



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά  
μαθήματα ΠΠ

# Φυσική II

Ενότητα 9: Ο Νόμος του Ampere

Κουζούδης Δημήτρης  
Πολυτεχνική Σχολή  
Τμήμα Χημικών Μηχανικών

# Σκοποί ενότητας

- Εισαγωγή και ερμηνεία του Νόμου του Ampere
- Χρήση και εφαρμογή του Νόμου του Ampere για τον υπολογισμό του μαγνητικού πεδίου κυλινδρικού αγωγού, συστοιχίας αγωγών, ζεύγους συστοιχιών αγωγών και σωληνοειδούς
- Σχεδιασμός δυναμικών γραμμών για κυλινδρικούς αγωγούς
- Χαρακτηριστικά του πηνίου και πλεονεκτήματα από την χρήση του ως ηλεκτρομαγνήτη
- Ορισμός σχετικής μαγνητικής διαπερατότητας και τιμές της για διάφορα υλικά



# Περιεχόμενα ενότητας

- Ο Νόμος του Ampere
- Μαγνητικό πεδίο κυλινδρικού αγωγού
  - Εξωτερικά
  - Εσωτερικά
- Δυναμικές γραμμές σε κυλινδρικούς αγωγούς
- Μαγνητικό πεδίο συστοιχίας απείρων αγωγών
- Μαγνητικό πεδίο ζεύγους συστοιχιών αντίθετου ρεύματος
- Μαγνητικό πεδίο σωληνοειδούς
- Το πηνίο ως ηλεκτρομαγνήτης
- Σχετική διαπερατότητα διαφόρων υλικών

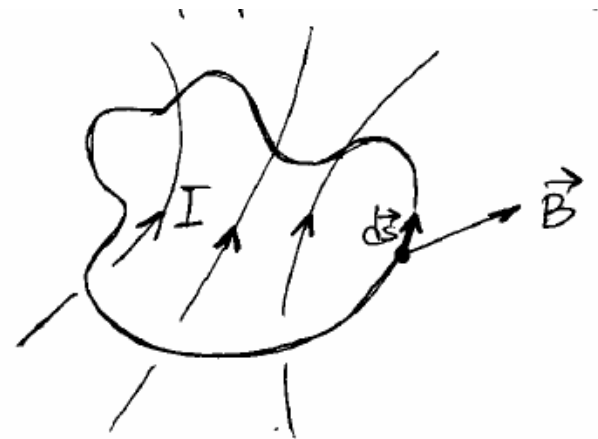


# Ο Νόμος του Ampere

# Ο Νόμος του Ampere

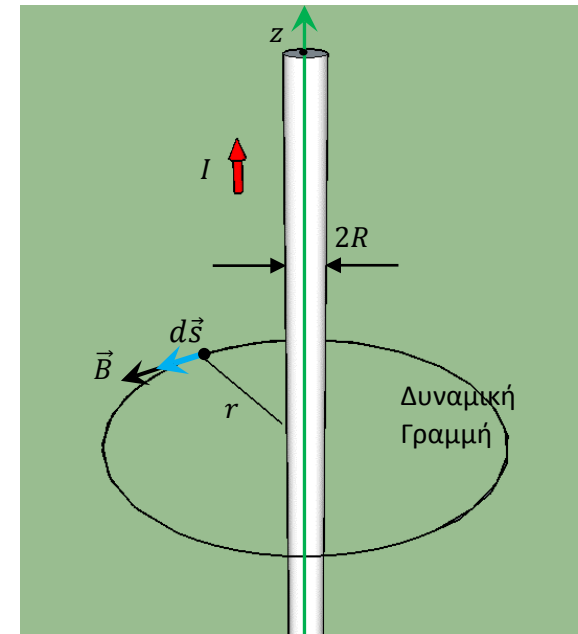
- Προσδιορισμός της έντασης του μαγνητικού πεδίου
  - Ανάλογος με N. Gauss για το ηλεκτρικό πεδίο
- Ιδεατή κλειστή *καμπύλη* – καμπύλη Ampere
- Το επικαμπύλιο ολοκλήρωμα του  $B$  είναι ανάλογο του συνολικού ρεύματος με σταθερά αναλογίας το  $\mu_0$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I$$



# Μαγνητικό πεδίο κυλινδρικού αγωγού

- Πεπερασμένο πάχος, ακτίνας  $R$
- Απείρου μήκος, άξονας στον  $z$
- **Εξωτερικά** ( $r \geq R$ ): δυναμικές γραμμές – ομόκεντροι κύκλοι με κέντρο τον άξονα
  - Κλειστή καμπύλη: δυναμική γραμμή
  - $B$  εφαπτόμενο στο  $r$ , φορά από κανόνα δεξιού χεριού
  - $B \parallel ds \rightarrow$  εσ. Γινόμενο:  $\vec{B} \cdot d\vec{s} = B ds$
  - Ολικό ρεύμα: το ρεύμα του αγωγού, ομοιόμορφη κατανομή



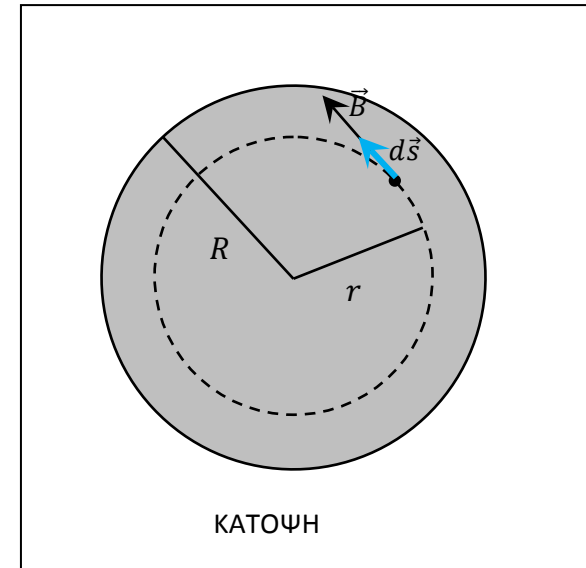
- Νόμος Ampere:  $\oint B ds = \mu_0 I \rightarrow B \oint ds = \mu_0 I \rightarrow B 2\pi r = \mu_0 I$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad r \geq R$$



# Μαγνητικό πεδίο κυλινδρικού αγωγού

- **Εσωτερικά** ( $r < R$ )
- Κλειστή καμπύλη: δυναμική γραμμή – ομόκεντροι κύκλοι  
→  $\oint B ds = B 2\pi r$
- Περικλειόμενο ρεύμα:  $I' < I$ 
  - Ομοιόμορφη κατανομή  
→  $\frac{I'}{I} = \frac{\pi r^2}{\pi R^2} \Rightarrow I' = I \frac{r^2}{R^2}$
- Νόμος Ampere

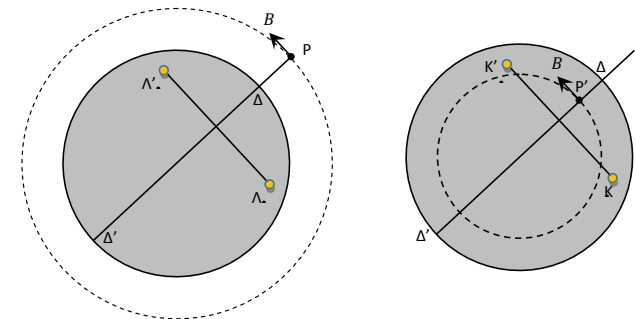
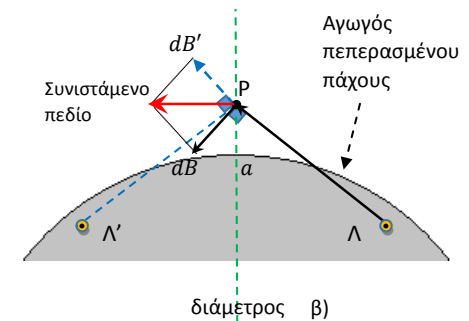
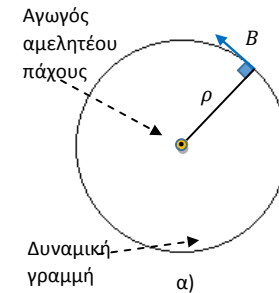


$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R^2} r \quad r < R$$



# Δυναμικές γραμμές σε κυλινδρικούς αγωγούς

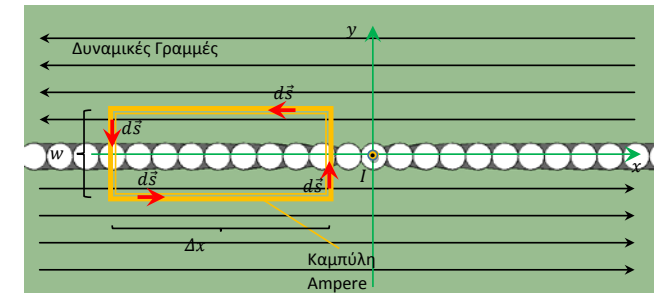
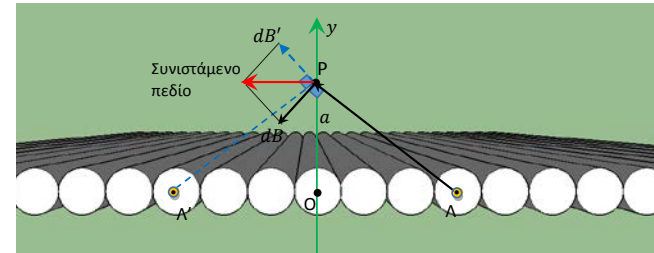
- Αμελητέου πάχους, άπειρου μήκους
  - Μαγνητικό πεδίο: εφαπτόμενο στη δυναμική γραμμή, κάθετο στην ακτίνα
- Πεπερασμένου πάχους, απείρου μήκους
  - Τεμαχισμός σε στοιχειώδεις αγωγούς – ίδιο ρεύμα
  - Συνιστάμενο πεδίο: κάθετο στη διάμετρο του αγωγού
  - Οι δυναμικές γραμμές ενός κυλινδρικού αγωγού (ομοιόμορφο ρεύμα) είναι ομόκεντροι κύκλοι εντός και εκτός του αγωγού





# Μαγνητικό πεδίο συστοιχίας απείρων αγωγών

- Ευθύγραμμοι αγωγοί αμελητέου πάχους, απείρου μήκους – ίδιο ρεύμα
  - Μαγνητικό ανάλογο φορτισμένου φύλλου απείρων διαστάσεων
- Δυναμικές γραμμές ανά ζεύγη αγωγών
  - Μόνο οριζόντια συνιστώσα μαγνητικού πεδίου κάθετη σε διάμετρο *υποθετικού* κύκλου
  - Συνισταμένη όλων των ζευγών παράλληλη στη συστοιχία, διαφορετική φορά σε κάθε πλευρά
- Νόμος Ampere σε κλειστό ορθογώνιο με  $N=n \Delta x$  αγωγούς ( $n$ : αρ. αγωγών/m)



$$B = \frac{\mu_0 n I}{2}$$

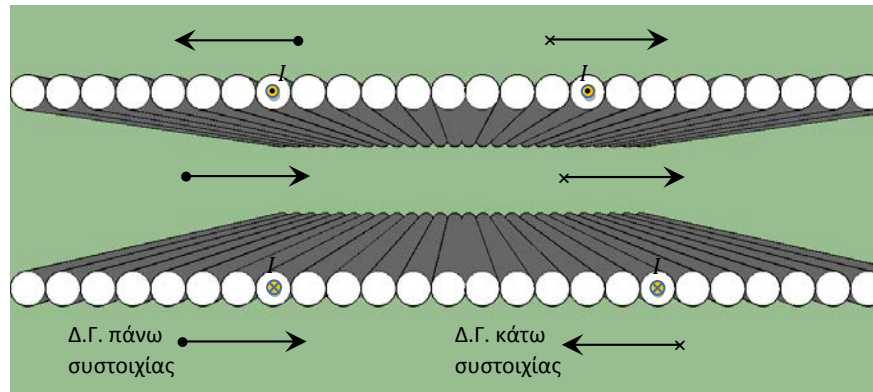
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 n \Delta x I = \int_{\pi} \vec{B} \cdot d\vec{s} + \int_{\alpha} \vec{B} \cdot d\vec{s} + \int_{\kappa} \vec{B} \cdot d\vec{s} + \int_{\delta} \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 n \Delta x I$$

$\int_{\pi} ds + B \int_{\kappa} ds = \mu_0 n \Delta x I \rightarrow 2B \Delta x = \mu_0 n \Delta x I$



# Μαγνητικό πεδίο ζεύγους συστοιχιών αντίθετου ρεύματος

- Ίδιοι ευθύγραμμοι αγωγοί αμελητέου πάχους, απείρου μήκους
- Ίσα ρεύματα – αντίθετης φοράς
- Ίδιος αριθμός αγωγών / μέτρο ( $n$ )
- Δυναμικές γραμμές
  - Αντίθετες στον εξωτερικό χώρο (αλληλοαναιρούμενες)
  - Ομόσημες (διπλασιασμός) στον εσωτερικό χώρο

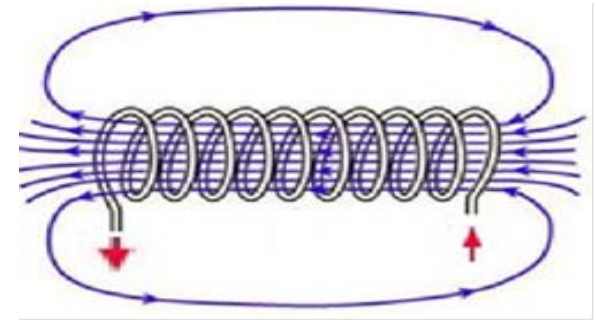


$$B = \begin{cases} \mu_0 n I , & \text{εντός συστοιχίας} \\ 0 , & \text{εκτός συστοιχίας} \end{cases}$$

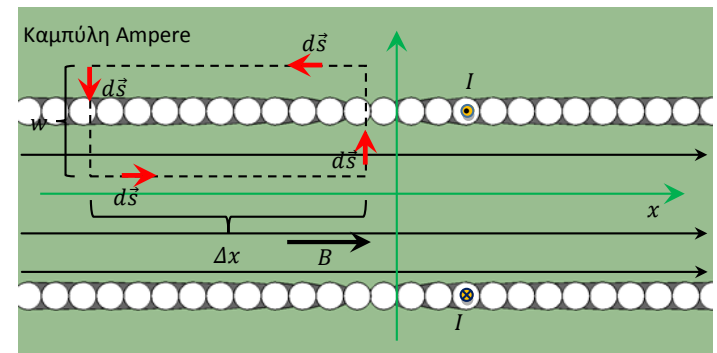


# Μαγνητικό πεδίο σωληνοειδούς

- $N$  κυκλικές ισαπέχουσες σπείρες  
 διαμέτρου  $r$  και μήκους  $L \gg r$   
 ( $n=N/L$ )



- Ίδιο ρεύμα – αντίθετες φορές
- Ομοιογενές μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό
- Απουσία μαγνητικού πεδίου στο εξωτερικό
- Μαγνητικό ανάλογο του πυκνωτή



- Νόμος Ampere

$$\int_{\pi} \vec{B} \cdot d\vec{s} + \int_{\alpha} \vec{B} \cdot d\vec{s} + \int_{\kappa} \vec{B} \cdot d\vec{s} + \int_{\delta} \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 NI \Delta x / L$$

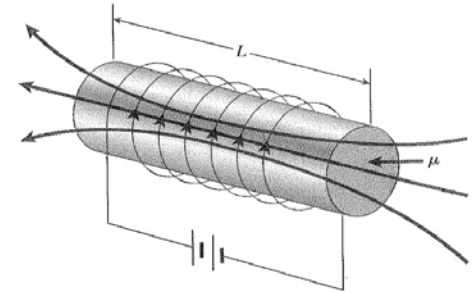
$$B = \frac{\mu_0 NI}{L}$$

$$\int_{\kappa} B ds = \mu_0 NI \Delta x / L$$



# Το πηνίο ως ηλεκτρομαγνήτης

- Σωληνοειδές πεπερασμένου μήκους
  - Ποικίλου σχήματος
  - Ποικίλων αποστάσεων
- Πλεονεκτήματα από χρήση σαν ηλεκτρομαγνήτη
  - Ομοιογενές  $B$ , παράλληλο στον άξονα
  - $B=0$  εκτός πηνίου
  - Γραμμική αναλογία  $B-I$ , μεγάλο εύρος τιμών  $B$
  - Επίτευξη μεγάλου  $B$  με πολλές σπείρες και περιέλιξη γύρω από μαγνητικά υλικά
- Σχετική διαπερατότητα μαγνητικού υλικού



# Σχετική διαπερατότητα διαφόρων υλικών

Μαγνητικό υλικό	Σχετική διαπερατότητα $\mu_r$
Mu-metal	20000
Σιδηρο-κοβάλτιο	18000
Permalloy	8000
Χάλυβας	100 - 1000
Σιδηρίτης	640
Νικέλιο	100 – 600
Μαγνήτης Νεοδυμίου	1.05
Πλατίνα	1.000265
Λουμίνιο	1.000022
Ξύλο	1.00000043
Αέρας	1.00000037
Μπετόν	1
Κενό	1
Υδρογόνο	1
Teflon	1
Ζαφείρι	0.99999976
Χαλκός	0.999994
Νερό	0.999992
Βισμούθιο	0.999834
Υπεραγωγοί	0



# 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<sup>η</sup> εκδ., Γ. & Α. Πνευματικός, Αθήνα
- Young H.D., Freedman R.A., 2010, *Πανεπιστημιακή φυσική με σύγχρονη φυσική, τ. 2: Ηλεκτρομαγνητισμός-Οπτική* , 2<sup>η</sup> 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.