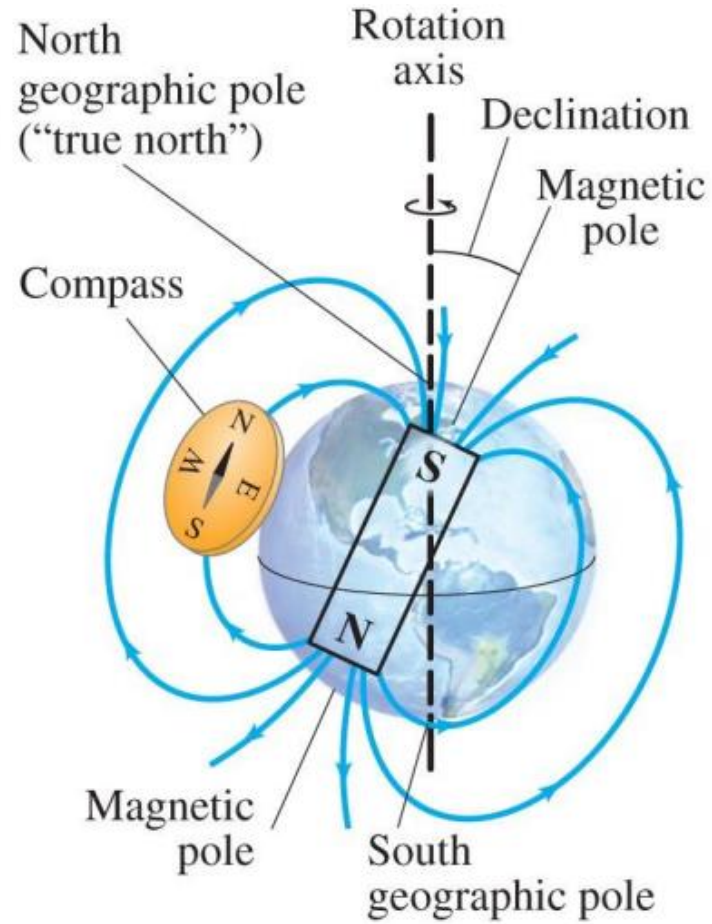


Μαγνητισμός - Ηλεκτρομαγνητισμός

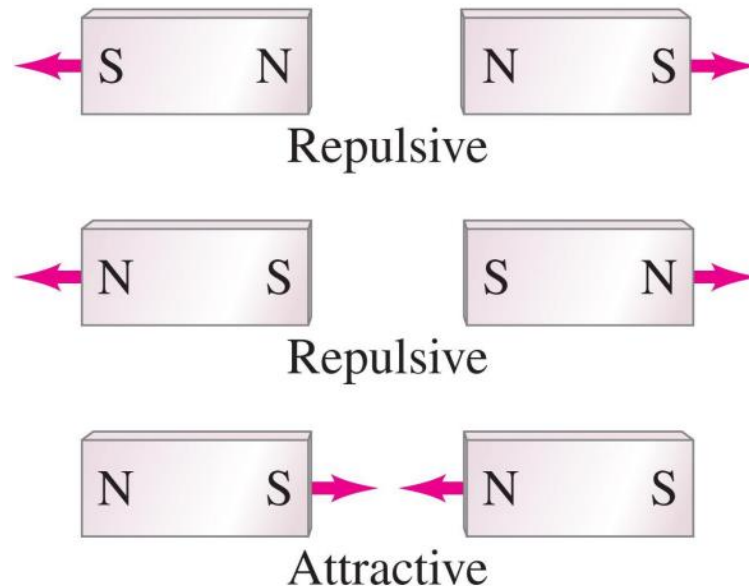


Το μαγνητικό πεδίο της Γης

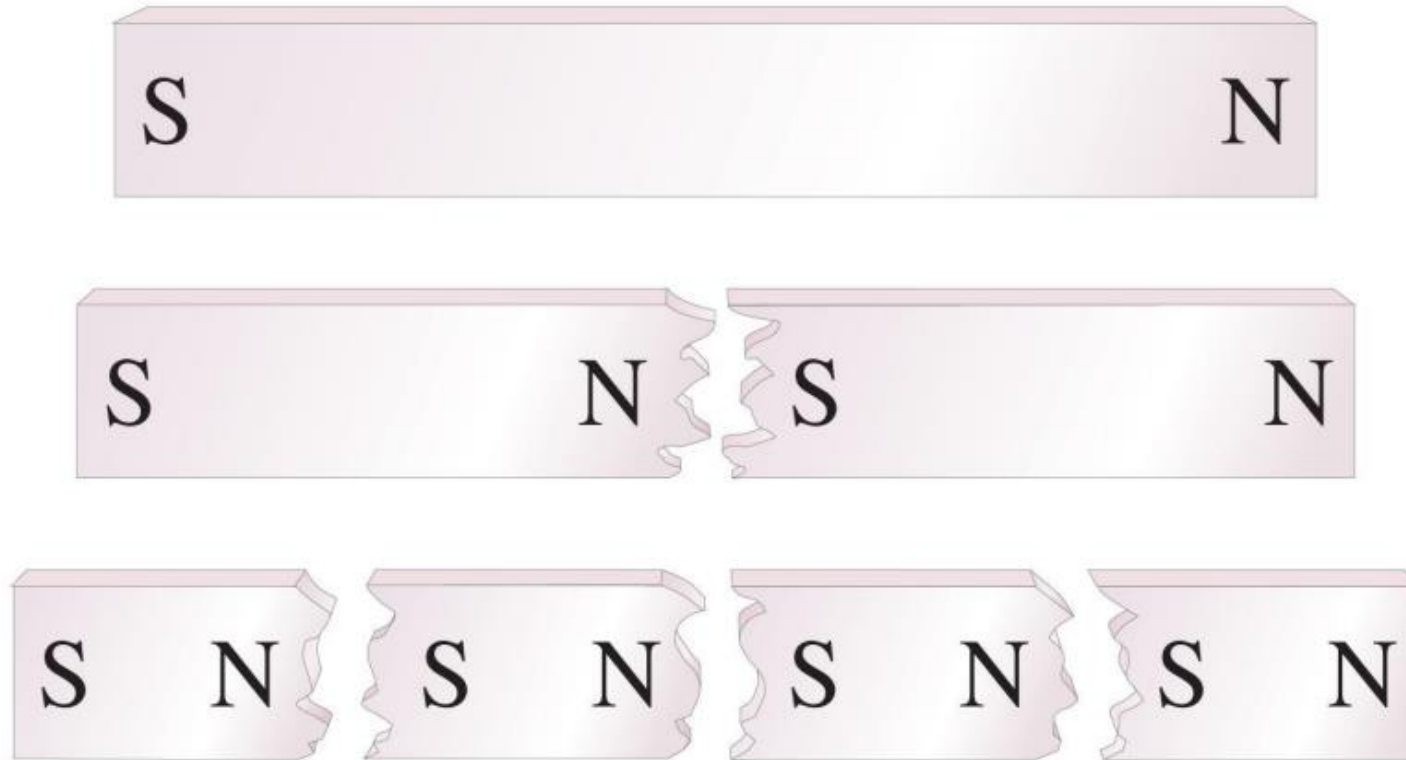


Μαγνητικό πεδίο - μαγνητικές γραμμές

- Οι μαγνήτες είναι **σώματα** που **έλκουν** ορισμένα υλικά όπως τον **σίδηρο**, το **νικέλιο** και τον **κοβάλτιο**, τα υλικά αυτά ονομάζονται **Σιδηρομαγνητικά**.
- Οι μαγνήτες έχουν πάντα **δύο πόλους τον βόρειο (North-N)** και **νότιο (South-S)**. **Ίδιοι** πόλοι (ομώνυμοι) απωθούνται, ενώ **αντίθετοι** πόλοι (ετερόνυμοι) έλκονται.



Μαγνητικό πεδίο - μαγνητικές γραμμές



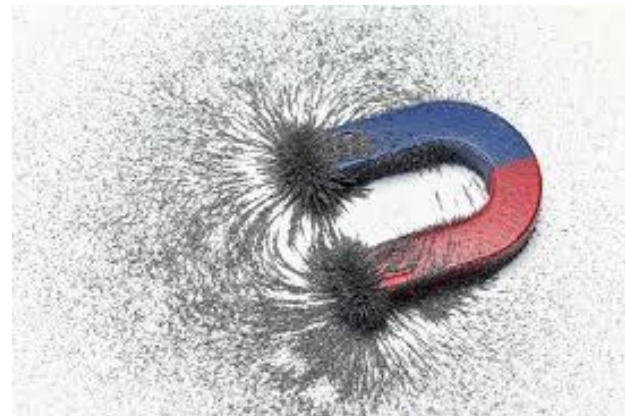
Τεμαχίζοντας ένα μαγνήτη προκύπτουν νέα μαγνητικά δίπολα.

Μαγνητικό πεδίο - μαγνητικές γραμμές

Οι μαγνήτες διακρίνονται σε φυσικούς και τεχνητούς. Οι **φυσικοί μαγνήτες** (όπως και ο μαγνήτης λίθος της αρχαιότητας) προέρχονται κυρίως από το ορυκτό που ονομάζεται μαγνητίτης και είναι ένα οξείδιο του σιδήρου.

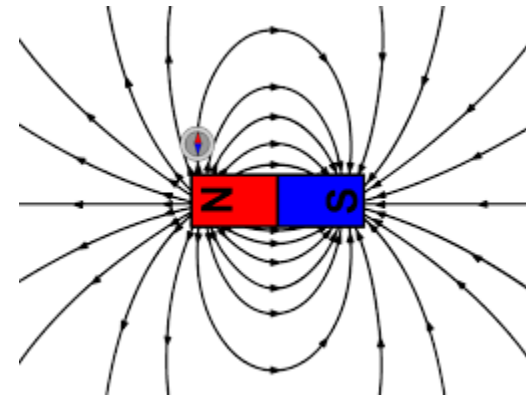
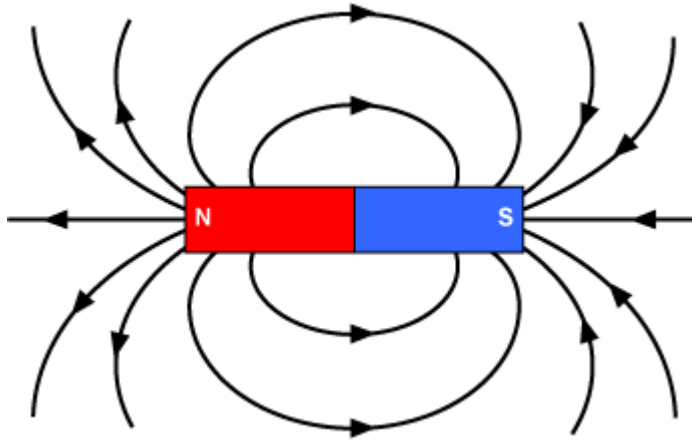
Οι **τεχνητοί μαγνήτες** είναι κράματα του σιδήρου, που μαγνητίζονται τεχνητά με τη βοήθεια ισχυρών ηλεκτρικών ρευμάτων και έχουν την ικανότητα να διατηρούν για μεγάλο χρονικό διάστημα το μαγνητισμό τους. Γενικά οι τεχνητοί μαγνήτες που κατασκευάζονται σήμερα έχουν καλύτερες μαγνητικές ιδιότητες και έχουν αντικαταστήσει στις ηλεκτροτεχνικές εφαρμογές τους φυσικούς μαγνήτες.

Η ελκτική ικανότητα ενός μαγνήτη είναι εντονότερη στις άκρες του και αυτό είναι ανεξάρτητο από το σχήμα του μαγνήτη. Αν βυθίσουμε δύο μαγνήτες, ένα ραβδόμορφο και έναν πεταλοειδή, σε ένα σωρό από ρινίσματα σιδήρου,

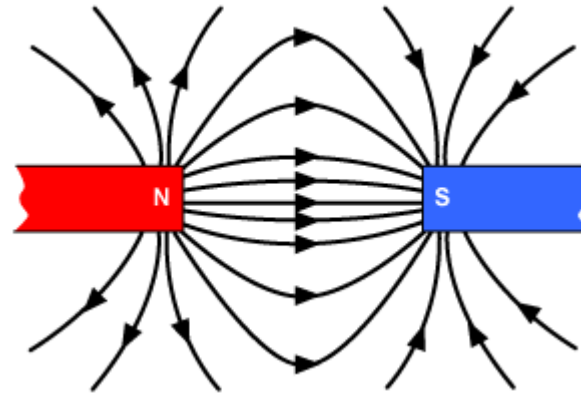
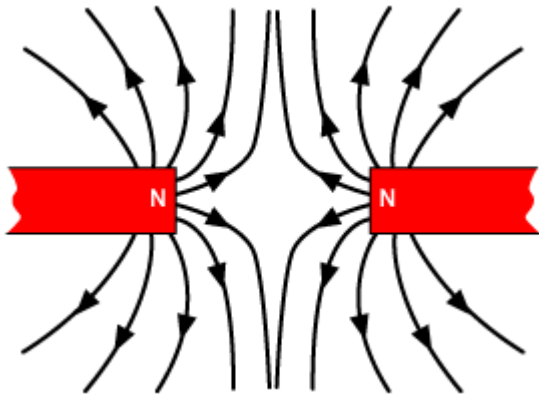


Μαγνητικό πεδίο - μαγνητικές γραμμές

- Το μαγνητικό πεδίο αναπαρίσταται από τις μαγνητικές δυναμικές γραμμές που ξεκινούν από τον βόρειο πόλο ενός μαγνήτη και καταλήγουν στον νότιο πόλο.

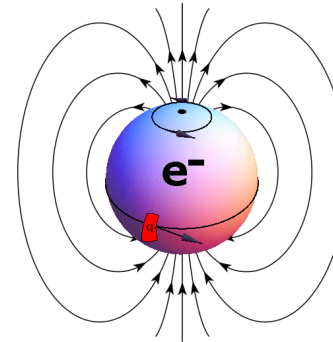


Μαγνητικό πεδίο - μαγνητικές γραμμές

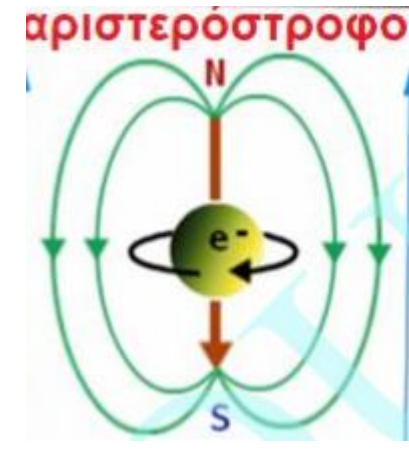
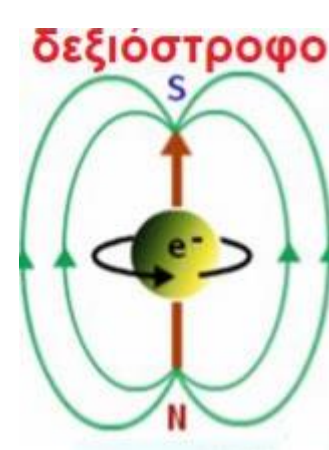


Μαγνητικό πεδίο - μαγνητικές γραμμές

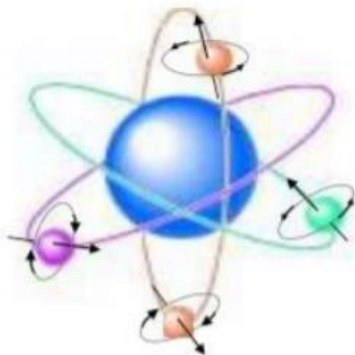
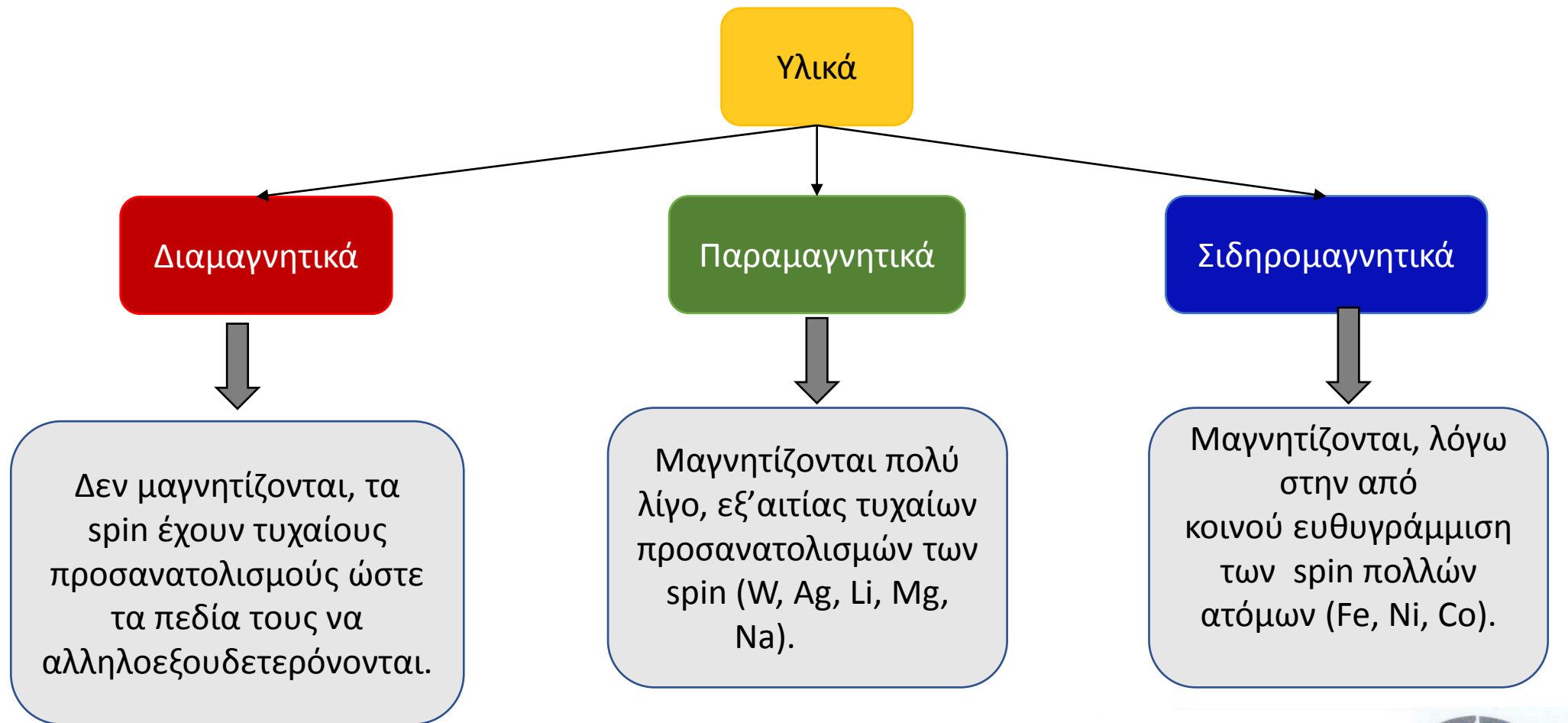
Τα ηλεκτρόνια περιστρέφονται γύρω από τον εαυτό τους (ιδιοπεριστροφή ή **Spin**), τότε κάθε φορτίο (q) εκτελεί κυκλική κίνηση, και αυτό είναι που προκαλεί το **μαγνητικό πεδίο** στο κάθε ηλεκτρόνιο συμπεριφέροντας ως μαγνητικό δίπολο.



Η κατεύθυνση του πεδίου (κόκκινο βέλος) εξαρτάται από τη φορά του spin (δεξιόστροφο, spin up ή αριστερόστροφο, spin down).



Ταξινόμηση των υλικών



τα άτομα δημιουργούν στο υλικό **περιοχές** όπου όλα τα ηλεκτρόνια περιστρέφονται προς τη ίδια κατεύθυνση και έτσι το μαγνητικό πεδίο σε κάθε περιοχή έχει τον ίδιο προσανατολισμό.

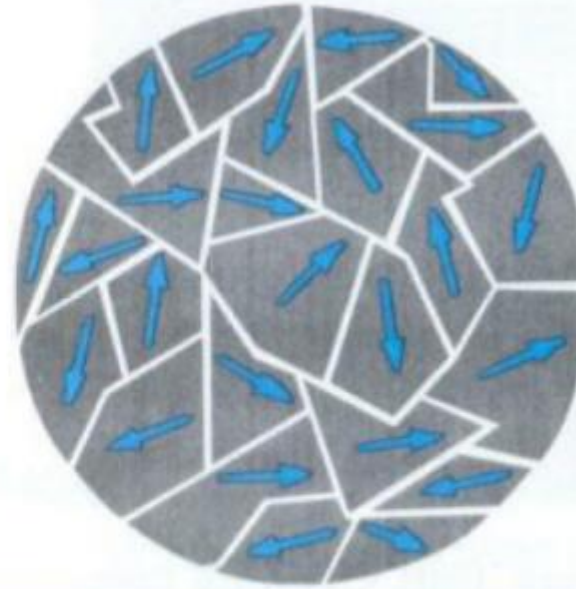


Μαγνητικές περιοχές σε αμαγνήτιστο σιδηρομαγνητικό υλικό

Στο σύνολό του όμως το υλικό είναι αμαγνήτιστο

Ταξινόμηση των υλικών

- Στα 4 σιδηρομαγνητικά υλικά (**Fe, Co, Ni και Mg**), τα άτομα δημιουργούν στο υλικό **περιοχές** όπου όλα τα ηλεκτρόνια περιστρέφονται προς τη ίδια κατεύθυνση και έτσι το μαγνητικό πεδίο σε κάθε περιοχή έχει τον ίδιο προσανατολισμό.

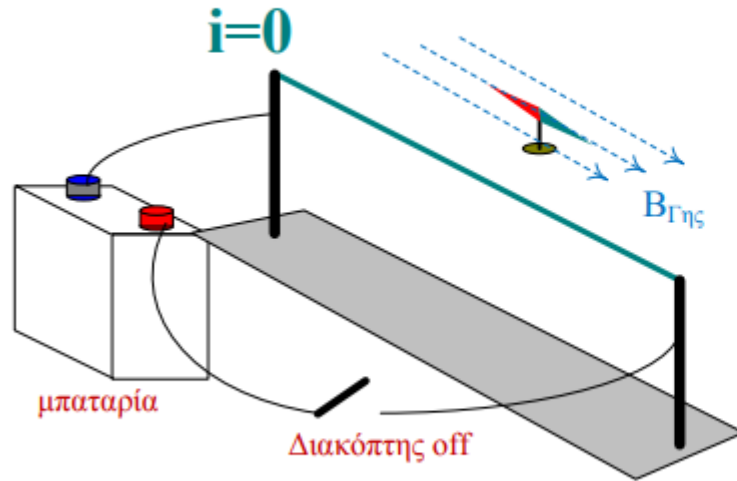


Μαγνητικές περιοχές σε
αμαγνήτιστο
σιδηρομαγνητικό υλικό

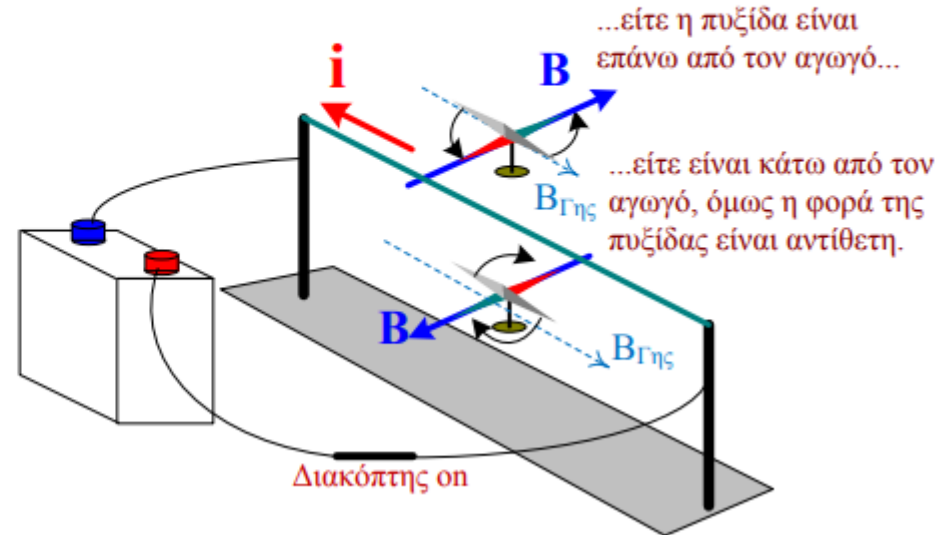
Στο σύνολό του όμως το υλικό είναι αμαγνήτιστο

Πείραμα του Oesterd/Μαγνητική επαγωγή

Αρχικά όταν ο ρευματοφόρος αγωγός δεν διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, η μαγνητική πυξίδα δείχνει τη διεύθυνση βορράς-νότος...



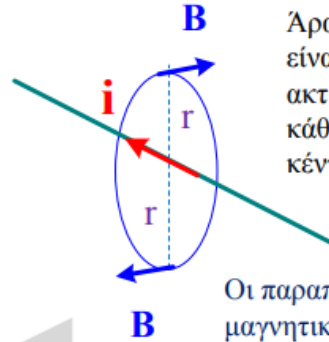
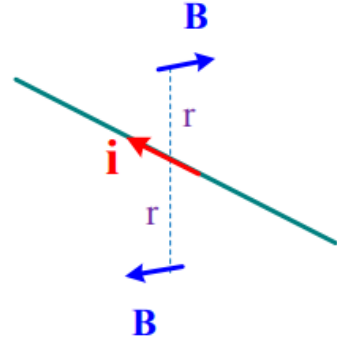
Όταν ο ρευματοφόρος αγωγός διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, η μαγνητική πυξίδα προσανατολίζεται πάντα κάθετα στον αγωγό...



Η πυκνότητα των μαγνητικών γραμμών λέγεται **Μαγνητική επαγωγή** ή πυκνότητα της μαγνητικής ροής (B) και μετριέται σε Tesla (T).

Μαγνητικό πεδίο ευθύγραμμο αγωγού

Το παραπάνω πείραμα αποδεικνύει ότι ο ρευματοφόρος αγωγός δημιουργεί στο γύρω χώρο από τον αγωγό μαγνητικό πεδίο B (όπως και οι μαγνήτες), το οποίο είναι κάθετο στη διεύθυνση του αγωγού (όπως δείχνει η πυξίδα) ως εξής :

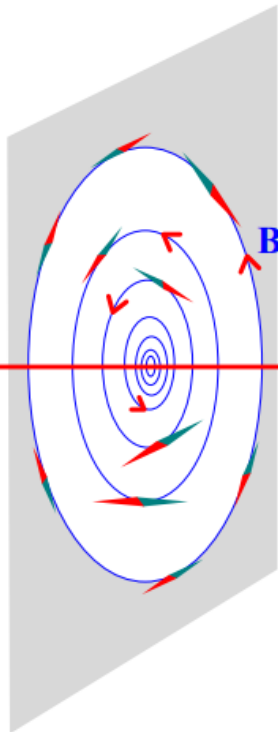


Άρα το μαγνητικό πεδίο φαίνεται να είναι εφαπτόμενο σε κύκλους ακτίνας r , όπου ο αγωγός τέμνει κάθετα το επίπεδο των κύκλων στο κέντρο των κύκλων.

Οι παραπάνω κύκλοι φανερώνουν τις μαγνητικές δυναμικές γραμμές ευθύγραμμου ρευματοφόρου αγωγού.

Ευθύγραμμος αγωγός διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα i .

Η μαγνητική πυξίδα προσανατολίζεται εφαπτομενικά σε ομόκεντρους κύκλους με κέντρο το ρευματοφόρο αγωγό.

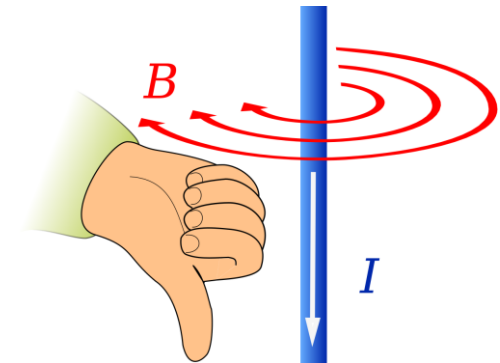
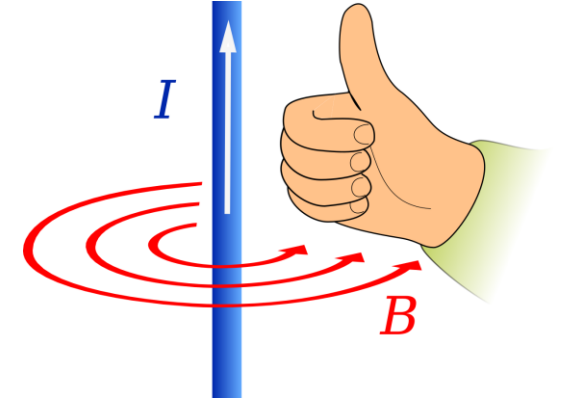


Επομένως το μαγνητικό πεδίο είναι ομόκεντροι κύκλοι όπου η πυξίδα και επομένως το μαγνητικό πεδίο είναι εφαπτομενικό στους κύκλους.

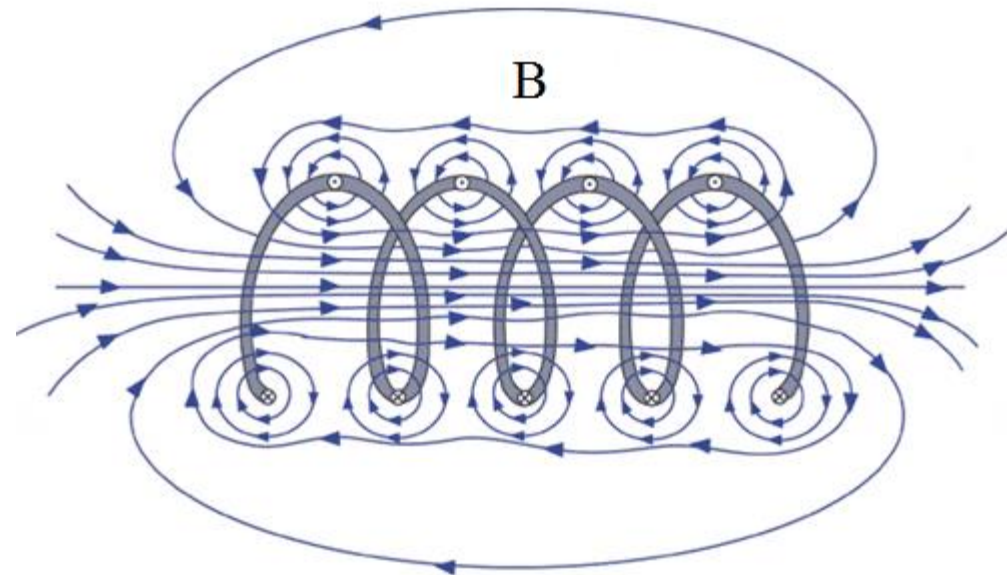
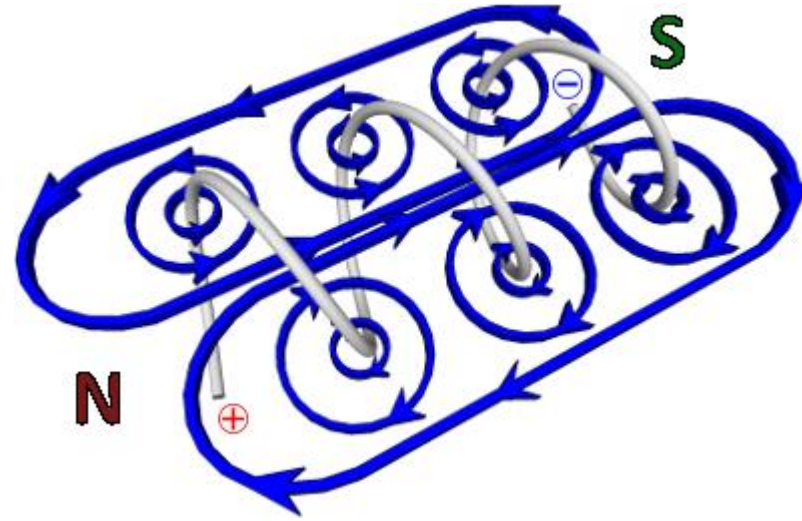
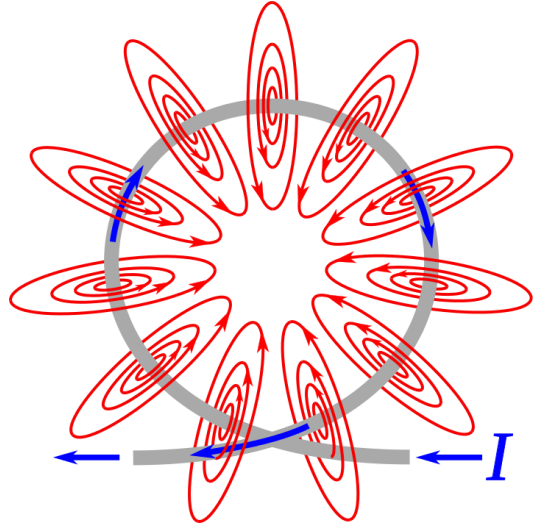


Εφαρμόζει ο κανόνας του δεξιού χεριού για να βρούμε τη φορά του μαγνητικού πεδίου.

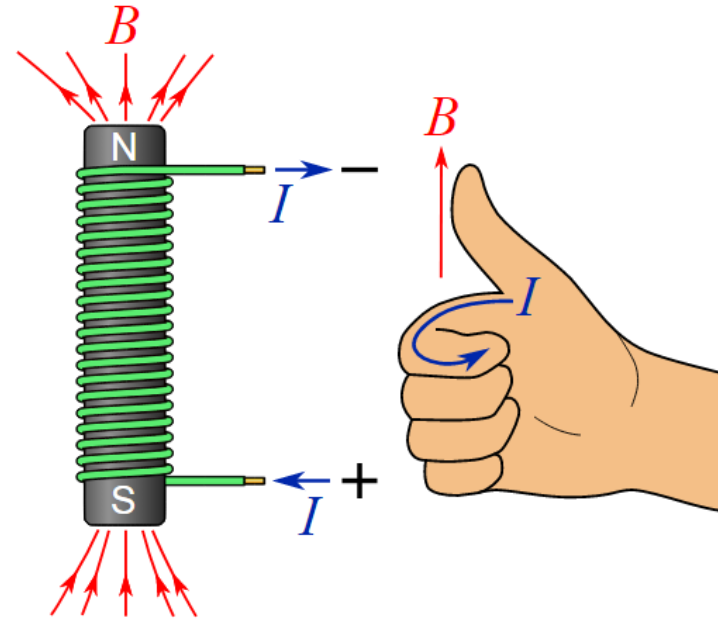
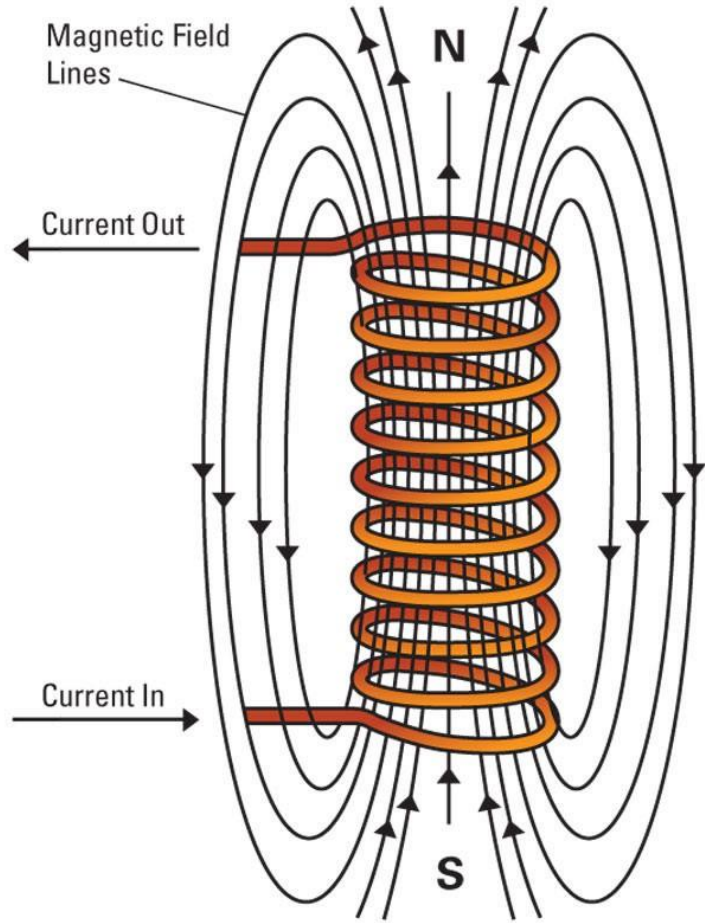
Όταν ο αντίχειρας δείχνει τη φορά του ρεύματος τα δάχτυλα θα δείχνουν τη φορά του μαγνητικού πεδίου.



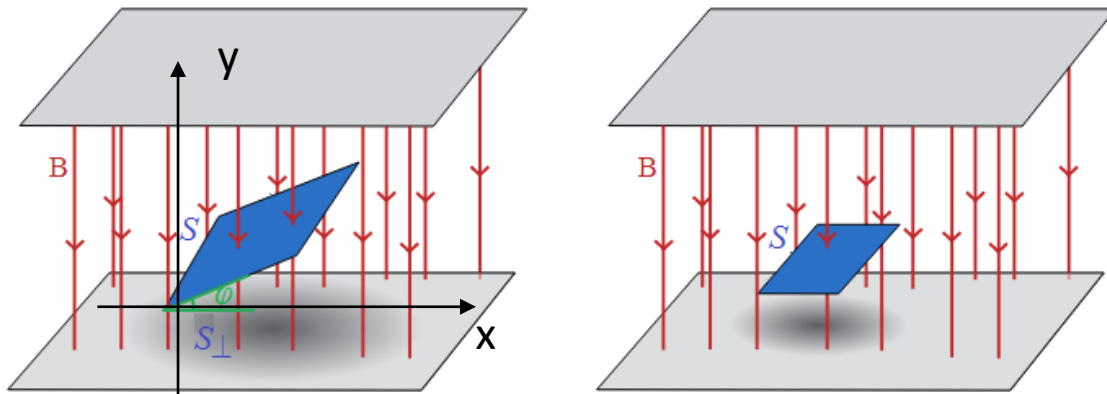
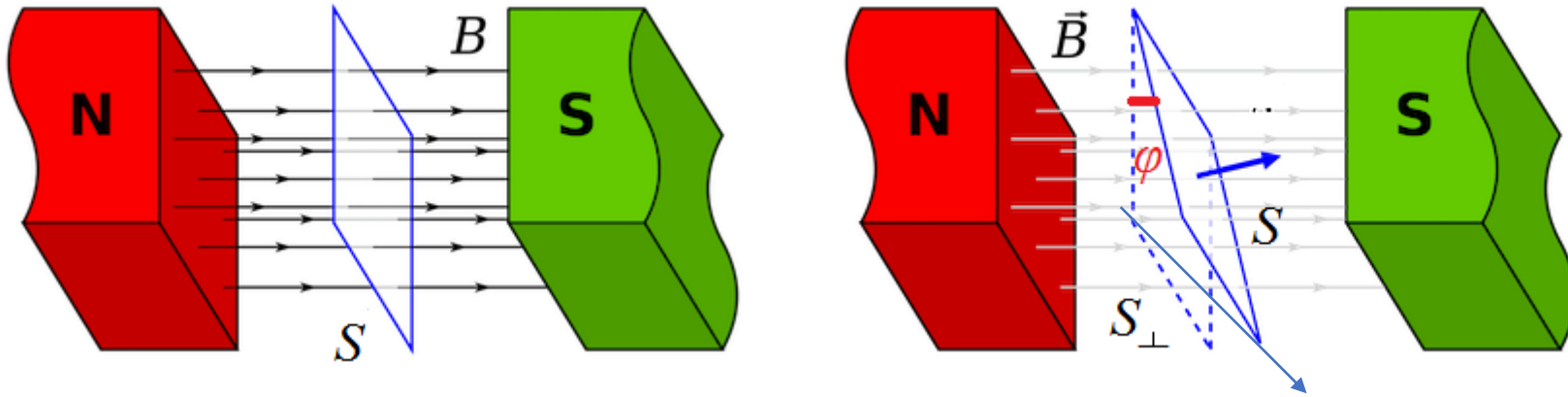
Μαγνητικό πεδίο πηνίου



Μαγνητικό πεδίο πηνίου



Μαγνητική Ροή

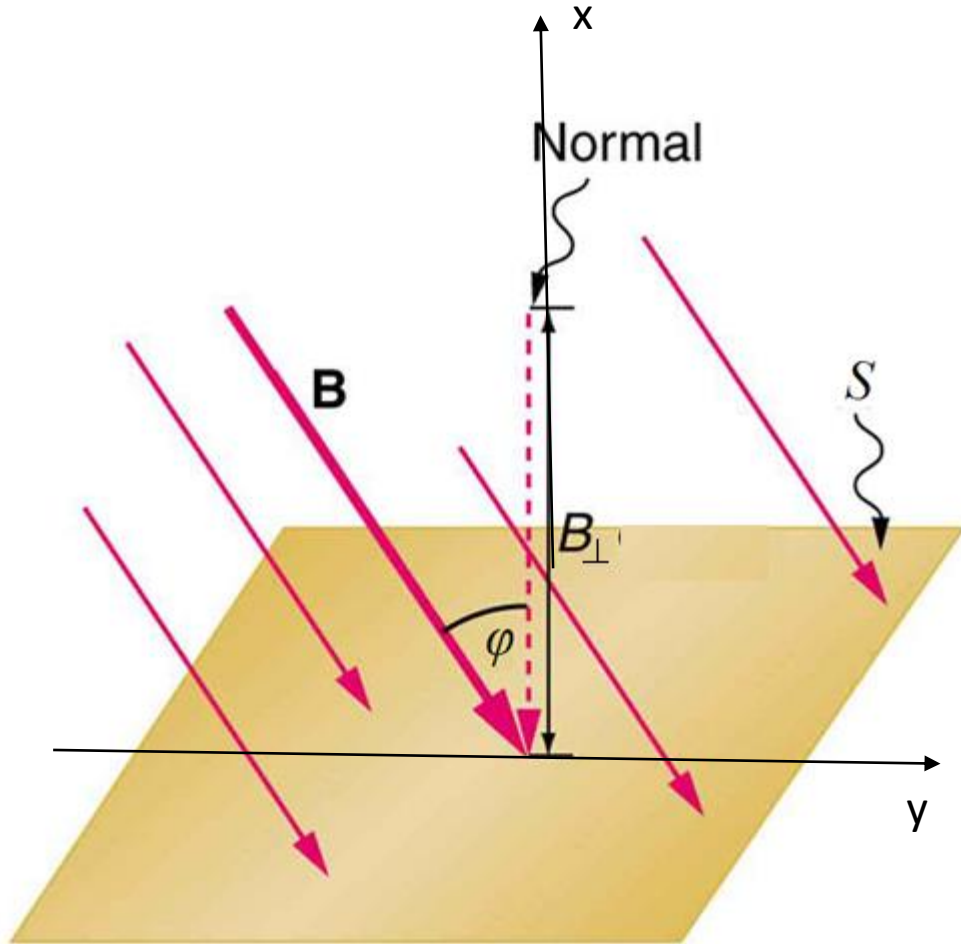


Προβολή της επιφάνειας S στον άξονα x .

$$\sigma\upsilon\nu(\varphi) = \frac{S_{\perp}}{S} \Rightarrow S_{\perp} = S\sigma\upsilon\nu(\varphi)$$

$$\left. \begin{array}{l} \Phi = BS \\ \sigma\upsilon\nu(\varphi) = \frac{S_{\perp}}{S} \Rightarrow S_{\perp} = S_{\perp}\sigma\upsilon\nu(\varphi) \end{array} \right\} \Rightarrow \Phi = BS\sigma\upsilon\nu(\varphi)$$

Μαγνητική Ροή



Προβολή του διανύσματος **B** στον άξονα *x*.

$$\sigma\upsilon\nu(\varphi) = \frac{B_{\perp}}{B} \Rightarrow B_{\perp} = B\sigma\upsilon\nu(\varphi)$$

$$\left. \begin{array}{l} \Phi = B_{\perp}S \\ \sigma\upsilon\nu(\varphi) = \frac{B_{\perp}}{B} \Rightarrow B_{\perp} = B\sigma\upsilon\nu(\varphi) \end{array} \right\} \Rightarrow \Phi = BS\sigma\upsilon\nu(\varphi)$$

Μονάδα μέτρησης:

$$Tesla * metra^2 = Weber (Wb)$$

Μαγνητεγερτική Δύναμη

Για την έκφραση της ιδιότητας του ηλεκτρικού ρεύματος να παράγει μαγνητικό πεδίο εισάγεται το μέγεθος που ονομάζεται **Μαγνητεγερτική δύναμη**, συντομογραφικά ΜΕΔ (M).

Πηνίο N σπειρών, η μαγνητεγερτική δύναμη M είναι το γινόμενο του ρεύματος I που διαρρέει το πηνίο επί τον αριθμό των σπειρών N:

$$M = NI$$

Μετριέται ως αμπερελίγματα (Α-ε).

Ένταση μαγνητικού πεδίου

Το μέγεθος που περιγράφει την επίδραση της ΜΕΔ σε κάθε σημείο του χώρου ονομάζεται **Ένταση Μαγνητικού πεδίου**, συμβολίζεται με το H και είναι διανυσματικό μέγεθος. Η διεύθυνση και η φορά της εντάσεως του μαγνητικού πεδίου δίνεται από τις μαγνητικές γραμμές. Κατά συνέπεια το διάνυσμα H έχει την ίδια διεύθυνση και φορά με τη μαγνητική επαγωγή B . Το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου σε κάθε σημείο εξαρτάται από τη ΜΕΔ που δημιουργεί το πεδίο καθώς και από τη γεωμετρία του μαγνητικού κυκλώματος

Μονάδα της εντάσεως H του μαγνητικού πεδίου είναι το Ampere/metra (A/m.)

Ένταση Μαγνητικού Πεδίου

Τα διανυσματικά μεγέθη H και B , έχουν μεταξύ τους σχέση **αιτίου** (ηλεκτρικό ρεύμα, ΜΕΔ) και **αποτελέσματος** (μαγνητική επαγωγή, πυκνότητα μαγνητικής ροής).

- ΜΕΔ (M), Ένταση μαγνητικού πεδίου (H) $\rightarrow$ αιτία
- Μαγνητική επαγωγή (B), Μαγνητική ροή (Φ) $\rightarrow$ αποτέλεσμα

$$\left. \begin{array}{l} B = \mu H \\ \mu = \mu_0 \mu_r \end{array} \right\} \Rightarrow \mathbf{B} = \mu_0 \mu_r \mathbf{H}$$

Η σταθερά μ εξαρτάται από το υλικό μέσα στο οποίο αναπτύσσεται το πεδίο και ονομάζεται Μαγνητική **διαπερατότητα** του υλικού. Οι μονάδες της μαγνητικής διαπερατότητας:

$$= \frac{B}{H} \left[\frac{\frac{Tesla}{Ampere}}{\frac{metra}{metra}} = \frac{\frac{Weber}{metra^2}}{\frac{Ampere}{metra}} = \frac{\frac{Weber}{Ampere}}{metra} = \frac{Henry}{metra} \right]$$

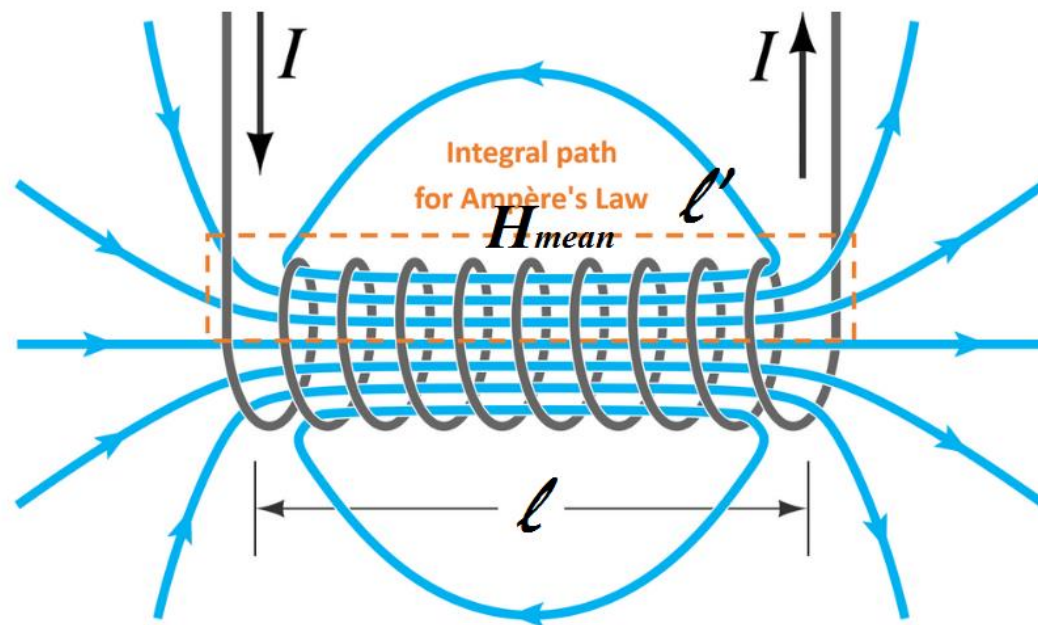
Μαγνητική Διαπερατότητα

Η μαγνητική διαπερατότητα του κενού χώρου είναι:

$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ Henry/metra}$$

Σχεδόν την ίδια μαγνητική διαπερατότητα με το κενό έχουν όλα τα διαμαγνητικά υλικά, όπως ο αέρας, το νερό κτλ. Αντίθετα τα σιδηρομαγνητικά υλικά έχουν μαγνητική διαπερατότητα που είναι από 1000 έως και 80.000 φορές μεγαλύτερη από το μ_0 . Συνεπώς ένα πηνίο θα προκαλέσει πολύ μεγαλύτερη μαγνητική ροή με σιδηρομαγνητικό υλικό, απ' ό,τι στον αέρα. Δηλαδή, τα σιδηρομαγνητικά υλικά ενισχύουν το μαγνητικό πεδίο (π.χ. ενός πηνίου).

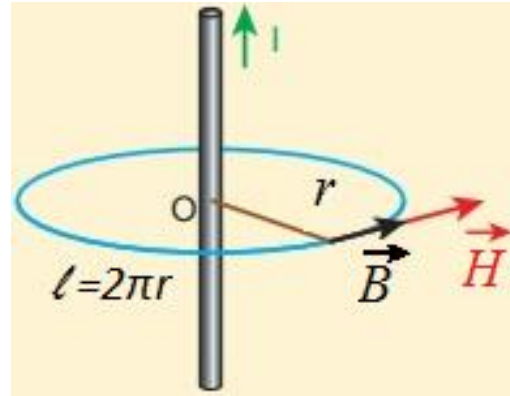
Νόμος του Ampere



□ Το γινόμενο της μέσης τιμής της H_{μ} της εντάσεως του μαγνητικού πεδίου που περικλείεται από μια κλειστή διαδρομή μήκους ℓ' ισούται με τις N διαδρομές του της εντάσεως του ρεύματος I :

$$H\ell' = NI$$

Εφαρμογή του Νόμου του Ampere σε ευθύγραμμο αγωγό

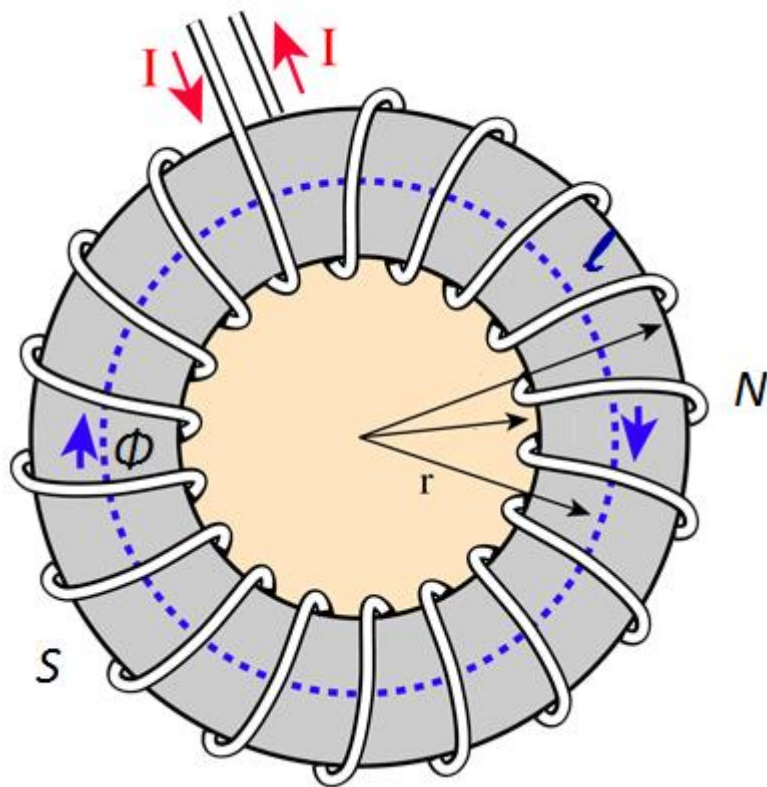


Εφαρμόζοντας τον νόμο του Ampere στο μαγνητικό πεδίο ευθύγραμμου ρευματοφόρου αγωγού απείρου μήκους, μπορεί να υπολογιστεί η ένταση του μαγνητικού πεδίου που προκαλείται σε απόσταση r από τον αγωγό:

$$\left. \begin{array}{l} Hl = NI \\ l = 2\pi r \end{array} \right\} \Rightarrow 2\pi r H = I \Rightarrow \mathbf{H} = \frac{I}{2\pi r}$$

Μαγνητικά κυκλώματα

Στις Ηλεκτρικές μηχανές και σε άλλες ηλεκτρικές διατάξεις (ηλεκτρονόμοι) η μαγνητική ροή να περνά μια κλειστή διαδρομή μέσα από σιδηρομαγνητικό υλικό αποτελώντας ένα μαγνητικό κύκλωμα.



$$Hl = NI \Rightarrow H = N \frac{I}{l}$$

$$\left. \begin{array}{l} B = \mu H \\ Hl = NI \Rightarrow H = \frac{NI}{l} \end{array} \right\} \Rightarrow B = \mu \frac{NI}{l}$$

$$\left. \begin{array}{l} \Phi = BS \\ B = \mu N \frac{I}{l} \end{array} \right\} \Rightarrow \Phi = \mu \frac{NI}{l} S = \frac{NI}{\frac{l}{\mu S}} = \frac{NI}{R_m} \Rightarrow \Phi = \frac{NI}{R_m} \quad \text{Τύπος του Hopkinson}$$

$$R_m = \frac{l}{\mu S}$$

Μαγνητική Αντίσταση

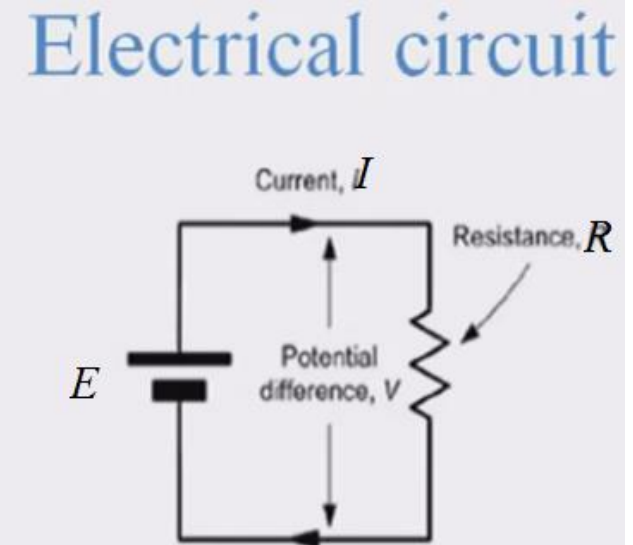
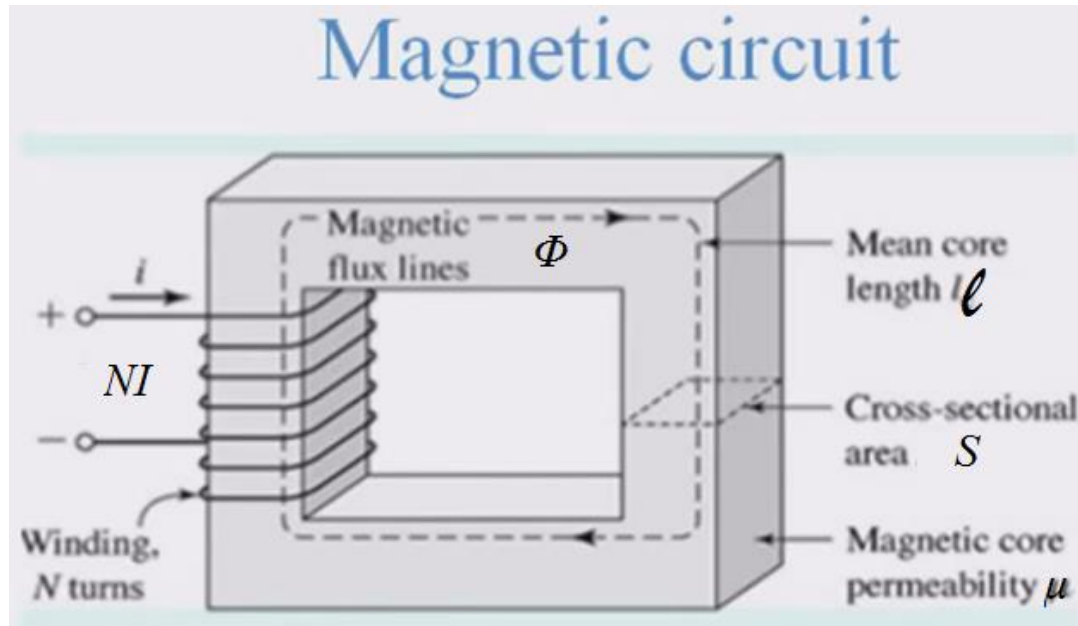
□ Η μαγνητική αντίσταση εκφράζει τη δυσκολία να αναπτυχθεί μαγνητική ροή σε ένα μαγνητικό κύκλωμα.

$$R_m = \left[\frac{\text{metra}}{\frac{\text{Henry}}{\text{metra}} \text{metra}^2} = \frac{1}{\text{Hery}} \right]$$

Η μαγνητική αντίσταση δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται (όπως και η μαγνητική διαπερατότητα) με την αύξηση της μαγνητικής ροής λόγω της εμφάνισης του φαινομένου του κορεσμού.

Αντιστοίχιση Μαγνητικού Κυκλώματος με Ηλεκτρικό Κύκλωμα

Μαγνητικό Κύκλωμα	Ηλεκτρικό Κύκλωμα
Μαγνητεγερτική Δύναμη (M)	Ηλεκτρεγερτική Δύναμη (E) ή Τάση (U)
Μαγνητική ροή (Φ)	Ηλεκτρικό Ρεύμα (I)
Μαγνητική αντίσταση ($R_m = \ell / \mu S$)	Αντίσταση ($R = \rho \ell / S$)
Νόμος του Hopkinson: $\Phi = NI / R_m$	Νόμος του Ohm: $I = U / R$
Πηγή M (π.χ. ρευματοφόρο πηνίο)	Πηγή τάσης (μπαταρία)
Μαγνητική διαπερατότητα μ	Ειδική αγωγιμότητα g

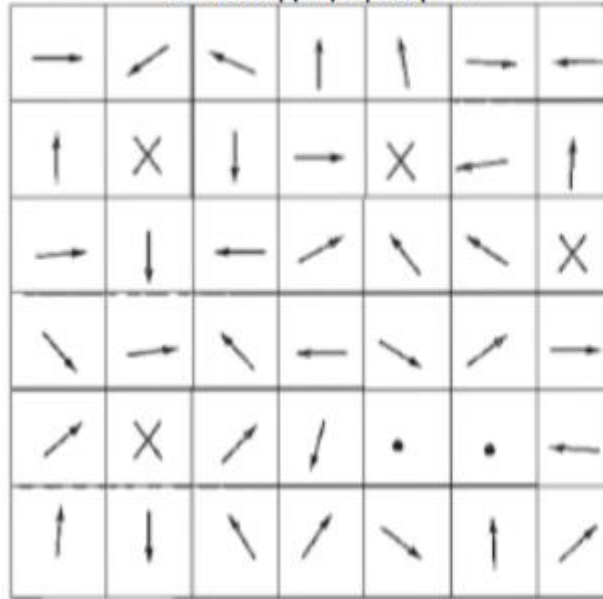


Μαγνήτιση

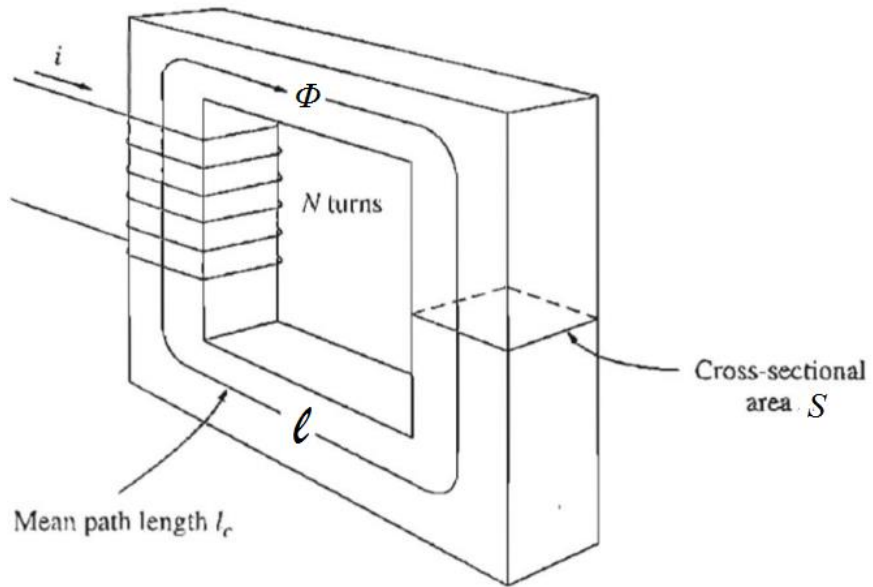
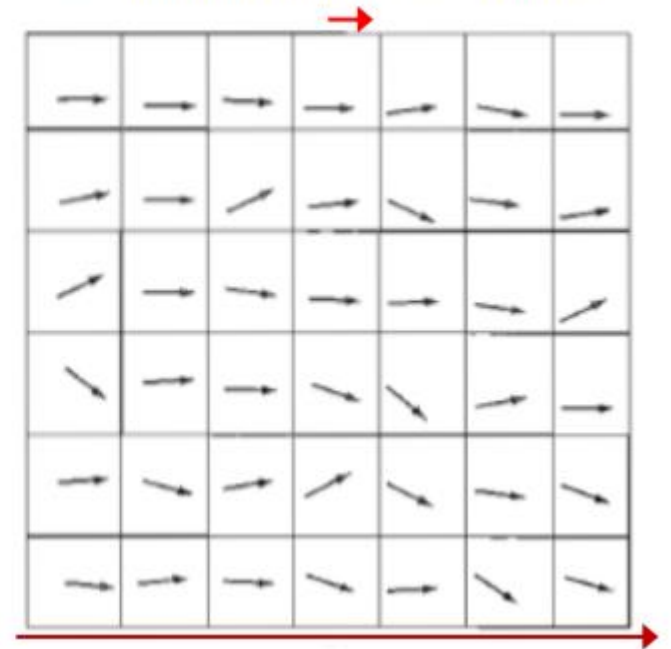
Σιδηρομαγνητικά υλικά

Τυχαία προσανατολισμένες Μαγνητικές
περιοχές (magnetic domains).

Συνολική μαγνήτιση = 0

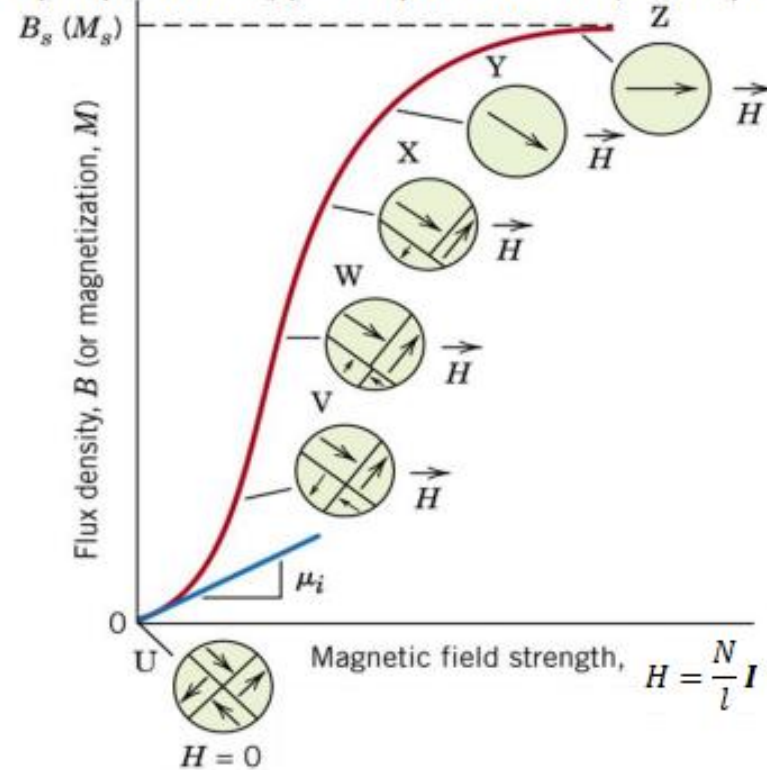


Εξωτερικό μαγνητικό πεδίο: $B_0 = \mu_0 H$



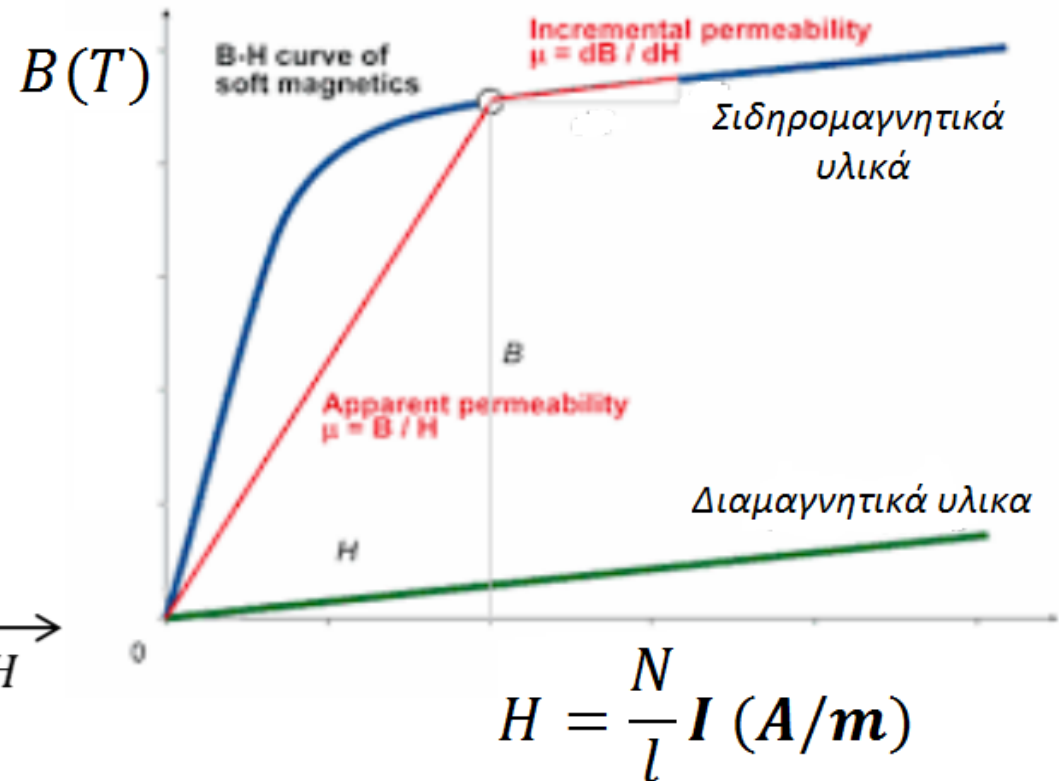
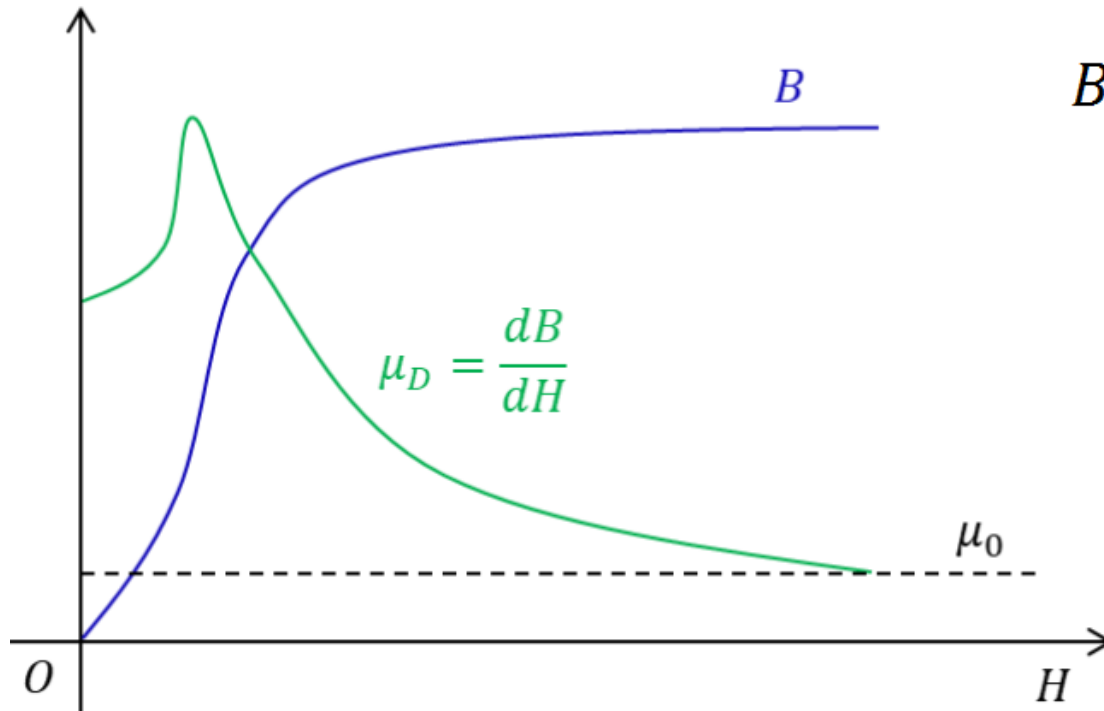
Μαγνήτιση

Όταν προσανατολιστούν όλες οι μαγνητικές περιοχές με το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο η μαγνήτιση δεν μπορεί να αυξηθεί παραπάνω και φτάνουμε στον κορεσμό (saturation).

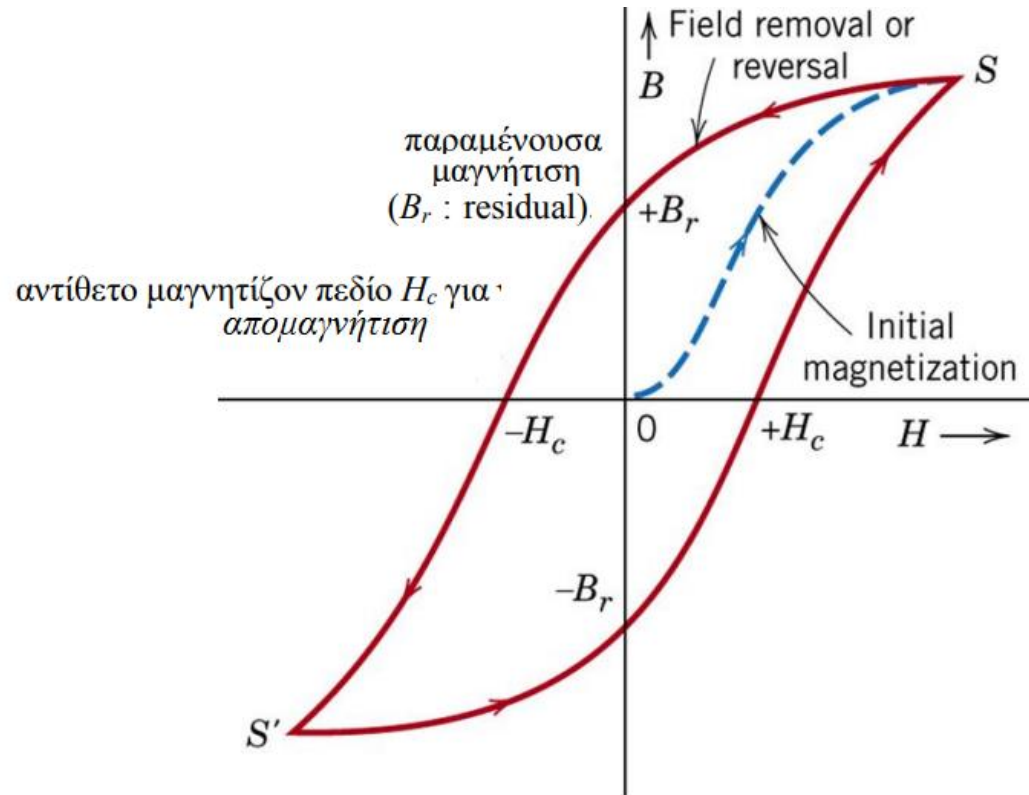


Μαγνήτιση

Επειδή σε κάθε σημείο $\Delta B = \mu \Delta H$
Η κλίση είναι η διαφορική μαγνητική διαπερατότητα.
Δεν είναι σταθερή για τα σιδηρομαγνητικά υλικά



Υστέρηση (Hysteresis)



Ο βρόχος υστερήσης είναι χαρακτηριστικό του σιδηρομαγνητικού υλικού και το εμβαδόν του είναι ανάλογο των απωλειών υστερήσεως, δηλαδή της ενέργειας που χάνεται υπο τη μορφή θερμότητας, όταν η ένταση του μαγνητικού πεδίου κάνει ένα πλήρη κύκλο.

Βρόγχος Υστέρησης (Hysteresis Loop)

Τα σιδηρομαγνητικά υλικά ανάλογα με τη μορφή του βρόχου υστέρησης είναι χωρίζονται σε **μαλακά** ή προσωρινά μαγνητικά υλικά και **σκληρά** ή μόνιμα μαγνητικά υλικά.

