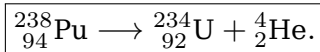


La batterie nucléaire de Perseverance

Terminale spécialité Physique-Chimie · Radioactivité et décroissance

1. Transformation nucléaire

Une désintégration α émet un noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$. Les conservations du nombre de nucléons et de la charge donnent respectivement $238 - 4 = 234$ et $94 - 2 = 92$. Le noyau fils est donc l'uranium 234 :



Les deux sommes valent bien 238 pour A et 94 pour Z .

2. Évolution du nombre de noyaux

Pendant une durée courte Δt , le nombre de désintégrations est $A \Delta t$. Chaque désintégration fait disparaître un noyau, donc

$$\Delta N = -A \Delta t = -\lambda N \Delta t.$$

À la limite des durées très courtes :

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N.$$

La solution qui vérifie $N(0) = N_0$ est

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

Par définition de la demi-vie,

$$N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2}.$$

Ainsi,

$$N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} = \frac{N_0}{2} \implies \lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}.$$

Or

$$t_{1/2} = 87,74 \times 365,25 \times 24 \times 3600 = 2,769 \times 10^9 \text{ s},$$

d'où

$$\lambda = 2,50 \times 10^{-10} \text{ s}^{-1}.$$

3. Puissance thermique initiale

La masse initiale de plutonium 238 vaut

$$m_0 = 0,710 \times 4,80 = 3,41 \text{ kg} = 3,41 \times 10^3 \text{ g}.$$

Le nombre initial de noyaux est donc

$$N_0 = \frac{m_0}{M} N_A = \frac{3,41 \times 10^3}{238} \times 6,022 \times 10^{23} = 8,62 \times 10^{24},$$

en reprenant la valeur non arrondie de m_0 .

L'activité initiale vaut

$$A_0 = \lambda N_0 = 2,50 \times 10^{-10} \times 8,62 \times 10^{24} = 2,16 \times 10^{15} \text{ Bq}.$$

L'énergie libérée par désintégration est

$$E = 5,593 \times 10^6 \times 1,602 \times 10^{-19} = 8,960 \times 10^{-13} \text{ J}.$$

Une activité de $2,16 \times 10^{15} \text{ Bq}$ correspond au même nombre de désintégrations par seconde. La puissance thermique initiale est donc

$$P_{\text{th},0} = A_0 E = 2,16 \times 10^{15} \times 8,960 \times 10^{-13} = 1,93 \times 10^3 \text{ W}.$$

La relation admise donne alors

$$\frac{u(P)}{P} = \sqrt{\left(\frac{0,10}{4,80}\right)^2 + \left(\frac{1,0}{71,0}\right)^2 + \left(\frac{0,3}{87,74}\right)^2} = \sqrt{(2,08 \times 10^{-2})^2 + (1,41 \times 10^{-2})^2 + (3,4 \times 10^{-3})^2} = 2,54 \times 10^{-2}$$

soit $u(P) = 1,93 \times 2,54 \times 10^{-2} = 0,049 \text{ kW}$. C'est la masse de combustible, connue à 2,1 % près, qui domine : l'incertitude sur la demi-vie, 0,34 %, est écrasée.

En arrondissant l'incertitude à un chiffre significatif par excès et la valeur au même rang :

$$P_{\text{th},0} = (1,93 \pm 0,05) \text{ kW}.$$

L'écart normalisé à la valeur annoncée par la NASA vaut

$$z = \frac{|1,93 - 2,0|}{0,05} = 1,4 \leq 2 :$$

la puissance calculée est **compatible** avec la valeur annoncée.

4. Évolution de la puissance

Si l'énergie libérée par désintégration et le rendement sont constants, la puissance électrique est proportionnelle à l'activité, donc au nombre de noyaux restants. Elle suit la même loi de décroissance :

$$P(t) = P_0 e^{-\lambda t}.$$

En conservant l'année comme unité de temps, on peut écrire $\lambda = \ln 2 / 87,74 = 7,900 \times 10^{-3} \text{ an}^{-1}$. Après 14 ans :

$$P(14) = 110 e^{-7,900 \times 10^{-3} \times 14} = 98,5 \text{ W}.$$

Le combustible permettrait donc encore de fournir environ

$$\boxed{98 \text{ W}}$$

si la décroissance radioactive était la seule cause de variation.

En un an, la diminution relative due au combustible serait

$$1 - \frac{P(1)}{P_0} = 1 - e^{-7,900 \times 10^{-3}} = 7,87 \times 10^{-3},$$

soit environ 0,79 %. Cette valeur est très inférieure aux 4,8 % mesurés. La décroissance du plutonium 238 ne suffit donc pas à expliquer la baisse totale : le rendement de conversion et les composants du générateur vieillissent également.

5. Protection en cas d'accident

Le plutonium 238 émet des particules α , très ionisantes mais peu pénétrantes. Les enveloppes solides suffisent à arrêter ce rayonnement tant que le combustible reste confiné : l'exposition externe est alors limitée.

Le danger deviendrait beaucoup plus important si des particules de combustible étaient dispersées puis inhalées ou ingérées, car l'irradiation se produirait au contact des tissus. La forme céramique limite la production de poussières et les capsules d'iridium, coques de graphite et enveloppes successives rendent plus difficile la rupture du confinement lors d'un choc ou d'un échauffement. Cette architecture agit donc à la fois comme écran et, surtout, comme barrière contre la contamination interne.