



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Φυσική II

Ενότητα 8: Μαγνητισμός

Κουζούδης Δημήτρης

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Χημικών Μηχανικών

Σκοποί ενότητας

- Εξοικείωση με τις έννοιες του μαγνητισμού και του μαγνητικού πεδίου
- Κινούμενο φορτίο σε μαγνητικό πεδίο και μαγνητική δύναμη
- Κανόνες φοράς και κατεύθυνσης της δύναμης – εξωτερικό γινόμενο διανυσμάτων
- Ροπή σε ρευματοφόρο βρόγχο (κάθετα, παράλληλα, τυχαία γωνία)
- Ευθύγραμμοι και τυχαίου σχήματος ρευματοφόροι αγωγοί μέσα σε μαγνητικό πεδίο: παραγωγή μαγνητικού πεδίου και δύναμη μεταξύ ρευματοφόρων αγωγών : ο Νόμος των Biot-Savart
- Κατανόηση μέσα από χαρακτηριστικά παραδείγματα



Περιεχόμενα ενότητας

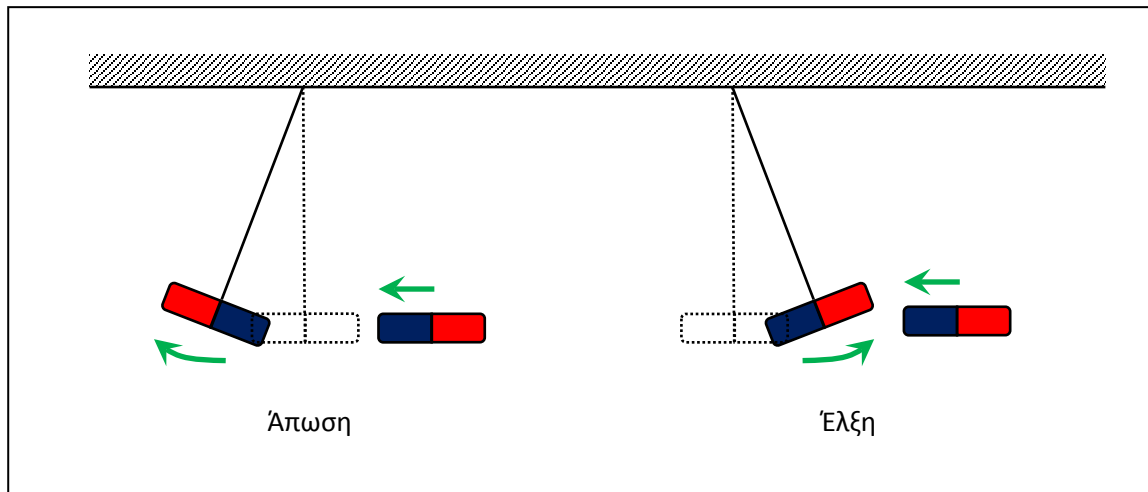
- Εισαγωγή στο μαγνητισμό
- Συμβολισμός μαγνητών
- Εισαγωγή στο μαγνητικό πεδίο
- Κινούμενο φορτίο σε μαγνητικό πεδίο
- Ορισμός μαγνητικού πεδίου
- Διεύθυνση της δύναμης
- Εξωτερικό γινόμενο διανυσμάτων
- Ευθύγραμμος ρευματοφόρος αγωγός σε μαγνητικό πεδίο
- Ρευματοφόρος αγωγός τυχαίου σχήματος σε μαγνητικό πεδίο
- Ροπή σε ρευματοφόρο βρόγχο
- Ο Νόμος των Biot – Savart
- Μαγνητικό πεδίο από ευθύγραμμο αγωγό
- Δύναμη μεταξύ ρευματοφόρων αγωγών



Μαγνητισμός

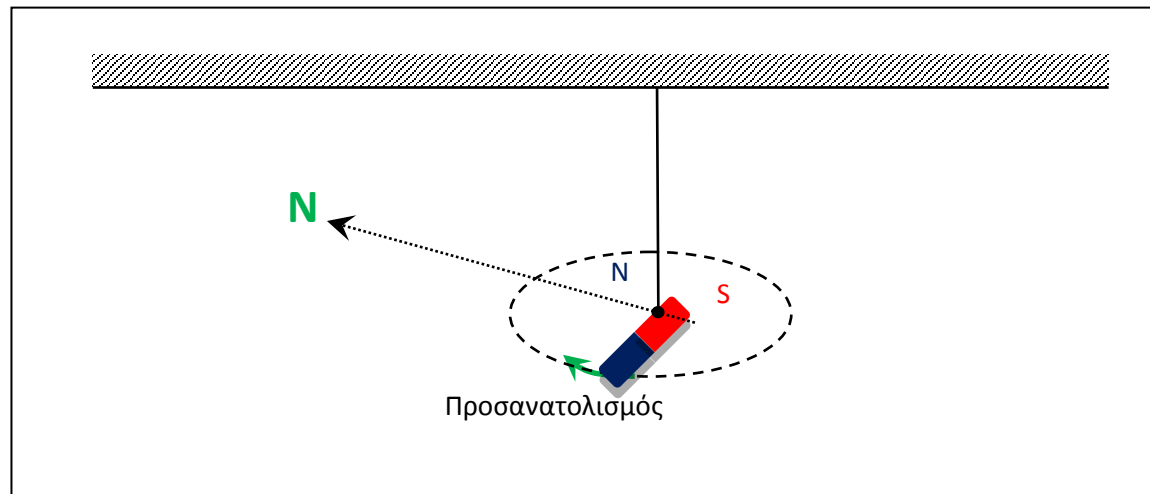
Εισαγωγή στο μαγνητισμό

- Παρόμοια με ηλεκτρισμό: άπωση ομόσημων, έλξη ετερόσημων
- Παραδοχή ύπαρξης φορτίων στα άκρα
- Ραβδόμορφοι μαγνήτες
- Πάντα σε ζεύγη – αδύνατη η απομόνωση



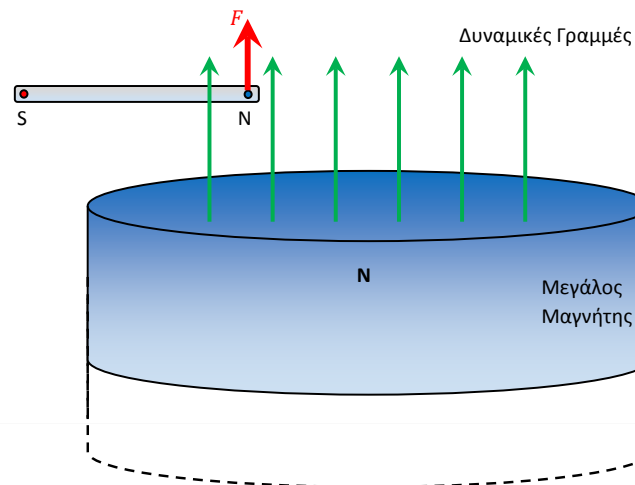
Συμβολισμός μαγνητών

- Βόρειος (N, North) και Νότιος (S, South) πόλος
- Ο Βόρειος πόλος δείχνει πάντα προς το γεωγραφικό Βορρά



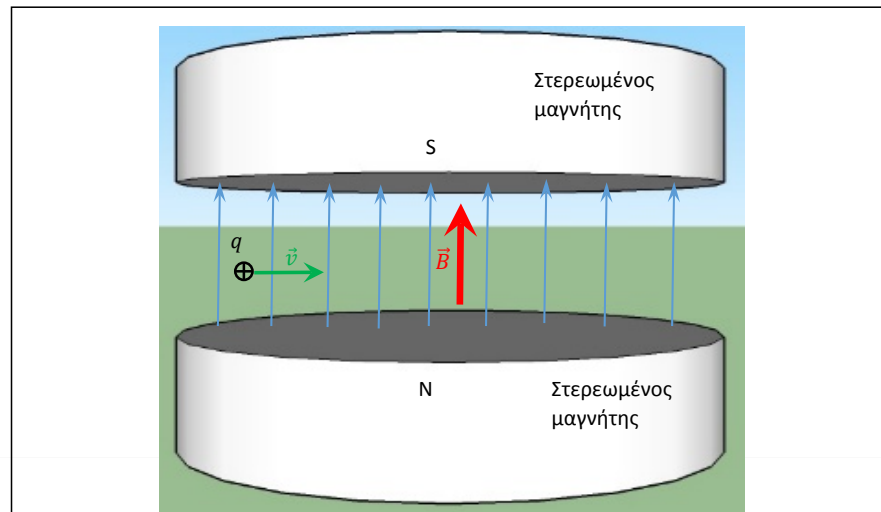
Εισαγωγή στο μαγνητικό πεδίο

- Συμπεριφορά σαν «σημειακών» πόλων στα άκρα
- Έλξη (ή άπωση) από μεγαλύτερο μαγνήτη
- Το *Μαγνητικό πεδίο* (B) μεγάλου μαγνήτη ασκεί δύναμη F σε δοκιμαστικό πόλο που φέρει μαγνητικό φορτίο
- Μαγνητικές δυναμικές γραμμές



Κινούμενο φορτίο σε μαγνητικό πεδίο

- Σύνδεση ηλεκτρισμού – μαγνητισμού
 - Άσκηση δύναμης σε κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο μέσα σε μαγνητικό πεδίο
 - Μέτρο: $F = qvB$
 - Διεύθυνση: κάθετα στη σελίδα, προς τα μέσα

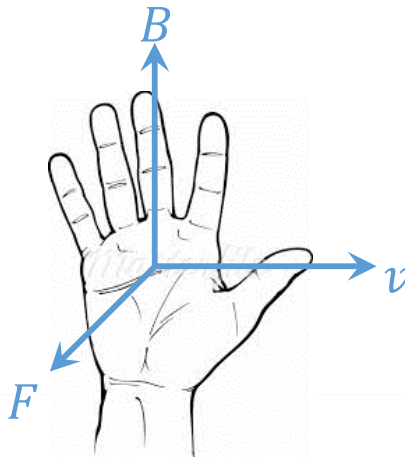


Ορισμός μαγνητικού πεδίου

- Από τη σχέση της δύναμης σε κινούμενο φορτίο

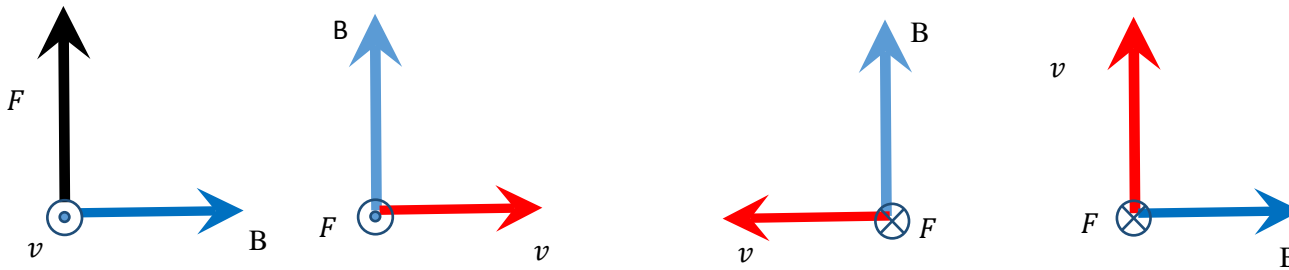
$$B = \frac{F}{q v}$$

- Μονάδα μέτρησης: $1 T (Tesla) = \frac{N \cdot s}{C \cdot m}$
- Φορά δύναμης θετικού φορτίου: κανόνας δεξιού χεριού (αριστερού για αρνητικό)



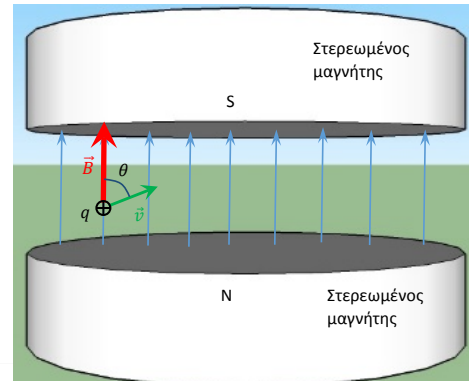
Διεύθυνση της δύναμης

- Προς τα μέσα, σύμβολο: \otimes
- Προς τα έξω, σύμβολο: \odot
- Παραδείγματα



- Ταχύτητα υπό γωνία θ με το μαγνητικό πεδίο

$$F = qvB\sin\theta$$



Παραδείγματα

1. Ένα πρωτόνιο ($q = +1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$) ταξιδεύει προς τα δεξιά μέσα στη σελίδα και εισέρχεται σε περιοχή του χώρου όπου υπάρχει μαγνητικό πεδίο B εντάσεως 0.4 T με φορά προς τα πάνω (επίσης στη σελίδα). Εάν η ταχύτητα του πρωτονίου είναι $2 \times 10^6 \text{ m/s}$, ποια είναι η μαγνητική δύναμη που του ασκείται από το πεδίο;

$$v = 2 \times 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$F = qvB = 1.6 \times 10^{-19} \times 2 \times 10^6 \times 0.4 = 1.28 \times 10^{-13} \text{ N}$$

Κανόνας του δεξιού χεριού: προς τα έξω της σελίδας

2. Ένα σωματίδιο α (2 πρωτόνια + 2 νετρόνια) εισέρχεται με ταχύτητα $3.6 \times 10^6 \text{ m/s}$ σε περιοχή του χώρου όπου υπάρχει μαγνητικό πεδίο έντασης 0.12 T . Ποια είναι η μαγνητική δύναμη που του ασκείται από το πεδίο εάν η ταχύτητά του σχηματίζει γωνία 35° με το μαγνητικό πεδίο;

Φορτίο νετρονίου=0

Φορτίο πρωτονίου = |φορτίο ηλεκτρονίου|

$$q = 2 \times 1.6 \times 10^{-19} = 3.2 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$F = qvB \sin\theta = 3.2 \times 10^{-19} \times 3.6 \times 10^6 \times 0.12 \times \sin\theta = 7.9 \times 10^{-14} \text{ N}$$



Εξωτερικό γινόμενο διανυσμάτων

- Συμβολισμός: $\vec{A} \times \vec{B}$
- Νέο διάνυσμα, C
 - Μέτρο : $|\vec{C}| = |\vec{A}||\vec{B}|\sin\theta$
 - Φορά: από κανόνα δεξιού χεριού (A στον αντίχειρα, B στα υπόλοιπα δάχτυλα, C κάθετο στην παλάμη, προς αναγνώστη)
- Σημαντική η σειρά των διανυσμάτων
- Συνιστώσες εξωτερικού γινομένου: $C_x = A_y B_z - A_z B_y$

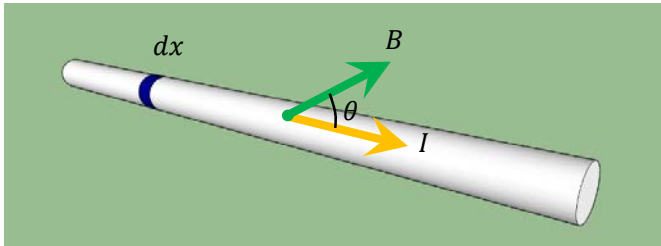
$$C_y = A_z B_x - A_x B_z$$

$$C_z = A_x B_y - A_y B_x$$



Ευθύγραμμος ρευματοφόρος αγωγός σε μαγνητικό πεδίο

- Ασκούμενη μαγνητική δύναμη σε στοιχειώδες τμήμα



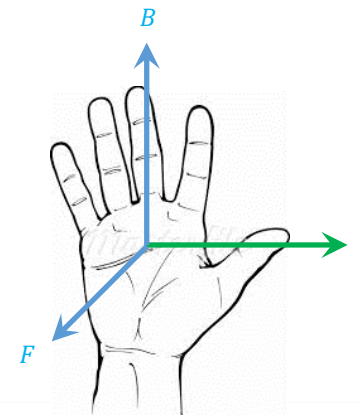
$$dF = dqvB\sin\theta = dq \frac{dx}{dt} B\sin\theta = dx \frac{dq}{dt} B\sin\theta$$

- Ασκούμενη μαγνητική δύναμη όλο τον αγωγό, μήκους L

$$F = BIL\sin\theta$$

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

- Φορά από νόμο δεξιού χεριού με
ρεύμα I αντί για ταχύτητα u

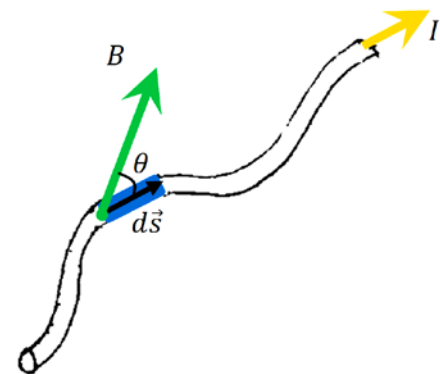


Ρευματοφόρος αγωγός τυχαίου σχήματος σε μαγνητικό πεδίο

- Στοιχειώδες τμήμα ds : $d\vec{F} = I d\vec{s} \times \vec{B}$
- Μαγνητική δύναμη στον αγωγό: $\vec{F} = I \int_{\text{αγωγό}} (d\vec{s} \times \vec{B})$
- Ομοιογενές B (σταθερό): $\vec{F} = I \left(\int_{\text{αγωγό}} d\vec{s} \right) \times \vec{B}$
- Άθροιση διανυσμάτων με κοινό πέρας-αρχή
 - Διάνυσμα που ενώνει αρχή με τέλος του αγωγού: s

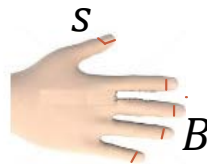
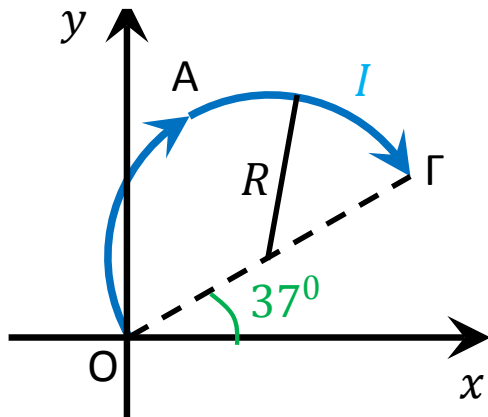
$$\vec{F} = I \vec{s} \times \vec{B}$$

- Δύναμη σε βρόγχο = 0



Παράδειγμα 3

Να βρεθεί η δύναμη που ασκείται στον παρακάτω ημικυκλικό αγωγό ΟΑΓ ακτίνας $R=1\text{ cm}$ εάν διαρρέεται από ρεύμα $I=0.2\text{ A}$ και βρίσκεται σε περιοχή του χώρου όπου υπάρχει μαγνητικό πεδίο $\vec{B}=0.25\vec{e}_x\text{ Tesla}$.



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

$$F = IsB\sin 37^\circ$$

$$s = 2R$$

$$F = 2IRB\sin 37^\circ = 2 \times 0.2 \times 0.01 \times 0.25 \times \sin 37^\circ \rightarrow$$

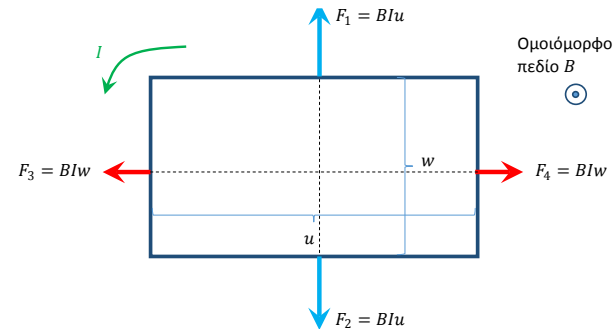
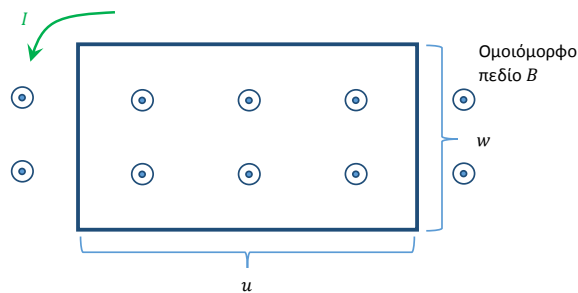
$$F = 6.02 \times 10^{-4}\text{ N}$$

Φορά της δύναμης: προς τα μέσα



Ροπή σε ρευματοφόρο βρόγχο

- Αρχή = τέλος \rightarrow Δεν ασκείται μαγνητική δύναμη
- Παραλληλόγραμμος ($u \times w$) βρόγχος κάθετα ως προς μαγνητικό πεδίο
- $\theta = 90^\circ \rightarrow \sin\theta = 1$



- Αλληλοαναίρεση δυνάμεων

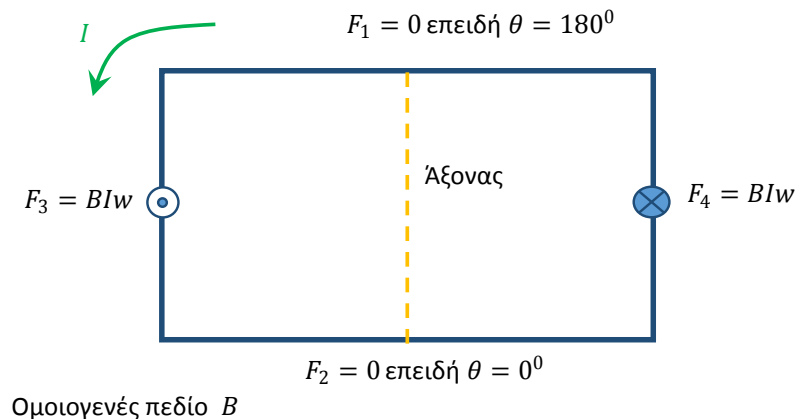
$$-\Sigma F = 0$$

- Σε ισορροπία: $\Sigma \tau = 0$



Ροπή σε ρευματοφόρο βρόγχο

- Μαγνητικό πεδίο παράλληλο στη μια πλευρά



— $\theta = 90^\circ \rightarrow \sin\theta = 1$

— $\theta = 0^\circ$ ή $\theta = 180^\circ$ $\sin\theta = 0$

- Αλληλοαναίρεση δυνάμεων: $\Sigma F = 0$

- Συνολική ροπή: $\Sigma\tau = \frac{F_3 u}{2} + \frac{F_4 u}{2} = BIwu \rightarrow$

$$\Sigma\tau = BIA$$



Ροπή σε ρευματοφόρο βρόγχο

- Μαγνητικό πεδίο σε τυχαία γωνία α
 - Ανάλυση σε κάθετες και παράλληλες συνιστώσες
 - Αλληλοαναίρεση δυνάμεων
 - Ροπή μόνο από παράλληλες

$$\Sigma\tau = BIA\sin\alpha$$

- N βρόγχοι συνδεδεμένοι σε σειρά (ίδιο ρεύμα)

$$\tau = NBIA\sin\alpha$$

- Ανεξαρτήτου σχήματος



Ο Νόμος των Biot – Savart

- Μαγνητικό πεδίο παράγεται ΚΑΙ από ρευματοφόρο αγωγό μέσα σε μαγνητικό πεδίο

- Από στοιχειώδες τμήμα:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{s} \times \vec{r}}{r^3}$$

- Από όλο τον αγωγό:

$$\vec{B} = \int_C d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_C \frac{d\vec{s} \times \vec{r}}{r^3}$$

- Όπου η μαγνητική διαπερατότητα του κενού:
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$

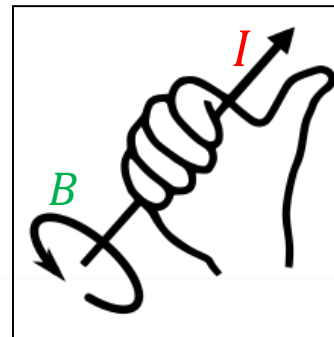
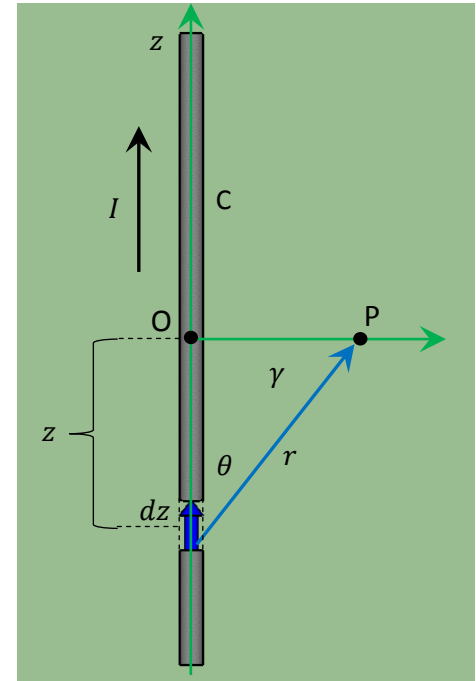


Μαγνητικό πεδίο από ευθύγραμμο αγωγό

- Απείρου μήκους
- Παράλληλο στο z ,
ρεύμα προς τα πάνω
- Στοιχειώδες τμήμα dz
- Πολικές συντεταγμένες

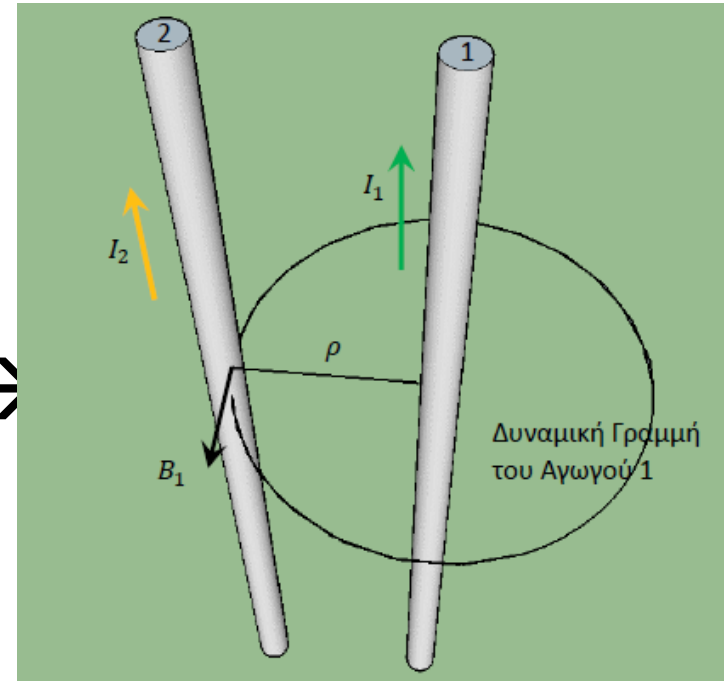
$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi\rho} \vec{e}_\varphi$$

- Φορά από κανόνα:



Δύναμη μεταξύ ρευματοφόρων αγωγών

- Απείρου μήκους
- Σε απόσταση ρ
- Ρευματοφόρος αγωγός \rightarrow παράγει μαγνητικό πεδίο \rightarrow ασκεί δύναμη στον άλλο αγωγό \rightarrow νόμος δράσης-αντίδρασης



$$\frac{F_{12}}{L} = \frac{F_{21}}{L} = \frac{\mu_0}{2\pi\rho} I_1 I_2$$



Βιβλιογραφία

- Serway R. A., Jewett J. W., 2013, *Φυσική για επιστήμονες και μηχανικούς : ηλεκτρισμός και μαγνητισμός, φώς και οπτική, σύγχρονη φυσική*, Κλειδάριθμος , Αθήνα
- Halliday D., Resnick R, 2009, *Φυσική: μέρος Β*, 4^η εκδ., Γ. & Α. Πνευματικός, Αθήνα
- Young H.D., Freedman R.A., 2010, *Πανεπιστημιακή φυσική με σύγχρονη φυσική, τ. 2: Ηλεκτρομαγνητισμός-Οπτική* , 2^η έκδ., Παπαζήσης , Αθήνα
- Pollack G.L., Stump D. R., 2002, *Electromagnetism*, Addison Wesley, San Francisco
- Hecht E.P., 1975, *Schaum's outline of theory and problems of optics*, McGraw-Hill Book Company, New York



Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών

Δημήτριος Κουζούδης. «Φυσική II»

Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
<https://eclass.upatras.gr/courses/CMNG2165/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά Δημιουργού-Μη Εμπορική Χρήση-Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.