

# Mécanique quantique – L2

Chayma Bouazza - Antoine Bourget - Sébastien Laurent

Séance du 15 janvier 2016 - [www.phys.ens.fr/~bourget](http://www.phys.ens.fr/~bourget)

## TD 12 : Effet Zeeman

---

On considère l'état  $1s$  d'un atome d'hydrogène placé dans un champ magnétique extérieur statique et uniforme  $\mathbf{B}$  dirigé selon  $\mathbf{u}_z$ .

### 1 Hamiltoniens d'interaction

Le couplage magnétique entre les spins  $\mathbf{S}$  de l'électron et  $\mathbf{I}$  du proton est décrit par un terme :

$$W_{\text{hf}} = \mathcal{A} \mathbf{I} \cdot \mathbf{S}, \quad (1)$$

où  $\mathcal{A}$  est une constante positive.

1. Quelle est la dimension de  $\mathcal{A}$ ? On donne  $g_p \simeq 6$  pour le facteur de Landé du proton. Donner un ordre de grandeur de  $W_{\text{hf}}$ . En déduire que l'on peut traiter  $W_{\text{hf}}$  en perturbation du hamiltonien  $H_0$  de l'atome d'hydrogène.
2. Quelles sont la dimension et une base de l'espace des états à considérer pour étudier l'effet de  $W_{\text{hf}}$  sur l'état  $1s$ ?
3. Quels sont les états et les énergies propres de  $W_{\text{hf}}$ ?

L'effet du champ  $\mathbf{B}$  extérieur est décrit par un hamiltonien :

$$W_Z = 2\omega_0 S_z. \quad (2)$$

4. Quelle est l'expression de  $\omega_0$ ?
5. Pourquoi le moment cinétique orbital n'intervient-il pas? De plus, pourquoi peut-on négliger l'effet du champ  $B$  sur le spin nucléaire?
6. Quels sont les états et les énergies propres de  $W_Z$ ?

### 2 Effet Zeeman en champ faible

7. Préciser la condition de *champ faible*.
8. Trouver les états et les énergies propres de  $H = H_0 + W_{\text{hf}} + W_Z$  dans cette limite.

### 3 Effet Zeeman en champ fort

9. Quels sont les états propres de  $H_0 + W_Z$ ?
10. Trouver les énergies et les états propres de  $H$  dans cette limite.

## 4 Effet Zeeman en champ quelconque

11. Ecrire la matrice représentative de  $W_{\text{hf}} + W_Z$  dans la base  $|F, m_F\rangle$ , où  $\mathbf{F} = \mathbf{I} + \mathbf{S}$ .
12. Trouver les états et les énergies propres pour une valeur quelconque du champ.
13. Vérifier que les expressions trouvées dans les deux cas limites correspondent à la solution générale.
14. Tracer un diagramme de l'évolution des énergies propres en fonction de  $B$ .
15. Deux courbes de ce *diagramme Zeeman* sont des droites. Pourquoi ?