

Quelques propriétés du plutonium 241 (Bac - Pondichéry - avril 2008)

Corrigé réalisé par B. Louchart, professeur de Physique-Chimie
© <http://b.louchart.free.fr>

1. Généralités

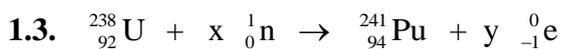
- 1.1.a)** 2 noyaux sont isotopes s'ils ont le même nombre de protons, mais des nombres différents de neutrons.
- 1.1.b)** Une fission nucléaire est une réaction nucléaire au cours de laquelle un noyau lourd est divisé en plusieurs noyaux plus légers (en général 2).
- 1.1.c)** La demi-vie $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux radioactifs initialement présents dans l'échantillon se sont désintégrés.

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

- 1.2.** Pour un neutron, $A = 1$ (car c'est un nucléon) et $Z = 0$ (car sa charge électrique est nulle)
 \Rightarrow on le note ${}_0^1\text{n}$

Pour une particule β^- (électron), $A = 0$ (car ce n'est pas un nucléon) et $Z = -1$ (car sa charge électrique vaut $-1 \times e$)

\Rightarrow on le note ${}_{-1}^0\text{e}$



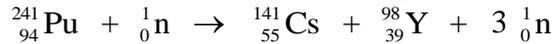
Lors d'une transformation nucléaire, il y a conservation :

- du nombre total de nucléons $\Rightarrow 238 + x = 241 + 0 \Rightarrow A = 3$
- de la charge électrique totale $\Rightarrow 92 + 0 = 94 - y \Rightarrow Z = 2$

\Rightarrow on obtient : ${}_{92}^{238}\text{U} + 3 {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{94}^{241}\text{Pu} + 2 {}_{-1}^0\text{e}$

2. Détermination des énergies libérées lors de transformations du plutonium 241

2.1.a) On considère la fission d'un noyau de plutonium 241 par un neutron :



1^{ère} méthode :

variation de masse du système :

$$\begin{aligned}\Delta m &= m({}_{55}^{141}\text{Cs}) + m({}_{39}^{98}\text{Y}) + 3 m({}_0^1\text{n}) - m({}_{94}^{241}\text{Pu}) - m({}_0^1\text{n}) \\ &= 140,79352 + 97,90070 + 3 \times 1,00866 - 241,00514 - 1,00866 \\ &= -0,29360 \text{ u}\end{aligned}$$

variation d'énergie du système :

D'après les données, à une masse égale à l'unité de masse atomique correspond une énergie égale à 931,494 MeV

$$\begin{aligned}\Rightarrow \Delta E &= -0,29360 \times 931,494 \text{ MeV} \\ &= -273,49 \text{ MeV}\end{aligned}$$

Donc l'énergie libérée est : $E_{\text{libérée}} = 273,49 \text{ MeV}$

2^{ème} méthode :

variation de masse du système :

$$\begin{aligned}\Delta m &= m({}_{55}^{141}\text{Cs}) + m({}_{39}^{98}\text{Y}) + 3 m({}_0^1\text{n}) - m({}_{94}^{241}\text{Pu}) - m({}_0^1\text{n}) \\ &= 140,79352 + 97,90070 + 3 \times 1,00866 - 241,00514 - 1,00866 \\ &= -0,29360 \text{ u} \\ &= -0,29360 \times 1,66054 \times 10^{-27} \text{ kg} \\ &= -4,87535 \times 10^{-28} \text{ kg}\end{aligned}$$

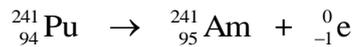
variation d'énergie du système :

$$\begin{aligned}\Delta E &= \Delta m \times c^2 \\ &= -4,87535 \times 10^{-28} \times (3,00 \times 10^8)^2 \\ &= -4,39 \times 10^{-11} \text{ J} \\ &= -\frac{4,39 \times 10^{-11}}{1,60 \times 10^{-19}} \text{ eV} \\ &= -2,74 \times 10^8 \text{ eV} \\ &= -274 \text{ MeV}\end{aligned}$$

Donc l'énergie libérée est : $E_F = 274 \text{ MeV}$

2.1.b) Lors de cette fission d'un noyau de plutonium, 3 neutrons sont émis. Ces neutrons peuvent provoquer la fission d'autres noyaux de plutonium 241, qui eux-mêmes émettront des neutrons, etc. On dit qu'il y a ainsi une réaction en chaîne.

2.2. On considère la désintégration d'un noyau de plutonium 241 :



1^{ère} méthode :

variation de masse du système :

$$\begin{aligned}\Delta m &= m({}_{95}^{241}\text{Am}) + m({}_{-1}^0\text{e}) - m({}_{94}^{241}\text{Pu}) \\ &= 241,00457 + 0,00055 - 241,00514 \\ &= -0,00002 \text{ u}\end{aligned}$$

variation d'énergie du système :

$$\begin{aligned}\Delta E &= -0,00002 \times 931,494 \text{ MeV} \\ &= -0,02 \text{ MeV}\end{aligned}$$

Donc l'énergie libérée est : $E_D = 0,02 \text{ MeV}$

2^{ème} méthode :

variation de masse du système :

$$\begin{aligned}\Delta m &= m({}_{95}^{241}\text{Am}) + m({}_{-1}^0\text{e}) - m({}_{94}^{241}\text{Pu}) \\ &= 241,00457 + 0,00055 - 241,00514 \\ &= -0,00002 \text{ u} \\ &= -0,00002 \times 1,66054 \times 10^{-27} \text{ kg} \\ &= -3 \times 10^{-32} \text{ kg}\end{aligned}$$

variation d'énergie du système :

$$\begin{aligned}\Delta E &= \Delta m \times c^2 \\ &= -3 \times 10^{-32} \times (3,00 \times 10^8)^2 \\ &= -3 \times 10^{-15} \text{ J} \\ &= -\frac{3 \times 10^{-15}}{1,60 \times 10^{-19}} \text{ eV} \\ &= -2 \times 10^4 \text{ eV} \\ &= -0,02 \text{ MeV}\end{aligned}$$

Donc l'énergie libérée est : $E_D = 0,02 \text{ MeV}$

2.3.a) $\frac{E_F}{E_D} = \frac{273,49}{0,02} = 1,5 \times 10^4$

$\Rightarrow E_F$ est environ 15000 fois plus grande que E_D : l'énergie libérée lors de la fission du plutonium par un neutron est beaucoup plus grande que celle libérée par sa désintégration

2.3.b) L'énergie libérée lors de la fission du plutonium par un neutron est beaucoup plus grande que celle libérée par sa désintégration.

Or plus l'énergie libérée est grande, plus l'interaction mise en jeu est importante.

\Rightarrow l'interaction responsable de la fission est plus forte que celle responsable de la désintégration β^-
Les termes "interaction forte" pour celle responsable de la fission et "interaction faible" pour celle responsable de la désintégration β^- sont donc justifiés.

3. Étude expérimentale de la radioactivité du plutonium 241

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

3.2. $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$

$\Rightarrow N(t) = N_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{t_{1/2}} \times t}$

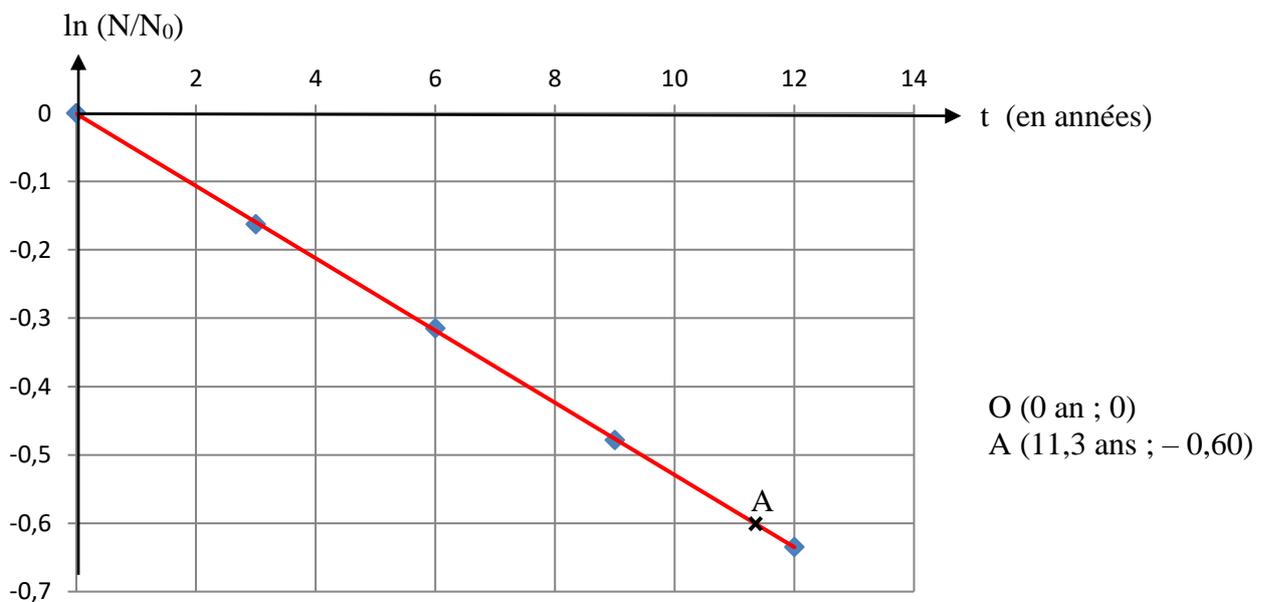
$\Rightarrow \frac{N(t)}{N_0} = e^{-\frac{\ln 2}{t_{1/2}} \times t}$

$\Rightarrow \ln \frac{N}{N_0} = -\frac{\ln 2}{t_{1/2}} \times t$

La courbe représentant $\ln \frac{N}{N_0}$ en fonction de t est donc une droite passant par l'origine, de coefficient directeur $k = -\frac{\ln 2}{t_{1/2}}$

Traçons cette droite, pour déterminer son coefficient directeur k et en déduire $t_{1/2} = -\frac{\ln 2}{k}$

t (en années)	0	3	6	9	12
N/N ₀	1	0,85	0,73	0,62	0,53
$\ln \frac{N}{N_0}$	0	-0,16	-0,31	-0,48	-0,63



$$k = \frac{\left(\ln \frac{N}{N_0}\right)_A - \left(\ln \frac{N}{N_0}\right)_O}{t_A - t_O} = \frac{-0,60 - 0}{11,3 - 0} = -0,053 \text{ an}^{-1}$$

$$\Rightarrow t_{1/2} = -\frac{\ln 2}{k} = -\frac{\ln 2}{-0,053} = 13,1 \text{ ans}$$