La découverte de la radioactivité artificielle

Bac S 2007 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 3 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1.1 Définir un noyau radioactif.

Un noyau radioactif est un noyau **instable** : il se désintègre **spontanément** en un autre noyau, en émettant une particule (et souvent un rayonnement γ).

COMPRENDRE
La désintégration est aléatoire pour un noyau donné : on ne peut pas prévoir sa date. Seul le comportement d'un grand nombre de noyaux suit une loi (partie 3).

1.2 Qu'est-ce qu'une particule alpha ?

Une particule alpha est un **noyau d'hélium 4**, noté $^{4}_{2}\mathrm{He}$: 2 protons et 2 neutrons.

PIÈGE
Écrire « un atome d'hélium ». La particule α n'a pas d'électrons : c'est le noyau seul, de charge $+2e$.

1.3 Dans la notation $^{A}_{Z}\mathrm{X}$, préciser ce que représentent A et Z.

A est le **nombre de nucléons** (ou nombre de masse) : protons et neutrons du noyau.

Z est le **nombre de protons** du noyau (numéro atomique, ou nombre de charge).

A : nombre de nucléons ; Z : nombre de protons ; le noyau contient $A - Z$ neutrons.

1.4 Écrire l'équation de la réaction nucléaire correspondant à l'émission alpha du polonium 210.

Données utiles $^{210}_{84}\mathrm{Po}$; tableau : $^{208}_{80}\mathrm{Hg}$, $^{206}_{82}\mathrm{Pb}$, $^{214}_{86}\mathrm{Rn}$, $^{212}_{88}\mathrm{Ra}$

Le polonium émet un noyau d'hélium : $^{210}_{84}\mathrm{Po} \longrightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{A}_{Z}\mathrm{X}$.

Conservation du nombre de nucléons : $210 = 4 + A$, donc $A = 206$.

Conservation du nombre de charge : $84 = 2 + Z$, donc $Z = 82$: c'est le plomb 206 du tableau.

$$^{210}_{84}\mathrm{Po} \longrightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{206}_{82}\mathrm{Pb}$$

MÉTHODE
Désintégration α : le noyau fils a 4 nucléons et 2 protons de moins que le noyau père. On cherche ensuite l'élément de numéro atomique $Z - 2$.

2.1 Donner la notation $^{A}_{Z}\mathrm{X}$ du noyau de phosphore évoqué dans le texte.

Données utiles texte : 15 protons et 15 neutrons

$Z = 15$ et $A = 15 + 15 = 30$.

$$^{30}_{15}\mathrm{P}$$

PIÈGE
Placer en haut le nombre de neutrons. Le nombre du haut est A, somme des protons et des neutrons.

2.2 Recopier et compléter l'équation de la transmutation de l'aluminium en un isotope instable du phosphore.

Données utiles texte : aluminium à 13 protons et 14 neutrons ; $^{30}_{15}\mathrm{P}$ (2.1)

Aluminium : $Z = 13$ et $A = 13 + 14 = 27$. La particule alpha est $^{4}_{2}\mathrm{He}$.

Vérification des lois de Soddy : $27 + 4 = 1 + 30$ (nucléons) et $13 + 2 = 0 + 15$ (charges).

$$^{27}_{13}\mathrm{Al} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \longrightarrow {}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{30}_{15}\mathrm{P}$$

COMPRENDRE
Cette réaction n'est pas spontanée : elle est provoquée par le choc de la particule α sur le noyau d'aluminium. Seule la désintégration du phosphore 30 qui suit est spontanée.

2.3.1 Quand dit-on que deux noyaux sont isotopes ?

Deux noyaux sont isotopes s'ils ont le **même nombre de protons** Z mais des **nombres de neutrons différents** (donc des A différents).

2.3.2 Trouver dans le tableau un autre isotope du phosphore que celui du texte.

Données utiles tableau : ${}^{15}_{5}\mathrm{B}$, ${}^{31}_{15}\mathrm{P}$, ${}^{30}_{16}\mathrm{S}$, ${}^{75}_{30}\mathrm{Zn}$

Il faut un noyau tel que $Z = 15$ et $A \neq 30$.

Le phosphore 31, ${}^{31}_{15}\mathrm{P}$: 15 protons comme ${}^{30}_{15}\mathrm{P}$, mais 16 neutrons au lieu de 15.

PIÈGE
Choisir ${}^{30}_{16}\mathrm{S}$ parce que $A = 30$. Même nombre de nucléons ne veut pas dire isotope : avec $Z = 16$, c'est un autre élément, le soufre.

2.4.1 Écrire l'équation de la désintégration du phosphore radioactif en silicium stable avec émission d'un positon.

Données utiles silicium Si : 14 protons, 16 neutrons ; ${}^{30}_{15}\mathrm{P}$ (2.1)

Silicium : $Z = 14$ et $A = 14 + 16 = 30$, soit ${}^{30}_{14}\mathrm{Si}$. Le positon se note ${}^{0}_{1}\mathrm{e}$.

Vérification : $30 = 30 + 0$ et $15 = 14 + 1$.

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

COMPRENDRE
Le positon est l'antiparticule de l'électron : même masse, charge opposée $+e$. D'où son nombre de charge $+1$ et son nombre de nucléons nul.

2.4.2 De quel type de radioactivité s'agit-il ?

Le noyau émet un positon.

C'est une radioactivité β^+.

MÉTHODE
Particule émise : noyau d'hélium, radioactivité α ; électron ${}^{0}_{-1}\mathrm{e}$, radioactivité β^- ; positon ${}^{0}_{1}\mathrm{e}$, radioactivité β^+.

2.4.3 Écrire l'équation de la transformation d'un proton du noyau en un neutron et un positon.

Vérification : $1 = 1 + 0$ (nucléons) et $1 = 0 + 1$ (charges).

$${}^{1}_{1}\mathrm{p} \longrightarrow {}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{0}_{1}\mathrm{e}$$

COMPRENDRE
C'est pourquoi, en 2.4.1, le noyau perd un proton et gagne un neutron : Z diminue de 1 et A ne change pas.

3.1 Donner l'expression de la loi de décroissance radioactive en notant λ la constante radioactive.

$$N(t) = N_0\,\mathrm{e}^{-\lambda t}$$

PIÈGE
Oublier le signe « $-$ » dans l'exposant : N augmenterait avec le temps. λ est en s^{-1} si t est en secondes.

3.2 Déterminer graphiquement le temps de demi-vie $t_{1/2}$ de chacun des deux échantillons représentés en annexe.

Données utiles annexe : $N_0 = 1{,}0 \times 10^7$ pour les deux échantillons

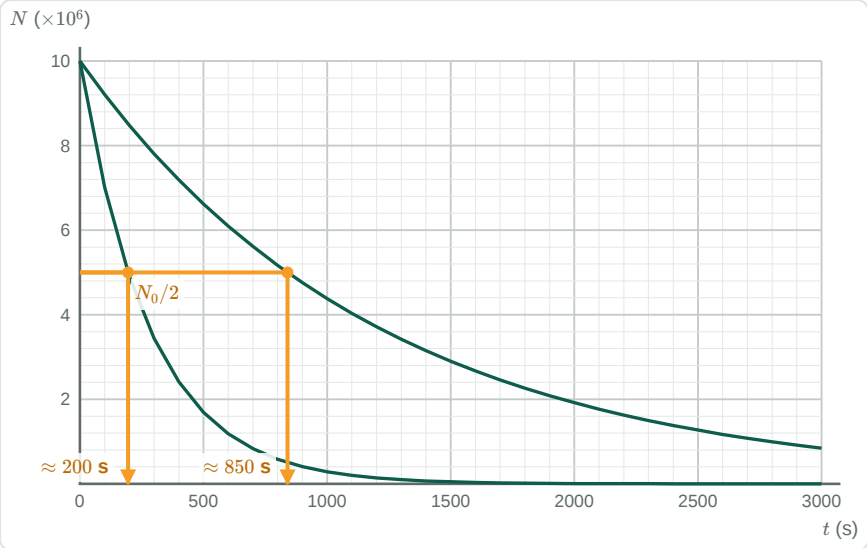
Au bout d'une demi-vie, la moitié des noyaux initiaux s'est désintégrée : $N(t_{1/2}) = \dfrac{N_0}{2} = \dfrac{1{,}0 \times 10^7}{2} = 5{,}0 \times 10^6$.

On trace la droite horizontale $N = 5{,}0 \times 10^6$; l'abscisse de son intersection avec chaque courbe est la demi-vie.

Échantillon n°1 : $t_{1/2} \approx 8{,}5 \times 10^2$ s ; échantillon n°2 : $t_{1/2} \approx 2{,}0 \times 10^2$ s.

PIÈGE
Rendre l'annexe sans les traits de construction : la valeur seule ne justifie pas une détermination « graphique ».

COMPRENDRE
Une graduation vaut 100 s : la lecture se fait à quelques dizaines de secondes près. Deux chiffres significatifs suffisent, et toute valeur voisine est acceptée si le tracé figure sur l'annexe.



3.2 · Annexe complétée : lecture des deux demi-vies sur la droite $N = N_0/2$

3.3 À l'aide du texte, identifier les échantillons numérotés 1 et 2.

Données utiles texte : aluminium irradié, 3 min 15 s ; bore irradié, 14 min ; demi-vies lues en 3.2

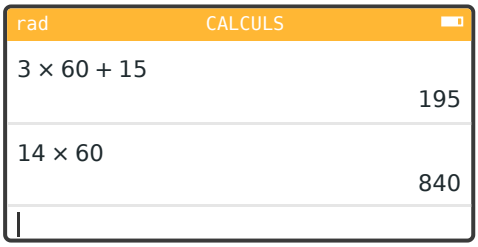
Aluminium irradié : $t_{1/2} = 3 \times 60 + 15 = 195$ s, valeur proche de $2{,}0 \times 10^2$ s (échantillon n°2).

Bore irradié : $t_{1/2} = 14 \times 60 = 840$ s, valeur proche de $8{,}5 \times 10^2$ s (échantillon n°1).

L'échantillon n°1 est le bore irradié ; l'échantillon n°2 est l'aluminium irradié.

COMPRENDRE
Plus la demi-vie est courte, plus la courbe chute vite : la courbe n°2, la plus raide, correspond bien à la plus petite demi-vie.

À LA CALCULATRICE



4.1 Énoncer la relation d'équivalence masse-énergie.

Toute particule de masse m, au repos, possède une énergie de masse E égale au produit de sa masse par le carré de la célérité de la lumière dans le vide.

$E = m\,c^2$, avec E en J, m en kg et c en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

4.2 Vérifier que la variation de masse au cours de la réaction est $\Delta m = -1{,}147000 \times 10^{-3}$ u.

Données utiles $m(^{10}_{5}\mathrm{B}) = 10{,}010194$ u ; $m(^{4}_{2}\mathrm{He}) = 4{,}001506$ u ; $m(^{13}_{7}\mathrm{N}) = 13{,}001898$ u ; $m(^{1}_{0}\mathrm{n}) = 1{,}008655$ u

Variation de masse : masse des produits moins masse des réactifs.

$$\Delta m = m(^{13}_{7}\mathrm{N}) + m(^{1}_{0}\mathrm{n}) - m(^{10}_{5}\mathrm{B}) - m(^{4}_{2}\mathrm{He})$$

$$\Delta m = 13{,}001898 + 1{,}008655 - 10{,}010194 - 4{,}001506 = -0{,}001147 \text{ u}$$

$\Delta m = -1{,}147 \times 10^{-3}$ u : c'est bien la valeur attendue, $-1{,}147000 \times 10^{-3}$ u.

PIÈGE
Calculer « réactifs moins produits » : on obtient $+1{,}147 \times 10^{-3}$ u, de signe contraire. Une variation est toujours « final moins initial ».

COMPRENDRE
Les masses sont données au millionième d'unité : la différence est connue à 10^{-6} u près, d'où l'écriture $-1{,}147000 \times 10^{-3}$ u de l'énoncé.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$13.001898 + 1.008655 - 10.010194 - 4.001506 \approx -0.001147$

4.3.1 Exprimer la variation d'énergie de masse ΔE au cours de cette réaction nucléaire.

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = \left[m(^{13}_{7}\mathrm{N}) + m(^{1}_{0}\mathrm{n}) - m(^{10}_{5}\mathrm{B}) - m(^{4}_{2}\mathrm{He})\right] c^2$$

4.3.2 Calculer la valeur de ΔE successivement en J puis en MeV.

Données utiles $\Delta m = -1{,}147000 \times 10^{-3}$ u (4.2) ; $1\ \mathrm{u} = 1{,}66054 \times 10^{-27}$ kg ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$; $1\ \mathrm{eV} = 1{,}60218 \times 10^{-19}$ J

Conversion de la masse en kilogrammes : $\Delta m = -1{,}147000 \times 10^{-3} \times 1{,}66054 \times 10^{-27} = -1{,}90464 \times 10^{-30}$ kg.

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = -1{,}90464 \times 10^{-30} \times (3{,}00 \times 10^{8})^2 = -1{,}71 \times 10^{-13}\ \mathrm{J}$$

En électronvolts : $\Delta E = \dfrac{-1{,}7142 \times 10^{-13}}{1{,}60218 \times 10^{-19}} = -1{,}07 \times 10^{6}\ \mathrm{eV}$.

$$\Delta E = -1{,}71 \times 10^{-13}\ \mathrm{J} = -1{,}07\ \mathrm{MeV}$$

PIÈGE
Laisser Δm en unité de masse atomique dans $\Delta m \cdot c^2$: le résultat n'est en joules que si la masse est en kilogrammes.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme c, la donnée la moins précise. On garde la valeur non arrondie en joules pour la conversion en MeV ($1\ \mathrm{MeV} = 10^{6}\ \mathrm{eV}$).

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$(-1.147 \times 10^{-3}) \times 1.66054 \times 10^{-27} \approx -1.904639 \times 10^{-30}$

$(-1.147 \times 10^{-3}) \times 1.66054 \times 10^{-27} \times (3.00 \times 10^{8})^{2} \approx -1.714175 \times 10^{-13}$

$\dfrac{(-1.147 \times 10^{-3}) \times 1.66054 \times 10^{-27} \times (3.00 \times 10^{8})^{2}}{1.60218 \times 10^{-19}} \approx -1069902$

4.3.3 De l'énergie est-elle libérée au cours de la réaction ? Justifier la réponse.

Données utiles $\Delta E = -1{,}07$ MeV (4.3.2)

$\Delta E < 0$: l'énergie de masse du système diminue au cours de la réaction. Cette énergie perdue par le système est cédée au milieu extérieur.

Oui : la réaction libère une énergie $|\Delta E| = 1{,}07$ MeV.

COMPRENDRE
La masse perdue ne disparaît pas sans contrepartie : elle se retrouve sous forme d'énergie cinétique du neutron et du noyau d'azote formés.