από το πεδίο μια (ηλεκτρομαγνητική) δύναμη F . Η ηλεκτρομαγνητική αυτή δύναμη ονομάζεται δύναμη Laplace και συμβολίζεται με F_L

“Το μέτρο F_L της δύναμης Laplace είναι ανάλογο:

- με το μέτρο B της έντασης του ομογενούς μαγνητικού πεδίου στο οποίο βρίσκεται ο αγωγός,
- με την ένταση I του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό
- με το μήκος ℓ του κομματιού του αγωγού, που βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο.
- με το ημίτονο (ημφ) της γωνίας φ που σχηματίζει ο αγωγός με τη διεύθυνση της έντασης \vec{B} του μαγνητικού πεδίου. Δηλαδή,
$$F_L = B \cdot I \cdot \ell \cdot \eta\mu\varphi \quad (19)$$

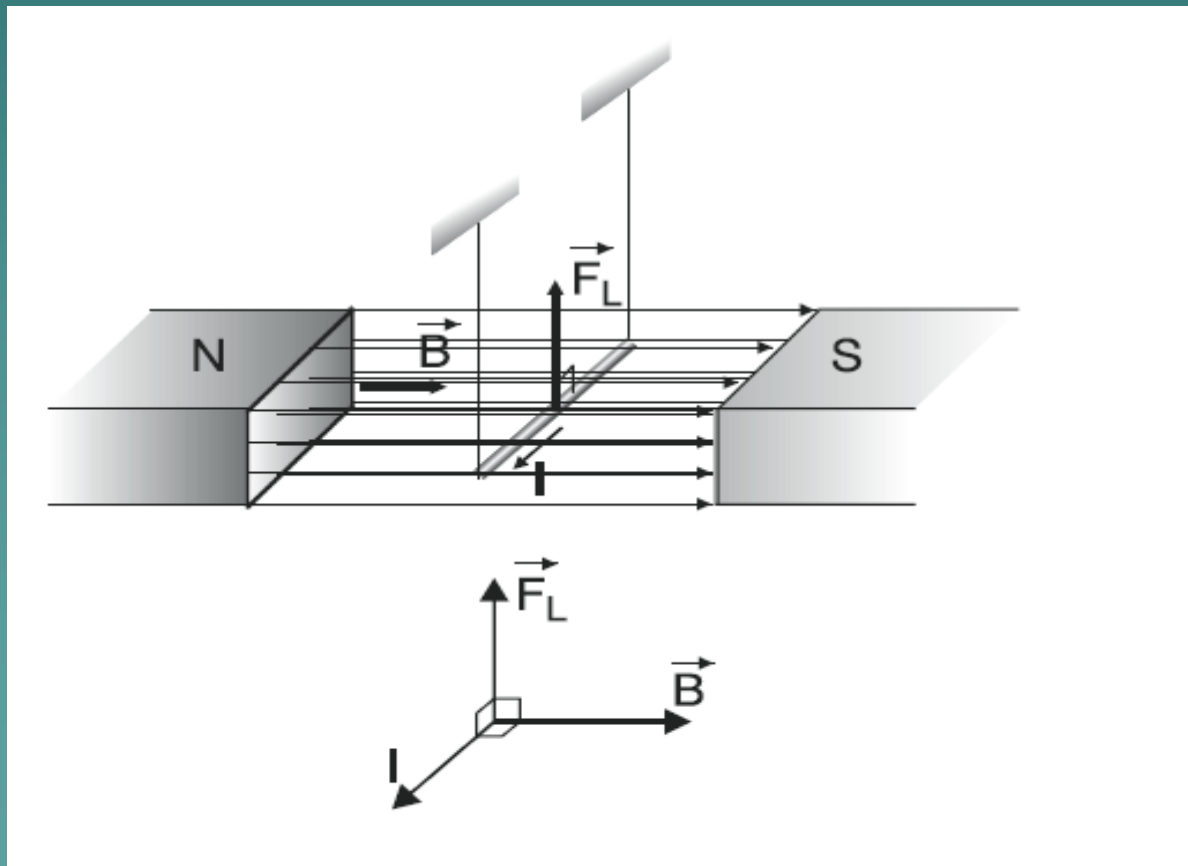
- η διεύθυνση της δύναμης Laplace είναι κάθετη στο επίπεδο που ορίζεται από τον αγωγό και τη διεύθυνση της έντασης του πεδίου,
- η φορά της καθορίζεται με τον κανόνα των τριών δακτύλων του δεξιού χεριού και
- το σημείο εφαρμογής είναι το μέσο, του κομματιού του αγωγού που βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο”



Ηλεκτρομαγνητική δύναμη Laplace σε ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό

Σχήμα 10

Σύμφωνα με τον κανόνα των τριών δακτύλων, φέρουμε τα τρία δάχτυλα του δεξιού χεριού (αντίχειρας, δείκτης, μέσος) έτσι ώστε, ανά δύο, να είναι κάθετα μεταξύ τους και τα τοποθετούμε ώστε ο αντίχειρας να δείχνει τη φορά της έντασης I του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό και ο δείκτης τη φορά της έντασης B του μαγνητικού πεδίου. Τότε ο μέσος δείχνει τη φορά της δύναμης



Χρησιμοποιώντας τη σχέση

$$F_L = B I \ell \mu \phi$$

διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις:

1. αν $\phi = 0^\circ$ δηλαδή ο αγωγός είναι παράλληλος στις δυναμικές γραμμές, τότε

$$F_L = B I \ell \mu 0 \Rightarrow F_L = B I \ell 0 \Rightarrow F_L = 0,$$

οπότε ο αγωγός δεν δέχεται δύναμη από το πεδίο.

2. αν $\phi = 90^\circ$ δηλαδή ο αγωγός είναι κάθετος στις δυναμικές γραμμές, τότε

$$F_L = B I \ell \mu 90^\circ \Rightarrow F_L = B \cdot I \cdot \ell \cdot 1 \Rightarrow F_L = B I \ell, \quad (20)$$

οπότε ο αγωγός δέχεται τη μέγιστη δύναμη από το πεδίο (αφού το ημφ παίρνει τη μέγιστη τιμή του που είναι το 1).

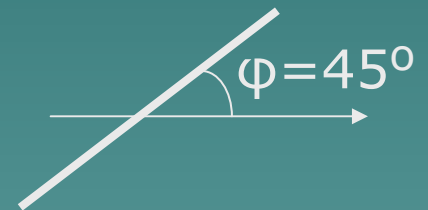
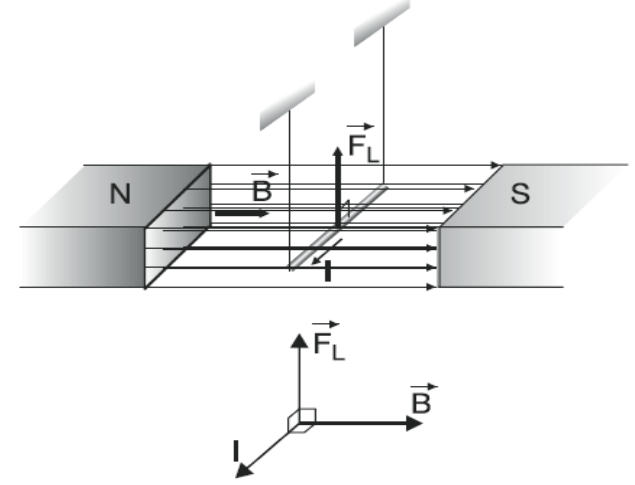
Άσκηση

Ένας αγωγός μήκους $\ell = 10\text{cm}$ βρίσκεται στο εσωτερικό ομογενούς μαγνητικού πεδίου $B = 0,5\text{T}$ και σχηματίζει γωνία $\varphi = 45^\circ$ με τις δυναμικές γραμμές του B . Αν η επιτάχυνση που αποκτά το σώμα είναι $a = 10\text{m/s}^2$ και η μάζα του αγωγού είναι $m = 100\text{g}$ (αγνοήστε βάρος)

α) Βρείτε το ρεύμα που διαρρέει τον αγωγό.

β) Προς τα πού κινείται ο αγωγός σε σχέση με τις δυναμικές γραμμές του B ;

γ) Σκεφτείτε: αν το ρεύμα αλλάζε συνεχώς φορά θα άλλαζε η δύναμη; Μπορώ να το εκμεταλλευτώ;



30. Ευθύγραμμος αγωγός μήκους ℓ αντίστασης R συνδέεται, με αγωγούς αμελητέας αντίστασης, με τους πόλους πηγής με ΗΕΔ E και εσωτερική αντίσταση $r = 0$. Ο αγωγός τοποθετείται κάθετα στις δυναμικές γραμμές ομογενούς μαγνητικού πεδίου και δέχεται από το πεδίο δύναμη μέτρου F_L . Κόβουμε τον ευθύγραμμο αγωγό στη μέση και συνδέουμε το ένα κομμάτι με την ίδια πηγή, τοποθετώντας τον πάλι κάθετα στις δυναμικές γραμμές του πεδίου. Τότε το μέτρο της δύναμης που δέχεται από το πεδίο είναι ίσο με:

α. $\frac{F_L}{2}$

β. $\frac{F_L}{4}$

γ. $2F_L$

δ. F_L

β. Ορισμός έντασης ομογενούς μαγνητικού πεδίου με τη βοήθεια του νόμου του Laplace

Ένταση B ενός ομογενούς μαγνητικού πεδίου ονομάζεται το φυσικό διανυσματικό μέγεθος που έχει:

- μέτρο, ίσο με το πηλίκο, του μέτρου F_L της δύναμης Laplace που δέχεται ευθύγραμμος ρευματοφόρος αγωγός, ο οποίος είναι κάθετος στις δυναμικές γραμμές του πεδίου, προς το γινόμενο $I \cdot \ell$, όπου I η ένταση τινου ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό και ℓ το μήκος του τμήματος του αγωγού που βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο.

Δηλαδή,
$$B = \frac{F_L}{I \cdot \ell} \quad (20)$$

- διεύθυνση, κάθετη στο επίπεδο που ορίζεται από τη διεύθυνση της δύναμης Laplace και τον αγωγό και
- φορά που καθορίζεται από τον κανόνα των τριών δαχτύλων του δεξιού χεριού.

Με τη βοήθεια της σχέσης $B = \frac{F_L}{I \cdot \ell}$ μπορούμε να ορίσουμε το 1 Tesla (1T) που είναι η μονάδα έντασης μαγνητικού πεδίου στο S.I., ως εξής:

1 Tesla είναι η ένταση ενός ομογενούς μαγνητικού πεδίου το οποίο ασκεί δύναμη Laplace 1 N σε τμήμα ευθύγραμμου αγωγού μήκους 1 m που διαρρέεται από ρεύμα έντασης 1 A και βρίσκεται μέσα στο πεδίο κάθετα στις δυναμικές γραμμές του. Δηλαδή,

$$1 \text{ T} = 1 \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}}$$

3.3.4. Η ΥΛΗ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Έχει παρατηρηθεί ότι αν στο χώρο όπου υπάρχει μαγνητικό πεδίο, έστω ομογενές, έντασης \vec{B}_0 προσθέσουμε κάποιο υλικό τότε η ένταση του μαγνητικού πεδίου μεταβάλλεται και γίνεται \vec{B} . Το πηλίκο του μέτρου B της έντασης του μαγνητικού πεδίου μετά την προσθήκη του υλικού προς το μέτρο B_0 της έντασης, του μαγνητικού πεδίου στο κενό ή τον αέρα ονομάζεται (σχετική) μαγνητική διαπερατότητα μ του υλικού.

$$\text{Δηλαδή } \mu = \frac{B}{B_0} \quad (26)$$



Σχήμα 12

- Αν η μαγνητική διαπερατότητα ενός υλικού είναι πολύ μεγαλύτερη της μονάδας ($\mu \gg 1$) τότε προκύπτει ότι

$$\frac{B}{B_0} \gg 1 \Rightarrow B \gg B_0.$$

Τα υλικά μ' αυτήν την ιδιότητα ονομάζονται **σιδηρομαγνητικά** και η προσθήκη τους σε κάποιο μαγνητικό πεδίο, αυξάνει πάρα πολύ την ένταση του πεδίου. Τέτοια υλικά είναι κυρίως ο σίδηρος (Fe), το κοβάλτιο (Co), το νικέλιο (Ni) και ορισμένα κράματα αυτών. Πρέπει να τονίσουμε ότι η τιμή της μαγνητικής διαπερατότητας των σιδηρομαγνητικών υλικών εξαρτάται από την τιμή B_0 της έντασης του μαγνητικού πεδίου που προκάλεσε τη μαγνήτισή τους. Επίσης, τα σιδηρομαγνητικά υλικά χάνουν τις μαγνητικές τους ιδιότητες αν η θερμοκρασία τους ξεπεράσει κάποια τιμή, όπως έχουμε αναφέρει (κεφ. 3.3.1), που ονομάζεται **θερμοκρασία Curie**.

Αν η μαγνητική διαπερατότητα ενός υλικού είναι λίγο μεγαλύτερη της μονάδας ($\mu > 1$) τότε προκύπτει ότι

$$\frac{B}{B_0} > 1 \Rightarrow B > B_0.$$

Τα υλικά μ' αυτήν την ιδιότητα ονομάζονται **παραμαγνητικά** και η προσθήκη τους σε κάποιο μαγνητικό πεδίο αυξάνει λίγο την ένταση του πεδίου. Τέτοια υλικά είναι κυρίως το αργίλιο (Al), το χρώμιο (Cr), ο λευκόχρυσος (Pt) καθώς επίσης και το υγρό ή στερεό οξυγόνο (O_2).

Αν η μαγνητική διαπερατότητα ενός υλικού είναι μικρότερη της μονάδας ($\mu < 1$) τότε προκύπτει ότι

$$\frac{B}{B_0} < 1 \Rightarrow B < B_0.$$

Τα υλικά μ' αυτή την ιδιότητα ονομάζονται **διαμαγνητικά** και η προσθήκη τους σε κάποιο μαγνητικό πεδίο μειώνει την ένταση του πεδίου. Τέτοια υλικά είναι κυρίως το βισμούθιο (Bi), ο άνθρακας (C), ο χαλκός (Cu) και το νερό (H_2O).

3.5. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

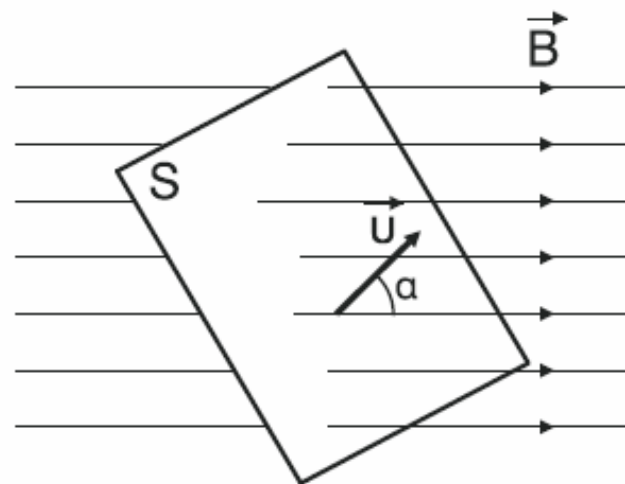
Η άσκηση ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων Laplace σε ρευματοφόρους αγωγούς από μαγνητικά πεδία βρίσκει πολλές εφαρμογές στη λειτουργία συσκευών, οργάνων και διατάξεων όπως:

- στους ηλεκτρικούς κινητήρες (αυτοκινήτων, ηλεκτρικών συσκευών κ.λπ.)
- στα βολτόμετρα και τα αμπερόμετρα
- στα όργανα που περιέχουν στρεφόμενο μεταλλικό πλαίσιο.

3.3.6. ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΑΓΩΓΗ

α. Μαγνητική ροή

Ας υποθέσουμε ότι μια επίπεδη επιφάνεια εμβαδού S βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο έντασης \vec{B} , και ένα διάνυσμα \vec{u} είναι κάθετο στην επιφάνεια σχηματίζοντας με την ένταση του πεδίου γωνία, έστω, α . Τότε:



Μαγνητική ροή μέσα από
επίπεδη επιφάνεια
Σχήμα 12

Μαγνητική ροή Φ που διέρχεται μέσα από μια επίπεδη επιφάνεια ονομάζεται το μονόμετρο φυσικό μέγεθος που ισούται με το γινόμενο, του μέτρου B της έντασης του μαγνητικού πεδίου, στο οποίο βρίσκεται η επιφάνεια επί το εμβαδό S της επιφάνειας επί το συνημίτονο της γωνίας α που σχηματίζει το κάθετο διάνυσμα \vec{u} στην επιφάνεια, με την ένταση του μαγνητικού πεδίου. Δηλαδή:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \sigma\upsilon\nu\alpha \quad (27)$$

Για την τιμή της μαγνητικής ροής διακρίνουμε τις παρακάτω περιπτώσεις για διάφορες τιμές της γωνίας α .

- αν $\alpha = 0^\circ$, δηλαδή η επιφάνεια είναι κάθετη στις δυναμικές γραμμές, τότε $\Phi = B \cdot S \cdot \sigma\upsilon\nu 0 \Rightarrow \Phi = B \cdot S \cdot 1 \Rightarrow \Phi = BS = \max$ (μέγιστη).
- αν $\alpha = 90^\circ$ ή $\alpha = 270^\circ$, δηλαδή η επιφάνεια είναι παράλληλη στις δυναμικές γραμμές, τότε $(\Phi = B \cdot S \cdot \sigma\upsilon\nu 90$ ή $\Phi = B \cdot S \cdot \sigma\upsilon\nu 270) \Rightarrow \Phi = B \cdot S \cdot 0 \Rightarrow \Phi = 0$
- αν $\alpha = 180^\circ$ δηλαδή η επιφάνεια είναι κάθετη στις δυναμικές γραμμές, τότε $\Phi = B \cdot S \cdot \sigma\upsilon\nu 180 \Rightarrow \Phi = B \cdot S \cdot (-1) \Rightarrow \Phi = -BS = \min$ (ελάχιστη)

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

1. Η γωνία που σχηματίζει το διάνυσμα \vec{u} , που είναι κάθετο στην επιφάνεια, με την ένταση \vec{B} του πεδίου μετρείται με αρχή το διάνυσμα \vec{B} και θετική φορά διαγραφής την αντίθετη από τη φορά περιστροφής των δεικτών του ρολογιού.
2. Αν $0 < \alpha < 90^\circ$ τότε $\cos \alpha > 0$ και $\Phi = B \cdot S \cos \alpha > 0$
Αν $90^\circ < \alpha < 270^\circ$ τότε $\cos \alpha < 0$ και $\Phi = B \cdot S \cos \alpha < 0$
Αν $270^\circ < \alpha < 360^\circ$ τότε $\cos \alpha > 0$ και $\Phi = B \cdot S \cos \alpha > 0$
3. Η τιμή της μαγνητικής ροής κυμαίνεται από $-BS$ έως BS ($-B \cdot S \leq \Phi \leq B \cdot S$), όμως χωρίς να λάβουμε υπόψη μας το πρόσημο (δηλαδή κατ' απόλυτη τιμή) ισχύει $0 \leq |\Phi| \leq B \cdot S$
4. Η μαγνητική ροή εκφράζει το πλήθος των δυναμικών γραμμών που διέρχονται μέσα από μια επιφάνεια.

Από τη σχέση $F = BS$ (αν $\alpha = 0^\circ$) μπορούμε να ορίσουμε τη μονάδα μέτρησης της μαγνητικής ροής στο S.I., που είναι το 1 Weber (1 Wb) ως εξής:

1 Wb είναι η μαγνητική ροή που διέρχεται μέσα από μία επίπεδη επιφάνεια εμβαδού 1 m^2 η οποία βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο έντασης 1 T κάθετα στις δυναμικές γραμμές του πεδίου. Δηλαδή

$$1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot \text{m}^2 \quad (28)$$

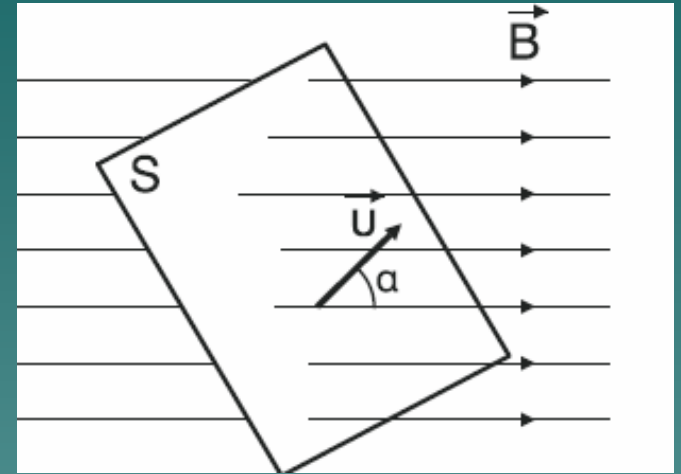
Άσκηση

Ένα ορθογώνιο πλαίσιο $N = 1000$ σπειρών και εμβαδού $S = 100\text{cm}^2$ βρίσκεται στο εσωτερικό μαγνητικού πεδίου $B = 2\text{T}$.

α) Βρείτε τη μέγιστη μαγνητική ροή που μπορεί να διέρχεται από το πλαίσιο.

β) Βρείτε τη γωνία α , ώστε η μαγνητική ροή να μειωθεί στο μισό.

γ) Ποια είναι η επί της εκατό μεταβολή της μαγνητικής ροής στο β ερώτημα αν διπλασιάσουμε το μαγνητικό πεδίο και υποτετραπλασιάσουμε τη μια πλευρά του ορθογωνίου;



42. Η μαγνητική ροή που διέρχεται μέσα από μια κλειστή επιφάνεια κύβου, με εμβαδόν έδρας S , η οποία βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο έντασης B έτσι ώστε δύο απέναντι έδρες να είναι κάθετες στις δυναμικές γραμμές, είναι ίση με:
- α. $2 B \cdot S$ β. $B \cdot S$ γ. $6 B \cdot S$ δ. 0

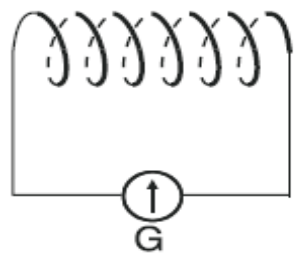
Άσκηση 43, σελ 196

Νόμος της επαγωγής ή νόμος του Faraday

Μετά τα πειράματα του Oersted, από τα οποία προέκυψε το συμπέρασμα ότι το ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργεί μαγνητικό πεδίο, δημιουργήθηκε η ιδέα αν μπορεί να συμβεί και το αντίστροφο φαινόμενο, δηλαδή, αν το μαγνητικό πεδίο μπορεί να δημιουργήσει ηλεκτρικό ρεύμα.

Αυτός που ασχολήθηκε, κυρίως με την επαλήθευση της παραπάνω ιδέας ήταν ο Άγγλος Michael Faraday, ο οποίος πραγματοποίησε μια σειρά πειραμάτων για το σκοπό αυτό, και ονόμασε το φαινόμενο της δημιουργίας ηλεκτρικού ρεύματος από μαγνητικό πεδίο ως ηλεκτρομαγνητική επαγωγή ή απλά επαγωγή. Ειδικότερα:

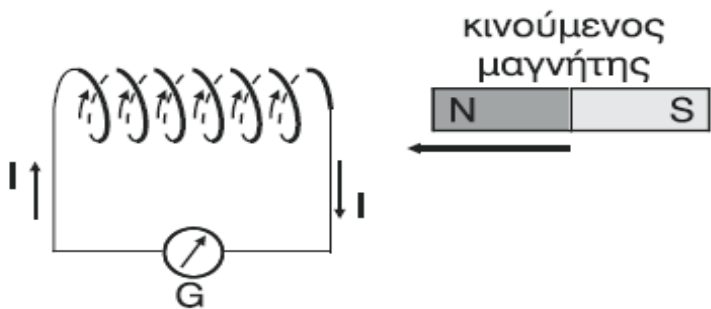
Ηλεκτρομαγνητική επαγωγή ή απλά επαγωγή ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο σ' ένα κύκλωμα αναπτύσσεται ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή κάθε φορά που μεταβάλλεται η μαγνητική ροή που διέρχεται μέσα απ' αυτό και διαρκεί τόσο, όσο διαρκεί και η μεταβολή της μαγνητικής ροής.



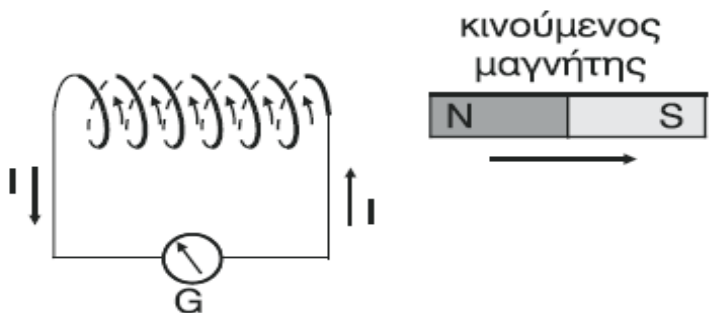
ακίνητος
μαγνήτης



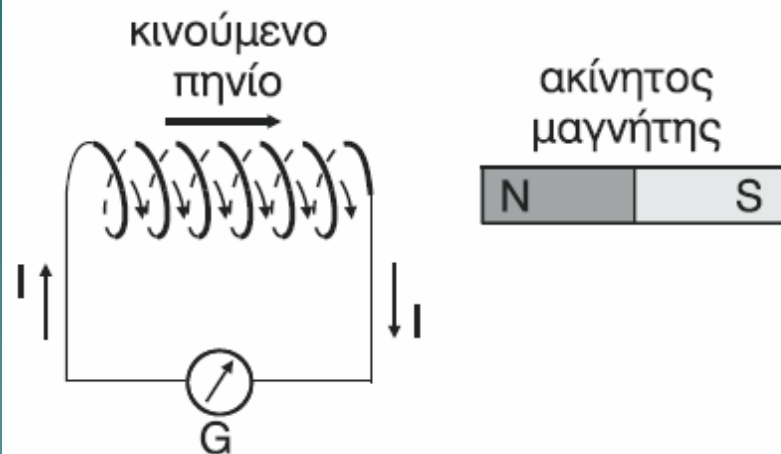
ένδειξη οργάνου μηδενική



ένδειξη οργάνου
διάφορη του μηδενός



ένδειξη οργάνου
διάφορου του μηδενός
και απόκλιση του
δείκτη προς την
αντίθετη κατεύθυνση



ένδειξη οργάνου
διάφορου του μηδενός

Από τα συμπεράσματα των προηγούμενων πειραμάτων καταλήγουμε στις παρακάτω διαπιστώσεις και συμπεράσματα.

1. Επειδή το πηνίο βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο του μαγνήτη θα διέρχονται από τις σπείρες του κάποιες δυναμικές γραμμές και επομένως κάποια **μαγνητική ροή**.
2. Όταν ο μαγνήτης είναι ακίνητος, το μαγνητικό πεδίο στο οποίο βρίσκεται το επίσης ακίνητο πηνίο, είναι χρονικά σταθερό και η μαγνητική ροή που διέρχεται από τις σπείρες του πηνίου είναι και αυτή **χρονικά σταθερή**. Στην περίπτωση αυτή δεν αναπτύσσεται τάση από επαγωγή στο πηνίο. Άρα, όταν από το πηνίο διέρχεται χρονικά σταθερή μαγνητική ροή, δεν εμφανίζεται στο πηνίο επαγωγική τάση.
3. Όταν ο μαγνήτης κινείται ως προς το πηνίο (πλησιάζει ή απομακρύνεται από αυτό), το μαγνητικό πεδίο στο οποίο βρίσκεται το πηνίο μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το χρόνο και η μαγνητική ροή που διέρχεται από τις σπείρες του πηνίου επίσης μεταβάλλεται. Στην περίπτωση αυτή στα άκρα του πηνίου αναπτύσσεται τάση από επαγωγή. Άρα η μεταβολή της μαγνητικής ροής που διέρχεται από το πηνίο δημιουργεί σ' αυτό τάση από επαγωγή.
4. Όταν η μετακίνηση του μαγνήτη είναι πιο γρήγορη η μεταβολή της μαγνητικής ροής που διέρχεται από τις σπείρες του πηνίου είναι επίσης πιο γρήγορη. Στην περίπτωση αυτή η επαγωγική τάση έχει μεγαλύτερη τιμή. Άρα η τιμή της επαγωγικής τάσης είναι ανάλογη με το ρυθμό (ταχύτητα) μεταβολής $\frac{d\Phi}{dt}$ της μαγνητικής ροής που διέρχεται από το πηνίο.

Τα παραπάνω συμπεράσματα περιέχονται γενικευμένα στον νόμο της επαγωγής ή νόμο του Faraday ο οποίος διατυπώνεται ως εξής: **Η ηλεκτρεγερτική δύναμη $E_{\varepsilon\pi}$ από επαγωγή που αναπτύσσεται σε κάποιο κύκλωμα είναι ανάλογη με το ρυθμό μεταβολής $\frac{d\Phi}{dt}$ της μαγνητικής ροής που διέρχεται από το κύκλωμα. Δηλαδή:**

$$E_{\varepsilon\pi} = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (33)$$

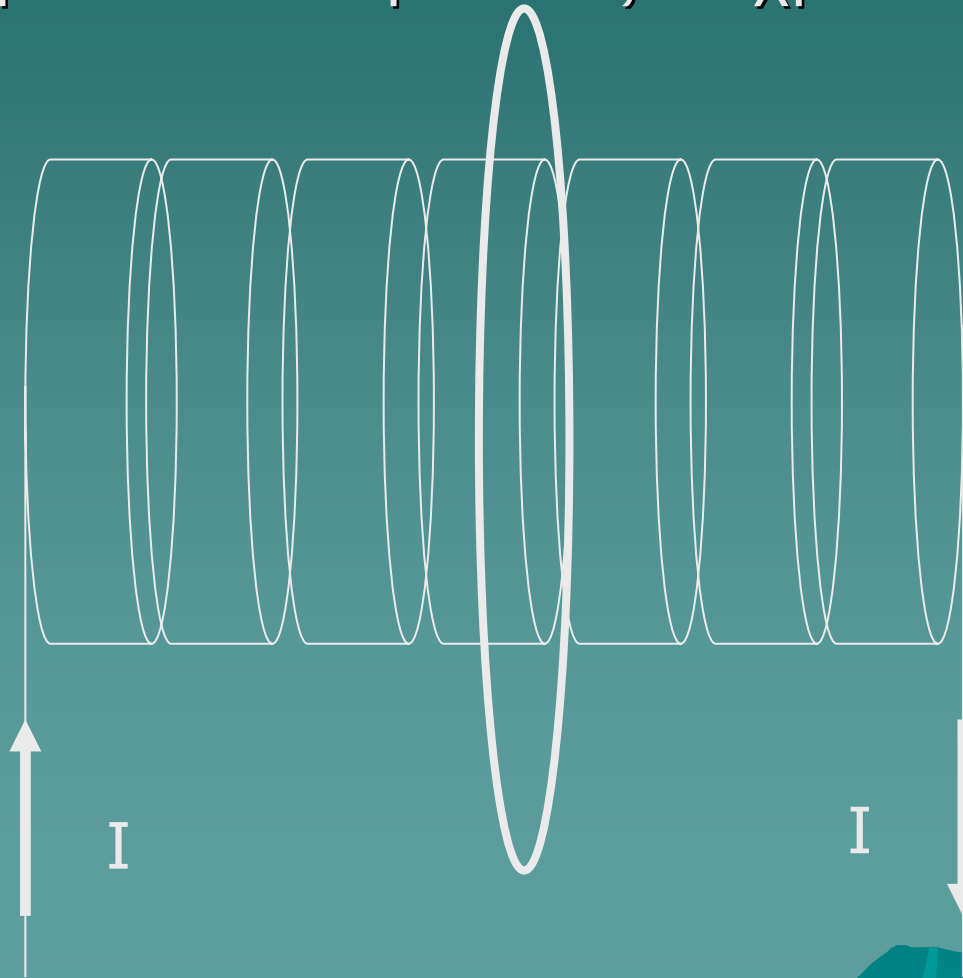
Το πρόσημο (-) στη σχέση (33) εκφράζει τον **κανόνα του Lenz** στον οποίο θα αναφερθούμε πιο κάτω.

1 Wb είναι η μαγνητική ροή η οποία όταν διέρχεται από ένα κύκλωμα και μειώνεται, με σταθερό ρυθμό, μέχρι που μηδενίζεται μέσα σε χρόνο 1 s, στο κύκλωμα αναπτύσσει ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή ίση με 1 V. Δηλαδή:

$$1 \text{ Wb} = 1 \text{ V} \cdot \text{s} \quad (40)$$

Άσκηση

Βρείτε την ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή που αναπτύσσεται στον κυκλικό αγωγό, όταν διπλασιάζεται το ρεύμα στο σωληνοειδές σε χρόνο $\Delta t = 0,01s$



Σωληνοειδές:

$$\kappa\mu = 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

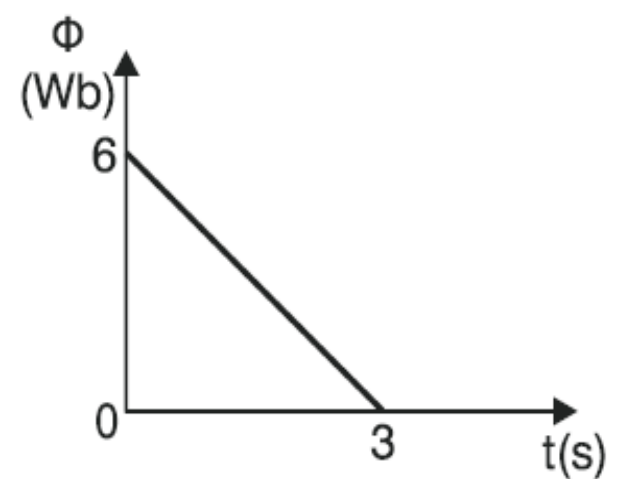
$$\text{Ρεύμα } I = 2\text{A}$$

$$N = 1000 \text{ σπείρες}$$

$$\text{Μήκος } \ell = 200 \text{ cm}$$

$$\text{Εμβαδό: } S = 0,2\text{m}^2$$

44. Στο διπλανό διάγραμμα φαίνεται η γραφική παράσταση της μαγνητικής ροής Φ που διέρχεται μέσα από μια επιφάνεια, σε συνάρτηση με το χρόνο t . Επομένως:



α. ο ρυθμός μεταβολής της μαγνητικής ροής που διέρχεται από την επιφάνεια κάθε στιγμή είναι ίσος με $-2 \frac{\text{Wb}}{\text{s}}$

β. η μαγνητική ροή που διέρχεται από την επιφάνεια τη χρονική στιγμή $t = 2\text{s}$, είναι ίση με 5 Wb

γ. η μαγνητική ροή που διέρχεται από την επιφάνεια τη χρονική στιγμή $t = 1\text{s}$, είναι ίση με $4 \frac{\text{Wb}}{\text{s}}$

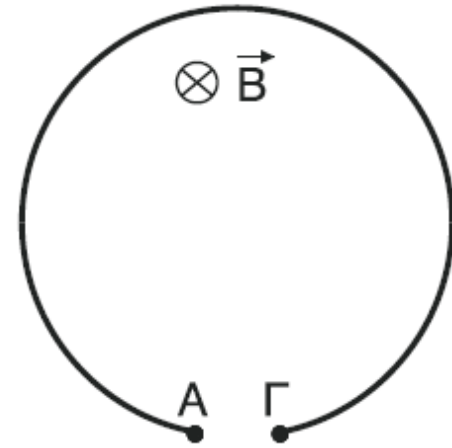
δ. η μαγνητική ροή που διέρχεται από την επιφάνεια αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου.

48. Όταν η μαγνητική ροή που διέρχεται από κάποιο κύκλωμα μεταβάλλεται με σταθερό ρυθμό τότε στο κύκλωμα:

- α. αναπτύσσεται σταθερή ΗΕΔ από επαγωγή
- β. δεν αναπτύσσεται ΗΕΔ από επαγωγή
- γ. αναπτύσσεται ΗΕΔ από επαγωγή μόνο αν το κύκλωμα είναι κλειστό
- δ. αναπτύσσεται ΗΕΔ από επαγωγή της οποίας η τιμή μεταβάλλεται

50. Όταν μεταβάλλεται η μαγνητική ροή που διέρχεται από τον ανοιχτό κυκλικό αγωγό του διπλανού σχήματος, στα άκρα του Α και Γ.

- α. αναπτύσσεται τάση από επαγωγή αλλά ο αγωγός δεν διαρρέεται από ρεύμα
- β. δεν αναπτύσσεται τάση από επαγωγή γιατί ο αγωγός δεν είναι κλειστός.
- γ. αναπτύσσεται τάση από επαγωγή και ο αγωγός διαρρέεται από ρεύμα
- δ. δεν αναπτύσσεται τάση από επαγωγή γιατί κάτι τέτοιο θα παραβίαζε την αρχή διατήρησης της ενέργειας



ε. Κανόνας του Lenz

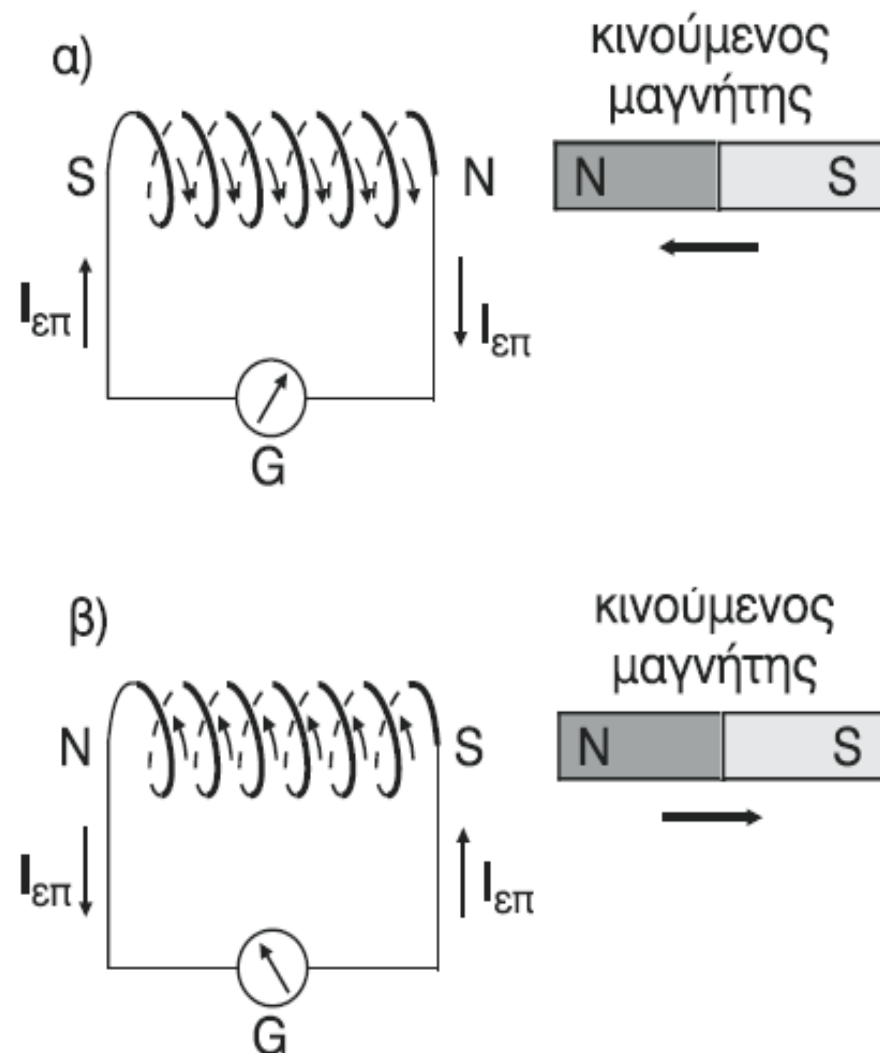
Ο κανόνας του Lenz, όπως θα δούμε στη συνέχεια, αποτελεί άμεση συνέπεια μιας γενικότερης αρχής, **της αρχής διατήρησης της ενέργειας**, και διατυπώνεται ως εξής:

“Το επαγωγικό ρεύμα έχει τέτοια φορά ώστε, το ίδιο ή τ’ αποτελέσματά του, να αντιστέκεται στην αιτία που το δημιουργήσε”.

Ας δούμε πώς εφαρμόζεται ο κανόνας του Lenz σε κάποια από τα πειράματα του Faraday που εξετάσαμε στην προηγούμενη ενότητα.

Καθώς πλησιάζουμε (ή απομακρύνουμε) το μαγνήτη προς το πηνίο μεταβάλλεται η μαγνητική ροή που διέρχεται από τις σπείρες του. Έτσι στα άκρα του πηνίου αναπτύσσεται ΗΕΔ από επαγωγή $E_{επ}$ και αφού το κύκλωμα είναι κλειστό θα έχουμε δημιουργία επαγωγικού ρεύματος $I_{επ}$.

Το επαγωγικό ρεύμα δημιουργεί με τη σειρά του μαγνητικό πεδίο στο πηνίο. Σύμφωνα με τον κανόνα του Lenz, η φορά του επαγωγικού ρεύματος είναι τέτοια ώστε το μαγνητικό πεδίο του πηνίου να αντιστέκεται στην αιτία που το δημιούργησε. Έτσι:



Σχήμα 16

1. όταν ο μαγνήτης πλησιάζει προς το πηνίο, στο άκρο του πηνίου που είναι κοντά στο μαγνήτη, εμφανίζεται βόρειος μαγνητικός πόλος ώστε να αντιστέκεται στο πλησίασμα του μαγνήτη που ήταν η αιτία της δημιουργίας του επαγωγικού ρεύματος και του μαγνητικού πεδίου στο πηνίο. Στη συνέχεια με τον κανόνα του δεξιού χεριού προσδιορίζουμε τη φορά του επαγωγικού ρεύματος (σχήμα 16α.)


2. όταν ο μαγνήτης απομακρύνεται από το πηνίο, στο άκρο του πηνίου που είναι κοντά στο μαγνήτη, εμφανίζεται τώρα νότιος μαγνητικός πόλος ώστε να αντιστέκεται στην απομάκρυνση του μαγνήτη η οποία δημιούργησε το επαγωγικό ρεύμα και το μαγνητικό πεδίο στο πηνίο (σχήμα 16β.).



Αν δεν ίσχυε ο κανόνας του Lenz και η φορά του επαγωγικού ρεύματος ήταν η αντίθετη τότε, κατά το πλησίασμα του μαγνήτη, στο άκρο του πηνίου που είναι κοντά στο μαγνήτη θα εμφανιζόταν νότιος μαγνητικός πόλος. Έτσι ο μαγνήτης θα ελκόταν από το πηνίο, η ταχύτητά του και άρα και η κινητική του ενέργεια θα αυξανόταν, χωρίς να χρειάζεται να δαπανήσουμε ενέργεια για τη μετακίνησή του. Δηλαδή, θα είχαμε παραγωγή ενέργειας από το μηδέν, κάτι που θα παραβίαζε την αρχή διατήρησης της ενέργειας.



49. Ο κανόνας του Lenz αναφέρεται:

- α. στο μέτρο της επαγωγικής τάσης
 - β. στη φορά του επαγωγικού ρεύματος και είναι συνέπεια του πρώτου κανόνα του Kirchhoff.
 - γ. στη φορά του επαγωγικού ρεύματος και είναι συνέπεια της αρχής διατήρησης της ενέργειας
 - δ. στο μέτρο της έντασης του επαγωγικού ρεύματος και είναι συνέπεια της αρχής διατήρησης του φορτίου.
- 

στ. Υπολογισμός του επαγωγικού ρεύματος - Υπολογισμός του επαγωγικού φορτίου (Νόμος του Neuman)

Ας υποθέσουμε ότι σ' ένα κύκλωμα που εμφανίζει ωμική αντίσταση R αναπτύσσεται, λόγω επαγωγής ΗΕΔ $E_{\text{επ}}$ με $E_{\text{επ}} = \frac{|d\Phi|}{dt}$. Τότε η ένταση $I_{\text{επ}}$ του επαγωγικού ρεύματος από το νόμο του Ohm θα είναι:

$$I_{\text{επ}} = \frac{E_{\text{επ}}}{R} \Rightarrow I_{\text{επ}} = \frac{|d\Phi|}{R dt} \Rightarrow \boxed{I_{\text{επ}} = \frac{1}{R} \frac{|d\Phi|}{dt}} \quad (41)$$

Η σχέση (41) μας δίνει **τη στιγμιαία ένταση του επαγωγικού ρεύματος**. Αν η επαγωγική τάση αναφέρεται σε μία χρονική διάρκεια θα είναι:

$$E_{\text{επ}} = \frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t} \text{ και } \frac{E_{\text{επ}}}{R} \Rightarrow I_{\text{επ}} = \frac{|\Delta\Phi|}{R \Delta t} \Rightarrow \boxed{I_{\text{επ}} = \frac{1}{R} \frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t}} \quad (42)$$

Η σχέση (42) μας δίνει **τη μέση τιμή του επαγωγικού ρεύματος**.


Έστω Q το φορτίο από επαγωγή που διέρχεται από μια διατομή ενός αγωγού του κυκλώματος εξαιτίας του επαγωγικού ρεύματος $I_{\text{επ}}$ που τον διαρρέει, μέσα σε χρόνο Δt στην οποία η μαγνητική ροή μεταβάλλεται κατά $\Delta\Phi$. Θα ισχύει:

$$I_{\text{επ}} = \frac{Q}{\Delta t} \stackrel{(42)}{\Rightarrow} \frac{1}{R} \frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t} = \frac{Q}{\Delta t} \Rightarrow \boxed{Q = \frac{|\Delta\Phi|}{R}} \quad (43)$$

Με τη βοήθεια της σχέσης (43) προκύπτει ο νόμος του Neuman ο οποίος διατυπώνεται ως εξής:

Το ηλεκτρικό φορτίο που μετακινείται σ' ένα κύκλωμα, όταν μεταβάλλεται η μαγνητική ροή που διέρχεται από αυτό, δεν εξαρτάται από τη χρονική διάρκεια στην οποία συμβαίνει η μεταβολή της μαγνητικής ροής.

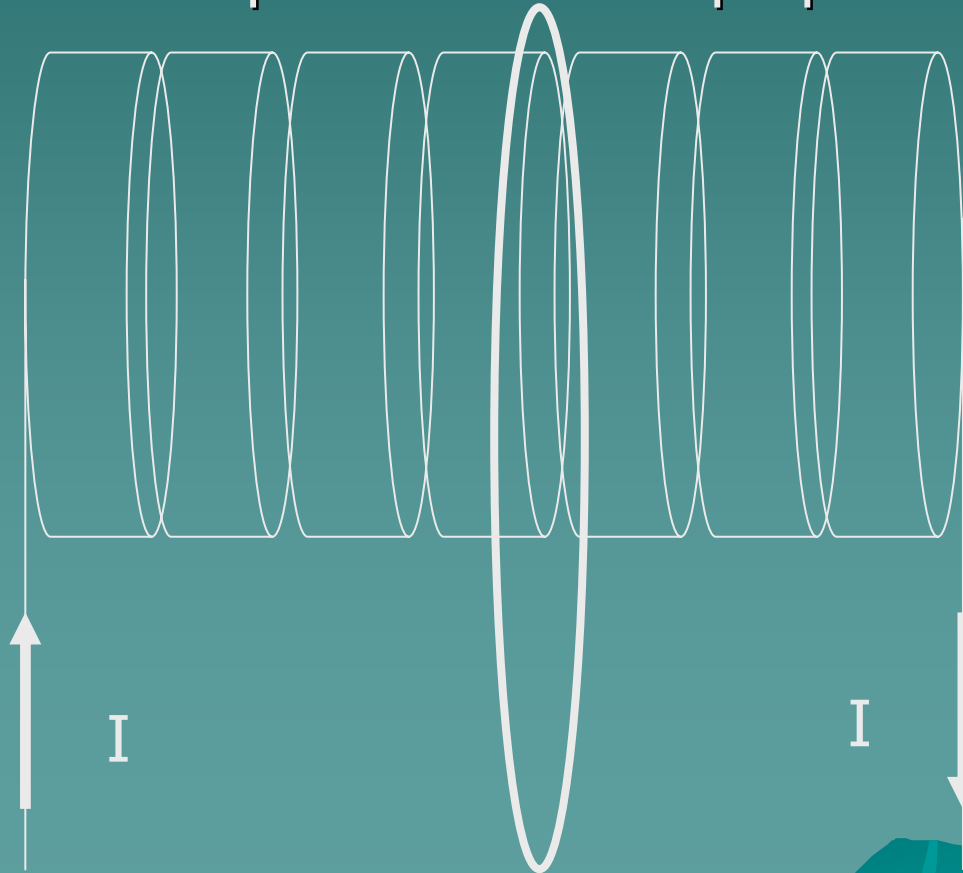
56. Ο νόμος του Newmann:

- α. αναφέρεται στη μαγνητική ροή που διέρχεται από τις σπείρες ενός πηνίου.
 - β. αναφέρεται στη φορά του επαγωγικού ρεύματος.
 - γ. αναφέρεται στην τιμή του επαγωγικού ηλεκτρικού φορτίου.
 - δ. αναφέρεται στην τιμή της επαγωγικής τάσης.
- 

Άσκηση

A) Βρείτε την ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή που αναπτύσσεται στον κυκλικό αγωγό, όταν διπλασιάζεται το ρεύμα στο σωληνοειδές σε χρόνο $\Delta t = 0,1s$

B) Αν $R = 10\Omega$, βρείτε το επαγωγικό ρεύμα και το φορτίο που περνά από τον αγωγό στο χρόνο Δt .



Σωληνοειδές:

$$K\mu = 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

$$\text{Ρεύμα } I = 4\text{A}$$

$$N = 1000 \text{ σπείρες}$$

$$\text{Μήκος } \ell = 100 \text{ cm}$$

$$\text{Εμβαδό: } S = 0,2\text{m}^2$$