

Mécanique quantique – L2

Antoine Bourget - Alain Comtet - Antoine Tilloy

Séance du 16 janvier 2015 - www.phys.ens.fr/~tilloy

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_{hf} . En déduire que l'on peut traiter W_{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_{hf} sur l'état $1s$?
3. Quels sont les états et les énergies propres de W_{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 ω_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 ?