Pondichéry 2008 Exercice n°2 : Quelques propriétés du plutonium 241 (5 points)

2.1 Généralités :

On relève dans la littérature spécialisée :

Les minerais d'uranium (U) contiennent essentiellement 2 isotopes dans les proportions : 99,3% d'uranium 238 et 0,7% d'uranium 235.
Le combustible des centrales nucléaires est un mélange enrichi en uranium 235, c'est-à-dire que la proportion de l'isotope 235 est supérieure à 0,7% (et celle du 238 inférieure à 99,3%). En effet, seuls les noyaux d'uranium 235 sont fissiles, c'est-à-dire susceptibles de subir une fission nucléaire sous l'action d'un neutron.
Le plutonium (Pu) n'existe pas dans la nature. Le plutonium 241 est un sous-produit obtenu, dans les réacteurs des centrales nucléaires, à partir de l'uranium 238. On peut en effet schématiser la formation d'un noyau de plutonium 241 par l'équation de réaction nucléaire suivante :

$$^{238}_{92}\mathrm{U} + x\ \mathrm{n} \rightarrow {}^{241}_{94}\mathrm{Pu} + y\ \beta^{-} \quad (1)$$

n est le symbole d'un neutron et β^- celui d'une particule émise et
x et y sont des coefficients entiers à déterminer.
Une fois formé, le plutonium 241 est lui-même fissile sous l'action d'un bombardement neutronique. De plus, il est émetteur β^- avec une demi-vie de l'ordre d'une dizaine d'années (une valeur plus précise fait l'objet d'une question).

2.1.1 Définir les termes suivants :
- 2.1.1.a noyaux isotopes ;
- 2.1.1.b fission nucléaire ;
- 2.1.1.c demi-vie.

2.1.2 Préciser le nombre de masse et le numéro atomique de chacune des deux particules, neutron et β^-.
Expliciter pour chaque particule la notation $^{A}_{Z}\mathrm{X}$.

2.1.3 Déterminer les valeurs de x et de y dans l'équation (1).

2.2 Détermination des énergies libérées lors de transformations du plutonium 241 :

On donne les valeurs numériques qui suivent (u est le symbole de l'unité de masse atomique) :

- célérité de la lumière dans le vide : $c = 3{,}00.10^{8}\ \mathrm{m.s^{-1}}$
- charge élémentaire : $e = 1{,}602177.10^{-19}\ \mathrm{C}$
- unité de masse atomique : $1u = 1{,}66054.10^{-27}\ \mathrm{kg}$
- masse du neutron : $m(n) = 1{,}00866\ u$
- masse de la particule β^- : $m(\beta) = 0{,}00055\ u$
- masse du noyau de plutonium 241 : $m(Pu) = 241{,}00514\ u$
- masse du noyau d'américium 241 : $m(Am) = 241{,}00457\ u$
- masse du noyau d'yttrium 98 : $m(Y) = 97{,}90070\ u$
- masse du noyau de césium 141 : $m(Cs) = 140{,}79352\ u$

En outre, dans la relation d'équivalence masse énergie, à une masse égale à une unité de masse atomique correspond une énergie égale à 931,494 MeV.

2.2.1 Fission du plutonium 241 :

Elle se fait selon l'équation :

$$^{241}_{94}Pu + n \rightarrow {}^{141}_{55}Cs + {}^{98}_{39}Y + 3\,n \qquad (2)$$

2.2.1.a Déterminer en MeV la valeur de l'énergie E_F libérée lors de la fission d'un noyau de plutonium 241.

2.2.1.b On dit parfois qu'une réaction de ce type peut donner une réaction en chaîne. Pouvez-vous justifier ce terme ?

2.2.2 Désintégration β^- du plutonium 241

Le plutonium 241 est aussi un émetteur β^-. La désintégration se fait selon l'équation :

$$^{241}_{94}Pu \rightarrow {}^{241}_{95}Am + \beta^- \qquad (3)$$

Déterminer en MeV la valeur de l'énergie E_D libérée lors de la désintégration β^- d'un noyau de plutonium 241.

2.2.3 Comparaison

2.2.3.a Comparer E_F et E_D et calculer le rapport E_F/E_D.

2.2.3.b Les physiciens nucléaires affirment que l'interaction entre nucléons appelée interaction forte est responsable de la fission alors que l'interaction qui s'exerce entre un nucléon comme le neutron et un électron appelée interaction faible est responsable de la désintégration β^-. Ces termes vous paraissent-ils justifiés ?

2.3 Étude expérimentale de la radioactivité du Plutonium 241 :

Une étude de l'activité d'un échantillon contenant du plutonium 241 permet d'obtenir à différentes dates le rapport du nombre de noyaux non encore désintégrés N à la population initiale N_0 de noyaux dans l'échantillon. Les résultats expérimentaux ont été consignés dans le tableau ci-dessous :

t (ans)	0	3	6	9	12
N/N_0	1	0,85	0,73	0,62	0,53

2.3.1 Rappeler la loi de décroissance radioactive qui représente l'évolution de la population moyenne d'un ensemble de noyaux radioactifs.

2.3.2 Par une méthode de votre choix, graphique (en utilisant éventuellement la feuille de papier millimétrique fournie avec le texte) ou numérique, déterminer la valeur du temps de demi-vie $t_{1/2}$ du plutonium 241.

Si la feuille de papier millimétré est utilisée pour déterminer la valeur de $t_{1/2}$, ne pas oublier de la rendre avec la copie.