ANNEE UNIVERSITAIRE 2006-2007
UNIVERSITE PAUL SABATIER

Contrôle Continu de Physique Atomique et Subatomique

16 avril 2007
(Durée : 1h30)

I – Questions de cours

I-a) Donner le principe de quantification utilisé par N. Bohr. Quelle est la dimension de $\hbar$?

I-b) Dans l'approximation de Bohr, donner l'expression des niveaux d'énergie pour un atome hydrogénoïde de numéro atomique Z. Préciser également l'unité d'énergie correspondante. Que représente n dans cette expression ?

I-c) Que signifie le terme « dégénérescence » d'un niveau d'énergie ?

II – Problème : Hamiltonien Spin-Orbite

Dans ce problème, nous allons étudier les états associés à la configuration excitée $(3d)^1$ d'un atome hydrogénoïde de numéro atomique Z. Dans ce qui suit, nous ne prendrons en compte, pour décrire le système, que les termes H_0 (Hamiltonien non perturbé) et H_{so} associés au couplage Spin-Orbite. On rappel que H_{so} s'écrit : $H_{so}=\xi_n(r)\,\mathbf{L.S}$

A- Hamiltonien non perturbé

A-1) Ecrire l'expression de H_0 décrivant le mouvement de l'électron dans le champ coulombien du noyau de charge Ze. Sur quel(s) nombre(s) quantique(s) agit l'opérateur H_0 ?

A-2) Donner l'énergie associée à la configuration $(3d)^1$. Quelle est la dégénérescence du niveau d'énergie dans le cas faiblement relativiste, *i.e.* si l'on considère le moment cinétique et de spin de l'électron ? Quelle est la base correspondante des vecteurs propres ?

B- Hamiltonien

B-1) Ecrire l'expression de l'Hamiltonien H du système. Le terme $\xi_n(r)$ agit-il sur le spin de l'électron ? Sur son moment cinétique L ?

B-2) Définir la signification physique du nombre quantique J, et exprimer H_{so} en fonction des opérateurs $\mathbf{J^2}$, $\mathbf{L^2}$ et $\mathbf{S^2}$.

B-3) Peut-on utiliser la base des vecteurs donnée en A-2 ? Sont-ils vecteurs propres de H_{so} ? Quels nombres quantiques devrions-nous alors utiliser pour décrire les états d'un électron dans la configuration $(3d)^1$ si l'on tient compte de H_{so} ?

B-4) Quelles peuvent être les valeurs possibles de J pour la configuration $3d$? Donner alors la nouvelle base de vecteurs propres servant à décrire les états du système associés à cette configuration.

B-5) Ecrire dans cette nouvelle base la matrice associée à l'Hamiltonien du système. Donner l'expression de chaque élément de la matrice en fonction de $<\xi_n(r)>$.

Rappels : $J^2|\Psi> = J(J+1)\hbar^2|\Psi>$; $S^2|\Psi> = S(S+1)\hbar^2|\Psi>$ et $L^2|\Psi> = L(L+1)\hbar^2|\Psi>$.

B-6) Faire le diagramme des niveaux d'énergie des états associés à l'électron dans la configuration $(3d)^1$ en faisant apparaître les corrections en énergie liées à l'Hamiltonien Spin-Orbite. Préciser le degré de dégénérescence des niveaux d'énergie précédents.