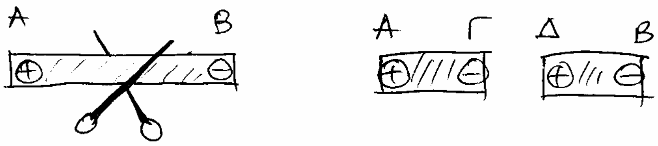
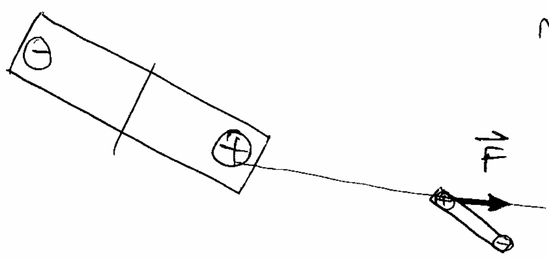
σ) Μπορούμε να απομονώσουμε ένα μαγνητικό πόλο;

<u>Απάντηση:</u> Όχι !!! Εάν κόψουμε ένα ραβδόμορφο μαγνήτη στα δύο, εμφανίζονται και πάλι πόλοι σε ζεύγη:



σ) Μπορούμε να ορίσουμε το μαγνητικό πεδίο $\vec{B}$ κατ' αναλογία με τον τρόπο που ορίσαμε το ηλεκτρικό πεδίο $\vec{E}$. Φέρουμε δηλαδή ένα μικρό δοκιμαστικό πόλο (μαζί με τον "παρτενέρ" του) κοντά σε ένα άλλο μεγαλύτερο πόλο ο οποίος θεωρούμε ότι δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο: Μετρούμε την δύναμη $\vec{F}$ που αισθάνεται ο δοκιμαστικός πόλος και ορίζουμε το πεδίο $\vec{B}$ ως



$$\vec{B} = \frac{\vec{F}}{q}$$

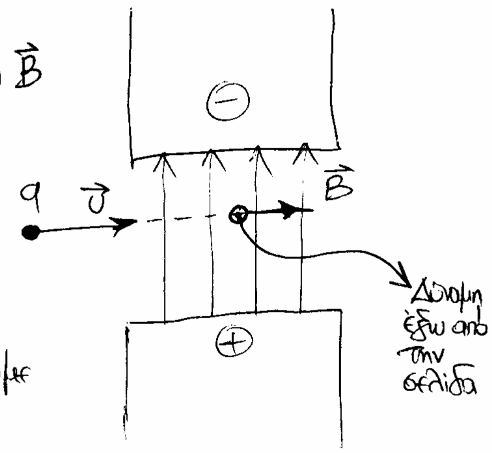
όπου q το "μαγνητικό φορτίο" το οποίο βέβαια δεν το έχουμε ορίσει ακόμα. Παρόλο ότι αυτός ο ορισμός μας δίνει μια ποιοτική ιδέα του πως μοιάζουν οι δυναμικές γραμμές, δεν χρησιμοποιείται στην πράξη. Λόγω ενός άλλου φαινομένου, μπορούμε να βρούμε ένα πρακτικό ορισμό:

α) Κινούμενα ηλεκτ. φορτία:

Έχει παρατηρηθεί ότι όταν κινούμενα ηλεκτρικά φορτία περνάνε κοντά από μαγνήτες, αποκλίνει η τροχιά τους. Αυτό σημαίνει ότι ασκείται μια δύναμη πάνω τους. Όταν ένα ακίνητο ηλεκτρικό φορτίο αφεθεί κοντά σε μαγνήτη, τότε δεν συμβαίνει τίποτε. Επομένως πρέπει να είναι ο συνδυασμός της κίνησης και του ηλεκτρικού φορτίου που δημιουργεί μαγνητικά φαινόμενα.

Δ. ΚΟΥΖΟΥΔΗΣ

Θεωρήστε τον χώρο μεταξύ των επιπέδων πόλων δυο μεγάλων μαγνητών που βρίσκονται σε μια μικρή σχετική απόσταση μεταξύ τους. Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το μαγνητικό πεδίο είναι αρκετά ομοιογενές σε αυτό τον χώρο (σύμφωνα με τον "ποιοτικό ορισμό" παραπάνω) και ότι η επαγωγή $\vec{B}$ του πεδίου είναι προς τα πάνω. Εισάγουμε ένα ηλεκτρικό φορτίο q με ταχύτητα $\vec{\upsilon}$ κάθετη στο $\vec{B}$. Παρατηρούμε τα εξής:



√ Μόλις το φορτίο εισέλθει στον χώρο του πεδίου, ασκείται δύναμη πάνω του.

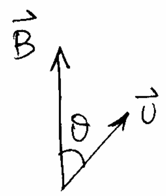
√ Η δύναμη αυτή είναι έξω από την σελίδα, δηλαδή $\vec{F}$ κάθετη και στο $\vec{υ}$ και στο $\vec{B}$

√ Η δύναμη αυτή είναι ανάλογη του q και του υ.

√ Η δύναμη αυτή αυξάνει όσο αυξάνουμε την μαγνήτιση του μαγνήτη (βάζουμε ισχυρότερο ή μεγαλύτερο μαγνήτη).

Δ. ΚΟΥΖΟΥΔΗΣ

δ) Τώρα ~~[illegible]~~ εισάγουμε το q με γωνία θ ως προς το $\vec{B}$. Θεωρήστε ότι τα $\vec{υ}$ και $\vec{B}$ ανήκουν στη σελίδα :



Παρατηρούμε ότι και πάλι η $\vec{F} \perp \vec{B}$ και $\vec{υ}$ αλλά τώρα το μέγεθός της είναι ανάλογο του $\underline{\sin\theta}$. Αυτό το ημίτονο μας θυμίζει το εξωτερικό γινόμενο και μετά από λίγη σκέψη καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι $\vec{F} = q\vec{υ} \times \vec{B}$

Έτσι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αυτήν την έκφραση, γνωστή και ως "δύναμη Laplace" για να ορίσουμε ποσοτικά το $\vec{B}$, δηλαδή να του αποδώσουμε μονάδες.

Έτσι ορίζουμε ως 1 Tesla την ένταση B ενός ομοιόμορφου μαγνητικού πεδίου που απαιτείται για να ασκήσει δύναμη ενός Newton σε ένα κινούμενο φορτίο 1 Coulomb όταν αυτό διέρχεται με ταχύτητα $1\ \frac{m}{s}$ κάθετα στο πεδίο. Δηλαδή

$$1\ N = 1\ C \times 1\ \frac{m}{s} \times 1\ T \Rightarrow$$

ΟΡΙΣΜΟΣ Tesla

$$T = \frac{N \cdot s}{C \cdot m}$$

δ) Έτσι η δύναμη $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ είναι πάντοτε κάθετη και στο $\vec{v}$ και στο $\vec{B}$, τέμνει δηλαδή κάθετα το επίπεδο που ανήκουν τα $\vec{v}$ και $\vec{B}$, και έχει μέτρο $F = qvB\sin\theta$, όπου θ η γωνία μεταξύ $\vec{v}$ και $\vec{B}$.

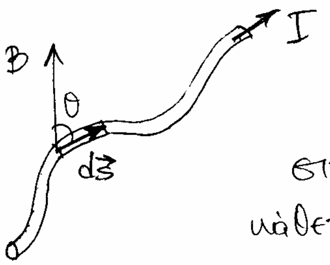
Μαγνητικές δυνάμεις σε αγωγούς κινούμενω

α) Όταν ένα στοιχειώδες φορτίο dq βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο $\vec{B}$ τότε ασκείται πάνω του δύναμη $d\vec{F} = dq\,\vec{v}\times\vec{B}$. Θεωρήστε ένα τέτοιο στοιχ. φορτίο dq μέσα σε έναν αγωγό που διαρρέεται από ρεύμα $I = \frac{dq}{dt}$. Μέσα σε χρόνο dt το φορτίο κινείται κατά $d\vec{s} = \vec{v}\,dt$, όπου s είναι η απόσταση κατά μήκος του αγωγού. Παρουσία μαγν. πεδίου B, η δύναμη $d\vec{F}$ είναι

$$d\vec{F} = dq\,\vec{v}\times\vec{B} = dq\,\frac{d\vec{s}}{dt}\times\vec{B} = \frac{dq}{dt}\,d\vec{s}\times\vec{B}$$ ή

$$\boxed{d\vec{F} = I\,d\vec{s}\times\vec{B}}$$

Δύναμη πάνω σε στοιχ. μήκος ρευματοφ. αγωγού παρουσία μαγν. πεδίου ή το $\vec{B}$



Έτσι εάν ο αγωγός βρίσκονται στην σελίδα, τότε η δύναμη είναι κάθετη στην σελίδα και προς τα έξω.

Τώρα $dF = I\,ds\,B\sin\theta$ όπου θ είναι η γωνία μεταξύ του στοιχ. μήκους ds του αγωγού και του $\vec{B}$. Για να βρούμε την ολική δύναμη ολοκληρώνουμε σε όλο τον αγωγό:

$$\vec{F} = \int_{\text{αγωγό}} d\vec{F} = \int_{\text{αγωγό}} I\,d\vec{s}\times\vec{B} = I\int_{\text{αγωγό}} d\vec{s}\times\vec{B}$$

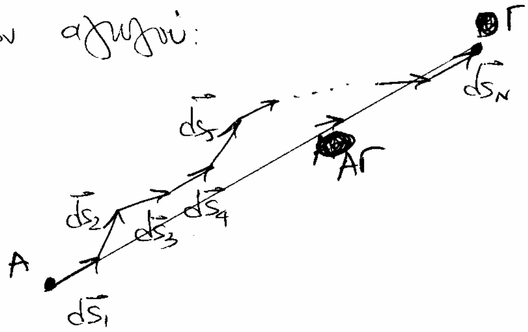
Δ. Κουζούδης

σ) Ειδικές περιπτώσεις:

α. Ομοιογενές μαγνητικό πεδίο. Εάν $\vec{B}$ = σταθερό τότε βγαίνει εκτός ολοκληρώματος και

$$\vec{F} = I\left(\int_{\alpha\gamma\omega\gamma\acute{o}\varsigma} d\vec{s}\right)\times\vec{B}$$

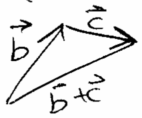
Το ολοκλήρωμα $\int_{\alpha\gamma\omega\gamma\acute{o}\varsigma} d\vec{s}$ είναι ένα διανυσματικό άθροισμα όλων των στοιχειωδών τμημάτων του αγωγού:



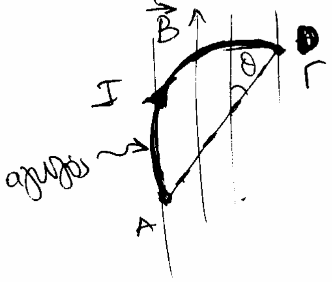
Δ. ΚΟΥΖΟΥΔΗΣ

$$\int_{\alpha\gamma\omega\gamma\acute{o}\varsigma} d\vec{s} = d\vec{s}_1 + d\vec{s}_2 + d\vec{s}_3 + \dots + d\vec{s}_N$$

Εάν θυμηθούμε ότι το άθροισμα δύο διανυσμάτων είναι ένα νέο διάνυσμα με αρχή την αρχή του πρώτου και πέρας το πέρας του δευτέρου:



τότε το άθροισμα $\vec{s}_1+\vec{s}_2+\dots+\vec{s}_N$ παραπάνω ισούται απλά με το διάνυσμα $\vec{ΑΓ}$ με αρχή την αρχή του αγωγού και μέρος του μέρος του αγωγού. Έτσι π.χ. στο παρακάτω παράδειγμα ημικυκλικού αγωγού μέσα σε ομογ. μαγνητικό πεδίο



έχουμε

$$\vec{F} = I\left(\int d\vec{s}\right) \times \vec{B} =$$

$$= I\,\vec{A\Gamma} \times \vec{B}$$

Με μέτρο $F = I|\vec{A\Gamma}|B\sin\theta = 2IRB\sin\theta$

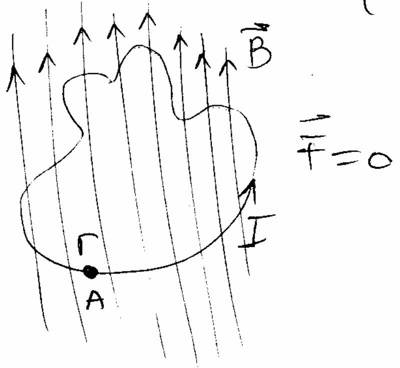
όπου R η ακτίνα του ημικυκλικού αγωγού.

β. Ομογενές $\vec{B}$ και κλειστός αγωγός.

Σύμφωνα με τα παραπάνω $\vec{F} = I\,\vec{A\Gamma} \times \vec{B}$

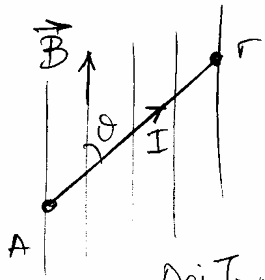
όμως τώρα τα A και Γ συμπίπτουν και έτσι

$\vec{F} = 0$: Δεν ασκείται δύναμη σε κλειστό ρευματοφ. αγωγό από ομογ. $\vec{B}$



Δ. Κουζούδης

γ. Ομογενές πεδίο και ευθύγραμμος αγωγός μήκους ℓ :



Σύμφωνα με τα παραπάνω

$$\vec{F} = I\,\vec{A\Gamma} \times \vec{B}$$

Ορίζουμε $\vec{\ell} = \vec{A\Gamma}$ το διάνυσμα που είναι παράλληλο με τον αγωγό και έχει μήκος ℓ. Έτσι $\vec{F} = I\,\vec{\ell} \times \vec{B}$ με μέτρο $F = BI\ell \sin\theta$, το γνωστό μας "$BI\ell$"!!!