

PHYSIQUE ATOMIQUE ET SUBATOMIQUE
Examen du 02 juillet 2008
TOUT DOCUMENT INTERDIT – DUREE 3 HEURES

Structure hyperfine sur les états $n = 2$ du deutérium

Le deutérium est un isotope de l'hydrogène dont le noyau est composé d'un proton et d'un neutron. Le spin nucléaire est égal à 1.

1. Etablir l'expression générale de la correction énergétique due à l'interaction hyperfine à appliquer à un niveau de structure fine (n, l, j donnés). L'interaction hyperfine $H_{HF} = A\vec{I} \cdot \vec{J}$ est considérée comme une perturbation, \vec{I} désignant le spin nucléaire. On définit le moment cinétique total \vec{F} tel que $\vec{F} = \vec{I} + \vec{J}$.
2. Faire le recensement des états $n = 2$ en tenant compte de la structure hyperfine. Calculer les valeurs de $A\hbar^2$ en MHz.
3. Calculer les valeurs numériques -en MHz- de la correction énergétique associée à l'interaction hyperfine pour les états $n = 2$.
4. Pour les états $n = 2$ de même j mais de l différents, il existe un écart énergétique de 1059 MHz -effet Lamb-, essentiellement dû à l'augmentation d'énergie de l'état l le plus faible. En tenant compte de tous les effets énoncés ci-dessus – effets de structures fine, hyperfine et effet Lamb-, tracer le diagramme d'énergie correspondant aux états $n = 2$ recensés au 2). *Faire un schéma le plus clair possible même s'il n'est pas possible de respecter totalement les échelles.*

On donne:

$$A\hbar^2(\text{MHz}) \approx 81,7 \frac{1}{j(j+1)n^3(l+1/2)} \text{ pour l'atome de deutérium,}$$

$$\text{Correction de structure fine } \Delta E_{SF} = \frac{-mc^2 Z^4 \alpha^4}{2n^3} \left[\frac{2}{2j+1} - \frac{3}{4n} \right], \text{ avec } \alpha \approx 1/137,$$

$$\frac{mc^2 \alpha^2}{2} \approx 13,6 \text{ eV} \approx 3,29 \cdot 10^9 \text{ MHz.}$$

Evaluation d'un rayon nucléaire

Les noyaux ${}^{13}_7\text{N}$ et ${}^{13}_6\text{C}$ forment une paire de noyaux miroirs, noyaux qui ont des propriétés intéressantes, telle que la possibilité d'évaluer la valeur du rayon nucléaire unité à partir de l'énergie de désintégration β^+ du noyau père. On se place dans le cadre du modèle de la goutte liquide qui donne l'énergie de liaison B d'un nucléide (A, Z) quelconque selon :

$$B = a_1 A - a_2 A^{2/3} - a_3 Z^2 A^{-1/3} - a_4 (A - 2Z)^2 A^{-1} + \frac{1}{2} [1 + (-1)^A] (-1)^Z a_5 A^{-3/4}.$$

1. Expliquer brièvement l'origine des cinq termes qui apparaissent dans l'expression de l'énergie de liaison.
2. Montrer que le coefficient a_3 peut s'écrire $a_3 = \frac{3}{5} \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r_0}$, avec e la charge élémentaire, ϵ_0 la permittivité du vide telle que $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ S.I.}$ et r_0 le rayon nucléaire unité tel que le rayon d'un nucléide est donné par la relation $R = r_0 A^{1/3}$.
3. Montrer que la différence entre les énergies de liaison de deux noyaux miroirs X et Y se réduit aux termes coulombiens

4. Ecrire, pour ces deux noyaux, les relations entre énergies au repos des nucléides, des nucléons qui les constituent et énergies de liaison. On comparera ensuite la différence $(m_x - m_y)c^2$ à celle issue de la conservation de l'énergie totale lors de la désintégration β^+ .
5. Sachant que la valeur $T_{\beta_{\max}}$ de la désintégration du ${}^{13}_7N$ est de $1,200 \text{ MeV}$, calculer les valeurs numériques de a_3 et de r_0 .

On précise ${}_0^1m = 1,008665 u$, ${}_1^1m = 1,007825 u$, ainsi que la correspondance $1 u = 931,48 \text{ MeV}c^{-2}$.

Rayonnement de l' ${}^{108}_{47}Ag$

On analyse en détail les rayonnements émis par le nucléide ${}^{108}_{47}Ag$.

Le rayonnement principal est un rayonnement β^- d'énergie maximum $1,65 \text{ MeV}$. Certains β^- sont accompagnés d'un photon γ d'énergie $0,616 \text{ MeV}$ émis en coïncidence.

On détecte également un rayonnement de photons qui correspond à l'émission X du palladium, principalement la série X_K . Certains de ces photons X sont émis en coïncidence avec des photons γ soit avec un γ d'énergie $0,435 \text{ MeV}$, soit avec 2 γ de $0,602$ et $0,435 \text{ MeV}$ émis en cascade.

Enfin, on détecte quelques paires de photons γ de $0,511 \text{ MeV}$ chacun, émis en coïncidence à 180° . Ces paires ne sont pas émises en coïncidence avec d'autres γ .

Déduire de toutes ces observations le schéma complet de la désintégration de l' ${}^{108}_{47}Ag$. On tracera le diagramme détaillé des transitions *en respectant au mieux l'échelle des énergies*, énergies que l'on précisera en prenant celle de ${}^{108}_{47}Ag$ comme référence.

Outre un tableau périodique, on donne ${}^{108}_{46}M = 107,903892 u$, ${}^{108}_{47}M = 107,905956 u$ ainsi que ${}^{108}_{48}M = 107,904184 u$.

Assemblages de quarks

Les combinaisons de quarks qui forment le proton et le neutron sont respectivement (uud) et (udd) . Quelles sont les combinaisons de quarks:

1. de l'antiproton ?
2. de l'autineutron ?