

# Κεφάλαιο 27

## Μαγνητισμός



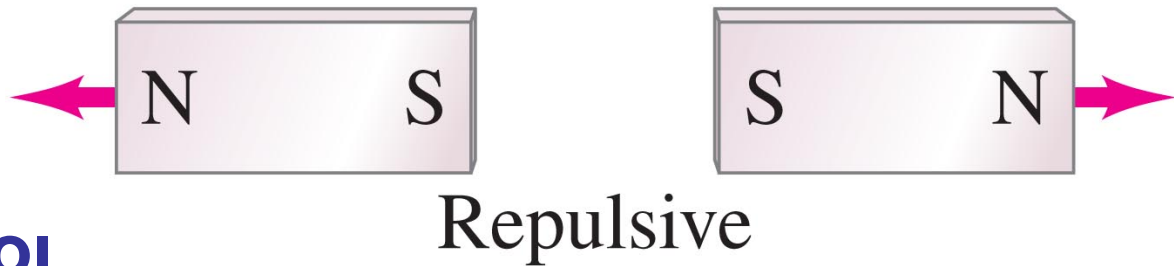
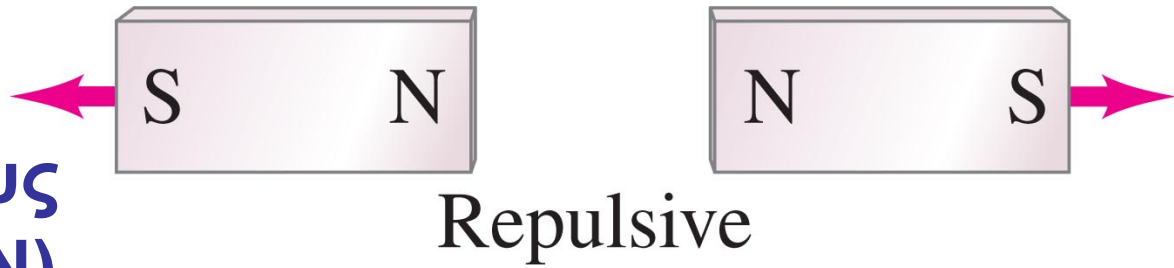
# Περιεχόμενα Κεφαλαίου 27

- Μαγνήτες και Μαγνητικά πεδία
- Τα ηλεκτρικά ρεύματα παράγουν μαγνητικά πεδία
- Μαγνητικές Δυνάμεις πάνω σε φορτισμένα σωματίδια.
- Η ροπή ενός βρόχου ρεύματος. Μαγνητική διπολική Ροπή.
- Εφαρμογές
- Το ηλεκτρόνιο
- Φασματογράφος Μάζας

# 27-1 Μαγνήτες και μαγνητικά πεδία

Οι Μαγνήτες έχουν δύο πόλους που τους ονομάζουμε North (N) και South (S)

Όμοιοι πόλοι απωθούνται ανόμοιοι έλκονται.



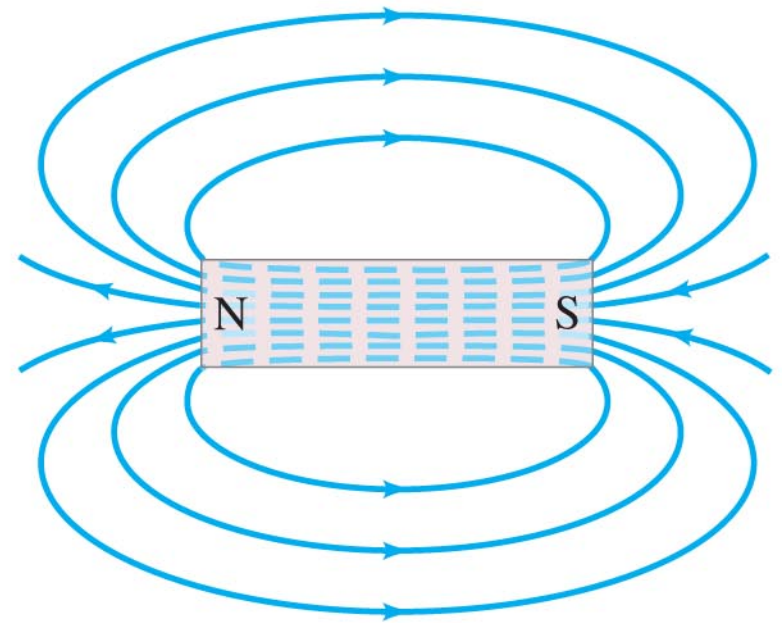
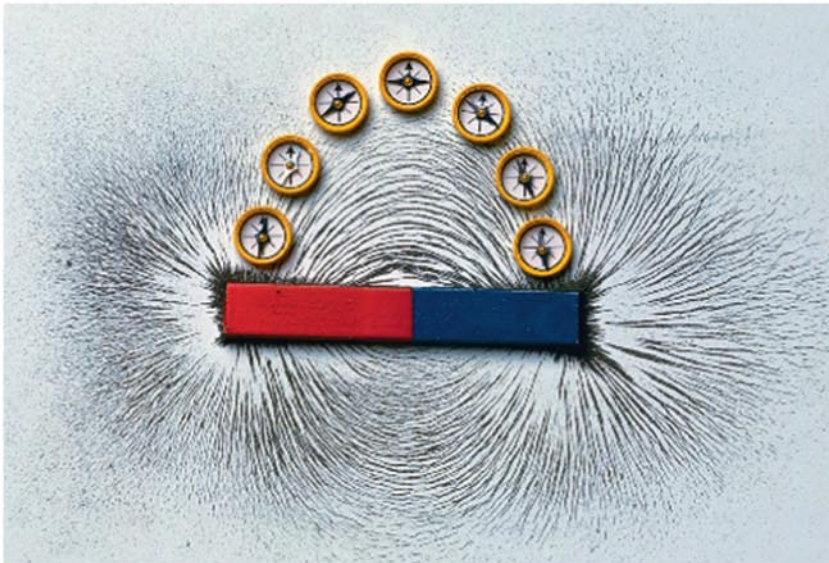
# 27-1 Μαγνήτες και Μαγνητικά Πεδία

Όσο και να διαιρέσουμε ένα μαγνήτη ΠΑΝΤΑ  
θα έχουμε ΔΥΟ ΠΟΛΟΥΣ N και S.



# 27-1 Μαγνήτες και Μαγνητικά Πεδία

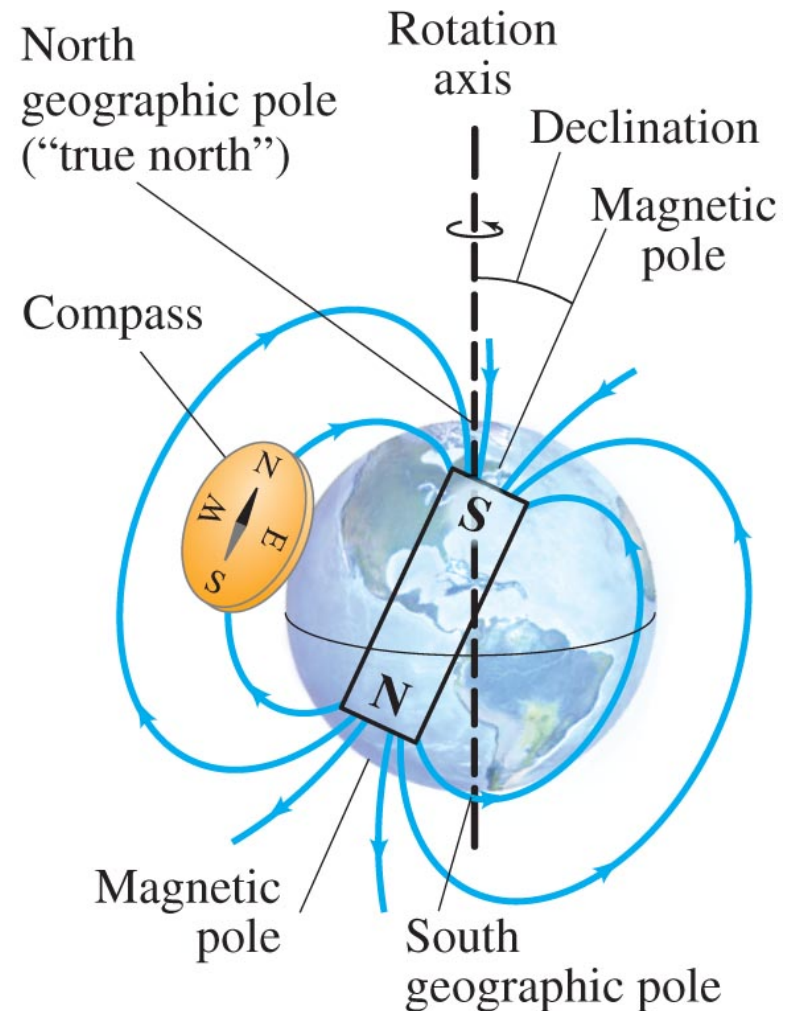
Τα Μαγνητικά πεδία μπορούν να αναπαρασταθούν από τις μαγνητικές γραμμές, που είναι πάντα κλειστοί βρόχοι.



# 27-1 Μαγνήτες και Μαγνητικά Πεδία

Η ΓΗ έχει μαγνητικό πεδίο ανάλογο με αυτό μιας μαγνητικής ράβδου.

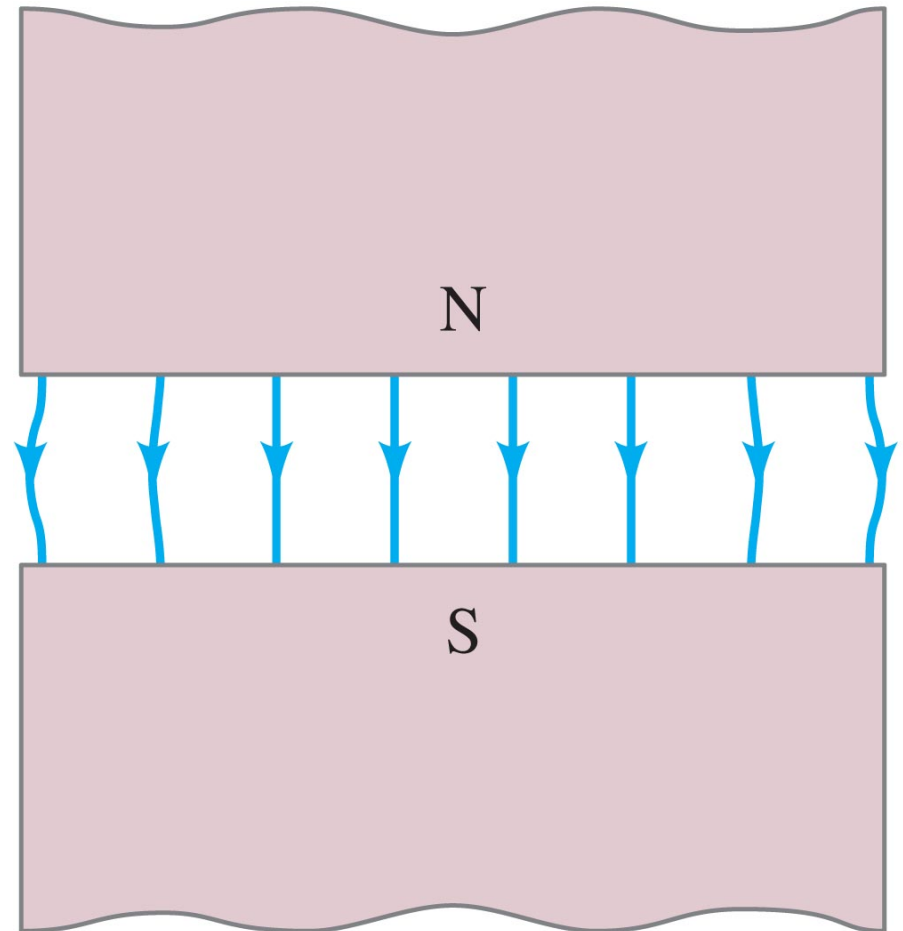
Ο Βόρειος Πόλος της Γης είναι στην ουσία όμως ο Νότιος (S) πόλος του μαγνήτη και αντίστροφα για τον Νότιο Πόλο.



# 27-1 Μαγνήτες και Μαγνητικά Πεδία

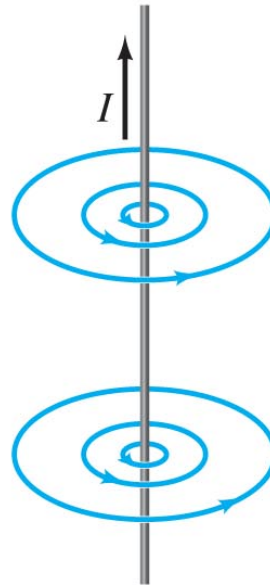
Ένα ομογενές μαγνητικό πεδίο έχει  
ισαπέχουσες και παράλληλες μαγνητικές  
γραμμές.

Ένα παράδειγμα  
ομογενούς μαγνητικού  
πεδίου είναι αυτό που  
σχηματίζουν δύο  
παράλληλοι και πολύ  
μεγάλων διαστάσεων  
πόλοι



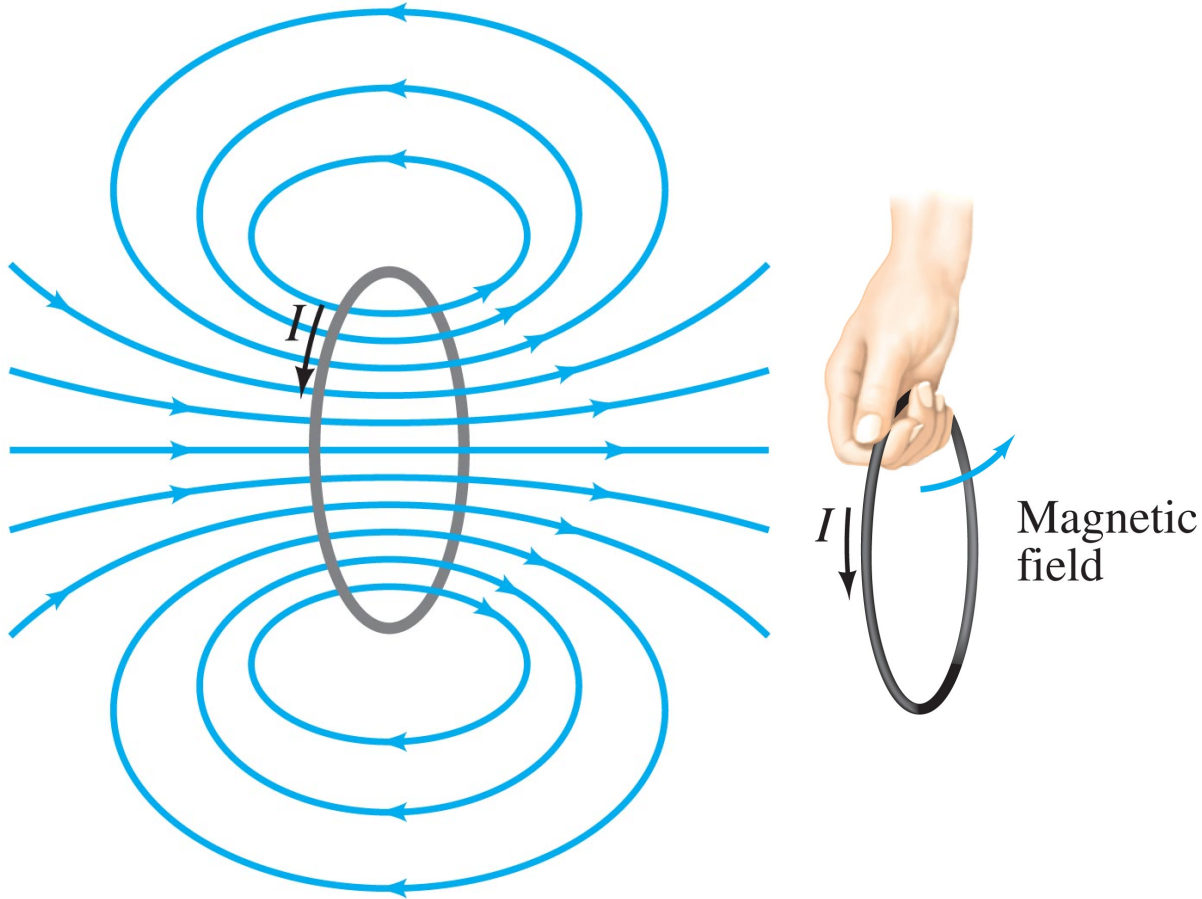
# 27-2 Ηλεκτρικά Ρεύματα παράγουν Μαγνητικά Πεδία

Πειραματικά έχουμε βρει ότι **ηλεκτρικά ρεύματα** παράγουν μαγνητικά πεδία. Η φορά του μαγνητικού πεδίου προσδιορίζεται από τον **κανόνα της δεξιάς παλάμης (ΚΔΠ)**.





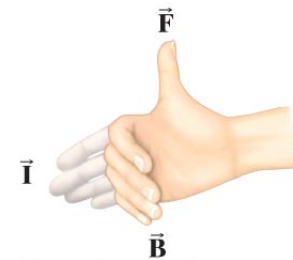
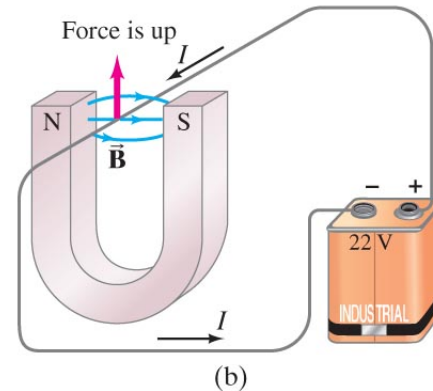
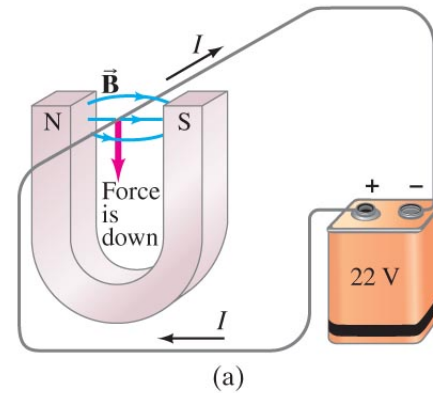
# 27-2 Ηλεκτρικά Ρεύματα παράγουν Μαγνητικά Πεδία



**Βλέπουμε εδώ  
το μαγνητικό  
πεδίο που  
παράγει ένας  
κυκλικός  
βρόχος**

# 27-3 Ορισμός του μαγνητικού Πεδίου $\vec{B}$

Ένας μαγνήτης ασκεί δύναμη πάνω σε ένα καλώδιο που φέρει ηλεκτρικό ρεύμα. Η διεύθυνση της δύναμης καθορίζεται από τα ΚΔΠ.



Η Μαγνητική δύναμη είναι ανάλογη του **Μαγνητικού πεδίου, του ρεύματος και του προσανατολισμού:**

$$F = I\ell B \sin \theta.$$

Η εξίσωση αυτή ορίζει και το μαγνητικό πεδίο  $\vec{B}$ .

Υπό μορφή διανυσματικού γινομένου γράφουμε :

$$\vec{F} = I\vec{\ell} \times \vec{B}.$$

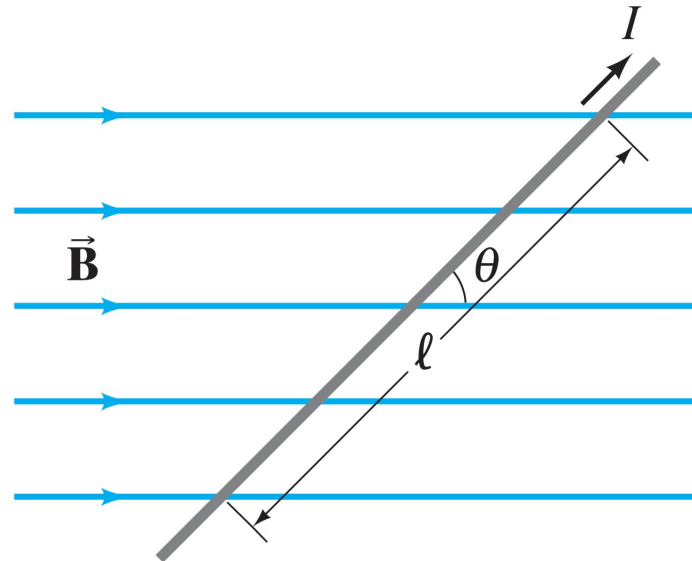
Μονάδες μαγνητικού πεδίου (SI) είναι τα tesla, T:

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

Αλλά συνηθέστερη μονάδα είναι τα gauss (G):

$$1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}.$$

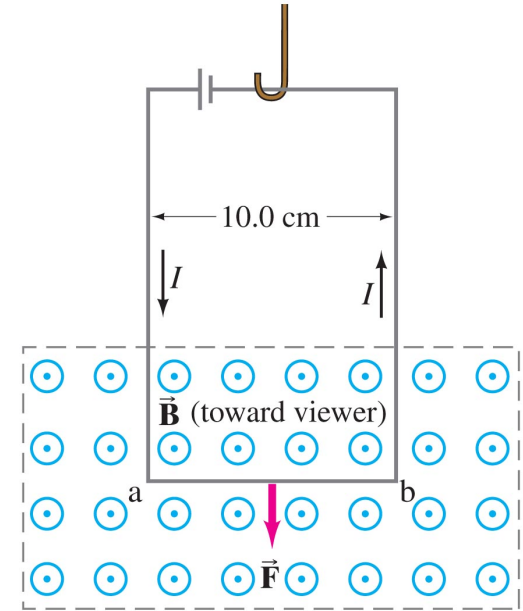
Ένα καλώδιο με ρεύμα 30-A και μήκος 12 cm βρίσκεται υπό γωνία  $\theta = 60^\circ$  μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο 0.90 T (βλ. σχήμα). Πόση είναι η μαγνητική δύναμη που ασκείται πάνω στο καλώδιο;



**ΛΥΣΗ**

$$F = 2.8 \text{ N}$$

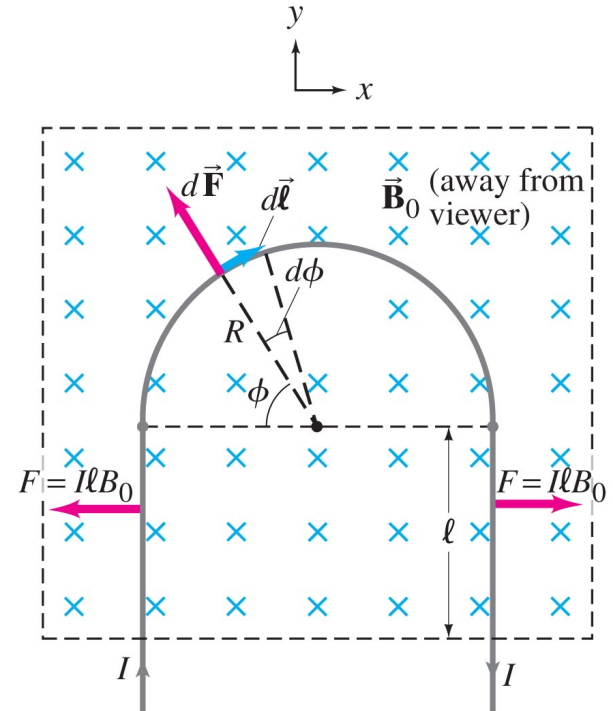
Η φορά ενός μαγνητικού πεδίου είναι κάθετη στη διαφάνεια με φορά προς τα έξω. Τμήμα καλωδίου  $ab$  (μήκους  $10.0\text{ cm}$ ) βρίσκεται κοντά στο κέντρο του πεδίου, ενώ ένα άλλο τμήμα είναι εκτός πεδίου και κρέμεται σε ζυγαριά (δυναμόμετρο) που μετράει δύναμη (πέραν του βάρους)  $F = 3.48 \times 10^{-2}\text{ N}$  όταν το ρεύμα του καλωδίου είναι  $I = 0.245\text{ A}$ . Πόση είναι η ένταση του μαγνητικού πεδίου  $B$ ?



**ΛΥΣΗ**

$$B = 1.42\text{ T}$$

Ένα άκαμπτο καλώδιο φέρει ρεύμα  $I$ , έχει ημικυκλικό σχήμα με ακτίνα  $R$  και δύο ευθύγραμμα τμήματα όπως στο σχήμα, και βρίσκεται εντός ομογενούς μαγνητικού πεδίου κάθετο στο επίπεδο με φορά προς τα μέσα  $\vec{B}_0$ . Ορίζουμε τους άξονες  $x$  και  $y$ , ενώ τα ευθύγραμμα τμήματα του καλωδίου βρίσκονται εντός του πεδίου. Βρείτε την συνολική δύναμη πάνω στο καλώδιο λόγω του πεδίου  $\vec{B}_0$ .



**ΛΥΣΗ**

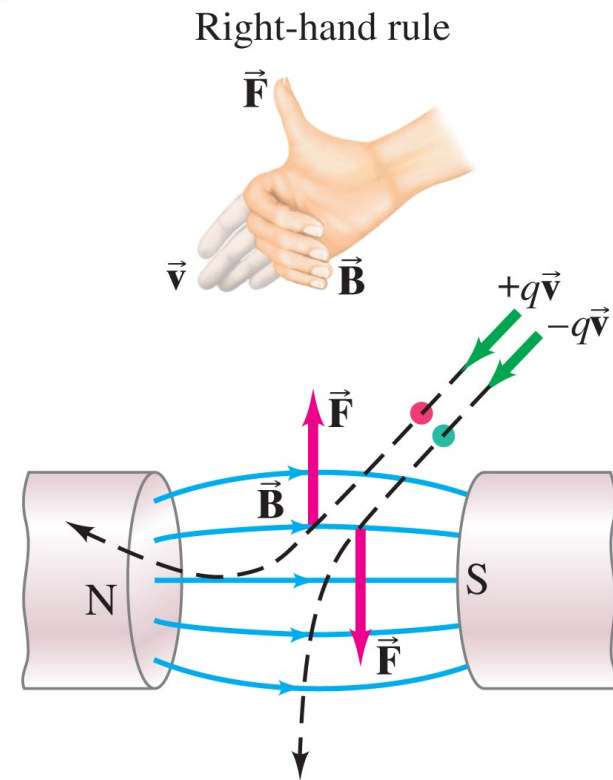
$$F = 2IB_0R$$

# 27-4 Κίνηση ηλεκτρικών φορτίων μέσα σε μαγνητικά πεδία

Η μαγνητική δύναμη πάνω σε ηλεκτρικό φορτίο δίδεται από τη σχέση

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

Η φορά της δύναμης προσδιορίζεται από ΚΔΠ.

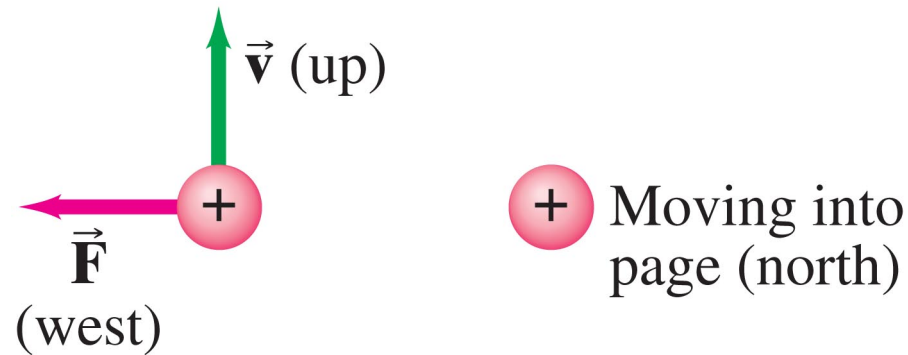


Ένα αρνητικό φορτίο  $-Q$  τοποθετείται, ακίνητο, πλησίον μαγνήτη. Πόση είναι η μαγνητική δύναμη και τι θα συμβεί εάν το φορτίο γίνει  $+Q$ ; Θα κινηθεί ή όχι το φορτίο;

**Εφόσον η ταχύτητα των φορτίων είναι μηδέν (ακίνητα) η μαγνητική δύναμη είναι ΜΗΔΕΝ επομένως τα φορτία παραμένουν στη θέση τους, καμιά κίνηση.**



Ένα μαγνητικό πεδίο ασκεί δύναμη  $8.0 \times 10^{-14} \text{ N}$  δυτικά, πάνω σε ένα πρωτόνιο που κινείται κατακόρυφα προς τα πάνω με ταχύτητα  $5.0 \times 10^6 \text{ m/s}$ . Όταν το πρωτόνιο κινείται οριζοντίως προς το βορά η δύναμη πάνω στο πρωτόνιο είναι μηδέν. Βρείτε το μέγεθος και τη διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου στην περιοχή. (Το φορτίο του πρωτονίου είναι  $q = +e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ .)



**ΛΥΣΗ**

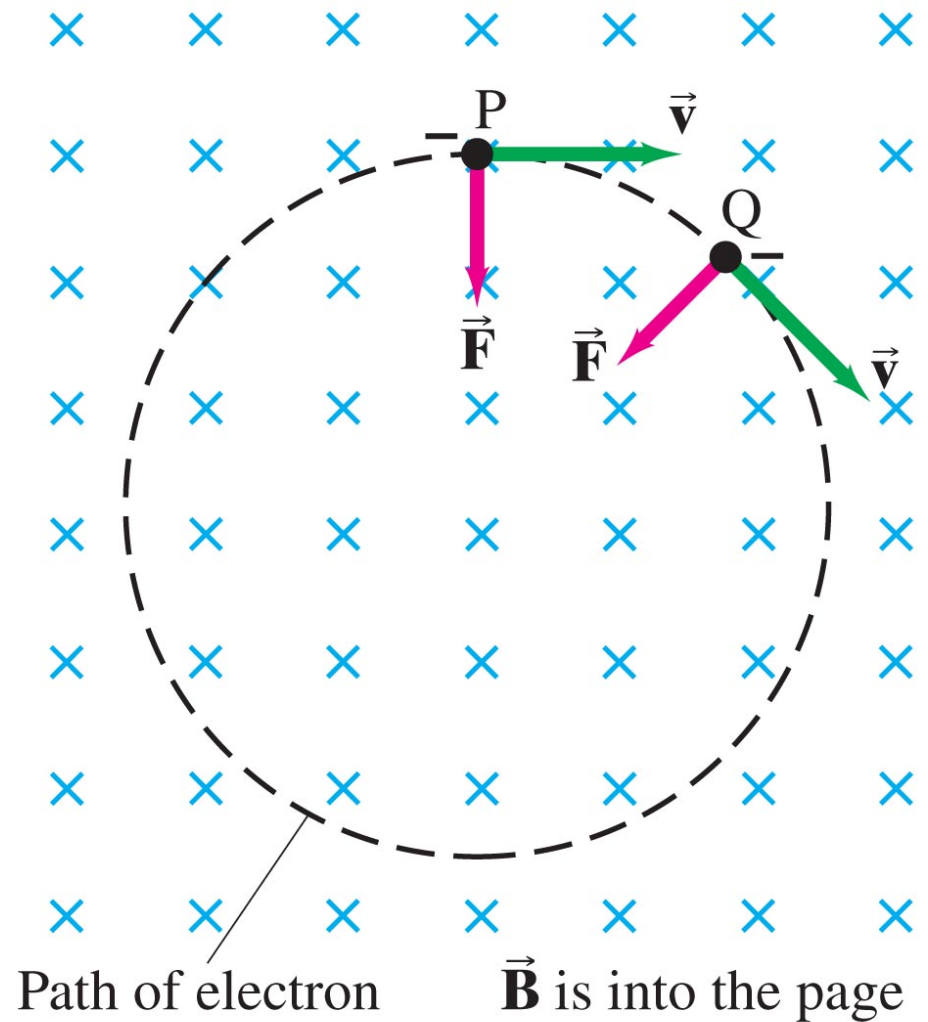
$$\mathbf{B} = 0.10 \text{ T}$$

Βρείτε τη μαγνητική δύναμη λόγω του πεδίου της Γης πάνω στα ιόντα μιας κυτταρικής μεμβράνης που κινούνται με ταχύτητα  $10^{-2}$  m/s.

**ΛΥΣΗ**

$$F = 10^{-25} \text{ N}$$

Η τροχιά ενός φορτίου που κινείται **κάθιστα** στις γραμμές μαγνητικού πεδίου είναι **ΚΥΚΛΙΚΗ**.



Ένα ηλεκτρόνιο κινείται με ταχύτητα  $2.0 \times 10^7$  m/s σε επίπεδο κάθετο σε ομογενές μαγνητικό πεδίο με ένταση 0.010 T. Περιγράψτε την τροχιά του.


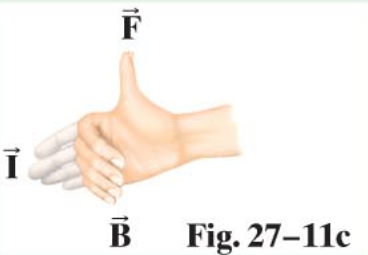
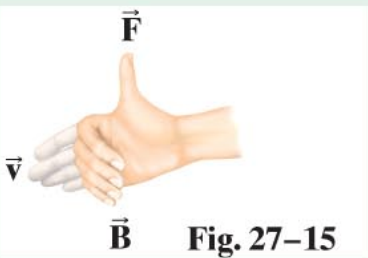
**ΛΥΣΗ**

$$r = 1.1 \text{ cm}$$

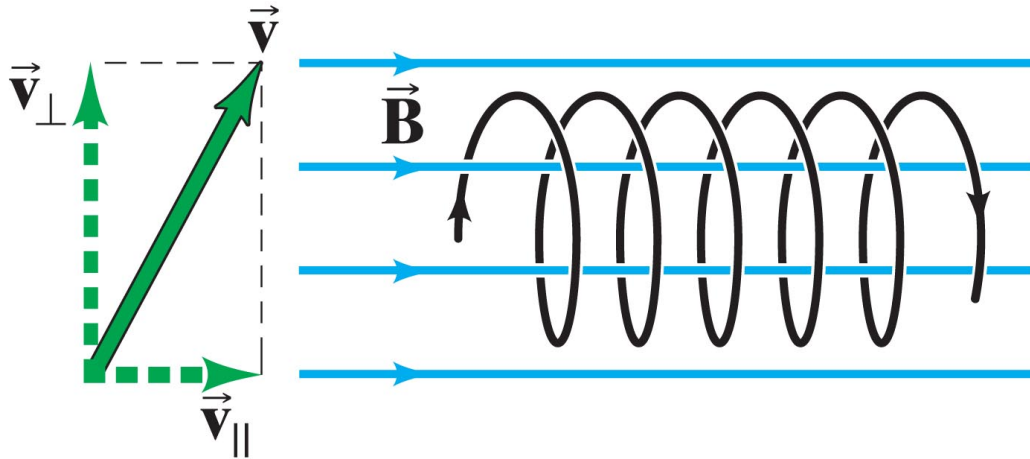
**Μπορεί ένα μαγνητικό πεδίο να ΦΡΕΝΑΡΕΙ  
ένα ηλεκτρικό φορτίο;**

**ΌΧΙ, διότι η φορά της μαγνητικής δύναμης  
είναι πάντα **ΚΑΘΕΤΗ** στην ταχύτητα άρα  
μόνο σε περιστροφική κίνηση μπορεί να το  
θέσει.**

**TABLE 27–1 Summary of Right-hand Rules (= RHR)**

Physical Situation	Example	How to Orient Right Hand	Result
1. Magnetic field produced by current (RHR-1)	 <p><b>Fig. 27–8c</b></p>	Wrap fingers around wire with thumb pointing in direction of current $I$	Fingers point in direction of $\vec{B}$
2. Force on electric current $I$ due to magnetic field (RHR-2)	 <p><b>Fig. 27–11c</b></p>	Fingers point straight along current $I$ , then bend along magnetic field $\vec{B}$	Thumb points in direction of the force $\vec{F}$
3. Force on electric charge $+q$ due to magnetic field (RHR-3)	 <p><b>Fig. 27–15</b></p>	Fingers point along particle's velocity $\vec{v}$ , then along $\vec{B}$	Thumb points in direction of the force $\vec{F}$

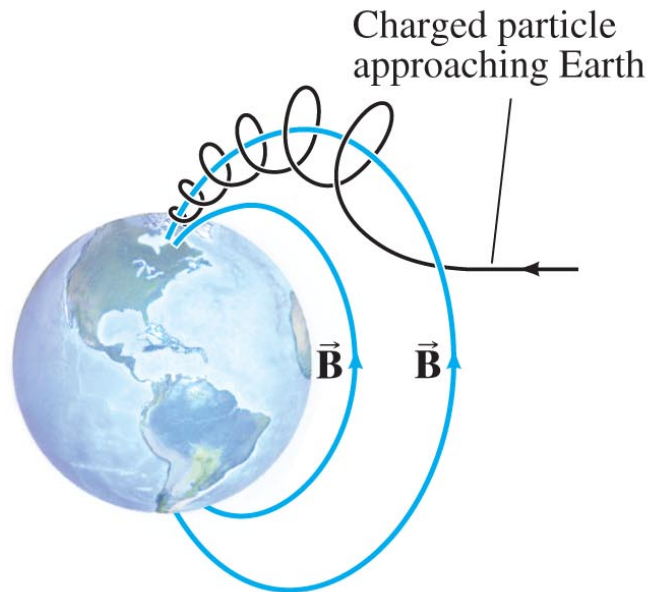
Βρείτε την τροχιά ενός φορτίο που δεν κινείται  
κάθιστα στις γραμμές ενός ομογενούς μαγνητικού  
πεδίου.



Αναλύουμε την ταχύτητα σε δύο συνιστώσες, μια  
**κάθιτη** στο πεδίο και μια **παράλληλη**.

- Η **Κάθιτη** θέτει το φορτίο σε κυκλική τροχιά
- Η **Παράλληλη** το μετατοπίζει προς τα δεξιά.
- Η Συνολική κίνηση θα είναι ελικοειδής.

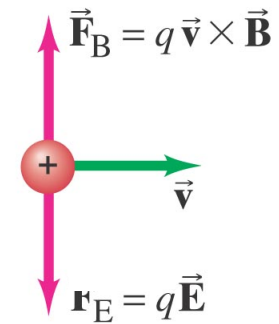
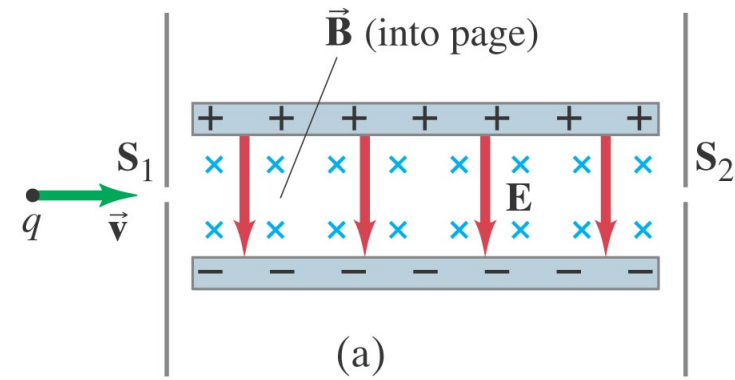
Το φαινόμενο *aurora borealis* (northern lights) προκαλείται από τις κρούσεις φορτισμένων σωματιδίων με μόρια του αέρα. Τα φορτισμένα σωματίδια κινούνται κυκλικά λόγω του μαγνητικού πεδίου της Γης.





## Επιλογέας/Αναλυτής Ταχυτήτων

Πειραματικός έλεγχος ταχύτητας φορτισμένων σωματιδίων. Ιόντα με φορτίο  $q$  περνούν από οπή  $S_1$  και εισέρχονται σε χώρο με μαγνητικό και ηλεκτρικό πεδίο που φαίνεται στο σχήμα. Ελέγχοντας τις εντάσεις των πεδίων μπορούμε να επιλέξουμε συγκεκριμένες ταχύτητες να εξέρχονται από την οπή εξόδου  $S_2$ .



# 27-5 Ροπή Βρόχου Ρεύματος- Μαγνητική Διπολική Ροπή

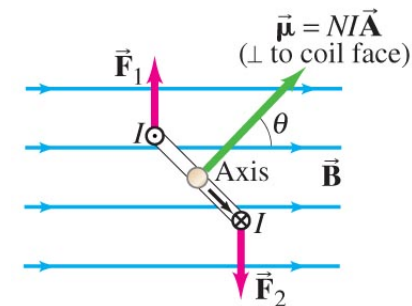
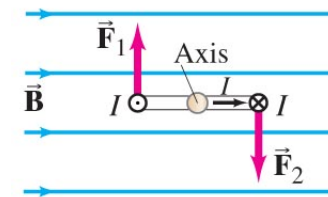
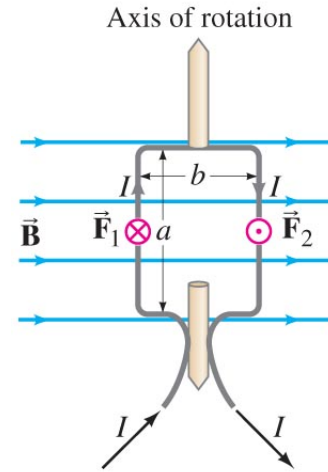
Σε ένα συμμετρικό βρόχο που φέρει ηλεκτρικό ρεύμα και βρίσκεται εντός ομογενούς μαγνητικού πεδίου, ασκείτε μαγνητική ροπή.

Το μέγεθος της ροπής δίδεται από την σχέση:

$$\tau = NIAB \sin \theta.$$

ή

$$\vec{\tau} = NI\vec{A} \times \vec{B}$$



Η ποσότητα  $NIA$  μαγνητική διπολική ροπή,  $\vec{\mu}$ :

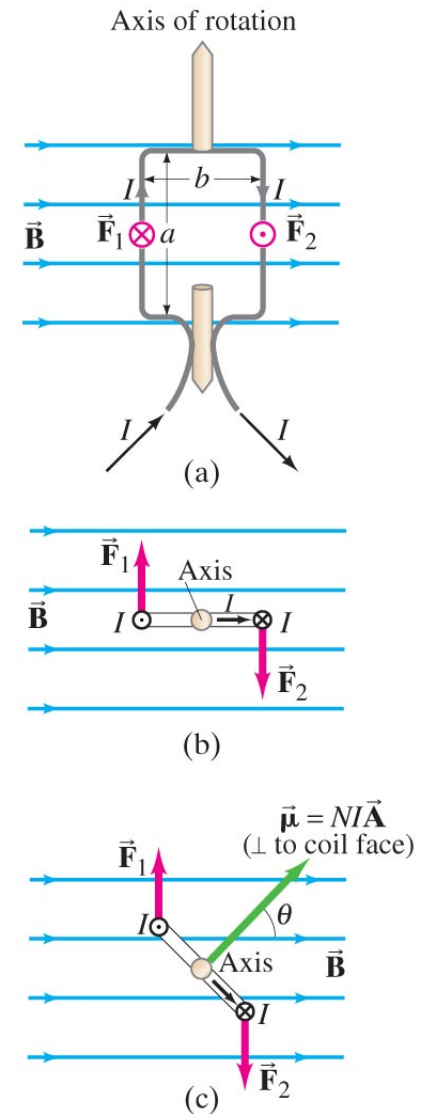
$$\vec{\mu} = NIA\vec{\mathbf{A}}.$$

Επομένως

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{\mathbf{B}},$$

Η δυναμική ενέργεια του βρόχου εξαρτάται από τον προσανατολισμό του στο μαγνητικό πεδίο.

$$U = -\mu B \cos \theta = -\vec{\mu} \cdot \vec{\mathbf{B}}.$$



Ένα πηνίο (κουλούρα καλωδίου) έχει διάμετρο 20.0 cm και περιέχει 10 περιελίξεις. Το ρεύμα κάθε βρόχου είναι 3.00 A, και το πηνίο βρίσκεται εντός εξωτερικού μαγνητικού πεδίου 2.00 T. Βρείτε τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή της ροπής που ασκείται πάνω στο πηνίο.

## ΛΥΣΗ

Ελάχιστη :  $\tau = 0$

Μέγιστη :  $\tau = 1.88 \text{ N}$

m

Βρείτε τη μαγνητική ροπή του ατόμου του υδρογόνου υποθέτοντας ότι το ηλεκτρόνιο κινείται σε κυκλική τροχιά με ακτίνα  $r = 0.529 \times 10^{-10} \text{ m}$ .

**APPROACH** We start by setting the electrostatic force on the electron due to the proton equal to  $ma = mv^2/r$  since the electron's acceleration is centripetal.

**SOLUTION** The electron is held in its orbit by the coulomb force, so Newton's second law,  $F = ma$ , gives

$$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{mv^2}{r};$$

so

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 mr}} \\ &= \sqrt{\frac{(8.99 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(1.60 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{(9.11 \times 10^{-31} \text{ kg})(0.529 \times 10^{-10} \text{ m})}} = 2.19 \times 10^6 \text{ m/s}. \end{aligned}$$

Since current is the electric charge that passes a given point per unit time, the revolving electron is equivalent to a current

$$I = \frac{e}{T} = \frac{ev}{2\pi r},$$

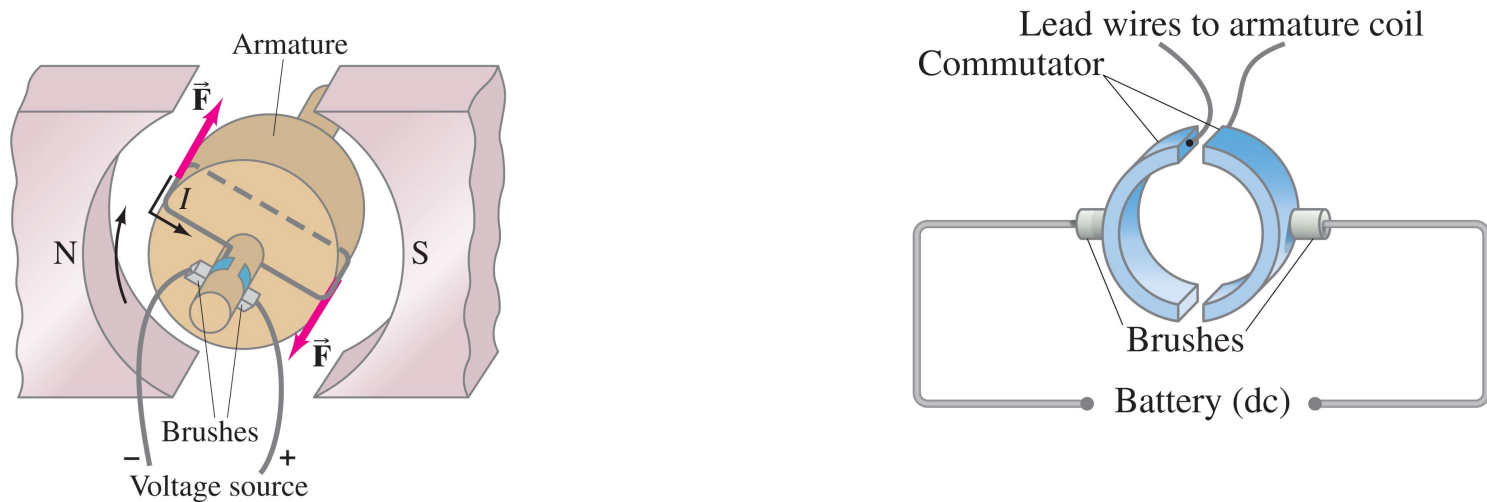
where  $T = 2\pi r/v$  is the time required for one orbit. Since the area of the orbit is  $A = \pi r^2$ , the magnetic dipole moment is

$$\begin{aligned} \mu &= IA = \frac{ev}{2\pi r} (\pi r^2) = \frac{1}{2} evr \\ &= \frac{1}{2} (1.60 \times 10^{-19} \text{ C})(2.19 \times 10^6 \text{ m/s})(0.529 \times 10^{-10} \text{ m}) = 9.27 \times 10^{-24} \text{ A}\cdot\text{m}^2, \end{aligned}$$

or  $9.27 \times 10^{-24} \text{ J/T}$ .

## 27-6 Εφαρμογές

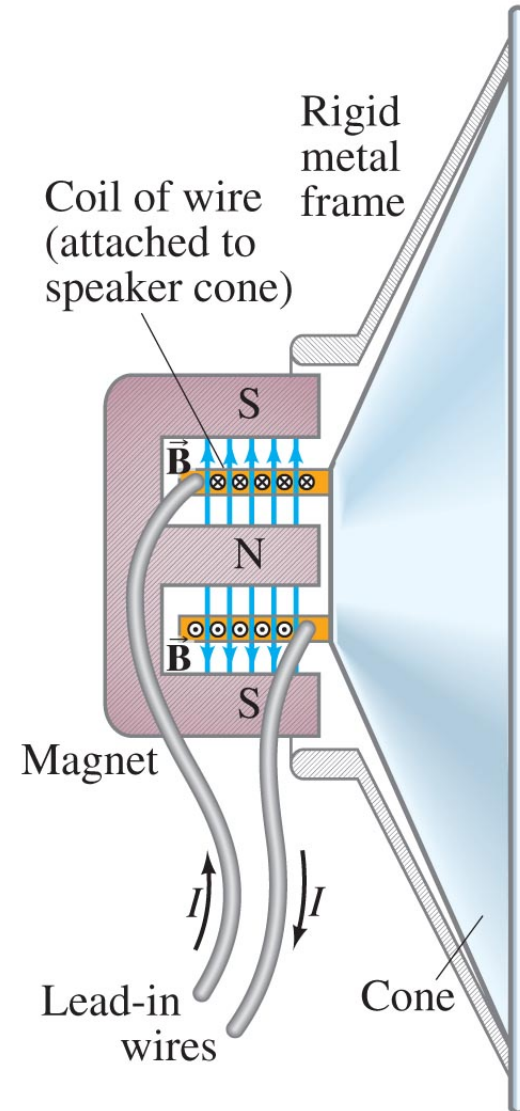
Ένα ηλεκτρικό μοτέρ χρησιμοποιεί την ροπή που ασκεί το μαγνητικό πεδίο πάνω στα πηνία του για να αρχίσει να περιστρέφεται.



**Ενώ εάν περιστρέψουμε ένα πηνίο μέσα σε μαγνητικό πεδίο παράγουμε ρεύμα**

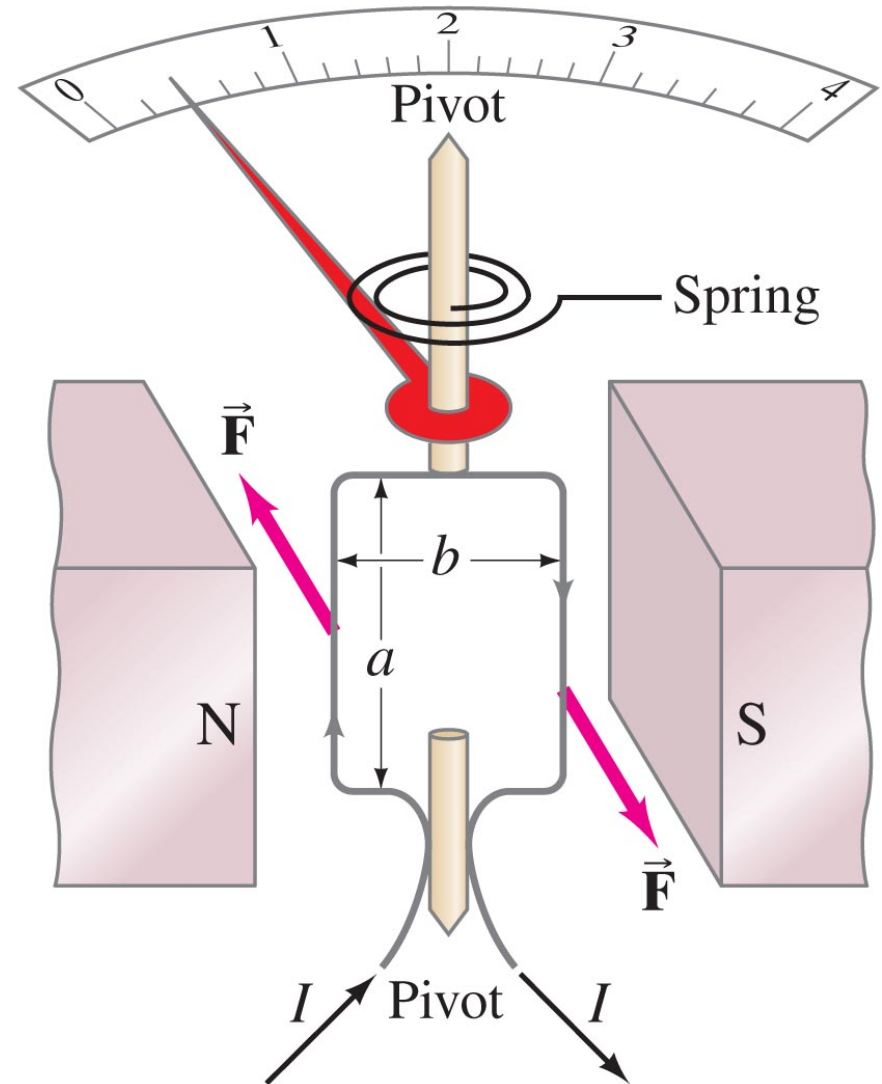
## 27-6 Εφαρμογές

Τα ηχεία βασίζονται στην αρχή ότι το μαγνητικό πεδίο ασκεί δύναμη πάνω σε πηνία, που στη συνέχεια κινούν την μεμβράνη το ηχείου, μετατρέποντας ηλεκτρικά σήματα σε κρουστικά κύματα (ακουστικά) και επομένως ήχο.



# 27-6 Εφαρμογές

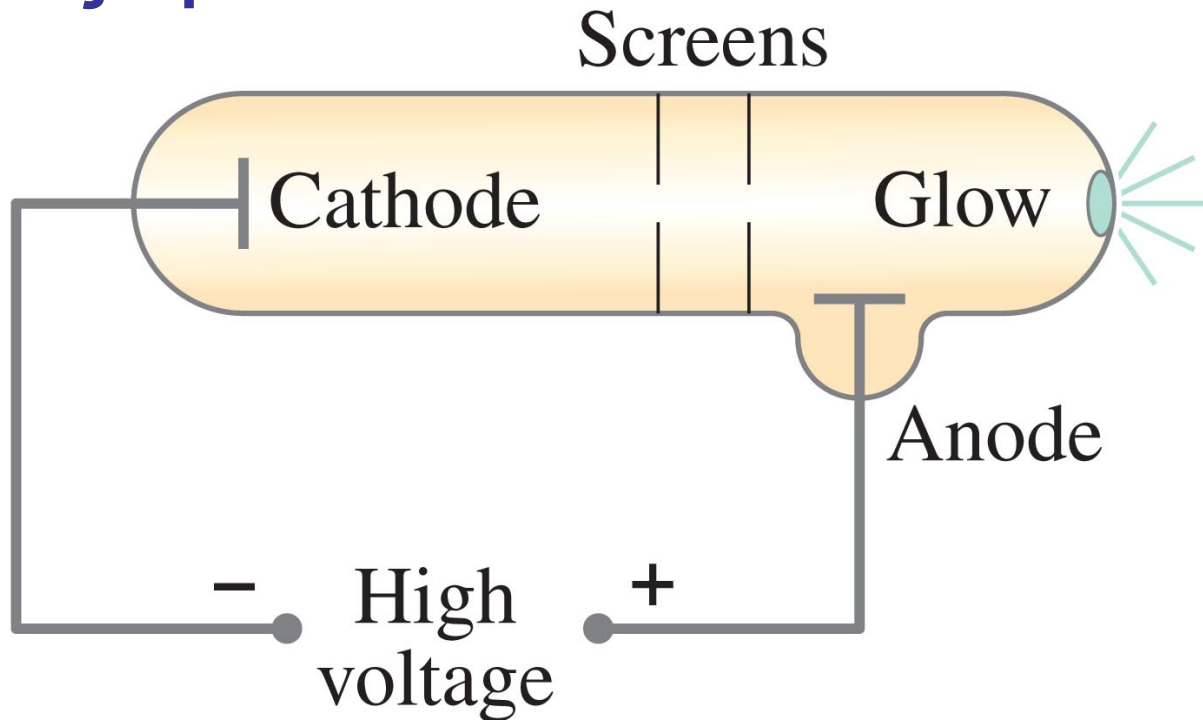
Η λειτουργία του γαλβανομέτρου βασίζεται στις μαγνητικές δυνάμεις που ασκούνται πάνω σε βρόχους ρεύματος.



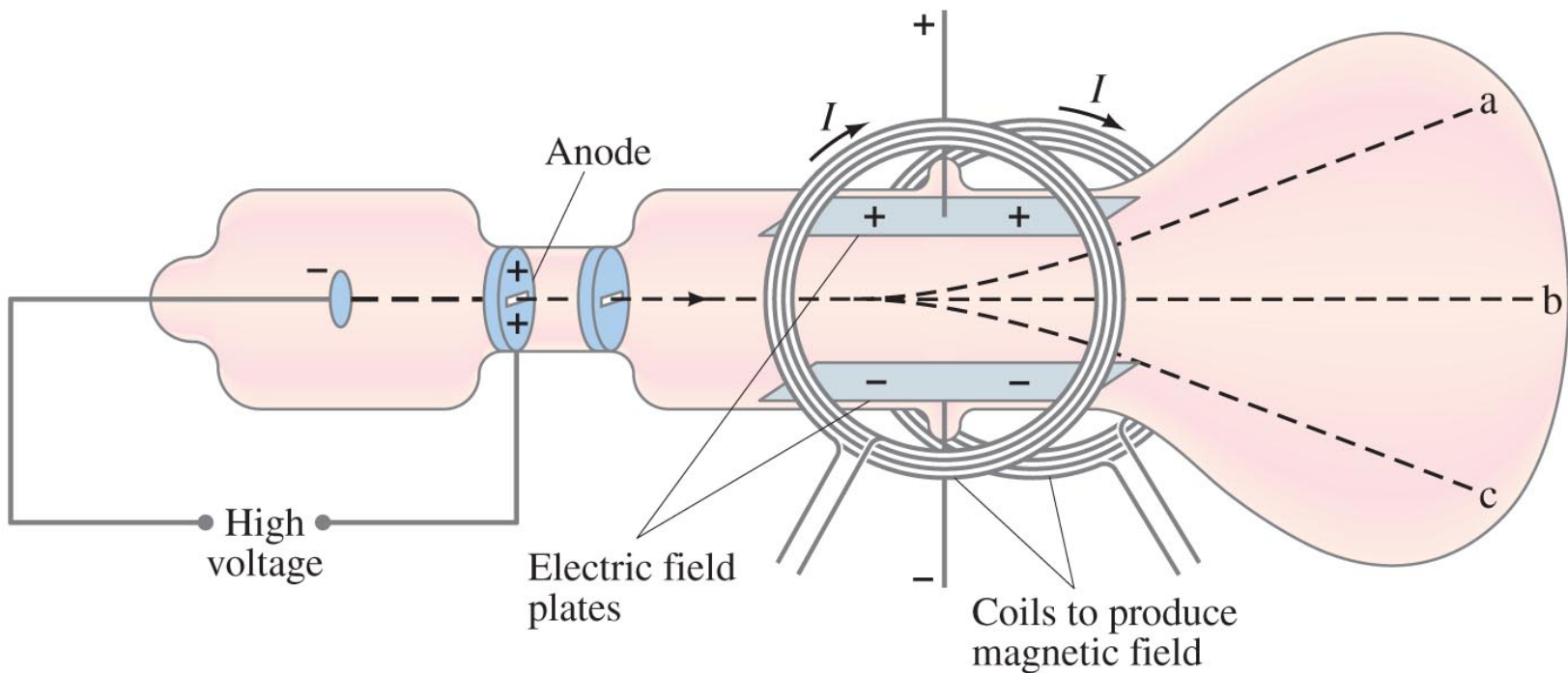


# 27-7 Το ηλεκτρόνιο: Ανακάλυψη και Ιδιότητες

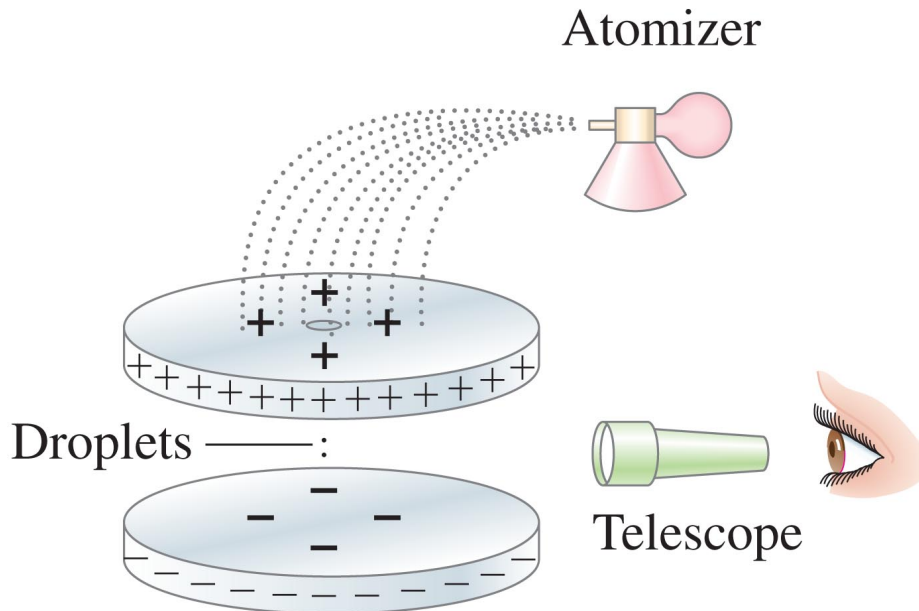
Το ηλεκτρόνιο παρατηρήθηκε για πρώτη φορά σε καθοδικούς σωλήνες. Οι σωλήνες αυτή έχουν αέριο σε χαμηλή πίεση και εφαρμόζοντας υψηλή τάση μεταξύ δύο ηλεκτροδίων, εμφανίζεται μια δέσμη να πηγάζει από την κάθοδο προς την άνοδο.



Ο λόγος μάζας / φορτίου για το ηλεκτρόνιο μετρήθηκε το 1897 με την πειραματική διάταξη του σχήματος. Ήταν τότε που ο όρος ηλεκτρόνιο αποδόθηκε δηλ. οι καθοδικές ακτίνες ήταν δέσμες ηλεκτρονίων.



Ο Millikan με την πειραματική διάταξη του σχήματος (σταγόνες λαδιού) επιβεβαίωσε ότι το ηλεκτρόνιο είναι μέρος/σωματίδιο του ατόμου και όχι ανεξάρτητο «άτομο».



Οι τιμές για τη μάζα και το φορτίο του ηλεκτρονίου είναι

$$m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

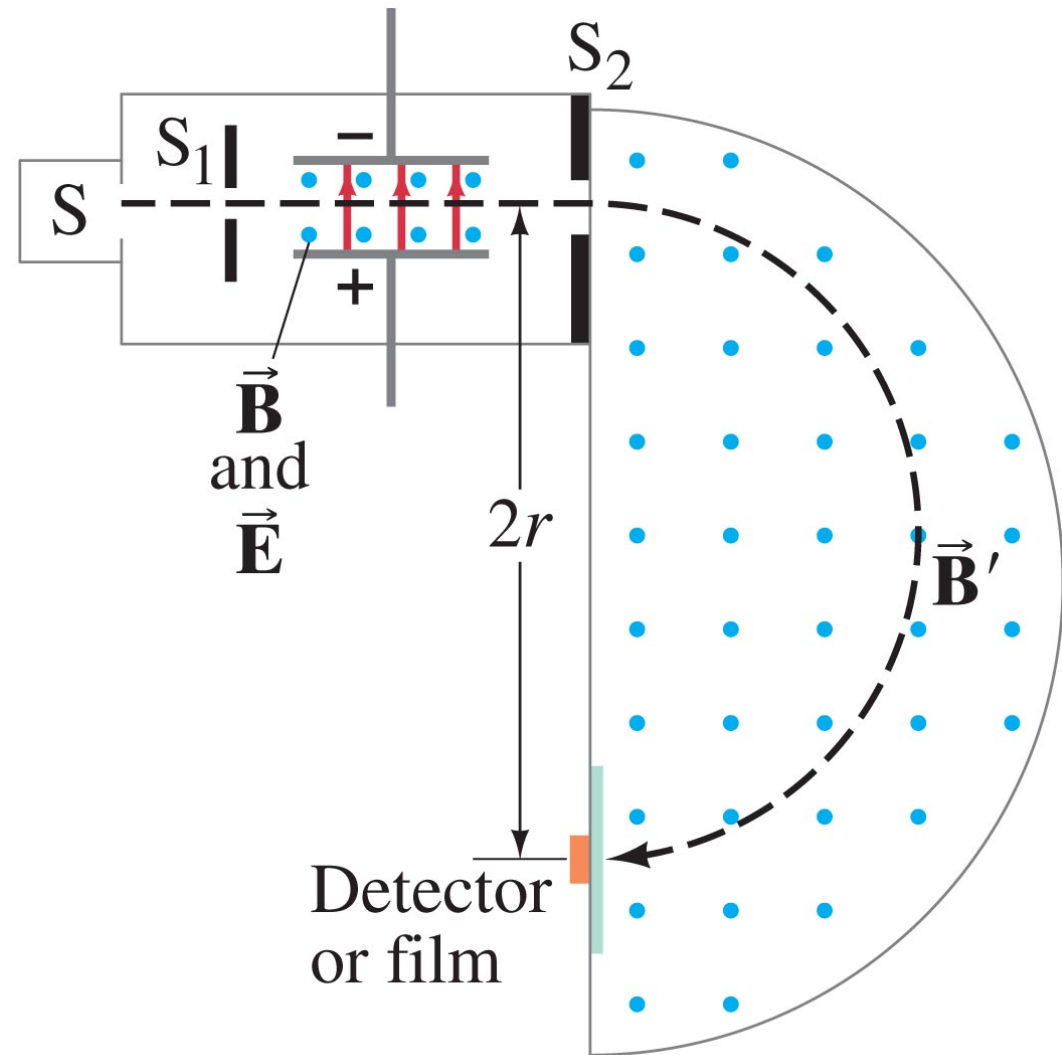
# 27-9 Φασματογράφοι Μάζας

Ο φασματογράφος μάζας μετράει (δυσνητικά) τη μάζα ατόμων και μορίων. Υπάρχουν πολλές μορφές φασματογράφων μαζών όλοι όμως βασίζονται σε (α) ιοντισμό ατόμων και μορίων, (β) κάποιο συνδυασμό ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων (γ) ανίχνευση του ρεύματος ιόντων.

Π.χ. Για μαγνητικό φασματογράφο έχουμε την σχέση

$$m = \frac{qB'r}{v} = \frac{qBB'r}{E}$$

Τα ιόντα που φτάνουν στο δεύτερο μαγνητικό πεδίο έχουν την ίδια ταχύτητα και η ακτίνα περιστροφής τους είναι ανάλογη της μάζας τους.



Άτομα άνθρακα με μάζα 12.0 u είναι αναμεμειγμένα με άγνωστου μάζας άτομο. Σε μαγνητικό φασματογράφο μάζας με πεδίο  $B'$ , τα άτομα του άνθρακα διαγράφουν κυκλική τροχιά με ακτίνα 22.4 cm ενώ η ακτίνα του αγνώστου στοιχείου είναι 26.2 cm. Ποια είναι το άγνωστο άτομο και ποια η μάζα του; Υποθέτουμε ότι και τα δύο άτομα είναι απλά φορτισμένα.

**ΛΥΣΗ**

$$m_x / m_C = 1.17$$