UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

Année Universitaire 2009-2010
L3 : parcours Physique
Licence Physique et Sciences pour l'Ingénieur
Examen Physique Subatomique
(1ère session 11 mai 2010, durée 2 heures)

UFR Physique & Ingénierie

Exercice 1 : Filiations Radioactives

Soit la filiation radioactive suivante :

$${}^{140}_{56}\mathrm{Ba} \xrightarrow{\lambda_1} {}^{140}_{57}\mathrm{La} \xrightarrow{\lambda_2} {}^{140}_{58}\mathrm{Ce} \ \text{(stable)}$$

On donne la période du ^{140}Ba : T_1 = 306 h et la période du ^{140}La : T_2 = 40,28h.
On dispose à t = 0 de 5 mCi de ^{140}Ba radiochimiquement pur (il est en particulier séparé de ses descendants).

1. Donner le type de désintégrations pour chaque décroissance de la filiation.
2. Calculer la valeur de t_m, temps au bout duquel l'activité du ^{140}La sera maximale.
3. Lorsque t = t_m, on effectue une séparation chimique Ba-La. Quelle sera l'activité de la source de ^{140}La ainsi préparée ? Représenter l'allure de l'activité du ^{140}Ba et celle du ^{140}La en fonction du temps.
4. On attend à nouveau que l'activité de ^{140}La qui se forme à partir du ^{140}Ba soit maximale et on extrait le ^{140}La. Calculer l'activité de la source de ^{140}La ainsi préparée.

Exercice 2 : Cinématique de réaction nucléaire

1. Soit la réaction nucléaire :

$$\mathrm{p} + {}^{12}\mathrm{C} \longrightarrow {}^{12}\mathrm{N} + \mathrm{n}$$

dont l'énergie de réaction est Q = -45,15 MeV.
On donne : M_n = 1,0086 u.m.a
M_C = 12 u.m.a
M_N = 12,0477 u.m.a
1 u.m.a = 931,494 MeV/c²
Déterminer la masse du proton en MeV/c².

2. On bombarde une cible de $^{12}\mathrm{C}$ par un faisceau de protons de 6 MeV (choc inélastique). Le phénomène est observé dans le système du laboratoire.
   a. Expliquer pourquoi cette réaction ne peut avoir lieu qu'à partir d'une certaine énergie seuil.
   b. Déterminer la vitesse du centre de masse et faire l'application numérique.
   c. Déterminer l'énergie cinétique du $^{12}\mathrm{C}$ dans le système du centre de masse et faire l'application numérique.
   d. Déterminer la valeur de la vitesse du neutron en fonction de son angle de diffusion θ et de la masse des noyaux.
   Pour cette question, on fera l'approximation que M_n = M_p =1 u.m.a

3. On considère maintenant une diffusion coulombienne d'une particule α d'énergie cinétique initiale T_0 = 5 MeV et de vitesse initiale $\vec{v}_0 = v_0\vec{u}_x$ sur un noyau d'or ${}^{197}_{79}\mathrm{Au}$ (expérience de Rutherford).
On suppose le noyau d'or placé à l'origine du repère (O, x, y).
   a. Faire un schéma de la diffusion.
   b. Sachant que la distance minimale d'approche a_0 est définie pour un choc en plein fouet (paramètre d'impact b = 0), démontrer que a_0 est donnée par

$$a_0 = \frac{k}{T_0}$$

   Où k est une constante à déterminer.
   Montrer que a_0 est bien homogène à une distance et calculer sa valeur.

c. En utilisant la conservation du moment cinétique et les équations du mouvement, montrer que la projection sur l'axe Oy de l'accélération s'écrit :

$$\frac{dv_y}{dt} = \frac{k}{mv_0 b}\frac{d\varphi}{dt}\sin\varphi$$

m et φ désignent respectivement la masse de la particule alpha et l'angle des coordonnées polaire (entre la particule α et l'axe Ox).

d. Déterminer la relation liant l'angle de diffusion θ de la particule alpha au paramètre d'impact b et à a_0.

On donne la permittivité du vide dans le système MKSA :

$\varepsilon_0 = 8,85.10^{-12}\ m^{-3}.kg^{-1}.s^4.A^2$

Exercice 3 : interaction gamma-matière

1. On place devant un détecteur NaI(Tl) une source radioactive de ^{60}Co de 1 Ci d'activité émettant deux raies gamma $E_{\gamma 1}$ = 1,17 MeV et $E_{\gamma 2}$ = 1,33 MeV
   a. Sachant que $^{60}_{27}Co$ se désintègre en $^{60}_{28}Ni$, donner le type de cette désintégration et écrire son équation.
   b. Lister les différents pics qu'on observe dans le spectre de la source de ^{60}Co.
   c. Déterminer le débit de dose sachant qu'il est donné par l'expression :

$$\dot{D}_r = \frac{A_c}{r^2}\left(K_1 + K_2\right)$$

   A_c est l'activité de la source radioactive supposée ponctuelle, r est la distance source-détecteur. K_1 et K_2 sont des facteurs de pondération respectifs de $E_{\gamma 1}$ et $E_{\gamma 2}$.
2. On place maintenant entre la source et le détecteur un écran en plomb d'épaisseur d = 5 cm. La distance source-détecteur est r = 10 cm.
   a. Déterminer les épaisseurs nécessaires pour que l'intensité de chaque énergie ($E_{\gamma 1}$ et $E_{\gamma 2}$) du faisceau soit atténuée de moitié.
   b. On se propose de calculer l'épaisseur d'une plaque d'Aluminium. On expose la plaque au même faisceau et on constate que l'intensité est réduite de 10% de sa valeur initiale. Calculer l'épaisseur de la plaque en question.

On donne :

$K_1 = 1,76.10^{-9}\ \frac{Gy.cm^2}{h.Bq}$ $\qquad$ $K_2 = 1,95.10^{-9}\ \frac{Gy.cm^2}{h.Bq}$

Masse volumique

ρ_{Pb} = 11,35 g/cm^3 $\qquad$ ρ_{Al} = 2,70 g/cm^3

Coefficients d'absorption massiques des γ_1 et γ_2 dans le plomb :

$\frac{\mu_1}{\rho_{Pb}}$ = 0,0587 cm²/g $\qquad$ $\frac{\mu_2}{\rho_{Pb}}$ = 0,0541 cm²/g

Coefficients d'absorption des γ_1 et γ_2 dans l'aluminium :

$\frac{\mu_1}{\rho_{Al}}$ = 0,0566 cm²/g $\qquad$ $\frac{\mu_2}{\rho_{Al}}$ = 0,0530 cm²/g