

Μαγνητικά φαινόμενα: Σύντομη ιστορική αναδρομή

13ος αιώνας π.Χ.: Οι Κινέζοι χρησιμοποιούσαν την πυξίδα. Η πυξίδα διαθέτει μαγνητική βελόνα (πιθανότατα επινόηση των Αράβων ή των Ινδών).

800 π.Χ.: Έλληνες ανακάλυψαν ότι το ορυκτό μαγνητίτης (Fe_3O_4) έλκει κομμάτια σιδήρου.

1269: Ο Pierre de Maricourt (Γάλλος φυσιοδίφης) διαπίστωσε ότι οι κατευθύνσεις που έπαιρνε μια βελόνα κοντά σε έναν σφαιρικό φυσικό μαγνήτη σχημάτιζαν γραμμές οι οποίες περιέγραφαν (περικύκλωναν) τη σφαίρα. Οι γραμμές διέρχονταν επίσης από δύο σημεία εκ διαμέτρου αντίθετα μεταξύ τους. Τα σημεία αυτά τα ονόμασε πόλους.

1600: William Gilbert (Άγγλος φυσιοδίφης), επέκτεινε τα πειράματα του de Maricourt σε διάφορα υλικά. Διατύπωσε μάλιστα την ιδέα ότι η ίδια η Γη είναι ένας μεγάλος μόνιμος μαγνήτης.

1750: Πειράματα έδειξαν ότι μεταξύ των μαγνητικών πόλων αναπτύσσονται ελκτικές ή απωστικές δυνάμεις.

1820: Ο Hans Christian Oersted (Δανός φυσικός) ανακάλυψε ότι ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί να εκτρέψει τη βελόνα μιας πυξίδας. Ανακάλυψε τη σχέση μεταξύ του ηλεκτρισμού και του μαγνητισμού. Ήταν ο πρώτος που απέδειξε τη σχέση μεταξύ των ηλεκτρικών και των μαγνητικών φαινομένων.

Δεκαετία 1820-1830: Οι M. Faraday και J. Henry ανακάλυψαν και άλλες σχέσεις μεταξύ του ηλεκτρισμού και του μαγνητισμού. Ανακάλυψαν ότι κάθε μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο δημιουργεί (μεταβαλλόμενο) ηλεκτρικό πεδίο.

1865: Ο Maxwell ανακάλυψε ότι κάθε μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο δημιουργεί (μεταβαλλόμενο) μαγνητικό πεδίο, και έδωσε τις εξισώσεις που περιγράφουν τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα.

Μαγνητικοί πόλοι

Κάθε μαγνήτης, ανεξάρτητα από το σχήμα του, έχει δύο πόλους:

Τον βόρειο πόλο (B) και τον νότιο πόλο (N).

Μεταξύ των πόλων αναπτύσσονται δυνάμεις. Οι δυνάμεις αυτές είναι παρόμοιες με εκείνες που αναπτύσσονται μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων.

- Μεταξύ όμοιων πόλων (B-B ή N-N) αναπτύσσονται απωστικές δυνάμεις.
 - Μεταξύ αντίθετων πόλων (B-N) αναπτύσσονται ελκτικές δυνάμεις.
- Η δύναμη που αναπτύσσεται μεταξύ δύο πόλων είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της μεταξύ τους απόστασης.

Οι πόλοι πήραν τα ονόματά τους λόγω του τρόπου με τον οποίο συμπεριφέρεται ένας μαγνήτης που βρίσκεται στο μαγνητικό πεδίο της Γης.

Αν αναρτήσουμε έναν ραβδόμορφο μαγνήτη από ένα νήμα έτσι ώστε να μπορεί να κινείται ελεύθερα, τότε θα περιστραφεί. Ο βόρειος μαγνητικός πόλος θα δείξει προς τον βόρειο γεωγραφικό πόλο της Γης.

Άρα, ο βόρειος γεωγραφικός πόλος της Γης είναι μαγνητικός νότιος πόλος και ο νότιος γεωγραφικός πόλος της Γης είναι μαγνητικός βόρειος πόλος.

Οι μαγνητικοί πόλοι απαντώνται πάντα σε ζεύγη. Όσες φορές και να τεμαχίσουμε έναν μόνιμο μαγνήτη σε δύο κομμάτια, καθένα τους πάντα έχει έναν βόρειο και έναν νότιο πόλο.

Δεν έχει βρεθεί ποτέ στη φύση ένας μεμονωμένος βόρειος ή νότιος μαγνητικός πόλος.

Όλες οι μέχρι σήμερα προσπάθειες για να βρεθεί μεμονωμένος μαγνητικός πόλος έχουν αποβεί άκαρπες.

Μαγνητικά πεδία

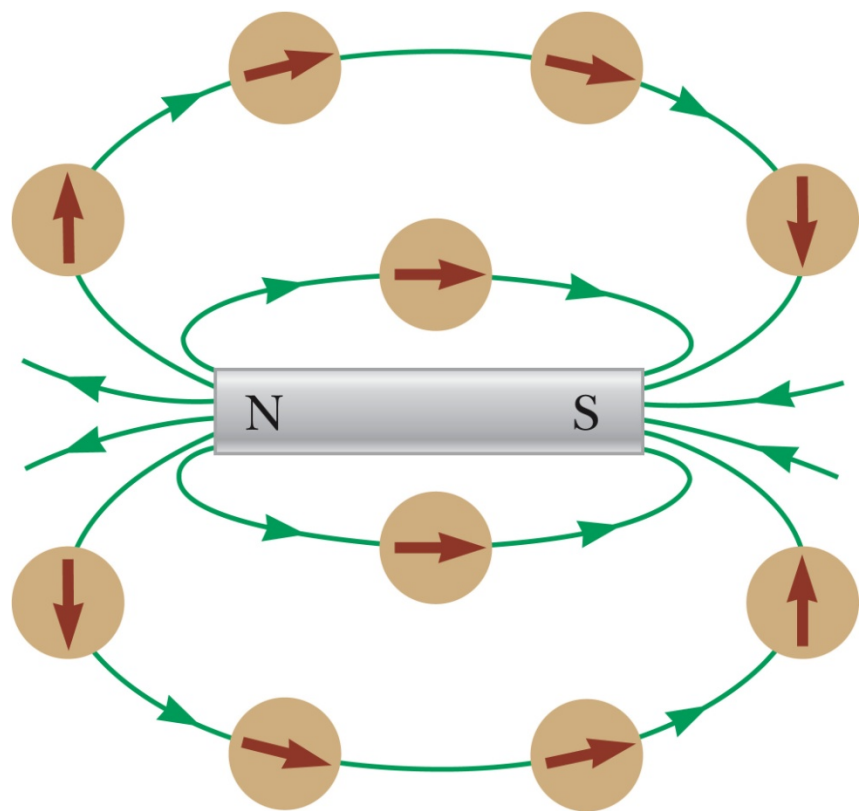
Μαγνητικό πεδίο περιβάλλει το μαγνητικό υλικό από το οποίο αποτελείται κάθε μόνιμος μαγνήτης. Επίσης, εκτός από το ηλεκτρικό πεδίο, στον χώρο γύρω από κάθε κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο υπάρχει και μαγνητικό πεδίο.

Το μαγνητικό πεδίο \vec{B} είναι διανυσματικό μέγεθος.

Μπορούμε να σχεδιάσουμε τις γραμμές του μαγνητικού πεδίου ενός ραβδόμορφου μαγνήτη χρησιμοποιώντας μια πυξίδα.

Η κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου σε ένα σημείο είναι η κατεύθυνση προς την οποία δείχνει ο βόρειος πόλος της βελόνας μιας πυξίδας στο συγκεκριμένο σημείο.

Σ' ένα ραβδόμορφο μαγνήτη οι γραμμές που βρίσκονται εκτός του μαγνήτη έχουν κατεύθυνση από τον βόρειο προς τον νότιο μαγνητικό πόλο.

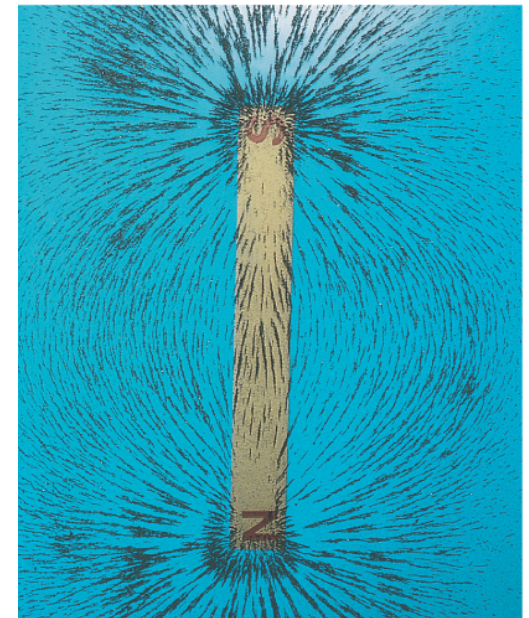


Οι γραμμές του μαγνητικού πεδίου ενός ραβδόμορφου μαγνήτη

Για να αποτυπώσουμε τη μορφή των γραμμών του μαγνητικού πεδίου, χρησιμοποιούμε ρινίσματα σιδήρου.

Το πεδίο έχει κατεύθυνση από τον βόρειο προς τον νότιο μαγνητικό πόλο.

Η μορφή του μαγνητικού πεδίου γύρω από έναν ραβδόμορφο μαγνήτη.



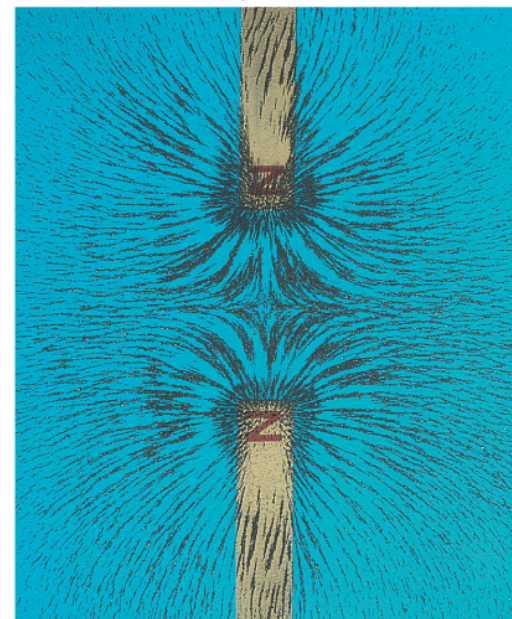
(α)

Η μορφή του μαγνητικού πεδίου που σχηματίζεται μεταξύ αντίθετων πόλων (N-S) δύο ραβδόμορφων μαγνητών.



(β)

Η μορφή του μαγνητικού πεδίου που σχηματίζεται μεταξύ όμοιων πόλων (N-N) δύο ραβδόμορφων μαγνητών.



(γ)

Το μαγνητικό πεδίο της Γης

Η διαμόρφωση του μαγνητικού πεδίου της Γης μοιάζει πολύ με αυτή που θα δημιουργούσε ένας γιγάντιος ραβδόμορφος μαγνήτης στο εσωτερικό του πλανήτη μας.

Η πηγή του γήινου μαγνητικού πεδίου είναι πιθανότατα τα ρεύματα μεταφοράς στον πυρήνα της Γης.

Υπάρχουν επίσης σημαντικά στοιχεία που δείχνουν ότι το μέτρο του μαγνητικού πεδίου ενός πλανήτη σχετίζεται με την ταχύτητα περιστροφής του πλανήτη.

Η κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου της Γης αντιστρέφεται κατά περιόδους.



Ορισμός του μαγνητικού πεδίου

Το μαγνητικό πεδίο σε κάποιο σημείο του χώρου ορίζεται συναρτήσει της μαγνητικής δύναμης, \vec{F}_B , που ασκείται σε ένα φορτισμένο σωματίδιο που βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο και κινείται με ταχύτητα \vec{v} :
$$\vec{F}_B = q \vec{v} \times \vec{B}.$$

Αυτή είναι η εξίσωση ορισμού του μαγνητικού πεδίου.

Η μονάδα μέτρησης του μαγνητικού πεδίου στο σύστημα SI είναι το Tesla (T).

$$T = \frac{N}{C \cdot (m/s)} = \frac{N}{A \cdot m} = \frac{Wb}{m^2}$$

(Wb είναι το Weber – μονάδα μαγνητικής ροής). Μια μονάδα που δεν ανήκει στο σύστημα SI, αλλά χρησιμοποιείται συχνά, είναι το Gauss (G). $1T = 10^4 G$

Μαγνητικό πεδίο στην επιφάνεια της Γης $\sim 0.3-0.5 G$

Μαγνητικό πεδίο στις κηλίδες του Ήλιου: $\sim 0.15 T$

Ισχυρός ηλεκτρομαγνήτης: $2 - 7 T$.

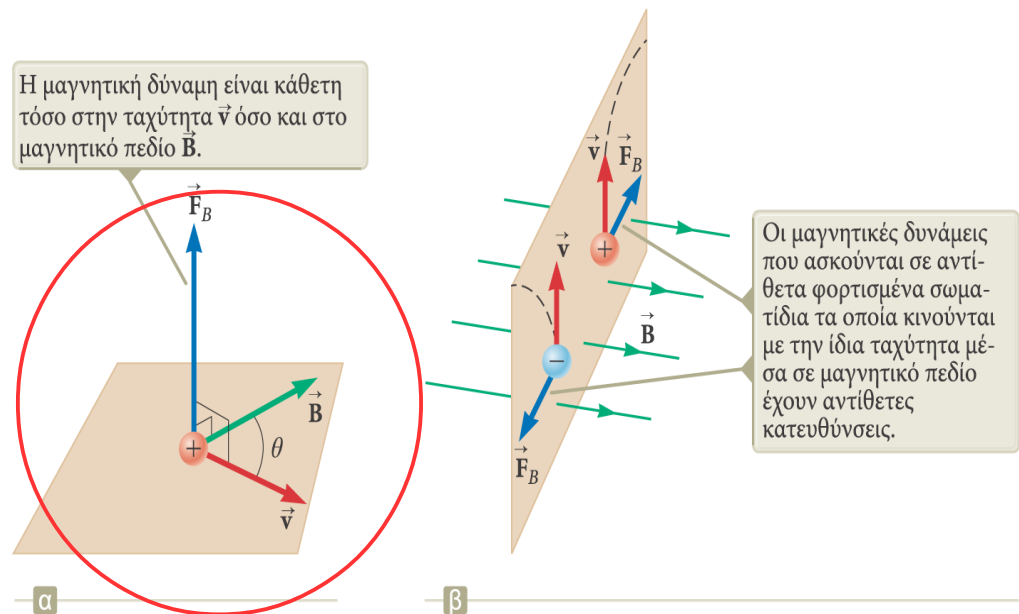
Ιδιότητες της μαγνητικής δύναμης που δέχεται ένα φορτισμένο σωματίδιο που κινείται σε ένα μαγνητικό πεδίο

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}.$$

- Μαγνητική δύναμη ασκείται σε ηλεκτρικό φορτίο μόνο όταν κινείται.
- Το μέτρο της μαγνητικής δύναμης που δέχεται ένα κινούμενο φορτισμένο σωματίδιο είναι $F_B = |q| v B \sin\theta$ (θ είναι η γωνία που σχηματίζουν τα διανύσματα της ταχύτητας και του πεδίου).
- Το μέτρο της μαγνητικής δύναμης F_B είναι μηδενικό όταν τα διανύσματα του πεδίου και της ταχύτητας είναι παράλληλα ή αντιπαράλληλα $\theta = 0$ ή 180° .
- Το μέτρο της μαγνητικής δύναμης F_B είναι μέγιστο όταν τα διανύσματα του πεδίου και της ταχύτητας είναι κάθετα μεταξύ τους: $\theta = 90^\circ$

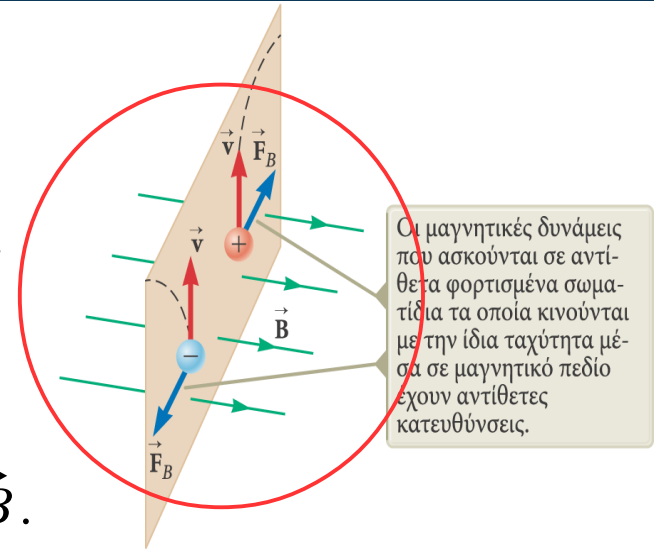
- Η μαγνητική δύναμη ασκείται σε διεύθυνση κάθετη στο πεδίο, και στο διάνυσμα ταχύτητας.
- Η μαγνητική δύναμη είναι κάθετη στην ταχύτητα, και άρα κάθετη στη μετατόπιση του σημείου εφαρμογής της, οπότε δεν παράγει έργο (στην περίπτωση ομογενούς μαγνητικού πεδίου).

$$\vec{F}_B = q \vec{v} \times \vec{B}.$$



Η μαγνητική δύναμη που δέχεται ένα θετικό φορτίο έχει κατεύθυνση αντίθετη από αυτή της μαγνητικής δύναμης που δέχεται ένα αρνητικό φορτίο το οποίο κινείται προς την ίδια κατεύθυνση.

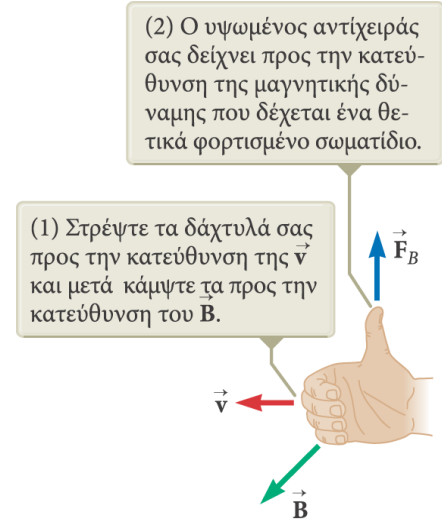
$$\vec{F}_B = q \vec{v} \times \vec{B}.$$



Για να βρούμε τη φορά του μαγνητικού πεδίου χρησιμοποιούμε τον κανόνα του δεξιού χεριού για το εξωτερικό γινόμενο.

Αν το φορτίο q είναι θετικό, ο αντίχειρας δείχνει προς την κατεύθυνση της δύναμης.

Αν το φορτίο q είναι αρνητικό, τότε η δύναμη έχει κατεύθυνση αντίθετη από αυτή του αντίχειρα.



Διαφορές μεταξύ του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου

Η διεύθυνση της δύναμης:

- Η ηλεκτρική δύναμη ασκείται κατά μήκος της διεύθυνσης του ηλεκτρικού πεδίου.
- Η μαγνητική δύναμη ασκείται κάθετα στη διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου.

Κίνηση:

- Η ηλεκτρική δύναμη επιδρά σε ένα φορτισμένο σωματίδιο είτε αυτό κινείται είτε όχι.
- Η μαγνητική δύναμη ασκείται σε ένα φορτισμένο σωματίδιο μόνο όταν αυτό κινείται.

Έργο:

- Κατά τη μετατόπιση ενός φορτισμένου σωματιδίου, η ηλεκτρική δύναμη παράγει έργο.
- Κατά τη μετατόπιση ενός φορτισμένου σωματιδίου, η μαγνητική δύναμη ενός σταθερού μαγνητικού πεδίου δεν παράγει έργο, επειδή η δύναμη είναι κάθετη στη μετατόπιση του σημείου εφαρμογής της.

Η κινητική ενέργεια ενός φορτισμένου σωματιδίου που κινείται μέσα σε ένα σταθερό μαγνητικό πεδίο **δεν** μπορεί να μεταβληθεί λόγω της επίδρασης μόνο του μαγνητικού πεδίου. Το πεδίο μπορεί να αλλάξει την κατεύθυνση της ταχύτητας, αλλά όχι το μέτρο της ταχύτητας.

Φορτισμένο σωματίδιο μέσα σε μαγνητικό πεδίο

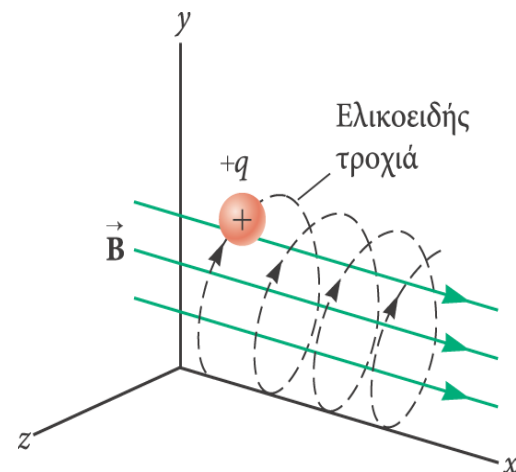
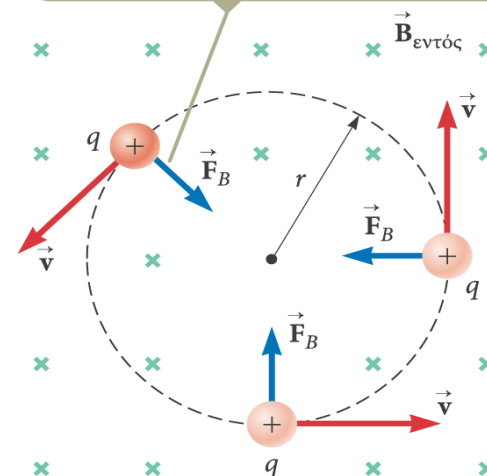
Θεωρούμε ένα σωματίδιο το οποίο κινείται μέσα σε ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο με ταχύτητα κάθετη στο πεδίο.

Η δύναμη αυτή έχει πάντα κατεύθυνση προς το κέντρο της κυκλικής τροχιάς.

Η μαγνητική δύναμη δημιουργεί κεντρομόλο επιτάχυνση, η οποία αλλάζει την κατεύθυνση της ταχύτητας του σωματιδίου.

Αν ένα φορτισμένο σωματίδιο κινείται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο με ταχύτητα η οποία σχηματίζει τυχαία γωνία με το πεδίο, τότε διαγράφει ελικοειδή τροχιά.

Η μαγνητική δύναμη \vec{F}_B που ασκείται στο φορτίο έχει πάντα κατεύθυνση προς το κέντρο του κύκλου.



Φορτισμένο σωματίδιο σε μη ομογενές μαγνητικό πεδίο

Η κίνηση του σωματιδίου είναι πολύπλοκη.

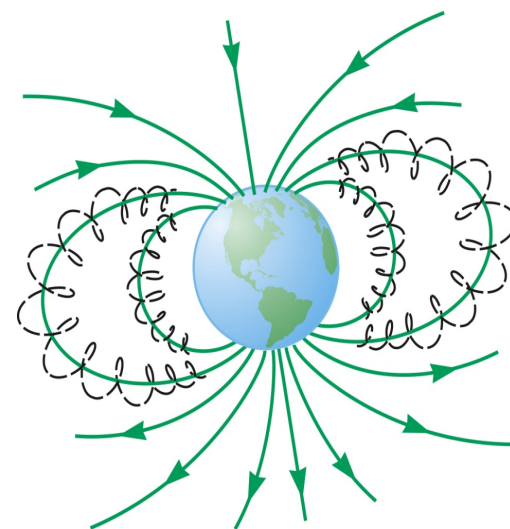
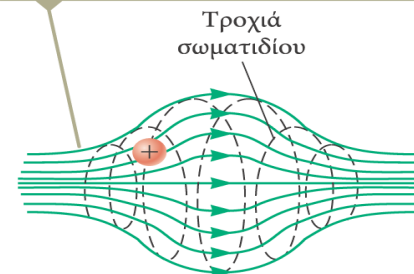
Για παράδειγμα, κίνηση φορτισμένου σωματιδίου στο μαγνητικό πεδίο του σχήματος. Το σωματίδιο ταλαντώνεται μεταξύ των δύο ακραίων θέσεων, όπου το πεδίο είναι ισχυρό. Η διάταξη αυτή ονομάζεται *μαγνητική φιάλη*.

Ζώνες ακτινοβολίας Van Allen: αποτελούνται από φορτισμένα σωματίδια που περιβάλλουν τη Γη σε δύο περιοχές σχήματος τόρου.

Τα σωματίδια είναι παγιδευμένα στο μη ομογενές μαγνητικό πεδίο της Γης.

Τα σωματίδια κινούνται σπειροειδώς από τον ένα πόλο στον άλλο.

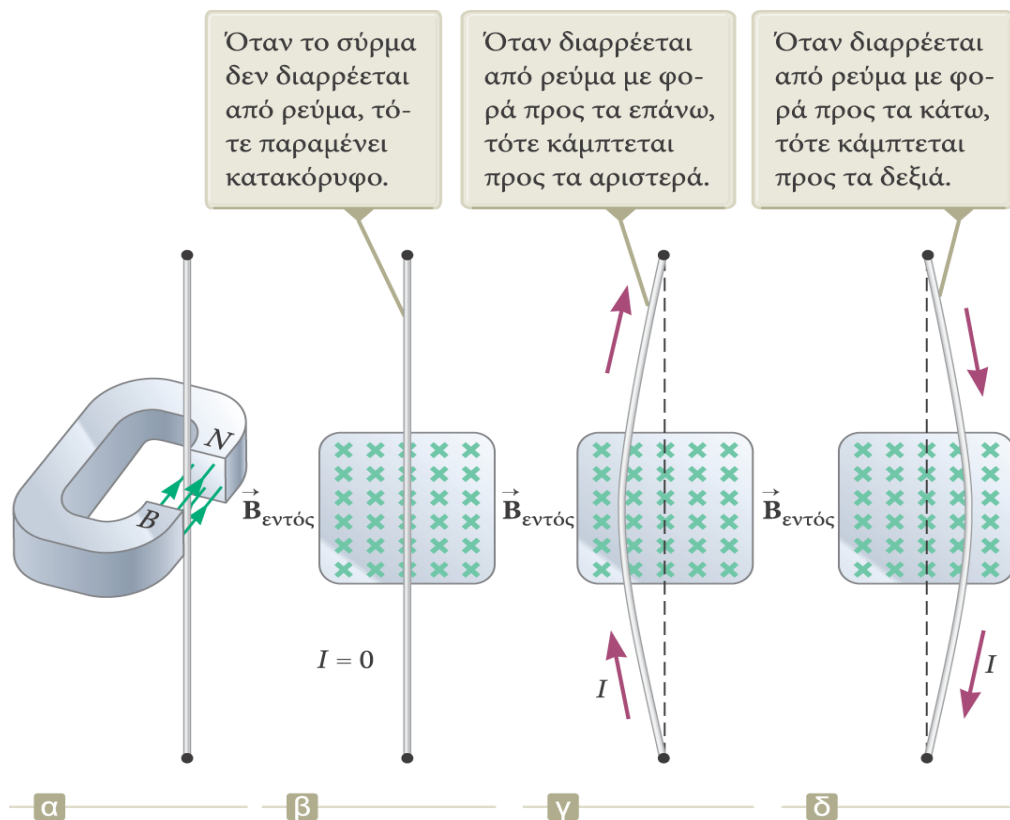
Η μαγνητική δύναμη που ασκείται στο σωματίδιο όταν βρίσκεται κοντά σε οποιοδήποτε από τα δύο άκρα της φιάλης έχει συνιστώσα που το αναγκάζει να κινηθεί σπειροειδώς πάλι προς το κέντρο.



Η μαγνητική δύναμη που δέχεται ένας ρευματοφόρος αγωγός

Το ρεύμα σ' ένα αγωγό είναι ένα σύνολο πολλών κινούμενων φορτισμένων σωματιδίων. Επομένως, σε ρευματοφόρο σύρμα, το οποίο βρίσκεται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο, ασκείται δύναμη.

Η κατεύθυνση της δύναμης προσδιορίζεται με τον κανόνα του δεξιού χεριού.



Το φαινόμενο Hall

Όταν ένας ρευματοφόρος αγωγός τοποθετηθεί μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο, τότε δημιουργείται διαφορά δυναμικού σε διεύθυνση κάθετη τόσο προς το ρεύμα όσο και προς το μαγνητικό πεδίο.

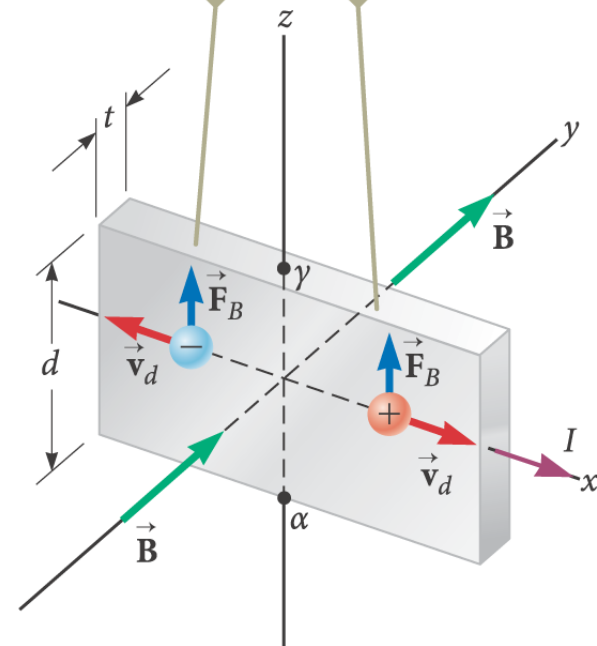
Αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό ως *φαινόμενο Hall*.

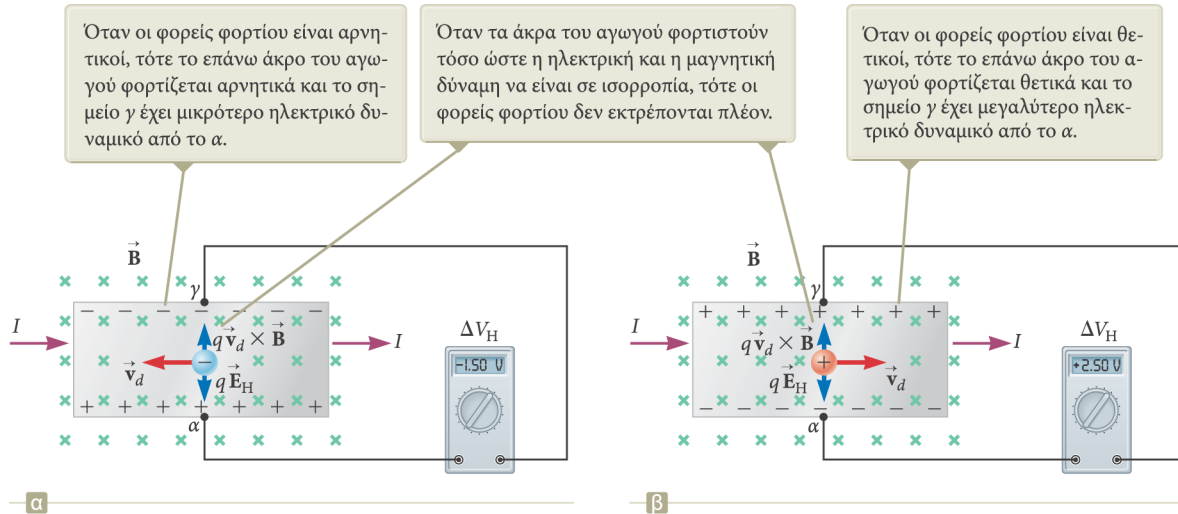
Είναι αποτέλεσμα της εκτροπής των φορέων φορτίου προς μια πλευρά του αγωγού λόγω των μαγνητικών δυνάμεων που δέχονται.

Το φαινόμενο Hall μας επιτρέπει να προσδιορίσουμε το πρόσημο των φορέων φορτίου και την πυκνότητά τους.

Μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε και για τη μέτρηση μαγνητικών πεδίων.

Όταν ο αγωγός διαρρέεται από ρεύμα I προς τη θετική κατεύθυνση του άξονα x και το \vec{B} είναι προσανατολισμένο προς τη θετική κατεύθυνση του άξονα y , τότε και οι θετικά και οι αρνητικά φορτισμένοι φορείς φορτίου εκτρέπονται προς τα επάνω στο μαγνητικό πεδίο.





Όταν οι φορείς φορτίου είναι αρνητικοί, δέχονται μια μαγνητική δύναμη με φορά προς τα επάνω, εκτρέπονται προς τα επάνω, και στο κάτω άκρο δημιουργείται πλεόνασμα θετικού φορτίου.

Αυτή η συσσώρευση φορτίου δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο στον αγωγό.

Το πεδίο αυξάνεται μέχρι η ηλεκτρική δύναμη να εξισορροπήσει τη μαγνητική.

Αν οι φορείς φορτίου είναι θετικοί, τότε στο κάτω άκρο δημιουργείται πλεόνασμα αρνητικού φορτίου.