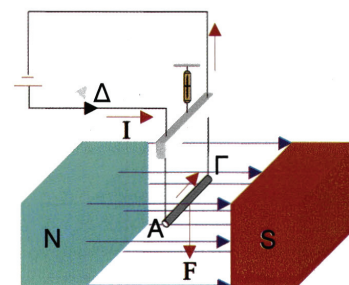


(4.3.) Ηλεκτρομαγνητική δύναμη

α) Δύναμη σε ρευματοφόρο αγωγό από ομογενές μαγνητικό πεδίο

Μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο (Εικ. 25) φέρνουμε έναν αγωγό μήκους ℓ τα άκρα του οποίου συνδέονται μέσω διακόπτη Δ με ηλεκτρική πηγή. Προσανατολίζουμε τον αγωγό κάθετα στις δυναμικές γραμμές και τον κρεμάμε σε ένα δυναμόμετρο ακρίβειας και διαβάζουμε την ένδειξή του που είναι ίση με το βάρος του αγωγού. Βλέπουμε ότι η ένδειξη του δυναμόμετρου είναι ίδια είτε ο αγωγός είναι μέσα είτε έξω από το πεδίο. Στη συνέχεια, κλείνουμε το διακόπτη Δ οπότε ο αγωγός διαρρέεται από ρεύμα έντασης I μέσα στο κύκλωμα. Παρατηρούμε, τότε, ότι το δυναμόμετρο θα δείξει μία νέα μεγαλύτερη ένδειξη. Βγάζοντας τον αγωγό από το πεδίο το δυναμόμετρο δείχνει την αρχική ένδειξη, αν και ο αγωγός διαρρέεται από ρεύμα. Συμπεραίνουμε, επομένως, ότι το μαγνητικό πεδίο ασκεί στο ρευματοφόρο αγωγό μία δύναμη F ομόρροπη του βάρους του, το μέτρο της οποίας υπολογίζουμε εύκολα από τη διαφορά των ενδείξεων του δυναμομέτρου. **Τη δύναμη αυτή ονομάζουμε δύναμη Laplace.**



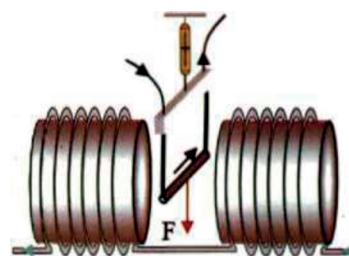
Με τη βοήθεια του δυναμόμετρου υπολογίζουμε τη δύναμη Laplace.

Εικόνα 4-25.

Τα αποτελέσματα του πειράματος θα ήταν πιο εμφανή αν αντί για ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό χρησιμοποιούσαμε ένα σωληνοειδές.

- Αν στη συνέχεια μέσα από τον αγωγό διαβιβάσουμε ρεύμα διπλάσιας έντασης, διαπιστώνουμε με τη βοήθεια του δυναμόμετρου, ότι διπλασιάζεται η δύναμη που ενεργεί στον αγωγό από το μαγνητικό πεδίο.
- Το ίδιο διαπιστώνουμε ότι συμβαίνει, αν διπλασιάσουμε το μήκος ℓ του αγωγού που βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο κρατώντας την ένταση I του ρεύματος σταθερή.
- Συνεχίζοντας να πειραματιζόμαστε με τη διάταξή μας αλλάζουμε τη φορά του ρεύματος. Διαβάζοντας την ένδειξη του δυναμόμετρου παρατηρούμε ότι είναι μικρότερη από το βάρος του αγωγού. Για να συμβεί αυτό πρέπει στο ρευματοφόρο αγωγό να ασκηθεί μία δύναμη από κάτω προς τα πάνω, να έχει δηλαδή αντίθετη φορά προς την αρχική.
- Στη συνέχεια αρχίζουμε να στρίβουμε τον αγωγό, έτσι ώστε να είναι συνεχώς οριζόντιος σχηματίζοντας με τις δυναμικές γραμμές γωνία ϕ , παρατηρούμε ότι η δύναμη Laplace ελαττώνεται και τελικά αυτή μηδενίζεται όταν ο ρευματοφόρος αγωγός γίνει παράλληλος με τις δυναμικές γραμμές.

Κρεμάμε το ρευματοφόρο αγωγό κάθετα στις δυναμικές γραμμές ενός σωληνοειδούς (Εικ. 26). Αν διπλασιάσουμε την ένταση του ρεύματος που διαρρέει το σωληνοειδές, γνωρίζουμε σύμφωνα με τη σχέση $B=k_μ 4\pi nI$ ότι διπλασιάζεται και η ένταση του μαγνητικού πεδίου



Με τη βοήθεια του σωληνοειδούς μετράμε την ένταση του μαγνητικού πεδίου.

Εικόνα 4-26.

στο εσωτερικό του σωληνοειδούς. Με τη βοήθεια του δυναμόμετρου βλέπουμε ότι διπλασιάζεται και η δύναμη που δέχεται αυτός από το μαγνητικό πεδίο. Διαπιστώνουμε επίσης ότι το γινόμενο $BI\ell$ αριθμητικά είναι ίσο με τη δύναμη που δέχεται ο αγωγός από το μαγνητικό πεδίο

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω εξάγεται ο ακόλουθος νόμος του Laplace.

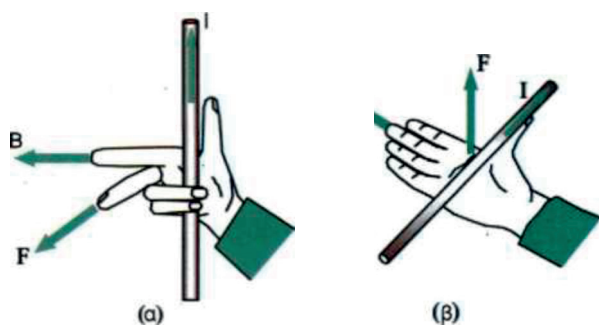
Όταν ένας ευθύγραμμος ρευματοφόρος αγωγός μήκους ℓ βρεθεί μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο, τότε αναπτύσσεται στον αγωγό μία ηλεκτρομαγνητική δύναμη.

Το μέτρο της δύναμης F είναι ανάλογο: με το μήκος ℓ του ρευματοφόρου αγωγού που βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο, με την ένταση I του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό, με την ένταση B του μαγνητικού πεδίου, επίσης, εξαρτάται από τη γωνία ϕ που σχηματίζει ο αγωγός με τη διεύθυνση των δυναμικών γραμμών.

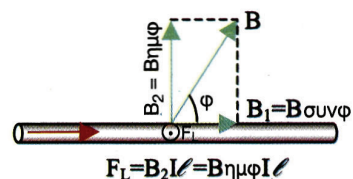
$$F = BI\eta\mu\phi\ell$$

Η δύναμη Laplace έχει διεύθυνση κάθετη στο επίπεδο που ορίζεται από τον αγωγό και τη διεύθυνση των δυναμικών γραμμών, φορά που καθορίζεται με τον κανόνα των τριών δακτύλων του δεξιού χεριού (Εικ. 28α), σημείο εφαρμογής το μέσον του τμήματος του αγωγού που βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο.

Ένας άλλος τρόπος εύρεσης της φοράς της δύναμης Laplace είναι η τεχνική της δεξιάς παλάμης. Η διεύθυνση της δύναμης είναι κάθετη στο επίπεδο της παλάμης (Εικ. 28β)



Εικόνα 4-28. α) Ο κανόνας των τριών δακτύλων του δεξιού χεριού. β) Η τεχνική της δεξιάς παλάμης.



Η δύναμη Laplace όταν η ένταση του μαγνητικού πεδίου, σχηματίζει γωνία με τον αγωγό.

Εικόνα 4-27.

Όταν ο αγωγός είναι κάθετος στις δυναμικές γραμμές τότε $\phi = 90^\circ$, $\eta\mu 90^\circ = 1$ και $F = BI\ell$.

Παράδειγμα 4

Ένας ευθύγραμμος αγωγός μήκους $\ell = 10\text{cm}$ διαρρέεται από ρεύμα έντασης $I=10\text{A}$ και βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο έντασης μέτρου $B=0,2\text{T}$. Να υπολογιστεί η δύναμη που δέχεται ο αγωγός όταν: α) είναι κάθετος στις δυναμικές γραμμές, β) είναι παράλληλος με τις δυναμικές γραμμές, γ) σχηματίζει γωνία 30° με τις δυναμικές γραμμές.

Λύση

α) Όταν ο αγωγός είναι κάθετος στις δυναμικές γραμμές έχουμε:

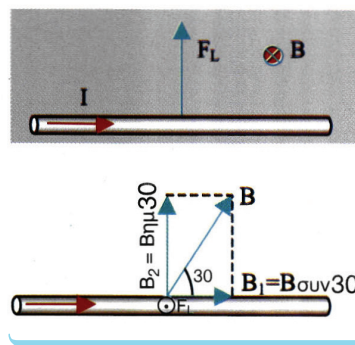
$$F_L = BI \ell \eta\mu 90^\circ \Rightarrow F_L = BI \ell \Rightarrow F_L = 0,2\text{T} \cdot 10\text{A} \cdot 0,1\text{m} \Rightarrow F_L = 0,2\text{N}$$

β) Όταν ο αγωγός είναι παράλληλος με τις δυναμικές γραμμές έχουμε: $F_L = BI \ell \eta\mu 0 \Rightarrow F_L = 0$, δηλαδή ο αγωγός δε δέχεται καμία δύναμη.

γ) Όταν ο αγωγός σχηματίζει γωνία 30° με τις δυναμικές γραμμές έχουμε:

$$F_L = B_2 I \ell \Rightarrow F_L = BI \ell \eta\mu 30^\circ \Rightarrow F_L = 0,2\text{T} \cdot 10\text{A} \cdot 0,1\text{m} \frac{1}{2} \Rightarrow$$

$$F_L = 0,1\text{N}$$



β) Ορισμός έντασης ομογενούς μαγνητικού πεδίου

Για να ορίσουμε την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, σαν υπόθεμα θεωρούμε το ηλεκτρικό φορτίο, για να ορίσουμε την ένταση του βαρυτικού πεδίου, σαν υπόθεμα θεωρούμε τη μάζα. Στο μαγνητισμό όμως, για να ορίσουμε την ένταση, εδώ και χρόνια, έχει εγκαταλειφτεί η έννοια της ποσότητας μαγνητισμού και σαν υπόθεμα θεωρούμε το κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο.

Ο ορισμός του μέτρου της έντασης του μαγνητικού πεδίου προκύπτει από τον τύπο του νόμου του Laplace.

Το μέτρο της έντασης μαγνητικού πεδίου είναι ίσο με το πηλίκο της δύναμης Laplace που ασκείται σε ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό προς το γινόμενο της έντασης I του ρεύματος επί το μήκος ℓ του αγωγού που βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, όταν αυτός τοποθετηθεί κάθετα στις δυναμικές γραμμές, δηλαδή

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

Την κατεύθυνση της έντασης του μαγνητικού πεδίου βρίσκουμε όπως ήδη γνωρίζουμε με τη βοήθεια μίας μαγνητικής βελόνας. Η μο-

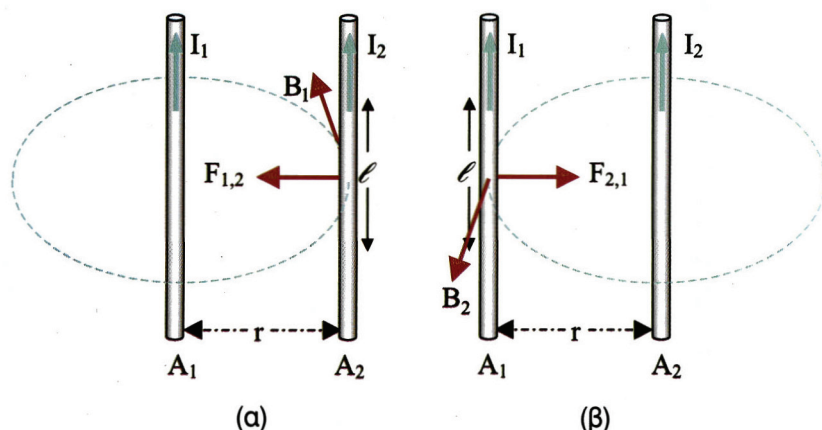
νάδα μέτρησης της έντασης του μαγνητικού πεδίου ονομάζεται Tesla προς τιμή του Κροάτη φυσικού και εφευρέτη Nicola Tesla (1856-1943) και συμβολίζεται με 1T.

Ένα Tesla είναι η ένταση του ομογενούς μαγνητικού πεδίου το οποίο ασκεί δύναμη 1 N σε ευθύγραμμο αγωγό, που έχει μήκος 1 m, όταν διαρρέεται από ρεύμα έντασης 1 A και βρίσκεται μέσα στο πεδίο τέμνοντας κάθετα τις δυναμικές γραμμές του.

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

γ) Δύναμη μεταξύ παράλληλων ρευματοφόρων αγωγών

Θεωρούμε δύο ευθύγραμμους ρευματοφόρους αγωγούς A_1 και A_2 που βρίσκονται σε απόσταση r μεταξύ τους. Ο αγωγός A_2 βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί ο αγωγός A_1 (Εικ. 29α).



Εικόνα 4-29. α) Ο αγωγός A_2 βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο του αγωγού A_1 . β) Ο αγωγός A_1 βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο του αγωγού A_2 .

Ο αγωγός A_2 βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο σταθερής έντασης: $B_{1\mu} = k \frac{2I_1}{r}$ (Εικ. 29α).

Σύμφωνα με το νόμο του Laplace σε μήκος ℓ του αγωγού A_2 θα

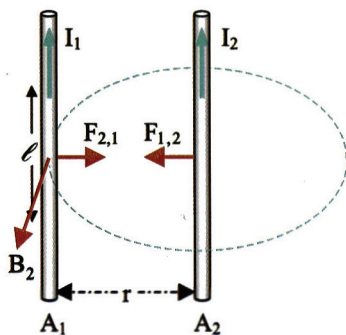
$$\text{ασκηθεί δύναμη: } F_{1,2} = B_2 I_2 \ell \Rightarrow F_{1,2} = k_\mu \frac{2I_1 I_2}{r} \ell. \quad (1)$$

Δηλαδή ο αγωγός A_1 μέσω του μαγνητικού του πεδίου, ασκεί στον αγωγό A_2 δύναμη $F_{1,2}$. Σύμφωνα όμως, με το νόμο δράσης - αντίδρασης και ο αγωγός A_2 , μέσω του πεδίου του, ασκεί στον αγωγό A_1 μία ίσου μέτρου και αντίθετης φοράς δύναμη $F_{2,1}$. Πραγματικά έχουμε (Εικ. 29β):

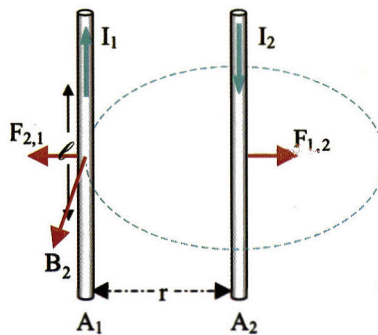
$$\left. \begin{aligned} F_{2,1} &= B_2 I_1 \ell \\ B_2 &= k_\mu \frac{2I_2}{r} \end{aligned} \right\} \Rightarrow F_{2,1} = k_\mu \frac{2I_1 I_2}{r} \ell$$

$$\text{Δηλαδή } \vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}$$

Μπορούμε να πούμε ότι, όταν δύο παράλληλοι ρευματοφόροι αγωγοί διαρρέονται από ρεύματα που έχουν την ίδια φορά, έλκονται, ενώ, όταν διαρρέονται από ρεύματα που έχουν αντίθετη φορά, απωθούνται (Εικ. 30-31).



Εικόνα 4-30. Όταν διαρρέονται από ομόρροπα ρεύματα έλκονται.



Εικόνα 4-31. Όταν διαρρέονται από αντίρροπα ρεύματα απωθούνται.

Ορισμός θεμελιώδους μονάδας Ampere στο διεθνές σύστημα

Με τη βοήθεια της δύναμης μεταξύ παράλληλων ρευματοφόρων αγωγών μπορούμε να ορίσουμε τη μονάδα της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος.

Το μέτρο της δύναμης, είναι: $F = k_\mu \frac{2I_1 I_2}{r} \ell$.

Αν στην τελευταία εξίσωση βάλουμε $k_\mu = 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}$, $I=1\text{A}$,

$\ell = 1\text{m}$, $r = 1\text{m}$ βρίσκουμε $F=2 \cdot 10^{-7}\text{N}$. Τότε για τη μονάδα της έντασης του ρεύματος προκύπτει ο εξής ορισμός:

1A είναι η ένταση του σταθερού ρεύματος που όταν διαρρέει δύο ευθύγραμμους παράλληλους αγωγούς απείρου μήκους, οι οποίοι βρίσκονται στο κενό και σε απόσταση $r=1\text{m}$ ο ένας από τον άλλο, τότε σε τμήμα μήκους $\ell = 1\text{m}$ ο ένας ασκεί στον άλλο δύναμη $F=2 \cdot 10^{-7}\text{N}$.

Παράδειγμα 5

Δύο παράλληλοι ρευματοφόροι αγωγοί διαρρέονται από ομόρροπα ρεύματα $I_1=30\text{A}$ και $I_2=10\text{A}$ και βρίσκονται σε απόσταση $r=10\text{cm}$. Να υπολογιστεί η δύναμη που δέχεται ένας τρίτος αγωγός σε κάθε μέτρο μήκους όταν βρίσκεται στο μέσο της μεταξύ τους απόστασης και διαρρέεται από ρεύμα $I_3=20\text{A}$ αντίρροπο με το ρεύμα των άλλων δύο αγωγών.

Λύση

Βρίσκουμε πρώτα τη φορά της έντασης του μαγνητικού πεδίου των δυο αγωγών σ' ένα σημείο του τρίτου αγωγού. Στη συνέχεια με τον κανόνα των τριών δακτύλων προσδιορίζουμε τη φορά των δυνάμεων Laplace.

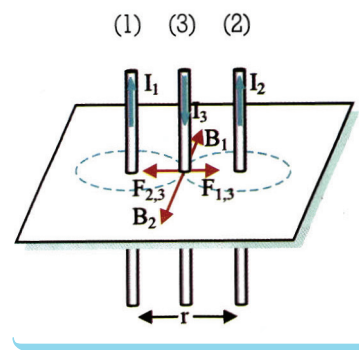
Επειδή οι δυνάμεις έχουν αντίθετη φορά, όπως φαίνεται στο σχήμα, η συνισταμένη τους θα είναι ίση με:

$$F_{\text{ολ}} = F_{1,3} - F_{2,3} \Rightarrow$$

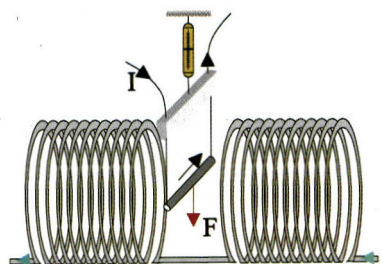
$$F_{\text{ολ}} = k_{\mu} \frac{2I_1 I_3}{r} \ell - k_{\mu} \frac{2I_2 I_3}{r} \ell \Rightarrow F_{\text{ολ}} = 4k_{\mu} \frac{I_3}{r} \ell (I_1 - I_2) \Rightarrow$$

$$F_{\text{ολ}} = 4 \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2} \cdot \frac{20\text{A} \cdot 1\text{m}}{10 \cdot 10^{-2}\text{m}} (30\text{A} - 10\text{A}) \Rightarrow F_{\text{ολ}} = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{N}$$

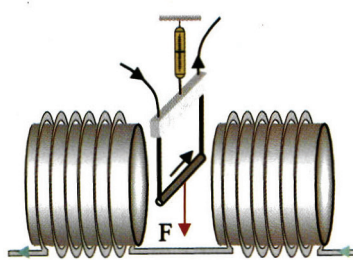
Άρα η συνισταμένη δύναμη έχει μέτρο $1,6 \cdot 10^{-3} \text{N}$ και φορά ίδια με την φορά της δύναμης $\vec{F}_{1,3}$.



(4.4.) Η ύλη μέσα στο μαγνητικό πεδίο



Εικόνα 4-32. Σωληνοειδές χωρίς πυρήνα μαλακού σιδήρου.



Εικόνα 4-33. Σωληνοειδές με πυρήνα μαλακού σιδήρου.

Θεωρούμε ξανά τη διάταξη με τη βοήθεια της οποίας μετράμε την ένταση του μαγνητικού πεδίου (Εικ. 32). Η ένταση του μαγνητικού πεδίου είναι B_0 όταν στο εσωτερικό του πηνίου υπάρχει αέρας και γίνεται B όταν το εσωτερικό γεμίσει με κατάλληλο υλικό όπως μαλακό σίδηρο.

Διαπιστώνουμε ότι $B > B_0$ αν και όλα τα μεγέθη τα έχουμε κρατήσει σταθερά. Η αύξηση αυτή της έντασης του μαγνητικού πεδίου πρέπει να οφείλεται στον πυρήνα μαλακού σιδήρου που βάλαμε στο σωληνοειδές.

Το πηλίκο $\frac{B}{B_0}$ ονομάζουμε **μαγνητική διαπερατότητα μ του υλικού**

$$\mu = \frac{B}{B_0} \quad (6)$$

Η μαγνητική διαπερατότητα δείχνει πόσες φορές **αυξήθηκε** η ένταση του μαγνητικού πεδίου λόγω της παρουσίας του σιδήρου. Η μαγνητική διαπερατότητα είναι **καθαρός** αριθμός.

Η αύξηση της έντασης του πεδίου χωρίς να αυξηθεί το ρεύμα προέρχεται από τον προσανατολισμό των στοιχειωδών μαγνητικών περιοχών του σιδήρου. Ο προσανατολισμός τους προκαλείται από το μαγνητικό πεδίο B_0 του σωληνοειδούς. Πειραματική έρευνα έδειξε ότι όλα τα υλικά, όταν βρεθούν μέσα στο μαγνητικό πεδίο παρουσιάζουν μαγνητικές ιδιότητες.

Η μαγνητική διαπερατότητα του σιδήρου είναι πολύ μεγαλύτερη της μονάδας. Το ίδιο συμβαίνει και για άλλα υλικά, όπως π.χ. για το Νικέλιο (Ni) και το Κοβάλτιο (Co).

ΠΙΝΑΚΑΣ

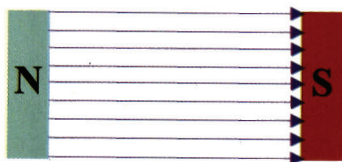
Μαγνητική διαπερατότητα	Υλικά	Χαρακτηρισμός
$\mu \gg 1$	Fe, Ni, Co	Σιδηρομαγνητικά
$\mu > 1$	Al, Cr	Παραμαγνητικά
$\mu < 1$	C, Cu	Διαμαγνητικά

Τα υλικά αυτά χαρακτηρίζονται ως **σιδηρομαγνητικά** και η τοποθέτησή τους σε ένα μαγνητικό πεδίο συνεπάγεται τη πολύ μεγάλη αύξηση της έντασής του.

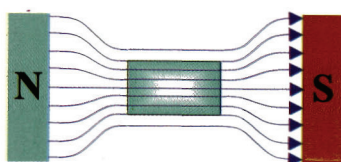
Μερικά υλικά έχουν μαγνητική διαπερατότητα λίγο μεγαλύτερη της μονάδας, όπως π.χ. το Αργίλιο (Al) και το Χρώμιο (Cr). Τα υλικά αυτά χαρακτηρίζονται ως **παραμαγνητικά** και η τοποθέτησή τους σε ένα μαγνητικό πεδίο συνεπάγεται τη σχετικά μικρή αύξηση της έντασής του.

Υπάρχουν τέλος και υλικά που έχουν μαγνητική διαπερατότητα μικρότερη της μονάδας, όπως π.χ. ο Άνθρακας (C) και ο Χαλκός (Cu). Τα υλικά αυτά χαρακτηρίζονται ως **διαμαγνητικά** και η τοποθέτησή τους σε ένα μαγνητικό πεδίο συνεπάγεται την ελάττωση της έντασής του.

Παραμόρφωση μαγνητικού πεδίου λόγω της παρουσίας σιδήρου



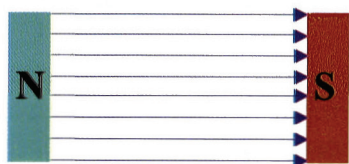
Εικόνα 4-34. Ομογενές μαγνητικό πεδίο.



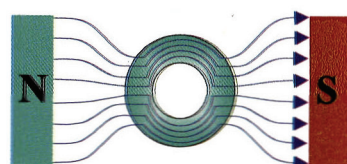
Εικόνα 4-35. Οι δυναμικές γραμμές εκτρέπονται.

Θεωρούμε το φάσμα ομογενούς μαγνητικού πεδίου (Εικ. 34).

Μετά την εισαγωγή του σιδήρου το φάσμα αλλοιώνεται (Εικ. 35). Οι δυναμικές γραμμές παραμορφώνονται, και φαίνεται να θέλουν να περάσουν όσο το δυνατό περισσότερες μέσα από το σίδηρο.



Εικόνα 4-36. Ομογενές μαγνητικό πεδίο.



Εικόνα 4-37. Το μαγνητικό πεδίο μετά την εισαγωγή του κυκλικού σιδηρένιου πυρήνα.

Παραμόρφωση των δυναμικών γραμμών του πεδίου συμβαίνει επίσης και στην περίπτωση που στο εσωτερικό του τοποθετήσουμε σιδηρένιο κυκλικό δακτύλιο. Παρατηρούμε ότι πολλές δυναμικές γραμμές παραμορφώνονται και περνούν από τη μάζα του σιδήρου, ενώ από το κούλωμα δεν περνά καμία δυναμική γραμμή και άρα σ' αυτόν το χώρο δεν υπάρχει μαγνητικό πεδίο (Εικ. 37).

Την ιδιότητα αυτή εκμεταλλευόμαστε, ώστε να προστατεύσουμε τα ρολόγια από ισχυρούς μαγνήτες (αντιμαγνητικά ρολόγια).

Ηλεκτρομαγνήτης

Αν μέσα σε σωληνοειδές βάλουμε κάποιο σιδηρομαγνητικό υλικό τότε η ένταση του μαγνητικού πεδίου του σωληνοειδούς θα δίνεται από τη σχέση

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

Αν για παράδειγμα χρησιμοποιήσουμε μαλακό σίδηρο που έχει $\mu=15.000$ τότε το μαγνητικό πεδίο θα μεγαλώσει κατά 15.000 φορές.

Η μαγνήτιση του σιδήρου είναι παροδική και παύει πρακτικά να υφίσταται μετά τη διακοπή του ρεύματος στο σωληνοειδές.

Το σύστημα που αποτελούν το σωληνοειδές και η ράβδος μαλακού σιδήρου μέσα σ' αυτό, ονομάζουμε ηλεκτρομαγνήτη.

Αν αντί για μαλακό σίδηρο βάλουμε χάλυβα, διαπιστώνουμε ότι, ακόμα και αν διακόψουμε το ρεύμα, ο χάλυβας διατηρεί τις μαγνητικές του ιδιότητες, γίνεται δηλαδή ένας **μόνιμος μαγνήτης**.

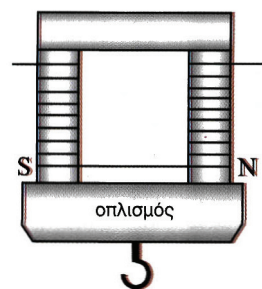
Ηλεκτρομαγνητικός γερανός

Το πολύ ισχυρό μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται με τη βοήθεια ενός ηλεκτρομαγνήτη μαλακού σιδήρου μπορούμε να εκμεταλλευτούμε για να σηκώνουμε πολύ βαριά αντικείμενα. Ένας γερανός εφοδιασμένος με ένα τέτοιο ηλεκτρομαγνήτη ονομάζεται **ηλεκτρομαγνητικός γερανός**.

Ο πεταλοειδής ηλεκτρομαγνήτης έλκει με μεγάλη δύναμη τον σπλισμό του που είναι φτιαγμένος από μαλακό σίδηρο (Εικ. 38).

Για να αποσπαστεί αυτός από τον ηλεκτρομαγνήτη, πρέπει να ασκηθεί πάνω του μία δύναμη F την οποία ονομάζουμε **φέρουσα** δύναμη. Είναι φανερό ότι ο ηλεκτρομαγνήτης μπορεί να σηκώσει σώματα που το βάρος τους είναι μικρότερο της φέρουσας δύναμης.

Αν θέλουμε να σηκώσουμε σιδερένια αντικείμενα μπορούμε να μη χρησιμοποιήσουμε καθόλου τον σπλισμό αλλά να αποτελέσουν σπλισμό τα ίδια τα σιδερένια αντικείμενα, π.χ. φορτοεκφόρτωση πλοίου.



Αρχή λειτουργίας ηλεκτρομαγνητικού γερανού.
Εικόνα 4-38.