Pondichéry 2008	Exercice 2 : Quelques propriétés du plutonium 241 (5 points) Correction © http://labolycee.org

2.1. Généralités :

2.1.1.a. (0,25) Des noyaux sont isotopes s'ils contiennent le même nombre de protons, mais un nombre de neutrons différent.

2.1.1.b. (0,25) Lors d'une fission nucléaire, un gros noyau se transforme en deux noyaux plus petits sous l'impact d'un neutron. Cette réaction s'accompagne d'une émission de particules et d'énergie.

2.1.1.c. (0,25) La demi-vie est la durée nécessaire pour que la moitié des noyaux radioactifs initialement présents dans l'échantillon se soit désintégrée.

2.1.2. (0,25) Le nombre de masse est également appelé nombre de nucléons, noté A.
Le numéro atomique, noté Z, indique le nombre de charges du noyau.

(0,5) On note le neutron ${}_0^1n$, c'est un nucléon donc **A = 1** ; il ne porte pas de charge électrique donc **Z = 0**.

(0,5) La particule β^- est un électron, on le note ${}_{-1}^{0}e$. Ce n'est pas un nucléon donc **A = 0** ; il est porteur d'une charge électrique négative = – *e*, donc **Z = –1**.

2.1.3. (0,5) Au cours d'une réaction nucléaire, il y a conservation du nombre de nucléons et conservation du nombre de charges.

D'après 2.1.2. l'équation ${}_{92}^{238}\text{U} + x\ \text{n} \rightarrow {}_{94}^{241}\text{Pu} + y\ \beta^-$ devient ${}_{92}^{238}\text{U} + x\ {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{94}^{241}\text{Pu} + y\ {}_{-1}^{0}\text{e}$.

La conservation du nombre de nucléons donne 238 + *x* = 241, donc ***x* = 3**.

La conservation du nombre de charges donne 92 = 94 – *y*, donc ***y* = 2**.

On a finalement ${}_{92}^{238}\text{U} + 3\,{}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{94}^{241}\text{Pu} + 2\,{}_{-1}^{0}\text{e}$.

2.2. Détermination des énergies libérées lors de transformations du plutonium 241 :

2.2.1. Fission du plutonium 241 : ${}_{94}^{241}\text{Pu} + \text{n} \rightarrow {}_{55}^{141}\text{Cs} + {}_{39}^{98}\text{Y} + 3\ \text{n}$

2.2.1.a. (0,5) $E_F = [\,\Sigma\, m_{\text{produits}} - \Sigma\, m_{\text{réactifs}}\,].c^2$

$E_F = [m(\text{Cs}) + m(\text{Y}) + 3\ m(\text{n}) - m(\text{Pu}) - m(\text{n})\,].c^2$

$E_F = [m(\text{Cs}) + m(\text{Y}) + 2\ m(\text{n}) - m(\text{Pu}) -].c^2$

$E_F = [140{,}79352 + 97{,}90070 + 2\times1{,}00866 - 241{,}00514] \times \text{u}.c^2$

<u>Méthode 1 :</u> *Celle qui est attendue par le correcteur*

D'après l'énoncé : « à une masse égale à une unité de masse atomique correspond une énergie égale à 931,494 MeV », donc E = m.c² comme m = u alors E = u.c² = 931,494 MeV

$E_F = [140{,}79352 + 97{,}90070 + 2\times1{,}00866 - 241{,}00514] \times 931{,}494$

$E_F = -\,0{,}29360 \times 931{,}494$

E_F = – 273,487 MeV *Comptée négativement car le système {Pu +n} cède de l'énergie au milieu extérieur.*

<u>Méthode 2 :</u>

$E_F = [140{,}79352 + 97{,}90070 + 2\times1{,}00866 - 241{,}00514] \times \underbrace{1{,}66054\times10^{-27}}_{\text{conversion masses en kg}}\times(3{,}00\times10^{8})^2/\underbrace{1{,}602177\times10^{-13}}_{\text{conversion J en MeV}}$

$E_F = -\,2{,}93600 \times 1{,}66054\times10^{-27}\times(3{,}00\times10^{8})^2/1{,}602177\times10^{-13}$

E_F = – 273,866 MeV , mais vue la précision de c, on arrondit à **– 274 MeV**.

La méthode 1 offre une plus grande précision.

2.2.1.b. (0,25) La réaction libère 3 neutrons qui peuvent chacun rencontrer un noyau de plutonium. Dès lors trois noyaux de plutonium fissionnent, libérant chacun à leur tour trois neutrons, etc. La réaction en chaîne est initiée. En un temps très court, un très grand nombre de fissions a lieu.

2.2.2. Désintégration β^- du plutonium 241 : ${}_{94}^{241}\text{Pu} \rightarrow {}_{95}^{241}\text{Am} + \beta^-$

(0,5) $E_D = [\,\Sigma\, m_{\text{produits}} - \Sigma\, m_{\text{réactifs}}].c^2$

$E_D = [m(\text{Am}) + m(\beta) - m(\text{Pu})].c^2$

$E_D = [241{,}00457 + 0{,}00055 - 241{,}00514].\text{u}.c^2$

$E_D = [241{,}00457 + 0{,}00055 - 241{,}00514\,]\times931{,}494$

$E_D = -0{,}00002\times931{,}494$

$E_D = -1{,}86299\times10^{-2}$ MeV

> *Combien de chiffres significatifs (CS) ?*
> *Pour les additions et les soustractions, on conserve autant de décimales que la donnée qui en possède le moins (ici 5 décimales).*
> *Pour les multiplications et divisions, on conserve autant de chiffres significatifs que la donnée qui en a le moins (ici –0,00002 possède 1 CS, et 931,494 possède 6 CS.*
> *Un seul chiffre significatif ne peut suffire. Conservons les 6 CS de l'énergie associée l'unité de masse atomique*

L'énergie est comptée négativement car le système {noyau de plutonium} cède de l'énergie au milieu extérieur.

2.2.3. Comparaison

2.2.3.a. (0,25) $E_F = -273{,}486$ MeV et $E_D = -1{,}86299\times10^{-2}$ MeV donc $E_F / E_D =$ **$1{,}468\times10^{4}$**

$E_F/E_D \gg 1$: L'énergie libérée lors de la fission est beaucoup plus élevée que celle libérée lors de la désintégration β^-.

2.2.3.b. (0,25) Plus l'énergie libérée est grande et plus l'interaction mise en jeu, lie fortement les particules entre elles. L'énergie libérée par la fission étant beaucoup plus grande que celle libérée par la désintégration β^-, on peut comprendre que la fission met en jeu une interaction forte.

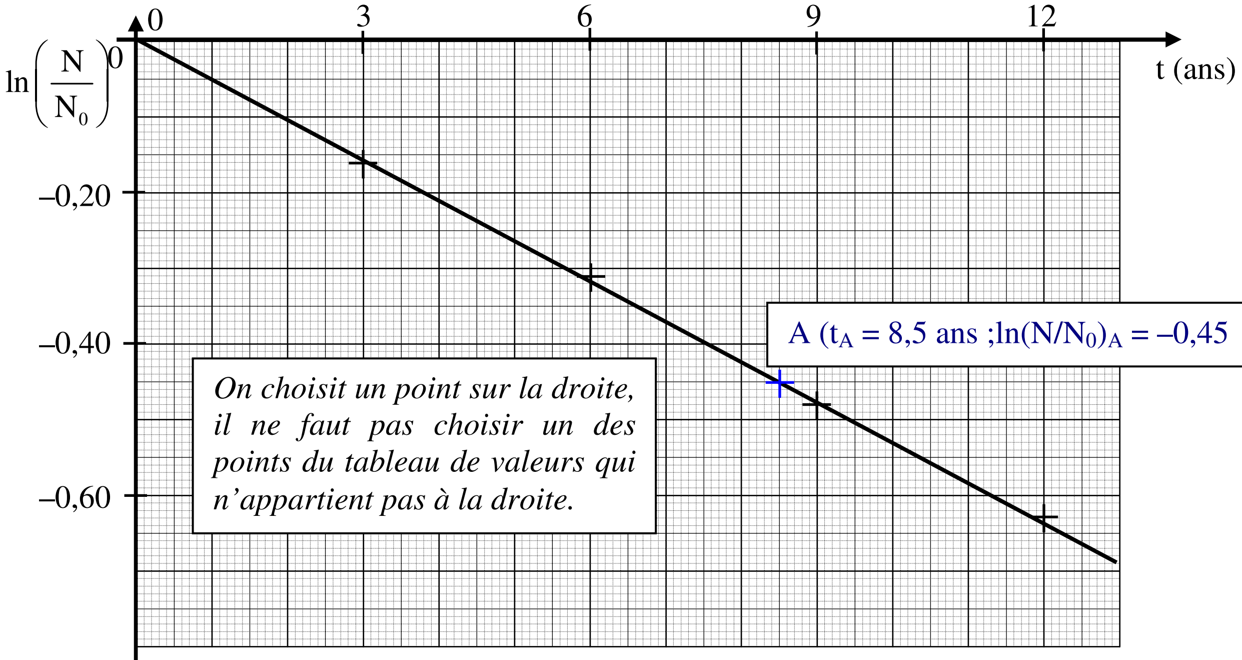
2.3. Étude expérimentale de la radioactivité du Plutonium 241 :

2.3.1. (0,25) Loi de décroissance radioactive $N = N_0.e^{-\lambda.t} = N_0.e^{-\frac{\ln 2}{t_{1/2}}.t}$

2.3.2. (0,5) D'après la loi de décroissance $\frac{N}{N_0} = e^{-\frac{\ln 2}{t_{1/2}}.t}$ donc $\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\frac{\ln 2}{t_{1/2}}.t$

__Méthode 1 :__ On trace $\ln\left(\frac{N}{N_0}\right)$ en fonction de t. On obtient une droite dont le coefficient directeur est égal à $-\frac{\ln 2}{t_{1/2}}$. La droite tracée est une droite moyenne passant au plus près des points expérimentaux. Cette méthode permet de minimiser l'influence d'éventuelles erreurs de mesures.

t(ans)	0	3	6	9	12
N/N_0	1	0,85	0,73	0,62	0,53
$\ln(N/N_0)$	0	–0,16	–0,31	–0,48	–0,63



Le coefficient directeur vaut $a = \frac{\ln(N/N_0)_A}{t_A} = -\frac{\ln 2}{t_{1/2}}$ soit $t_{1/2} = -\frac{\ln 2}{\ln(N/N_0)_A}.t_A$

$t_{1/2} = -\frac{\ln 2}{-0{,}45}\times 8{,}5 =$ **13 ans**. Résultat en accord avec le texte introductif (ordre d'une 10^{aine} d'années)

__Méthode 2 :__ Par le calcul, en considérant que la valeur de N/N_0 choisie n'est pas entaché d'une erreur expérimentale :

$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\frac{\ln 2}{t_{1/2}}.t$, soit $t_{1/2} = -\frac{\ln 2}{\ln(N/N_0)}.t$ Pour t = 3 ans : $t_{1/2} = -\frac{\ln 2}{\ln 0{,}85}\times 3 = 12{,}8 =$ **1×10^{1} ans**

__Méthode 3 :__ On trace $N/N_0 = f(t)$. On trace la tangente à la courbe, à t = 0 s. Elle coupe l'axe des temps à la date $t = \tau = 1/\lambda = t_{1/2} / \ln 2$.

Encore une méthode peu précise, le tracé d'une tangente à l'origine est toujours délicat (la méthode de la corde ne pouvant être utilisée).