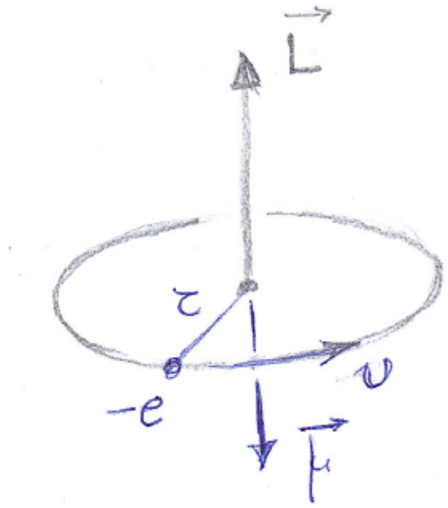
Οι μαγνητικές ιδιότητες της ύλης

Οι μαγνητικές ιδιότητες των υλικών οφείλονται στις μαγνητικές ιδιότητες των ατόμων, οι οποίες προέρχονται από την κίνηση των ηλεκτρονίων γύρω από τους πυρήνες.

Η μαγνητική ροπή των ατόμων

Θεωρούμε την κυκλική κίνηση ενός ηλεκτρονίου γύρω από τον πυρήνα ενός ατόμου. Η στροφορμή του ηλεκτρονίου είναι $L = m\upsilon r$



Η κυκλική κίνηση του ηλεκτρονίου δημιουργεί ηλεκτρικό ρεύμα έντασης

$$I = \frac{e}{T} = \frac{e\upsilon}{\upsilon T} = \frac{e\upsilon}{2\pi r}$$

Η μαγνητική ροπή αυτού του κυκλικού ρεύματος είναι

$$\mu = IA = I\pi r^2 \quad \Rightarrow \quad \mu = \frac{e\upsilon}{2\pi r}\pi r^2 = \frac{1}{2}e\upsilon r$$

Η φορά της μ είναι αντίθετη της στροφορμής, όπως φαίνεται στο Σχήμα. Ο λόγος της μαγνητικής ροπής ως προς την στροφορμή είναι

$$\frac{\mu}{L} = \frac{1}{2}\frac{e\upsilon r}{m\upsilon r} = \frac{1}{2}\frac{e}{m} \quad \Rightarrow \quad \mu = \left(\frac{e}{2m}\right)L$$

Στην κβαντομηχανική,

$$L = n\frac{h}{2\pi} = n\hbar, \quad n = 0,1,2,\ldots$$

Άρα,

$$L = 0, \hbar, 2\hbar, 3\hbar, \ldots$$

Η μικρότερη μη-μηδενική τιμή της μαγνητικής ροπής είναι $\frac{e\hbar}{2m}$ και ονομάζεται μαγνητόνη του Bohr.

Μαγνητικές ιδιότητες της ύλης

Τα υλικά από άποψη των μαγνητικών ιδιοτήτων τους διακρίνονται σε παραμαγνητικά, σιδηρομαγνητικά και διαμαγνητικά.

Υλικά	**Ατομική μαγνητική ροπή**	**Ιδιότητες**
Παραμαγνητικά	$\mu \neq 0$	Κατά την διάρκεια εφαρμογής εξωτερικού μαγνητικού πεδίου, οι ατομικές μαγνητικές ροπές ευθυγραμμίζονται,
Σιδηρομαγνητικά	$\mu \neq 0$	Κατά την διάρκεια εφαρμογής εξωτερικού μαγνητικού πεδίου, οι ατομικές μαγνητικές ροπές ευθυγραμμίζονται, Η ευθυγράμμιση παραμένει και μετά την άρση του πεδίου. Παραδείγματα: Fe, Co, Ni (ισχυρά σιδηρομαγνητικά υλικά)
Διαμαγνητικά	$\mu = 0$	Εφαρμόζοντας εξωτερικό μαγνητικό πεδίο, επάγεται μαγνητική ροπή σε αντίθετη κατεύθυνση από το πεδίο. Παραδείγματα: Bi, Ag

Τα τρία μαγνητικά διανύσματα: Μαγνήτιση, μαγνητίζον πεδίο και μαγνητική επαγωγή

Η *μαγνήτιση* ενός υλικού ορίζεται ως η μαγνητική του ροπή $d\vec{\mu}^*$ ανά μονάδα όγκου dV:

$$\vec{M} = \frac{d\vec{\mu}^*}{dV}$$

Έστω (εξωτερικό) πεδίο με μαγνητική επαγωγή $\vec{B}_0$ στο κενό. Εάν εισάγουμε κάποιο μαγνητικό υλικό, η μαγνητική επαγωγή στο εσωτεριό του γίνεται ίση με $\vec{B}$ και ισχύει ότι

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}_m$$

όπου $\vec{B}_m$ είναι το πεδίο που δημιουργείται από το μαγνητικό υλικό.

Ισχύει ότι

$$\vec{B}_m = \mu_0 \vec{M}$$

Άρα

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}_m = \vec{B}_0 + \mu_0 \vec{M} = \mu_0 \left(\frac{\vec{B}_0}{\mu_0} + \vec{M} \right)$$

Ορίζουμε την ποσότητα $\frac{\vec{B}_0}{\mu_0} \equiv \vec{H}$. Το $\vec{H}$ ονομάζεται *μαγνητίζον πεδίο*.

Έτσι, προκύπτει η σχέση

$$\vec{B} = \mu_0 \left(\vec{H} + \vec{M} \right)$$

η οποία συνδέει την μαγνητική επαγωγή στο εσωτερικό του υλικού $\vec{B}$ με την ένταση του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου $\vec{H}$ και την μαγνήτιση $\vec{M}$.

Σε παραμαγνητικά και διαμαγνητικά υλικά ισχύει ότι

$$\vec{M} = \chi \vec{H}$$

όπου ο συντελεστής χ ονομάζεται μαγνητική επιδεκτικότητα του υλικού.

- Σε παραμεγνητικά υλικά $\chi > 0$, οπότε $\vec{M} \uparrow\uparrow \vec{H}$.
- Σε διαμαγνητικά υλικά $\chi < 0$ οπότε $\vec{M} \uparrow\downarrow \vec{H}$.
- Η γραμμική σχέση $\vec{M} = \chi \vec{H}$ δεν ισχύει σε σιδηρομαγνητικά υλικά.

Με την εισαγωγή της μαγνητικής επιδεκτικότητας η σχέση για το $\vec{B}$ γράφεται

$$\vec{B} = \mu_0 \left(\vec{H} + \vec{M} \right) = \mu_0 \left(\vec{H} + \chi \vec{H} \right) = \mu_0 (1+\chi) \vec{H} \qquad \Rightarrow \qquad \vec{B} = k_m \vec{H}$$

Η σταθερά

$$k_m = \mu_0 (1+\chi)$$

ονομάζεται *απόλυτη διαπερατότητα* του υλικού.

Η ποσότητα

$$\mu = 1 + \chi$$

ονομάζεται *σχετική διαπερατότητα* του υλικού. Άρα, έχουμε ότι

$$k_m = \mu \mu_0$$

Συνηθίζεται να ταξινομούμε τα διάφορα υλικά από την άποψη των μαγνητικών τους ιδιοτήτων σύμφωνα με την σχέση του k_m ως προς το μ_0, δηλαδή , ως προς την σχετική διαπερατότητα

- Τα παραμαγνητικά υλικά έχουν $k_m > \mu_0$, δηλαδή $\mu > 1$.
- Τα σιδηρομαγνητικά υλικά έχουν $k_m >> \mu_0$, δηλαδή $\mu >> 1$.
- Τα διαμαγνητικά υλικά έχουν $k_m < \mu_0$, δηλαδή $\mu < 1$.