EXERCICE II. L'AMERICIUM 241 ET QUELQUES UTILISATIONS INDUSTRIELLES (5,5 points)
Mars 2011 Bac S Nouvelle Calédonie Rattrapage 2010
CALCULATRICE INTERDITE

Une des utilisations industrielles de l'américium 241 est la production de sources de neutrons dans les réacteurs nucléaires pour amorcer la réaction de fission.
D'autre part, certains détecteurs de fumée, équipant encore de nombreuses installations industrielles, malgré les difficultés de recyclage, utilisent aussi l'américium 241.

L'américium est un élément dont l'isotope 241 n'existe pas à l'état naturel. Il est produit dans les réacteurs nucléaires à partir du plutonium 241(^{241}Pu) par désintégration β.

Dans cet exercice, nous étudierons ces deux utilisations : les sources de neutrons et les détecteurs de fumée.

Données:
- extraits de la classification périodique des éléments :

$_3$Li lithium	$_4$Be béryllium	$_5$B bore	$_6$C carbone	$_7$N azote	$_8$O oxygène	$_9$F fluor

$_{92}$U uranium	$_{93}$Np neptunium	$_{94}$Pu plutonium	$_{95}$Am américium	$_{96}$Cm curium	$_{97}$Bk berkélium	$_{98}$Cf californium

- valeur du temps de demi-vie de l'américium 241 : $t_{1/2}$ = 433 années ;
- masse molaire de l'américium 241 : M(^{241}Am) = 241 g.mol^{-1} ;
- constante d'Avogadro : N_A = 6,0 x 10^{23} mol^{-1}.

1. Obtention de l'américium 241
1.1. Énoncer les règles de conservation qui permettent d'écrire l'équation d'une réaction nucléaire.

1.2. En vous aidant des données, écrire l'équation de la réaction de désintégration β donnant naissance à l'américium 241 à partir du plutonium 241.

1.3. L'américium 241 et le plutonium 241 sont-ils des isotopes ? Justifier.

2. Désintégration de l'américium 241
2.1. Lors de la désintégration d'un noyau d'américium 241, on obtient un noyau de neptunium 237 et une particule.
Écrire l'équation de cette réaction nucléaire en vous aidant des données. Comment nomme-t-on ce type de désintégration ?

2.2. Le noyau de neptunium est obtenu dans un état excité. Quelle est la nature du rayonnement alors émis ? Quelle est son origine ?

2.3. La loi de décroissance du nombre $N(t)$ de noyaux radioactifs d'un échantillon s'exprime par la relation: $N(t) = N_0\, e^{-\lambda t}$.

2.3.1. Que représentent les grandeurs N_0 et λ ? Préciser l'unité de ces grandeurs dans le système international.

2.3.2. Citer les trois paramètres dont dépend le nombre de désintégrations dans un échantillon.

2.4. L'activité $A(t)$ d'un échantillon radioactif peut s'exprimer par la relation suivante $A(t) = \lambda.N(t)$.

2.4.1. En déduire la loi de décroissance de l'activité $A(t)$.

2.4.2. Que représente une activité d'un becquerel ?

2.4.3. On prépare à partir d'un échantillon d'américium 241 deux sources secondaires : une première de masse m et une seconde de masse $2m$. Ont-elles la même activité ? Justifier.

2.5. La valeur du temps de demi-vie d'un échantillon d'américium 241 est d'environ 433 années.

2.5.1. Définir le temps de demi-vie radioactive $t_{1/2}$ d'un échantillon.

2.5.2. En déduire, en fonction de son activité présente notée A_0, l'activité d'un échantillon de masse m d'américium 241 : 433 ans plus tard, 1299 ans plus tard.

3. Utilisations industrielles de l'américium 241

3.1. Source de neutrons

Le mélange béryllium - américium sert de source de neutrons pour amorcer des réactions de fission.

Le béryllium 9 réagit avec les particules α émises par l'américium 241 pour donner un noyau ${}^{A}_{Z}X$ et un neutron.

3.1.1. À l'aide du tableau dans les données, écrire l'équation de cette réaction et déterminer la nature du noyau ${}^{A}_{Z}X$.

3.1.2. Les réacteurs nucléaires exploitent l'énergie dégagée par les nombreuses réactions de fission possibles comme par exemple : ${}^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{91}_{36}Kr + {}^{142}_{56}Ba + 3\,{}^{1}_{0}n$

a. En s'appuyant sur l'exemple, définir une réaction de fission nucléaire.

b. Expliquer pourquoi la source d'américium n'est utile qu'au démarrage de la réaction nucléaire.

3.2. Détecteur de fumée

Un détecteur de fumée est constitué d'une chambre de détection dans laquelle se trouvent deux électrodes sous tension et une source contenant quelques dixièmes de milligrammes d'américium (**figure 4**).

Le rayonnement α produit lors de la désintégration de l'américium ionise les molécules contenues dans l'air de la chambre de détection. Les ions et les électrons obtenus sont attirés par la plaque positive ou négative suivant le signe de leur charge. L'ampèremètre détecte un courant dans le circuit.

Quand de la fumée entre dans la chambre de détection, les ions et les électrons se fixent sur les particules contenues dans la fumée. La modification de la valeur de l'intensité du courant déclenche l'alarme.

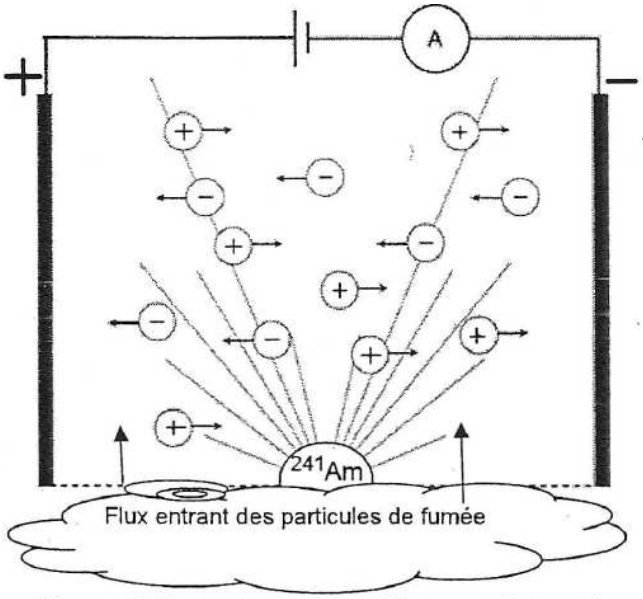


Figure 4. Vue en coupe du détecteur de fumée

Afin de déterminer la masse d'américium contenue dans un détecteur, on mesure l'activité de l'échantillon à un instant de date t_0. On trouve $A_0 = 2{,}1 \times 10^7$ Bq.

3.2.1. En vous référant aux questions 2.3 et 2.5.1, montrer que la relation entre la constante de désintégration λ et le temps de demi-vie $t_{1/2}$ est : $\lambda = \dfrac{\ln 2}{t_{1/2}}$.

3.2.2. En utilisant la relation donnée en 2.4, calculer le nombre N_0 de noyaux présents au moment de la mesure. On donne ln 2 = 0,7 et on considère que 433 années valent 10^{10} s.

3.2.3. En déduire la quantité de matière n_0 d'américium 241 ainsi que la masse m_0 de l'échantillon en grammes.