



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

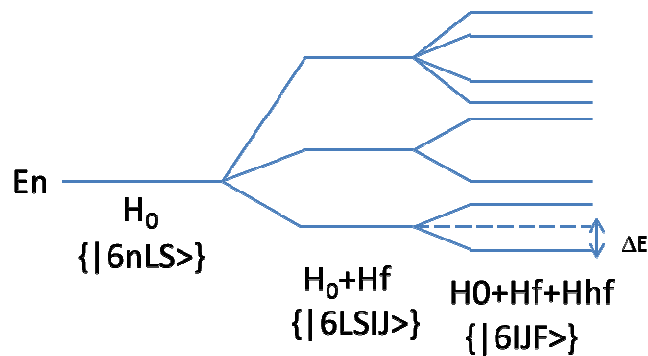
La mesure de la seconde est basée sur la mesure des périodes d'une radiation correspondant à une transition entre deux niveaux hyperfins du Césium $^{133}_{55}\text{Cs}$

- 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 $\{|nLSJI\rangle\}$?
- 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 $\{|6LSIJ\rangle\}$, 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 $|6,7/2,1/2,4\rangle$ et $|6,7/2,1/2,3\rangle$. 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.