# Les Curie

Bac S 2011 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 1 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

**1.1** Donner la définition du becquerel, unité de mesure utilisée en radioactivité.

Le becquerel (Bq) est l'unité de l'activité d'un échantillon radioactif.

$1\ \text{Bq}$ = une désintégration par seconde.

**1.2.1** Donner la composition du noyau de radium 226.

**Données utiles** $^{226}_{88}\text{Ra}$

Dans l'écriture $^{A}_{Z}\text{X}$, $Z = 88$ est le nombre de protons et $A = 226$ le nombre de nucléons. Nombre de neutrons : $A - Z = 226 - 88 = 138$.

Le noyau de radium 226 contient **88 protons** et **138 neutrons**.

**PIÈGE**
Annoncer 226 neutrons : $A$ compte tous les nucléons, protons compris. Un noyau ne contient pas d'électrons.

**1.2.2** Écrire l'équation de la réaction de désintégration du radium et préciser le type de radioactivité.

**Données utiles** $^{226}_{88}\text{Ra}$ ; $^{222}_{86}\text{Rn}$

On note $^{A}_{Z}\text{X}$ la particule émise avec le radon : $^{226}_{88}\text{Ra} \longrightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + {}^{A}_{Z}\text{X}$.

Conservation du nombre de nucléons : $226 = 222 + A$, donc $A = 4$.

Conservation du nombre de charge : $88 = 86 + Z$, donc $Z = 2$.

La particule émise est un noyau d'hélium 4, appelé particule $\alpha$.

$^{226}_{88}\text{Ra} \longrightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + {}^{4}_{2}\text{He}$ : radioactivité $\alpha$.

**MÉTHODE**
Pour toute équation nucléaire : écrire la particule inconnue $^{A}_{Z}\text{X}$, appliquer les deux lois de conservation (lois de Soddy), puis identifier la particule grâce à $Z$.

**1.2.3** Expliquer la présence du rayonnement $\gamma$ émis lors de la désintégration du radium. Quelle information fournit-elle sur le noyau ?

**Données utiles** $\lambda = 6{,}54 \times 10^{-12}$ m ; $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s$^{-1}$

Le noyau de radon formé est dans un état excité, noté $^{222}_{86}\text{Rn}^{*}$. Il revient à son état fondamental en cédant son excédent d'énergie sous la forme d'un photon $\gamma$ :

$$^{222}_{86}\text{Rn}^{*} \longrightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + \gamma$$

L'énergie de ce photon est égale à l'écart entre les deux niveaux d'énergie du noyau de radon :

$$\Delta E = \frac{h\,c}{\lambda} = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{6{,}54 \times 10^{-12}} = 3{,}04 \times 10^{-14}\ \text{J}$$

Le rayonnement $\gamma$ montre que le noyau fils est produit dans un état excité ; sa longueur d'onde donne l'énergie d'excitation, $\Delta E = 3{,}04 \times 10^{-14}$ J.

**PIÈGE**
Faire figurer le rayonnement $\gamma$ comme origine de la désintégration. Il en est la conséquence : il n'est émis qu'après, par le noyau fils, et ne change ni $A$ ni $Z$.

**COMPRENDRE**
Trois chiffres significatifs, comme $h$, $c$ et $\lambda$. Comme pour l'atome, les niveaux d'énergie du noyau sont quantifiés : le photon émis a une longueur d'onde bien définie.

**À LA CALCULATRICE**

rad CALCULS

$$\frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{6.54 \times 10^{-12}} \approx 3.041284 \times 10^{-14}$$

**1.3** Déterminer, en joules, l'énergie $E$ libérée par la désintégration d'un noyau de radium.

**Données utiles** $m(\text{Ra}) = 225{,}9791$ u ; $m(\text{Rn}) = 221{,}9703$ u ; $m(\text{He}) = 4{,}00150$ u ; $1\text{ u} = 1{,}66606 \times 10^{-27}$ kg ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

Variation de masse au cours de la désintégration :

$\Delta m = m(\text{Rn}) + m(\text{He}) - m(\text{Ra}) = 221{,}9703 + 4{,}00150 - 225{,}9791 = -0{,}0073$ u

La masse diminue : l'énergie libérée vaut $E = |\Delta m|\, c^2$, avec $|\Delta m|$ en kilogrammes.

$$E = 0{,}0073 \times 1{,}66606 \times 10^{-27} \times (3{,}00 \times 10^{8})^2$$

$\boxed{E = 1{,}1 \times 10^{-12}\ \text{J}}$

**À LA CALCULATRICE**

rad CALCULS

$221.9703 + 4.00150 - 225.9791 \approx -0.0073$

$0.0073 \times 1.66606 \times 10^{-27} \times (3.00 \times 10^{8})^2 \approx 1.094601 \times 10^{-12}$

**PIÈGE**
Arrondir les masses avant de les soustraire : toute l'information est dans les dernières décimales. Laisser $\Delta m$ en u dans $E = |\Delta m|\, c^2$ donne un résultat faux.

**COMPRENDRE**
Deux chiffres significatifs seulement : la soustraction de masses connues à $10^{-4}$ u près ne laisse que $0{,}0073$ u. La variation d'énergie du système, $\Delta m\, c^2$, est négative ; l'énergie libérée, reçue par l'extérieur, est positive.

**COMPRENDRE**
La valeur de l'unité de masse atomique donnée par le sujet est inexacte (valeur admise : $1{,}66054 \times 10^{-27}$ kg). On applique la donnée de l'énoncé ; avec deux chiffres significatifs, le résultat est le même.

**1.4.1** Déterminer le nombre $N$ de noyaux de radium présents dans l'échantillon de 1,00 g.

**Données utiles** $m = 1{,}00$ g ; $M = 226{,}0\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ; $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$

Quantité de matière de radium : $n = \dfrac{m}{M}$. Nombre de noyaux : $N = n\, N_A$, soit

$$N = \frac{m}{M}\, N_A = \frac{1{,}00}{226{,}0} \times 6{,}02 \times 10^{23}$$

$\boxed{N = 2{,}66 \times 10^{21}\ \text{noyaux}}$

**À LA CALCULATRICE**

rad CALCULS

$\dfrac{1.00}{226.0} \times 6.02 \times 10^{23} \approx 2.663717 \times 10^{21}$

**COMPRENDRE**
Autre chemin possible : diviser la masse de l'échantillon par celle d'un noyau, $225{,}9791$ u convertie en grammes. On obtient aussi $2{,}66 \times 10^{21}$ noyaux.

**1.4.2** Calculer le temps de demi-vie $t_{1/2}$ du radium et vérifier que $t_{1/2} = 1{,}58 \times 10^{3}$ années.

**Données utiles** $A = 3{,}70 \times 10^{10}$ Bq ; $N = 2{,}66 \times 10^{21}$ (1.4.1) ; $\lambda\, t_{1/2} = \ln 2$ ; 1 an = 365,25 j

L'activité est liée au nombre de noyaux par $A = \lambda\, N$, donc $\lambda = \dfrac{A}{N}$.

Avec $\lambda\, t_{1/2} = \ln 2$ : $\quad t_{1/2} = \dfrac{\ln 2}{\lambda} = \dfrac{N \ln 2}{A}$

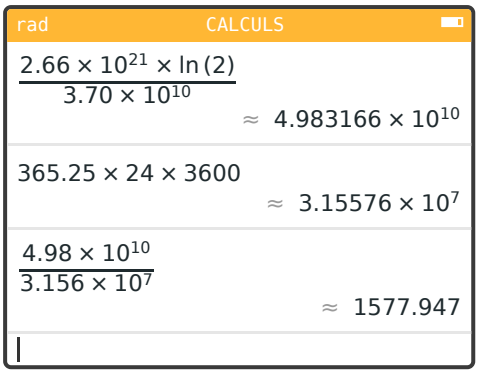
$$t_{1/2} = \frac{2{,}66 \times 10^{21} \times \ln 2}{3{,}70 \times 10^{10}} = 4{,}98 \times 10^{10}\ \text{s}$$

Une année dure $365{,}25 \times 24 \times 3600 = 3{,}156 \times 10^{7}$ s, d'où $t_{1/2} = \dfrac{4{,}98 \times 10^{10}}{3{,}156 \times 10^{7}}$.

$\boxed{t_{1/2} = 1{,}58 \times 10^{3}\ \text{années : c'est bien la valeur annoncée.}}$

**PIÈGE**
Diviser par 365,25 seulement : on convertit des secondes en années, il faut aussi le facteur $24 \times 3600$. L'activité en becquerels impose $\lambda$ en $\text{s}^{-1}$, donc $t_{1/2}$ en secondes.

À LA CALCULATRICE




**1.4.3** Au bout de combien de temps les trois quarts des noyaux de radium seront-ils désintégrés ?

**Données utiles** $t_{1/2} = 1{,}58 \times 10^3$ années (1.4.2)

Si les $\frac{3}{4}$ des noyaux sont désintégrés, il en reste $\frac{1}{4}$ : $N(t) = \frac{N_0}{4} = \frac{N_0}{2^2}$.

Le nombre de noyaux restants est divisé par 2 à chaque demi-vie : il est divisé par 4 au bout de deux demi-vies.

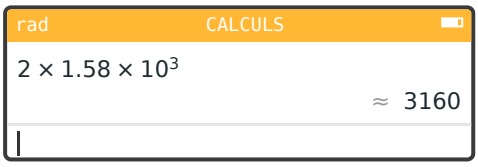
$t = 2\,t_{1/2} = 2 \times 1{,}58 \times 10^3$

$t = 3{,}16 \times 10^3$ années

**PIÈGE**
Répondre $1{,}5\,t_{1/2}$ en raisonnant par proportionnalité. La décroissance est exponentielle : on raisonne sur les noyaux restants, pas sur les noyaux désintégrés.

**MÉTHODE**
Vérification par la loi de décroissance : $N_0\,e^{-\lambda t} = \frac{N_0}{4}$ donne $t = \frac{\ln 4}{\lambda} = \frac{2\ln 2}{\lambda} = 2\,t_{1/2}$.

À LA CALCULATRICE




**2.1.1** Quelle est la différence entre la radioactivité naturelle et la radioactivité artificielle ?

Dans les deux cas, un noyau instable se désintègre spontanément. La différence porte sur l'origine du noyau.

- Radioactivité naturelle : le noyau radioactif existe dans la nature (radium 226, uranium, polonium).
- Radioactivité artificielle : le noyau radioactif n'existe pas dans la nature, il a été fabriqué par l'homme (phosphore 30).

La différence est l'origine du noyau radioactif : présent dans la nature, ou produit artificiellement.

**PIÈGE**
Écrire que la désintégration artificielle est « provoquée ». Seule la fabrication du noyau l'est : une fois produit, le phosphore 30 se désintègre spontanément, comme le dit le texte.

**2.1.2** Pourquoi le phosphore 30 est-il dit isotope du phosphore 31 ?

**Données utiles** ${}^{30}_{15}\mathrm{P}$ ; ${}^{31}_{15}\mathrm{P}$

Les deux noyaux ont le même nombre de protons, $Z = 15$ : ils appartiennent au même élément, le phosphore. Ils n'ont pas le même nombre de neutrons : $30 - 15 = 15$ pour le phosphore 30, $31 - 15 = 16$ pour le phosphore 31.

Même nombre de protons (15), nombres de neutrons différents (15 et 16) : ce sont des isotopes.

**2.2.1** Donner le nom et le symbole de la particule émise lors d'une désintégration $\beta^+$.

La particule émise est un **positon** (ou positron), de symbole ${}^{0}_{1}\mathrm{e}$.

**COMPRENDRE**
Le positon est l'antiparticule de l'électron : même masse, charge opposée $+e$. L'écriture $Z = 1$ traduit cette charge, pas la présence d'un proton, puisque $A = 0$.

**2.2.2** Écrire l'équation de la désintégration du phosphore 30 en indiquant les lois utilisées.

**Données utiles** ${}^{30}_{15}\mathrm{P}$ ; ${}^{30}_{14}\mathrm{Si}$ ; positon ${}^{0}_{1}\mathrm{e}$ (2.2.1)

Lois utilisées (lois de Soddy) :

- conservation du nombre de nucléons : $30 = 30 + 0$ ;
- conservation du nombre de charge : $15 = 14 + 1$.

$${}^{30}_{15}\mathrm{P} \longrightarrow {}^{30}_{14}\mathrm{Si} + {}^{0}_{1}\mathrm{e}$$

**COMPRENDRE**
Le nombre de nucléons ne change pas mais $Z$ diminue d'une unité : dans le noyau, un proton s'est transformé en neutron.

**2.2.3** Y a-t-il émission d'un rayonnement lors de la désintégration du phosphore 30 ? Justifier.

D'après le texte, le noyau de silicium 30 est obtenu directement dans son état fondamental. Il n'est pas excité : il n'a aucun excédent d'énergie à céder sous forme de photon.

Il n'y a pas d'émission de rayonnement $\gamma$ ; seul un positon est émis.

**MÉTHODE**
Même raisonnement qu'en 1.2.3, en sens inverse : rayonnement $\gamma$ si le noyau fils est formé excité, aucun s'il est formé dans son état fondamental.