

Partiel 2016 : Physique Atomique et Moléculaire

Mercredi 23 novembre 2016
TOUT DOCUMENT INTERDIT

Question de cours

Donner les termes dans le Hamiltonien qui sont à l'origine de la correction de structure fine. Expliquer lesquels contribuent pour des états $l = 0$ et $l \neq 0$.

Expliquer brièvement l'origine de la structure hyperfine. Est-ce qu'il existe une contribution pour des états avec $l = 0$?

Problème

On s'intéresse à l'ion hydrogénoïde de magnésium Mg^{11+} ($Z = 12$), et plus particulièrement à la raie Lyman α .

- Sachant que cette raie correspond à une transition des états ($n = 2, l = 1$) vers l'état fondamental du système, calculer son énergie et sa longueur d'onde $\lambda = c/\nu$ dans le modèle le plus simple, l'atome de Bohr -ou approximation d'ordre zéro en mécanique quantique-.
- Expérimentalement, on observe un doublet dont les composantes sont séparées de 6×10^{-4} nm.
 - L'existence de ce doublet est attribuée à une « structure fine » des niveaux d'énergie. Expliquer.
 - En supposant que, dans le cadre de cette étude, le hamiltonien de structure fine peut se ramener au seul terme de couplage spin-orbite, calculer l'amplitude de ce couplage (en unités de $a\hbar^2$). Rappels : le hamiltonien de couplage spin-orbite s'écrit $\hat{H}_{SO} = a \hat{l} \cdot \hat{s}$; n'oubliez pas d'utiliser $\hat{J} = \hat{l} + \hat{s}$.
- On applique maintenant à l'ion hydrogénoïde Mg^{11+} un champ magnétique statique dirigé selon l'axe Oz (effet Zeeman).
 - Sachant que les énergies mises en jeu par l'application de ce champ sont de l'ordre de ($\mu_B B$), calculer le champ B tel que son effet soit de l'ordre de grandeur de celui de la structure fine étudiée en 2b. On se place dans l'hypothèse où les corrections énergétiques dues à l'effet Zeeman sont petites devant la structure fine, situation dite de 'champ faible'. Pour étudier le système, on peut alors conserver les états de la base utilisée pour décrire la structure fine.
 - Dans ce cas le hamiltonien Zeeman peut s'exprimer en fonction de J_z selon l'expression $\hat{H}_{Zee} = g_J \frac{\mu_B B}{\hbar} \hat{J}_z$ avec $g_J = \frac{2J+1}{2l+1}$. Établir l'expression de la correction énergétique à appliquer sur les niveaux de structure fine.
 - Calculer, dans ces conditions, la structure de la raie Lyman α . Faire un schéma des niveaux d'énergie (en précisant les états associés) et indiquer les transitions permises.

Rappels: Règles de sélection à appliquer dans les conditions de ce calcul :

$$\Delta l = \pm 1 \quad \Delta j = 0, \pm 1 \quad \Delta m_j = 0, \pm 1$$

Données numériques :

Constante de Planck = $6,62618 \times 10^{-34}$ J s

Charge de l'électron = $-1,602189 \times 10^{-19}$ C

Vitesse de la lumière dans le vide = $2,99792458 \times 10^8$ ms⁻¹

Magnéton de Bohr = $9,27 \times 10^{-24}$ JT⁻¹ = $5,78 \times 10^{-5}$ eV T⁻¹

Constante de Rydberg $R_\infty = 13,6$ eV, 1eV = $1,6 \times 10^{-19}$ J