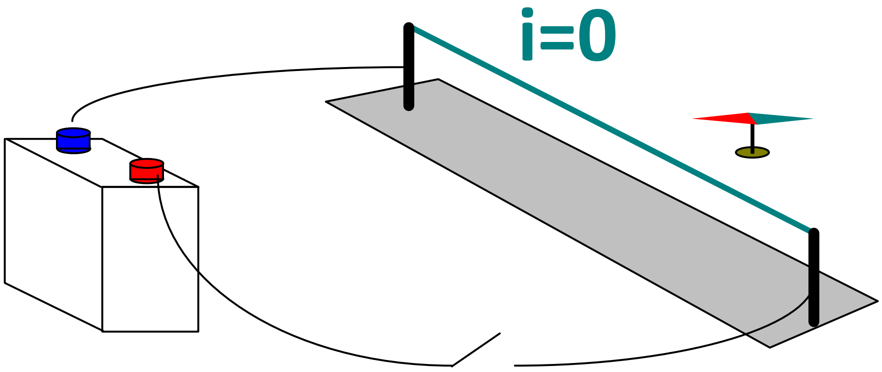
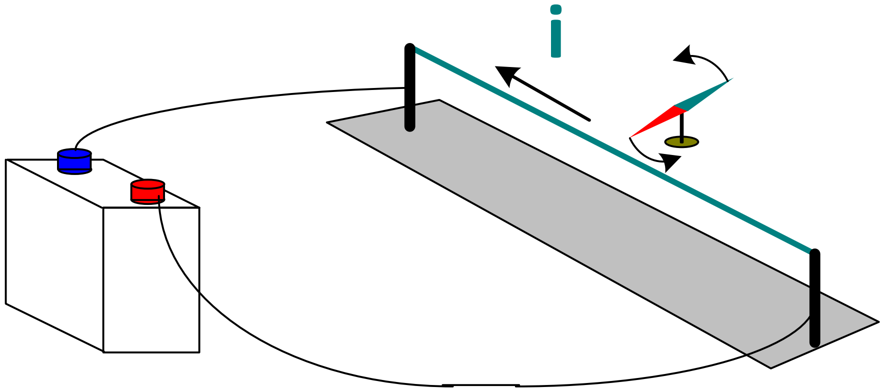
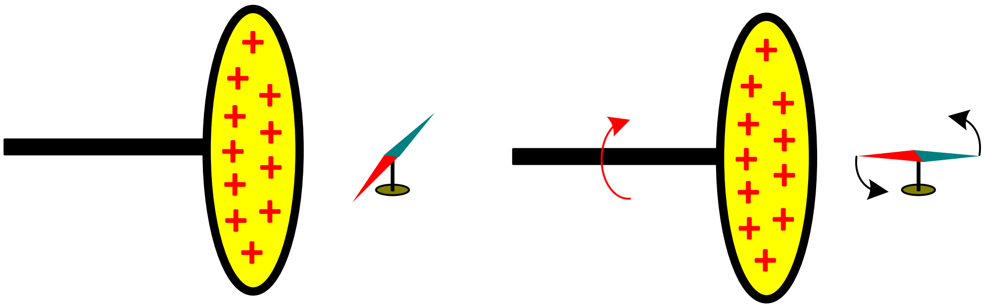
ΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ & ΠΕΔΙΑ

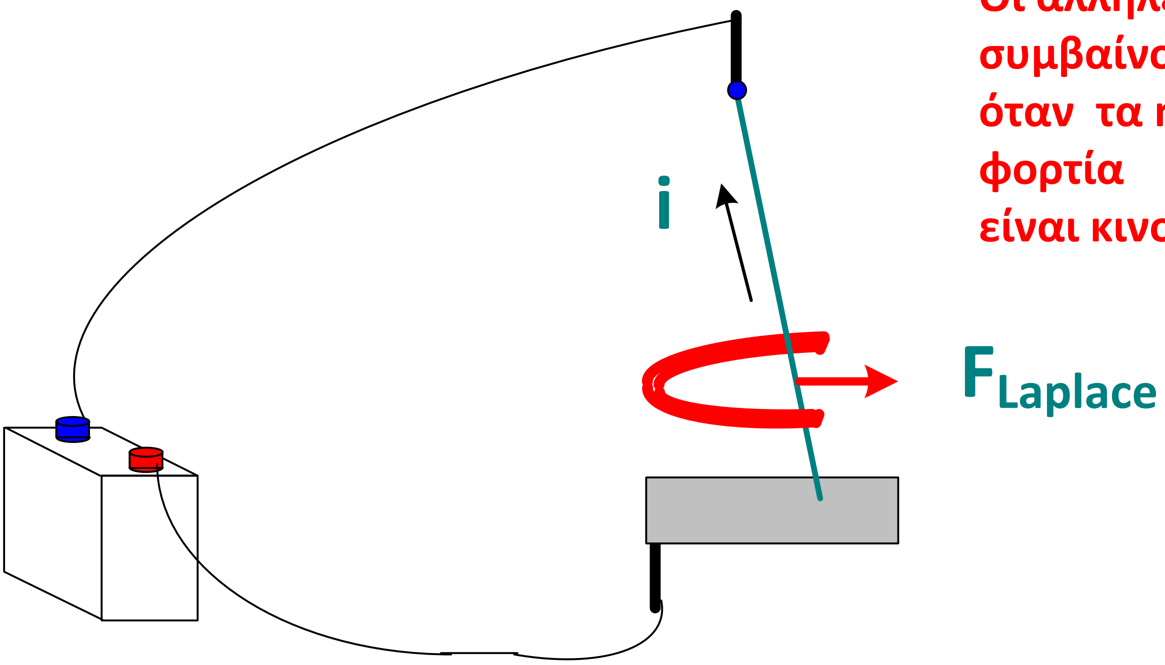


Αλληλεπιδράσεις μαγνητών με ηλεκτρικά ρεύματα





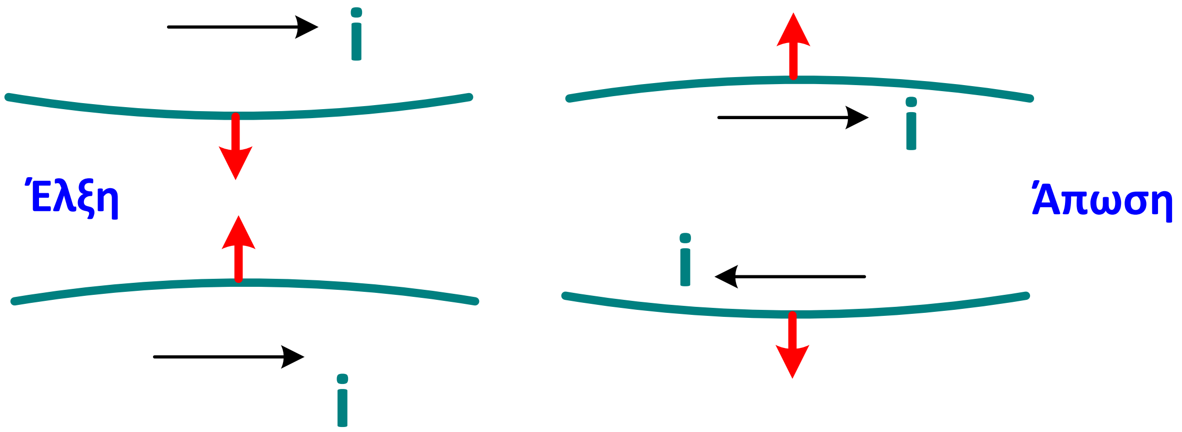
Αλληλεπιδράσεις μαγνητών με κινούμενα ηλεκτρικά φορτία



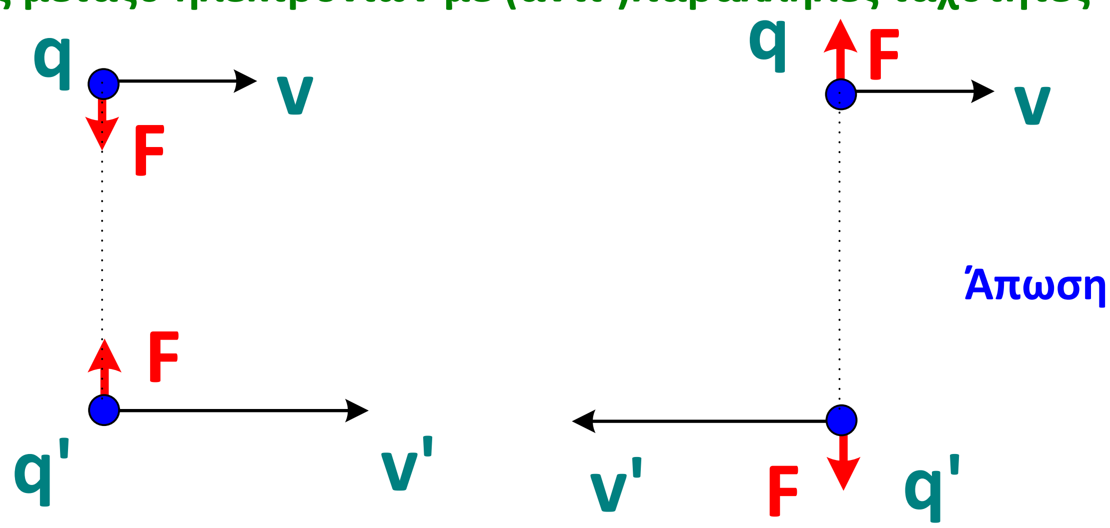
Οι αλληλεπιδράσεις συμβαίνουν μόνον όταν τα ηλεκτρικά φορτία είναι κινούμενα

Οι δυνάμεις μεταξύ παράλληλων ρευματοφόρων αγωγών

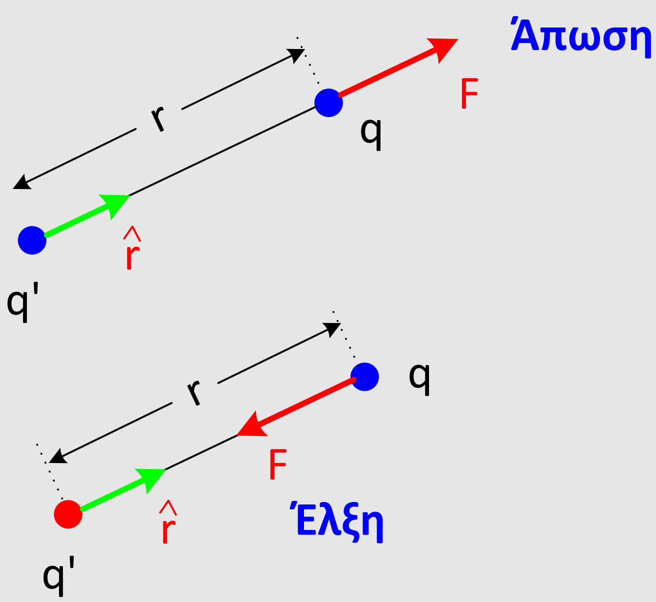
$F_{ηλεκ} = 0$
λόγω ηλεκ.
ουδετερότητας
$ΣQ_i = 0$



είναι δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρονίων με (αντι-)παράλληλες ταχύτητες



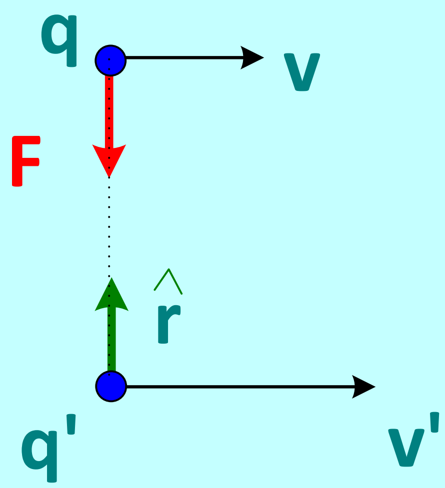
Ηλεκτροστατική δύναμη



$$F = [σταθερά] \times \frac{q'\,q}{r^2}\,\hat{r}$$

Διανυσματική μορφή

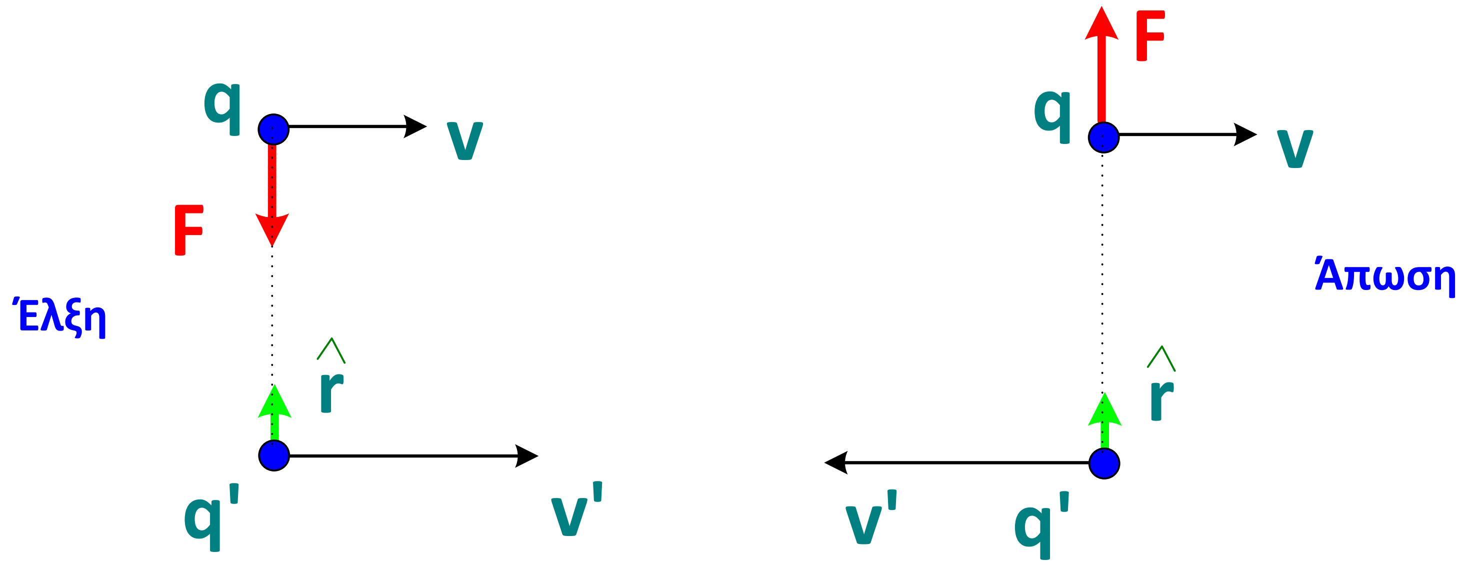
Κινούμενα φορτία
Μαγνητική δύναμη



$$F = -\,[σταθερά'] \times \frac{q'\,q}{r^2}\,v'\,v\,\hat{r}$$

Διανυσματική μορφή

Μαγνητική δύναμη (φορτίων με αντιπαράλληλες v)



$$F = - [\text{σταθερά'}] \times \frac{q'\,q}{r^2}\, v'\, v\, \hat{r}$$

Διανυσματική μορφή

q' , q κάθετα στο r

$$[\text{σταθερά'}] = 1.00 \times 10^{-7}\ \frac{N\,s^2}{C^2}$$

$$[\text{σταθερά'}] = \frac{\mu_o}{4\pi} \qquad \mu_o = 4\pi \times 10^{-7}\ \frac{N\,s^2}{C^2} = 1.26 \times 10^{-6}\ \frac{N\,s^2}{C^2}$$

(μαγνητική) διαπερατότητα

$$\varepsilon_o = 8.85 \times 10^{-12}\ C^2/(Nm^2)$$

Ποιά η σχέση μεταξύ ηλεκτρικής και μαγνητικής δύναμης

$$F_{\eta\lambda\varepsilon\kappa} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\,\frac{q'\,q}{r^2}$$

$$F_{\mu\alpha\gamma\nu} = -\ \frac{\mu_o}{4\pi}\,\frac{q'\,q}{r^2}\ v'\,v$$

$$\frac{F_{\eta\lambda\varepsilon\kappa}}{F_{\mu\alpha\gamma\nu}} = (\mu_o\varepsilon_o v v')^{-1}$$
$$= (1.12 \times 10^{-17}\ s^2/m^2)^{-1}(vv')^{-1}$$
$$= 9 \times 10^{16}\ m^2/s^2\ 1/(vv')^{-1}$$
$$= (3 \times 10^{8}\ m/s)^2 1/(vv')^{-1}$$

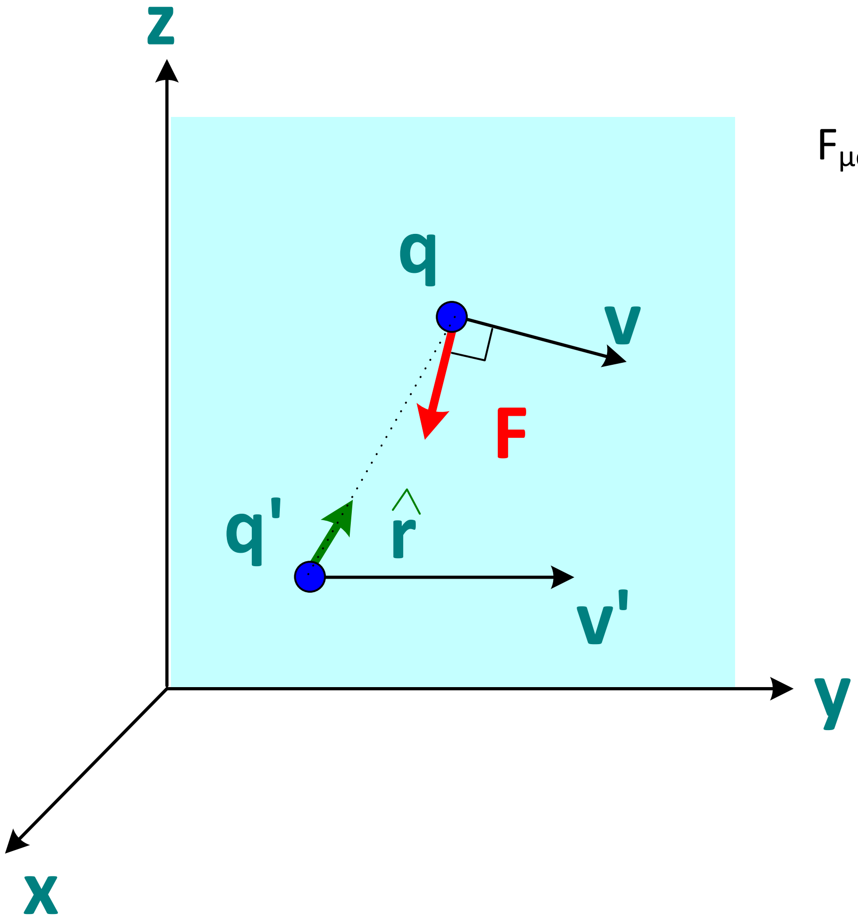
$$\frac{F_{\eta\lambda\varepsilon\kappa}}{F_{\mu\alpha\gamma\nu}} = (3 \times 10^{8}\ m/s)^2 (vv')^{-1}$$

c : ταχύτητα φωτός

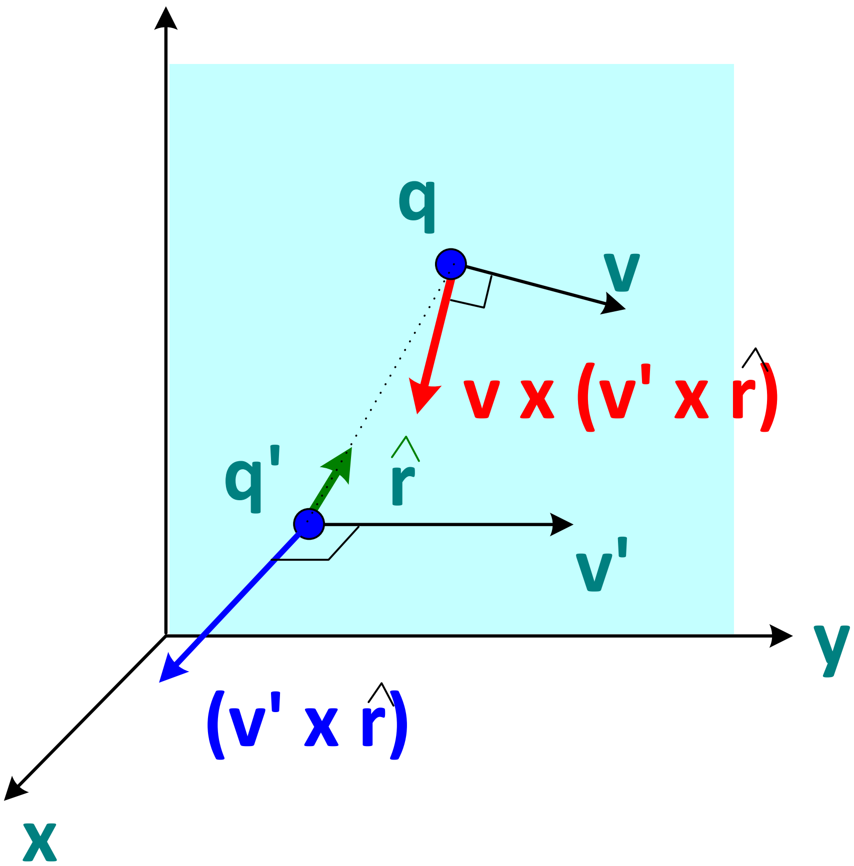
$c^2 = (\mu_o\varepsilon_o)^{-1}$

Γι αυτό το λόγο : όταν v,v' << c

Τότε: $F_{\eta\lambda\varepsilon\kappa} >> F_{\mu\alpha\gamma\nu}$

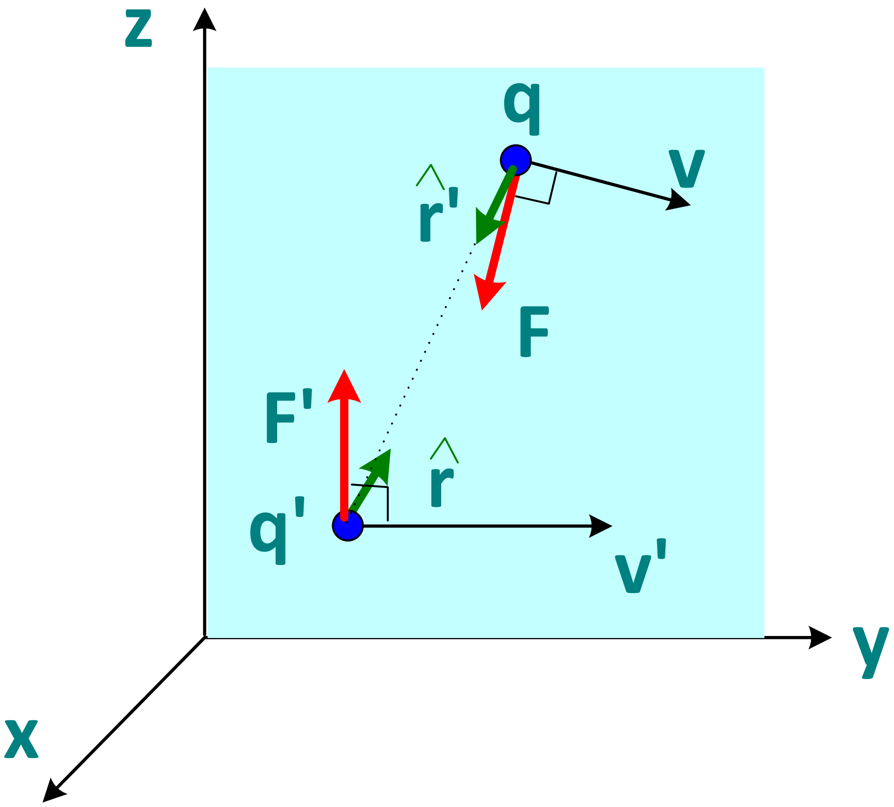


$$F_{\mu\alpha\gamma\nu} = - \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{q' q}{r^2} \quad v \times (v' \times \hat{r})$$



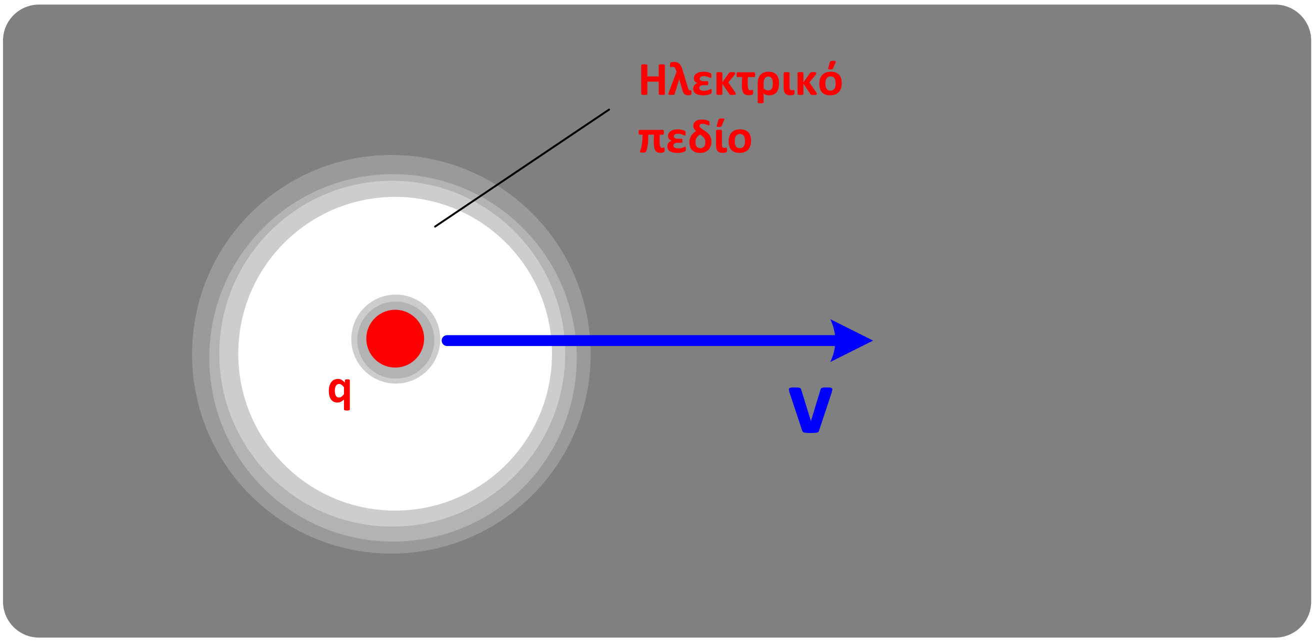
Αν q'=0 ή q=0

τότε $F_{\mu\alpha\gamma\nu} = 0$



$F_{μαγν}$ (F, F') δεν είναι πάντα
συγκραμικές
άρα
Δράση ≠ αντίδραση

Δεν ισχύει η διατήριση της
ορμής σε κινούμενα φορτία



Κινούμενο φορτίο μεταφέρει σωματιδιακή μάζα και ηλεκτρικό πεδίο
Στην ενέργεια ηλεκ. πεδίου αντιστοιχεί μάζα
Άρα ρέει ηλεκτρική ενέργεια στο χώρο και πεδιακή μάζα
Επομένως διατηρείται η ολική ορμή των σωματιδίων και του πεδίου

άρα
$J_{μαζών} + J_{πεδίου}$ = σταθερό

Μαγνητικά πεδία

Η $F_{\mu\alpha\gamma\nu}$ σε κινούμενα φορτία ασκείται εξ'επαφής μέσω του μαγνητικού πεδίου

όπως η $F_{\eta\lambda\epsilon\kappa}$ ασκείται σε σημειακά φορτία εξ'επαφής μέσω του ηλεκτ. πεδίου.

Ορισμός του ηλεκτρικού πεδίου

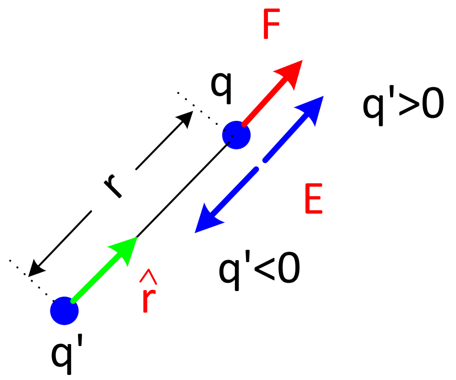
Το ηλεκ. πεδίο (Ε) σε απόσταση r από φορτίο q' ορίζεται από

$$F = \underbrace{\frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\,\frac{q'}{r^2}}_{E}\; q\;\hat{r}$$

μέτρο $E=F/q$

$$F_{\eta\lambda} = E\,q$$

Το Ε είναι ανεξάρτητο από το "δοκιμαστικό" φορτίο



Ορισμόςτου μαγνητικού πεδίου

v', v είναι παράλληλα

Δοκιμαστικό φορτίο q με ταχύτητα v

$$F_{\mu\alpha\gamma\nu} = \frac{\mu_o}{4\pi}\,\frac{q'\,q}{r^2}\; v'\,v$$

$$F_{\mu\alpha\gamma\nu} = qv\,\underbrace{\frac{\mu_o}{4\pi}\,\frac{q'v'}{r^2}}_{B}$$

$F_{\mu\alpha\gamma\nu}$ = qv επί B

$$\vec{F}_{\mu\alpha\gamma\nu} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

F ⊥ v άρα το επί είναι x

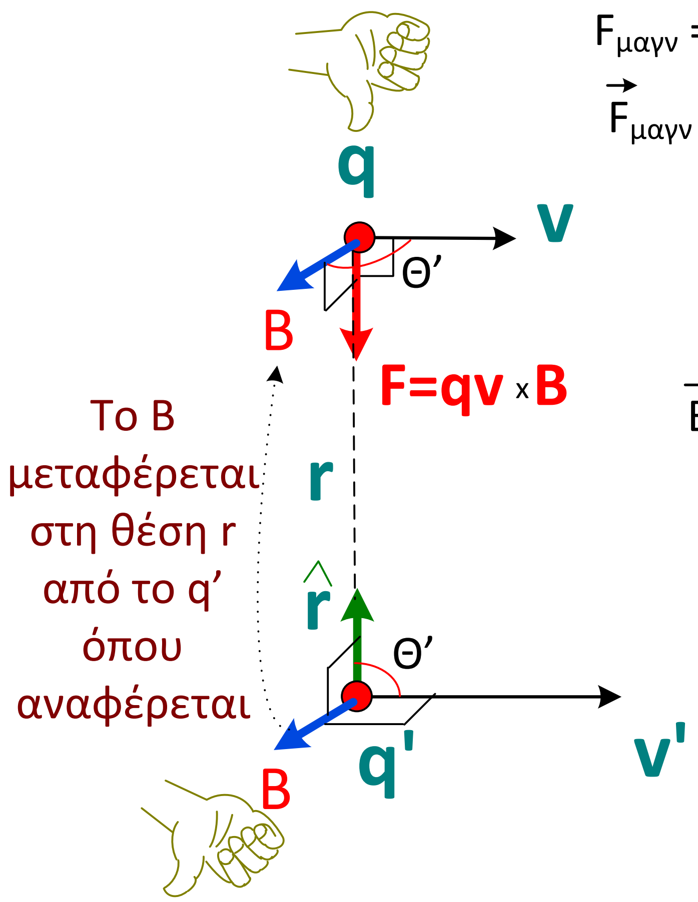
Εξωτ. γινόμενο

$$B = \frac{\mu_o}{4\pi}\,qv' \text{ επί } \hat{r}$$

B ⊥ v' άρα το επί είναι x

$$\vec{F}_{\mu\alpha\gamma\nu} = q\vec{v} \times (\mu_o/4\pi)\, q'\vec{v}' \times \hat{r}/r^2$$

$$\vec{B} = \underbrace{\frac{\mu_o}{4\pi}\,\frac{q'\vec{v}'}{r^2}}\times\hat{r}$$



$B = F_{\mu\alpha\gamma\nu} / qv$

Το Μέτρο του B

Μονάδα μαγνητικού πεδίου

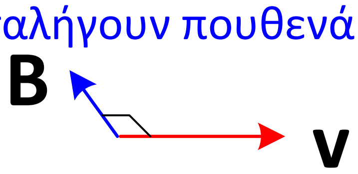
1Tesla = 1T = 1N / {1C m/s}

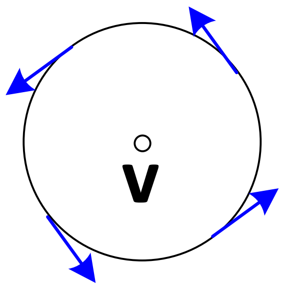
1T = 1N (Cm/s)= 1 Weber/m^2

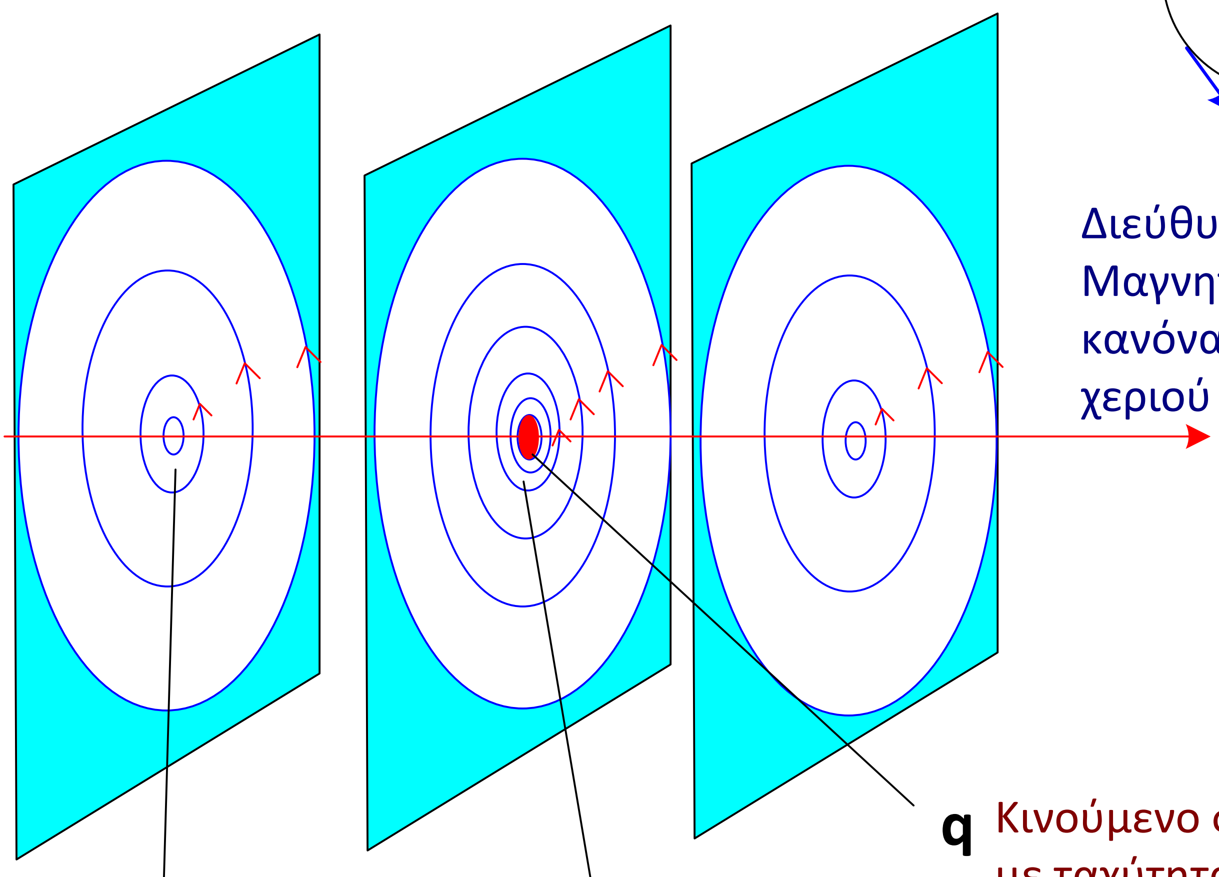
Γραμμές Μαγνητικού πεδίου

Οι Γραμμές Μαγνητικού πεδίου είναι πάντα
κλειστές
δεν ξεκινούν ούτε καταλήγουν πουθενά

αυτό γιατί πάντα







Διεύθυνση Γραμμών Μαγνητικού πεδίου κανόνας δεξιού χεριού

q Κινούμενο φορτίο q με ταχύτητα v

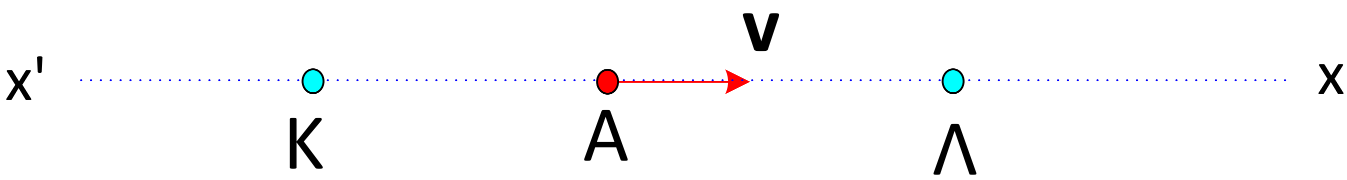
Εδώ η πυκνότητα των Γραμμών Μαγνητικού πεδίου δεν απειρίζεται

Η πυκνότητα των Γραμμών Μαγνητικού πεδίου απειρίζεται μόνο κοντά στο φορτίο

F ανάλογο του $\mathbf{1/r^2}$

Η πυκνότητα των Γραμμών Μαγνητικού πεδίου δείχνει την ένταση του B

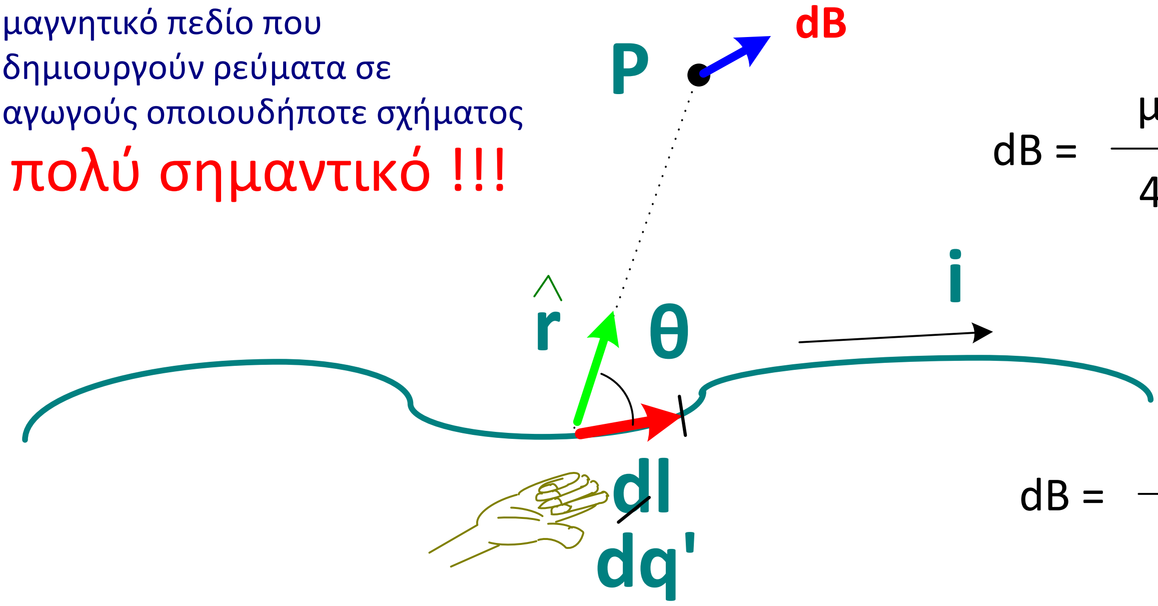
η φορά τους : σύμφωνα με το κανόνα του δεξιόστροφου κοχλία



Νόμος των Biot-Savart

Με αυτό το νόμο βρίσκω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργούν ρεύματα σε αγωγούς οποιουδήποτε σχήματος

πολύ σημαντικό !!!



$$dB = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{dq'}{r^2} (v' \times \hat{r})$$

$$dB = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{dq'}{r^2} (v' \sin\theta)$$

$dq' = i\,dt$ $\quad v' = dl / dt$ $\quad dt = dl / v'$ $\quad dq' = i\,dl / v'$ $\quad$ **$dq'\,v' = i\,dl$**

Άρα αντί για dq' και v' έχω i (ρεύμα που μετριέται εύκολα) και dl

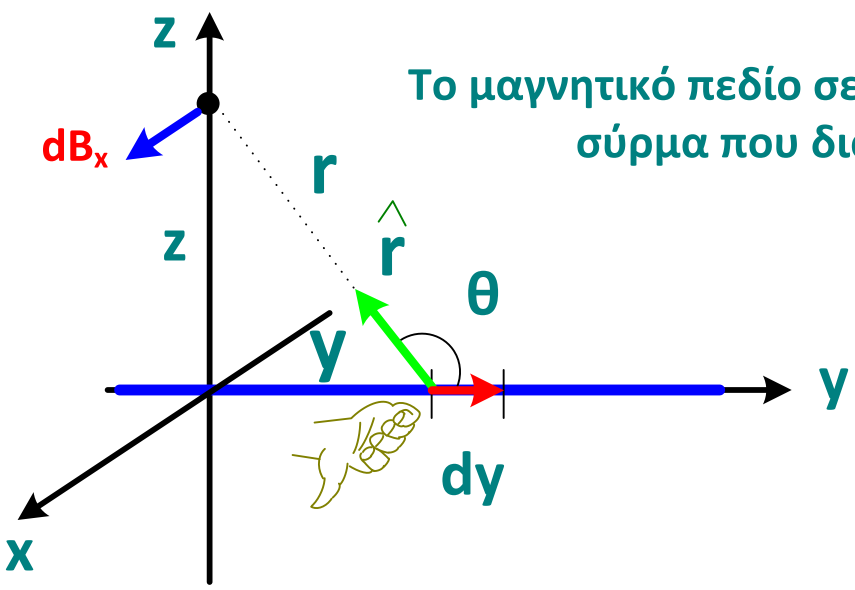
$$dB = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{(i\,dl/v')}{r^2} (v' \sin\theta) \qquad dB = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{(i\,dl \sin\theta)}{r^2}$$

$$dB = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{(i\,dl \times \hat{r})}{r^2}$$

Νόμος Biot-Savart

Με ολοκλήρωση σε όλο το μήκος του σύρματος βρίσκεται το B

Το μαγνητικό πεδίο σε απόσταση z από πολύ μακρύ σύρμα που διαρρέεται από ρεύμα i



$$dB_x = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{(i\,dy \sin\theta)}{r^2}$$

$$B_x = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{(i\, \sin\theta)}{r^2}\, dy$$

$$r = z / \sin(\pi-\theta) = z / \sin\theta$$

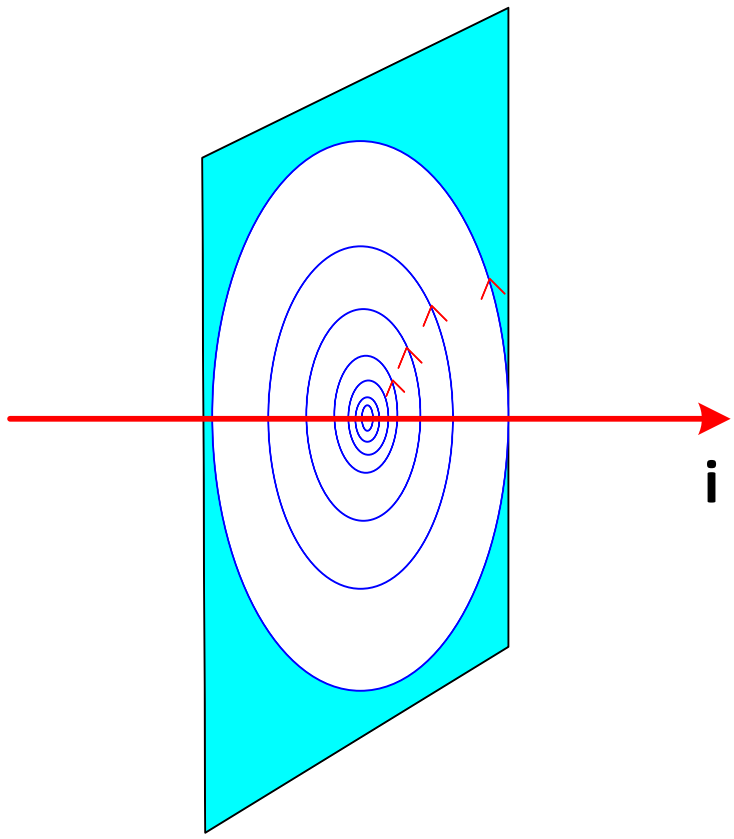
$$y = z \cot(\pi-\theta) = -z \cot\theta \qquad dy = z \csc^2\theta\, d\theta \qquad dy = z\,(1/\sin^2\theta)\, d\theta$$

$$B_x = \int_0^{\pi} \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{i\,(\sin\theta)}{z}\, d\theta \qquad B_x = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{i}{z} [-\cos\theta]_0^{\pi}$$

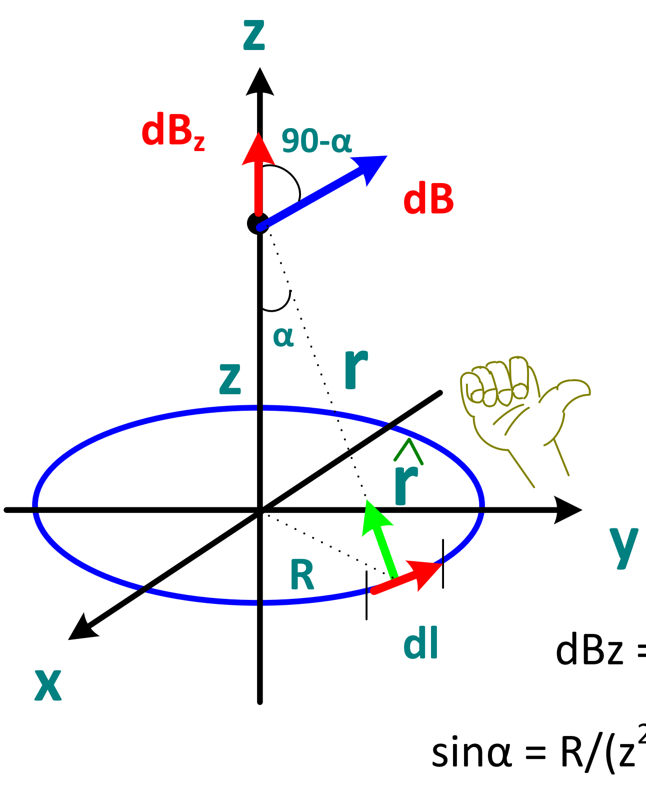
$$B_x = \frac{\mu_o}{2\pi} \frac{i}{z}$$

$$B_x = \frac{\mu_o}{2\pi}\frac{i}{z}$$

Το μαγνητικό πεδίο είναι αντιστρόφως ανάλογο της απόστασης z



Το μαγνητικό πεδίο στον άξονα z κυκλικού βρόχου ακτίνας R που διαρρέεται από ρεύμα i



$$dB = \frac{\mu_o}{4\pi}\frac{i\,dl}{z^2+R^2}$$

r^2

Μόνον η dBz επιζεί

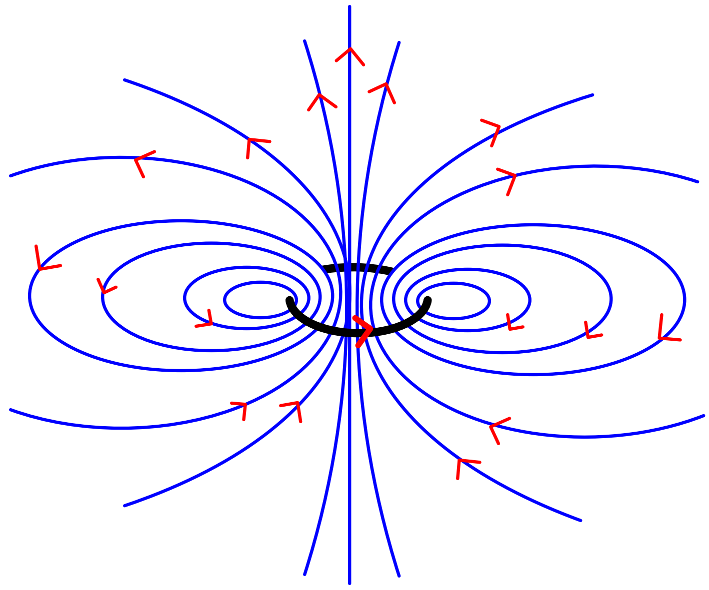
$$dBz = dB\cos(90-\alpha) = dB\sin\alpha = \frac{\mu_o}{4\pi}\frac{i\,dl}{z^2+R^2}\sin\alpha$$

$$\sin\alpha = R/(z^2+R^2)^{1/2}$$

$$B_z = \int_{\text{βρόχο}} \frac{\mu_o}{4\pi}\frac{i\,Rdl}{(z^2+R^2)^{3/2}} = \frac{\mu_o}{4\pi}\frac{i\,R}{(z^2+R^2)^{3/2}}\,2\pi R$$

$$B_z = \frac{\mu_o}{2\pi}\frac{i\,\pi R^2}{(z^2+R^2)^{3/2}}$$

$$B_z = \frac{\mu_o}{2\pi} \frac{i\,\pi R^2}{(z^2+R^2)^{3/2}}$$



Μαγνητικό πεδίο κυκλικού αγωγού
Μαγνητικό δίπολο

Μοιάζει με το ηλεκ. πεδίο ηλεκ. διπόλου

Για $z \gg R$

$$B_z = \frac{\mu_o}{2\pi} \frac{i\,\pi R^2}{z^3}$$

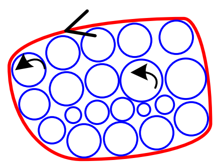
$$B_z = \frac{\mu_o}{2\pi} \frac{\mu}{z^3}$$

$\mu = i\,\pi R^2$

Μαγνητική διπολική ροπή βρόχου

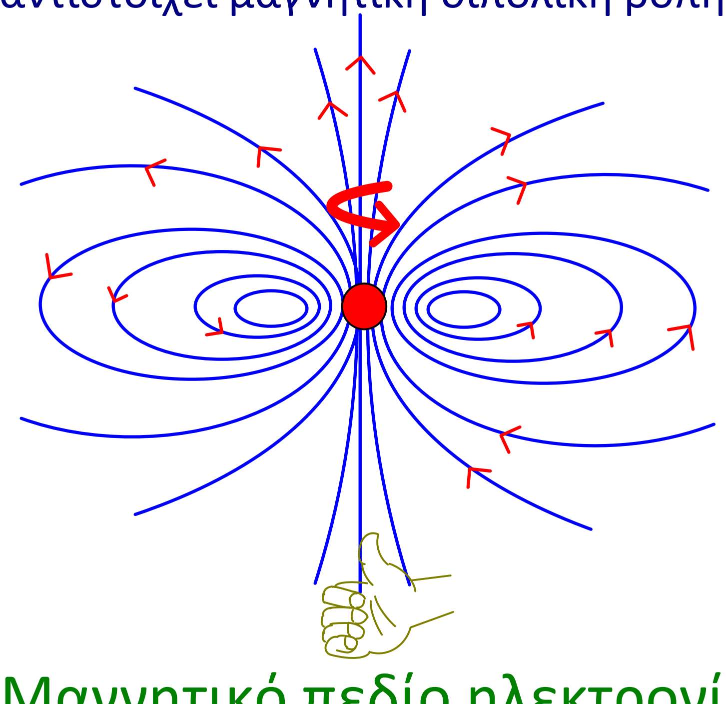
μ = ρεύμα x εμβαδόν

Για οποιοδήποτε βρόχο



$\mu = \Sigma\, \mu_i$

Σε περιστρεφόμενο ηλεκ. φορτίο αντιστοιχεί μαγνητική διπολική ροπή



$\mu = 9.3\ \ 10^{-24}\ Am^2$

Μαγνητικό πεδίο ηλεκτρονίου

v', v τυχαία διεύθυνση

$$F_{\mu\alpha\gamma\nu} = -\frac{\mu_o}{4\pi}\,\frac{q'\,q}{r^2}\; v \times (v' \times \hat{r})$$

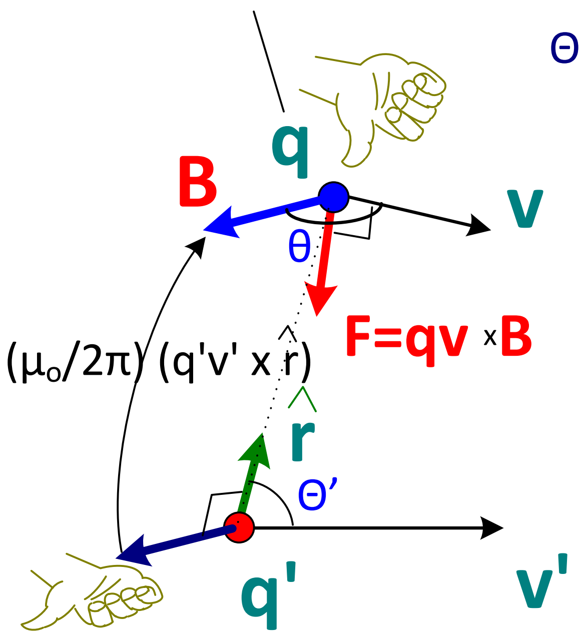
$$F_{\mu\alpha\gamma\nu} = qv \times \underbrace{(q'v' \times \hat{r})\,\frac{\mu_o}{4\pi}\,\frac{1}{r^2}}_{B} \qquad F_{\mu\alpha\gamma\nu} = qv \times B$$

$$B = \frac{\mu_o}{4\pi}\,\frac{1}{r^2}\,(q'v' \times \hat{r})$$

B : μαγνητικό πεδίο σε απόσταση r από φορτίο q' με v'

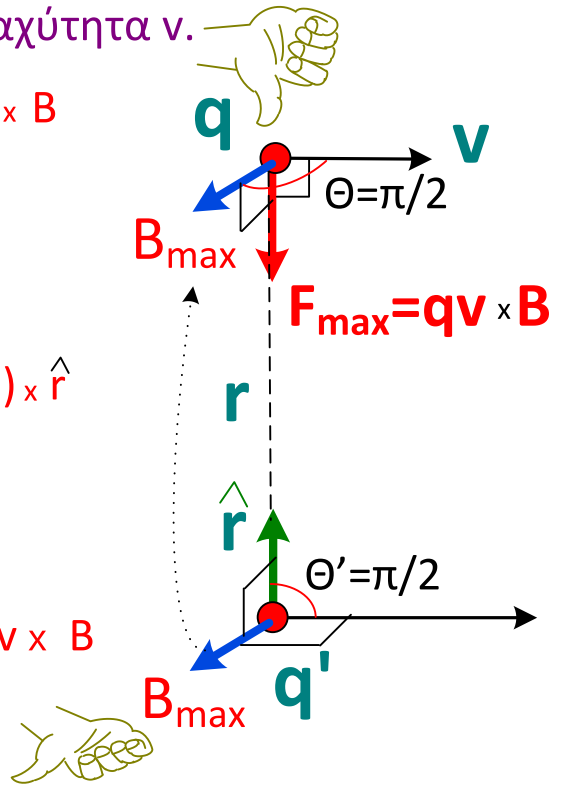
Θεωρούμε δοκιμαστικό φορτίο q στο οποίο προσδίδεται ταχύτητα v.

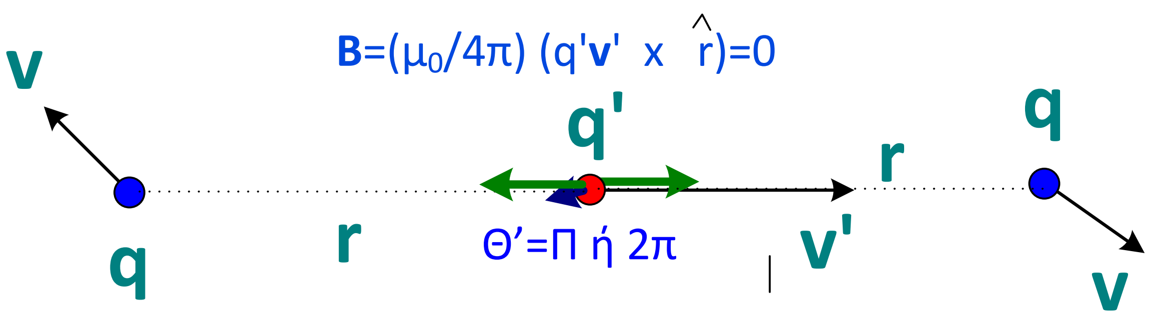
Θα ασκηθεί δύναμη : $F = (qv) \times B$

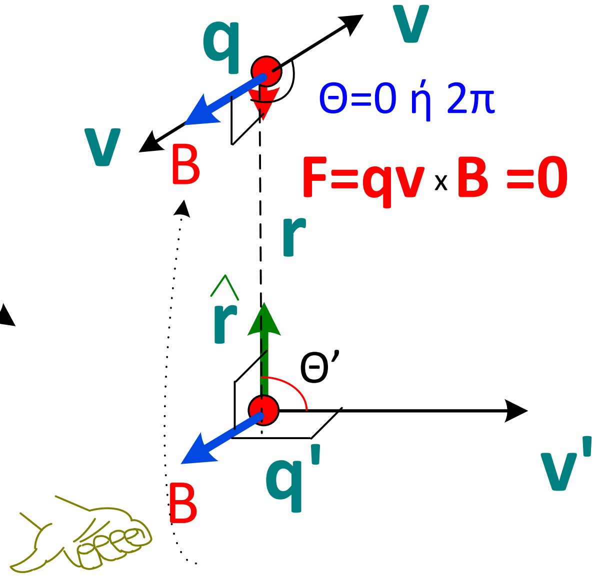


Το B γίνεται max όταν v' & r είναι κάθετα και =0 όταν είναι παράλληλα άρα είναι ανάλογο του qv' B sinθ’ και έχει τη διεύθυνση του : $(q'v') \times \hat{r}$

Το F γίνεται max όταν B & v είναι κάθετα και =0 όταν είναι παράλληλα άρα είναι ανάλογο του qv' B sinθ και έχει τη διεύθυνση του : $F = qv \times B$

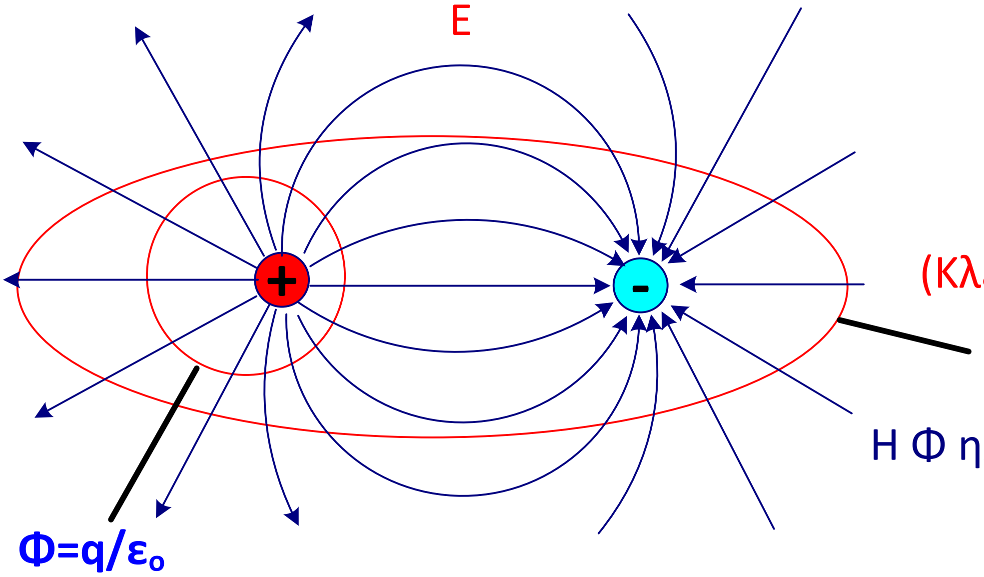






Ηλεκτρικό δίπολο

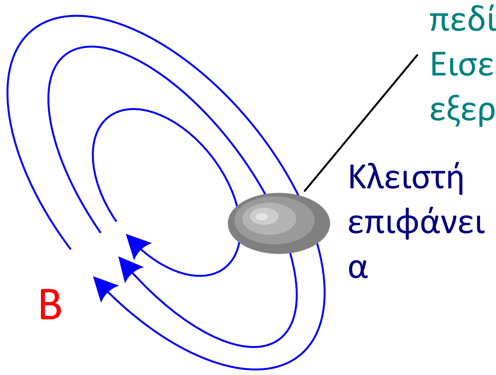
Οι Γραμμές ηλεκτρικού πεδίου αρχίζουν από +q και καταλήγουν σε -q



Η Φ ηλεκτρικού διπόλου είναι 0

Ο αριθμός των δυναμ. γραμμών ηλεκτρικού πεδίου που ανδύονται η καταλήγουν από μία οποιαδήποτε κλειστή S που περικλείει το φορτίο $q_{ολικό}$ είναι η ηλεκτρική ροή : $Φ=ES=q_{ολικό}/ε_o$ Νόμος Gauss

Οι Γραμμές Μαγνητικού πεδίου είναι πάντα κλειστές
δεν ξεκινούν ούτε καταλήγουν πουθενά σαν σε ηλεκ. δίπολο



δεν υπάρχουν πηγές ή καταβόθρες μαγν. γραμμών

Άρα ο αριθμός των δυναμ. γραμμών μαγνητικού πεδίου που περνούν από μία οποιαδήποτε κλειστή S, η μαγνητική ροή, είναι :
$Φ=BS=0$
όπως σε ηλεκτρικό δίπολο

Μαγνητική ροή : $\oint B\, dS = 0$

Τροποποιημένη μορφή του Νόμου του Gauss για μαγνητικό πεδίο