



mention **PHYSIQUE**  
**M1 Parcours Sciences Physiques et Chimiques**  
Année 2013-2014

**PHYSIQUE ATOMIQUE**

Contrôle Terminal du 13 mai 2014 - durée 1h30  
TOUS DOCUMENTS INTERDITS

Les parties A et B et C sont indépendantes

**PARTIE A : Horloge atomique**

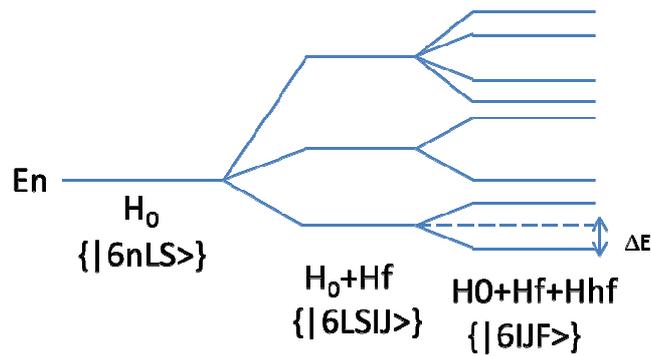
La mesure de la seconde est basée sur la mesure des périodes d'une radiation correspondant à une transition entre deux niveaux hyperfins du Césium  $^{133}_{55}\text{Cs}$

- 1) Donner la configuration électronique complète ( $nl$ ) de l'état fondamental d'un atome de Césium neutre puis la donner en fonction de celle du Xénon  $^{131}_{54}\text{Xe}$ .
- 2) Quelle est la dernière orbitale occupée ? Ecrire le terme spectroscopique ( $LS$ ) de structure fine associé à l'électron de valence.
- 3) Quelle est en  $eV$  l'énergie  $E_n$  de l'électron de valence ?
- 4) Le spin nucléaire du Césium est de  $I = 7/2$ . Déterminer la structure des niveaux hyperfins  $F$  correspondant à l'état fondamental du Césium. On détaillera la méthode.
- 5) Déterminer le terme ( $LS$ ) du premier état excité de l'atome de Césium ainsi que les niveaux hyperfins  $F$  associés  
La fréquence du photon définissant la seconde est  $9192,63177 \text{ MHz}$ . Elle correspond à une transition entre le niveau  $F = 4$  et  $F = 3$  du Césium.
- 6) La référence d'énergie est placée au niveau  $F = 3$  i.e  $E_{(F=3)} = 0$ . Quelle est la position du niveau  $F = 4$  ?

**PARTIE B : Structure hyperfine dans le Césium**

Le Hamiltonien de structure hyperfine du césium peut s'écrire  $H = k \mathbf{I} \cdot \mathbf{J}$  ou  $k$  est une constante,  $\mathbf{I}$  le spin nucléaire (ici  $I = 7/2$ ) et  $\mathbf{J} = \mathbf{L} + \mathbf{S}$ .

- 1) La matrice du Hamiltonien de structure hyperfine est-elle diagonale dans la base  $\{|nLS\rangle\}$  ? dans la base  $\{|nLSJ\rangle\}$  ? dans la base  $\{|nLSJ_I\rangle\}$  ?
- 2) Quelle relation y-a-t-il entre les moments  $F^2$ ,  $J^2$  et  $I^2$  ? Réécrire le hamiltonien en fonction de ces opérateurs.
- 3) Pour un électron  $6s$  et  $6p$  du Césium, donner la base de vecteurs  $|LSJIF\rangle$  de  $H$  et les éléments de matrice associée  $\langle LSJIF | H | L'S'J'I'F' \rangle$ . On rappelle que  $A^2 |A\rangle = A(A+1)\hbar^2 |A\rangle$ .
- 4) Faire un diagramme énergétique en vous inspirant de celui présenté ci-contre. Pour chaque niveau, indiquer le(s) vecteur(s) propre(s) associé(s), la dégénérescence du niveau ainsi que l'écart en énergie du niveau par rapport au niveau de structure fine dont il découle.
- 5) A l'aide des résultats de la question 3), déterminer en fonction de  $k$  l'énergie de la transition entre les deux premiers niveaux hyperfins du Césium. En déduire la valeur de  $k$  sachant que la fréquence du photon émis est de  $9192,63177 \text{ MHz}$ .



### PARTIE C : Effet Zeeman sur le Césium

Dans cette partie, nous allons nous intéresser à l'effet d'un champ magnétique extérieur  $\mathbf{B}$  sur la transition entre les deux niveaux hyperfins  $6s$  du Césium. Le Hamiltonien Zeeman de cette perturbation s'écrit :

$$H_{zee} = \frac{qB}{2m_e} (l_z + 2S_z) - \frac{g_i qB}{2M_p} I_z$$

- 1) En couplage  $LS$  i.e  $\{ |6LSIJ> \}$ , quelle est l'influence du champ magnétique sur le premier niveau du Césium ? Donner l'expression en fonction de  $m_l$  et  $m_s$ .
- 2) Expliquer pourquoi la présence d'un champ magnétique ne modifie pas l'énergie de la transition hyperfine entre les niveaux  $|6,7/2,1/2,4>$  et  $|6,7/2,1/2,3>$ . On supposera que l'électron reste 'up' i.e  $m_s = +1/2$  et que  $m_l = +7/2$ . Conclure sur l'intérêt d'utiliser cette transition spécifique dans les horloges atomiques.