

Ενημέρωση

Η διδασκαλία του μαθήματος, πολλά από τα σχήματα και όλες οι ασκήσεις προέρχονται από το βιβλίο:

«Πανεπιστημιακή Φυσική»
του Hugh Young των
Εκδόσεων Παπαζήση, οι
οποίες μας επέτρεψαν τη
χρήση των σχετικών
σχημάτων και ασκήσεων

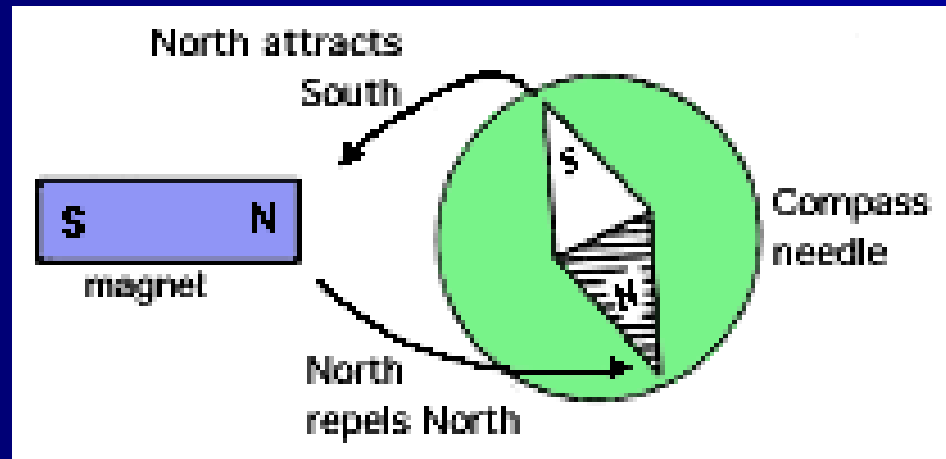
Φυσική



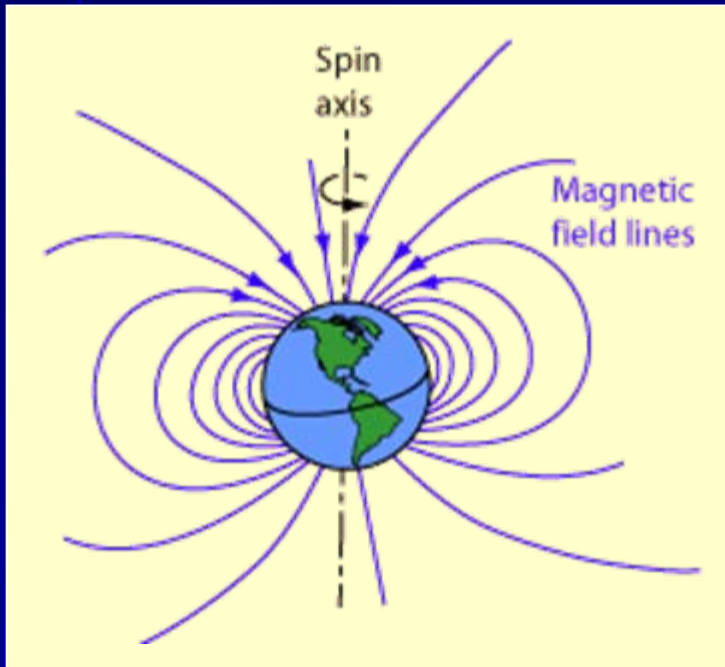
ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Το φαινόμενο παρατηρήθηκε πρώτη φορά στη Μαγνησία της Μικράς Ασίας απ' όπου πήρε και το όνομα. Τα άκρα κομματιών μαγνητισμένου σιδηρομεταλλεύματος έλκονταν αμοιβαία ή απωθούνταν ανάλογα.

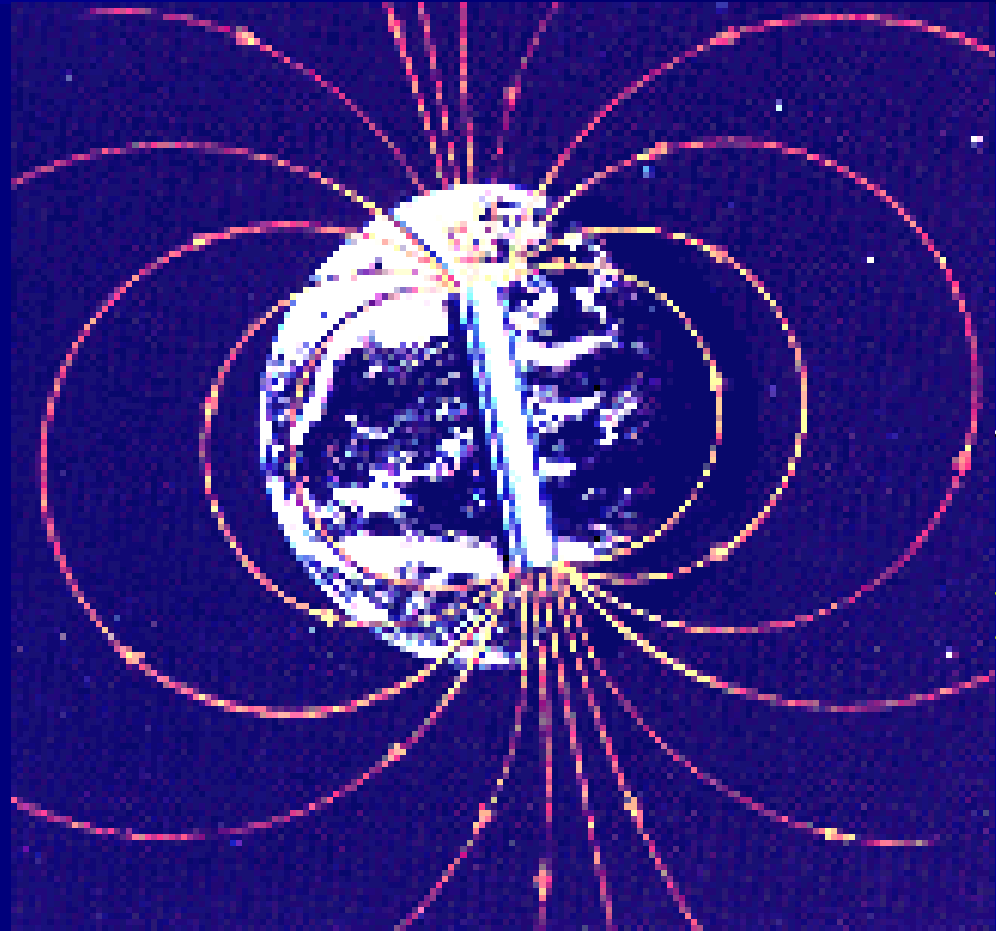
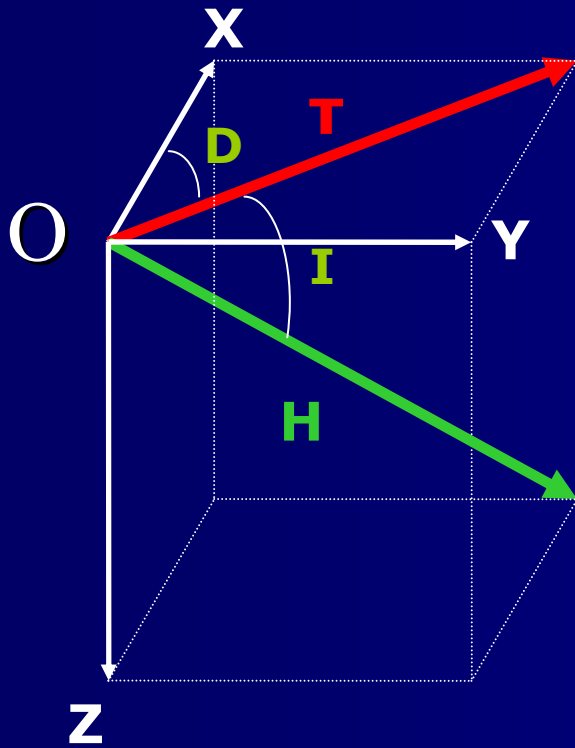
Ονομάστηκαν συμβατικά οι πόλοι ως βόρειοι και νότιοι. Δύο αντίθετοι πόλοι έλκονται και δυο όμοιοι απωθούνται.



Πριν από 500 χρόνια και μετά από μακροχρόνια έρευνα ο Williams Gilbert κατάφερε να συλλάβει την έννοια του μαγνητικού πεδίου της γης, λέγοντας ότι η Γη είναι ένα μαγνητικό πεδίο το οποίο πηγάζει στο κέντρο του άξονα της γης. Τη θεωρία του αυτή διατύπωσε στη διατριβή *De magnete*.



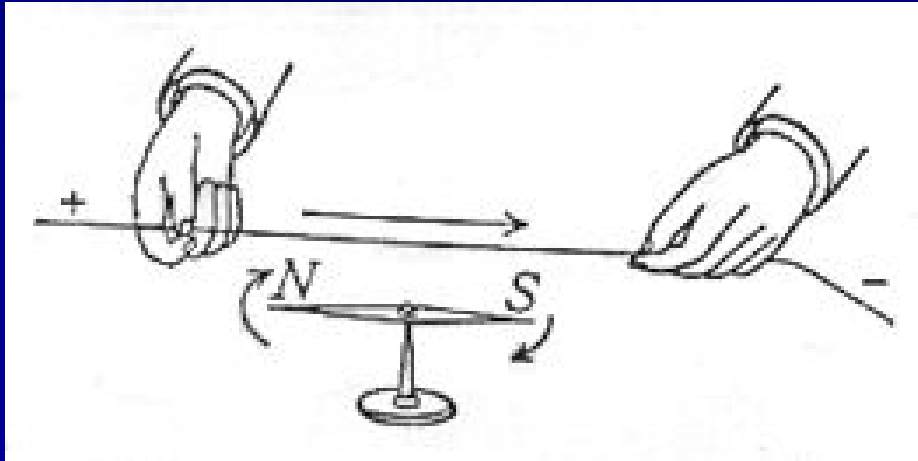
Επιπλέον υποστήριξε ότι το πεδίο αυτό είναι ισοδύναμο με αυτό που θα προκαλούσε ραβδόμορφος μαγνήτης τοποθετημένος επάνω στον άξονα περιστροφής της Γης.



Hans Christian Oersted

Γεννήθηκε : 14 Αυγούστου, 1777,
Rudkøbing (Δανία)

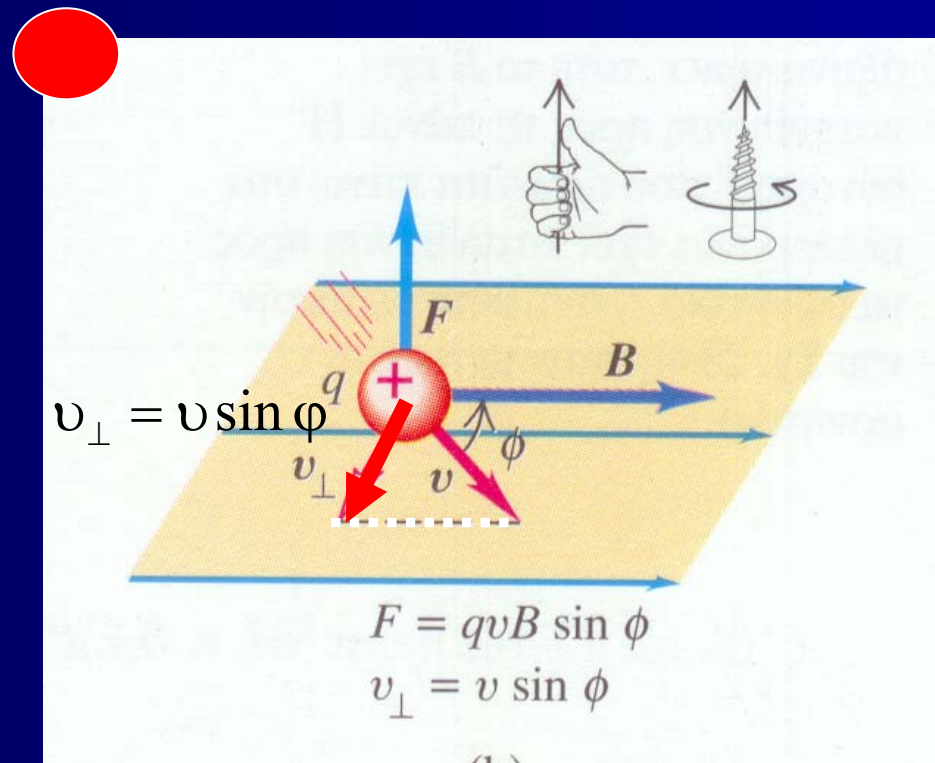
Απεβίωσε: 9 Μαρτίου 1851 Κοπενχάγη



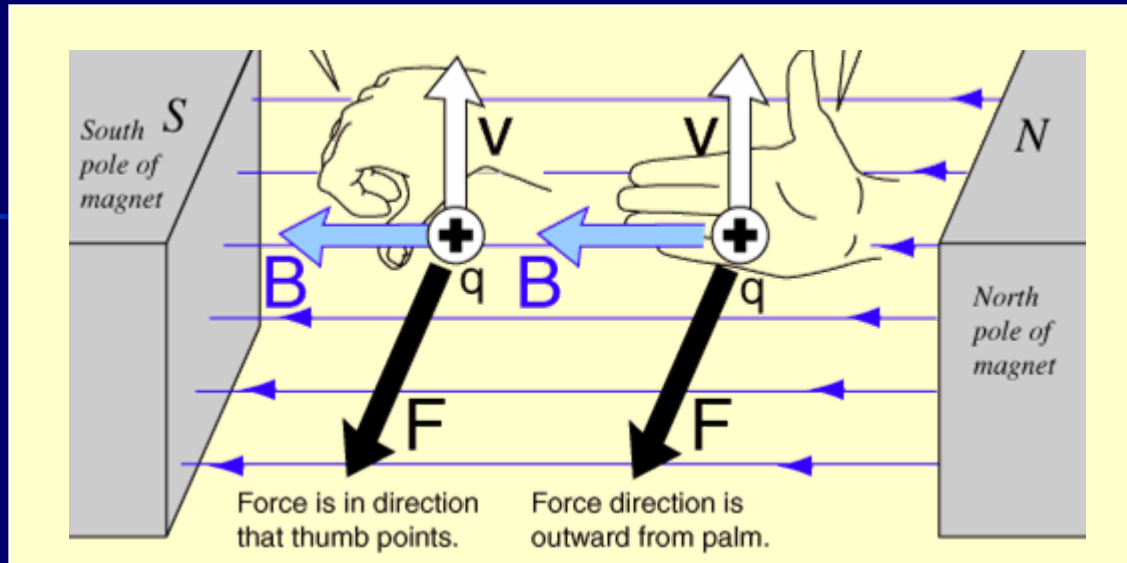
Αν φορτίο κινείται με ταχύτητα v μέσα σε μαγνητικό πεδίο \mathbf{B} τότε υφίσταται δύναμη κάθετη τόσο στο διάνυσμα της ταχύτητας όσο και στο πεδίο η οποία έχει μέτρο

$$F = |q|v_{\perp} B = |q|vB \sin \phi$$

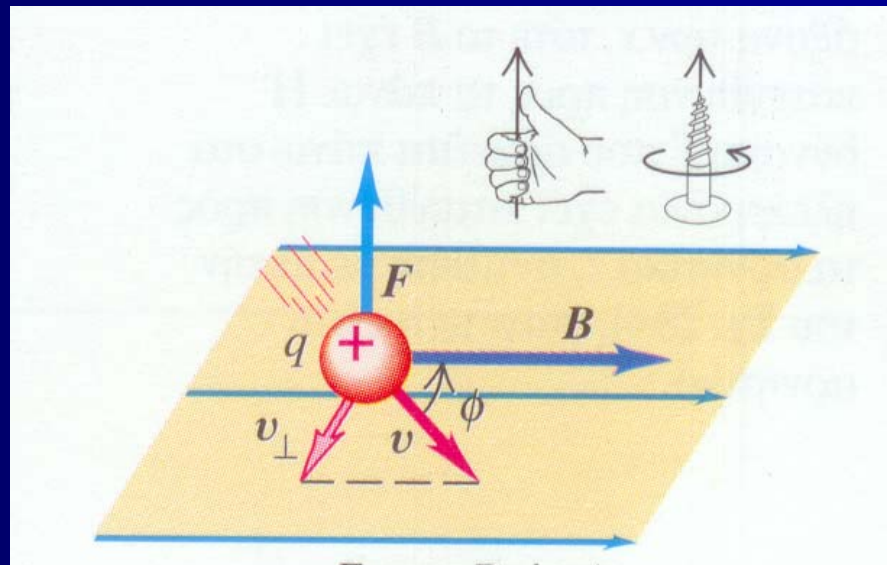
όπου ϕ είναι η γωνία μεταξύ των διανυσμάτων v και \mathbf{B} και μετριέται από την κατεύθυνση του v προς αυτή του \mathbf{B}



Η φορά του διανύσματος της δύναμης καθορίζεται από τον κανόνα του δεξιού χεριού.



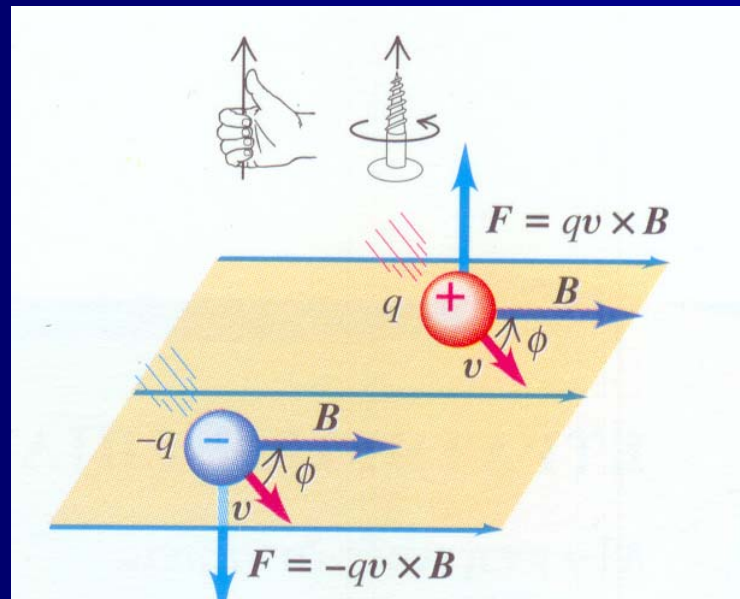
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/magfor.html>



Είναι φανερό ότι μια διανυσματική εξίσωση αρκεί για να καθορίσει πλήρως το διάνυσμα \mathbf{F} και αυτή είναι

$$\bar{\mathbf{F}} = q\bar{\mathbf{v}} \times \bar{\mathbf{B}}$$

Αν το q είναι αρνητικό τότε η κατεύθυνση του \mathbf{F} είναι αντίθετη αυτής του εξωτερικού γινομένου $\bar{\mathbf{v}} \times \bar{\mathbf{B}}$



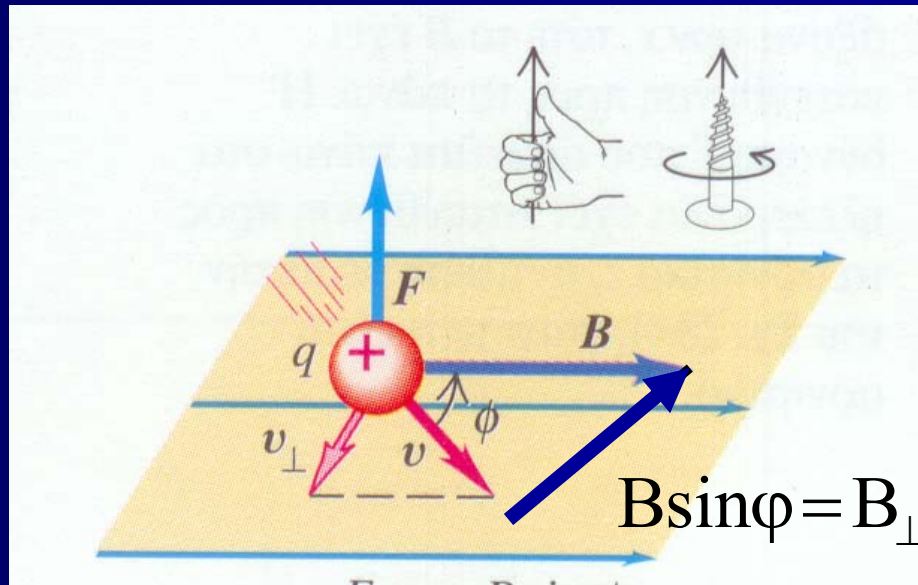
Η φορά του διανύσματος της δύναμης καθορίζεται από τον κανόνα του δεξιού χεριού.

Η σχέση

$$F = |q|v_{\perp}B = |q|vB \sin \varphi$$

μας λέει ότι το μέτρο της δύναμης μπορεί να θεωρηθεί ως το γινόμενο του φορτίου επί το μέτρο της ταχύτητας επί την συνιστώσα του B που είναι κάθετη στο διάνυσμα της ταχύτητας ($B \sin \varphi$)

$$F = |q|vB \sin \varphi = |q|vB_{\perp}$$



Αν υπάρχει και ηλεκτρικό πεδίο

$$\bar{F} = q(\bar{E} + \bar{v} \times \bar{B})$$

ΜΟΝΑΔΑ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

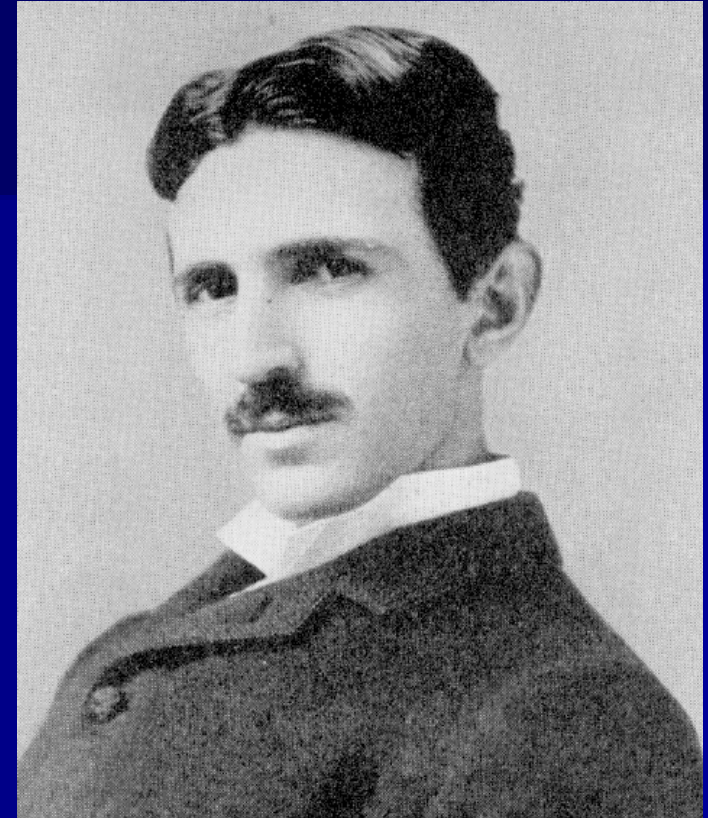
$$1 \text{ tesla} = 1 \text{ T} = 1 \text{ N/Am}$$

Nikola Tesla

Σέρβος

Γεννήθηκε: 9 Οκτωβρίου 1856 στο
Smiljan (Σερβία)

Απεβίωσε: January 7 Ιανουαρίου 1943
στη Νέα Υόρκη



ΜΟΝΑΔΑ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ CGS $1 \text{ gauss} = 10^{-4} \text{ T}$

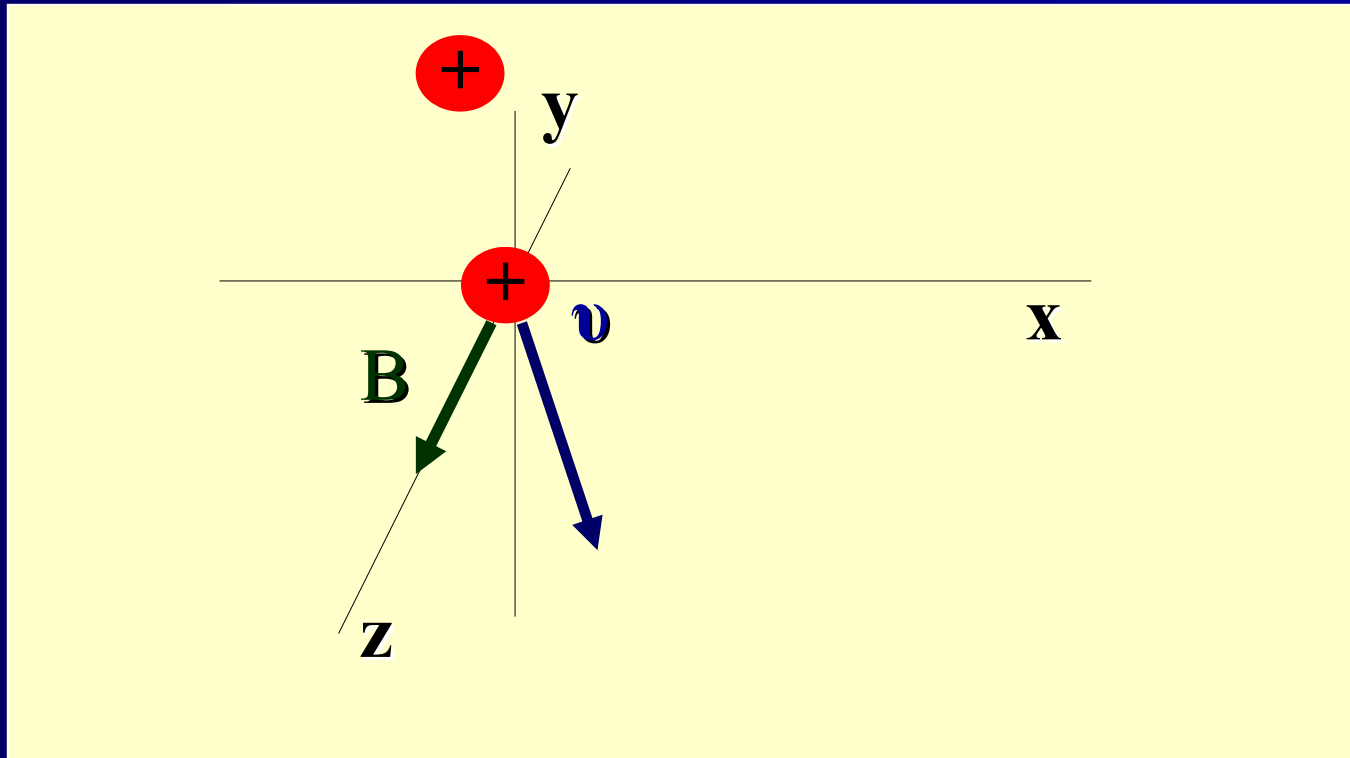
Στη Γεωφυσική μετράμε το μαγνητικό πεδίο σε γάμα (γ) $1 \gamma = 10^{-9} \text{ T} = 1 \text{ nT}$

ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΑΤΟΜΩΝ	10 T
ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΤΙΜΕΣ	10 T
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΕΣ ΜΕ ΠΑΛΜΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ	120 T (ΑΛΛΑ ΓΙΑ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ ms)
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΕΡΑ ΝΕΤΡΟΝΙΩΝ	10^8 T
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΠΕΔΙΟΥ ΓΗΣ	10^{-4} T ή 1 G
ΤΙΜΗ ΓΗΙΝΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ (2006 μ. Χ.)	46×10^{-6} T (46000 nT) ή 0.46G

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 28-1

Μια δέσμη πρωτονίων κινείται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο μέτρου 2 T , το οποίο κατευθύνεται κατά τον θετικό άξονα z όπως στο σχήμα. Τα πρωτόνια κινούνται κατά στο επίπεδο xy με ταχύτητα μέτρου $3 \times 10^5\text{ m/s}$ και κατεύθυνσης που σχηματίζει γωνία 30° με τον θετικό άξονα z . Να υπολογιστεί η δύναμη που ασκείται πάνω σε ένα πρωτόνιο ($q = 1,6 \times 10^{-19}\text{ C}$)



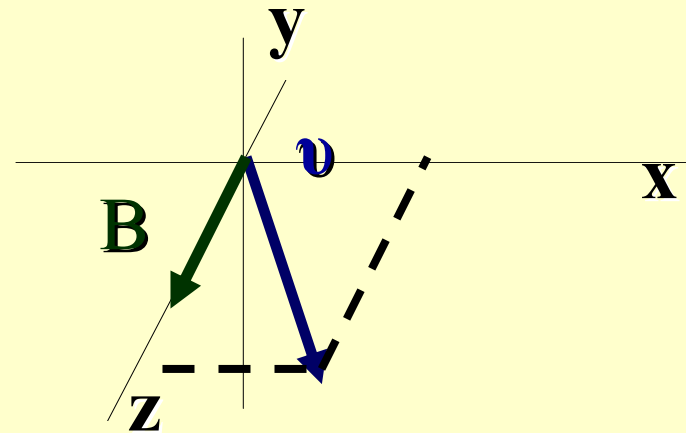
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 28-1

$$F = qvB \sin \varphi = (1,6 \times 10^{-19})(3 \times 10^5)(2)(0.5) \frac{\text{CmT}}{\text{s}}$$
$$= 4,8 \times 10^{-14} \text{ N}$$

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ

$$\vec{v} = 3 \times 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \sin 30^\circ \hat{i} + 3 \times 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cos 30^\circ \hat{k}$$

$$\vec{B} = 2\text{T} \hat{k}$$



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 28-1

$$F = q(\bar{v} \times \bar{B})$$

$$= (1,6 \times 10^{-19} \text{ C}) \left[\left(3 \times 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \sin 30^\circ \hat{i} + 3 \times 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cos 30^\circ \hat{k} \right) \times (2T \hat{k}) \right]$$

$$= (-4,8 \times 10^{-14} \text{ N}) \hat{j}$$

Επειδή

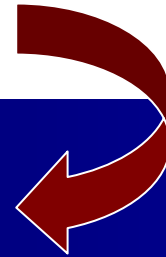
$$\hat{i} \times \hat{k} = -\hat{j}$$

$$\hat{k} \times \hat{k} = 0$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 28-1

Ακόμη καλύτερα

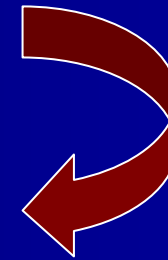
$$\bar{F} = q(\bar{v} \times \bar{B}) = (1,6 \times 10^{-19} \text{ C}) \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ 3 \times 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \sin 30^\circ & 0 & 3 \times 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cos 30^\circ \\ 0 & 0 & 2T \end{vmatrix}$$



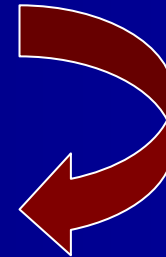
$$\bar{F} = (1,6 \times 10^{-19} \text{ C}) \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ 1,5 \times 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}} & 0 & 2,59 \times 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ 0 & 0 & 2T \end{vmatrix}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 28-1

$$\vec{F} = (1,6 \times 10^{-19} \text{ C}) \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ 1,5 \times 10^5 \frac{m}{s} & 0 & 2,59 \times 10^5 \frac{m}{s} \\ 0 & 0 & 2T \end{vmatrix}$$



$$\vec{F} = 1,6 \times 10^{-19} \hat{i} \begin{vmatrix} 0 & 2,6 \times 10^5 \\ 0 & 2 \end{vmatrix} - 1,6 \times 10^{-19} \hat{j} \begin{vmatrix} 1,5 \times 10^5 & 2,6 \times 10^5 \\ 0 & 2 \end{vmatrix} + 1,6 \times 10^{-19} \hat{k} \begin{vmatrix} 1,5 \times 10^5 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}$$



$$\vec{F} = (-1,6 \times 10^{-19} \text{ C}) \hat{j} (3 \times 10^5 \frac{m}{s} T) = -4,8 \hat{j} N$$

ΓΡΑΜΜΕΣ ΤΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Σχεδιάζουμε τις γραμμές έτσι ώστε να περνούν από οποιοδήποτε σημείο του χώρου και το διάνυσμα B να εφάπτεται στο εν λόγω σημείο στη γραμμή που περνά.

~~Λέγονται και μαγνητικές δυναμικές γραμμές~~

Η ονομασία αυτή μας παραπλανά γιατί η δύναμη σε κινούμενο φορτίο δεν εφάπτεται των γραμμών αυτών αλλά είναι κάθετη σε αυτές. Επομένως καλό είναι να μη τη χρησιμοποιούμε.

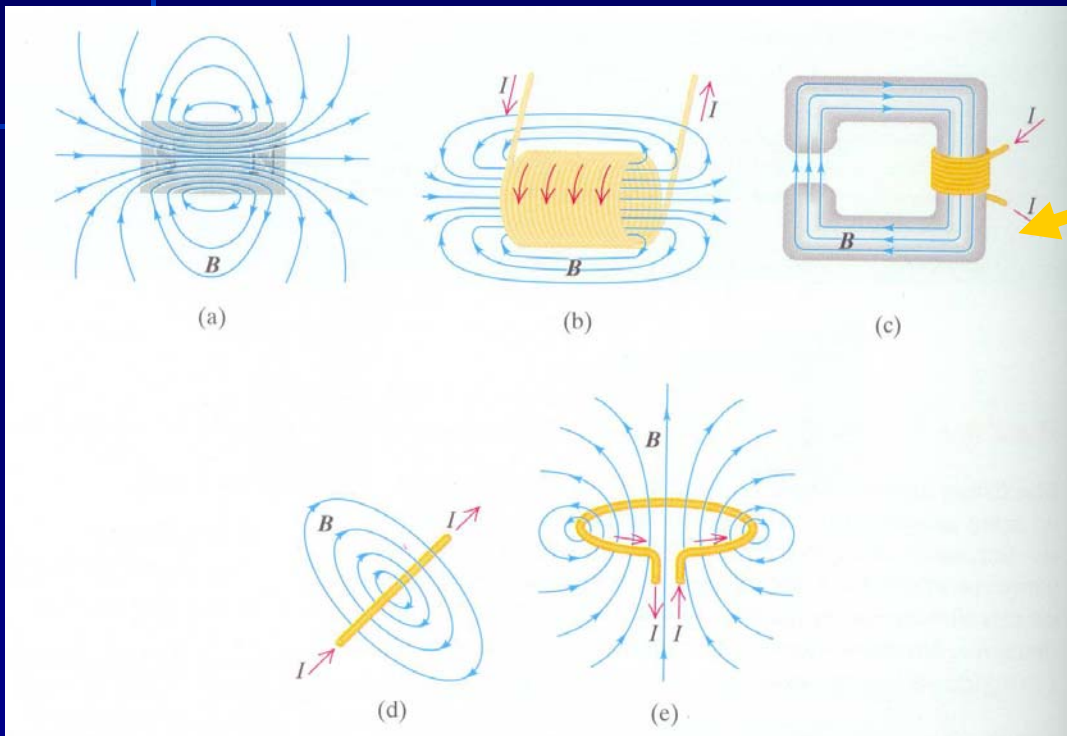
Οι γραμμές έχουν την κατεύθυνση προς την οποία θα προσανατολιστεί μια πυξίδα αν τη βάλουμε στο σημείο του πεδίου.

Επειδή σε κάθε σημείο του χώρου που καταλαμβάνεται από το πεδίο το B έχει μονοσήμαντα καθορισμένο μέτρο και κατεύθυνση

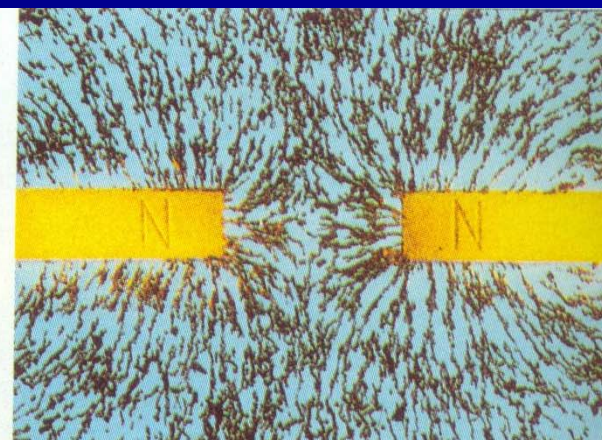
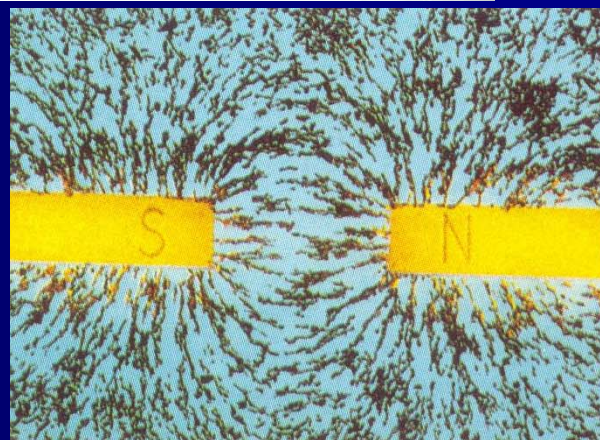


Οι γραμμές του πεδίου δεν τέμνονται μεταξύ τους

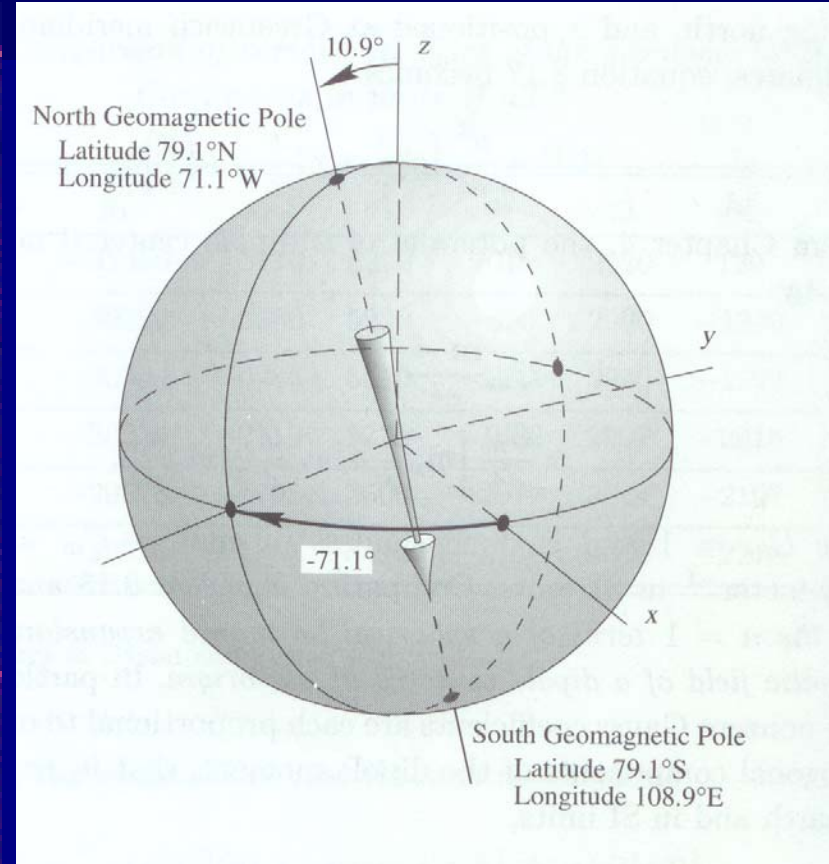
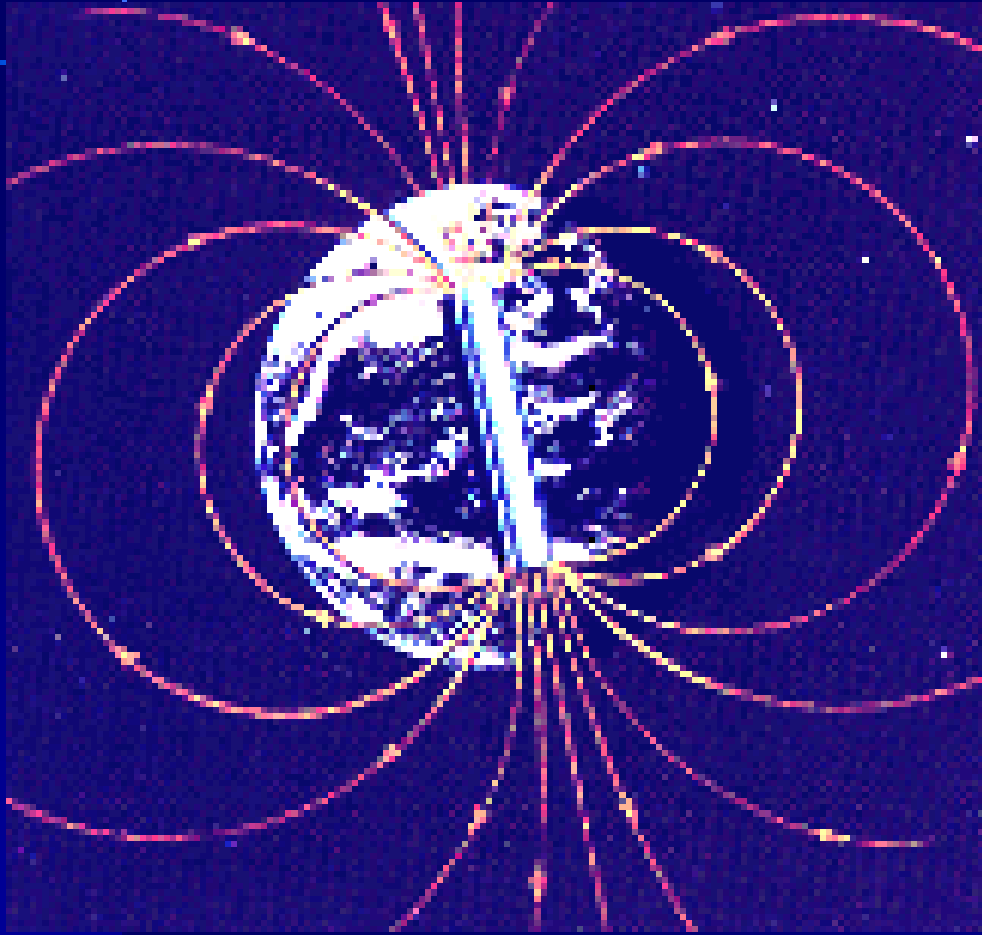
ΓΡΑΜΜΕΣ ΤΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΑΠΟ ΣΥΝΗΘΙΣΜΕΝΕΣ ΠΗΓΕΣ



Ομογενές πεδίο



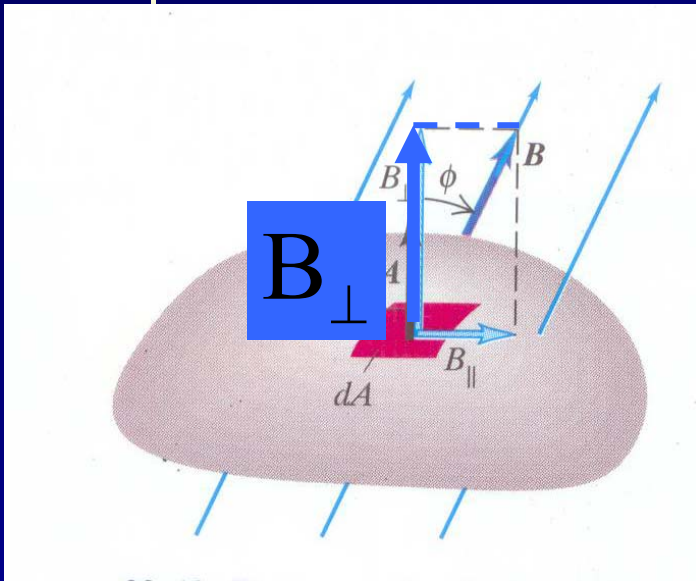
Το πεδίο της Γης μοιάζει με αυτό ενός τεράστιου ραβδόμορφου μαγνήτη τοποθετημένου με ελαφρά κλίση ως προς τον άξονα περιστροφής



**Κύριο μαγνητικό δίπολο
IGRF1990**

ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΡΟΗ

Ορίζουμε τη Φ_B ακριβώς όπως ορίσαμε τη ροή ηλεκτρικού πεδίου Φ_E διαμέσου μιας επιφάνειας όταν αναλύαμε τον νόμο του Gauss.



Για κάθε στοιχείο επιφάνειας dA , βρίσκουμε τη συνιστώσα του B που είναι κάθετη στο στοιχείο, έστω B_{\perp}

$$B_{\perp} = B \cos \phi$$

$$d\Phi_B = B_{\perp} dA = B \cos \phi dA = \bar{B} \cdot d\bar{A}$$

$$\Phi_B = \int B_{\perp} dA = \int B \cos \phi dA = \int \bar{B} \cdot d\bar{A}$$

ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΡΟΗ

Στην περίπτωση που το B είναι ομογενές πάνω σε μια επιφάνεια A , τότε

$$\Phi_B = B_{\perp} A = BA \cos \varphi$$

Αν μάλιστα το B είναι κάθετο στο A



$$\Phi_B = BA$$

ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ GAUSS ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Η ολική ροή που διαπερνά μια κλειστή επιφάνεια είναι ανάλογη του ηλεκτρικού φορτίου που περιέχεται

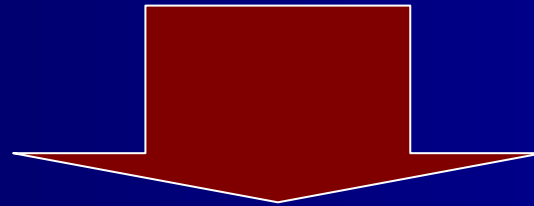
Κάτι ανάλογο για το μαγνητικό πεδίο θα διατυπωνόταν ως: «Η ολική ροή μέσα από κλειστή επιφάνεια είναι ανάλογη της μαγνητικής ποσότητας που περιέχεται στην επιφάνεια».

NΟΜΟΣ ΤΟΥ GAUSS ΣΤΟ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Όμως δεν υπάρχουν μαγνητικά μονόπολα. Επομένως πάντα ο μαγνήτης που θα είναι μέσα σε οποιαδήποτε επιφάνεια θα έχει ίση βόρεια και νότια μαγνητική ποσότητα. Είπαμε ότι το ανάλογο του νόμου του Gauss για το μαγνητικό πεδίο θα ήταν

«Η ολική ροή μέσα από κλειστή επιφάνεια είναι ανάλογη της μαγνητικής ποσότητας που περιέχεται στην επιφάνεια».

Η συνολική όμως αυτή ποσότητα είναι πάντα 0



$$\oint \overline{\mathbf{B}} \cdot d\overline{\mathbf{A}} = 0$$

ΟΤΑΝ ΕΧΟΥΜΕ ΚΛΕΙΣΤΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ Η ΘΕΤΙΚΗ ΦΟΡΑ ΤΟΥ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΕΙΝΑΙ ΑΠΟ ΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΠΡΟΣ ΤΑ ΕΞΩ

ΟΜΩΣ Ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ GAUSS ΣΤΟ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΕΧΕΙ ΜΙΑ ΜΙΚΡΗ ΑΣΑΦΕΙΑ ΟΤΑΝ ΠΡΟΚΕΙΤΑΙ ΓΙΑ ΑΝΟΙΚΤΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

ΠΟΙΑ ΕΙΝΑΙ Η ΘΕΤΙΚΗ ΦΟΡΑ ΤΟΥ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΑΥΤΗ;



Ορίζουμε εμείς μια από τις δύο επιλογές ως θετική φορά και κοιτάμε να είμαστε συμμορφωμένοι με τον ορισμό μας ότι και να κάνουμε στη συνέχεια.

ΜΟΝΑΔΑ ΡΟΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

$$1\text{Wb} = 1 \text{ weber} = 1\text{Tm}^2=1\text{Nm/A}$$

Αν το μαγνητικό πεδίο είναι κάθετο στο στοιχείο επιφάνειας τότε έχουμε μόνο κάθετη συνιστώσα στην επιφάνεια.

$$B_{\perp} = B$$

Έστω ότι στην περίπτωση αυτή συμβολίζουμε την επιφάνεια ως

$$dA_{\perp}$$

$$B = \frac{d\Phi_B}{dA_{\perp}}$$

ΔΗΛΑΔΗ ΤΟ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΔΙΝΕΤΑΙ ΩΣ ΡΟΗ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

ΓΙ' ΑΥΤΟ ΣΥΧΝΑ ΤΟ ΛΕΜΕ ΚΑΙ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΡΟΗΣ

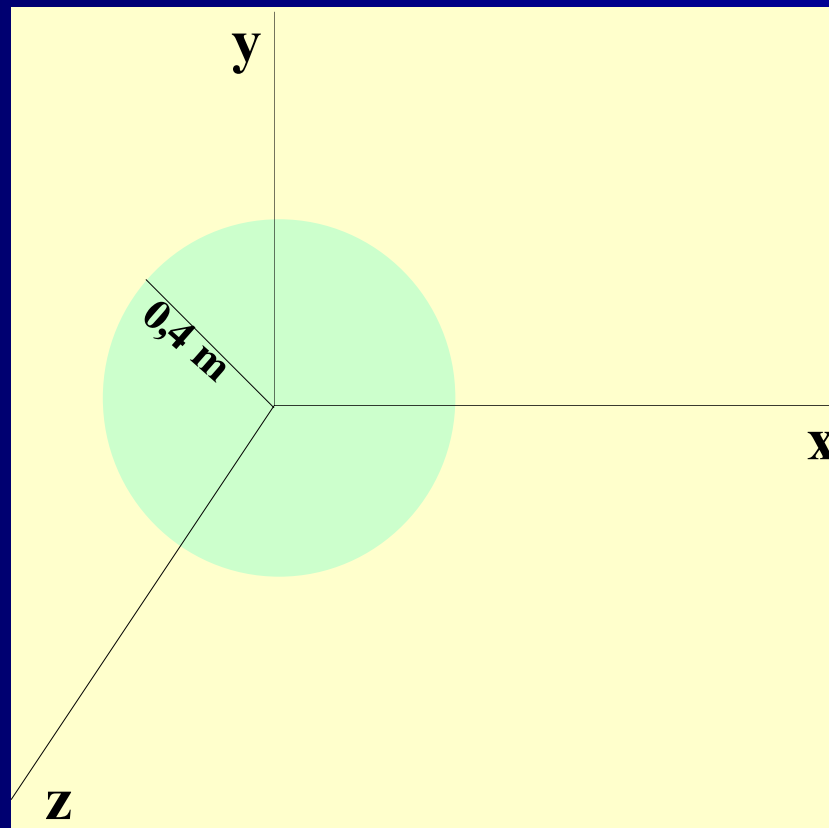
ΑΣΚΗΣΗ 28-7

Μια κυκλική επιφάνεια με ακτίνα $0,4\text{ m}$ βρίσκεται στο επίπεδο xy . Ποιά είναι η μαγνητική ροή μέσα από τον κύκλο που οφείλεται σε ομογενές μαγνητικό πεδίο $B=1,6\text{ T}$ και κατεύθυνσης:

A) στο $+z$

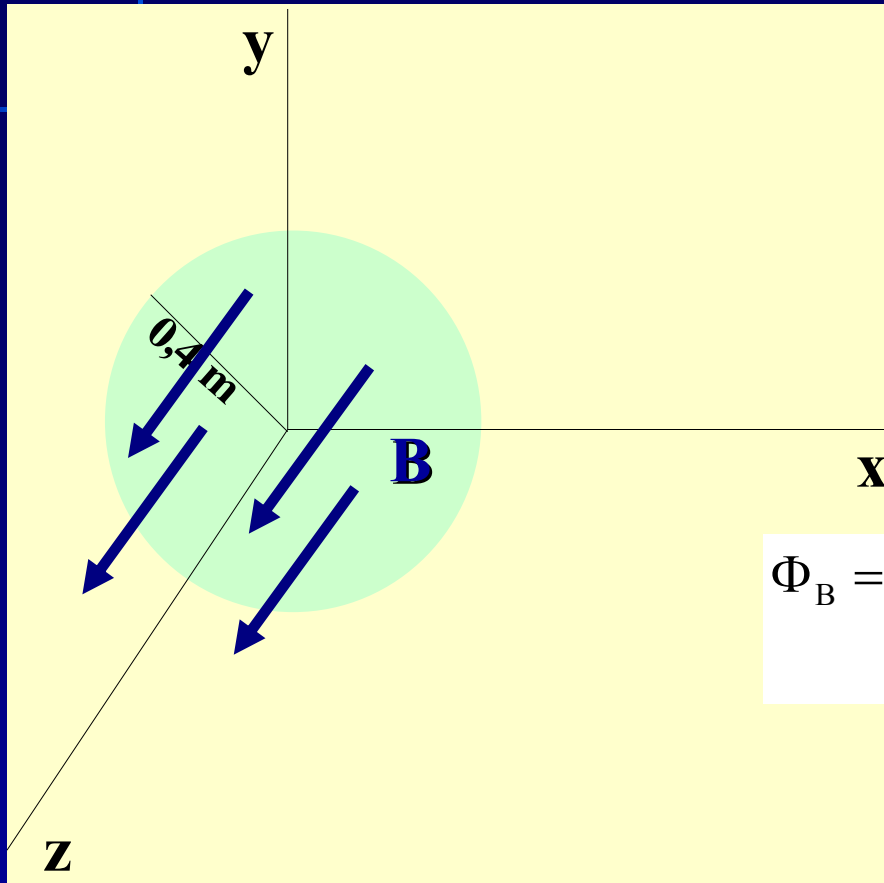
B) σε ευθεία που σχηματίζει γωνία 30° με τον $+z$

Γ) στο $+y$



ΑΣΚΗΣΗ 28-7

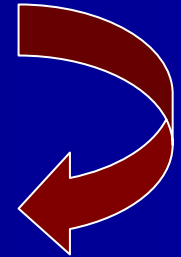
A) Κατεύθυνση πεδίου στο +z



Ομογενές πεδίο

$$\Phi_B = \int B_{\perp} dA = B_{\perp} \int dA = B_{\perp} A$$

$$B_{\perp} = B \cos \varphi = B \cos 0^{\circ} = B$$



$$\Phi_B = BA = B\pi R^2 \Rightarrow$$

$$\Phi_B = 3.14159 (0,4)^2 (1,6) \text{ m}^2\text{T} = 0,804 \text{ Wb}$$

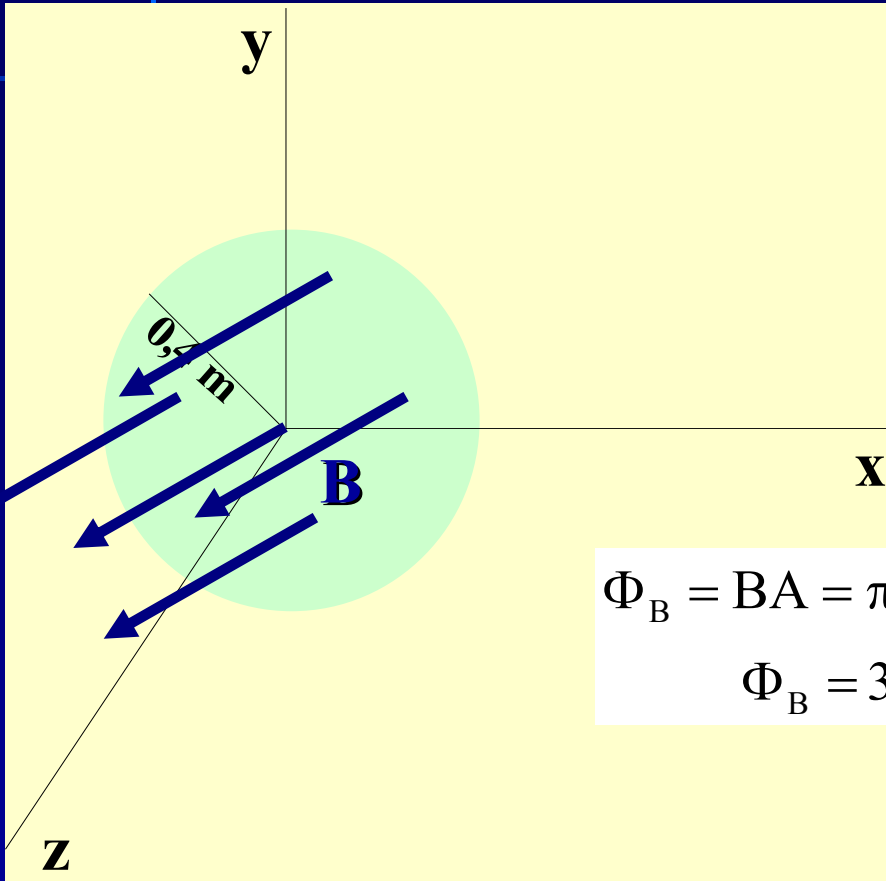
ΑΣΚΗΣΗ 28-7

B) Κατεύθυνση πεδίου 30° ως προς το $+z$

Ομογενές πεδίο

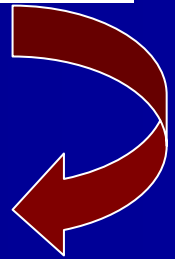
$$\Phi_B = \int B_{\perp} dA = B_{\perp} \int dA = B_{\perp} A$$

$$B_{\perp} = B \cos \varphi = B \cos 30^\circ$$



$$\Phi_B = BA = \pi R^2 B \cos \varphi \Rightarrow$$

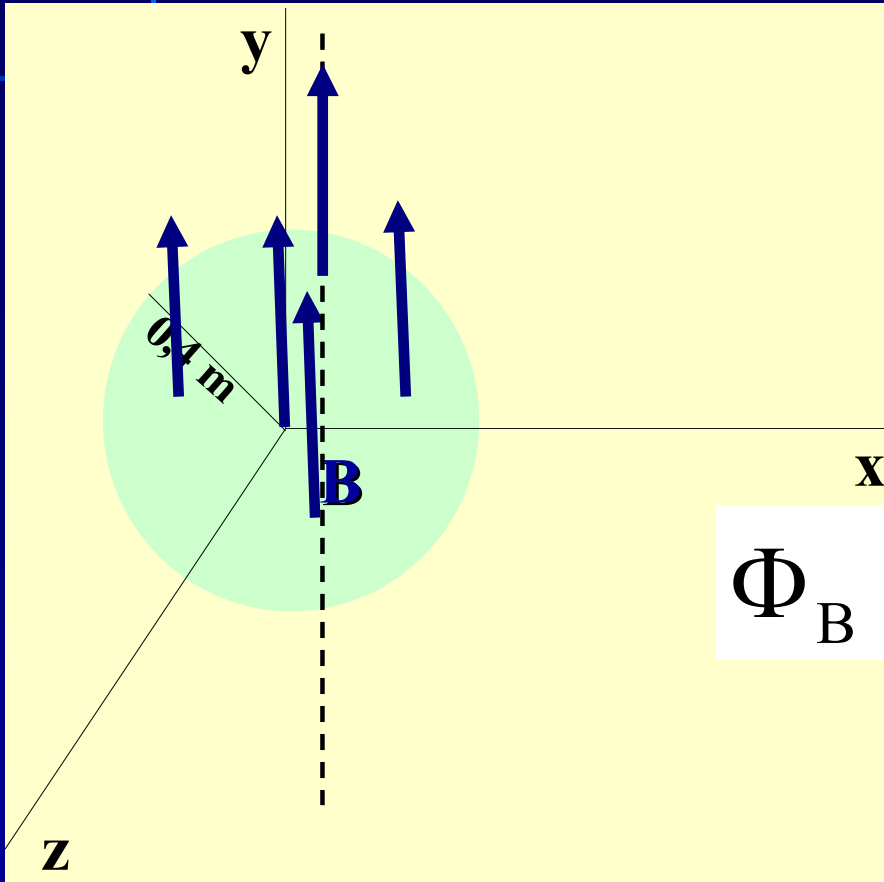
$$\Phi_B = 3.14159 (0,4)^2 (1,6) (0,866) \text{m}^2 \text{T} = 0,696 \text{Wb}$$



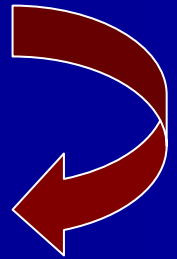
ΑΣΚΗΣΗ 28-7

Β) Κατεύθυνση πεδίου προς
το $+y$

Ομογενές πεδίο



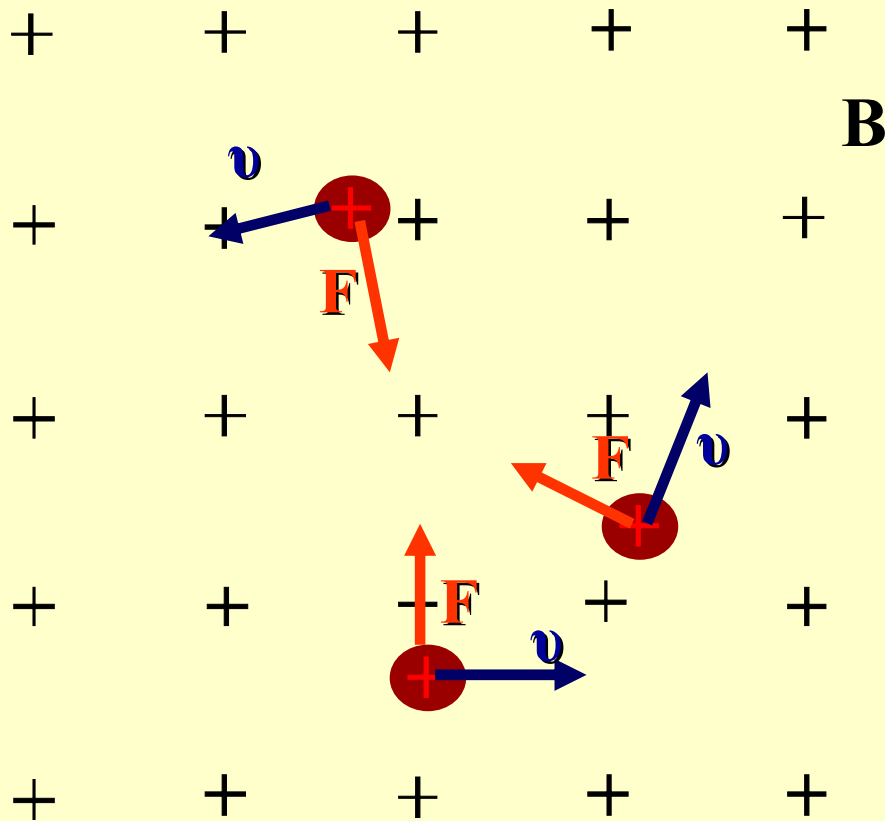
$$\cos \varphi = \cos 90^{\circ} = 0$$



$$\Phi_B = BA = \pi R^2 B \cos \varphi = 0$$

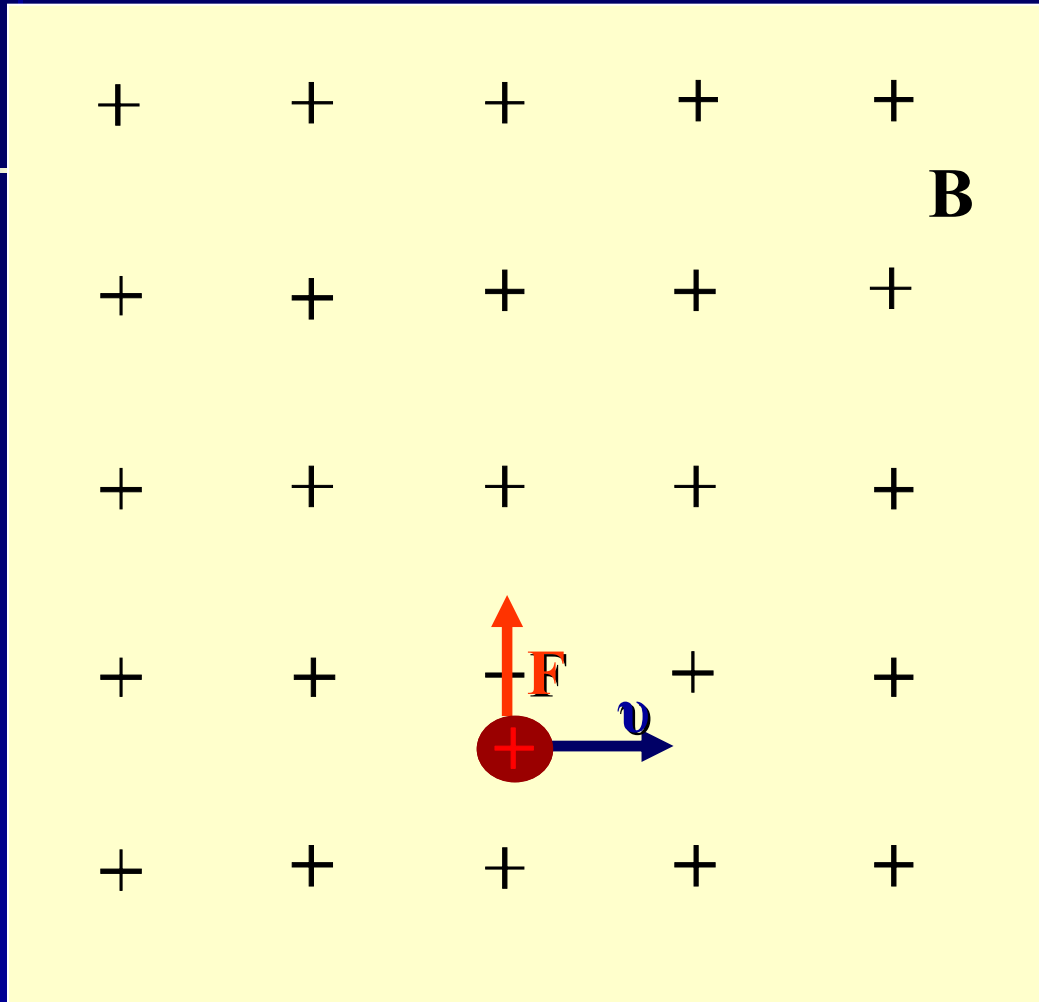
ΚΙΝΗΣΗ ΦΟΡΤΙΣΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΩΝ ΜΕΣΑ ΣΕ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Ομογενές πεδίο



$$\bar{\mathbf{F}} = q\bar{\mathbf{v}} \times \bar{\mathbf{B}}$$

Ομογενές πεδίο



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

Η δύναμη είναι πάντοτε κάθετη στην ταχύτητα και επομένως μεταβάλλει μόνο την κατεύθυνσή της και όχι το μέτρο της.

$$F = |q|vB = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow$$

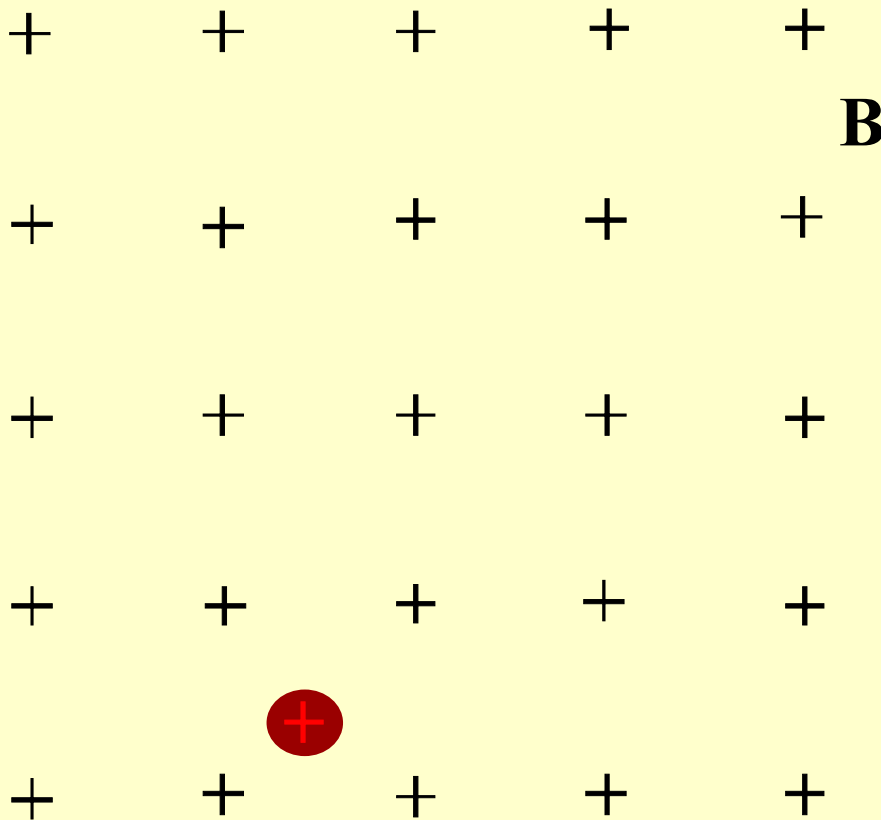
$$R = \frac{mv}{|q|B}$$

Αν η ορμή του
σωματίου είναι
 $p=mv$, τότε

$$R = \frac{p}{|q|B}$$

$$\omega = \frac{v}{R} = v \frac{|q|B}{mv} = \frac{|q|B}{m}$$

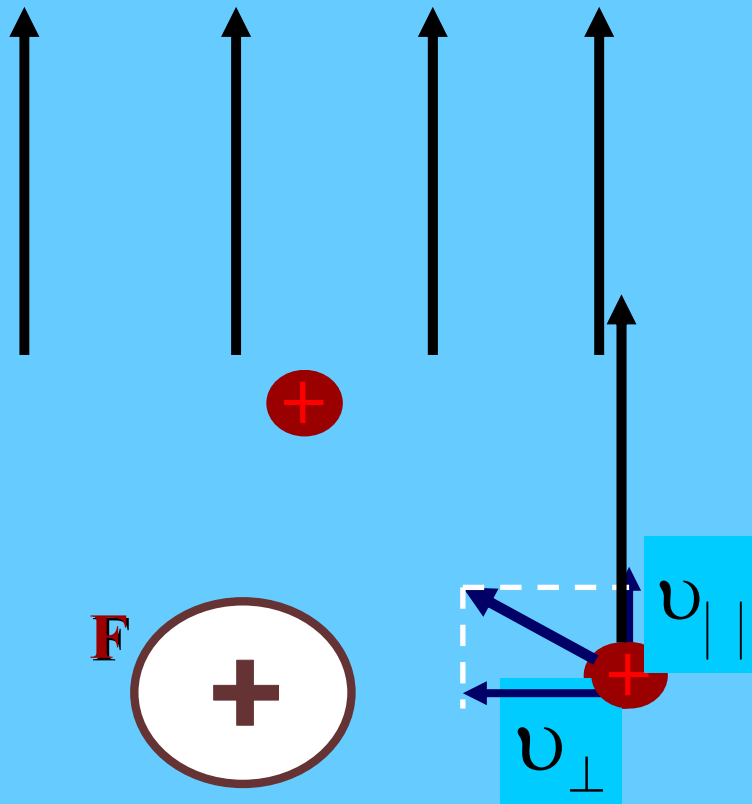
Κυκλοτρονική συχνότητα
που είναι ανεξάρτητη από
την ακτίνα της τροχιάς.



**ΤΙ ΓΙΝΕΤΑΙ ΑΝ ΤΑ v
ΚΑΙ B ΕΙΝΑΙ ΥΠΟ
ΓΩΝΙΑ ΜΗ ΟΡΘΗ;**

Ομογενές πεδίο

**Αν η αρχική ταχύτητα έχει
συνιστώσα παράλληλη προς
το πεδίο, αυτή θα παραμείνει
αμετάβλητη γιατί δεν υπάρχει
δύναμη παράλληλη προς το
πεδίο.**

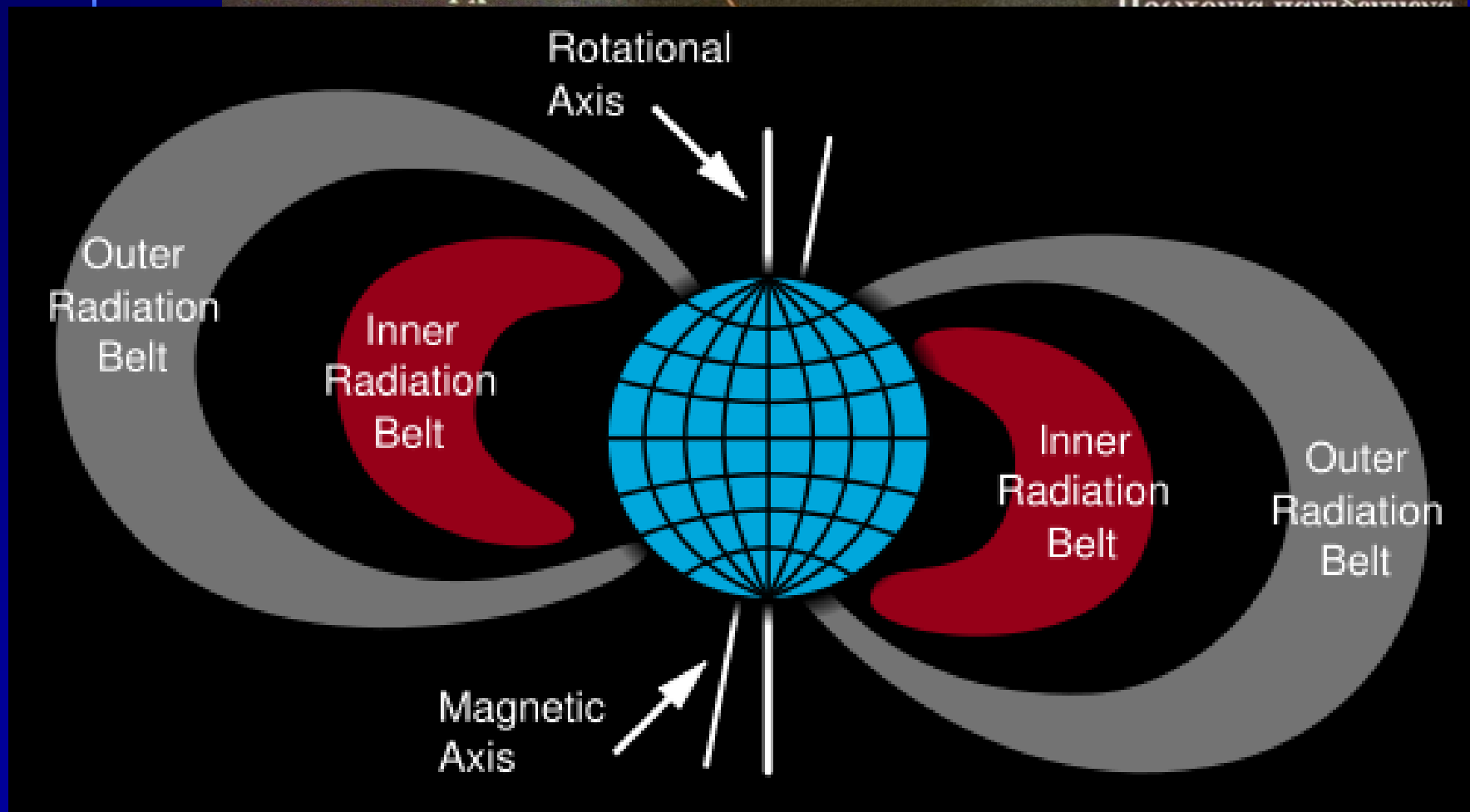


ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΕ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

ΖΩΝΕΣ VAN ALLEN

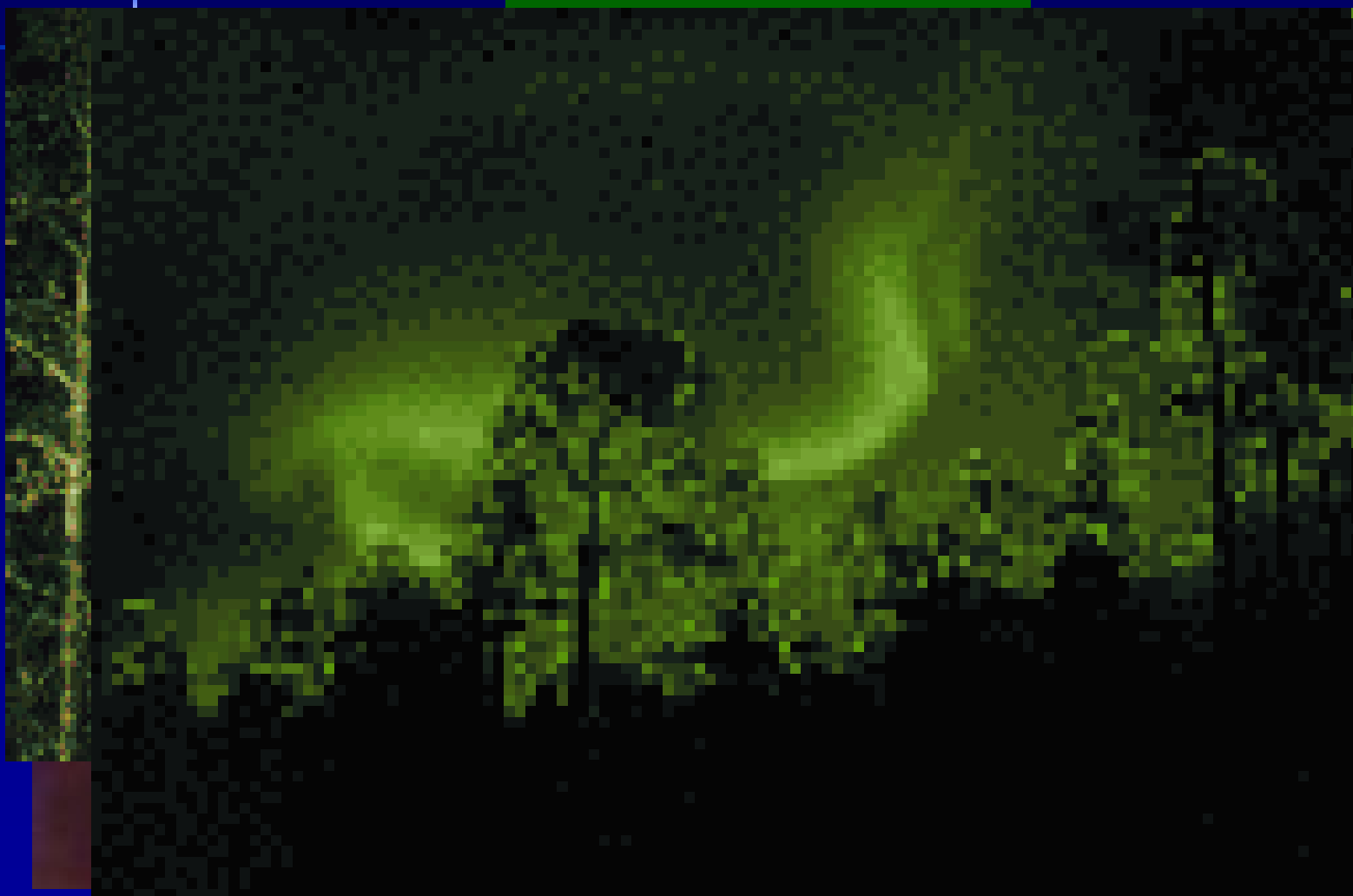
Φορτισμένα σωματίδια από τον Ήλιο εισέρχονται στο

Ποιότητα και Διεύθυνση



ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΕ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

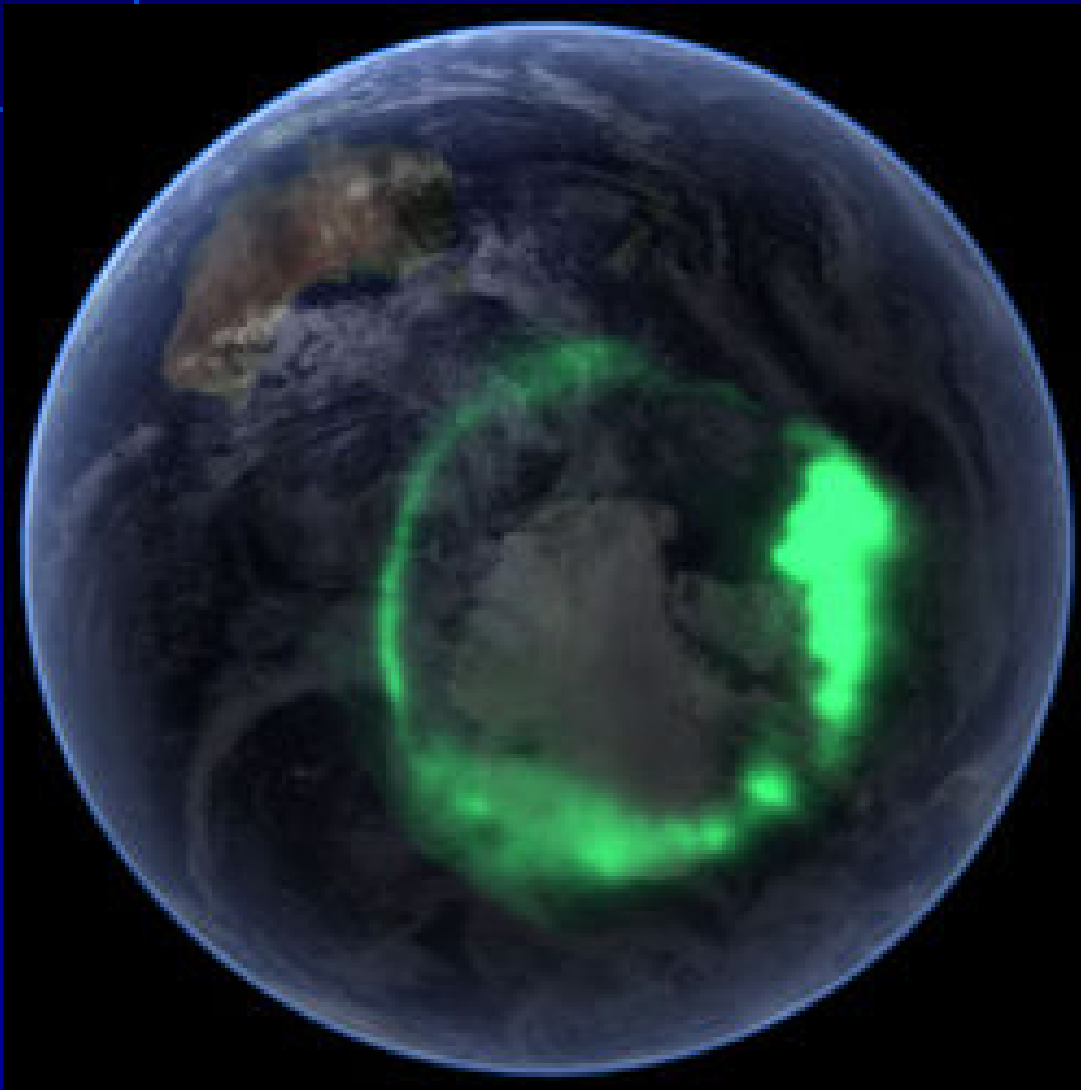
ΒΟΡΕΙΟ ΣΕΛΑΣ



http://virtual.finland.fi/finfo/English/aurora_borealis.html

ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΕ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

ΝΟΤΙΟ ΣΕΛΑΣ



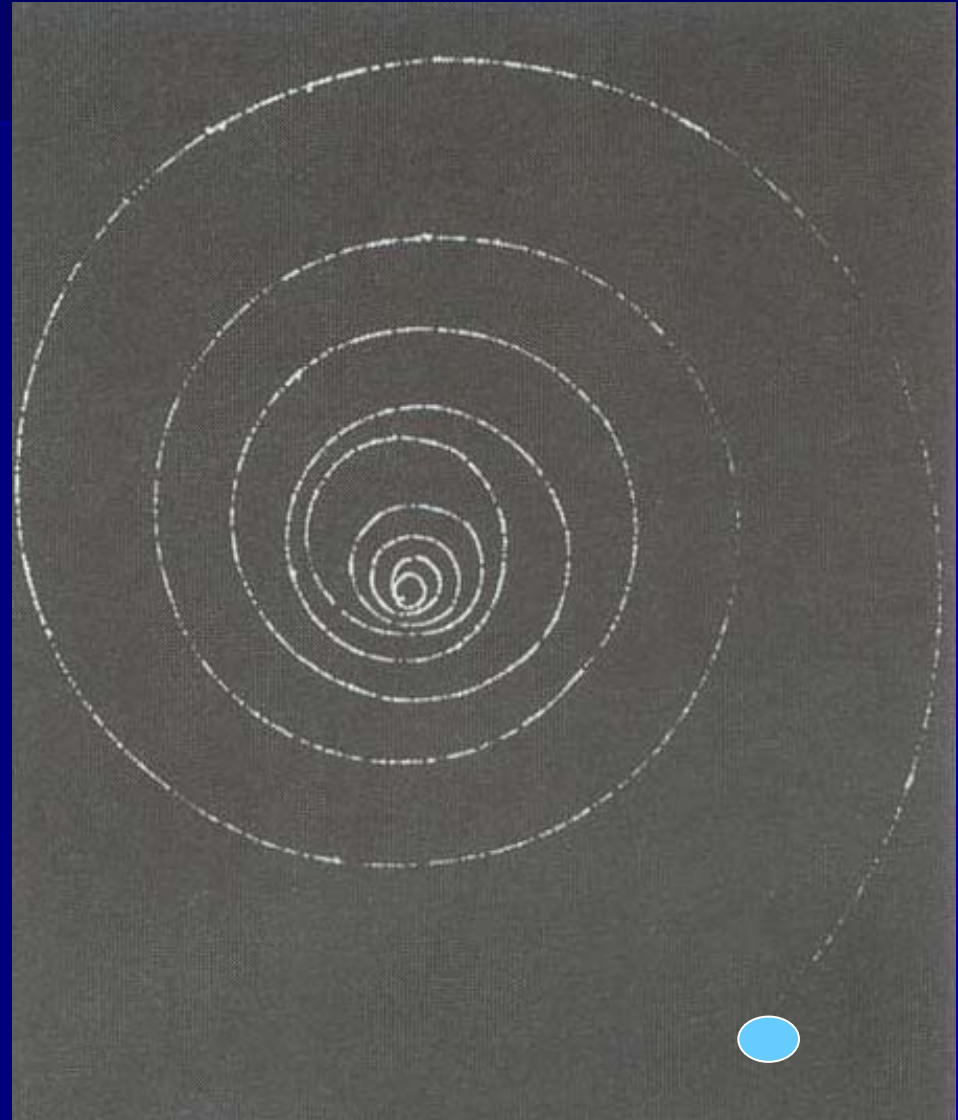
Aurora australis (September 11, 2005) as captured by NASA's IMAGE satellite, digitally overlaid onto the Blue Marble composite image.

ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΕ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

ΘΑΛΑΜΟΣ ΦΥΣΑΛΙΔΩΝ

Ηλεκτρόνιο αρχικής κινητικής ενέργειας 27 Mev, $B=1,8$ T
Μέγιστη κυκλοτρονική ακτίνα 5 cm
Το σωματίδιο χάνει ενέργεια λόγω συγκρούσεων με άλλα σωματίδια

ΥΓΡΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ

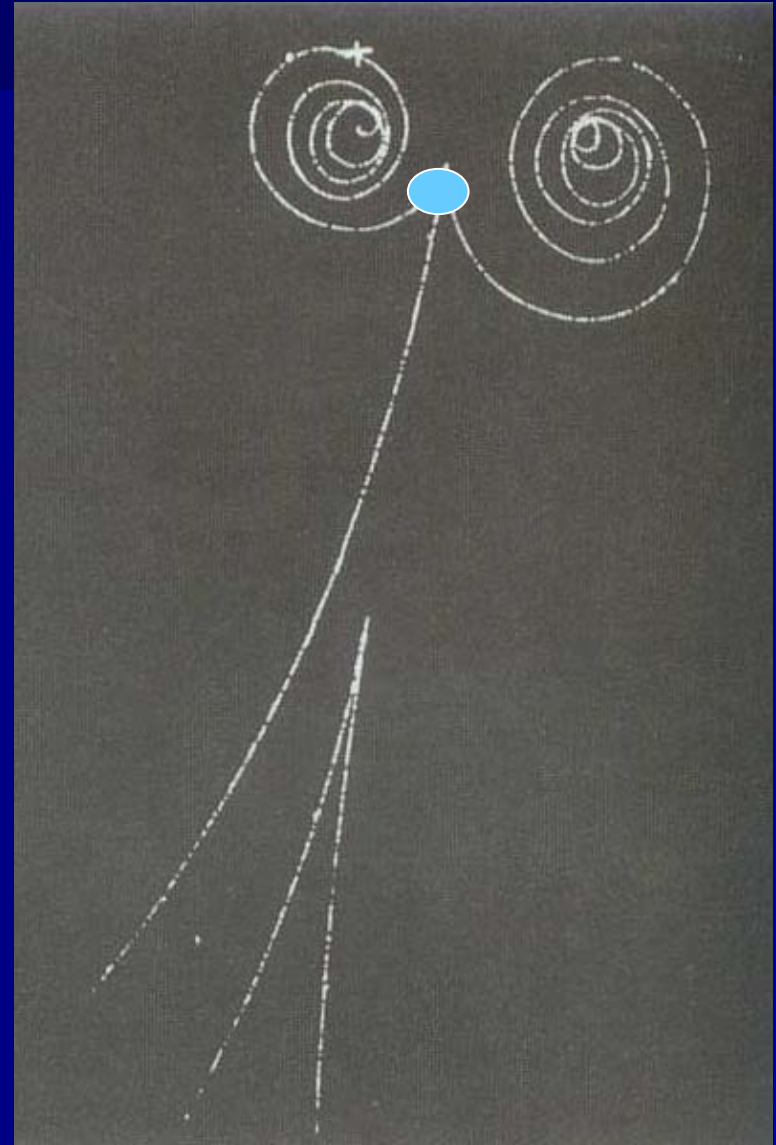


ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΕ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

ΘΑΛΑΜΟΣ ΦΥΣΑΛΙΔΩΝ

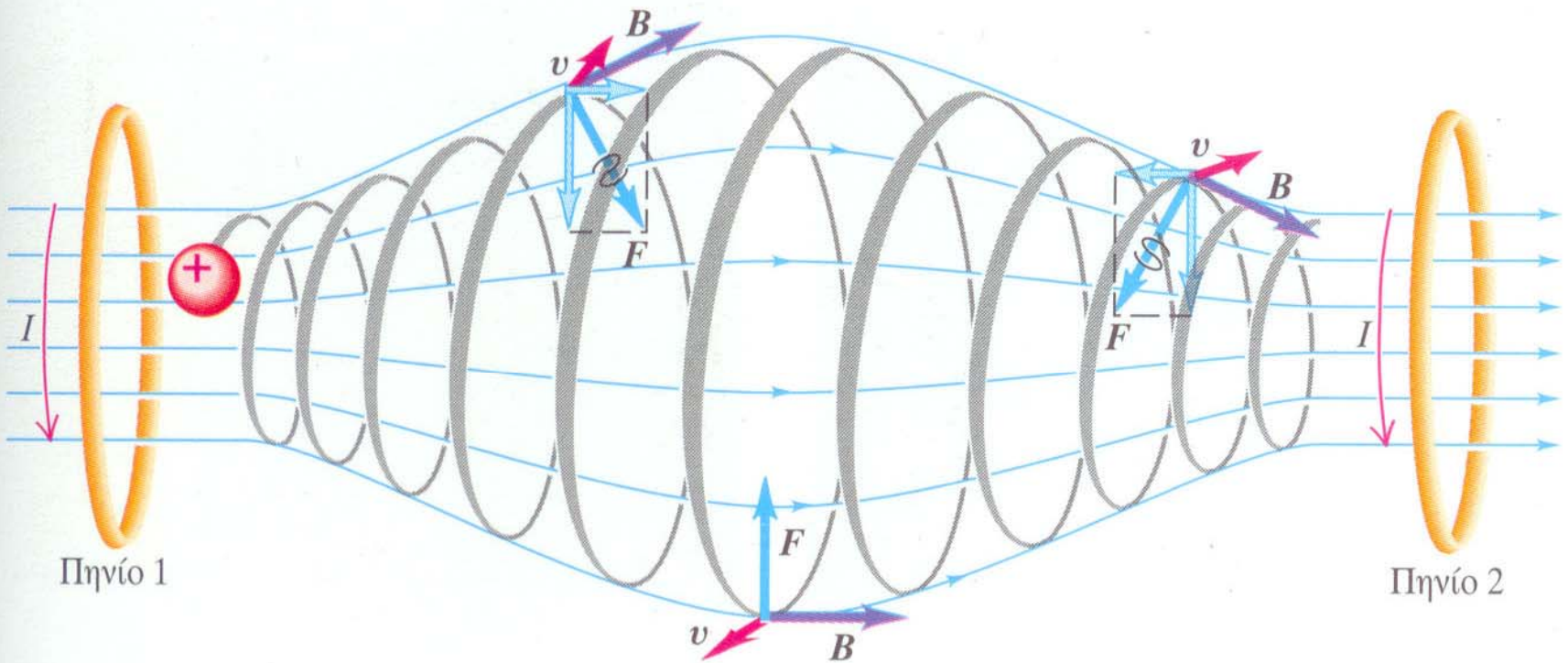
ΥΓΡΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ

Δίδυμος γένεσης
Υψηλής ενέργειας ακτίνα γ σκεδάζεται
από το ηλεκτρόνιο ενός ατόμου
Φαίνονται οι τροχιές του ζεύγους
ηλεκτρονίου – ποζιτρονίου και του
οπισθοσκεδαζόμενου ηλεκτρονίου.



ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΕ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΦΙΑΛΗ



ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΕ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

ΦΑΣΜΑΤΟΜΕΤΡΟ ΜΑΖΑΣ

$$F_B = -qvB$$

Επιλογέας ταχυτήτων, τα πεδία E και B είναι κάθετα μεταξύ τους

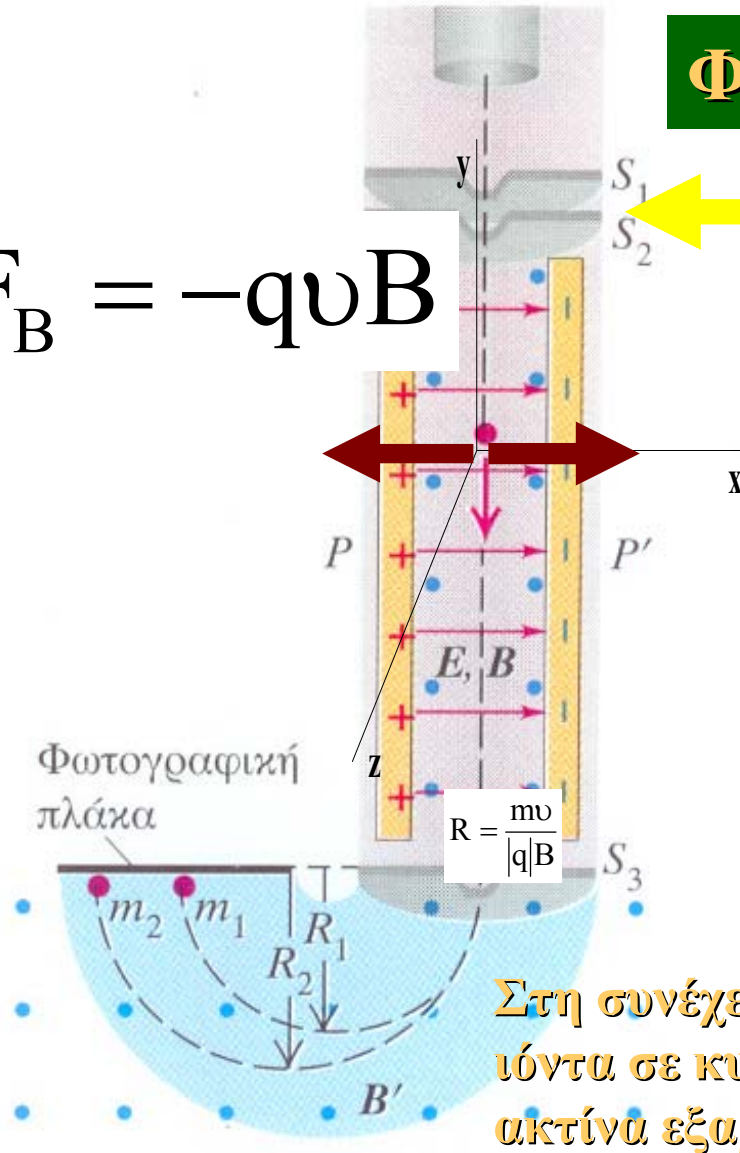
$$F_E = qE$$

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow qE - qvB = 0 \Rightarrow v = \frac{E}{B}$$

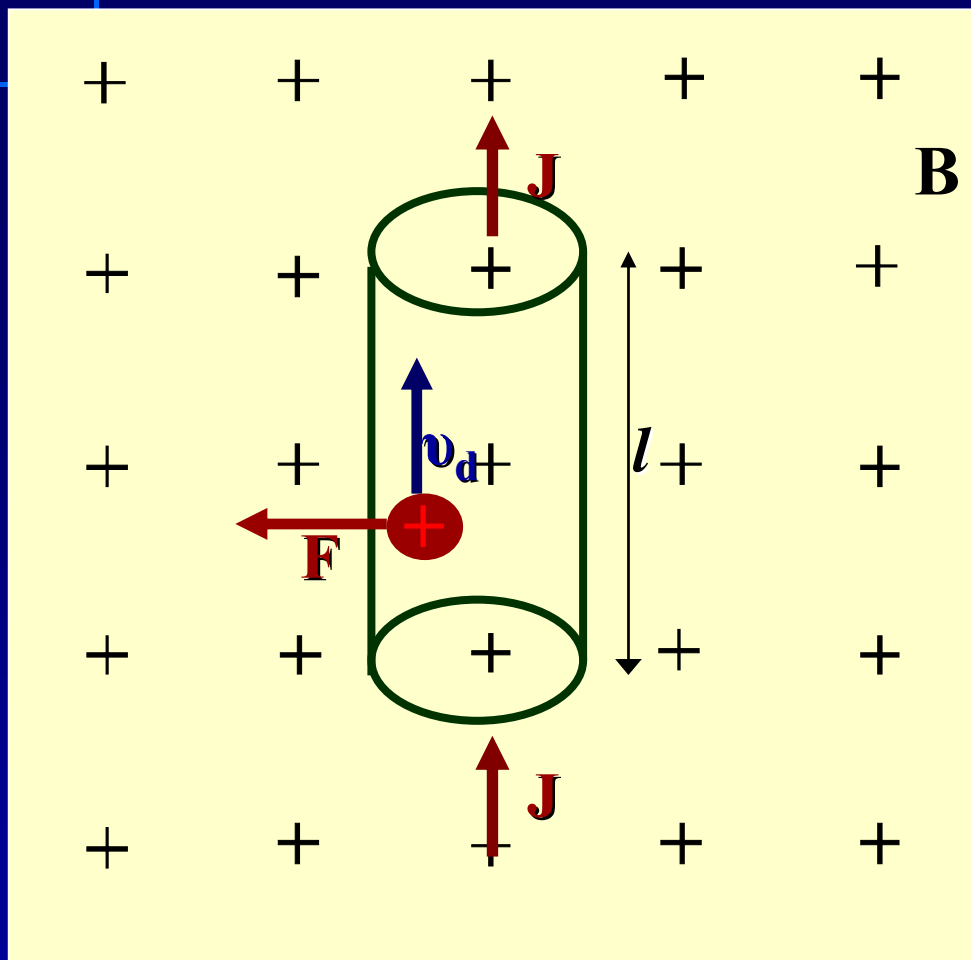
Δηλαδή επιτρέπεται η διέλευση μόνο των ιόντων των οποίων η ταχύτητα είναι ίση με το λόγο των μέτρων των πεδίων .

Στη συνέχεια το πεδίο B' αναγκάζει τα ιόντα σε κυκλική κίνηση, της οποίας η ακτίνα εξαρτάται από τη μάζα τους

$$R = \frac{mv}{|q|B'}$$



ΔΥΝΑΜΗ ΣΕ ΡΕΥΜΑΤΟΦΟΡΟ ΑΓΩΓΟ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ



Οι μαγνητικές δυνάμεις που ασκούνται στα κινούμενα φορτία μέσα στον αγωγό μεταφέρονται στο υλικό.

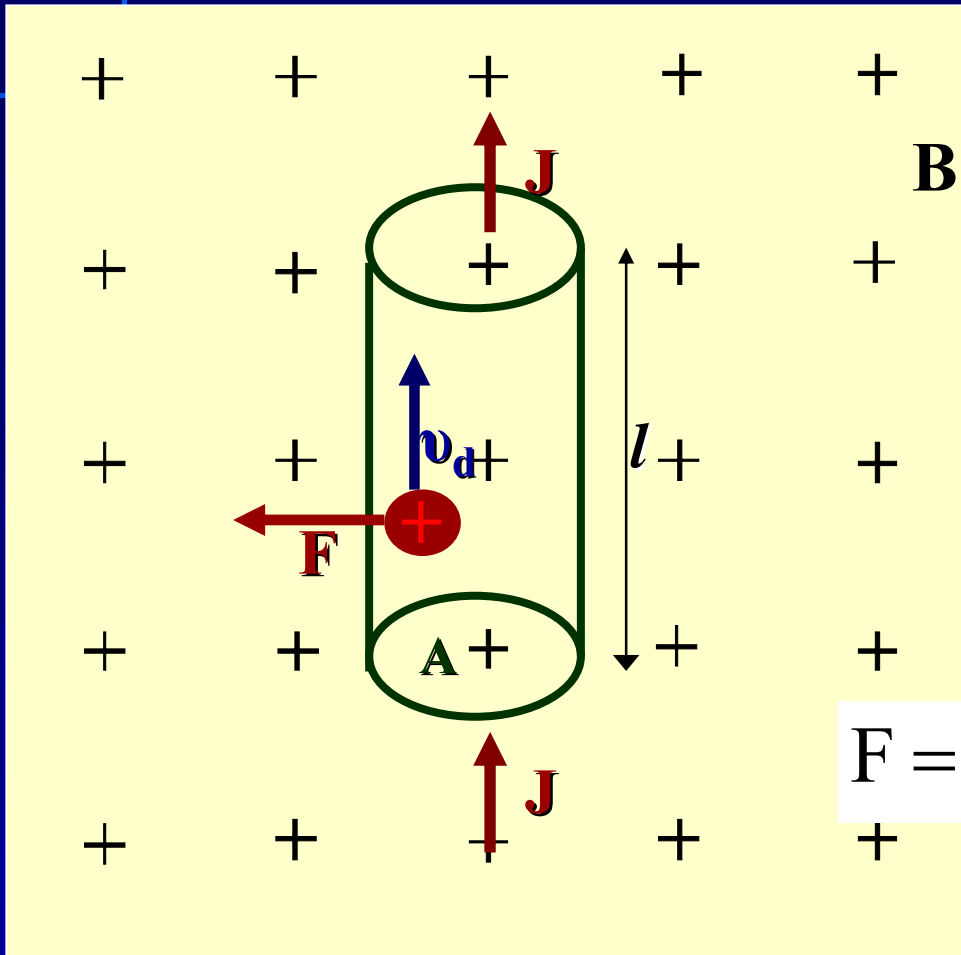
Έτσι μακροσκοπικά το μαγνητικό πεδίο ασκεί δύναμη στον αγωγό

Ρεύμα κάθετο στο μαγνητικό πεδίο

Αν v_d είναι η ταχύτητα ολίσθησης των φορτίων, σε κάθε φορτίο ασκείται δύναμη

$$\bar{\mathbf{F}} = q(\bar{\mathbf{v}}_d \times \bar{\mathbf{B}})$$

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΠΑΝΩ ΣΕ ΟΛΑ ΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΣΕ ΜΗΚΟΣ l ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ



Έστω n ο αριθμός των κινουμένων φορτίων ανά μονάδα όγκου



Τότε για μήκος αγωγού l θα έχουμε συνολικά nAl κινούμενα φορτία.



Συνολική δύναμη μέτρου

$$F = (nAl)(qv_d B) = (nqv_d)(BA l)$$

Όμως

$$J = \frac{I}{A} = nqv_d$$

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΠΑΝΩ ΣΕ ΟΛΑ ΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΣΕ ΜΗΚΟΣ l ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ



$$F = IlB$$

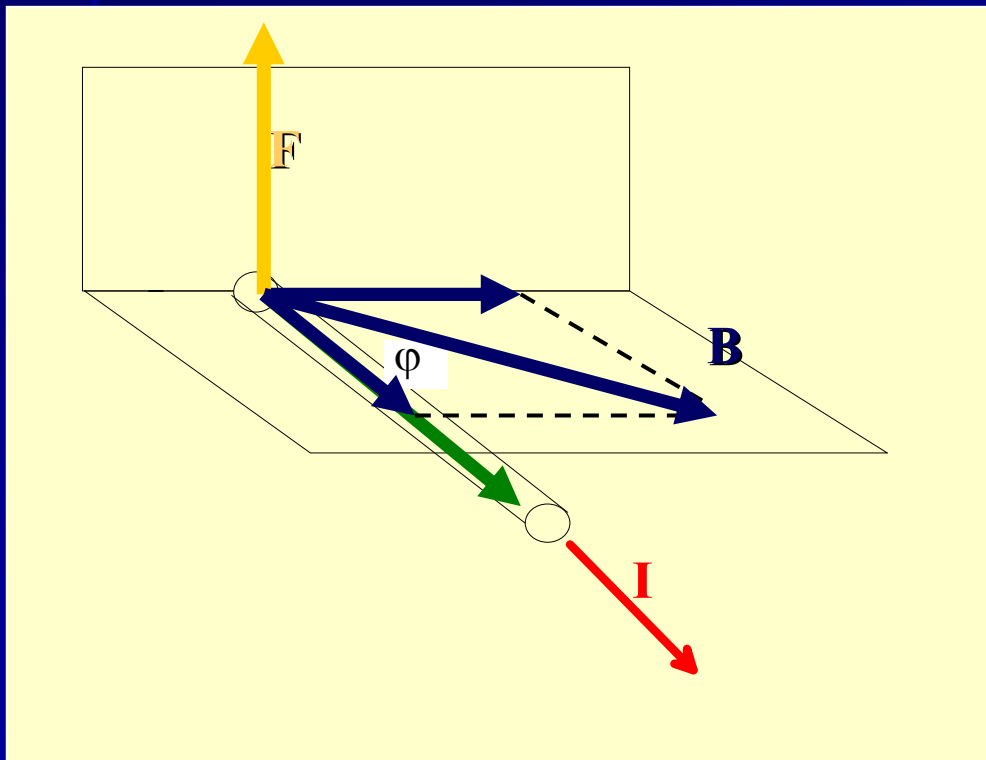
Αν το πεδίο σχηματίζει γωνία φ με το ρευματοφόρο αγωγό (σύρμα) τότε η συνιστώσα του πεδίου B που είναι παράλληλη στο σύρμα δεν εξασκεί δύναμη σ' αυτό.

ΔΥΝΑΜΗ ΑΣΚΕΙΤΑΙ ΜΟΝΟ ΑΠΟ ΤΗΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ ΤΟΥ B ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΚΑΘΕΤΗ ΣΤΟ ΣΥΡΜΑ ΔΗΛΑΔΗ ΤΗΝ

$$B_{\perp} = B \sin \varphi$$

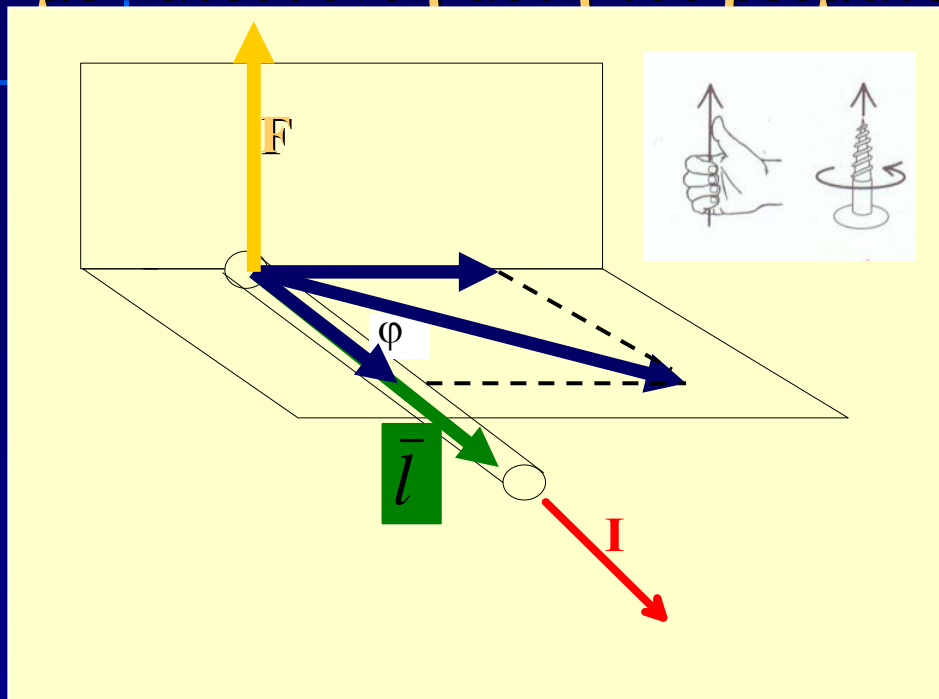


$$F = IlB_{\perp} = IlB \sin \varphi$$



ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΠΑΝΩ ΣΕ ΟΛΑ ΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΣΕ ΜΗΚΟΣ l ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ

Το διάνυσμα \vec{l} παριστά το τμήμα του ρευματοφόρου αγωγού με κατεύθυνση αυτή του ρεύματος



$$\vec{F} = I \vec{l} \times \vec{B}$$

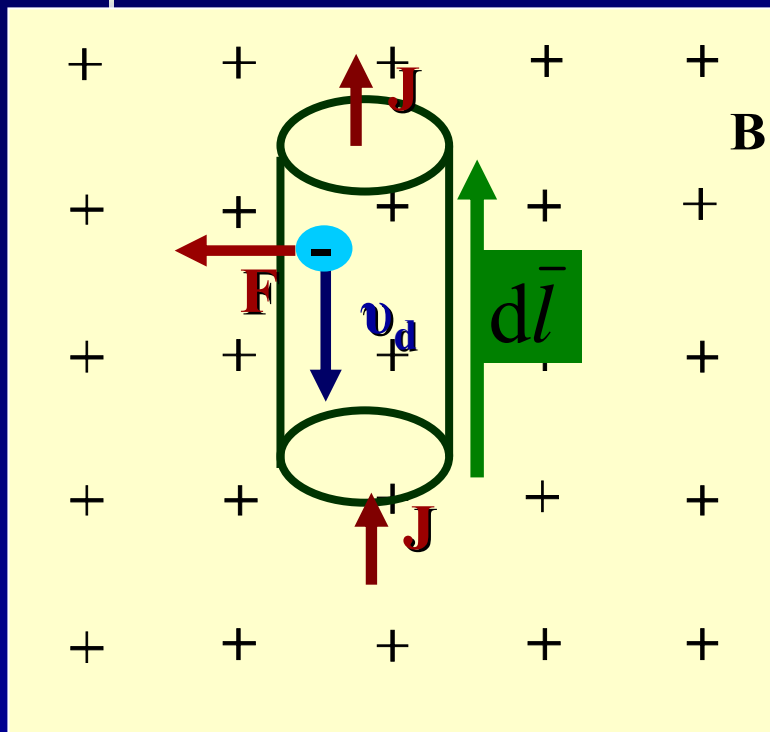
Αυτή η δύναμη είναι πάντα κάθετη στον αγωγό και στο πεδίο με κατεύθυνση που βρίσκουμε με τον κανόνα του δεξιού χεριού.

ΑΝ Ο ΑΓΩΓΟΣ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΟΣ



$$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$$

Αν το q είναι αρνητικό δεν αλλάζει τίποτε γιατί ρεύμα προς τα επάνω σημαίνει ταχύτητα ολίσθησης προς τα κάτω. ΔΗΛΑΔΗ ΤΑ v_d ΚΑΙ q ΑΛΛΑΖΟΥΝ ΠΡΟΣΗΜΟ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΑ ΚΑΙ Η ΔΥΝΑΜΗ ΕΙΝΑΙ ΠΑΛΙ ΠΡΟΣ ΤΑ ΑΡΙΣΤΕΡΑ



ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ: Το $d\vec{l}$ το ορίσαμε να έχει τη φορά του ρεύματος. Επομένως διευθύνεται προς τα επάνω.

Με τον κανόνα του δεξιού χεριού το εξωτερικό γινόμενο

$$d\vec{l} \times \vec{B}$$

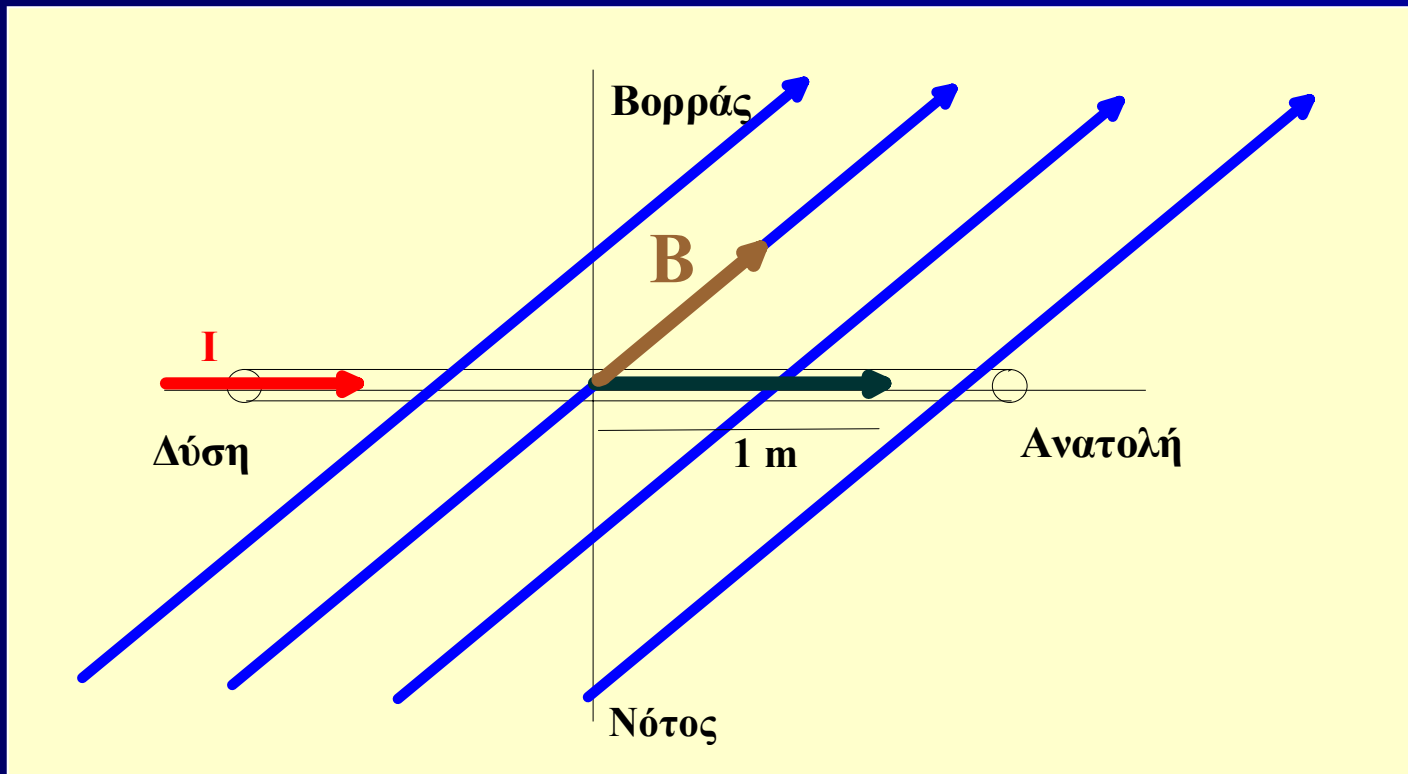
Διευθύνεται αριστερά

ΕΠΟΜΕΝΩΣ ΑΡΙΣΤΕΡΑ ΔΙΕΥΘΥΝΕΤΑΙ ΚΑΙ Η ΔΥΝΑΜΗ

$$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 28-6

Ευθύγραμμος χάλκινος αγωγός διαρρέεται από ρεύμα 50 A με φορά από τη Δύση προς την Ανατολή στην περιοχή ανάμεσα στους πόλους ενός ηλεκτρομαγνήτη όπου υπάρχει οριζόντιο μαγνητικό πεδίο με κατεύθυνση βορειοανατολικά και μέτρο $1,2\text{ T}$. Να βρεθεί το μέτρο και η κατεύθυνση της δύναμης πάνω σε τμήμα του αγωγού μήκους 1 m .



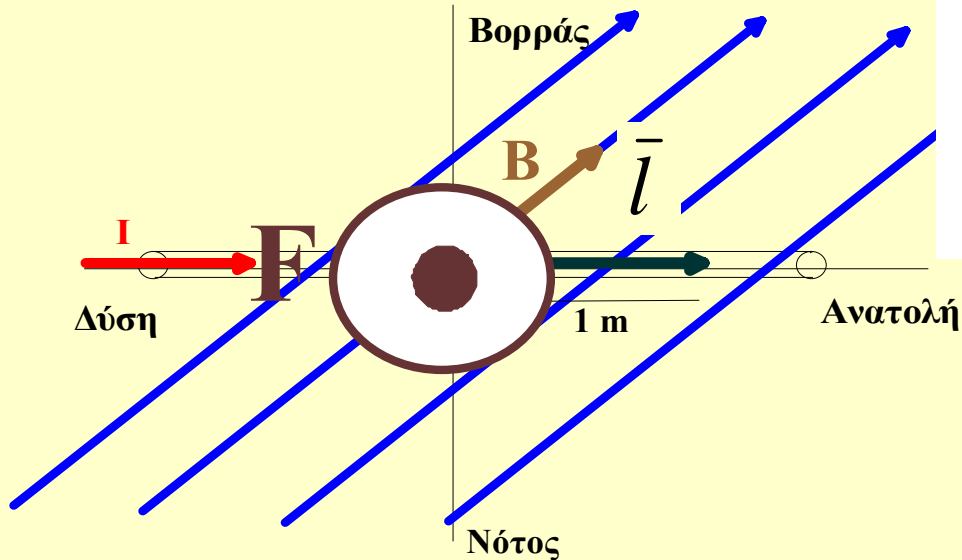
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 28-6

$$F = I\ell B \sin\phi =$$

$$= 50 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot \sin 45^\circ \text{ (AmT)}$$

$$= 50 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 0,707 \text{ (AmT)}$$

$$= 42,4 \text{ N}$$



Με τον κανόνα του δεξιού χεριού

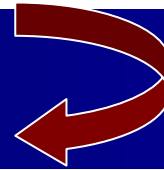
Εναλλακτικά

$$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 28-6

$$\bar{F} = I d\bar{l} \times \bar{B} = (50\text{A})$$

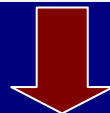
\hat{i}	\hat{j}	\hat{k}
1m	0	0
$1,2 \cos 45^\circ \text{T}$	$1,2 \sin 45^\circ \text{T}$	0



$$\bar{F} = 50\text{A} \left[\hat{i} \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 1,2 \sin 45^\circ \text{T} & 0 \end{vmatrix} - \hat{j} \begin{vmatrix} 1\text{m} & 0 \\ 1,2 \cos 45^\circ & 0 \end{vmatrix} + \hat{k} \begin{vmatrix} 1\text{m} & 0 \\ 1,2 \cos 45^\circ & 1,2 \sin 45^\circ \text{T} \end{vmatrix} \right]$$



$$\bar{F} = 50\text{A} \left[\hat{i}0 - \hat{j}0 + \hat{k}(1\text{m} \cdot 1,2 \sin 45^\circ \text{T} - 0) \right]$$



$$\bar{F} = 50\text{A}(1\text{m} \cdot 1,2 \sin 45^\circ \text{T})\hat{k} = 50 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 0,707\hat{k} \text{ AmT} = (42,4\text{N})\hat{k}$$

ΔΥΝΑΜΗ ΚΑΙ ΡΟΠΗ ΠΑΝΩ ΣΕ ΒΡΟΧΟ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Το μέτρο της δύναμης στη δεξιά πλευρά του βρόχου είναι

$$F = IaB\sin 90^\circ = IaB$$

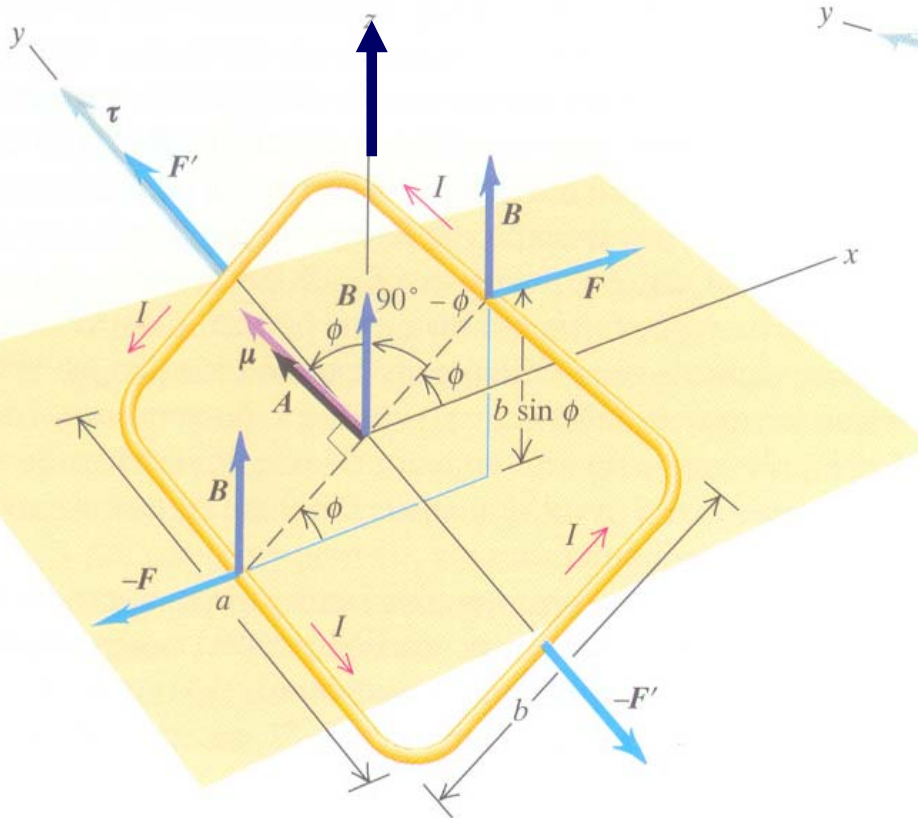
Στην αριστερή πλευρά η δύναμη έχει ίδιο μέτρο αλλά αντίθετη φορά

$$-\bar{F}$$

Οι πλευρές με μήκος b σχηματίζουν γωνία $90^\circ - \phi$ με την κατεύθυνση του \mathbf{B} συνεπώς υφίστανται δυνάμεις μέτρου

$$F' = IbB\sin(90^\circ - \phi) = IbB\cos\phi$$

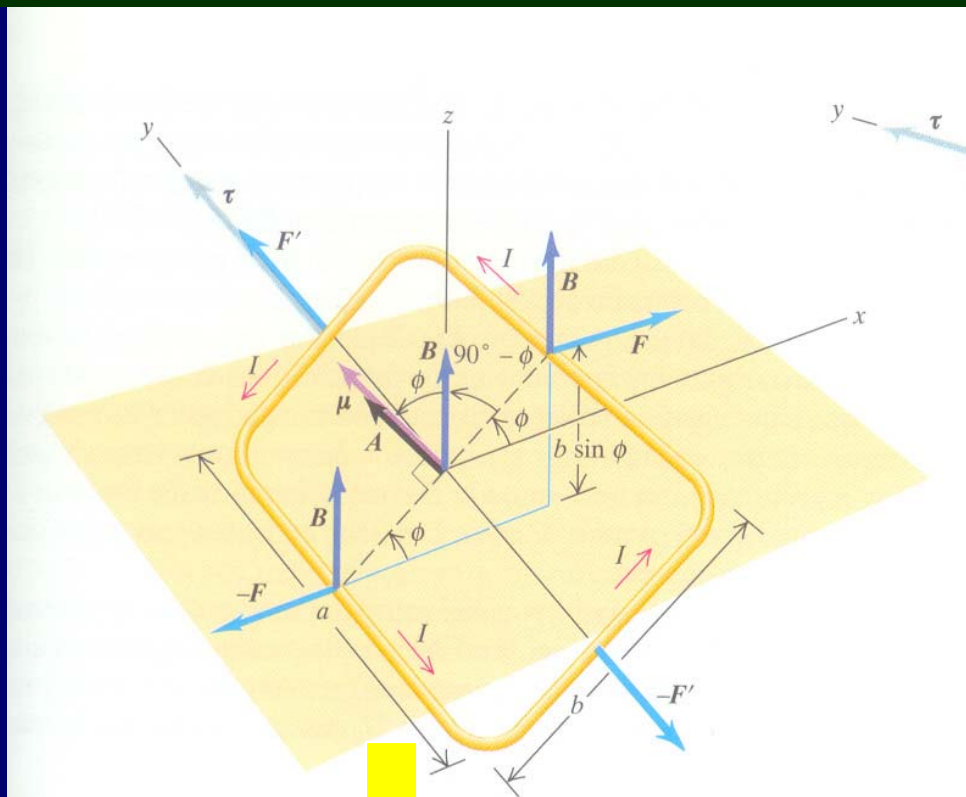
Και κατεύθυνσης πάνω στον y άξονα



✓ Η ολική δύναμη πάνω στο βρόχο είναι 0

✓ Οι δυνάμεις F' είναι συγγραμμικές και επομένως ασκούν ροπή 0

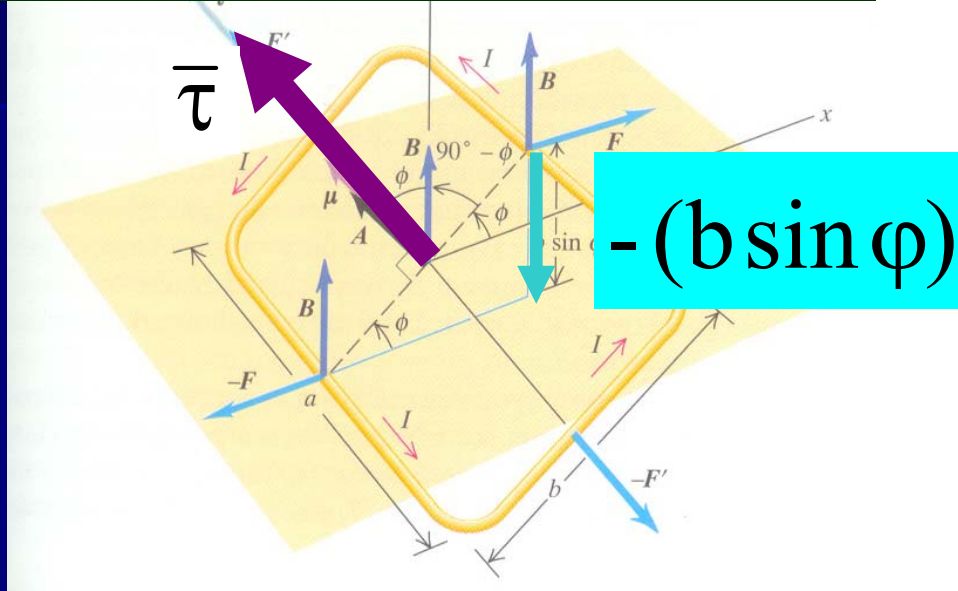
✓ Οι δυνάμεις F και $-F$ συνιστούν ζεύγος



Επομένως ασκούν ροπή ως προς οποιοδήποτε σημείο. Το μέτρο δε της ροπής αυτής είναι:

ΔΥΝΑΜΗ ΚΑΙ ΡΟΠΗ ΠΑΝΩ ΣΕ ΒΡΟΧΟ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

ΜΕΤΡΟ ΡΟΠΗΣ = ΔΥΝΑΜΗ Χ ΜΟΧΛΟΒΡΑΧΙΩΝΑΣ



$$\tau = (IBa)(b \sin \varphi)$$

Εφόσον η απόστασή τους είναι $b \cos \varphi$

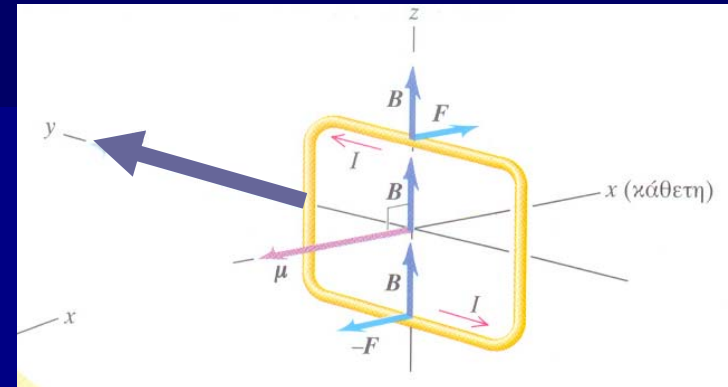
Η κατεύθυνση της ροπής ορίζεται από τον κανόνα του δεξιού χεριού μεταξύ των διανυσμάτων

$$\vec{F} \quad \text{και} \quad -(b \sin \varphi)\hat{k}$$

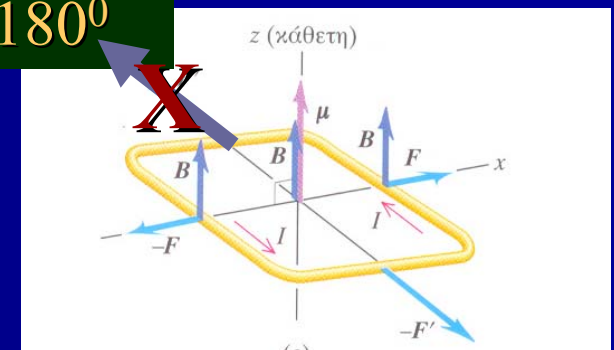
ΔΥΝΑΜΗ ΚΑΙ ΡΟΠΗ ΠΑΝΩ ΣΕ ΒΡΟΧΟ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

$$\tau = (IBa)(b \sin \varphi)$$

✓ Η ροπή είναι μέγιστη όταν $\varphi=90^\circ$



✓ Η ροπή είναι μηδέν για $\varphi=0^\circ$ και $\varphi=180^\circ$



✓ Για $\varphi=0^\circ$ έχουμε θέση ευσταθούς ισορροπίας

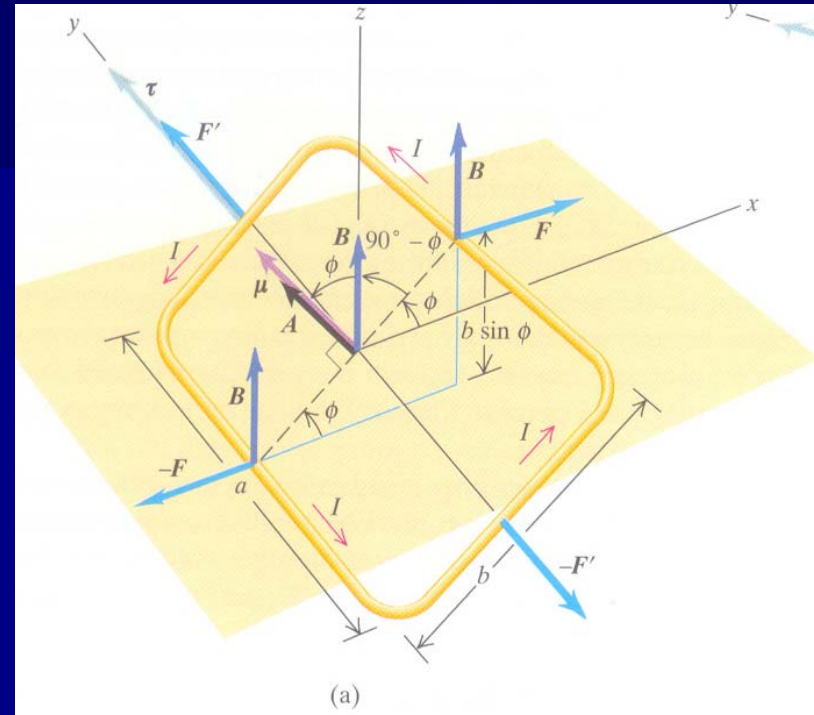
✓ Για $\varphi=180^\circ$ έχουμε θέση ασταθούς ισορροπίας

ΔΥΝΑΜΗ ΚΑΙ ΡΟΠΗ ΠΑΝΩ ΣΕ ΒΡΟΧΟ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

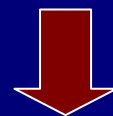
Εφόσον το εμβαδόν του βρόχου είναι

$$A=ab$$

$$\tau = I B a b \sin \varphi = I B A \sin \varphi$$



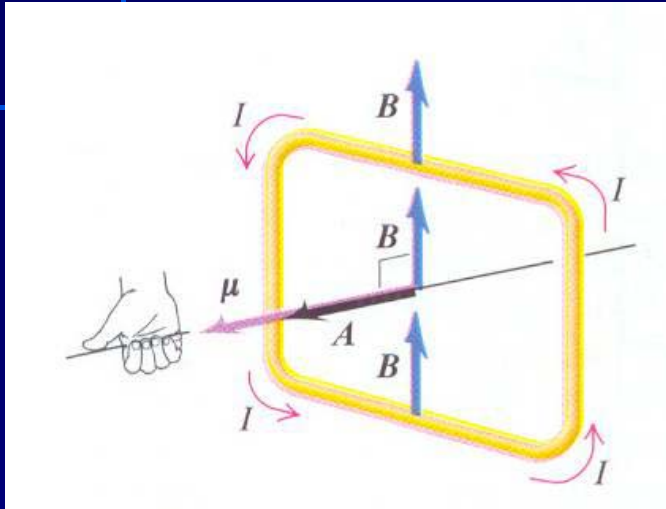
Ονομάζουμε μαγνητική ροπή ή μαγνητική διπολική ροπή την ποσότητα $\mu=IA$



$$\tau = I A B \sin \varphi = \mu B \sin \varphi$$

ΔΥΝΑΜΗ ΚΑΙ ΡΟΠΗ ΠΑΝΩ ΣΕ ΒΡΟΧΟ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

$$\tau = IAB \sin \varphi = \mu B \sin \varphi$$



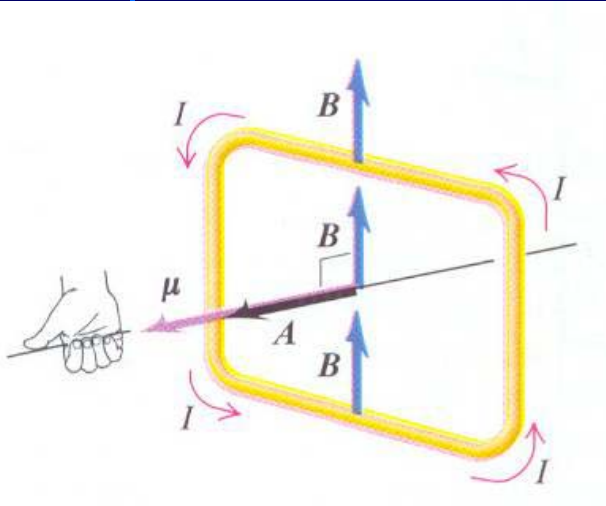
Ορίζουμε το μ ως διάνυσμα μέτρου $\mu=IA$
Κατεύθυνση που βρίσκεται από τον κανόνα της δεξιάς χειρός (τα λυγισμένα δάκτυλα είναι κατά τη ροή του ρεύματος και ο αντίχειρας δείχνει την κατεύθυνση του μ)

$$\bar{\tau} = \bar{\mu} \times \bar{B}$$

Η μηχανική ροπή είναι μεγίστη όταν τα μ και B είναι κάθετα μεταξύ τους.

ΔΥΝΑΜΗ ΚΑΙ ΡΟΠΗ ΠΑΝΩ ΣΕ ΒΡΟΧΟ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Ορίζουμε έτσι το μαγνητικό δίπολο κατ' αναλογία με το ηλεκτρικό δίπολο



Επομένως όταν ένα μαγνητικό δίπολο αλλάζει προσανατολισμό μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο, το πεδίο παράγει έργο

Για περιστροφή κατά $d\varphi$ έχουμε έργο dW

$$dW = \tau d\varphi$$

Όταν έχουμε παραγωγή έργου έχουμε και μεταβολή της δυναμικής ενέργειας



Συνάγουμε ότι η δυναμική ενέργεια είναι ελάχιστη όταν τα μ και B είναι ομόρροπα και παράλληλα (ευσταθής ισορροπία). Είναι μέγιστη όταν είναι αντίρροπα (ασταθής ισορροπία).

ΔΥΝΑΜΗ ΚΑΙ ΡΟΠΗ ΠΑΝΩ ΣΕ ΒΡΟΧΟ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

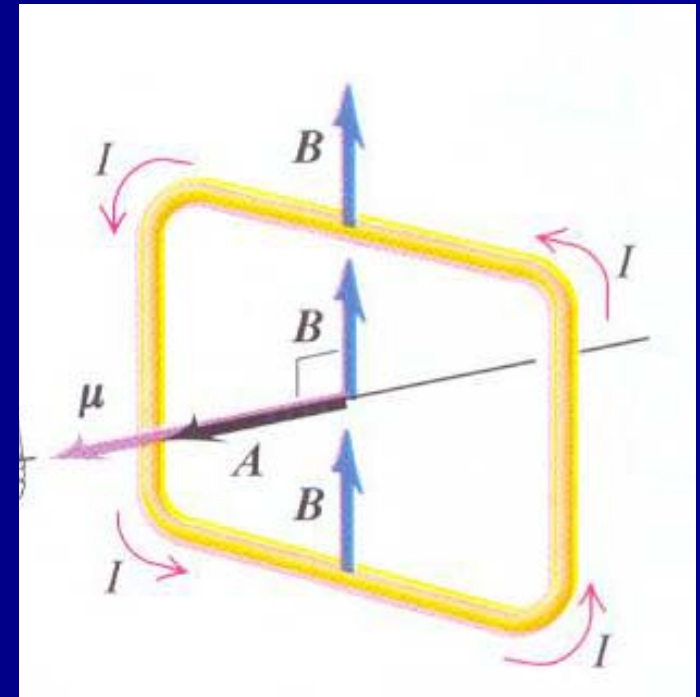
$$\bar{\tau} = \bar{p} \times \bar{E} \quad \Rightarrow \quad U = -\bar{p} \cdot \bar{E}$$

$$\bar{\tau} = \bar{\mu} \times \bar{B} \quad \Rightarrow \quad U = -\bar{\mu} \cdot \bar{B}$$



$$U = -\bar{\mu} \cdot \bar{B} = -\mu B \cos \varphi$$

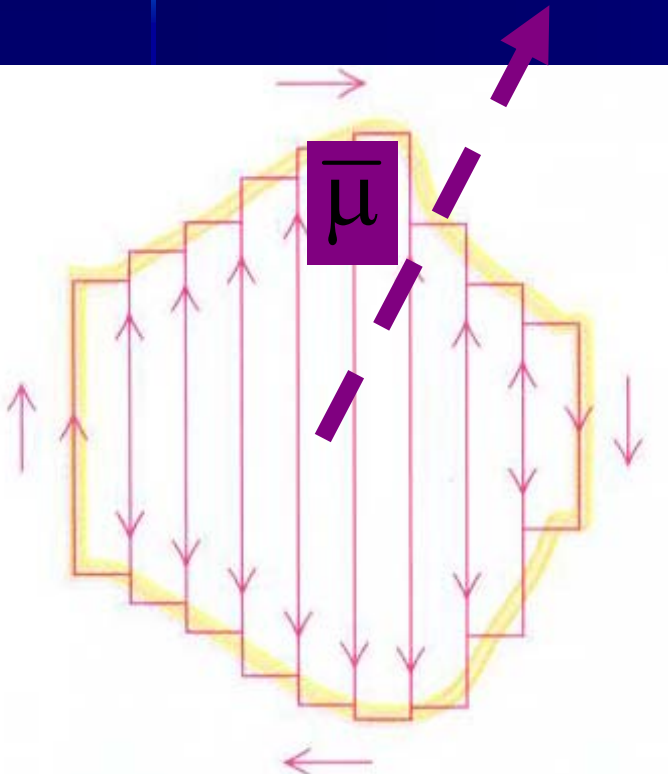
ΜΕ ΤΟΝ ΟΡΙΣΜΟ ΜΑΣ Η ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΕΙΝΑΙ 0 ΟΤΑΝ ΤΑ μ ΚΑΙ B ΕΙΝΑΙ ΚΑΘΕΤΑ



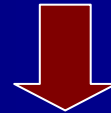
ΔΥΝΑΜΗ ΚΑΙ ΡΟΠΗ ΠΑΝΩ ΣΕ ΒΡΟΧΟ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

ΟΤΙ ΒΡΗΚΑΜΕ ΜΕΧΡΙ ΤΩΡΑ ΓΙΑ ΟΡΘΟΓΩΝΙΟ ΒΡΟΧΟ
ΙΣΧΥΕΙ ΓΙΑ ΕΠΠΕΔΟ ΒΡΟΧΟ ΟΠΟΙΟΥΔΗΠΟΤΕ ΣΧΗΜΑΤΟΣ

ΠΡΟΣΕΓΓΙΖΟΥΜΕ ΚΑΘΕ ΕΠΠΕΔΟ ΒΡΟΧΟ ΜΕ ΕΝΑ ΜΕΓΑΛΟ
ΑΡΙΘΜΟ ΟΡΘΟΓΩΝΙΩΝ ΒΡΟΧΩΝ



Αν όλοι οι βρόχοι διαρρέονται από το ίδιο
ρεύμα με την ίδια φορά, τότε οι δυνάμεις
σε πλευρές που βρίσκονται στο ίδιο σημείο
αλληλοαναιρούνται και παραμένουν οι
δυνάμεις μόνο πάνω στην περίμετρο.



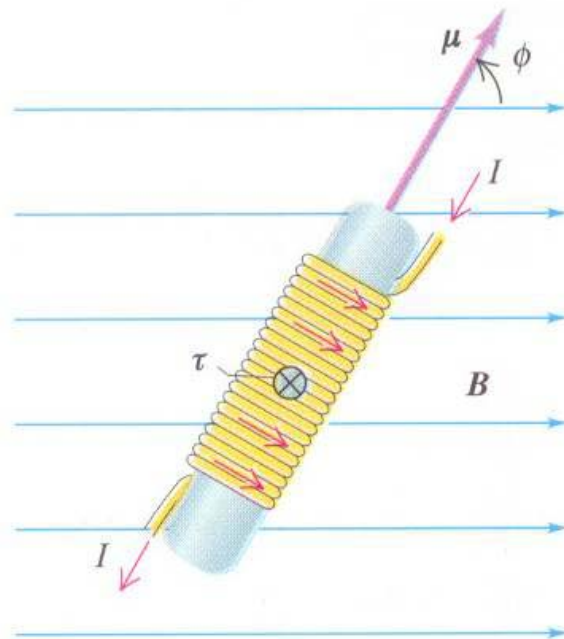
Έτσι όλες οι σχέσεις που εξήγαμε
προηγούμενα ισχύουν και η μαγνητική
ροπή του βρόχου δίνεται από τη σχέση

$$\bar{\mu} = I\bar{A}$$

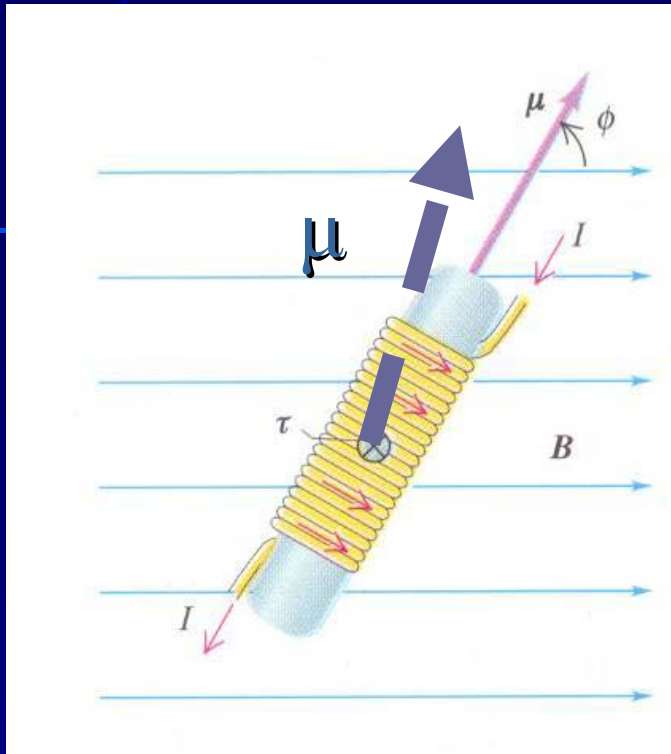
ΔΥΝΑΜΗ ΚΑΙ ΡΟΠΗ ΠΑΝΩ ΣΕ ΠΗΝΙΟ Ν ΒΡΟΧΩΝ

ΑΝ ΕΧΟΥΜΕ Ν ΕΠΙΠΕΔΕΣ ΣΠΕΙΡΕΣ ΚΟΝΤΑ ΤΗ ΜΙΑ ΣΤΗΝ
ΑΛΛΗ ΤΟΤΕ Η ΔΥΝΑΜΗ, Η ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΡΟΠΗ, Η
ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΡΟΠΗ ΚΑΙ Η ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ
ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΖΟΝΤΑΙ ΕΠΙ ΕΝΑΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ Ν

ΣΩΛΗΝΟΕΙΔΕΣ= ΠΕΡΙΕΛΙΞΗ ΣΥΡΜΑΤΟΣ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΕΝΑΝ
ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟ ΠΥΡΗΝΑ



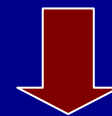
ΔΥΝΑΜΗ ΚΑΙ ΡΟΠΗ ΠΑΝΩ ΣΕ ΠΗΝΙΟ Ν ΒΡΟΧΩΝ



$$\tau = NIBA \sin \phi$$

Η γωνία ανάμεσα στον άξονα του σωληνοειδούς και στο πεδίο είναι ϕ

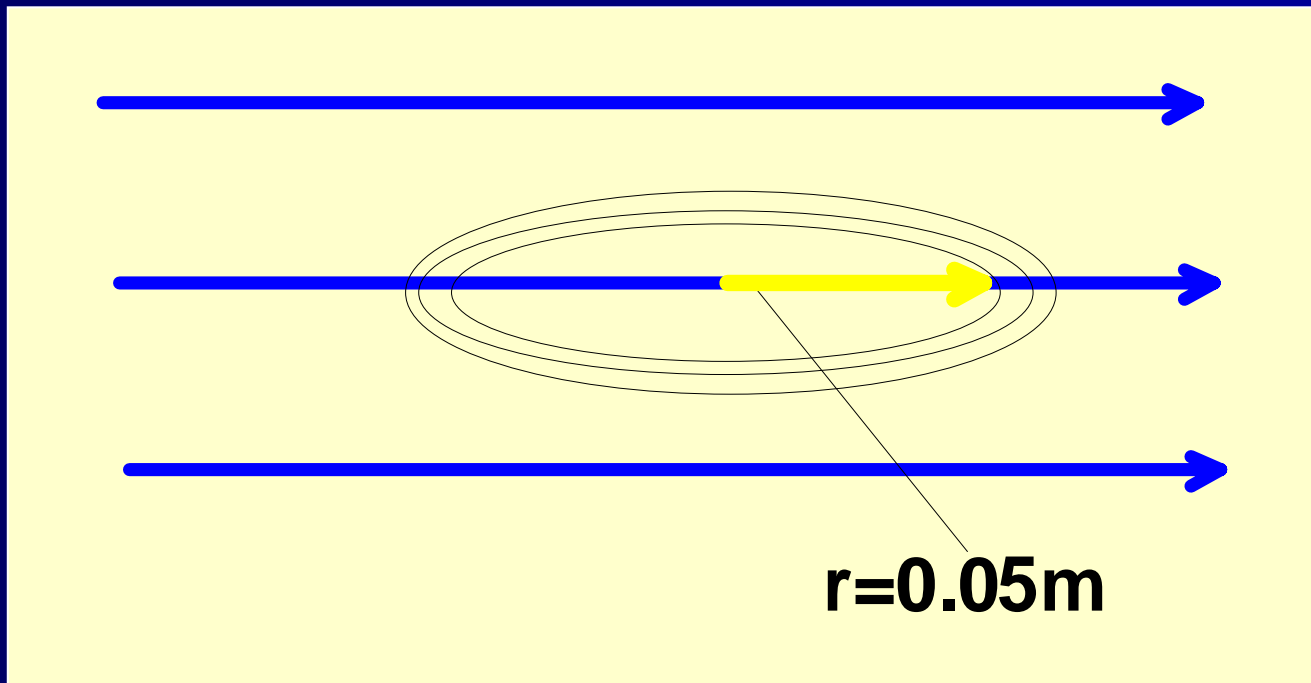
Η μηχανική ροπή τείνει να στρέψει το μ προς την κατεύθυνση του B . Δηλαδή να ευθυγραμμίσει τα δυο διανύσματα.



ΜΕ ΑΛΛΑ ΛΟΓΙΑ ΤΕΙΝΕΙ ΝΑ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΕΙ ΤΟ ΠΗΝΙΟ ΜΕ ΤΟ ΠΕΔΙΟ

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 28-8

Ένα κυκλικό πηνίο από σύρμα έχει ακτίνα 0.05 m , αποτελείται από 30 σπείρες και βρίσκεται στο οριζόντιο επίπεδο. Διαρρέεται από ρεύμα 5 A με φορά αντίθετη των δεικτών του ωρολογίου όταν το βλέπουμε από πάνω. Το πηνίο βρίσκεται σε ομογενές μαγνητικό πεδίο με κατεύθυνση όπως στο σχήμα και μέτρο $1,2\text{ T}$. Να υπολογιστεί η μαγνητική ροπή του πηνίου και η μηχανική ροπή που του ασκείται από το πεδίο.



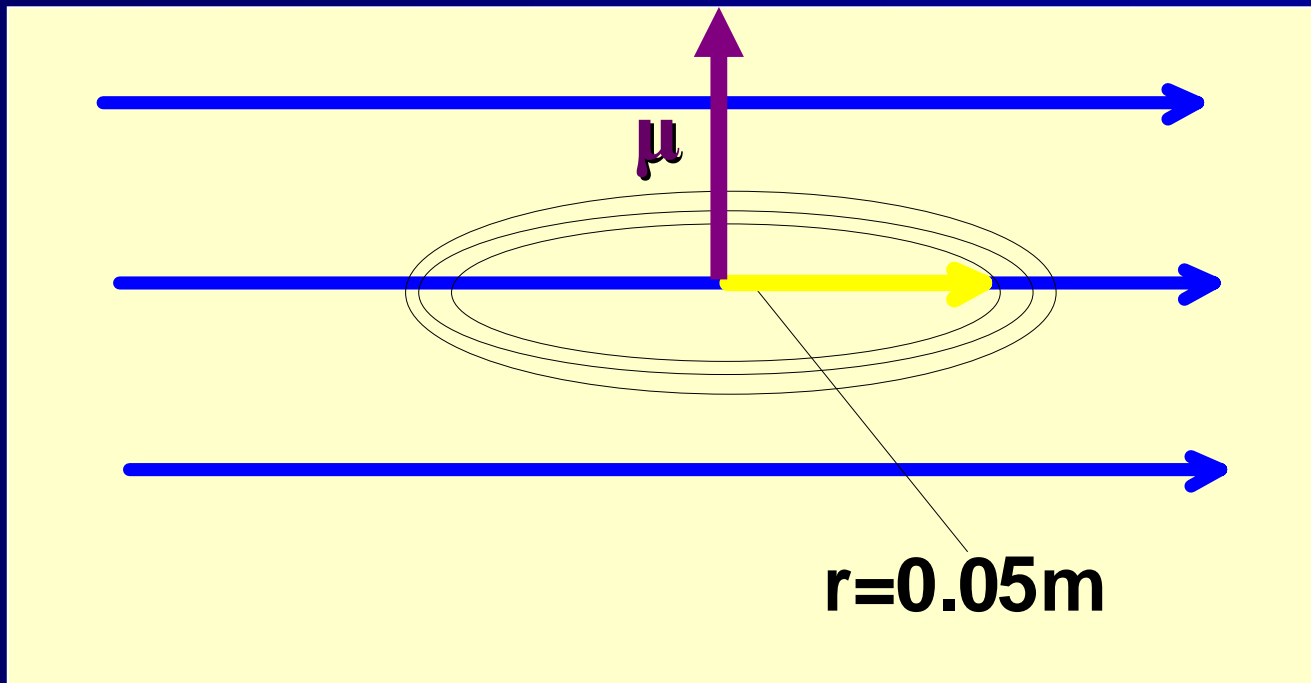
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 28-8

Θεωρούμε ότι οι σπείρες βρίσκονται πολύ κοντά η μία στην άλλη. Επομένως το εμβαδόν του πηνίου είναι

$$A = \pi r^2 = 3,14259(0.05\text{m})^2 = 7,85 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Η μαγνητική ροπή κάθε σπείρας είναι

$$\mu = IA = 5 \times (7,85 \times 10^{-3}) \text{ Am}^2 = 3,93 \times 10^{-2} \text{ Am}^2$$

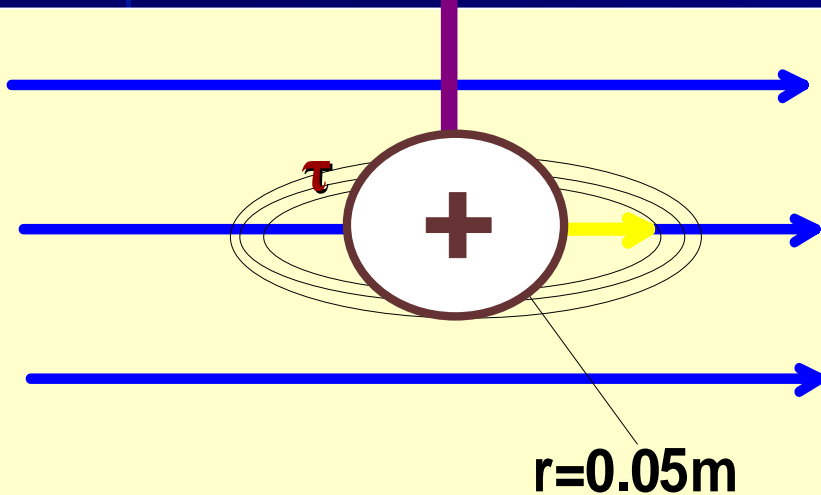


ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 28-8

Η μαγνητική ροπή όλων των σπειρών είναι

$$\mu_{ολ} = NIA = 30(3,93 \times 10^{-2} \text{ Am}^2) = 1,18 \text{ Am}^2$$

μ

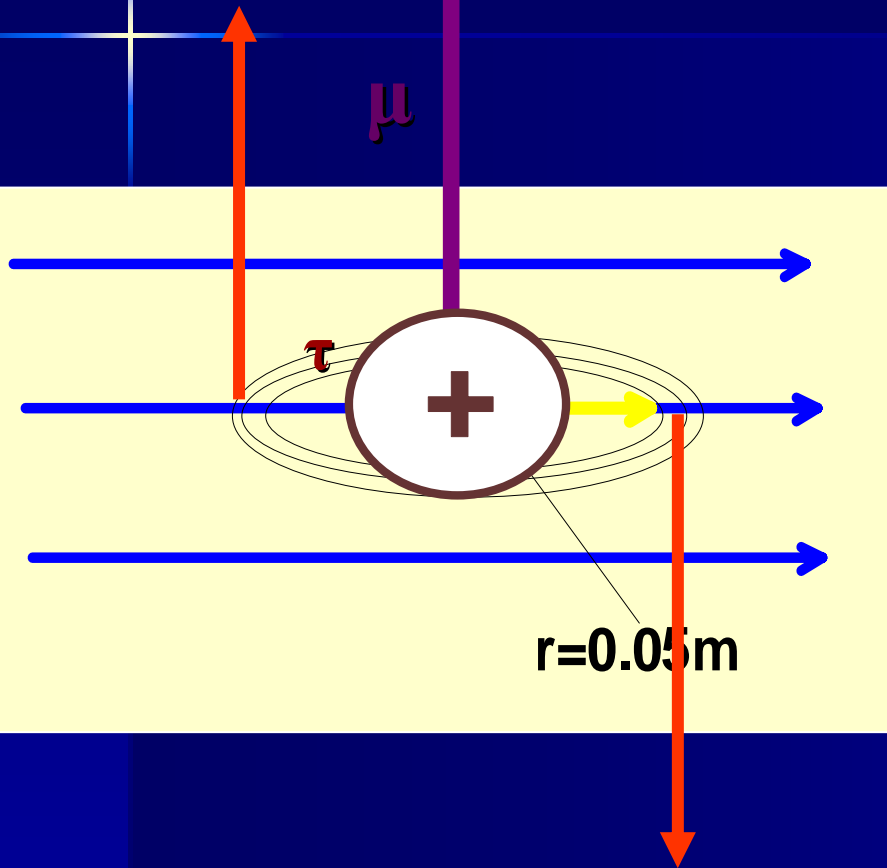


Η μηχανική ροπή σε κάθε σπείρα είναι

$$\begin{aligned}\bar{\tau} &= \bar{\mu} \times \bar{B} \\ &= \mu_{ολ} B \sin \varphi \\ &= 1,18 \times 1,2 \times \sin 90^0 \text{ Am}^2 \text{ T} \\ &= 1,41 \text{ Nm}\end{aligned}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 28-8

Η μηχανική ροπή τείνει να περιστρέψει το πηνίο έτσι ώστε τα διανύσματα μ και B να γίνουν ομόρροπα και παράλληλα.
είναι



ΔΗΛΑΔΗ ΤΕΙΝΕΙ ΝΑ ΠΕΡΙΣΤΡΕΨΕΙ ΤΟ ΔΕΞΙΟ ΜΕΡΟΣ ΠΡΟΣ ΤΑ ΚΑΤΩ ΚΑΙ ΤΟ ΑΡΙΣΤΕΡΟ ΠΡΟΣ ΤΑ ΕΠΑΝΩ