

PARTIEL DE PHYSIQUE ATOMIQUE ET SUBATOMIQUE DU 04 MAI 2009
TOUT DOCUMENT INTERDIT –DUREE 1H30

QUESTIONS DE COURS :

- 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.
- Donner l'expression de l'énergie E_n de l'électron dans le cadre du modèle de Bohr. Quelle est la valeur de l'énergie d'ionisation d'un atome d'hydrogène.
- Peut-on relier cette énergie d'ionisation à l'énergie au repos de l'électron ? Si oui, à quelle fraction cette énergie d'ionisation correspond-t-elle ? Comment s'appelle la constante de proportionnalité ?
- Définir les dégénérescences accidentelles et essentielles.
- 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 .
- Ecrire les vecteurs de bases $\{|n, L, S, J\rangle\}$ associés à la configuration $3d$?
- Les corrections de structure fine sont-elles issues de la prise en compte du spin de l'électron, de celui du noyau ou des effets relativistes liés à la « vitesse » de l'électron ?
- En couplage spin-orbite, donner la relation vectorielle entre moment magnétique et cinétique de l'électron.

EXERCICE I : SPECTRE D'ABSORPTION DU SOLEIL (MODELE DE BOHR)

L'analyse spectrale du rayonnement solaire (et de nombreuses étoiles) présente des trous ou raies d'absorption. Ces raies ont des longueurs d'onde bien particulières. Celles ci sont données dans le tableau suivant:

Série 1 (nm)	Série 2 (nm)	Série 3 (nm)
$n = 1$	$n = 1$	$n = 2$
121.56	13.507	164.117
102.572	11.397	121.566
97.253	10.806	108.543
94.974	10.552	102.573
93.780	10.421	99.281
91.2	10.130	91.176

- Quelle est la relation entre la longueur d'onde d'un rayonnement et son énergie? Montrer alors que cette dernière est donnée par $E \text{ (eV)} \sim 1240 / \lambda \text{ (nm)}$.
- Expliquer le principe d'émission et d'absorption d'un rayonnement électromagnétique par un atome. On notera n le nombre quantique de l'état initial et n' celui de l'état final.
- Donner l'expression de l'énergie du rayonnement émis en fonction de n et n' pour un atome hydrogénoïde de numéro atomique Z .
- Le modèle de Bohr permet-t-il de justifier les valeurs du tableau?
- Quels sont les atomes responsables des raies d'absorption observées? Est-ce compatible avec ce que vous savez de la composition et le fonctionnement du soleil?
- A quel processus physique correspond la dernière ligne du tableau pour les séries I et 2 ?

EXERCICE II : STRUCTURE HYPERFINE DE L'ÉTAT 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 $A = 1,27 \times 10^{-22} \text{ J}$ 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 .

- 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 .
- 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 :

$$\begin{aligned} m_e &= 9,10953 \times 10^{-31} \text{ kg} \\ h &= 6,62618 \times 10^{-34} \text{ Js} \\ e &= 1,602189 \times 10^{-19} \text{ C} \\ c &= 2,99792458 \times 10^8 \text{ ms}^{-1} \end{aligned}$$