

Recherche bibliographique

Moment magnétique atomique:

Le moment magnétique d'un atome est constitué de moment magnétique du noyau et le moment magnétique d'électron. prenons un atome d'hydrogène On peut considerer qu'au mouvement circulaire de l'électron est associée une boucle de courant.

Classiquement, à une telle boucle de courant est associé un moment magnétique $\vec{\mu}_o$ donné par $\vec{\mu}_o = i \vec{S}$ où \vec{S} est le vecteur surface associé à la boucle, de direction perpendiculaire au plan du circuit (son sens est fixé par la règle du "tire-bouchon") et de module égal à la surface du circuit. On peut aussi écrire, la boucle de courant correspondant à une charge $q = -e$ décrivant un mouvement circulaire uniforme à la vitesse v sur une orbite de rayon r :

$$i = \frac{-e}{T}, T = \frac{-ev}{2\pi r}$$

$$i = -\frac{ev}{2\pi r}$$

soit :

$$iS = -\frac{evr}{2}$$

Donc on peut écrire :

$$\vec{\mu}_o = \frac{q}{2} \vec{r} \wedge \vec{v}$$

pour $q = -e$ on a:

$$\vec{\mu}_o = -\frac{e}{2} \vec{r} \wedge \vec{v}$$

on sait que $\vec{r} \wedge \vec{v} = \frac{\vec{L}}{m}$ d'où :

$$\vec{\mu}_o = \gamma_0 \vec{L}$$

avec γ_0 le rapport gyromagnétique qui vaut :

$$\gamma_0 = -\frac{e}{2m}$$

dans le cas de l'atome de bohr $L = n\hbar$ donc on obtient $\mu_o = -n\mu_B$ où la quantité μ_B s'appelle le magnéton de Bohr.

D'après la relation précédente on peut en déduire que le moment magnétique de noyau est négligeable devant le moment magnétique de l'électron donc il suffit que d'étudier le moment magnétique d'électron. Le moment magnétique d'un électron dépend de moment magnétique orbitale et moment magnétique intrinsèque de l'électron appelé "spin". Le Moment magnétique de spin s'écrit

$$\vec{\mu}_s = -2\mu_B \vec{S}$$

Alors le moment magnétique total d'un électron peut s'écrire :

$$\vec{\mu} = \mu_o + \mu_s \Rightarrow -\mu_B(\vec{L} + 2\vec{S})$$

d'où le moment magnétique totale d'un atome est :

$$\vec{\mu}_{\text{atome}} = -\mu_B \sum_i (\vec{L}_i + 2\vec{S}_i)$$

On note que $\vec{L} + 2\vec{S} = g(\vec{L} + \vec{S})$ où g est appelé facteur de Landé (Sans dimension).

Aimantation et Susceptibilité magnétique :

L'aimantation, habituellement désignée par le symbole M est définie comme la densité volumique de moment magnétique. Autrement dit :

$$M = \frac{d\mu_{atome}}{dV} \Rightarrow \frac{1}{V} \sum_{n=1}^N \vec{\mu}_n$$

Dans un solide chaque atome peut avoir un moment magnétique locale. N est le nombre d'atomes dans un volume dV $N \gg 1$. En générale l'aimantation résulte d'un courant électrique. Tout matériau, s'il peut être vu comme un milieu continu et homogène, possède un champ magnétique homogène que l'on écrit sous la forme :

$$\vec{B} = \mu_o(\vec{H} + \vec{M})$$

où \vec{B} , \vec{H} , \vec{M} représentent des champs vectoriels dont les normes sont :

♣ H pour le champ magnétique appliqué ou encore appelé excitation magnétique. Il s'exprime en A/m.

♣ M la réponse magnétique du matériau lorsque ce dernier est mis en présence de H (aussi dit Aimantation).

♣ B pour le champ total à l'intérieur du matériau appelé induction magnétique (exprimé en T).

L'aimantation est linéaire pour des petites valeurs de H et on peut donc l'écrire :

$$M_\alpha = \sum_{\beta} \chi_{\alpha\beta} H_{\alpha,\beta}$$

avec $(\alpha, \beta) = (x, y, z)$.

$\chi_{\alpha\beta}$ est appelé la susceptibilité magnétique. c'est une grandeur sans dimension. Dans un milieu isotrope $\chi_{\alpha\beta} = \chi \delta_{\alpha\beta}$ ce qui nous donne :

$$M = \chi H$$

Cette formule approchée est couramment utilisée dans le cas des milieux diamagnétiques et paramagnétiques, et des milieux ferromagnétiques pour des valeurs de champ appliqué H loin au-dessous du niveau de saturation. Dans le cas si M n'est plus linéaire en H alors on utilise la susceptibilité magnétique différentielle:

$$\chi(H) = \frac{\partial M}{\partial H}$$

Classifications des Matériaux :

Tout type de matériaux peuvent se caractériser selon leur aimantation M dans un champ magnétique externe H . Les matériaux peuvent être magnétiques ou non. Les matériaux non magnétiques n'ont pas de moment magnétique, par conséquent leur aimantation est nulle et l'induction magnétique est égale au champ magnétique externe.

Remarque: dans les matériaux antiferromagnétiques l'aimantation est nulle également.

♣ Nonmagnétique: le bois, le cuir, le caoutchouc et divers plastiques sont des exemples de matériaux non magnétiques

$$M = 0$$

$$B = H$$

$$\chi = 0$$

$$\mu = 1$$

♣ Diamagnétique : Ces matériaux créent un champ magnétique induit au sens opposé de champ magnétique appliqué et sont repulsés par ce champ magnétique. Autrement dit le champ magnétique interne est diminué dans le milieu. Lorsque ce type de matériau est exposé à un champ magnétique

externe, une aimantation négative est produite c'est à dire la susceptibilité magnétique est négative et quand le champ magnétique externe est nulle alors aimantation est nulle. Une autre propriété de matériaux diamagnétique est que la susceptibilité magnétique est indépendante de la température.

$$\begin{aligned} \vec{M} &\uparrow\downarrow \vec{H} \\ |\vec{B}| &< |\vec{H}| \\ \chi &< 0 \\ \mu &< 1 \end{aligned}$$

♣ Paramagnétique : Le paramagnétisme désigne en magnétisme le comportement d'un milieu matériel qui ne possède pas d'aimantation spontanée mais qui, sous l'effet d'un champ magnétique extérieur, acquiert une aimantation orientée dans le même sens que le champ magnétique appliqué. Un matériau paramagnétique possède une susceptibilité magnétique de valeur positive (contrairement aux matériaux diamagnétiques). Cette grandeur sans unité est en général assez faible. L'aimantation du milieu disparaît lorsque le champ d'excitation est coupé. Il n'y a donc pas de phénomène d'hystérésis comme pour le ferromagnétisme. Un comportement paramagnétique peut apparaître sous certaines conditions de température et de champ appliqué, notamment :

un matériau antiferromagnétique devient paramagnétique au-delà de la température de Néel.

un matériau ferromagnétique ou ferrimagnétique devient paramagnétique au-delà de la température de Curie.

$$\begin{aligned} \vec{M} &\uparrow\uparrow \vec{H} \\ |\vec{B}| &> |\vec{H}| \\ \chi &> 0 \\ \mu &> 1 \end{aligned}$$

♣ Ferromagnétique : Les matériaux ferromagnétiques présentent un alignement parallèle des moments magnétiques résultant en une grande aimantation nette même en l'absence d'un champ magnétique. Les éléments fer, cobalt et nickel et leurs alliages sont des matériaux ferromagnétiques typiques. Dans le cas du ferromagnétisme, la susceptibilité magnétique n'a pas de sens, tandis que la susceptibilité magnétique différentielle a du sens. Le ferromagnétisme n'est observé qu'en dessous de la valeur dépendante du matériau, Température de Curie ou Température de transition de phase ferromagnétique. La structure magnétique des antiferromagnets et ferrimagnets est composée de deux sous-lattices magnétiques. En ferrimagnétique, les moments magnétiques de ces sous-lattices ne sont pas égaux et résultent en un moment magnétique net. Ferrimagnétisme est donc similaire au ferromagnétisme. Cependant, les ferro- et les ferrimagnétiques ont un ordre magnétique très différent. Si les moments magnétiques des différents sous-lattices sont exactement égaux mais en face, le moment net est nul. Ce type d'ordre magnétique est appelé antiferromagnétisme. L'antiferromagnétisme n'est observé qu'en dessous de la valeur dépendante du matériau Température Neel ou Température de transition de phase antiferromagnétique.

Cycle D'hystérésis et Interprétation microscopique de phénomène:

CF livre de José-Philippe Pérez (Electromagnétisme)

Modèle d'ising :

A faire.