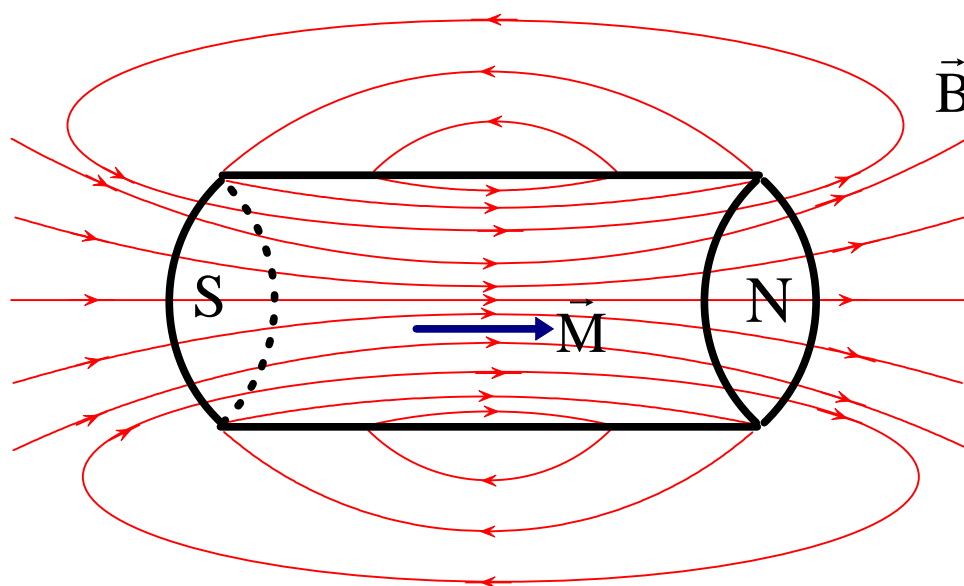


Το μαγνητικό πεδίο ενός μόνιμου μαγνήτη

Σε ένα μόνιμο μαγνήτη η ύπαρξη μαγνητικού πεδίου οφείλεται προφανώς σε κάποια ηλεκτρικά ρεύματα, με την διαφορά όμως ότι τα ρεύματα αυτά δεν έχουν την συνήθη μορφή των γνωστών ρευμάτων αγωγιμότητας που ρέουν μέσα σε αγωγούς, μετρώνται με αμπερόμετρα κλπ. Τα ρεύματα αγωγιμότητας ονομάζονται και *ελεύθερα ρεύματα*.

Αντίθετα τα ρεύματα που δημιουργούν το μαγνητικό πεδίο ενός μόνιμου μαγνήτη είναι ρεύματα που ρέουν σε κλειστούς κυκλικούς βρόχους, σε επίπεδο ατόμου ή μορίου, και σχετίζονται με τις μαγνητικές ροπές. Στα ρεύματα αυτά οφείλεται το γνωστό φυσικό μέγεθος **Μαγνήτιση** \vec{M} . Ονομάζουμε τα ρεύματα αυτά ως *δέσμια ρεύματα*.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένας μόνιμος μαγνήτης σε σχήμα κυλινδρικής ράβδου. Έχουν σημειωθεί οι δύο μαγνητικοί πόλοι N (βόρειος) και S (νότιος) και επίσης έχει σημειωθεί η φορά του μεγέθους \vec{M} στο εσωτερικό του μαγνήτη.



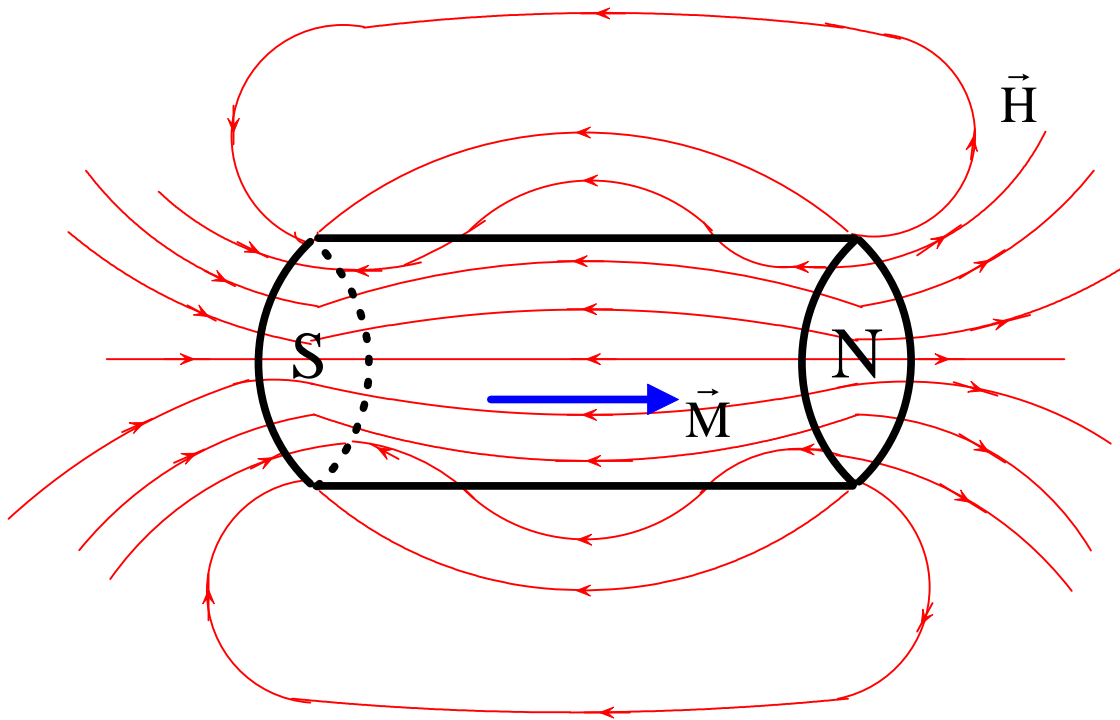
Στο σχήμα έχουν σχεδιαστεί οι δυναμικές γραμμές της μαγνητικής επαγωγής \vec{B} , η μορφή αυτή των δυναμικών γραμμών του \vec{B} , έχει προκύψει από **πειραματικές μετρήσεις**.

Παρατηρήστε ότι το μέγεθος \vec{B} είναι συνεχές στα δύο άκρα της ράβδου, ενώ παρουσιάζει μια ασυνέχεια στην κατεύθυνσή του στην παράπλευρη επιφάνεια της ράβδου.

Σε κάθε περίπτωση, σε χώρους στο εσωτερικό του μαγνήτη ή στον αέρα, θα ισχύει ο νόμος του Gauss

$$\oiint_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$$

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται, για τον ίδιο μαγνήτη, η μορφή των δυναμικών γραμμών του μεγέθους \vec{H} (ένταση του μαγνητικού πεδίου)



Σημειώνουμε τα ακόλουθα:

- Οι δυναμικές γραμμές των \vec{H} και \vec{B} , στο εξωτερικό του μαγνήτη (αέρας) είναι σχεδόν ίδιες και όσο απομακρυνόμαστε από τον μαγνήτη τόσο ταυτίζονται.
- Στο εσωτερικό του μαγνήτη υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των δυναμικών γραμμών.
- Το \vec{H} παρουσιάζει **ασυνέχεια** στα δύο άκρα (αλλάζει κατεύθυνση)

Θα δώσουμε παρακάτω μια εξήγηση για τα φαινόμενα αυτά.

Στον αέρα ισχύει η γνωστή σχέση $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$, δηλαδή τα δύο πεδία είναι ευθέως ανάλογα.

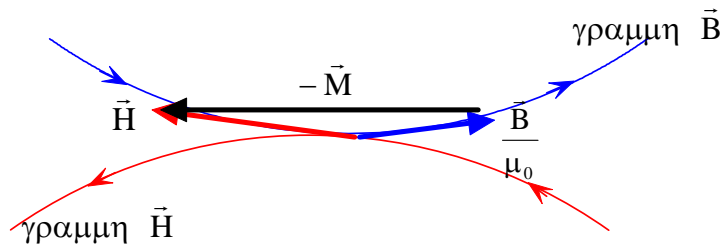
Στο εσωτερικό του μαγνήτη όμως, αναπτύσσεται το μέγεθος \vec{M} και θα ισχύει:

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{M}$$

ή

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$$

όπως φαίνεται και από την μορφή των δυναμικών γραμμών στο εσωτερικό, τα δύο πεδία, \vec{H} και \vec{B} , έχουν σχεδόν αντίθετες κατευθύνσεις. Το παρακάτω σχήμα βοηθά στην κατανόηση:



$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$$

Εδώ χρειάζεται προσοχή στο εξής θέμα: Τα διανύσματα \vec{H} και \vec{B} είναι σχεδόν αντίθετα, αλλά αυτό δεν σημαίνει ότι το υλικό είναι διαμαγνητικό γιατί το \vec{H} δεν προέρχεται από εξωτερικό αίτιο.

Ας εξετάσουμε τον νόμο του Ampere

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \iint_S \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

Ο νόμος αυτός αναφέρεται μόνον στα **ελεύθερα ρεύματα** και επομένως μια πιο σωστή γραφή του θα ήταν:

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \iint_S \vec{J}_{\text{ελευθ}} \cdot d\vec{s}$$

Στην περίπτωση του μαγνήτη προφανώς **δεν υπάρχουν** ελεύθερα ρεύματα, άρα θα πρέπει να ισχύει παντού:

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = 0$$

Παρατηρώντας την μορφή των δυναμικών γραμμών του \vec{H} , μέσα και έξω από τον μαγνήτη, μπορούμε, πρακτικά, να διαπιστώσουμε ότι η σχέση αυτή επαληθεύεται.

Σημειώνουμε επίσης τα ακόλουθα:

- ενώ ισχύει πάντοτε $\oiint_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$ η αντίστοιχη σχέση $\oiint_S \vec{H} \cdot d\vec{s}$ δεν δίνει πάντοτε

αποτέλεσμα ίσο με το μηδέν (παρατηρήστε π.χ. τα άκρα του μαγνήτη).

- η σχέση $\oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell}$ μπορεί να δώσει αποτέλεσμα διάφορο του μηδενός σε κλειστούς

βρόχους που δεν περικλείουν ελεύθερα ρεύματα. Η εξήγηση γι' αυτό είναι ότι ενώ το \vec{H} σχετίζεται μόνον με ελεύθερα ρεύματα το \vec{B} σχετίζεται με ελεύθερα και με δέσμια ρεύματα.