



TUTORAT PHYSIQUE

FICHE MAGNÉTISME

Année 2009-2010

1) CHAMP ELECTRIQUE, CHAMP MAGNETISANT ET CHAMP MAGNETIQUE	1
2) MAGNETISME DANS LA MATIERE	2
MOMENT CINETIQUE, MOMENT MAGNETIQUE ET RAPPORT GYROMAGNETIQUE.....	2
MOMENT MAGNETIQUE ELECTRONIQUE	2
<i>Moment orbital</i>	2
<i>Moment intrinsèque</i>	2
<i>Moment électronique global</i>	2
MOMENT MAGNETIQUE DU PROTON	2
MOMENT MAGNETIQUE DU NEUTRON.....	2
MOMENT MAGNETIQUE NUCLEAIRE.....	2
3) LES NOMBRES QUANTIQUES.....	2
LE NOMBRE QUANTIQUE DE SPIN S.....	2
LE NOMBRE QUANTIQUE MAGNETIQUE M (ME[-s; +s])	2
4) SEPARATION DES NIVEAUX D'ENERGIE ET PRECESSION	3
$E = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$	3
$\vec{I} = \vec{\mu} \wedge \vec{B}$	3
5) RELATION DE LARMOR ET FREQUENCE DE RESONNANCE	3
6) SUSCEPTIBILITE MAGNETIQUE χ_m ET INTENSITE D'AIMANTATION \vec{j}	3
7) DIAMAGNETISME ET PARAMAGNETISME	3
FERROMAGNETISME	3
DIAMAGNETISME ELECTRONIQUE	3
PARAMAGNETISME ELECTRONIQUE.....	3
PARAMAGNETISME NUCLEAIRE (CONCERNE L'IRM)	3

1) Champ électrique, Champ magnétisant et Champ magnétique

$\vec{E} = \frac{1}{4\pi r^2} \cdot \frac{1}{\epsilon_0} \cdot q \cdot \vec{u}$ Le champ électrique diminue avec le carré de la distance

$\vec{H} = \frac{1}{4\pi r^2} \cdot q \cdot \vec{v} \wedge \vec{u}$ Pour créer un champ magnétisant il faut une charge en mouvement
L'unité est : A.m⁻¹
C'est un produit vectoriel donc \vec{H} est perpendiculaire au plan formé par \vec{v} et \vec{u}

$\vec{B} = \mu_0 \cdot \vec{H}$ L'unité est : Tesla
 μ_0 est la perméabilité magnétique du vide
Le champ magnétique \vec{B} oriente les moments magnétiques dans l'espace

Champ magnétisant = champ appliqué responsable de l'aimantation (indépendant du milieu)
Champ magnétique = propagation du champ magnétisant dans un milieu => un **même** champ magnétisant produit un champ magnétique **différent** en fonction des tissus

2) Magnétisme dans la matière

- Moment cinétique, Moment magnétique et Rapport gyromagnétique :

Une particule en mouvement possède un moment cinétique : $\vec{L} = \vec{r} \wedge \vec{P}$ avec \vec{P} la quantité de mouvement donc :
 $\vec{L} = m \cdot \vec{r} \wedge \vec{v}$

Cette particule possède aussi un moment magnétique : $\vec{\mu} = \gamma \cdot \vec{L}$ avec γ le rapport gyromagnétique (gyro=tourne ↔ moment cinétique) qui lie les moments cinétique et magnétique
 γ est caractéristique du noyau

- Moment magnétique électronique :

Moment orbital (l'électron se situe sur une orbite)

$$\vec{\mu}_{oe} = \gamma_{oe} \cdot \vec{L}_{oe} \text{ avec } \gamma_{oe} = \frac{e}{2m_e}$$

On définit alors le magnéton de Bohr qui correspond au magnétisme élémentaire (plus petite valeur de moment magnétique) : $\mu_B = \gamma_{oe} \cdot \hbar = \gamma_{oe} \cdot \frac{h}{2\pi}$

γ_{oe} est responsable d'un mouvement de précession de $\vec{\mu}_{oe}$ dans un champ magnétique de 1 Tesla à une fréquence $\nu_{oe} = 14$ GHz

Moment intrinsèque (l'électron tourne sur lui-même)

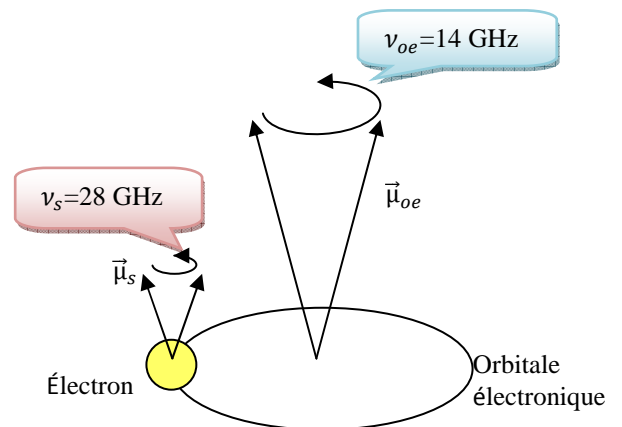
$$\vec{\mu}_s = \gamma_s \cdot \vec{L}_s \text{ avec } \gamma_s = g_s \cdot \gamma_{oe}$$

g_s est le facteur de Landé ($g_s = 2$)

γ_s est responsable d'un mouvement de précession de $\vec{\mu}_s$ dans un champ magnétique de 1 Tesla à une fréquence $\nu_s = 28$ GHz

Moment électronique global

$g_e = 2$ donc γ_e est responsable d'un mouvement de précession de $\vec{\mu}_e$ dans un champ magnétique de 1 Tesla à une fréquence $\nu_e = 28$ GHz



- Moment magnétique du proton :

$$\vec{\mu}_p = g_p \cdot \frac{e}{2m_p} \cdot \vec{L}_p \text{ avec } g_p = 5,58$$

Le proton possède le magnétisme le plus fort des noyaux

Le proton possède un magnétisme environ 1000 fois inférieur à celui de l'électron (car $m_p = 1836m_e$) : $\mu_e \approx 1000\mu_p$

De plus la fréquence de précession de H^+ dans un champ de 1T est :

$$2\pi\nu_0 = \gamma_p B_0 \Leftrightarrow \nu_0 = g_p \cdot \frac{e}{2m_p} \cdot \frac{B_0}{2\pi} = 5,58 \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{2 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27}} \cdot \frac{1}{2\pi} = 42 \text{ MHz}$$

- Moment magnétique du neutron :

Le neutron est composé de quarks qui sont des particules élémentaires chargées ce qui explique qu'il réagisse au champ magnétique alors que c'est une particule globalement neutre.

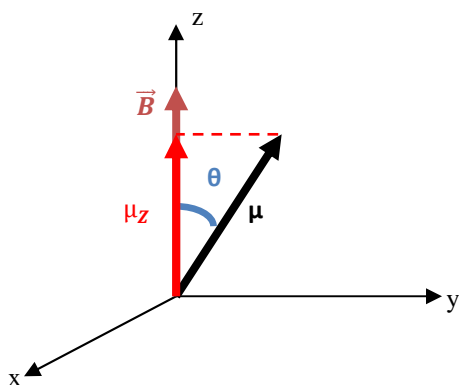
- Moment magnétique nucléaire :

Les spins des protons et des neutrons se combinent : - par famille (jamais un neutron avec un proton)

- par couple en opposition de phase

Ce sont les fermions célibataires qui sont responsable du spin : la RMN ne s'applique qu'aux noyaux de spin **non nul**

3) Les nombres quantiques



- Le nombre quantique de spin s :

Il vaut $\frac{1}{2}$ pour les fermions

En présence et en absence de \vec{B} il sert à quantifier le module de \vec{L} et de $\vec{\mu}$:

$$|\vec{\mu}| = \gamma \cdot |\vec{L}| = \gamma \cdot \hbar \cdot \sqrt{s(s+1)}$$

- Le nombre quantique magnétique m ($m \in [-s; +s]$) :

Il est défini en présence de \vec{B} seulement car il quantifie la direction des $\vec{\mu}$ en quantifiant le module de leur projection $\vec{\mu}_z$

$$|\vec{\mu}_z| = |\vec{\mu}| \cdot \cos(\theta)$$

$$|\vec{\mu}_z| = \gamma \cdot \hbar \cdot m$$

$$\text{Et } \cos(\theta) = \frac{|\vec{\mu}_z|}{|\vec{\mu}|} = \frac{m}{\sqrt{s(s+1)}}$$

4) Séparation des niveaux d'énergie et précession

$\vec{\mu}$ interagit avec \vec{B} de deux façons :

* sous forme d'un produit scalaire qui rend compte de l'**énergie potentielle magnétique** qui oriente les spins :

$$\mathbf{E} = -\vec{\mu} \cdot \vec{B} \Leftrightarrow E = -\mu_z \cdot B = -m_z \cdot \gamma \cdot \hbar \cdot B$$

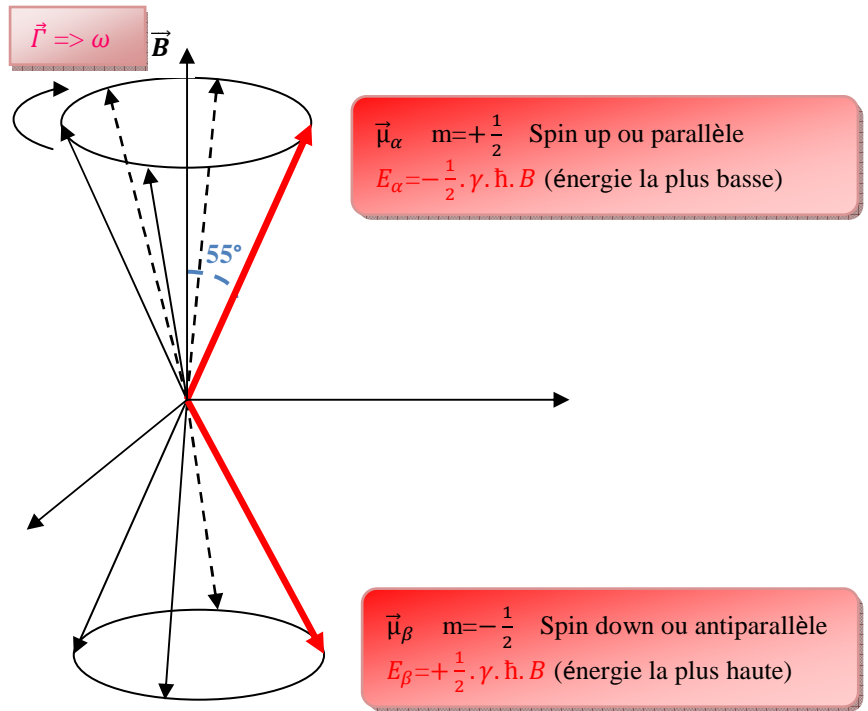
Il y a plus de spins up que down car l'état d'entropie minimale est favorisé : $n_\alpha > n_\beta$ (de l'ordre du partie par million)

Cet état d'entropie minimale est aussi favorisé par une température basse (puisque la température a tendance à augmenter l'énergie des spins à cause de l'agitation thermique) :

La séparation des niveaux d'énergie résulte d'une interaction entre la température et le champ magnétique.

Entre les deux niveaux d'énergie il y a une différence d'énergie : $\Delta E = E_\beta - E_\alpha$

$$\Delta E = \gamma \cdot \hbar \cdot B$$



* sous forme d'un produit vectoriel qui rend compte de la **précession par l'apparition d'un couple de torsion** : $\vec{T} = \vec{\mu} \wedge \vec{B}$

5) Relation de Larmor et fréquence de résonance

Lors de l'excitation par une radiofréquence il faut apporter des photons d'énergie :

$$h\nu_0 = \Delta E_0 = \gamma \cdot \hbar \cdot B_0 \Leftrightarrow \boxed{2\pi\nu_0 = \gamma \cdot B_0 = \omega_0}$$

Pour la bascule le champ \vec{B}_1 doit être à la résonance, c'est-à-dire qu'il tourne autour de \vec{B}_0 à la fréquence ν_0 mais il entraîne une précession des spins autour de lui-même à la fréquence ν_1 (dans le repère tournant).

6) Susceptibilité magnétique χ_m et intensité d'aimantation \vec{J}

Elle correspond à la réaction du matériau lorsqu'il est placé dans un champ magnétisant \vec{H} . En effet le matériau crée alors un champ magnétisant \vec{J} qui lui est propre tel que : $\vec{J} = \chi_m \vec{H}$.

$$\chi_m \text{ caractérise le matériau car } \mu = \mu_0 \cdot (1 + \chi_m) \text{ et } \vec{B}_{tot} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{J} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{J}) = \mu_0 \left(1 + \frac{\vec{J}}{\vec{H}}\right) \cdot \vec{H}$$

$$\text{Donc } \vec{B}_{tot} = \mu_0 (1 + \chi_m) \cdot \vec{H} = \mu \cdot \vec{H}$$

7) Diamagnétisme et paramagnétisme

- Ferromagnétisme :

Aimantation TRES FORTE sous l'effet d'un champ magnétique extérieur

Dans le cas des aimants : ils gardent une aimantation importante même après la disparition du champ extérieur χ_m est très élevé

- Diamagnétisme électronique :

Distorsion des doublets électroniques => TRES FAIBLE car pas d'électrons célibataires

- Paramagnétisme électronique :

Distorsion des singulets électroniques => FORT

Concerne les produits de contraste ou les radicaux libres : cela permet par exemple de quantifier une dose de radiations reçues par un organisme (les radiations entraînent la formation de radicaux libres)

- Paramagnétisme nucléaire (concerne l'IRM) :

Concerne les noyaux d'hydrogène : eau, lipides...