PHYSIQUE SUBATOMIQUE

TD 7

Transitions isobariques

Première partie

1. Etablir la relation qui doit exister entre les masses des atomes neutres "père" et "fils" pour que le noyau "père" initial puisse donner un noyau "fils" isobare :

   (a) par émission β^-,

   (b) par émission β^+,

   (c) par capture électronique sur la couche K.
   Sachant que l'énergie de liaison d'un électron K dans les atomes les plus lourds n'excède jamais 150 keV, montrer que lorsque l'émission β^+ est énergétiquement permise, la capture électronique l'est également, mais que l'inverse n'est pas toujours vrai.

2. **Applications numériques**

   (a) Les β^- de désintégration du ${}^{141}_{58}$Ce se répartissent sur deux spectres dont les énergies cinétiques maximales sont respectivement 0,435 et 0,58 MeV. l'expérience montre d'autre part que 30 pourcents environ des β^- sont émis en coïncidence avec des photons γ d'énergie 0,145 MeV, *et qu'il n'existe pas d'autre émission* γ. Sachant, en outre, que la masse de l'atome neutre ${}^{141}_{59}$Pr est de 140,907596 u, calculer celle de ${}^{141}_{58}$Ce et faire le diagramme énergétique de la désintégration.
   Calculer également pour la désintégration β^- précédente, l'énergie cinétique du noyau de recul associé à l'émission d'un β^- d'énergie cinétique 0,58 MeV.

   (b) Quels modes de désintégration peut subir le noyau ${}^{64}_{29}$Cu ? Donner l'énergie maximale des rayonnements qui peuvent être émis.
   On donne les masses atomiques suivantes en unités u (1 u = 931,48 MeV) :
   M(${}^{64}_{28}$Ni) = 63,927958 u, M(${}^{64}_{29}$Cu) = 63,929759 u, M(${}^{64}_{30}$Zn) = 63,929145 u,
   ainsi que l'énergie de liaison d'un électron K dans l'atome Z = 28 :
   B_K (Z = 28) $\simeq$ 8,34 keV.

Deuxième partie

D'après la théorie statistique de Fermi, la probabilité qu'a un noyau radioactif β d'émettre un électron dont l'énergie totale relativiste est comprise entre E et E + dE s'écrit :

$$P(E)dE = a[(E_0 - E)^2 - m_\nu^2 c^4]^{1/2}[E^2 - m_e^2 c^4]^{1/2}(E_0 - E)dE,$$

avec :
a : expression complexe que nous supposerons, pour simplifier, indépendante de l'énergie E,
m_ν et m_e : respectivement masses du neutrino et de l'électron,
E_0 : énergie totale se répartissant entre le neutrino et l'électron.

1. Etudier la forme du spectre énergétique des β correspondant à une transition donnée, au voisinage du "point final" de ce spectre - point correspondant à l'énergie maximale des β -, selon que la masse au repos du neutrino est nulle ou finie.
2. L'expérience et la théorie s'accordant pour attribuer une masse nulle au neutrino, montrer la relation

$$[\frac{N(p)}{p^2}]^{1/2} = f(T_\beta).$$

p et T_β désigne respectivement l'impulsion et l'énergie cinétique de l'électron. N(p), le spectre d'impulsion des β émis, a une forme simple qui permet de déduire aisément l'énergie cinétique $(T_\beta)_{max}$ correspondant au point final du spectre. La courbe correspondant à la relation ci-dessus porte le nom de diagramme de Kurie-Fermi.

Pour BR (en Tesla-mètres) compris entre :	**Nombre de β enregistrés par seconde**
0 et 5 10^{-4}	42
5 10^{-4} et 1 10^{-3}	81
1 10^{-3} et 1,5 10^{-3}	126
1,5 10^{-3} et 2 10^{-3}	174
2 10^{-3}et 2,5 10^{-3}	228
2,5 10^{-3} et 3 10^{-3}	273
3 10^{-3}et 3,5 10^{-3}	282
3,5 10^{-3} et 4 10^{-3}	273
4 10^{-3}et 4,5 10^{-3}	246
4,5 10^{-3} et 5 10^{-3}	204
5 10^{-3} et 5,5 10^{-3}	147
5,5 10^{-3} et 6 10^{-3}	93
6 10^{-3} et 6,5 10^{-3}	36
6,5 10^{-3} et 7 10^{-3}	9

3. **Application.** Dans un spectromètre β semi-circulaire, les électrons soumis à une induction magnétique uniforme **B** décrivent un demi-cercle de rayon R entre la fente d'entrée et la fente de sortie. La distance entre ces deux fentes est d = 20 cm, et l'induction peut varier entre 0 et 0,1 T. Une source radioactive β^-, constituée par du phosphore $^{32}_{15}P$ se trouve devant la fente d'entrée et un détecteur β est placé devant la fente de sortie. On fait varier lentement l'induction **B** et un dispositif intégrateur permet de mesurer le nombre d'électrons qui arrive pendant un temps donné sur le détecteur en fonction du produit BR. L'expérience conduit aux résultats du tableau suivant :
   (a) A l'aide des résultats précédents, construire le diagramme de Kurie-Fermi, et déterminer l'énergie cinétique maximale du spectre β^-.
   Note : si dans la bande d'énergie cinétique T_β - T_β + ΔT_β, le nombre de β enregistrés est N, le diagramme de Kurie-Fermi est obtenu en portant la quantité$\sqrt{N/p^2}$ au point d'abscisse moitié, T_β + $\Delta T_\beta/2$, l'impulsion p ayant la valeur correspondant à cette abscisse.

(b) Aucun rayonnement γ n'accompagnant l'émission des β^-, déterminer la masse atomique du soufre ${}^{32}_{16}$S, sachant que l'on a M(${}^{32}_{15}$P) = 31,973909 u. Donner finalement une estimation de l'erreur sur cette détermination.

Particules fondamentales

1. Trouver quelles combinaisons de quarks u et d sont nécessaires pour former des baryons de charges -e, 0, e et 2e.
2. Montrer pourquoi on a jamais observé de mesons de charge 2e ou des baryons de charge -2e.
3. Estimer les masses des quarks u, d et s dans les baryons à partir des masses du proton, du neutron et de la particule Λ (pour ce faire, on ignorera les interactions entre les différents quarks).

   On donne:

   m_p=938.3 MeV

   m_n=939.6 MeV

   m_Λ=1116 MeV