

**PARTIEL DE PHYSIQUE ATOMIQUE ET SUBATOMIQUE**

Jeudi 7 mars 2013 - Durée 1h30

TOUT DOCUMENT INTERDIT – CALCULATRICES AUTORISEES

**QUESTIONS DE COURS**

1. Donner le principe du modèle de Bohr pour un atome hydrogénoïde. Montrer que la quantification du moment cinétique implique nécessairement une quantification du rayon classique de l'électron et de sa vitesse.
2. Définir les dégénérescences accidentelles et essentielles de l'atome d'hydrogène non perturbé.
3. Rappeler les définitions des densités de probabilité radiale et angulaire .
4. Définir physiquement le couplage  $LS$  en termes d'interaction. Les vecteurs  $|n, L, S\rangle$  sont-ils des vecteurs propres de l'Hamiltonien de structure fine ? Quel nouveau nombre quantique faut-il introduire pour tenir compte du couplage ? L'exprimer en fonction de  $L$  et de  $S$ .
5. Ecrire les vecteurs de bases  $\{|n, L, S, J\rangle\}$  associés à la configuration  $3d$  ?
6. Rappeler l'origine physique du terme de Darwin  $W_D$ .
7. Rappeler l'Hamiltonien Zeeman pour le niveau fondamental  $1s$  de l'atome d'hydrogène dont on négligera la contribution du terme faisant apparaître la pulsation de Larmor nucléaire.

**EXERCICE**

Le positronium est un système hydrogénoïde dont le proton est remplacé par le positon, de même masse et de même spin que l'électron mais de charge électrique opposée. On admettra qu'en absence d'interaction de spin, le système peut être décrit comme un atome d'hydrogène dont la masse réduite du mouvement orbital est remplacée par celle du couple positon – électron.

**NIVEAU D'ENERGIE DU POSITRONIUM**

1. Rappeler l'expression des niveaux d'énergie d'un atome hydrogénoïde, ainsi que celle du rayon de la première orbite de Bohr.
2. Application numérique au positronium : calculer  $E_{1s}$  et  $a_0$ .
3. Calculer l'énergie et la longueur d'onde de la transition entre l'état  $1s$  et l'état  $2p$ .

**STRUCTURE HYPERFINE DE L'ETAT 1S DU POSITRONIUM**

L'interaction entre le spin de l'électron et celui du positron peut s'écrire :

$$H = \frac{A}{\hbar^2} \vec{S}_1 \cdot \vec{S}_2$$

où  $\vec{S}_1$  est l'opérateur vectoriel associé au spin de l'électron,  $\vec{S}_2$  celui associé au spin du positron et  $A = 1,27 \times 10^{-22} J$  est la constante d'interaction.

On désignera les vecteurs propres  $|S_1, S_2, S, M\rangle$  associés aux opérateurs  $\vec{S}_1, \vec{S}_2, \vec{S} = \vec{S}_1 + \vec{S}_2$  et  $\vec{S}_z$  par la notation simplifiée  $|S, M\rangle$  telle que  $\hbar^2 S(S+1)$  soit la valeur propre de  $\vec{S}^2$  et  $\hbar M$  celle de  $\vec{S}_z$ .

1. Calculer l'action de  $H_{hf}$  sur ces états  $|S, M\rangle$ . Montrer que la matrice associée à  $H_{hf}$  est diagonale dans cette base. Donner l'expression des valeurs propres de  $H_{hf}$  en fonction de  $A$ .
2. En utilisant ces résultats, donner l'énergie des niveaux *dits de structure hyperfine* de l'état  $1s$  du positronium. Tracer le diagramme d'énergie correspondant.

On donne :

$$m_e = 9,10953 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$h = 6,62618 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

$$e = 1,602189 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$c = 2,99792458 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$