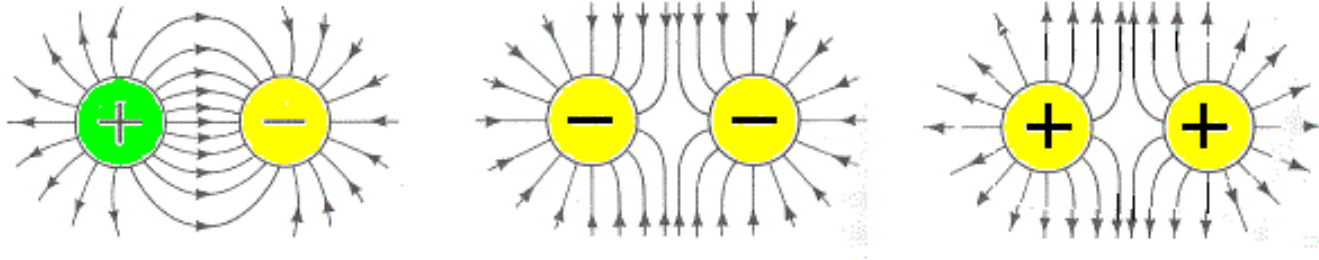


ΑΡΧΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Τσορμπατζόγλου Ανδρέας

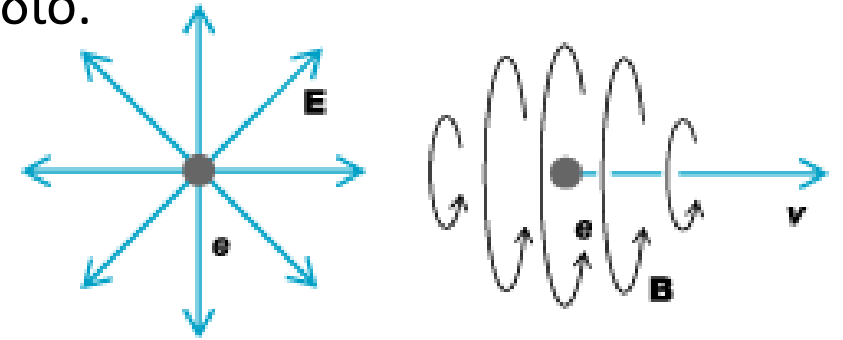
Μαγνητοστατικό πεδίο

Το **ηλεκτροστατικό πεδίο** παράγεται από ηλεκτρικά φορτία

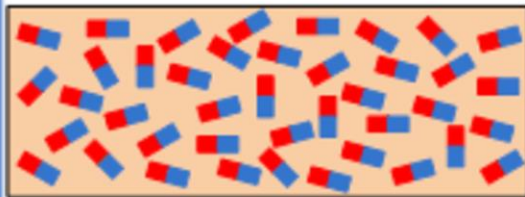


Όταν ένα ηλεκτρικό φορτίο **κινείται** εκτός από το ηλεκτρικό πεδίο που κινείται μαζί του, δημιουργείται γύρω από το φορτίο και ένα μαγνητικό πεδίο.

Ανάμεσα σε 2 ακίνητα φορτία ασκείται ηλεκτρική δύναμη. Για να ασκηθεί και μαγνητική δύναμη πρέπει να κινηθούν και τα 2 φορτία, ώστε να δημιουργηθεί γύρω τους μαγνητικό πεδίο.



Μαγνητικά υλικά



μαγνητικές περιοχές
τυχαία κατανεμημένες



μαγνητικές περιοχές
ευθυγραμμισμένες

Καθώς τα ηλεκτρόνια περιστρέφονται γύρω από τους πυρήνες τους φτιάχνουν μικρούς μαγνήτες που όταν ευθυγραμμιστούν φτιάχνουν μόνιμους μαγνήτες.

Το μαγνητικό πεδίο της Γης

Η πηγή του γήινου μαγνητικού πεδίου είναι πιθανότατα τα ρεύματα μεταφοράς μάγματος 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.

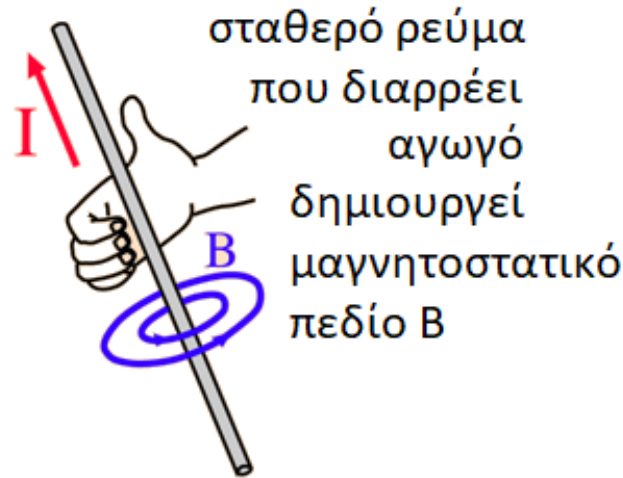


Μαγνητοστατικό πεδίο - 2

Το **μαγνητοστατικό πεδίο** παράγεται από σταθερά ρεύματα ή μόνιμους μαγνήτες

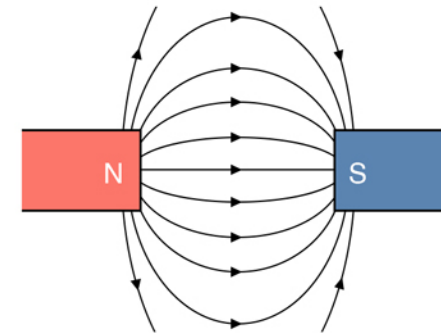
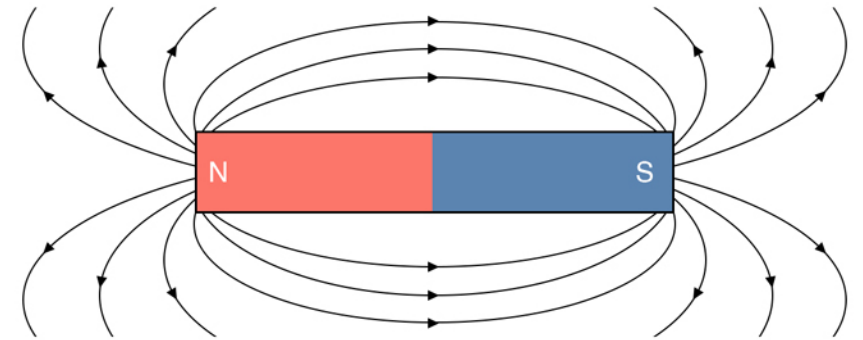
Οι δυναμικές γραμμές του μαγνητοστατικού πεδίου ξεκινούν από τον θετικό πόλο και καταλήγουν στον αρνητικό. Όταν ο αντίχειρας δείχνει το φορά του ρεύματος τα δάχτυλα που «τυλίγουν» τον αγωγό δείχνουν τη φορά του πεδίου.

Χαρακτηριστικά μεγέθη του μαγνητικού πεδίου είναι τα διανύσματα της μαγνητικής επαγωγής \vec{B} και της έντασης του μαγνητικού πεδίου \vec{H} . Όπου μ_0 η μαγνητική διαπερατότητα στο κενό.

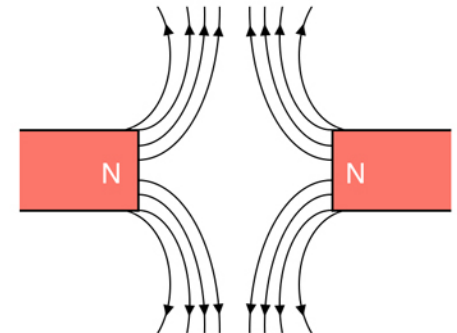


$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$



έλξη μεταξύ αντίθετων πόλων



απωστική δύναμη μεταξύ ίδιων πόλων

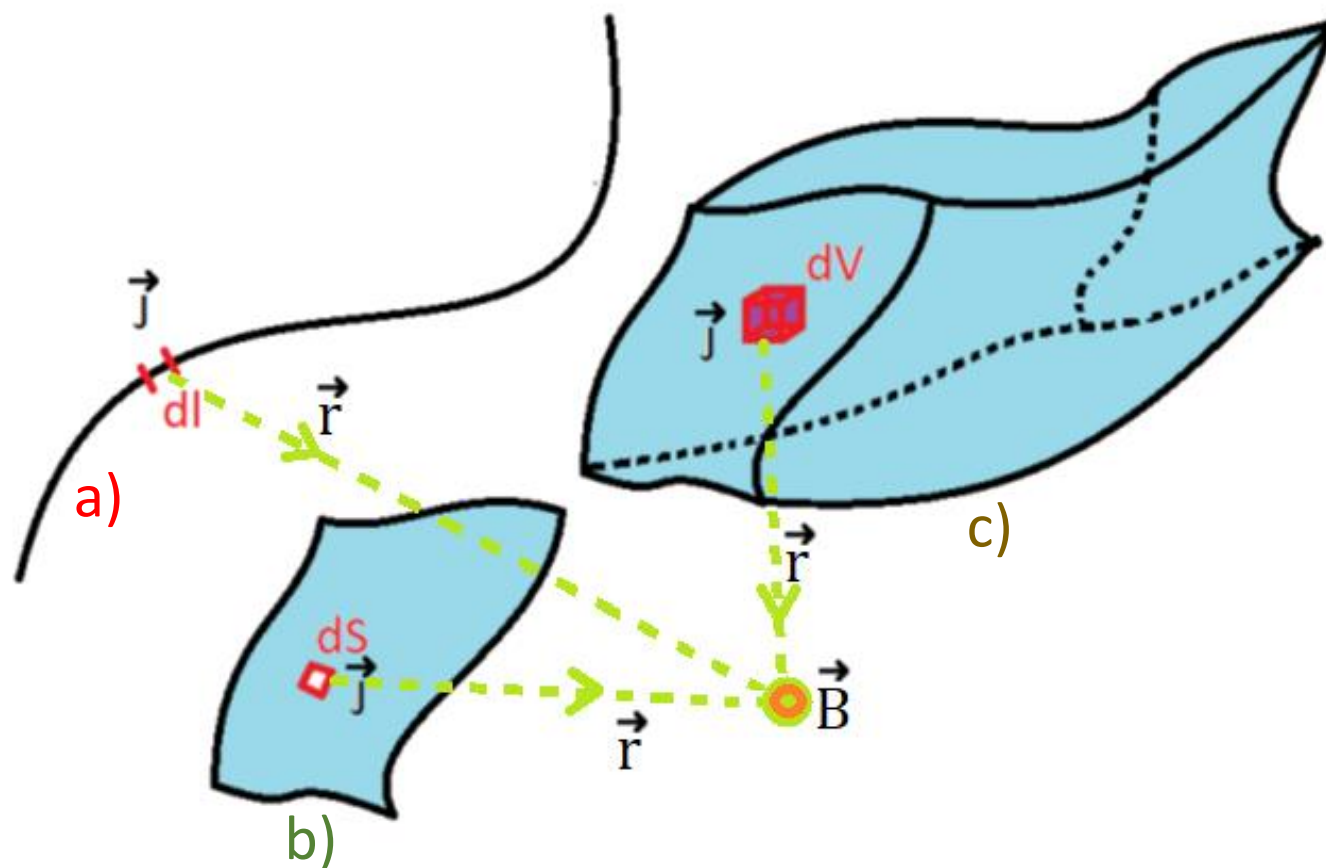
Μαγνητική επαγωγή B

Η μαγνητική επαγωγή \vec{B} που αναπτύσσεται **a) από ένα στοιχειώδες τμήμα $d\vec{l}$ ενός ρευματοφόρου αγωγού** ή **b) από μια στοιχειώδη επιφάνεια $d\vec{S}$ ρευματοφόρου επιφάνειας** ή **c) από έναν στοιχειώδη όγκο $d\vec{V}$ ρευματοφόρου όγκου** που διαρρέονται από πυκνότητα ρεύματος \vec{J} σε ένα τυχαίο σημείο στον χώρο είναι αντίστοιχα ίση με:

$$\text{a)} \quad \vec{B} = \frac{\mu}{4\pi} \int_C \frac{(\vec{J} \times \vec{r})}{r^3} dl$$

$$\text{b)} \quad \vec{B} = \frac{\mu}{4\pi} \iint_S \frac{(\vec{J} \times \vec{r})}{r^3} dS$$

$$\text{c)} \quad \vec{B} = \frac{\mu}{4\pi} \iiint_V \frac{(\vec{J} \times \vec{r})}{r^3} dV$$



Μαγνητικές δυνάμεις

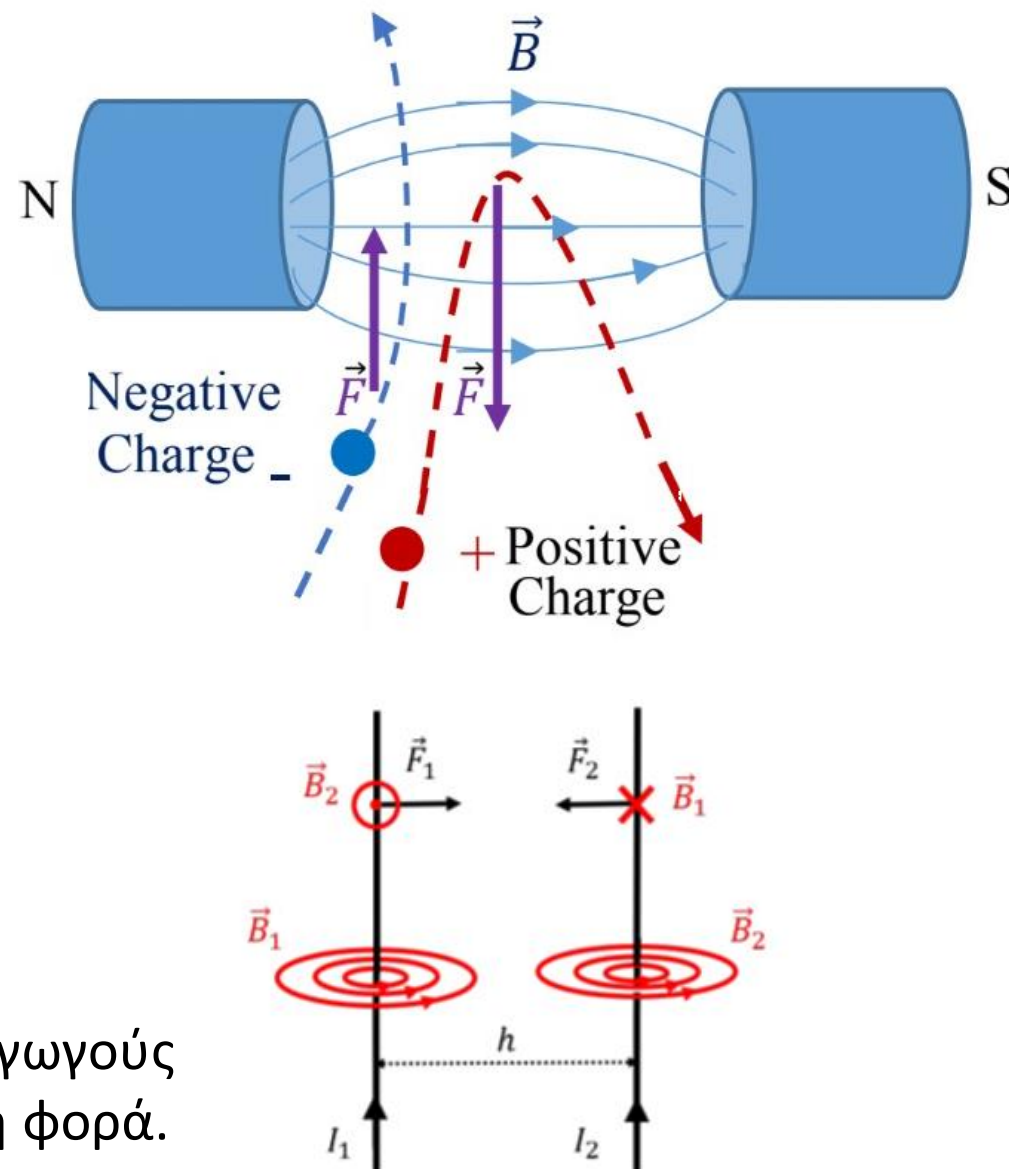
Όταν ένα ακίνητο φορτίο τοποθετηθεί μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο δεν θα του ασκηθεί μαγνητική δύναμη. Αν αρχίσει να κινείται και επομένως αρχίσει να παράγει και αυτό μαγνητικό πεδίο τότε και μόνο τότε θα του ασκηθεί μαγνητική δύναμη ίση με:

$$\vec{F} = -q(\vec{u} \times \vec{B})$$

Μεταξύ 2 παράλληλων αγωγών σε απόσταση h που διαρρέονται από ρεύματα I_1 και I_2 (και επομένως έχουν μαγνητικά πεδία) αναπτύσσεται δύναμη με μέτρο:

$$F = \mu \frac{I_1 I_2}{2\pi h}$$

Η δύναμη είναι απωστική αν το ρεύμα διαρρέει τους αγωγούς με την ίδια φορά και ελκτική αν τους διαρρέει με αντίθετη φορά.



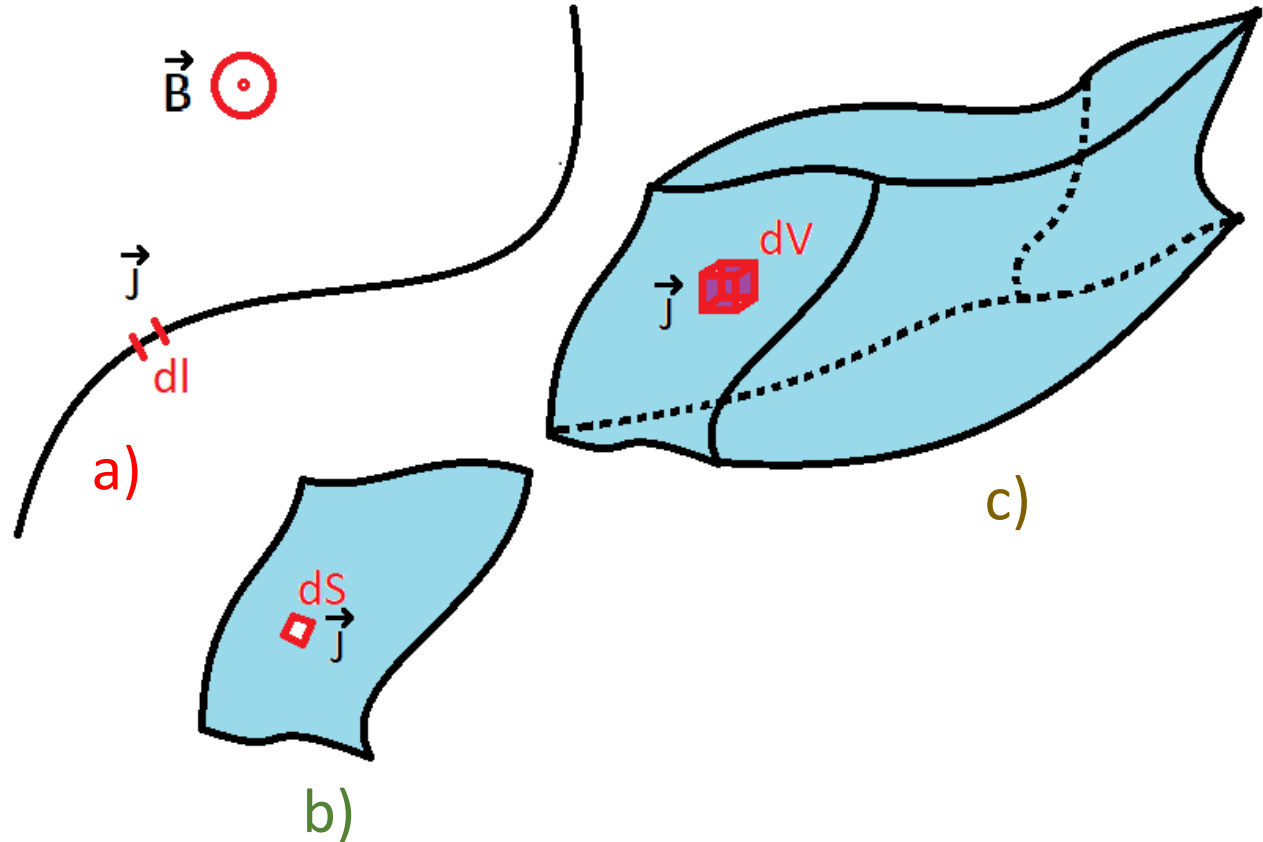
Μαγνητικές δυνάμεις - 2

Η δύναμη \vec{F} που ασκείται **a)** σε ένα στοιχειώδες τμήμα $d\vec{l}$ ενός ρευματοφόρου αγωγού ή **b)** σε μια στοιχειώδη επιφάνεια dS ρευματοφόρου επιφάνειας ή **c)** σε έναν στοιχειώδη όγκο dV ρευματοφόρου όγκου που διαρρέονται από πυκνότητα ρεύματος \vec{J} όταν βρεθούν μέσα σε μαγνητικό πεδίο \vec{B} είναι ίση με:

a)
$$\vec{F} = \int_C (\vec{J} \times \vec{B}) d\vec{l}$$

b)
$$\vec{F} = \iint_S (\vec{J} \times \vec{B}) dS$$

c)
$$\vec{F} = \iiint_V (\vec{J} \times \vec{B}) dV$$



Νόμος του Ampère

Κατά μήκος μιας κλειστής διαδρομής το επικαμπύλιο ολοκλήρωμα του εσωτερικού γινομένου της έντασης του μαγνητικού πεδίου με το διάνυσμα \vec{dl} είναι ίσο με ρεύμα που διαρρέει τη διαδρομή.

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu I \quad \text{ή} \quad \oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = I$$

Κάνοντας χρήση του θεωρήματος Stokes η παραπάνω εξίσωση μπορεί να γραφτεί:

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \iint_S \vec{\nabla} \times \vec{H} \cdot d\vec{S} = I \quad \text{Επειδή}$$

$$I = \iint_S \vec{J} \cdot d\vec{S} \Rightarrow \boxed{\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J}}$$

Θυμίζουμε ότι για το ηλεκτρικό πεδίο ισχύει: $\vec{\nabla} \times \vec{E} = 0$

Η διαφορά αυτή ανάμεσα στο ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο οφείλεται στο γεγονός ότι οι δυναμικές γραμμές του ηλεκτροστατικού πεδίου είναι ανοιχτές ενώ του μαγνητοστατικού κλειστές.

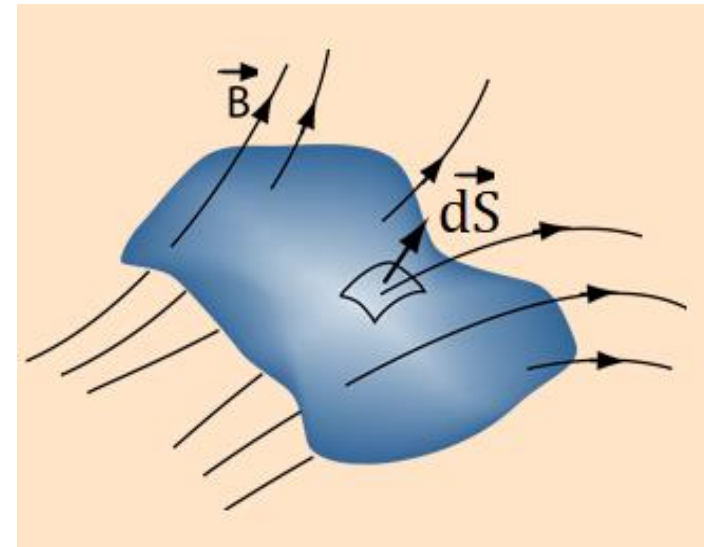
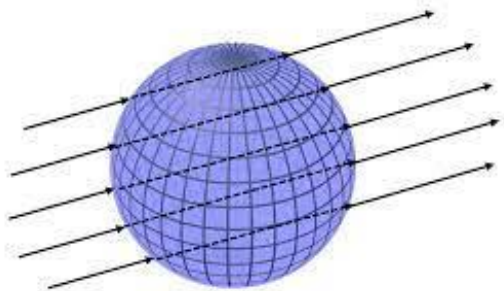
Μαγνητική ροή

Έστω μαγνητικό πεδίο μαγνητικής επαγωγής \vec{B} και ένα στοιχειώδες τμήμα μιας επιφάνειας $d\vec{S}$. Η μαγνητική ροή που διέρχεται από την επιφάνεια είναι:

$$\Phi_B = \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

Αν έχω μια **κλειστή επιφάνεια**, τότε:

$$\Phi_B = \oiint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$



Που σημαίνει ότι όσες δυναμικές γραμμές μπαίνουν στην επιφάνεια, τόσες και βγαίνουν.

Με την εφαρμογή του θεωρήματος Gauss: $\Phi_B = \oiint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = \iiint_V \vec{\nabla} \cdot \vec{B} dV = 0 \Rightarrow \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$

Ενώ για το ηλεκτρικό πεδίο είχαμε δει ότι ισχύει: $\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$

Διανυσματικό μαγνητικό δυναμικό \vec{A}

Το μαγνητικό δυναμικό είναι ένα διανυσματικό μέγεθος που το ορίζουμε γιατί μας βοηθάει πολύ στην επίλυση προβλημάτων που σχετίζονται με τα μεταβαλλόμενα μαγνητικά πεδία. Για να ορίσω πλήρως ένα διανυσματικό μέγεθος αρκεί να προσδιορίσω τη στροφή και την απόκλισή του, άρα:

$$\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A} \quad \text{και} \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{A} = 0$$

Από τις παραπάνω εύκολα προκύπτει η διανυσματική εξίσωση Poisson: $\nabla^2 \cdot \vec{A} = -\mu \vec{J}$

Μπορώ να ορίσω τη μαγνητική ροή ως: $\Phi_B = \oint_S \vec{A} \cdot d\vec{l} = \iint_S (\vec{\nabla} \times \vec{A}) \cdot d\vec{S}$

Η ροπή που δέχεται ένας ρευματοφόρος βρόχος

Έστω ορθογώνιος βρόχος (μεταλλικό πλαίσιο που διαρρέεται από ρεύμα I και βρίσκεται μέσα σε ένα ομογενές μαγνητικό πεδίο \vec{B} .

Στις πλευρές 1 και 3 δεν ασκείται μαγνητική δύναμη \vec{F}_B γιατί είναι παράλληλες στη μαγνητική επαγωγή. Δηλαδή: \vec{J} παράλληλο στο \vec{B} και $\theta=0$ ή π , οπότε $\sin(\theta)=0$.

Μόνο στις πλευρές 2 και 4 ασκείται δύναμη \vec{F}_B επειδή είναι κάθετες στη μαγνητική επαγωγή. Δηλαδή: \vec{J} κάθετο στο \vec{B} και $\theta=\pi/2$ ή $3\pi/2$, οπότε $\sin(\theta)=1$.

Το μέτρο της μαγνητικής δύναμης που δέχονται οι πλευρές αυτές είναι:

$$\blacksquare F_2 = F_4 = I a B$$

Η F_2 έχει κατεύθυνση προς τα έξω.

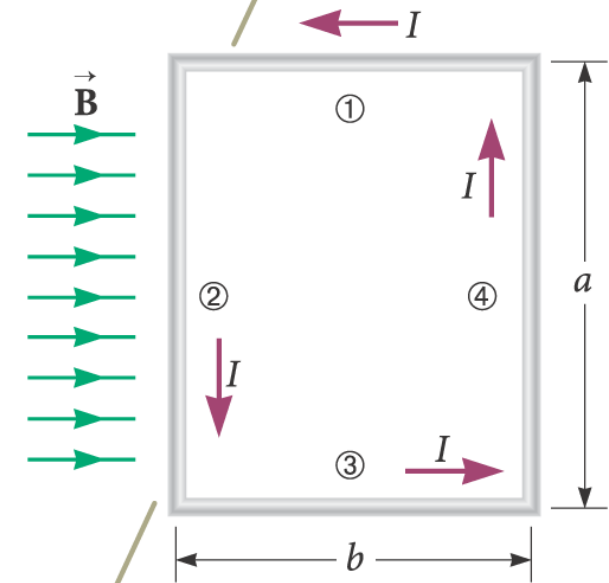
Η F_4 έχει κατεύθυνση προς τα μέσα.

$$\vec{F}_B = \int_C (\vec{J} \times \vec{B}) dl$$

$$\vec{J} \times \vec{B} = |\vec{J}| |\vec{B}| \sin(\theta) \hat{n}$$

Το μεταλλικό πλαίσιο θα αρχίσει να περιστρέφεται

Στις πλευρές ① και ③ δεν ασκούνται μαγνητικές δυνάμεις επειδή οι πλευρές αυτές είναι παράλληλες ως προς το \vec{B} .



Οι πλευρές ② και ④ είναι κάθετες στο μαγνητικό πεδίο και άρα δέχονται δυνάμεις.

Ερωτήσεις

- Έστω ένα ακίνητο και ένα κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο. Τι είδους δυνάμεις θα ασκηθούν μεταξύ τους;
- Τι κατεύθυνση έχουν οι δυναμικές γραμμές του μαγνητοστατικού πεδίου;
- Ένα ακίνητο φορτίο τοποθετείται μέσα σε ένα σταθερό μαγνητικό πεδίο. Τι δύναμη θα του ασκηθεί;
- Τι είδους δύναμη αναπτύσσεται ανάμεσα σε 2 παράλληλους ηλεκτροφόρους αγωγούς;
- Από ποιο μέγεθος εξαρτάται η μαγνητική επαγωγή ενός μαγνητικού πεδίου;
- Ως προς τι διαφέρουν δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου και του ηλεκτρικού πεδίου;
- Πόσες δυναμικές γραμμές εισέρχονται και εξέρχονται από μια κλειστή επιφάνεια που βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο;
- Έστω ορθογώνιο μεταλλικό πλαίσιο (βρόχος) που βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο και διαρρέεται από ρεύμα. Σε ποιες πλευρές του θα ασκηθεί δύναμη;