**Université Paul Sabatier** **MASTER 1 STME : mention PHYSIQUE**

**M1 – Sciences Physiques et Chimiques**

2M8PC1M

# Physique Atomique et Subatomique : EXAMEN (durée 3h) juin 2005

PHYSIQUE ATOMIQUE : a) 2 points ; b) 4 points ; c) 4 points

a) Question de cours

Donner la définition de particules indiscernables.

b) Termes spectraux du Lithium

Dans le cadre du couplage LS, recenser les multiples (termes spectraux) d'un atome de Lithium dans l'état fondamental ($1s^2\ 2s$) et dans les états excités ($1s\ 2s^2$) et ($1s\ 2s\ 2p$).

c) Dipôle électrique permanent d'un atome d'Hydrogène.

Nous voulons montrer que le moment électrique permanent d'un atome d'Hydrogène est nul dans les états $(n=1,l=0)$ et $(n=2,l=1)$. Le moment électrique peut être représenté par un opérateur vectoriel ***d*** de composantes $d_x = qx,\ d_y = qy,\ d_z = qz$ avec q la charge de l'électron, le noyau étant supposé à l'origine.

Calculer la valeur moyenne de $d_x$, $d_y$ et $d_z$ $(n=1,l=0)$ et $(n=2,l=1)$.

*Rappel :*

$$x = r\sin\vartheta\cos\varphi; \qquad y = r\sin\vartheta\sin\varphi; \qquad z = r\cos\vartheta; \quad dV = r^2\sin\vartheta\, d\vartheta\, d\varphi\, dr$$

$$\Psi_{100}(r,\vartheta,\varphi) = \frac{1}{\sqrt{\pi}}\left(\frac{1}{a_0}\right)^{\frac{3}{2}}\exp\left(-\frac{r}{a_0}\right); \qquad \Psi_{210}(r,\vartheta,\varphi) = \frac{1}{4\sqrt{2\pi}}\left(\frac{1}{a_0}\right)^{\frac{3}{2}}\left(\frac{r}{a_0}\right)\exp\left(-\frac{r}{2a_0}\right)\cos\vartheta$$

$$\Psi_{21\pm1}(r,\vartheta,\varphi) = \mp\frac{1}{8\sqrt{\pi}}\left(\frac{1}{a_0}\right)^{\frac{3}{2}}\left(\frac{r}{a_0}\right)\exp\left(-\frac{r}{2a_0}\right)\sin\vartheta\exp(\pm i\varphi)$$

PHYSIQUE SUBATOMIQUE : 10 points

Modèle de la goutte liquide

On donne l'expression de la formule semi-empirique donnant la masse de l'atome neutre correspondant au noyau *(A, Z)* considéré dans l'état fondamental :

$$ {}^A_Z M = ZM_H + (A-Z)M_n - a_v A + a_s A^{2/3} + a_c\frac{Z^2}{A^{1/3}} + a_a\frac{\left(\frac{A}{2}-Z\right)^2}{A} + \delta(A,Z) \qquad (Eq.1)$$

$$\text{avec } \delta(A,Z) = \begin{cases} a_p A^{-3/4} & \text{pour } A \text{ pair et } Z \text{ impair} \\ 0 & \text{pour } A \text{ impair} \\ -a_p A^{-3/4} & \text{pour } A \text{ pair et } Z \text{ pair} \end{cases}$$

$a_v$, $a_s$, $a_c$, $a_a$ et $a_p$ sont des constantes positives. $M_H$ et $M_n$ désignent respectivement la masse de l'atome d'hydrogène $^1H$ et la masse du neutron. On donne $(M_n - M_H)c^2 = 0{,}782$ MeV. ***Dans cet exercice, on se limitera aux valeurs impaires de A.***

1. Après avoir brièvement commenté les termes en $a_v$, $a_s$, $a_c$, $a_a$ et $a_p$, calculer le terme $a_c$.
2. Montrer que pour une valeur fixée de $A$ impaire, Eq.1 est équivalente a :

$$ {}^{A}_{Z}M - {}^{A}_{Z_0}M = a\left(Z - Z_0\right)^2, \qquad \textit{(Eq.2)}$$

${}^{A}_{Z_0}M$ désignant la masse d'un isobare fictif de charge $Z_0$ *non-nécessairement égale à un entier*.

En outre, $a$ désigne une constante. Montrer que le point de coordonnées ($Z_0$, ${}^{A}_{Z_0}M$ ) correspond à un minimum.

3. Ecrire et commenter la réaction nucléaire symbolisant une désintégration $\beta^-$. En utilisant *Eq.2*, montrer que l'énergie disponible pour une désintégration $\beta^-$ à partir du noyau *(A, Z)* est donnée par :

$$Q_{\beta^-} = 2ac^2\left(Z_0 - Z - \frac{1}{2}\right), \qquad \textit{(Eq.3)}$$

avec $c$ la célérité de la lumière dans le vide. Quelle relation doit-il exister entre $Z$ et $Z_0$ pour que l'émission $\beta^-$ soit énergétiquement possible ?

On rappelle l'expression de l'énergie seuil pour une désintégration $\beta^-$ à partir du noyau père *(A, Z), soit* $Q_{\beta^-} = \left({}^{A}_{Z}M - {}_{Z+1}^{A}M\right)c^2$.

4. Déterminer les valeurs numériques de $ac^2$ et de $Z_0$ correspondant à $A = 131$, sachant que les énergies disponibles pour les désintégrations $\beta^-$ de ${}^{131}_{52}Te$ et ${}^{131}_{53}I$ sont respectivement *2,28* et *0,97 MeV*.
5. Montrer que la relation approchée suivante existe entre les nombres $A$ et $Z$ pour les noyaux stables de $A$ impair :

$$\frac{A}{Z} = 1{,}98 + 0{,}015A^{2/3}. \qquad \text{(Eq.4)}$$

En déduire une valeur approchée du rapport $N / Z$ pour les noyaux lourds stables tel $A = 230$, $N$ représentant le nombre de neutrons. On donne les équivalents énergétiques des coefficients $a_a$ et $a_c$ : $a_a = 77{,}286$ *MeV* et $a_c = 0{,}584$ *MeV*.

Indication : calculer $\left.\frac{\partial\left({}^{A}_{Z}M\right)}{\partial Z}\right|_{A=cste}$ et situer les noyaux stables de A impairs par rapport aux points ($Z_0$, ${}^{A}_{Z_0}M$ ).