

LP21 : RÉSONANCE MAGNÉTIQUE NUCLÉAIRE (L2)

Prérequis

- notions de mécanique quantique (notion de spin et rapport gyromagnétique)
- notions de physique statistique (facteur de Boltzmann)
- mouvement de précession en mécanique classique (approximation gyroscopique)
- notions de transformée de Fourier

Idées directrices à faire passer

- statistique de Boltzmann (au final on travaille sur ΔN)
- rester en classique (l'approche quantique n'apporte pas beaucoup de physique ici)
- temps de relaxation (intérêt de la réponse impulsionnelle)

Commentaires du jury

- justifier le terme de résonance
- discuter du facteur de qualité de la réponse
- la leçon doit aboutir sur les aspects techniques (il faut parler de spectroscopie RMN ou d'IRMN en médecine...).

Bibliographie

- [1] Physique pour les sciences de la vie : tome 3 les ondes, Bouyssy, éditions Dia (central pour la mise en place des équations)
- [2] Magnétisme : tome 2 matériaux et applications, Trémolet de Lacheisserie, EDP Sciences (central pour les techniques utilisées en RMN)
- [3] Magnétisme : statique, induction et milieux, Garing, Ellipses

Introduction [2] : reprendre l'introduction du Trémolet : on introduit l'aspect historique et les formidables progrès réalisés en 50 ans dans ce domaine (du principe de la RMN à l'application pratique)

I Interaction entre un moment magnétique et un champ

1 Moments cinétique et magnétique [1]

- être rapide sur cette partie (c'est un rappel)
- démonstration classique : mouvement circulaire d'un électron autour d'un proton -> identifier le rapport gyromagnétique
- la MQ dit qu'il existe aussi un moment intrinsèque : le spin
- il existe encore un rapport gyromagnétique dans ce cas mais pondéré par le facteur de Landé
- le moment cinétique et magnétique intrinsèque est quantifié et dans la suite on se limite au cas d'un spin 1/2 sans moment orbital. Le facteur de Landé vaut alors 2
- ne pas parler de composition des moments !

2 Etats des moments magnétiques soumis à un champ statique B_0 [1]

2.1 Equation de Larmor, précession

- équation du mouvement
- en déduire la conservation de la norme et de la composante selon z
- rotation dans le plan (x, y) à ω_L (ne pas chercher à résoudre les équations)
- ODG de ω_L pour un champ de 1T par exemple

2.2 Statistique de Boltzmann [1]

- **attention, dans cette partie on adopte un point de vue quantique : énergie quantifiée**
- les spins sont supposés indépendants
- répartition statistique du système à deux états
- ce rapport est faible mais il y a beaucoup d'atomes dans la matière ! (donc ne pas dire de bêtises)
- l'état de chaque spin étant supposé indépendant on peut très facilement remonter à l'aimantation moyenne
- finalement, dans toute la suite, on travaillera sur ces ΔN spins
- pour tous les autres les effets se compensent et nul besoin de s'en préoccuper

II Résonance magnétique

1 Effet d'un champ tournant [1] et [3]

- on ajoute un champ tournant à ω
- faire le changement de référentiel pour le référentiel tournant à ω On fera clairement apparaître les pulsations $\omega_0 = \gamma B_0$ et $\omega_1 = \gamma B_1$ (faire dans cet ordre, ne pas parler de résonance avant)

2 Résolution : précession autour de B_{eff} , résonance [1]

- voir apparaître la même équation que précédemment avec un champ B effectif
- expliciter alors la condition de résonance
- un champ de faible amplitude peut faire tourner la distribution de spins !
- faire des schémas clairs de ce que l'on observe dans le référentiel tournant et le référentiel fixe (spirale)
- schéma de ce que l'on observe dans le plan (x, y) (important pour le signal FID)

3 Que détecte-on ? [3]

- parler du signal FID (appliquer la loi de Faraday pour montrer que l'intensité du signal est proportionnelle à B_0^2)
- principe de la détection par induction dans une bobine
- ne pas parler d'absorption (difficile à détecter en pratique et inutilisé)

III Applications

1 Spectroscopie RMN [2] et [3]

1.1 Relaxation par couplage spin/réseau et spin/spin

- expliquer qu'en pratique, les phénomènes s'amortissent
- introduire les temps T_1 , T_2 et T_2^*
- donner les équations modifiées par l'amortissement (Garing)
- donner des ODG
- donner leur origine microscopique
- T_1 est dissipatif, pas T_2
- permet de remonter à des informations sur l'environnement du spin
- en pratique T_1 est difficile à mesurer
- lien entre T_2^* et T_2 et facteur de qualité de la résonance

1.2 Spectroscopie RMN [2]

- parler de déplacement chimique
- principe de la RMN pulsée
- schéma de principe de la manipulation
- expliquer que l'on remonte au spectre par TF
- donner des spectres RMN de chimie et identifier le déplacement chimique et le lien facteur de qualité/largeur du pic

2 IRMN

2.1 Echo de spin [2]

- principe de la méthode
- **attention, il faut être clair sur ce point : le pulse π permet de faire tourner l'ensemble des spins de π par rapport à l'axe X du repère tournant. Si bien que les derniers deviennent les premiers.**
-> **un schéma est nécessaire**
- permet de remonter à T_2 , qui sinon est tué par T_2^* qui est à décroissance rapide

2.2 Application à l'imagerie médicale : sélection de zones [1]

- principe dans le cas 1D
- on se place dans le cas simple où tout l'échantillon résonne à la même pulsation
- il suffit alors de changer la fréquence du champ RF pour balayer l'échantillon

Conclusion : Insister sur les nombreuses applications. Etude de la matière en physique fondamentale, analyse en chimie de synthèse, étude non invasive en biologie et médecine (éventuellement en temps réel : IRM fonctionnelle)

Q/R

1. ODG de ν_0 en RMN.

2. Facteur de qualité pour un spin ? Pour une assemblée de spins ?

3. Avec quel type d'atomes peut on faire de la RMN ?

4. Quel problème pose la solution aqueuse si on veut suivre une réaction au cours du temps en RMN ?

5. A quoi servent les coefficients de Clebsch-Gordon ?

6. Pour le champ tournant, pourquoi peut-on utiliser une unique bobine ?

7. Quelle est la différence entre une aiguille aimantée et un noyau ? Une aiguille précesse-t-elle ?

8. Pourquoi l'intensité du signal est-elle proportionnelle à B_0^2 ?

9. Pourquoi se limite-t-on au phénomène sur les noyaux ?