

Μαγνήτιση υλικών

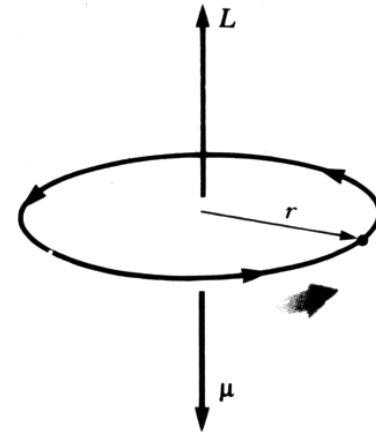
- Η ροπή που ασκείται σε μαγνητικό δίπολο με μαγν. ροπή μ , που βρίσκεται σε μαγνητικό πεδίο B .

$$\tau = \mu \times B$$

Το μαγν. πεδίο που δημιουργεί το δίπολο σε μεγάλη απόσταση.

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{\mu}{r^3}$$

Το ατομικό ηλεκτρόνιο σαν μαγνητικό Δίπολο.



Σχήμα 30.27 Ένα ηλεκτρόνιο το οποίο κινείται σε κυκλική τροχιά, ακτίνας r , έχει στροφορμή L και μαγνητική ροπή μ . Τα διανύσματα L και μ είναι αντιπαράλληλα (έχουν την ίδια διεύθυνση αλλά αντίθετη φορά).

Ηλεκτρόνιο σε κυκλική τροχιά

Υπολογίστε τη σχέση ανάμεσα στη μαγνητική διπολική ροπή μ_l και την στροφορμή L_l που οφείλονται στην περιστροφή.

Για το άτομο του Υδρογόνου στη θεμελιώδη κατάσταση,

$$\mu_l = 9,1 \cdot 10^{-24} \text{ J/T (A m}^2 \text{)}$$

$$F_K = F_{Coulomb}$$
$$\frac{mv^2}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2}$$
$$v = \sqrt{\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 mr}} \quad i = ev = \sqrt{\frac{e^4}{16\pi^2 \epsilon_0 mr^3}}$$
$$\mu_l = iS = i\pi r^2$$
$$\mu_l = \frac{e^2}{4} \sqrt{\frac{r}{\pi\epsilon_0 m}}$$
$$L_l = mvr$$
$$L_l = \sqrt{\frac{e^2 mr}{4\pi\epsilon_0}}$$
$$\mu_l = L_l \frac{e}{2m}$$

Κβαντική περιγραφή

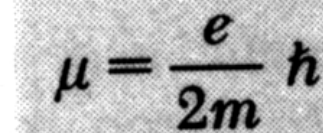
- Τροχιακή στροφορμή

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

$$\hbar = h/2\pi$$

$$\hbar = 1.06 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

Άρα η μικρότερη τιμή που μπορεί να πάρει η μαγν. διπολική ροπή είναι

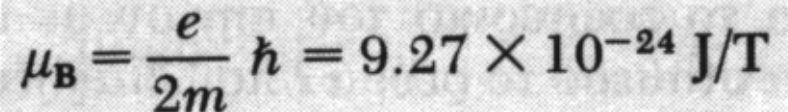

$$\mu = \frac{e}{2m} \hbar$$

- Εσωτερική στροφορμή

Σπίν.

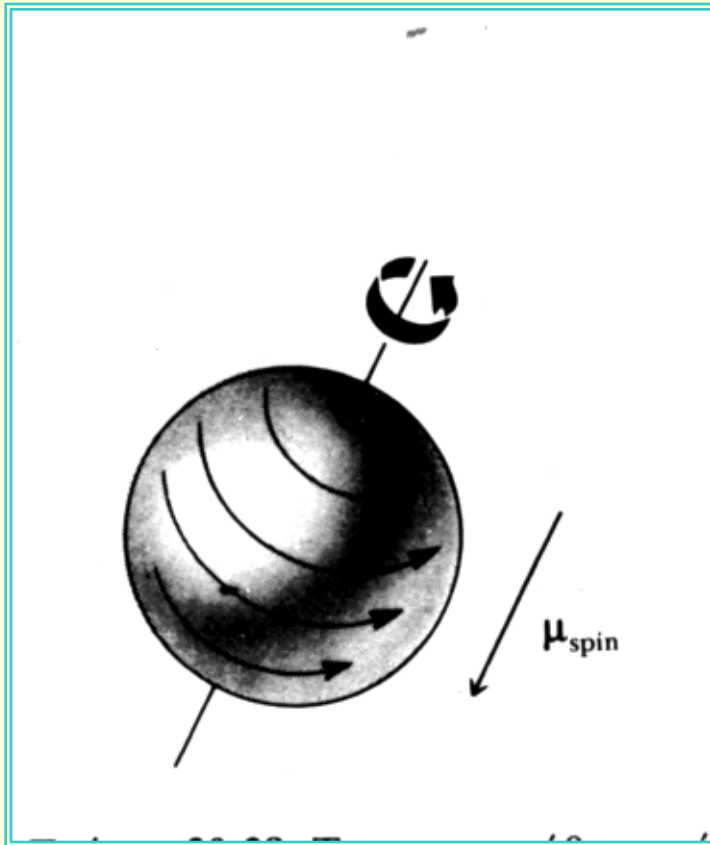
$$S = \hbar / 2$$

Η μαγν. ροπή που οφείλεται στο σπιν είναι


$$\mu_B = \frac{e}{2m} \hbar = 9.27 \times 10^{-24} \text{ J/T}$$

Μαγνητόνη του Bhor

Κλασικό ανάλογο του Σπιν



Σχήμα 30.28 Το «παραμύθι» τού ηλεκτρονίου που περιστρέφεται γύρω από τον άξονά του. Εάν τό πιστέψουμε (που δεν πρέπει, διότι το ηλεκτρόνιο είναι σημειακό φορτίο, αφού, όπως ξέρουμε από τα πειράματα που έχουν γίνει μέχρι σήμερα, εάν το ηλεκτρόνιο έχει διαστάσεις τότε αυτές είναι μικρότερες από 10^{-18} cm), τότε μπορούμε να φαντασθούμε τη μαγνητική ροπή τού ηλεκτρονίου σαν αποτέλεσμα των πολλών κλειστών βρόχων ρεύματος που δημιουργούνται από την περιστρεφόμενη φορτισμένη σφαίρα.

Τα Μαγνητικά Διανύσματα

Μαγνήτιση M

Το μέτρο του διανύσματος της μαγνήτισης ισούται με την μαγνητική ροπή ανά μονάδα όγκου του υλικού.

Αν σε μια περιοχή υπάρχει εξωτερικό μαγνητικό πεδίο B_0 και ένα μαγνητικό υλικό που δημιουργεί μαγνητικό πεδίο B_m , το συνολικό μαγνητικό πεδίο θα είναι

$$B = B_0 + B_m$$

αλλά $B_m = \mu_0 M$

$$B = B_0 + \mu_0 M$$

Μαγνητίζον Πεδίο H

$$H = B_0 / \mu_0 - M$$

$$B = \mu_0 (H + M)$$

- Μια μικρή μαγνητισμένη περιοχή αντιστοιχεί σε ένα βρόχο ρεύματος.
- Θεωρούμε ότι μια μαγνητισμένη ράβδος αποτελείται από μικρούς μαγνήτες που αντιστοιχούν σε στοιχειώδη δίπολα.
- Για ένα μικρό όγκο ΔV , η μαγνήτιση δίνεται από την σχέση:

$$M = \lim \frac{\mu}{\Delta V} \quad (Am^{-1})$$

- Αν θεωρήσουμε μια ράβδο με συνεχή κατανομή μαγνητιών διπόλων προσανατολισμένων στην ίδια κατεύθυνση, η διπολική ροπή της ράβδου υπολογίζεται:

$$\mu = \int_V M dV$$

- Το μαγνητίζον πεδίο στο εσωτερικό ενός δακτυλιοειδούς είναι:

- $$H=nl$$

- Όταν το υλικό είναι ο αέρας ισχύει:

- $$B=\mu_0 H$$

- Όταν είναι μαγνητικό υλικό,

- $$B=\kappa_m \mu_0 H$$

Νόμος Ampère για μαγνητικά υλικά

Ο νόμος του Ampere για ένα δακτυλιοειδές στο κενό :

$$\oint \mathbf{B} d\mathbf{l} = \mu_0 I$$

Αν εισάγω ένα μαγνητικό υλικό το μαγνητικό πεδίο αυξάνεται λόγω της μαγνήτισης του υλικού. Για να περιγράψω τη μαγνήτιση χρησιμοποιώ ένα υποθετικό ρεύμα μαγνήτισης I_m .

$$\oint \mathbf{B} d\mathbf{l} = \mu_0 (I + I_m)$$

$$I_m \therefore \oint \mathbf{M} d\mathbf{l} = I_m$$

$$\begin{aligned} \oint \mathbf{B} d\mathbf{l} &= \mu_0 I + \mu_0 \oint \mathbf{M} d\mathbf{l} \Rightarrow \oint \frac{\mathbf{B} - \mu_0 \mathbf{M}}{\mu_0} d\mathbf{l} = I \\ \Rightarrow \oint \mathbf{H} d\mathbf{l} &= I \end{aligned}$$

Νόμος Ampère

Το μαγνητίζον πεδίο δημιουργείται μόνον από τα πραγματικά ρεύματα.

- Μαγνητική επιδεκτικότητα χ

- Μαγνητική διαπερατότητα K_m

- $M = \chi H$
- $B = \mu_0(H + M) = \mu_0(H + \chi H)$
 $= \mu_0(1 + \chi)H$

$$B = K_m H$$

- $K_m = \mu_0(1 + \chi)$

$K_m > \mu_0$ Παραμαγνητικά

$K_m < \mu_0$ Διαμαγνητικά

$K_m \gg \mu_0$ Σιδηρομαγνητικά

Τα τρία μαγνητικά διανύσματα

		Δημιουργείται από:
Ένταση	B	Όλα τα ρεύματα
Μαγνητίζον πεδίο	H	Μόνο πραγματικά ρεύματα
Μαγνήτιση	M	Μόνο ρεύματα μαγνήτισης

Βασικές σχέσεις

Ορισμός B

$$F = iL \times B$$

Σχέση μεταξύ των διανυσμάτων

$$B = \mu_0 H + \mu_0 M$$

Νόμος Ampere όταν υπάρχουν μαγνητικά υλικά.

$$\oint H dl = I$$

Εμπειρικές σχέσεις για ορισμένα υλικά. **

$$B = \kappa_m \mu_0 H$$

$$M = (\kappa_m - 1)H$$

**Η διατύπωση αυτή ισχύει για ισότροπα και γραμμικά υλικά.

Διαμαγνητισμός

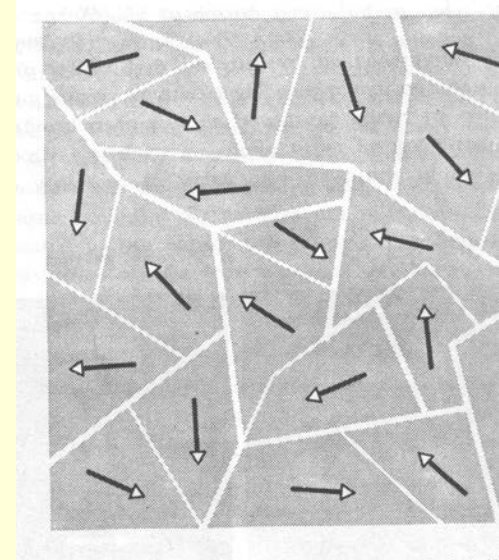
- Αναπτύσσεται μαγνητική ροπή που αντιτίθεται στο εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο. (Νόμος Lenz). Τα ατομικά ηλεκτρόνια συμπεριφέρονται σαν ρεύματα.
- Τα διαμαγνητικά υλικά απωθούνται όταν τα πλησιάζει μαγνήτης.
- Γενικά το φαινόμενο είναι ασθενές. ($\chi \sim 10^{-5}$)
- Διαμαγνητισμό παρουσιάζει το βισμούθιο, πιο έντονα, καθώς και άλλα μέταλλα όπως ο χαλκός, ο χρυσός, τα ευγενή αέρια και άλλα.
- Η ιδιότητα είναι γενική για όλα τα άτομα, αλλά σε άλλα στοιχεία, καλύπτεται από τα άλλα φαινόμενα.

Παραμαγνητισμός

- Παρουσιάζεται σε ορισμένα στοιχεία και δημιουργείται όταν τα ηλεκτρονικά σπιν δεν αναιρούνται.
- Οι μαγνητικές ροπές των ατόμων προσανατολίζονται κατά τη φορά του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου.
- Το φαινόμενο είναι ασθενές ($\chi \sim 10^{-5} - 10^{-6}$).
- Πολλά μέταλλα όπως το Μανγκάνιο, το Νάτριο, οι σπάνιες γαίες και τα άλατά τους είναι μερικά παραδείγματα παραμαγνητικών υλικών.

Σιδηρομαγνητισμός

- Τα άτομα των υλικών αυτών, έχουν ισχυρή μαγνητική ροπή, έλκονται μεταξύ τους σχηματίζοντας μαγνητισμένες περιοχές (Περιοχές Weiss).
- Το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο προσανατολίζει τις περιοχές αυτές.
- Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται στα μέταλλα Σίδηρο, Κοβάλτιο, Νικέλιο και τα κράματα τους.
- Το χ για ορισμένα κράματα φθάνει τις εκατοντάδες χιλιάδες.



Φεριτομαγνητισμός

- Τα υλικά αυτά παρουσιάζουν μαγνητική επιδεκτικότητα μικρότερη από εκείνη των σιδηρομαγνητικών υλικών.
- Οι γειτονικές ροπές είναι αντίθετες αλλά δεν αναιρούνται.
- Χαρακτηριστικά υλικά είναι τα οξείδια του σιδήρου (φερίτες).

Υπερπαραμαγνητικά υλικά.

- Σιδηρομαγνητικές περιοχές μέσα σε διηλεκτρικό υλικό.
- Επίστρωμα μαγνητοταϊνιών.