

Partiel 2025: Physique Atomique et Moléculaire

mardi 21 octobre 2025

-- TOUT DOCUMENT ET OBJET CONNECTÉ INTERDIT --

Les parties sont indépendantes.

1. Question de cours

Expliquer brièvement l'expérience de Stern-Gerlach, et détailler pourquoi le résultat obtenu est incompatible avec des moments magnétiques dus au moments cinétiques orbitalaires.

2. Propriétés et addition des moments cinétiques

- a. Montrer que le moment angulaire classique $\vec{l} = \vec{r} \times \vec{p}$ donnent les relations de commutations définissant un ‘moment angulaire’ en mécanique quantique, si on applique la quantification $[x, p_x] = [y, p_y] = [z, p_z] = i\hbar$.
- b. En mécanique quantique, pour un moment angulaire quelconque j , montrer les relations suivantes :
 - i. $[j^2, j_z] = 0$,
 - ii. $[j_z, j_{\pm}] = \pm\hbar j_{\pm}$ avec $j_{\pm} = j_x \pm ij_y$,
 - iii. $[j_+, j_-] = 2\hbar j_z$.
- c. Montrer que la somme de deux moments angulaires $\vec{J} = \vec{j}_1 + \vec{j}_2$ satisfait les règles de commutation d'un moment angulaire en mécanique quantique.

3. Effet Zeeman

Nous plaçons l'atome d'hydrogène dans un champ magnétique extérieur, uniforme et constant \vec{B}_0 suivant l'axe Oz . L'Hamiltonien Zeeman de ce système s'écrit $W_Z = -\vec{B}_0(\vec{\mu}_l + \vec{\mu}_s + \vec{\mu}_I)$, avec $\vec{\mu}_l = -\mu_B \frac{\vec{l}}{\hbar}$, $\vec{\mu}_s = -g_e \mu_B \frac{\vec{s}}{\hbar}$ et $\vec{\mu}_I = g_I \mu_n \frac{\vec{l}}{\hbar}$ qui représentent respectivement les moments magnétiques associés au mouvement orbital, au spin électronique et au spin nucléaire. Le facteur de Landé de l'électron vaut $g_e = 2$ et celui du proton $g_p = 5,59$. Le magnéton de Bohr est défini par $\mu_B = \frac{\hbar|q_e|}{2m_e}$ et celui du noyau par $\mu_n = \frac{\hbar|q_e|}{2m_p}$. On pose -en outre- $\omega_0 = \frac{\mu_B B_0}{\hbar}$ et $\omega_n = \frac{\mu_n B_0}{\hbar}$.

- a. Exprimer W_Z en fonction de $\vec{l}, \vec{s}, \vec{I}, \omega_0$ et ω_n .
- b. Calculer le rapport $\frac{\omega_0}{\omega_n}$. En déduire que l'on peut, en première approximation, négliger le couplage du champ magnétique avec le mouvement de spin nucléaire.
- c. Dans le cadre des champs magnétiques assez forts pour que le Hamiltonien de structure fine soit également négligeable,
 - i. donner la structure des niveaux n sous l'effet du champ magnétique (énergie, dégénérences),
 - ii. montrer que les raies correspondantes aux transitions électromagnétiques entre ces niveaux d'énergies se décomposent en triplets. Illustrer par l'exemple de la transition $n = 2 \rightarrow n = 1$.