

M1PFAPhy - M1SUTS

Physique atomique et moléculaire

2017/18

Partiel 2017 – mercredi 8 novembre 2017

Tous documents interdits

Question de cours :

- Effet Zeeman : pour un atome d'hydrogène dans son niveau fondamental et plongé dans un champ magnétique, rappeler les divers moments magnétiques impliqués dans le cas général ainsi que le hamiltonien de l'énergie d'interaction.
- Structure hyperfine : expliquer brièvement l'origine de la structure hyperfine de l'état fondamental de l'atome d'hydrogène.

Exercice : L'atome d'hydrogène avec sa correction spin-orbite

- Rappeler les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène dans le cadre du modèle de Bohr -sans sa structure fine-. Donner leurs ordres de grandeur. Préciser les énergies et dégénérescences des niveaux $n = 1$ et $n = 2$. Calculer leur différence d'énergie ΔE_{21} .
- Pour la suite, on considère uniquement le terme spin-orbite de structure fine, que l'on suppose sous la forme $H_{SO} = \frac{a}{\hbar^2} \vec{l} \cdot \vec{s}$.
 - En utilisant $\vec{j} = \vec{l} + \vec{s}$ exprimer H_{SO} en fonction de j^2, l^2 et s^2 . Quelle est la base adaptée pour évaluer la correction spin-orbite ?
 - Calculer la correction énergétique de l'état fondamental dû au terme spin-orbite.
 - L'électron est maintenant promu dans l'état $2p$. Calculer la correction énergétique de cet état. Montrer –en particulier- l'éclatement en deux sous-niveaux, dont on donnera les nombres quantiques associés ainsi que la séparation énergétique en unités de a .
 - On considère ensuite l'état $3d$. Calculer la nouvelle correction énergétique. Combien de sous-niveaux voient-ils leur dégénérescence levée par l'interaction spin-orbite ? Donner la séparation des raies en unités de a .
 - On considère maintenant la raie Lyman de la transition $2p$ vers l'état fondamental. Montrer que, compte-tenu du couplage spin-orbite, cette raie est dédoublée.
 - Une des raies de la série de Balmer provient de la transition $3d$ vers $2p$. Etant données les règles de sélection $\Delta l = \pm 1$ $\Delta j = 0, \pm 1$, déterminer les transitions possibles.
- On applique enfin un champ magnétique statique dirigé selon l'axe Oz . 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 ce système, on peut alors conserver les états de la base utilisée pour décrire la structure fine, et le hamiltonien Zeeman peut alors s'exprimer comme $\hat{H}_{Zee} = g_j \frac{\mu_B B}{\hbar} j_z$, avec $g_j = 1 + \frac{j(j+1) - l(l+1) + s(s+1)}{2j(j+1)}$.
 - Établir l'expression de la correction énergétique à appliquer sur les niveaux de structure fine des états $1s, 2p$ et $3d$ mentionnés ci-dessus.
 - Montrer que mesurer expérimentalement la levée de dégénérescence sous champ magnétique permet de déterminer j pour les différents états de structure fine.