



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ  
ΑΝΟΙΚΤΑ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΑ ΜΑΘΗΜΑΤΑ



# Μαγνητικά Υλικά Υπεραγωγοί

## ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

Διδάσκων: Καθηγητής Ιωάννης  
Παναγιωτόπουλος



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



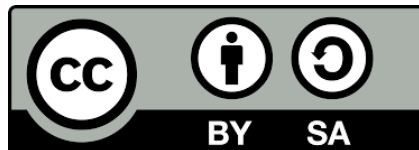
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

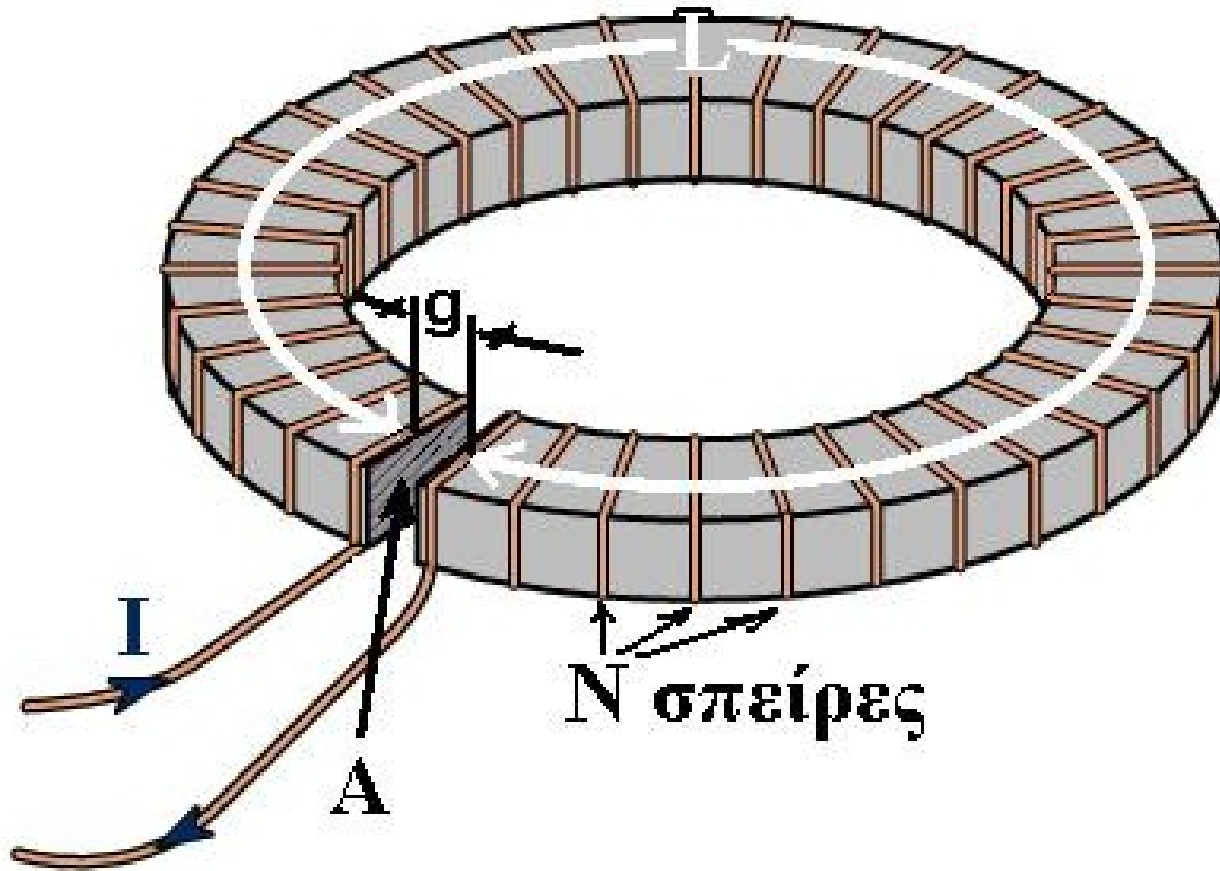


# Άδειες Χρήσης

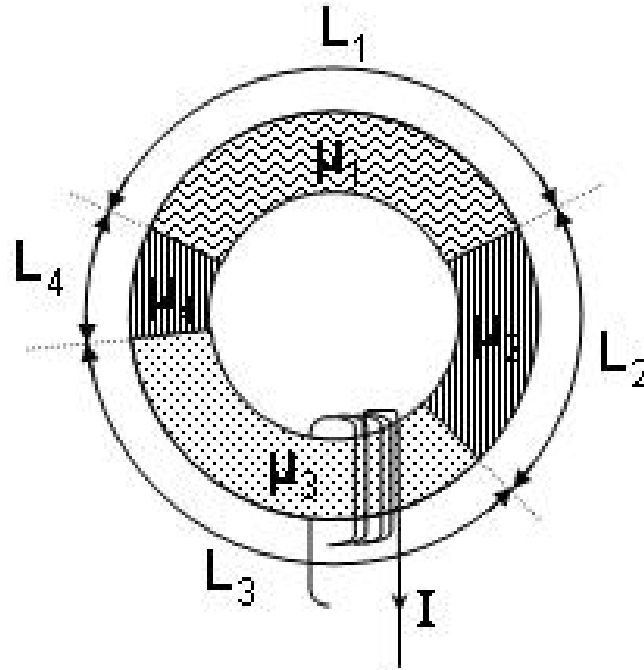
- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



# Το Μαγνητικό Κύκλωμα



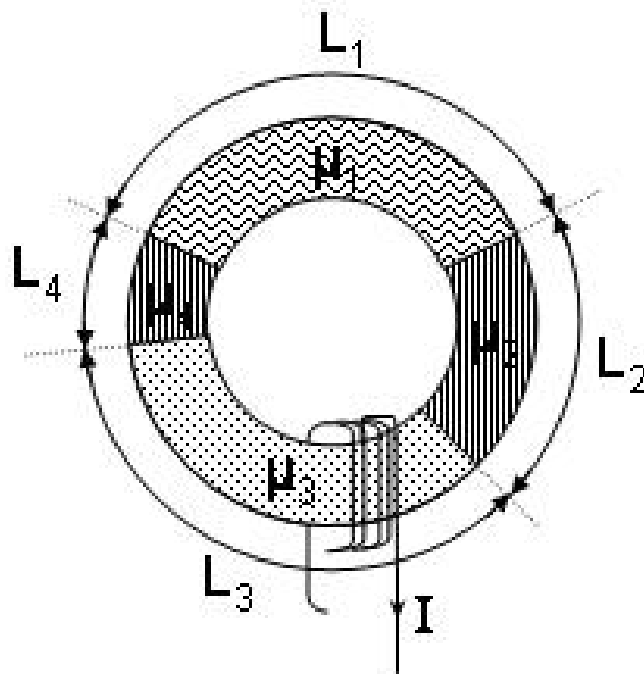
# Το Μαγνητικό Κύκλωμα



$$B_1 A_1 = B_2 A_2 = \dots = B_n A_n$$

$$\oint H dl = NI$$

# Το Μαγνητικό Κύκλωμα



$$\Phi = \Lambda B_1(H_1) = \Lambda B_2(H_2) = \Lambda B_3(H_3) = \Lambda B_4(H_4)$$

$$H_1 L_1 + H_2 L_2 + H_3 L_3 + H_4 L_4 = NI$$

## Απλές εκφράσεις $B(H)$ για διάφορα υλικά

---

Διάκενο  $B = \mu_0 H$

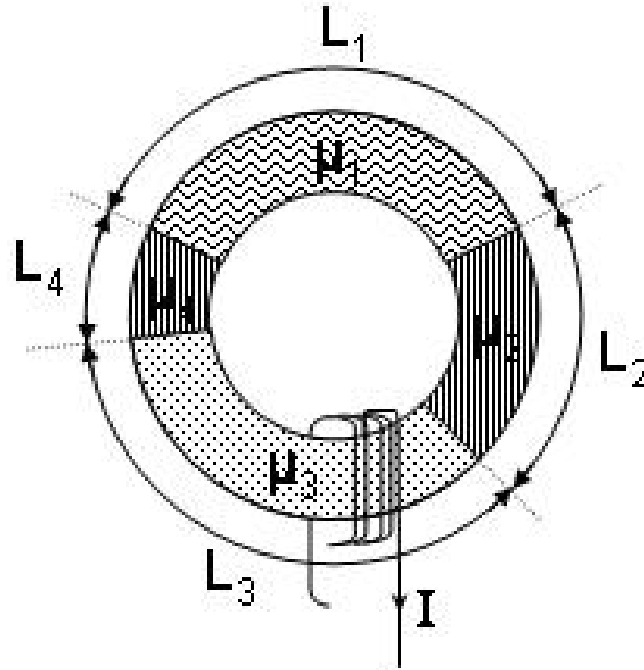
Μαλακό Μαγνητικό Μακριά από τον κόρο

$$B = \mu H = \mu_r \mu_0 H$$

Τεταρτημόριο απομαγνήτισης  
ενός σκληρού μαγνητικού

$$B(H) = \mu_0 (H + M_R) = \mu_0 (H + H_C)$$

# Το Μαγνητικό Κύκλωμα



$$\Phi = A\mu_1 H_1 = A\mu_2 H_2 = A\mu_3 H_3 = A\mu_4 H_4$$

$$H_1 L_1 + H_2 L_2 + H_3 L_3 + H_4 L_4 = NI$$

## Αναλογία Με Ηλεκτρικό Κύκλωμα

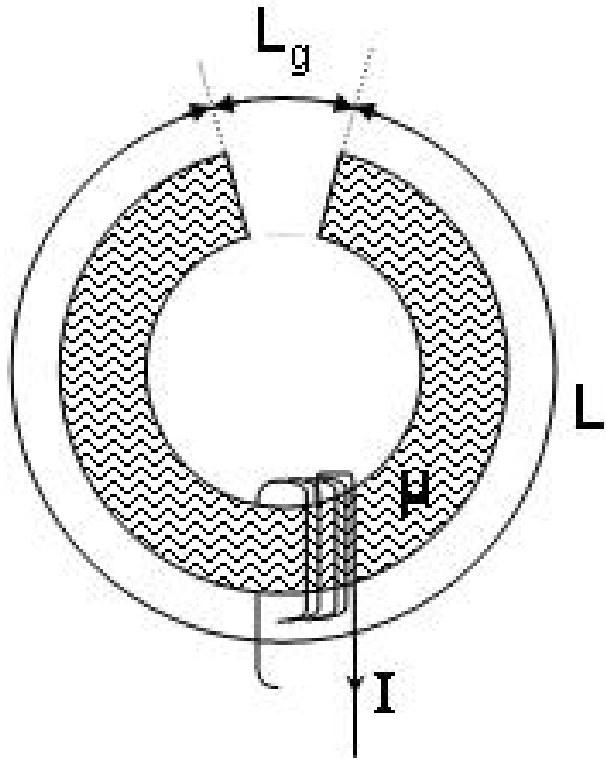
$$\Phi \left( \frac{L_1}{A\mu_1} + \frac{L_2}{A\mu_2} + \frac{L_3}{A\mu_3} + \frac{L_4}{A\mu_4} \right) = NI$$

$$NI = \Phi(R_1 + R_2 + R_3 + R_4), \quad R_i = \frac{L_i}{\mu_i A} \quad R = \frac{NI}{\Phi} = \frac{\oint \mathbf{H} d\mathbf{l}}{\iint \mathbf{B} d\mathbf{A}}$$

$$V_m = I_m(R_1 + R_2 + R_3 + R_4), \quad R_i = \frac{L_i}{\sigma_i A} \quad R = \frac{V}{I} = \frac{\oint \mathbf{E} d\mathbf{l}}{\iint \mathbf{J} d\mathbf{A}}$$



# Ηλεκτρομαγνήτης

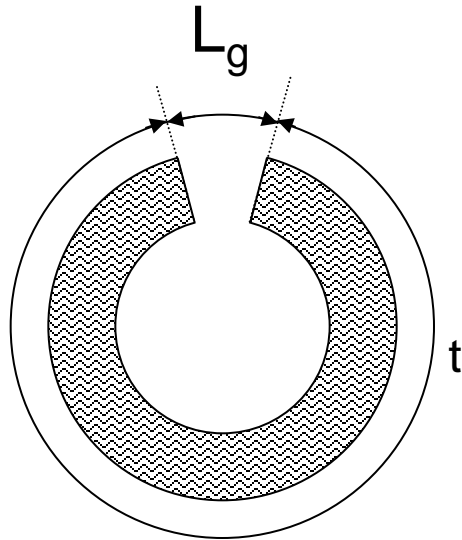


$$\left. \begin{aligned} \Phi &= A\mu_r\mu_0 H = A\mu_0 H_g \\ HL + H_g L_g &= NI \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\frac{\Phi}{\mu_0 A} \left( \frac{L}{\mu_r} + L_g \right) = NI \Rightarrow$$

$$H_g = \frac{\Phi}{\mu_0 A} = \frac{NI}{\left( L/\mu_r + L_g \right)} \approx \frac{NI}{L_g}$$

# Σκληρό μαγνητικό υλικό παράγει πεδίο σε διάκενο

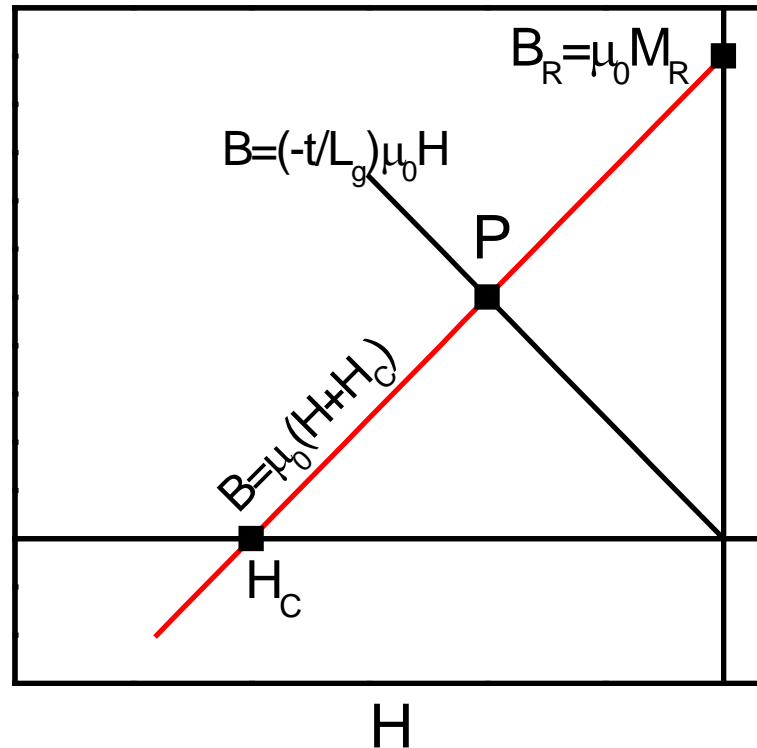


$$\left. \begin{array}{l} \Phi = B_m A = \mu_0 H_g A \\ H_m t + H_g L_g = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} B_m A = \mu_0 H_g A \\ H_m t = -H_g L_g \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$B_m H_m A t = -\mu_0 H_g^2 A L_g \Rightarrow -B_m H_m V_m = \mu_0 H_g^2 \cdot V_g$$

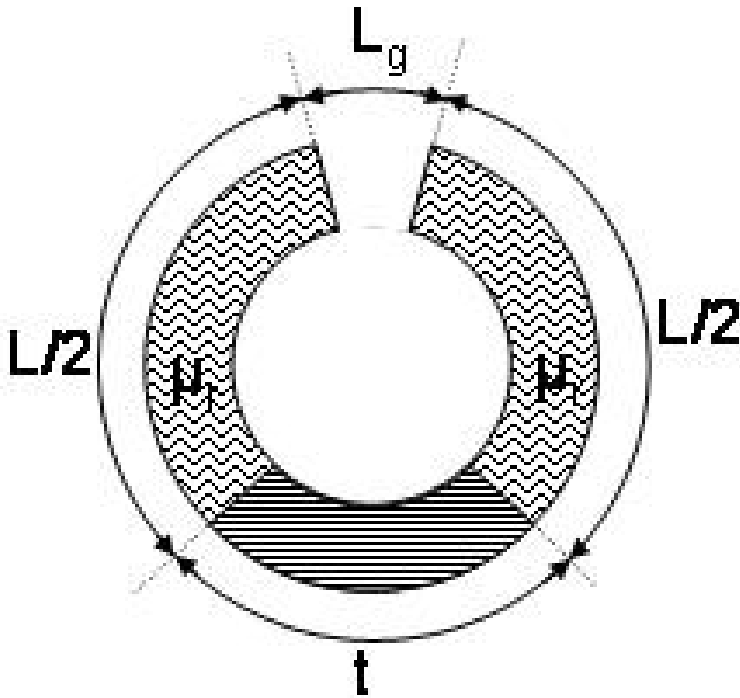
$$B_m = \frac{-t}{L_g} \mu_0 H_m$$

# Σκληρό μαγνητικό υλικό παράγει πεδίο σε διάκενο



$$H_m = -\frac{L_g}{t + L_g} H_C, \quad B_m = \frac{t}{t + L_g} \mu_0 H_C = \frac{t}{t + L_g} B_R$$

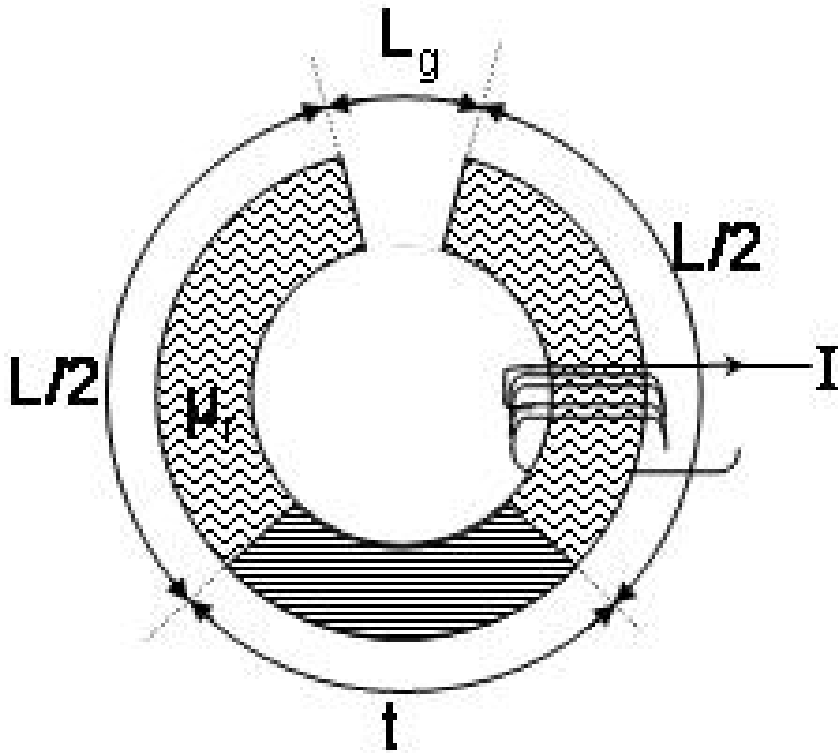
# Σκληρό μαγνητικό υλικό παράγει πεδίο σε διάκενο μέσω οπλισμών



$$\left. \begin{aligned} \Phi/A = B_m = \mu_r \mu_0 H = \mu_0 H_g \\ H_m t + H L + H_g L_g = 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$B_m = \frac{-\mu_0 H_m t}{\left(L/\mu_r + L_g\right)} \approx B_m = \frac{-t}{L_g} \mu_0 H_m$$

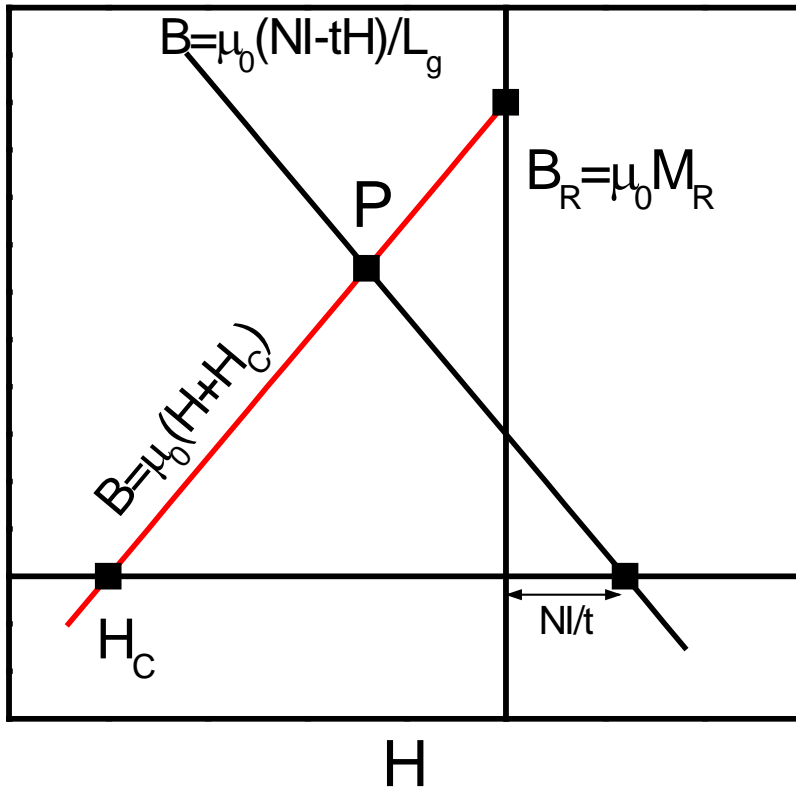
# Μικτή Διέγερση (Ηλεκτρικό Ρεύμα + Μόνιμος Μαγνήτης)



$$\left. \begin{aligned} \Phi / A = B_m = \mu_r \mu_0 H = \mu_0 H_g \\ H_m t + HL + H_g L_g = NI \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

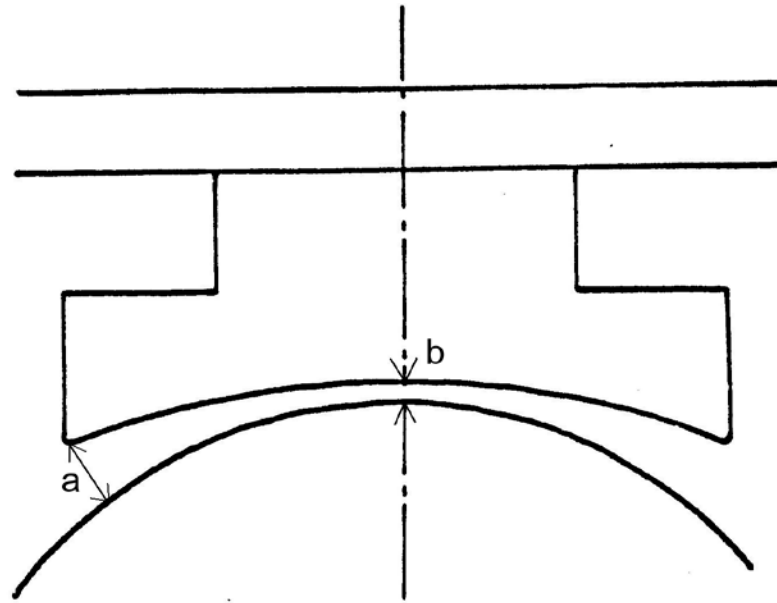
$$B_m = \mu_0 \frac{NI - H_m t}{\left( L / \mu_r + L_g \right)} \approx B_m = \mu_0 \frac{NI - tH_m}{L_g}$$

# Μικτή Διέγερση (Ηλεκτρικό Ρεύμα + Μόνιμος Μαγνήτης)



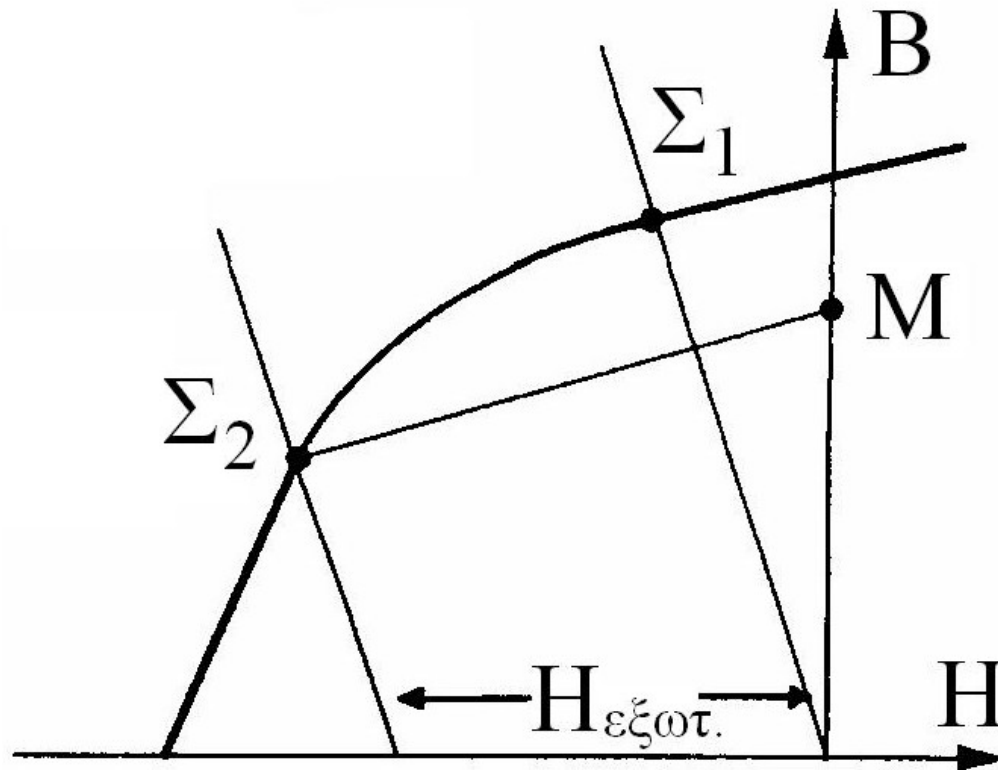
$$H_m = -\frac{NI - H_C L_g}{t + L_g}, \quad B_m = \mu_0 \frac{NI + H_C t}{t + L_g}$$

# Μετατοπισμένη Επιφάνεια Πόλων



$$B_m = \mu_0 (NI + tH_c) \frac{\ln(b/a)}{b-a}$$

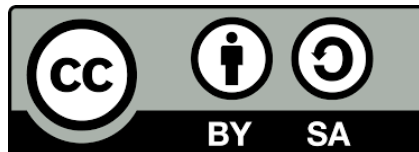
# Μεταβλητό σημείο λειτουργίας



$\Sigma_2 M \rightarrow$  διαπερατότητα ανάκρουσης (recoil permeability)



# Τέλος Ενότητας



# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη 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.



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



**Σημειώματα**

# Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.

Έχουν προηγηθεί οι κάτωθι εκδόσεις:

- Έκδοση 1.0 διαθέσιμη εδώ.

<http://ecourse.uoi.gr/course/view.php?id=1099>.

# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Διδάσκων:  
Καθηγητής Ιωάννης Παναγιωτόπουλος. «Μαγνητικά  
Υλικά Υπεραγωγοί. ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ». Έκδοση:  
1.0. Ιωάννινα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή  
διεύθυνση:

<http://ecourse.uoi.gr/course/view.php?id=1099>.

# Σημείωμα Αδειοδότησης

- Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά Δημιουργού - Παρόμοια Διανομή, Διεθνής Έκδοση 4.0 [1] ή μεταγενέστερη.



- [1] <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.