Fiche n°4B (ronéo 5) : RMN

I. Introduction

Dans ce cours, on se base sur des **longueurs d'onde supérieures à celles du visible** :
- $30kHz < \nu < 300\ MHz \rightarrow$ **radiofréquences**
- $300\ MHz < \nu < 300\ GHz \rightarrow$ **micro-ondes=hyperfréquences**

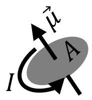
A. Vecteur champ magnétique

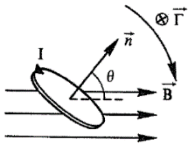
Soit un aimant/une bobine parcourue par un **courant électrique**, ce système va créer un **champ magnétique** dans l'espace environnant. On a alors :

$\vec{B}$ (en un point) : **direction** → celle qu'aurait l'aiguille d'une boussole en ce point
norme → valeur de l'amplitude du champ magnétique au point considéré

B. Moment magnétique orbital

Une boussole/aimant/circuit électrique en boule parcouru par un courant d'intensité I, placé dans un champ magnétique sera orienté par ce champ magnétique
Le **moment (dipolaire) magnétique** est un vecteur noté $\vec{\mu}$ est **proportionnel** au courant parcourant la boucle et à l'aire sous-tendue par cette boucle. On a : $\vec{\mu} = IA$





Si l'on met notre **moment magnétique** dans un **champ magnétique**, un couple de forces va s'exercer sur notre vecteur, faisant basculer le moment magnétique jusqu'à ce qu'il soit orienté **parallèlement** au champ magnétique. Ce **couple de forces** est donné par : $\vec{\Gamma} = \vec{\mu} \wedge \vec{B}$

C. Moment magnétique d'une particule chargée

Soit un électron, de charge q, parcourant une orbite circulaire *(cf cours de physique quantique)* rayon r, à une vitesse v, l'intensité traduisant son déplacement vaudra : $I = \frac{q}{2\pi r/v}$

NB : $\frac{2\pi r}{v}$ représente le temps mis par la particule pour faire le tour de son orbite

Pour tout **mouvement circulaire**, on peut calculer le **moment cinétique** (ou **angulaire**) **orbital** : $L = mrv$

Le moment magnétique est égal au **produit** de **l'intensité** par **l'aire du cercle (égale à $A = \pi r^2$) :**

$$\mu = IA = \frac{qvr}{2} = \frac{q}{2m}L$$

Point unités
- I = *intensité*, en A
- v = *vitesse de la particule*, en $m.s^{-1}$
- r = *rayon du mvt*, en m
- $\hbar$ = *constante de Planck réduite*, en $J.s.rad^{-1}$
- $\vec{B}$ = *champ magnétique*, en *Tesla* (T)

D. Moment cinétique intrinsèque = spin $\vec{S}$

Chaque particule possédant un **spin** possède un **moment magnétique intrinsèque $\vec{\mu}_s$**
Dans le cas de **l'e⁻**, le **quantum de moment magnétique** (associé au magnéton de Bohr, plus petit moment magnétique envisageable pour l'électron) : $\mu_e = \frac{e\hbar}{2m_e} \approx 10^{-23} A.m^2$

On définir les valeurs des moments de spin $\mu_{sz} = -g_e \mu_e m_s$

Pour un **électron :** $\vec{\mu}_s = g_p \frac{e}{2m_p}\vec{S}$ → $\vec{\mu}_s$ est de sens **opposé** à $\vec{S}$

Pour un **proton :** $\vec{\mu}_s = -g_e \frac{e}{2m_e}\vec{S}$ → $\vec{\mu}_s$ est de sens **identique** à $\vec{S}$

Point unités
- $g_e \approx 2$, *constante de Landé de l'électron*, sans dimension
- $g_p \approx 5{,}58$, *constante de Landé du proton*, sans dimension
- μ = *moment magnétique*, en $N.m.T^{-1}$
- m_e/m_p = *masse d'un* e^- */proton*, en kg

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction ou vente est interdite.

NB : *La valeur de S selon une **direction donnée** ne peut prendre que **deux valeurs** :* $\pm\frac{\hbar}{2}$

E. Interaction avec champ uniforme

Tout **noyau atomique** porte un moment magnétique, **proportionnel** à son **moment cinétique global $\vec{J}$:** $\vec{\mu} = \gamma\vec{J}$

Une particule dans un champ agit comme une **toupie en précession** : dans **champ uniforme et statique $\overrightarrow{B_0}$,** il existe alors un moment magnétique, soumis au couple :

$$\frac{d\vec{J}}{dt} = \vec{\Gamma} = \vec{\mu} \wedge \vec{B} = -\gamma\overrightarrow{B_0}$$

→ **On a un mouvement de précession de $\vec{J}$ autour de $\overrightarrow{B_0}$**

Point unités
- J = *moment cinétique global*, en $kg.m^2.s^{-1}$
- γ = *rapport gyromagnétique*, en $C.kg^{-1}$
- ν_0 = *fréquence de Larmor*, en $Hz = s^{-1}$
- ω_0 = *vitesse angulaire*, en $rad.s^{-1}$

NB : *Si $\gamma > 0$, le **mouvement est rétrograde +++** (comme le proton)*

La vitesse angulaire du moment magnétique vaut : $\omega_0 = \gamma.B_0$

La fréquence de précession (= de Larmor) vaut : $\nu_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$
→ On en déduit $2\pi.\nu_0 = \gamma.B_0$

II. Phénomène de RMN

Un **ensemble de noyaux** dans **champ uniforme et statique $\overrightarrow{B_0}$** aura un **moment magnétique macroscopique $\vec{M}$** = aimantation caractérisée par la **somme de l'ensemble des moments magnétiques individuels de chaque noyau**

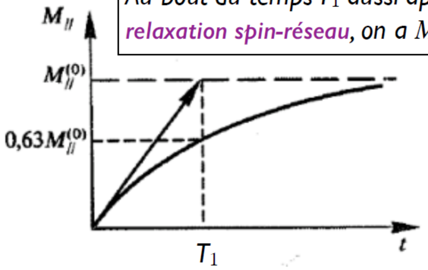
On ajoute un **champ tournant $\overrightarrow{B_1}$** (**variable** au cours du temps, **perpendiculaire** à $\overrightarrow{B_0}$, **d'amplitude beaucoup plus petite** que $\overrightarrow{B_0}$)

Si $\overrightarrow{B_1}$ tourne à la **même vitesse angulaire** que $\vec{M}$, il sera comme un autre référentiel **statique** pour l'aimantation, elle pourra descendre « dedans », on observe donc le **phénomène de résonance entre le champ tournant et l'aimantation.**
On distingue 2 modèles descriptifs :

Description classique	Description quantique
Aimantation M peut être décomposée en : → une composante $M_\parallel$, **parallèle** à $\overrightarrow{B_0}$ → une composante $M_\perp$, **perpendiculaire** à $\overrightarrow{B_0}$ Mouvement de l'aimantation → continu → lorsque M **s'écarte de $\overrightarrow{B_0}$**, $M_\parallel$ **diminue** quand $M_\perp$ **augmente** A l'arrêt du champ radiofréquence → l'aimantation retrouve ses **composantes initiales**	On parle ici **d'énergie** : Lors de la **résonnance** → les noyaux acquièrent de l'énergie → passent d'un état d'énergie initial à un autre pendant qu'ils basculent → **à la résonnance :** la population de noyaux à l'état d'énergie plus élevé ↗ car absorption énergie A **l'arrêt du champ radiofréquence** → noyaux réémettent le surplus d'énergie → mesure de ce surplus

Dans une expérience RMN classique, la résonnance est suivie de la **relaxation** : le **retour à l'équilibre** des noyaux en réémettant le surplus d'énergie correspond au **réalignement de M le long de $\overrightarrow{B_0}$**, on observe une **relaxation exponentielle**

Au bout du temps T_1 aussi appelé temps de relaxation spin-réseau, on a $M_{||}$ = 0,63 $M_{||}^{(0)}$.



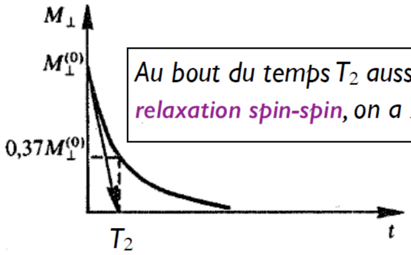
Pour $t = T1$ → composante **longitudinale** atteint **0,63** fois la valeur finale

$$M_{\parallel} = M_{\parallel}^{(0)} \left(1 - e^{-\frac{t}{T1}}\right)$$

Pour $t = T2$ → composante **transversale** atteint **0,37** fois la valeur initiale

$$M_{\perp} = M_{\perp}^{(0)} \left(e^{-\frac{t}{T2}}\right)$$

Au bout du temps T_2 aussi appelé temps de relaxation spin-spin, on a $M_{\perp}$ = 0,37 $M^{(0)}{}_{\perp}$.



Amandab Le tutorat est gratuit. Toute reproduction ou vente est interdite.