

# ΕΝΟΤΗΤΑ 1.1.

## ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΑΠΟ ΡΕΥΜΑΤΟΦΟΡΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ

### ΣΚΟΠΟΣ

Ο κύριος σκοπός της ενότητας αυτής είναι να παρουσιάσει, το πείραμα του Oersted τους προβληματισμούς και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτό.

### ΠΡΟΣΔΟΚΩΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Όταν θα έχετε μελετήσει αυτή την ενότητα, θα μπορείτε να:

- Περιγράψετε το πείραμα του Oersted και να διατυπώνετε τους προβληματισμούς και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτό.
- διατυπώνετε την έννοια του μαγνητικού πεδίου και θα είσθε σε θέση να αποδεικνύετε ότι το πεδίο έχει διανυσματικό χαρακτήρα.
- να αισθητοποιείτε το μαγνητικό πεδίο ενός ευθύγραμμου ρευματοφόρου αγωγού και ενός μαγνήτη, με τη χρήση των μαγνητικών δυναμικών γραμμών.
- περιγράψετε ποιοτικά με τη βοήθεια των μαγνητικών γραμμών, αλλά και ποσοτικά τα μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται, από ευθύγραμμους ρευματοφόρους αγωγούς.
- εξηγήσετε ότι ο μαγνητισμός οφείλεται σε ηλεκτρικά ρεύματα.
- Απαριθμείτε τις αντιστοιχίες μεταξύ ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων, καθώς και τις διαφορές και ομοιότητες των δυναμικών γραμμών τους.

## ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

- πεδίο
- μαγνητικό πεδίο
- μαγνητική δυναμική γραμμή
- ένταση μαγνητικού πεδίου  $B$
- ένταση μαγνητικού πεδίου  $B$ , σε απόσταση  $r$  από ευθύγραμμο ρευματοφόρο σύρμα.
- αρχή της επαλληλίας
- ο διανυσματικός χαρακτήρας του πεδίου
- ομογενές και ανομοιογενές μαγνητικό πεδίο.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όλοι έχουμε δει και ίσως έχουμε παίξει με μαγνήτες, τους έχουμε χρησιμοποιήσει ίσως να μαζέψουμε καρφίτσες από το πάτωμα ή τους έχουμε δει στα ηχεία μας, που για κάποιους λόγους καταστρέψαμε.

- Πού οφείλει ο μαγνήτης αυτή την ικανότητα;

Καθημερινά βλέπουμε ηλεκτρικούς κινητήρες, ανεμιστήρες, ηλεκτρικά σεσουάρ ή το πλυντήριό μας που γυρνά και πλένει τα ρούχα μας, ηλεκτροκίνητες αντλίες νερού ή τον κυκλοφορητή στο καλοριφέρ μας.

- Πώς γίνεται να παίρνουμε κινητική ενέργεια από το ηλεκτρικό ρεύμα και τους μαγνήτες;

Σίγουρα θα έχουμε χρησιμοποιήσει ή τουλάχιστον θα έχουμε δει βολτόμετρο, αμπερόμετρο ή γαλβανόμετρο στο εργαστήριο ή σε απλά κυκλώματα που φτιάξαμε μόνοι μας.

- Πώς καταφέρνουν και μετράνε το ρεύμα ή την τάση;

- Πώς παράγεται αυτή η τεράστια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας και πώς μεταφέρεται με το δίκτυο της ΔΕΗ, στις πόλεις και τα χωριά μας;

Πώς παράγονται και διαδίδονται τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, πώς μεταφέρουν τη φωνή μας πολύ μακριά με το κινητό τηλέφωνο, ή την εικόνα και τον ήχο στην τηλεόρασή μας από χιλιάδες χιλιόμετρα, πχ την ίδια ώρα που γίνεται ένας ποδοσφαιρικός αγώνας; Τι είναι το φως και πώς παράγεται; γιατί και το φως του ήλιου ή της λάμπας μας, είναι επίσης ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Βέβαια εδώ στόχος μας δεν είναι να αναπτύξουμε όλα αυτά σε βάθος, όμως αυτά που θα αναφέρουμε είναι η βάση στην οποία στηρίχθηκε η εξέλιξη και ανακάλυψη όλων των παραπάνω. Θα εξαρτηθεί και από εσάς πόσο μακριά θέλετε να φθάσετε, πόσο θα προσπαθήσετε να τα κατανοήσετε και να φτιάξετε μια σχετικά καλή εικόνα στο μυαλό σας για όλα αυτά. Έτσι για να έχετε άποψη, γιατί αξίζει.

### 1.1.1. ΤΟ ΡΕΥΜΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΕΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

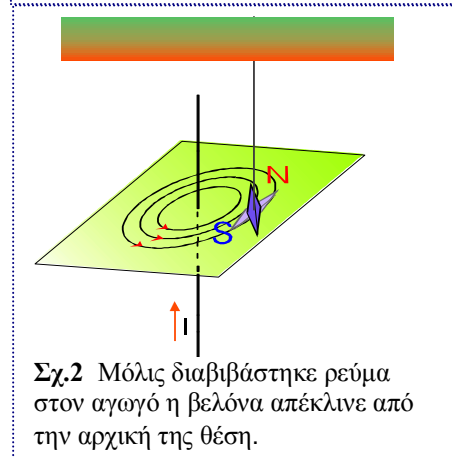
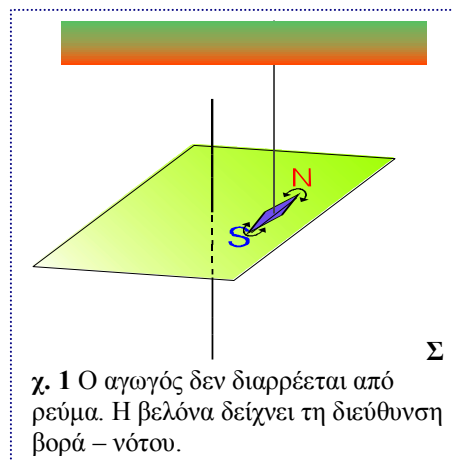
#### Ένα σημαντικό πείραμα που σηματοδότησε την εξέλιξη του ηλεκτρομαγνητισμού

Όλα όσα ακολουθούν, τουλάχιστον στην ενότητα αυτή ξεκίνησαν από ένα πολύ σημαντικό πείραμα που έκανε ο Oersted το 1820. Τοποθέτησε κοντά σε ένα ρευματοφόρο αγωγό μια μαγνητική βελόνα και διαπίστωσε ότι η βελόνα απόκλινε από τη διεύθυνση βοράς-νότος, που αρχικά ισορροπούσε. Έτσι κατέληξε στο συμπέρασμα, για πρώτη φορά, ότι το ρεύμα δημιουργεί παρόμοιες ιδιότητες με αυτές του φυσικού μαγνήτη.

Οι παρατηρήσεις του Oersted άνοιξαν διάπλατα τις πόρτες για την εξήγηση του μαγνητισμού αλλά και για παραπέρα αναζητήσεις.

Μερικά από τα συμπεράσματα που προέκυψαν άμεσα από αυτές είναι:

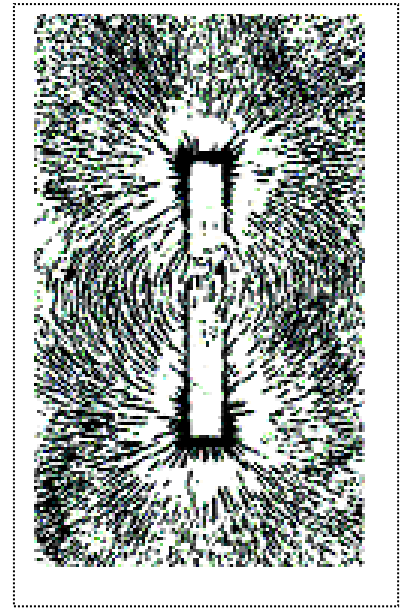
- 1) Το ρεύμα δημιουργεί μαγνητισμό.
- 2) Ο μαγνητισμός διαδίδεται και μέσα από τα υλικά.
- 3) Όλα τα υλικά δεν συμπεριφέρονται το ίδιο, όταν βρεθούν κοντά σε ρευματοφόρο αγωγό.
- 4) Ο ρευματοφόρος αγωγός ασκεί δυνάμεις σε μαγνήτες και σε άλλους ρευματοφόρους αγωγούς.
- 5) Ο μαγνητισμός δημιουργεί ηλεκτρικό ρεύμα.



## 1.1.2. ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Το πείραμα και οι παρατηρήσεις που έκανε ο Oersted δημιούργησαν νέους προβληματισμούς και ερωτηματικά όπως:

- Ο αγωγός ασκεί δυνάμεις στη βελόνα, δεν θα πρέπει και η βελόνα να ασκεί δυνάμεις στον αγωγό; (Θυμηθείτε τον τρίτο νόμο του Νεύτωνα).
- Πώς μεταφέρεται η δύναμη από τον αγωγό στη βελόνα, αλλά και αντίστροφα;
- Ποια η σχέση των δυνάμεων μεταξύ του ρευματοφόρου αγωγού και της μαγνητικής βελόνας;



Σχ3α. Στο σχήμα φαίνεται πως διατάσσονται τα ρινίσματα σιδήρου, από τον μαγνήτη.

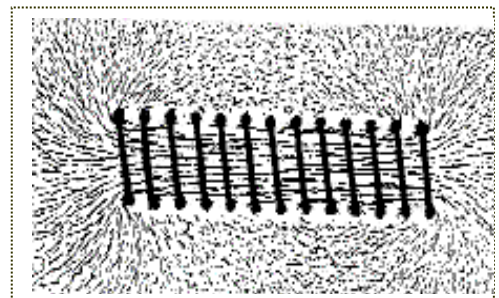
Παρακάτω θα επαναλάβουμε μερικά από τα πειράματα που έκανε ο Oersted , με στόχο να εισαγάγουμε την έννοια του μαγνητικού πεδίου δυνάμεων, αλλά και να μας δοθεί η δυνατότητα να κάνουμε τις δικές μας παρατηρήσεις και να βγάλουμε τα δικά μας συμπεράσματα.

### ΠΕΙΡΑΜΑ 1

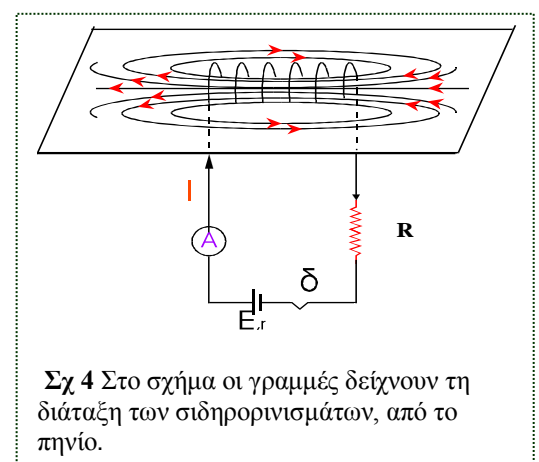
*Πάνω από ραβδόμορφο μαγνήτη τοποθετείστε ένα φύλλο χαρτιού (ή μια γυάλινη πλάκα) και ρίξτε ρινίσματα σιδήρου. Ανακινήστε το προσεκτικά.*

- Τι παρατηρείτε; Πως διατάσσονται τα ρινίσματα σιδήρου εξαιτίας της παρουσίας του ραβδόμορφου μαγνήτη; Μήπως σε καμπύλες γραμμές, όπως στην περίπτωση με το πηνίο;

*Την δική μας απάντηση θα βρείτε, παρατηρώντας προσεκτικά τα σχήματα 3 και 4.*



Σχ 3β. Το πηνίο διατάσσει τα ρινίσματα σιδήρου όπως και ο μαγνήτης.



Σχ 4 Στο σχήμα οι γραμμές δείχνουν τη διάταξη των σιδηρορηνισμάτων, από το πηνίο.

## ΠΕΙΡΑΜΑ 2

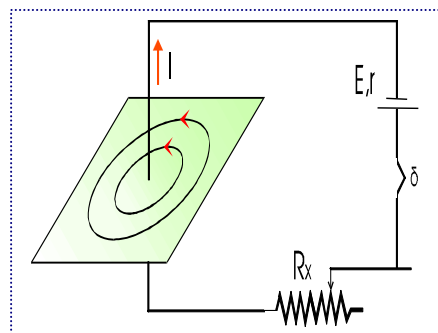
Φτιάξτε ένα κύκλωμα που να αποτελείται από μια μπαταρία, έναν διακόπτη και ένα σωληνοειδές με πολλές σπείρες.

Το σωληνοειδές μπορούμε να το φτιάξτε και μόνοι μας, αν πάρετε ένα σύρμα μεγάλου μήκους ηλεκτρικά μονωμένο, και το τυλίξετε ελικοειδώς (π.χ. γύρω από ένα κύλινδρο), ώστε να δημιουργήσετε σπείρες περίπου κυκλικές.

Πάρτε ένα λεπτό χαρτόνι και να το κόψετε, ώστε να «φορεθεί» μέσα στο πηνίο. Απλώστε τώρα τα ρινίσματα σιδήρου πάνω στο χαρτόνι και κλείστε τον διακόπτη. Κτυπήστε ελαφριά το χαρτόνι, (στο σημείο αυτό κοιτάξτε και τα σχήματα 3 και 4).

- Τι παρατηρείτε; Πως διατάσσονται τα ρινίσματα σιδήρου; Τι συμπεραίνεται; Μήπως διατάσσονται όπως ακριβώς και στο πείραμα με το μαγνήτη;

Την δική μας απάντηση των πειραμάτων 1 και 2 θα βρείτε, κοιτώντας προσεκτικά τα σχήματα 3 και 4.



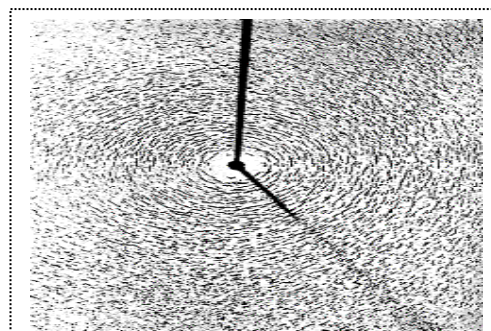
Σχ. 5. Πριν το κλείσιμο του διακόπτη τα ρινίσματα σιδήρου, είναι σκορπισμένα με τυχαίο τρόπο, πάνω στο χαρτόνι. Μετά το κλείσιμο του διακόπτη διατάσσονται σε κύκλους ομόκεντρους με κέντρο τον αγωγό.

## ΠΕΙΡΑΜΑ 3

Φτιάξτε ένα κύκλωμα που να περιλαμβάνει κατάλληλο τροφοδοτικό, ροοστάτη, διακόπτη και ένα μακρύ ευθύ σύρμα, μήκους περίπου 30cm. Τοποθετείστε κάθετα στο μακρύ σύρμα ένα χαρτόνι, όπως στα σχήματα 5 και 6, και ρίξτε πάνω του ρινίσματα σιδήρου. Στη συνέχεια κλείστε τον διακόπτη. Πως διατάσσονται τα ρινίσματα;

Ποιο συμπέρασμα προκύπτει από τις παρατηρήσεις που κάνατε στη διάρκεια του πειράματος;

Την δική μας απάντηση θα βρείτε, κοιτώντας προσεκτικά το



Σχ. 6 Τα ρινίσματα σιδήρου διατάσσονται γύρω από ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό, σε κύκλους ομόκεντρους, όπως φαίνεται στην εικόνα.

σχήμα 6.

Στο σημείο αυτό, πριν συνεχίσετε τη μελέτη σας, καλό είναι να σκεφτείτε λίγο και κατόπιν γράψτε τα κοινά συμπεράσματα, που προκύπτουν από τα τρία παραπάνω πειράματα. Την δική μας απάντηση, θα τη διαβάσετε στην παράγραφο που ακολουθεί αμέσως μετά .

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι, ο χώρος γύρω από τον ευθύγραμμο αγωγό και το πηνίο, όταν διαρρέονται από ρεύμα αποκτά παρόμοια ιδιότητα, με αυτή του χώρου γύρω από το φυσικό μαγνήτη.

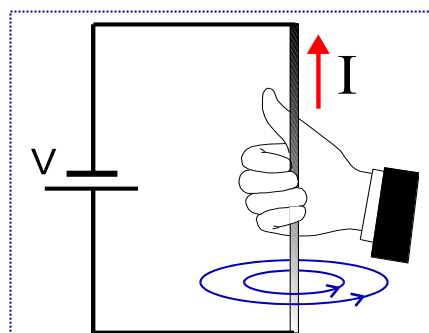
Ποια είναι αυτή η ιδιότητα; Μήπως να ασκεί δυνάμεις στα ρινίσματα σιδήρου και να τα διατάσσει σε κλειστές γραμμές;

Την δική μας απάντηση θα βρείτε αφενός στην αμέσως επόμενη παράγραφο, αφετέρου στα δύο πλαίσια που βρίσκονται στο δεξιό μέρος της σελίδας όπου ορίζεται η έννοια του μαγνητικού πεδίου.

Στο εξής θα λέμε ότι ο χώρος γύρω από τον μαγνήτη, το σωληνοειδές και γενικότερα γύρω από οποιονδήποτε ρευματοφόρο αγωγό, απέκτησε ιδιότητες **μαγνητικού πεδίου** το οποίο θα το συμβολίζουμε με το γράμμα  $B$ . Η κατεύθυνση του πεδίου σε κάθε σημείο, θα είναι ίδια με τη κατεύθυνση πάνω στη οποία ισορροπεί η μαγνητική βελόνα, όταν αφήνεται (ελεύθερη) να ισορροπήσει, υπό την επίδραση μόνο της δύναμης του πεδίου, δηλαδή της δύναμης που θα της ασκεί ο μαγνήτης, ο ρευματοφόρος αγωγός ή το σωληνοειδές. Η φορά του πεδίου θα είναι από το νότιο προς το βόρειο πόλο της μαγνητικής βελόνας.

**Μαγνητικό πεδίο  $B$ :** Ονομάζουμε την ιδιότητα που αποκτά ο χώρος γύρω από το ρευματοφόρο αγωγό ή το μαγνήτη, δηλαδή, να ασκεί δυνάμεις σε ρινίσματα σιδήρου ή να εκτρέπει τη μαγνητική βελόνα .

*Μαγνητικό πεδίο ονομάζουμε μια φυσική οντότητα, η οποία συνυπάρχει με το μαγνήτη και το ρευματοφόρο αγωγό και που έχει την ιδιότητα να ασκεί δυνάμεις σε κομμάτια μαλακού σιδήρου, σε άλλους ρευματοφόρους αγωγούς και να εκτρέπει τη μαγνητική βελόνα.*



**Σχ. 7** Πρακτικός τρόπος εύρεσης φοράς μαγνητικών γραμμών. Τοποθετούμε το δεξί χέρι γύρω από τον αγωγό με τον αντίχειρα να δείχνει τη φορά του ρεύματος. Καμπυλώνουμε τα υπόλοιπα δάκτυλα, ώστε να περιβάλλουν τον αγωγό. Τότε τα δάκτυλα αυτά θα δείχνουν τη φορά των δυναμικών γραμμών. Η φορά των δυναμικών γραμμών, δηλαδή, είναι ίδια με τη φορά που πρέπει να περιστρέψουμε ένα δεξιόστροφο κοχλία, ώστε να προχωρήσει όπως το ρεύμα.

### 1.1.3 ΟΙ ΠΕΔΙΑΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ.

Όπως και στον ηλεκτρισμό έτσι και εδώ θα εισαγάγουμε την έννοια της δυναμικής γραμμής για να έχουμε μια εποπτική εικόνα του πεδίου. Η δυναμική γραμμή είναι μια νοητή γραμμή που σε κάθε σημείο της το πεδίο είναι εφαπτόμενο. (Η διεύθυνση της εφαπτόμενης σε ένα σημείο μιας δυναμικής γραμμής ταυτίζεται με τον άξονα της βελόνας που ισορροπεί ελεύθερα μέσα στο πεδίο). Οι γραμμές που δημιουργούνται από την διάταξη των ρινισμάτων σιδήρου μπορούμε να πούμε ότι ταυτίζονται με τις **μαγνητικές δυναμικές γραμμές**, αν το πεδίο είναι αρκετά ισχυρό .

Εύλογο είναι ότι από αυτά που είδαμε κάνοντας τα παραπάνω πειράματα να καταλήξουμε σε ορισμένα συμπεράσματα, αλλά και να μας δημιουργηθούν μερικά ερωτηματικά ή κάποιες σκέψεις.

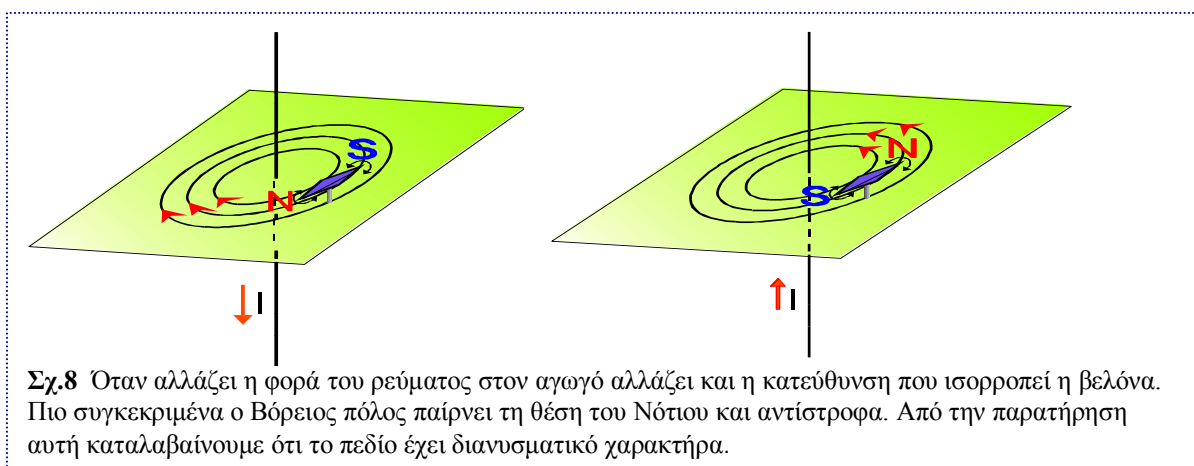
- Γύρω από ρευματοφόρο αγωγό οποιουδήποτε σχήματος, ο χώρος αποκτά πρόσθετα ιδιότητες αλληλεπίδρασης, δημιουργείται δηλαδή μαγνητικό πεδίο.
- Όπου οι μαγνητικές δυναμικές γραμμές είναι πυκνές, όπως συμβαίνει στην περιοχή κοντά στους πόλους του μαγνήτη, κοντά στον ευθύγραμμο αγωγό, στο εσωτερικό του πηνίου, εκεί είναι πιο ισχυρό το μαγνητικό πεδίο. (Η βελόνα θα δέχεται μεγαλύτερη δύναμη.) Καθώς απομακρυνόμαστε από τις πηγές που δημιουργούν τα μαγνητικά πεδία, αυτά εξασθενούν.
- Οι μαγνητικές γραμμές είναι κλειστές. Ποιο συγκεκριμένα στο φυσικό μαγνήτη βγαίνουν από το βόρειο πόλο και μπαίνουν από το νότιο.
- Το σωληνοειδές πηνίο δημιουργεί μαγνητικό πεδίο παρόμοιο με αυτό του ραβδόμορφου μαγνήτη.



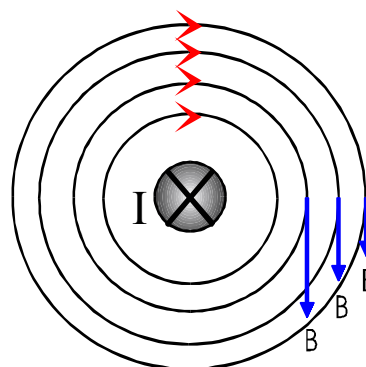
- Οι δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου ενός ευθύγραμμου αγωγού μεγάλου μήκους, είναι κύκλοι ομόκεντροι, που βρίσκονται σε επίπεδα κάθετα στον αγωγό.
- Η φορά των μαγνητικών γραμμών είναι ίδια με του πεδίου.

Για την μαγνητική βελόνα θα πρέπει να πούμε ότι όταν τη φέρουμε κοντά στο ρευματοφόρο αγωγό, η θέση ισορροπίας της θα καθορίζεται από το σύνολο των δυνάμεων που δέχεται, τόσο από τον αγωγό, όσο και από το μαγνητικό πεδίο της γης. Βρίσκεται δηλαδή μέσα σε σύνθετο μαγνητικό πεδίο.

#### ΠΕΙΡΑΜΑ 4.



Φτιάξτε το κύκλωμα του πειράματος 3, σελίδα 22, αλλά αντί των σιδηρορριτισμάτων χρησιμοποιήστε μαγνητική βελόνα που να περιστρέφεται γύρω από κατακόρυφο άξονα (λέγεται και βελόνα αποκλίσεως) και ένα όργανο που ανιχνεύει αλλά και μετρά το μαγνητικό πεδίο, το μαγνητόμετρο. Πριν κλείσετε τον διακόπτη, τοποθετήστε τον αγωγό πάνω από την μαγνητική βελόνα σε μικρή απόσταση, και παράλληλα προς αυτή. Η βελόνα δείχνει Βορά - Νότο. Διαβιβάστε ρεύμα στον αγωγό και



**Σχ.9** Τομή κάθετη στον αγωγό.

Η ένταση του πεδίου σε κάθε σημείο, είναι εφαπτόμενη των δυναμικών γραμμών. Και μειώνεται καθώς αυξάνεται η απόσταση από τον αγωγό. Ο αγωγός είναι κάθετος στη σελίδα του βιβλίου σας και η φορά του ρεύματος είναι προς τα μέσα. Όσο πιο ισχυρό είναι τα ρεύμα, τόσο πιο ισχυρό είναι και το μαγνητικό πεδίο, κατά συνέπεια και η δύναμη που δέχεται η μαγνητική βελόνα.

σημειώστε τη κατεύθυνση προς την οποία αποκλίνει η βελόνα (Σχ. 8). Αλλάξτε τώρα τη φορά του ρεύματος και παρατηρήστε τι θα συμβεί στη βελόνα. Αλλάξε η θέση ισορροπίας της;

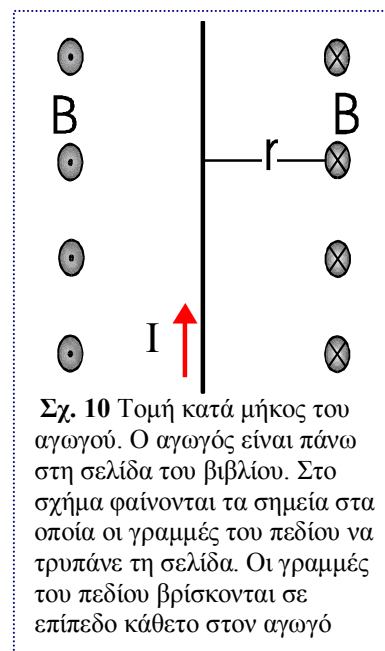
- Μετά την παρατήρηση αυτή μπορούμε να ισχυριστούμε ότι το μαγνητικό πεδίο έχει διανυσματικό χαρακτήρα;

Την δική μας απάντηση μπορείτε να βρείτε αν παρατηρήσετε προσεκτικά το σχήμα 8.

### ΠΕΙΡΑΜΑ 5.

Φτιάξτε το κύκλωμα του πειράματος 3 και κλείστε το διακόπτη. Διαβιβάστε ρεύμα και αφήστε τη μαγνητική βελόνα να ισορροπήσει. Αυξήστε την ένταση του ρεύματος με τη βοήθεια του ροοστάτη.

- Τι παρατηρείτε; Μεταβάλλεται η απόκλιση της βελόνας από την διεύθυνση Βορράς - Νότος. (Θυμηθείτε ότι η μαγνητική βελόνα δέχεται δυνάμεις και από το μαγνητικό πεδίο της γης.) Σε ποιο συμπέρασμα μπορείτε να καταλήξετε;

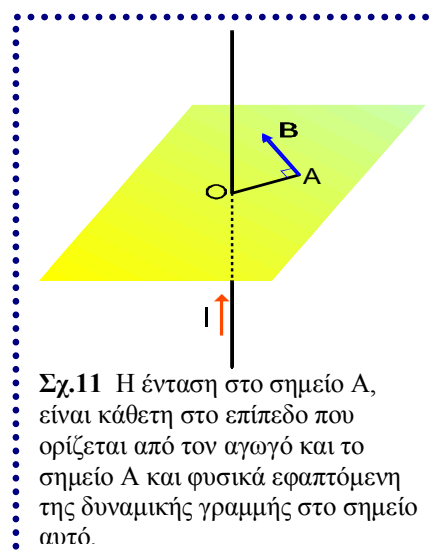


Μήπως το μαγνητικό πεδίο εξαρτάται και από την αριθμητική τιμή της έντασης του ρεύματος αλλά και από τη φορά της;

Τη δική μας απάντηση θα τη βρείτε στο σχήμα 9, αν το παρατηρήσετε προσεκτικά.

### 1.1.4. ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΦΟΡΟΥ ΑΓΩΓΟΥ

Με μαθηματικούς συλλογισμούς, που δεν κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν εδώ, βρίσκουμε την παρακάτω μαθηματική σχέση, από την οποία δίνεται το μέτρο του μαγνητικού πεδίου  $B$ , σε σημείο που απέχει απόσταση  $r$  από τον ευθύγραμμο αγωγό μεγάλου μήκους, (Το μήκος του είναι πολύ



μεγαλύτερο από την απόσταση  $r$ ).

$$B = K_{\mu} 2I/r.$$

Όπου  $K_{\mu}$  μια μαγνητική σταθερά η οποία στο κενό έχει τιμή  $K_{\mu} = 10^{-7} \text{N/A}^2$ .

Η διεύθυνση του πεδίου σε ένα σημείο, είναι κάθετη στο επίπεδο που ορίζεται από το σημείο αυτό και τον αγωγό. Η φορά του θα βρίσκεται με έναν από τους πρακτικούς κανόνες που περιγράψαμε παραπάνω, του δεξιού χεριού ή του δεξιόστροφου κοχλία.

Από τα πειράματα που κάναμε και φυσικά την σχέση  $B = K_{\mu} 2I/r$  συμπεραίνουμε ότι: Το πεδίο σε ένα σημείο που απέχει απόσταση  $r$  από ευθύγραμμο αγωγό μεγάλου μήκους, είναι ανάλογο της έντασης του ρεύματος, και αντιστρόφως ανάλογο της απόστασης  $r$  του σημείου από τον αγωγό.

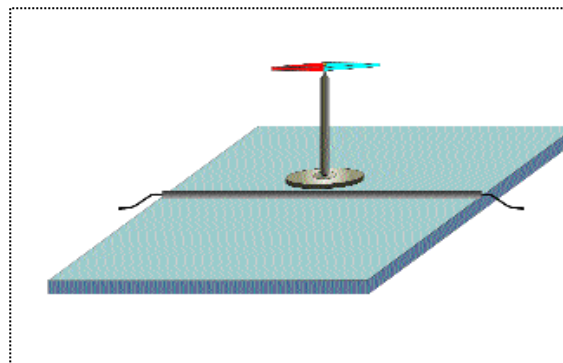
Η ένταση  $B$  είναι πάντα εφαπτόμενη των μαγνητικών δυναμικών γραμμών και έχει ίδια φορά με αυτές.

Πιο πάνω αναφέραμε την σχέση:

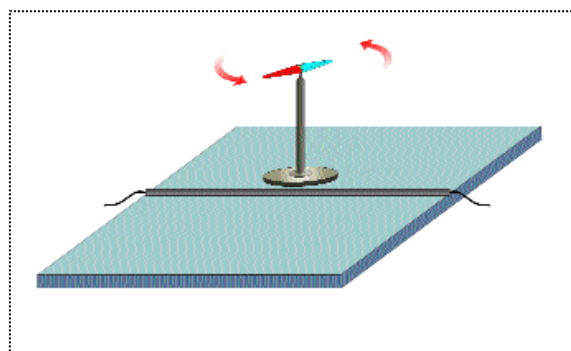
$$B = K_{\mu} \frac{2I}{r} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I}{r} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

ως αποτέλεσμα μαθηματικών συλλογισμών.

Στη συνέχεια θα περιγράψουμε ένα πείραμα, το οποίο μπορείτε να πραγματοποιήσετε στο εργαστήριο. Με το πείραμα αυτό επιβεβαιώνεται η ορθότητα της παραπάνω σχέσης. Άλλωστε μια θεωρία αν δεν επαληθευτεί και πειραματικά δεν ισχύει.



Σχ12 Η θέση της μαγνητικής βελόνας πριν διαβιβαστεί ρεύμα στον αγωγό. Η μαγνητική βελόνα είναι παράλληλη στον αγωγό.



Σχ 13 Μόλις διαβιβαστεί ρεύμα στον αγωγό, ασκούνται δυνάμεις στους πόλους, δημιουργείται ροπή στρέψης και η βελόνα εκτρέπεται από την αρχική της θέση.

Η τιμή του πεδίου  $B$  σε ένα σημείο λέγεται και μαγνητική επαγωγή  $B$ , αλλά και ένταση  $B$  του μαγνητικού πεδίου.

## ΠΕΙΡΑΜΑ 6

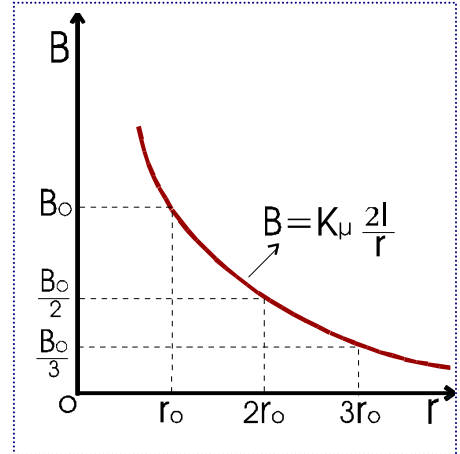
Φτιάξτε κύκλωμα που να περιλαμβάνει μια μπαταρία 24 Volt ένα αμπερόμετρο, και ένα κιβώτιο αντιστάσεων συνδεδεμένα σε σειρά με ένα μακρύ σύρμα ΑΓ μήκους περίπου μισού μέτρου και φυσικά διακόπτη. Επιλέξτε μια αντίσταση από το κιβώτιο και κλείστε το κύκλωμα.

**Βήμα 1<sup>ο</sup>** Σημειώστε την ένταση του ρεύματος που δείχνει το αμπερόμετρο. Φροντίστε ώστε η ένταση να παραμένει σταθερή π.χ.10Α. Τοποθετήστε τον αισθητήρα του μαγνητομέτρου σε ορισμένη απόσταση από τον αγωγό, (ας πούμε  $r=2\text{cm}$ ). Και κατόπιν σε διπλάσια και τριπλάσια από τον αγωγό.

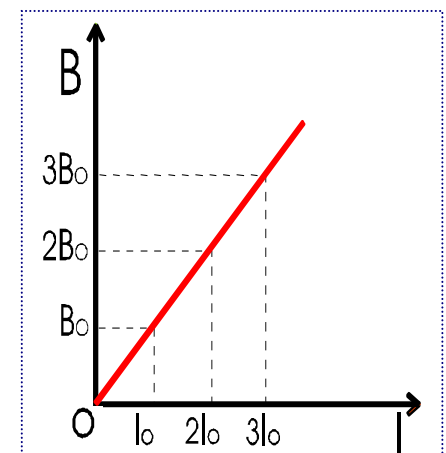
- Τι θα παρατηρήσετε;
- Φτιάξτε ένα πίνακα τιμών με τα μεγέθη  $B$  και  $r$  και στη συνέχεια το διάγραμμα της έντασης του πεδίου  $B(r)$ , συναρτήσει της απόστασης. Είναι σύμφωνο με το διάγραμμα του σχήματος 14;
- Από τις τιμές που βρήκατε επιβεβαιώνεται ότι το πεδίο είναι  $B$  αντιστρόφως ανάλογο της απόστασης ( $1/r$ ), από τον αγωγό;

Τη δική μας απάντηση θα τη βρείτε αν παρατηρήσετε προσεκτικά το σχήμα 14.

**Βήμα 2<sup>ο</sup>** Τοποθετήστε τον αισθητήρα του μαγνητομέτρου σε σταθερή απόσταση από τον αγωγό. Επιλέγοντας τις κατάλληλες αντιστάσεις από το κιβώτιο αντιστάσεων διπλασιάστε, τριπλασιάστε κ.λπ. την ένταση του ρεύματος, φτιάξτε ένα πίνακα τιμών, με τις τιμές του ρεύματος που δείχνει το αμπερόμετρο και της έντασης του πεδίου που δείχνει το μαγνητόμετρο. Με βάση τον πίνακα τιμών που κάνατε φτιάξτε το διάγραμμα  $B(I)$ .



**Σχ. 14** Το πεδίο όσο απομακρυνόμαστε από τον αγωγό μειώνεται. Η μείωση μάλιστα αυτή είναι αντιστρόφως ανάλογα της απόστασης από τον αγωγό



**Σχ.15** Το πεδίο  $B$  σε συγκεκριμένη απόσταση από τον αγωγό, είναι ανάλογο της έντασης του ρεύματος.

- Συμφωνεί με αυτό του σχήματος 15;
- Τι παρατηρείτε; Επιβεβαιώνεται ότι η ένταση του μαγνητικού πεδίου είναι ανάλογη της έντασης του ρεύματος; Επαναλάβετε αλλάζοντας τις τιμές των αντιστάσεων που αρχικά επιλέξατε.

Τη δική μας απάντηση θα τη βρείτε αν παρατηρήσετε προσεκτικά το σχήμα 15.

**Βήμα 3<sup>ο</sup>** Να προτείνετε μια διαδικασία, για τον υπολογισμό της μαγνητικής σταθεράς  $K_\mu$ .

Σκεφτείτε, τι σας χρειάζεται για να το πετύχετε, θυμίζουμε:

$$(B = K_\mu 2I/r \Leftrightarrow K_\mu = Br/2I)$$

Ας σας βοηθήσουμε όμως λίγο...

Τοποθετείστε τον αισθητήρα του μαγνητομέτρου σε μια θέση. Σημειώστε την ένδειξη του  $B$ . Μετρήστε την απόσταση  $r$  του αισθητήρα από τον αγωγό. Διαβάστε την ένδειξη του Αμπερόμετρου.

Επαναλάβετε πολλές φορές για διάφορες τιμές του ρεύματος και για διαφορετικές θέσεις.

- Πόσο κοντά στην πραγματική τιμή  $K_\mu = 10^{-7} \text{ N/A}^2$  είναι οι δικές σας τιμές; Εκτιμήστε πού τυχόν να οφείλεται το σφάλμα στη μέτρησή σας.

#### **Σχόλιο μελέτης:**

Στο σημείο αυτό προτείνουμε, αν θέλετε να εντρυφήσετε στα παραπάνω, να μελετήσετε και τα εξής:

**A.** Από το βιβλίο του SERWAY, τόμος Β' ηλεκτρομαγνητισμός, τις παραγράφους 29.1 και 29.2 στις σελίδες 178 και 181 αντίστοιχα.

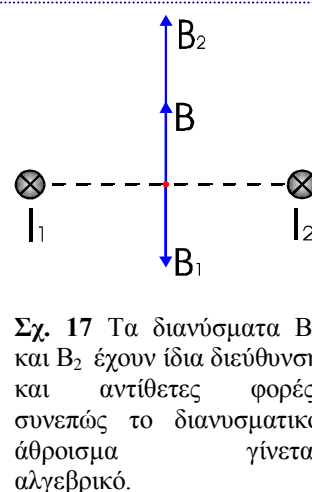
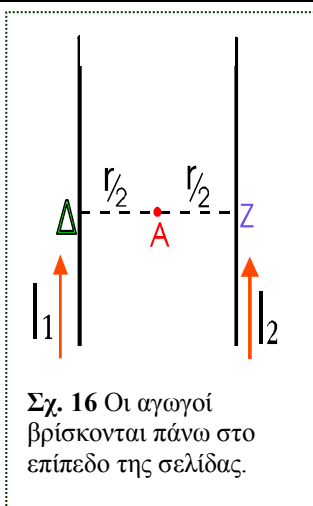
**B.** Από το βιβλίο ΟΗΑΝΙΑΝ, τόμος Β' ηλεκτρομαγνητισμός, τις παραγράφους 30.3 και 31.1 στις σελίδες 173 και 189 αντίστοιχα.

Έτσι θα θυμηθείτε και αυτά που κάνατε κάποτε στο Πανεπιστήμιο. Είναι σημαντικό να θυμηθείτε τους Νόμους των Biot-Savart και του Ampere.

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1ο

Δίνονται δύο παράλληλοι αγωγοί Δ και Ζ μεγάλου μήκους, οι οποίοι βρίσκονται σε απόσταση  $r$  μεταξύ τους και σε κενό χώρο. Οι αγωγοί διαρρέονται από ρεύματα  $I_1=I$  και  $I_2=2I$  αντίστοιχα. Αν δίνεται η  $K_\mu=10^{-2}$  N/A<sup>2</sup>, να βρείτε:

A. την ένταση του μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται από τους δύο αυτούς αγωγούς στα σημεία A όταν  $AD=AZ=r/2$



B. την ένταση του μαγνητικού πεδίου που δημιουργεί ο αγωγός Δ στη θέση που βρίσκεται ο αγωγός Ζ.

Γ. Αν δίνεται ότι οι αγωγοί είναι ηλεκτρικά μονωμένοι. Τους πλησιάζουμε τόσο ώστε να μηδενίσουμε τη μεταξύ τους απόσταση. Ποια μορφή θα έχει το μαγνητικό πεδίο γύρω από αυτούς, όταν διαρρέονται από ομόρροπα ρεύματα;

Δ. Στο ερώτημα Γ αν οι αγωγοί διαρρέονται από αντίρροπα ρεύματα, να βρείτε ποια σχέση πρέπει να έχουν οι εντάσεις των ρευμάτων που τους διαρρέουν, ώστε στο χώρο γύρω από αυτούς το πεδίο να έχει τιμή παντού μηδέν. Μπορείτε να εξηγήσετε, γιατί, όταν θέλουμε να εξουδετερώσουμε τα μαγνητικά πεδία που δημιουργούν δύο ρευματοφόρα ,ηλεκτρικά μονωμένα σύρματα, με αντίθετης φοράς ρεύματα, τα κάνουμε πλεξίδα;

**Απάντηση:** Και στα μαγνητικά πεδία, όπως στα ηλεκτρικά, αλλά και τα βαρυτικά, ισχύει η αρχή της επαλληλίας (υπέρθεσης). Δηλαδή όταν ένα πεδίο δημιουργείται από πολλές πηγές, όπως πολλούς ρευματοφόρους αγωγούς, πολλά φορτία, ή πολλές μάζες αντίστοιχα, τότε σε κάθε σημείο

του, η ένταση θα έχει τιμή ίση με το διανυσματικό άθροισμα των εντάσεων που θα είχαμε σε αυτό το σημείο, αν κάθε μία από τις πηγές δημιουργούσε το πεδίο μόνη της.

**A:** Στην προκειμένη περίπτωση ισχύει η αρχή της επαλληλίας:  $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_N$  (Διανυσματικό άθροισμα). Δηλαδή η ένταση στο σημείο A θα ισούται με το διανυσματικό άθροισμα των εντάσεων  $B_1$  και  $B_2$  που θα είχαμε σ' αυτό το σημείο, αν το πεδίο οφειλόταν μόνο στον αγωγό Δ ή τον αγωγό Z αντίστοιχα.

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 \Leftrightarrow B = B_1 - B_2 \Leftrightarrow B = K_\mu \frac{2I}{r/2} - K_\mu \frac{4I}{r/2} \Leftrightarrow B = -K_\mu \frac{4I}{r}$$

Το (-) δηλώνει ότι η φορά του B θα είναι ίδια με τη φορά του διανύσματος  $B_2$  η οποία ελήφθη ως αρνητική. Προσοχή όμως στον υπολογισμό της έντασης στο σημείο Γ, διότι τα διανύσματα  $B_1$  και  $B_2$  δεν έχουν ίδια διεύθυνση, οπότε πρέπει να χρησιμοποιήσετε τη μέθοδο του παραλληλόγραμμου.

**B:**  $B = K_\mu \frac{2I}{r}$

**Γ:**  $B = K_\mu \frac{4I}{r}$

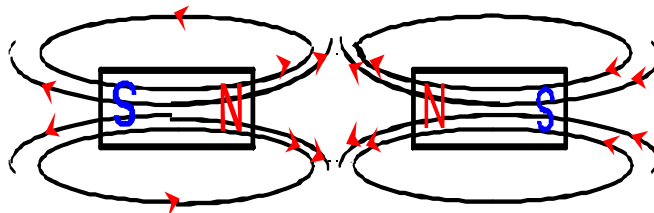
**Δ:** Θα πρέπει οι εντάσεις των ρευμάτων που τους διαρρέουν να είναι ίσες έτσι ώστε να ισχύει:  $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 = \mathbf{0}$

#### **Σχόλιο μελέτης:**

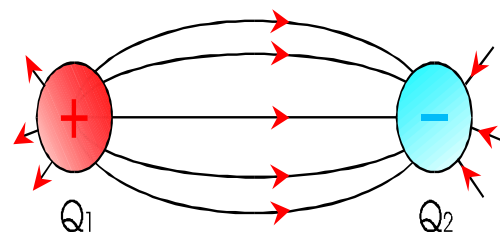
Αν πιστεύεις ότι κατάλαβες το παραπάνω παράδειγμα, την μεθοδολογία του και πως εφαρμόζεται η αρχή της επαλληλίας, προσπάθησε να απαντήσεις την άσκηση αυτοαξιολόγησης 4. Αν δυσκολευτείς στην πρόσθεση διανυσμάτων που σχηματίζουν γωνία, προτείνουμε να μελετήσεις από το σχολικό βιβλίο της Α΄ Λυκείου, την παράγραφο που αναφέρεται στη σύνθεση δυνάμεων. Προφανώς η πρόσθεση διανυσματικών μεγεθών, γίνεται με τον ίδιο τρόπο για όλα τα μεγέθη αυτά.



## 1.1.5 ΟΜΟΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ-

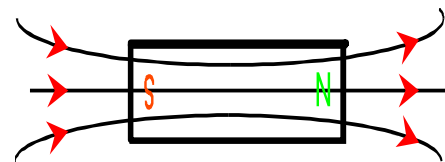


Σχ. 18. Στο σχήμα φαίνεται το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από δύο φυσικούς μαγνήτες. Παρατηρείτε ότι οι μαγνητικές δυναμικές γραμμές δεν τέμνονται.



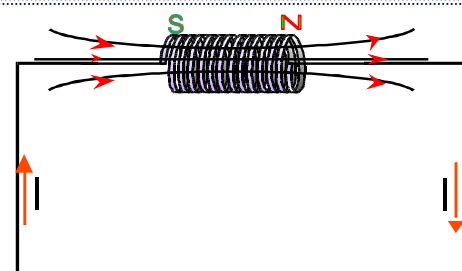
Σχ 19 Στο σχήμα φαίνεται το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται από δύο ετερόσημα φορτία. Οι ηλεκτρικές δυναμικές γραμμές, χωρίς να τέμνονται, κατευθύνονται από το θετικό φορτίο προς το αρνητικό.

1) Οι μαγνητικές δυναμικές γραμμές είναι κλειστές, σε αντίθεση με τις δυναμικές γραμμές του ηλεκτροστατικού πεδίου που είναι ανοικτές και οι οποίες ξεκινούν από θετικά φορτία και καταλήγουν σε αρνητικά.



Σχ 20 Το μαγνητικό πεδίο ενός μαγνήτη με γραμμές. Παρατηρούμε ότι είναι κλειστές, καθώς βγαίνουν από τον βόρειο πόλο και μπαίνουν από τον Νότιο πόλο.

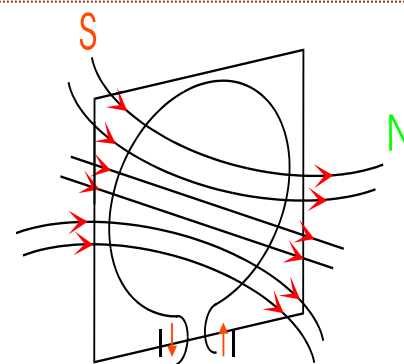
2) Η πυκνότητά τους, δηλαδή το πλήθος τους ανά μονάδα επιφάνειας, δηλώνει το πόσο ισχυρό είναι το πεδίο. Όπου οι μαγνητικές δυναμικές γραμμές είναι πυκνές το πεδίο είναι ισχυρό και όπου είναι αραιές, το πεδίο είναι ασθενές. Το αντίστοιχο ισχύει και στο ηλεκτρικό πεδίο.



Σχ 21 Το πεδίο του πηνίου με γραμμές. Παρατηρούμε ότι το πεδίο ενός σωληνοειδούς είναι ίδιο με αυτό του ευθύγραμμου μαγνήτη.

3) Σε κάθε σημείο τους, το διάνυσμα της έντασης είναι εφαπτόμενο, όπως αντίστοιχα συμβαίνει και στις δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου.

4) Όπως στους φυσικούς μαγνήτες, έτσι και στα ρευματοφόρα πηνία και πλαίσια, οι δυναμικές γραμμές, «βγαίνουν» από τον βόρειο πόλο και «μπαίνουν» από το νότο, άλλωστε και αυτά συμπεριφέρονται ως μαγνήτες. Οι ηλεκτρικές



Σχ.22 Οι γραμμές του πεδίου ενός κυκλικού ρευματοφόρου αγωγού. Περισσότερα για το μαγνητικό πεδίο του αγωγού αυτού θα μάθουμε στην επόμενη ενότητα.



ξεκινούν από θετικά φορτία και καταλήγουν σε αρνητικά.

- 5) Δεν τέμνονται, όπως και οι ηλεκτρικές.
- 6) Στο ομογενές μαγνητικό πεδίο, οι δυναμικές γραμμές είναι ευθείες, παράλληλες, ομόρροπες και ισαπέχουσες, όπως και οι δυναμικές γραμμές, του ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου. Στο ομογενές πεδίο η ένταση έχει την ίδια τιμή σε όλα του τα σημεία.

### **ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 1**

Χαράξτε με το στυλό σας ένα ρευματοφόρο αγωγό πάνω στη σελίδα του τετραδίου σας. Σημειώστε την κατεύθυνση του πεδίου σε δύο σημεία, δεξιά και αριστερά του αγωγού και σε απόσταση  $r$  από αυτόν. Γράψτε τη μαθηματική σχέση από την οποία δίνεται το μέτρο της έντασης  $B$ . Να επαναλάβετε το ίδιο αλλάζοντας τη φορά στο ρεύμα.

### **ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 2**

Φτιάξτε ένα σχήμα που να φαίνονται: μια μαγνητική βελόνα που μπορεί να στρέφεται γύρω από κατακόρυφο άξονα, η οποία να ισορροπεί στη διεύθυνση βορράς – νότος και ένας οριζόντιος ευθύγραμμος αγωγός που είναι παράλληλος στον κατά μήκος άξονα της βελόνας.

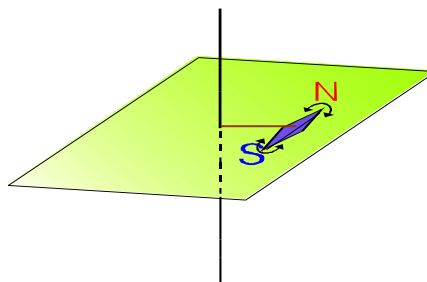
A. Όταν η βελόνα ισορροπεί, ο αγωγός και η βελόνα βρίσκονται στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο.

B. Όταν η βελόνα ισορροπεί, ο κατά μήκος άξονάς της, βρίσκεται στο ίδιο κατακόρυφο επίπεδο με τον οριζόντιο αγωγό. Να πάρετε δύο περιπτώσεις: 1. Η βελόνα βρίσκεται πάνω από τον αγωγό. 2. Η βελόνα βρίσκεται κάτω από τον αγωγό.

Διαβιβάστε ρεύμα στον αγωγό και σε κάθε περίπτωση αφήστε τη βελόνα να ισορροπήσει. Για κάθε μία από τις παραπάνω περιπτώσεις, να φτιάξετε ένα νέο σχήμα που να φαίνονται, η νέα θέση ισορροπίας της βελόνας και οι δυνάμεις που ασκούνται στους πόλους της, από το πεδίο του αγωγού.

### ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 3

Τοποθετείστε έναν ευθύγραμμο αγωγό κατακόρυφα, περνώντας τον μέσα από ένα χοντρό οριζόντιο χαρτόνι και διαβιβάστε ρεύμα σ' αυτόν από μια μπαταρία των 6 volt. Πάνω στο χαρτόνι βάλτε μια μαγνητική βελόνα αποκλίσεως και δέστε τη με μονωτικό νήμα από τον αγωγό έτσι που να μπορεί να περιστρέφεται γύρω από αυτόν διαγράφοντας κύκλο.



**Σχ. 23** Η μαγνητική βελόνα θα ισορροπεί σε θέσεις εφαπτομενικές των δυναμικών γραμμών του αγωγού. Στην πραγματικότητα βέβαια επηρεάζεται και από το μαγνητικό πεδίο της Γης. Όσο πιο ισχυρό όμως είναι το μαγνητικό πεδίο του αγωγού η βελόνα θα τείνει να ισορροπεί σε θέσεις εφαπτομενικές των ομόκεντρων κύκλων με κέντρο στον αγωγό.

Περιστρέψτε τώρα τη βελόνα πολύ αργά γύρω από τον αγωγό σημειώνοντας τις θέσεις που ισορροπεί. Σχεδιάστε τις διαδοχικές θέσεις της βελόνας στο τετράδιό σας, και σχολιάστε το αποτέλεσμα. Πραγματοποιήστε το πείραμα για διάφορα μήκη του νήματος.

Σε κάθε θέση ισορροπίας, ο κατά μήκος άξονας της βελόνας, είναι κάθετος στο μονωτικό νήμα; Εξηγήστε τι σημαίνει αυτό.

Απομακρύνετε τώρα τη βελόνα και απλώστε πάνω στο χαρτόνι ρινίσματα σιδήρου. Συγκρίνετε τώρα την εικόνα που φτιάξατε στο χαρτί σας ζωγραφίζοντας τις διαδοχικές θέσεις της βελόνας με την εικόνα που βλέπετε με τα ρινίσματα σιδήρου.

Τι συμπεραίνετε, μήπως η μαγνητική βελόνα ισορροπεί σε θέσεις εφαπτομενικές των κύκλων που δημιουργούν τα ρινίσματα σιδήρου;

## ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 4 (ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ)

Φτιάξτε ένα κύκλωμα που να περιλαμβάνει μια μπαταρία 6 Volt, ένα διακόπτη μια μικρή λάμπα και ηλεκτρικά μονωμένα χάλκινα σύρματα. Όταν το κύκλωμα είναι ανοικτό τοποθετείτε μια μαγνητική βελόνα αποκλίσεως, έτσι ώστε να ισορροπεί παράλληλα στον αγωγό ΑΓ, πάνω ή κάτω από αυτόν, σε μικρή σχετικά απόσταση από αυτόν. Να κάνετε τα παρακάτω βήματα και κάθε φορά να σημειώνετε αυτό που παρατηρείτε δίνοντας μια μικρή εξήγηση. Μπορείτε μάλιστα αντί μαγνητικής βελόνας να χρησιμοποιήσετε μια απλή βελόνα κρεμασμένη από ένα κατακόρυφο νήμα. Η βελόνα θα μαγνητιστεί οπότε θα συμπεριφέρεται το ίδιο.

**Βήμα 1<sup>ο</sup>.** Κλείστε το διακόπτη και σημειώστε προς τα πού θα αποκλίνει η βελόνα;

**Βήμα 2<sup>ο</sup>.** Βάλτε ένα όμοιο λαμπτήρα παράλληλα σε αυτόν που έχετε.

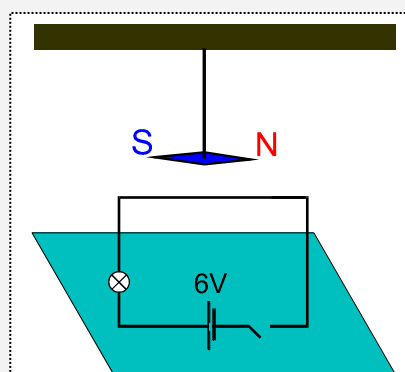
Η απόκλιση της βελόνας θα αυξηθεί ή θα μειωθεί; Ή μήπως η βελόνα θα αποκλίνει προς την αντίθετη κατεύθυνση;

Τι από τα παραπάνω θα συμβεί αν τοποθετείτε τους λαμπτήρες σε σειρά;

**Βήμα 3<sup>ο</sup>.** Βάλτε μια όμοια μπαταρία σε σειρά, συνδέοντας τον θετικό πόλο της με τον αρνητικό της άλλης και κλείστε το διακόπτη. Τώρα η απόκλιση της βελόνας θα γίνει μεγαλύτερη; μικρότερη; ή δεν θα αλλάξει; σε σχέση με την απόκλιση που είχε με την μία μπαταρία;

**Βήμα 4<sup>ο</sup>.** Στο κύκλωμα του 3ου βήματος. Απομακρύνετε αργά την βελόνα κινώντας την προς τα πάνω ή προς τα κάτω αντίστοιχα. Τι παρατηρείτε; Σχολιάστε αυτό που θα δείτε.

**Βήμα 5<sup>ο</sup>.** Στο κύκλωμα του 3ου βήματος αντιστρέψτε την πολικότητα της συστοιχίας των δύο μπαταριών. Τι θα συμβεί στην απόκλιση της



Σχ. 24 Η μαγνητική βελόνα είναι παράλληλη στον αγωγό και δείχνει Βορά Νότο, υπό την επίδραση μόνο του μαγνητικού πεδίου της Γης. Ο διακόπτης του κυκλώματος είναι ανοικτός.

βελόνας;

**Βήμα 6<sup>ο</sup>.** Φτιάξτε ένα πρακτικό κανόνα με τον οποίο να συνδέεται η απόκλιση της βελόνας και η φορά του ρεύματος, εκμεταλλευόμενοι τις παρατηρήσεις που κάνατε. (κανόνα του δεξιού χεριού).

**Βήμα 7<sup>ο</sup>.** Φτιάξτε τώρα δύο όμοια κυκλώματα με αυτό που φτιάξατε στο 1ο βήμα. Τα δύο ρευματοφόρα σύρματα ΑΓ και Α'Γ' τοποθετείστε τα παράλληλα και κλείστε τους διακόπτες. Α) Αν τα ρεύματα είναι παράλληλα και ομόρροπα τι παρατηρείτε; μεγαλώνει η απόκλιση της βελόνας; Β) Αν τα ρεύματα που διαρρέουν τους αγωγούς ΑΓ και Α'Γ' είναι αντίρροπα, τι θα συμβεί στην απόκλιση της βελόνας; Θα μειωθεί μήπως;

## Ασκήσεις αυτοαξιολόγησης

1. Το μαγνητικό πεδίο ενός ευθύγραμμου αγωγού θα το ονομάζατε: A. ομογενές B. ανομοιογενές.

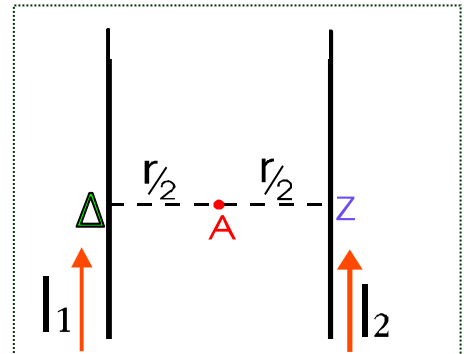
Θυμηθείτε τα αντίστοιχα από το ηλεκτρικό πεδίο

2. Ποιες οι διαφορές και οι ομοιότητες των μαγνητικών και των ηλεκτρικών πεδιακών γραμμών;
3. Γιατί οι δυναμικές γραμμές δεν μπορεί να τέμνονται;
4. Δίνονται δύο παράλληλοι αγωγοί Δ και Ζ μεγάλου μήκους. Πού βρίσκονται σε απόσταση  $r$  μεταξύ τους και σε κενό χώρο. Οι αγωγοί διαρρέονται από ρεύματα  $I_1 = I_2 = I$  αντίστοιχα και ότι ισχύει  $2(\mathbf{A}\Delta) = \mathbf{A}\mathbf{Z}$ . Δίνεται η απόσταση  $r$  και η σταθερά  $K_m$ .

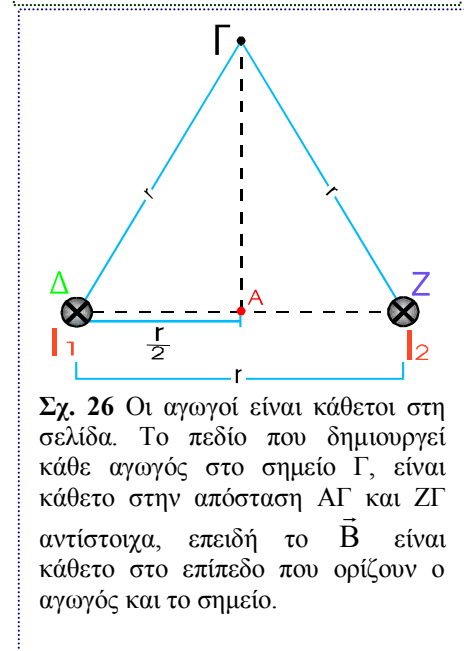
A. Να βρείτε την ένταση του μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται από τους δύο αυτούς αγωγούς στο σημείο A.

B. Να βρείτε την ένταση του μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται σε σημείο Γ που βρίσκεται επί της μεσοκαθέτου του ευθυγράμμου τμήματος ΔΖ και είναι τέτοιο ώστε  $\Delta\Gamma = \mathbf{Z}\Gamma = \Delta\mathbf{Z} = r$ .

Γ. Δίνεται ότι οι αγωγοί είναι ηλεκτρικά μονωμένοι. Τους πλησιάζουμε τόσο ώστε να μηδενίσουμε τη μεταξύ τους απόσταση. Ποια μορφή θα έχει το μαγνητικό πεδίο γύρω από αυτούς, όταν διαρρέονται από αντίρροπα ρεύματα; Μπορείτε να εξηγήσετε, γιατί, όταν θέλουμε να εξουδετερώσουμε τα μαγνητικά πεδία που δημιουργούν δύο ρευματοφόρα ,ηλεκτρικά μονωμένα σύρματα, με αντίθετης φοράς ρεύματα, τα κάνουμε πλεξίδα;



Σχ. 25 Οι παράλληλοι ρευματοφόροι αγωγοί βρίσκονται πάνω στο επίπεδο της σελίδας.



Σχ. 26 Οι αγωγοί είναι κάθετοι στη σελίδα. Το πεδίο που δημιουργεί κάθε αγωγός στο σημείο Γ, είναι κάθετο στην απόσταση ΑΓ και ΖΓ αντίστοιχα, επειδή το  $\vec{B}$  είναι κάθετο στο επίπεδο που ορίζουν ο αγωγός και το σημείο.

## ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ ΕΝΟΤΗΤΑΣ

- Οι ρευματοφόροι αγωγοί δημιουργούν μαγνητικά πεδία.
- Μαγνητικό πεδίο B: Ονομάζουμε την ιδιότητα που αποκτά ο χώρος γύρω από το ρευματοφόρο αγωγό ή το μαγνήτη, δηλαδή, να ασκεί δυνάμεις σε ρινίσματα σιδήρου ή να εκτρέπει τη μαγνητική βελόνα .
- Η τιμή του πεδίου B σε ένα σημείο λέγεται και μαγνητική επαγωγή B, αλλά και ένταση B του μαγνητικού πεδίου.
- Το μαγνητικό πεδίο όπως και το ηλεκτρικό έχει διανυσματικό χαρακτήρα.
- Μπορούμε να περιγράψουμε ένα μαγνητικό πεδίο με τις γραμμές του.
- Οι δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου, είναι νοητές γραμμές που σε κάθε σημείο τους το διάνυσμα της έντασης είναι εφαπτόμενο.
- Οι δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου ενός ευθύγραμμου ρευματοφόρου αγωγού, είναι κύκλοι ομόκεντροι και βρίσκονται σε επίπεδα κάθετα στον αγωγό. Η ένταση στο σημείο A, είναι κάθετη στο επίπεδο που ορίζεται από τον αγωγό και το σημείο A και φυσικά εφαπτόμενη της δυναμικής γραμμής στο σημείο αυτό
- Η μαθηματική σχέση η οποία δίνει την τιμή της έντασης του μαγνητικού πεδίου σε οποιοδήποτε σημείο γύρω από τον αγωγό είναι  $B=K_{\mu}2I/r$ .