

Université Paul Sabatier
Master 1 Sciences Physiques et Chimiques

Physique Atomique : Contrôle continu du 13 Avril 2005 (durée : 1 heure)

Effet Zeeman et structure hyperfine de l'état fondamental d'un système hydrogéoïde avec $I=5/2$

On considère un système hydrogéoïde dont le noyau possède un spin $I=5/2$, ${}^{67}_{30}\text{Zn}$ par exemple.

1- Le hamiltonien responsable de la structure hyperfine peut se mettre sous la forme: $\widehat{H}_{HF} = A(I, J) \cdot \hat{I} \cdot \hat{J}$. Calculer les corrections énergétiques à appliquer à l'état fondamental. Faire un schéma des niveaux, en précisant les états mis en jeu. Pour cela, on posera $\hat{F} = \hat{I} + \hat{J}$ et on utilisera la base des états propres communs à $(\hat{J}^2, \hat{I}^2, \hat{F}^2, \hat{F}_z)$ appelée $|J, I, F, m_F\rangle$ ou, plus simplement $|F, m_F\rangle$

2- On applique, selon l'axe Oz, un champ magnétique dit « fort », c'est à dire tel que ses effets sont « grands » par rapport à ceux liés au hamiltonien hyperfin. On ne peut plus utiliser la base $|F, m_F\rangle$ pour décrire le système et on doit utiliser la base des états propres communs à $(\hat{J}^2, \hat{I}^2, \hat{J}_z, \hat{I}_z)$ qui peut s'écrire ici (on traite le cas de l'état fondamental) $|m_s, m_I\rangle$

a- Sachant que le hamiltonien relatif à l'effet Zeeman s'écrit:

$$\widehat{H}_Z = \frac{\mu_B B}{\hbar} (l_z + 2 s_z) + \frac{\mu_N B}{\hbar} g_I I_z, \text{ montrer que la correction relative à l'effet}$$

Zeeman se ramène, avec une très bonne approximation à $\Delta E_Z = 2 \mu_B B m_s$

b- On considère maintenant l'action du hamiltonien hyperfin sur les états de chacun des sous-espaces résultant de la prise en compte de l'effet Zeeman. Montrer, en utilisant les propriétés des « opérateurs échelle », que l'action du hamiltonien hyperfin se ramène à celle du produit $\hat{I}_z \cdot \hat{S}_z$.

c- Calculer, en tenant compte, à la fois, de l'effet Zeeman et de la structure hyperfine, la position en énergie des niveaux issus de l'état fondamental du système. Tracer, schématiquement, l'évolution de ces niveaux en fonction du champ B.

Données:

$$\mu_B = 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ J.T}^{-1} \quad \mu_N = 5,05 \cdot 10^{-27} \text{ J.T}^{-1} \quad g_I = 0,35 \text{ pour } {}^{67}_{30}\text{Zn}$$