

Université Paul Sabatier MASTER 1 STME : mention PHYSIQUE
M1 – Sciences Physiques et Chimiques
2M8PC1M

Physique Atomique et Subatomique :

Juin 2006

I) Structure fine et effet Zeeman sur les états à n=3 de l'atome d'hydrogène: (8 points)

1- En tenant compte de la « structure fine », recenser les états d'un atome hydrogénoïde ayant la valeur n=3 du nombre quantique principal. Les écrire dans la base $|n, l, s, j, m_j\rangle$ et en notation spectroscopique $n l_j$.

2- a) Dénombrer les niveaux d'énergie dans le cadre du « modèle de Dirac », c'est à dire quand la correction énergétique associée à la structure fine s'écrit:

$$\Delta E_{SF} = \frac{mc^2 Z^4 \alpha^4}{2n^3} \left(\frac{3}{4n} - \frac{2}{2j+1} \right)$$

b) Calculer la position énergétique de ces niveaux par rapport à E_3 , énergie en l'absence de structure fine. (utiliser: $mc^2 \alpha^4 \approx 1,45 \cdot 10^{-3} \text{ eV}$)

3- Pour un champ magnétique B, dirigé selon Oz et suffisamment « faible », on peut écrire le hamiltonien Zeeman sous la forme: $\hat{H}_{Zee} = g_j \frac{\mu_B}{\hbar} B \hat{j}_z$ avec $g_j = 1 + \frac{j(j+1) + s(s+1) - l(l+1)}{2j(j+1)}$

a) Établir, pour les états $|n, l, s, j, m_j\rangle$, l'expression de la correction énergétique, ΔE_{Zee} , associée à H_{Zee} .

b) Calculer l'effet qu'aurait cette correction sur les états $3d_{5/2}$ pour un champ B = 1 Tesla

c) Calculer la limite supérieure de la valeur du champ magnétique pour que l'effet de celui-ci reste « faible » devant la structure fine. (Critère à utiliser: $\Delta E_{SF} \approx 10 \Delta E_{Zee}$)

II) Energie des phénomènes atomiques, nucléaires et subnucléaires : (3 points)

(Argumenter brièvement les réponses)

- Quel est l'ordre de grandeur de l'énergie de liaison à l'échelle atomique ? Quel type de rayonnement correspond à cette énergie ?
- Quel est l'ordre de grandeur de l'énergie de liaison à l'échelle nucléaire ? Quel type de rayonnement au sens large correspond à cette énergie ?
- Quel est l'ordre de grandeur de l'énergie des rayons cosmiques primaires ? Quel type de rayonnement constitue les rayons cosmiques primaires ?

III) Energie de liaison de différents noyaux : (2 points)

- L'énergie au repos (de masse) d'une particule α est 3727,27 MeV. Celle des proton et neutron sont respectivement 938,27 MeV et 939,565 MeV. Trouver (toujours en MeV) son énergie de liaison, ainsi que l'énergie de liaison par nucléon.
- Même question pour le noyau d'uranium ${}_{92}^{238}\text{U}$, dont la masse est 238,005862 u. On rappelle que 1 u vaut 931,48 MeV/c².

T.S.V.P.

IV) Désintégrations nucléaires et fonctionnement du corps humain : (7 points)

Les deux parties du problème sont entièrement indépendantes.

□ Partie A : potassium naturel

Le potassium naturel (n) est formé de trois isotopes : ${}^{39}_{19}\text{K}$, ${}^{40}_{19}\text{K}$ et ${}^{41}_{19}\text{K}$. Les proportions *massiques* respectives sont les suivantes : 93,126 %, 0,012 % et 6,862 %. Seul ${}^{40}\text{K}$ est radioactif. Une masse de 1 g de potassium (n) émet en moyenne, par *minute*, 1660 β^- (activité notée A_β) et 205 photons γ (activité notée A_{CE}) de 1,46 MeV chacun. Chaque γ accompagne une capture électronique (CE) *de façon exclusive*. En outre, on fait remarquer que l'activité A pour une quelconque désintégration est reliée à la constante radioactive λ et au nombre N de noyaux radioactifs par la relation $A = \lambda N$.

1. Ecrire les réactions nucléaires β^- , β^+ et CE.
2. Ecrire la conservation de l'énergie totale pour chacune de ces trois réactions pour en déduire la relation qui doit exister entre les masses des atomes *neutres* « père » et « fils » pour que chaque réaction puisse avoir lieu. Calculer pour les réactions β^- , β^+ et CE, les $(T_{\beta^-})_{\max}$, $(T_{\beta^+})_{\max}$ et T_ν respectifs. On néglige l'énergie de liaison de l'électron K dans le cas de la capture devant les autres énergies mises en jeu.

Tracer le diagramme complet des transitions partant de ${}^{40}\text{K}$ après avoir vérifié que les trois réactions peuvent avoir lieu. On rappelle les masses ${}^{40}_{18}\text{M} = 39,962384 u$ (Ar), ${}^{40}_{19}\text{M} = 39,964000 u$ (K), ${}^{40}_{20}\text{M} = 39,962589 u$ (Ca) et $m_e c^2 = 0,511 \text{ MeV}$.

3. Ecrire la relation générale entre constante radioactive et période $T_{1/2}$ radioactive. A l'aide des données fournies en introduction, calculer la période $T_{1/2}$ (demi-vie) de ${}^{40}\text{K}$. On rappelle le nombre d'Avogadro $N_A = 6,022 \times 10^{23}$.

Indice : on prendra bien soin dans le raisonnement de distinguer la disparition des ${}^{40}\text{K}$ par désintégration β^- et par capture électronique.

4. Le corps humain contient, en moyenne, 0,3 g de potassium (n) par kg. Quelle énergie totale ${}^{40}\text{K}$ produit-il par kg de corps humain et par *an* ? Le corps humain ne capte qu'une partie de cette énergie ; préciser les causes d'évasion.

□ Partie B : élimination métabolique de l'iode radioactive

Le noyau d'iode ${}^{131}\text{I}$ se désintègre par radioactivité β^- , avec une demi-vie de $T_\beta = 8,1 \text{ jours}$. Cependant, l'iode ingéré par l'organisme humain subit un métabolisme d'élimination, avec une demi-vie biologique qui vaut $T_m = 180 \text{ jours}$.

1. Après avoir écrit l'équation différentielle qui régit la population N de noyaux d'iode radioactifs, montrer que tout se passe comme si la demi-vie T_β de ${}^{131}\text{I}$ était remplacée par une demi-vie effective T_{eff} que l'on exprimera en fonction de T_β et T_m .
2. Calculer numériquement T_{eff} dans l'ingérence de l'iode considéré. Comparer les quantités d'iode prévues dans l'organisme au bout de 90 jours, dans le cas où on tient compte du métabolisme et dans celui où on le néglige.