

## (4.2) Μαγνητικό πεδίο ρευματοφόρων αγωγών

### α) Μαγνητικό πεδίο γύρω από ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό

Με τα πειράματα του Oersted αποδείχτηκε ότι γύρω από ρευματοφόρους αγωγούς δημιουργείται μαγνητικό πεδίο. Ας εξετάσουμε το μαγνητικό πεδίο ενός ευθύγραμμου ρευματοφόρου αγωγού. Για το σκοπό αυτό περνάμε έναν κατακόρυφο αγωγό από μια τρύπα ενός οριζώντιου χαρτονιού πάνω στο οποίο σκορπίζουμε ρινίσματα σιδήρου. Για να γίνει το πείραμα καλύτερα, διαβιβάζουμε από τον αγωγό ρεύμα μεγάλης έντασης. Κτυπώντας ελαφρά το χαρτόνι, τα ρινίσματα σιδήρου διατάσσονται σε ομόκεντρους κύκλους με κέντρο τον αγωγό. Οι δυναμικές γραμμές λοιπόν του μαγνητικού πεδίου είναι **ομόκεντροι κύκλοι, έχουν ως κέντρο τον αγωγό και το επίπεδό τους είναι κάθετο σε αυτόν** (Εικ. 18).

Με τη βοήθεια μιας μικρής μαγνητικής βελόνας προσδιορίζουμε τη φορά των δυναμικών γραμμών.

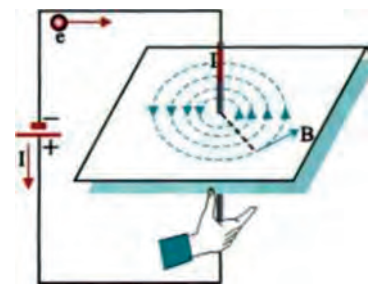
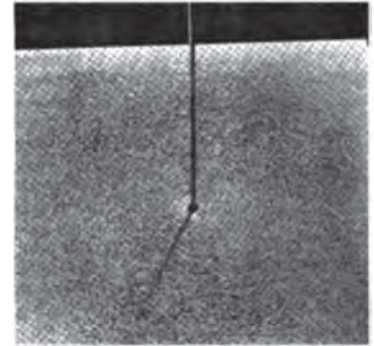
Αν θεωρήσουμε τον ευθύγραμμο αγωγό απείρου μήκους που διαρρέεται από ρεύμα  $I$ , τότε σε απόσταση  $r$  από αυτόν η ένταση  $B$  του πεδίου αποδεικνύεται ότι είναι:

$$B = k_{\mu} \frac{2I}{r} \quad \text{όπου} \quad k_{\mu} = 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2} \quad (1)$$

Ο αγωγός θεωρείται απείρου μήκους, όταν η απόσταση  $r$  είναι πολύ μικρή σε σχέση με το μήκος του.

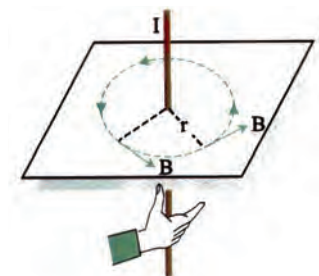
Για να βρίσκουμε τη φορά του διανύσματος της έντασης του μαγνητικού πεδίου, χρησιμοποιούμε **τον κανόνα του δεξιού χεριού**.

Τοποθετούμε τη δεξιά παλάμη παράλληλα με τον αγωγό, έτσι ώστε ο αντίχειρας να δείχνει τη φορά του ρεύματος, οπότε τα υπόλοιπα δάκτυλα, καθώς κλείνουν γύρω από τον αγωγό, δείχνουν τη φορά των δυναμικών γραμμών (Εικ. 19). Η ένταση του πεδίου σε κάθε σημείο έχει φορά τη φορά των δυναμικών γραμμών και εφάπτεται σ' αυτές.



Το μαγνητικό φάσμα ευθύγραμμου ρευματοφόρου αγωγού.

Εικόνα 4.2-18.



Ο τρόπος εύρεσης της φοράς της έντασης του μαγνητικού πεδίου.

Εικόνα 4.2-19.

### β) Μαγνητικό πεδίο κυκλικού ρευματοφόρου αγωγού

Ανοίγουμε δύο τρύπες σε ένα χαρτόνι και περνάμε έναν αγωγό. Στη συνέχεια, κάμπτουμε τον αγωγό ώστε να αποκτήσει κυκλικό σχήμα και να τέμνει το οριζόντιο χαρτόνι κάθετα.

Πάνω στο χαρτόνι σκορπίζουμε ρινίσματα σιδήρου και διαβιβάζουμε ρεύμα στον αγωγό. Κτυπάμε ελαφρά το χαρτόνι και βλέπουμε ότι τα ρινίσματα διατάσσονται σε ομόκεντρους κύκλους με κέντρο το σημείο τομής του χαρτονιού από τον αγωγό (Εικ. 20).

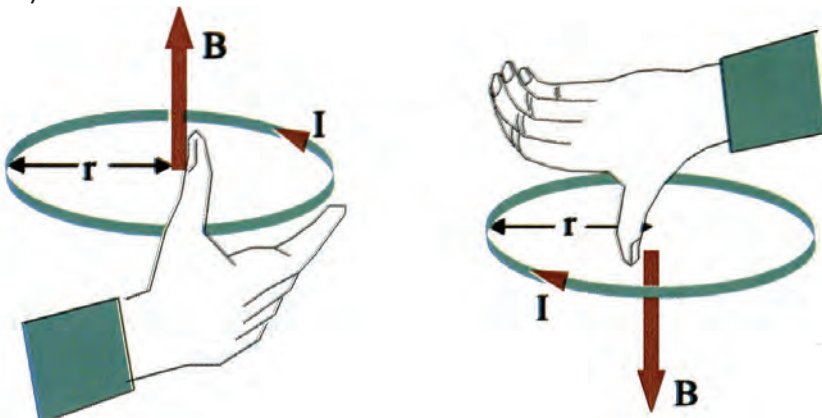
Με τη βοήθεια της μαγνητικής βελόνας, βρίσκουμε τη φορά των δυναμικών γραμμών.

Με αυτό τον τρόπο αποδείξαμε ότι ένας κυκλικός ρευματοφόρος αγωγός δημιουργεί γύρω του μαγνητικό πεδίο η μορφή του οποίου πιστοποιείται με τη βοήθεια των ρινισμάτων σιδήρου.

Στο κέντρο του κυκλικού ρευματοφόρου αγωγού ακτίνας  $r$ , το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου αποδεικνύεται ότι είναι:

$$B = k_{\mu} \frac{2\pi I}{r} \quad \text{όπου} \quad k_{\mu} = 10^{-7} \frac{N}{A^2} \quad (2)$$

Η διεύθυνση της έντασης του πεδίου είναι κάθετη στο επίπεδο του κύκλου και η φορά της βρίσκεται με τον παρακάτω πρακτικό κανόνα. Τοποθετούμε τη δεξιά παλάμη ώστε τα δάκτυλα, καθώς κλείνουν, να δείχνουν τη φορά του ρεύματος. Τότε, ο αντίχειρας δείχνει την κατεύθυνση της έντασης του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο του αγωγού (Εικ. 22).



Εικόνα 4.2-22. Ο προσδιορισμός της φοράς της έντασης του μαγνητικού πεδίου.

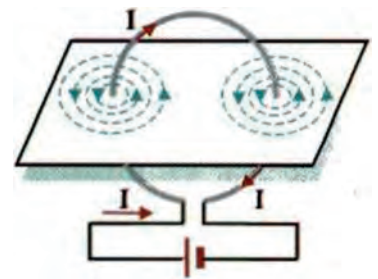
Αν ο κυκλικός αγωγός αποτελείται από  $N$  σύρματα, η ένταση του μαγνητικού πεδίου αυξάνεται  $N$  φορές, δηλαδή γίνεται:

$$B = k_{\mu} \frac{2\pi I}{r} N \quad (3)$$

### γ) Μαγνητικό πεδίο σωληνοειδούς

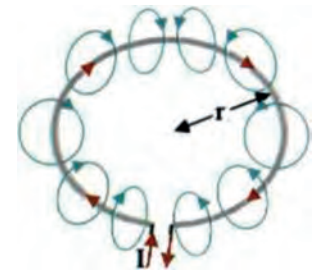
Το μαγνητικό πεδίο γύρω από ένα μακρύ ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό είναι ασθενές, εκτός και αν ο αγωγός διαρρέεται από ρεύμα μεγάλης έντασης.

Ένας ευθύγραμμος αγωγός μεγάλου μήκους που διαρρέεται από ρεύμα έντασης 50A δημιουργεί σε απόσταση ενός μέτρου από αυτόν μαγνητικό πεδίο έντασης μέτρου  $10^{-5}$  Tesla που είναι αρκετά ασθενές. Αν, όμως, τον ίδιο αγωγό τον τυλίξουμε, έτσι ώστε να δη-



Το μαγνητικό φάσμα κυκλικού ρευματοφόρου αγωγού.

Εικόνα 4.2-20.

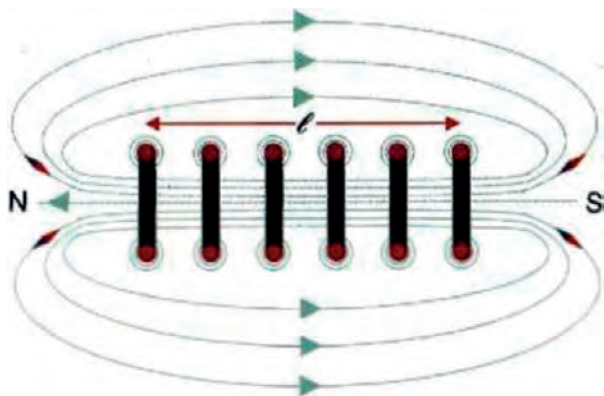


Οι μαγνητικές δυναμικές γραμμές γύρω από έναν κυκλικό ρευματοφόρο αγωγό.

Εικόνα 4.2-21.

μιουργήσουμε πολλούς μικρούς κυκλικούς αγωγούς, τα πράγματα αλλάζουν. Τότε, το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί το ίδιο το σύρμα είναι πολύ ισχυρό. Αυτός είναι και ο βασικός λόγος της προτίμησης που δείχνουμε για κυκλικούς ρευματοφόρους αγωγούς. Ένα σύνολο τέτοιων κυκλικών αγωγών αποτελεί ένα πηνίο. Κάθε ένας κυκλικός αγωγός λέμε ότι αποτελεί μια σπείρα. Αν τυλίξουμε πολλές σπείρες σε ένα μονωτικό κύλινδρο οι οποίες να ισαπέχουν έχουμε φτιάξει ένα σωληνοειδές. Η ευθεία που ορίζεται από τα κέντρα των σπειρών λέγεται άξονας του σωληνοειδούς.

Ας εξετάσουμε το μαγνητικό πεδίο ενός σωληνοειδούς. Χρησιμοποιούμε μια συσκευή φάσματος σωληνοειδούς. Σκορπίζουμε στην πλαστική διαφανή πλάκα ρινίσματα σιδήρου και διαβιβάζουμε ρεύμα στο σωληνοειδές. Κτυπώντας ελαφρά τη διαφανή πλάκα, βλέπουμε τη μορφή του φάσματος του μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται (Εικ. 23).



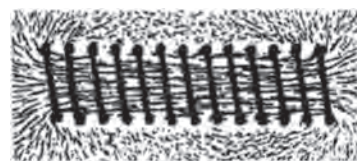
Εικόνα 4.2-23. Μαγνητικό πεδίο σωληνοειδούς.

Με τη βοήθεια της μαγνητικής βελόνας, βρίσκουμε ότι το ένα άκρο του σωληνοειδούς συμπεριφέρεται σαν βόρειος πόλος και το άλλο σαν νότιος.

Το σημείο εξόδου των δυναμικών γραμμών το χαρακτηρίσαμε **βόρειο πόλο** ενώ το σημείο εισόδου **νότιο πόλο**. Ενώ στον ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό δεν βρίσκουμε πόλους, αντίθετα το σωληνοειδές συμπεριφέρεται όπως ένας ευθύγραμμος μαγνήτης.

Μπορούμε να επιβεβαιώσουμε την παραπάνω παρατήρηση με ένα απλό πείραμα. Κρεμάμε με δύο λεπτά αγωγίμα νήματα ένα αρκετά μεγάλο και σχετικά ελαφρύ σωληνοειδές και διοχετεύουμε μέσα από τα νήματα ρεύμα περίπου 2A. Παρατηρούμε ότι μετά από μερικές αιωρήσεις το σωληνοειδές θα προσανατολισθεί με τον άξονά του περίπου στη διεύθυνση Βορράς, Νότος. Όπως ακριβώς θα έκανε ένας ευθύγραμμος μαγνήτης.

Στο εσωτερικό του σωληνοειδούς οι δυναμικές γραμμές είναι **παράλληλες** με τον άξονα του σωληνοειδούς και **ισαπέχουν**. Το πεδίο λοιπόν είναι ομογενές. Στον υπόλοιπο χώρο το μαγνητικό πεδίο είναι ανομοιογενές και ασθενέστερο. Λέμε λοιπόν ότι στο εσωτερικό του σωληνοειδούς δημιουργείται ένα ισχυρό ομογενές μαγνητικό πεδίο.



Μαγνητικό φάσμα σωληνοειδούς.

Οι σταυροί στους κύκλους ⊗ σημαίνουν ότι η συμβατική φορά του ρεύματος έχει κατεύθυνση προς το επίπεδο της σελίδας. Τα σημεία στους κύκλους ⊙ σημαίνουν ότι το ρεύμα έχει κατεύθυνση προς τον παρατηρητή.

Αποδεικνύεται ότι σε ένα σημείο A του άξονα του σωληνοειδούς, κοντά στο κέντρο του, το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου είναι:

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

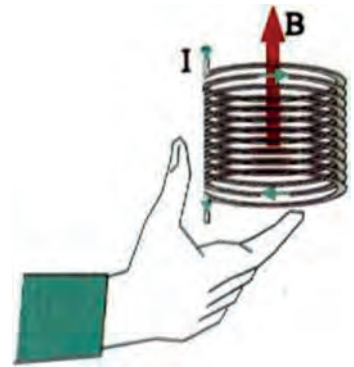
όπου  $n$  ο αριθμός των σπειρών,  $\ell$  το μήκος του σωληνοειδούς και  $I$  η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το σωληνοειδές. Το πηλίκο  $\frac{N}{\ell}$  εκφράζει τον αριθμό σπειρών ανά μονάδα μήκους του σωληνοει-

δούς και συμβολίζεται με  $n \left( n = \frac{N}{\ell} \right)$ .

Αν εφαρμόσουμε τον κανόνα της δεξιάς παλάμης για μια σπείρα, όπως τον εφαρμόσαμε στον κυκλικό ρευματοφόρο αγωγό, τότε ο αντίχειρας θα μας δείξει τη φορά της έντασης του μαγνητικού πεδίου, θα μας δείξει δηλαδή το βόρειο πόλο του πηνίου (Εικ. 24).

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

$$B' = \frac{B}{2} \Rightarrow B' = k_{\mu} 2\pi \frac{N}{\ell} I$$



Ο προσδιορισμός της φοράς της έντασης του μαγνητικού πεδίου σωληνοειδούς.

Εικόνα 4.2-24.

Οι τύποι που μας δίνουν την ένταση μαγνητικού πεδίου στο κέντρο και στα άκρα του σωληνοειδούς ισχύουν κατά προσέγγιση. Η προσέγγιση αυτή είναι αποδεκτή μόνο αν το μήκος του σωληνοειδούς είναι δεκαπλάσιο τουλάχιστον από τη διάμετρό του.