Quelques propriétés du plutonium 241

Bac S 2008 Inde (Pondichéry) (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

2.1.1 Définir les termes : a. noyaux isotopes ; b. fission nucléaire ; c. demi-vie.

a. Deux noyaux isotopes ont le même numéro atomique Z (même nombre de protons, donc même élément chimique) mais des nombres de neutrons différents, donc des nombres de masse A différents. Exemple : l'uranium 235 et l'uranium 238.

b. Une fission nucléaire est une réaction provoquée au cours de laquelle un noyau lourd, percuté par un neutron, se casse en deux noyaux plus légers en libérant des neutrons et de l'énergie.

c. La demi-vie $t_{1/2}$ d'un noyau radioactif est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux initialement présents dans un échantillon s'est désintégrée.

Isotopes : même Z, A différents ; fission : noyau lourd + neutron → deux noyaux plus légers ; demi-vie : durée pour que N soit divisé par 2.

PIÈGE
Dire que des isotopes ont « le même nombre de nucléons » : c'est l'inverse. Pour la fission, oublier le neutron incident : sans lui, on décrirait une désintégration spontanée.

2.1.2 Préciser le nombre de masse et le numéro atomique du neutron et de la particule β^-. Expliciter pour chacune la notation ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$.

Dans la notation ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$, A est le nombre de masse (nombre de nucléons) et Z le numéro atomique (nombre de charge : charge de la particule exprimée en nombre de charges élémentaires e).

Neutron : c'est un nucléon, donc $A = 1$; il est électriquement neutre, donc $Z = 0$.

Particule β^- : c'est un électron. Ce n'est pas un nucléon, donc $A = 0$; sa charge vaut $-e$, donc $Z = -1$.

Neutron : ${}^{1}_{0}\mathrm{n}$; particule β^- : ${}^{0}_{-1}\mathrm{e}$

COMPRENDRE
Pour une particule qui n'est pas un noyau, Z ne compte plus des protons : il indique la charge en unités de e. C'est ce qui permet d'écrire la conservation de la charge dans une équation nucléaire.

2.1.3 Déterminer les valeurs de x et de y dans l'équation (1).

L'équation (1) s'écrit : ${}^{238}_{92}\mathrm{U} + x\ {}^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow {}^{241}_{94}\mathrm{Pu} + y\ {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$.

Conservation du nombre de masse : $238 + x \times 1 = 241 + y \times 0$, donc $x = 3$.

Conservation du nombre de charge : $92 + x \times 0 = 94 + y \times (-1)$, donc $y = 94 - 92 = 2$.

$x = 3$ et $y = 2$: ${}^{238}_{92}\mathrm{U} + 3\ {}^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow {}^{241}_{94}\mathrm{Pu} + 2\ {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$

MÉTHODE
Dans toute équation nucléaire, écrire deux égalités : somme des A à gauche = somme des A à droite, puis la même chose pour les Z. Chaque égalité donne ici une inconnue.

2.2.1 a. Déterminer en MeV l'énergie E_F libérée lors de la fission d'un noyau de plutonium 241. b. Justifier le terme de « réaction en chaîne ».

Données utiles $m(\text{Pu}) = 241{,}00514$ u ; $m(\text{Cs}) = 140{,}79352$ u ; $m(\text{Y}) = 97{,}90070$ u ; $m(\text{n}) = 1{,}00866$ u ; 1 u correspond à $931{,}494$ MeV

a. La masse diminue au cours de la fission ; l'énergie libérée correspond à cette perte de masse :

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

soit, après simplification d'un neutron : $E_F = \left[m(\text{Pu}) - m(\text{Cs}) - m(\text{Y}) - 2\,m(\text{n})\right] c^2$.

Perte de masse : $241{,}00514 - 140{,}79352 - 97{,}90070 - 2 \times 1{,}00866 = 0{,}29360$ u.

Comme 1 u correspond à $931{,}494$ MeV : $E_F = 0{,}29360 \times 931{,}494 = 273{,}49$ MeV.

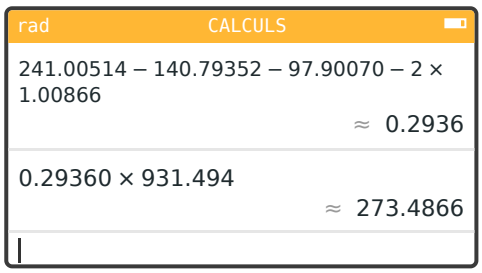
b. Chaque fission consomme un neutron et en libère trois. Ces neutrons peuvent à leur tour provoquer la fission d'autres noyaux de plutonium 241, qui libèrent de nouveaux neutrons, et ainsi de suite : la réaction s'entretient et s'amplifie d'elle-même.

$E_F = 273{,}49$ MeV ; les neutrons produits provoquent de nouvelles fissions : réaction en chaîne.

PIÈGE
Passer par les kilogrammes, $c = 3{,}00 \times 10^8$ m · s^{-1} et les joules : c'est plus long et la valeur de c limite alors le résultat à 3 chiffres significatifs (274 MeV).

COMPRENDRE
Chiffres significatifs : une différence garde les décimales des données (5 ici), donc $0{,}29360$ u a 5 chiffres significatifs, et E_F aussi. L'énergie « libérée » se donne positive ; la variation d'énergie du système vaut $-273{,}49$ MeV.

À LA CALCULATRICE



2.2.2 Déterminer en MeV l'énergie E_D libérée lors de la désintégration β^- d'un noyau de plutonium 241.

Données utiles $m(\text{Pu}) = 241{,}00514$ u ; $m(\text{Am}) = 241{,}00457$ u ; $m(\beta) = 0{,}00055$ u ; 1 u correspond à $931{,}494$ MeV

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

Perte de masse : $241{,}00514 - 241{,}00457 - 0{,}00055 = 0{,}00002$ u.

$E_D = 0{,}00002 \times 931{,}494 = 1{,}9 \times 10^{-2}$ MeV.

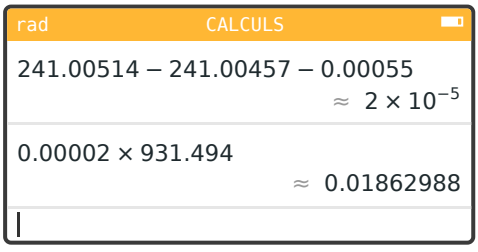
La perte de masse n'est connue qu'avec un seul chiffre significatif : on ne peut annoncer qu'un ordre de grandeur.

$E_D \approx 2 \times 10^{-2}$ MeV (environ 20 keV)

PIÈGE
Oublier la masse de la particule β^- : on trouverait $0{,}00057$ u, soit $0{,}53$ MeV, près de trente fois trop.

COMPRENDRE
Soustraire des masses presque égales fait perdre la précision : de 8 chiffres significatifs on tombe à un seul. Écrire $1{,}86299 \times 10^{-2}$ MeV n'aurait aucun sens.

À LA CALCULATRICE



2.2.3 a. Comparer E_F et E_D et calculer le rapport E_F/E_D. b. Les termes d'interaction « forte » (fission) et « faible » (désintégration β^-) paraissent-ils justifiés ?

Données utiles $E_F = 273{,}49$ MeV (2.2.1) ; $E_D = 1{,}9 \times 10^{-2}$ MeV (2.2.2)

a. $\dfrac{E_F}{E_D} = \dfrac{273{,}49}{1{,}9 \times 10^{-2}} \approx 1 \times 10^4$

L'énergie libérée par la fission est de l'ordre de dix mille fois plus grande que celle libérée par la désintégration β^- : $E_F \gg E_D$.

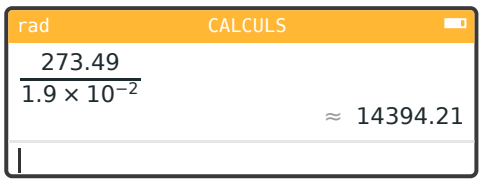
b. Oui. Plus une interaction est intense, plus les énergies qu'elle met en jeu sont grandes. La fission libère environ 10^4 fois plus d'énergie que la désintégration β^- : il est cohérent de qualifier de « forte » l'interaction responsable de la première et de « faible » celle responsable de la seconde.

$\dfrac{E_F}{E_D} \approx 10^4$: $E_F \gg E_D$, ce qui justifie les termes « forte » et « faible ».

COMPRENDRE

E_D n'ayant qu'un chiffre significatif, le rapport n'en a qu'un aussi : seul l'ordre de grandeur 10^4 est fiable. C'est suffisant pour conclure.

À LA CALCULATRICE



2.3.1 Rappeler la loi de décroissance radioactive.

Le nombre moyen $N(t)$ de noyaux radioactifs encore présents à la date t décroît exponentiellement, avec N_0 le nombre de noyaux à $t = 0$ et λ la constante radioactive (en an^{-1} si t est en années) :

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

2.3.2 Par une méthode au choix, graphique ou numérique, déterminer la demi-vie $t_{1/2}$ du plutonium 241.

Données utiles t (ans) : 0 ; 3 ; 6 ; 9 ; 12 et N/N_0 : 1 ; 0,85 ; 0,73 ; 0,62 ; 0,53

D'après la loi de décroissance : $\dfrac{N}{N_0} = \mathrm{e}^{-\lambda t}$, donc $-\ln\left(\dfrac{N}{N_0}\right) = \lambda\, t$.

On calcule $-\ln(N/N_0)$ pour chaque date : 0 ; 0,16 ; 0,31 ; 0,48 ; 0,63, puis on trace ces valeurs en fonction de t. Les points sont alignés sur une droite passant par l'origine, de coefficient directeur λ.

Lecture d'un point de la droite : pour $t = 10$ ans, $-\ln(N/N_0) = 0{,}53$, donc $\lambda = \dfrac{0{,}53}{10} = 0{,}053$ an^{-1}.

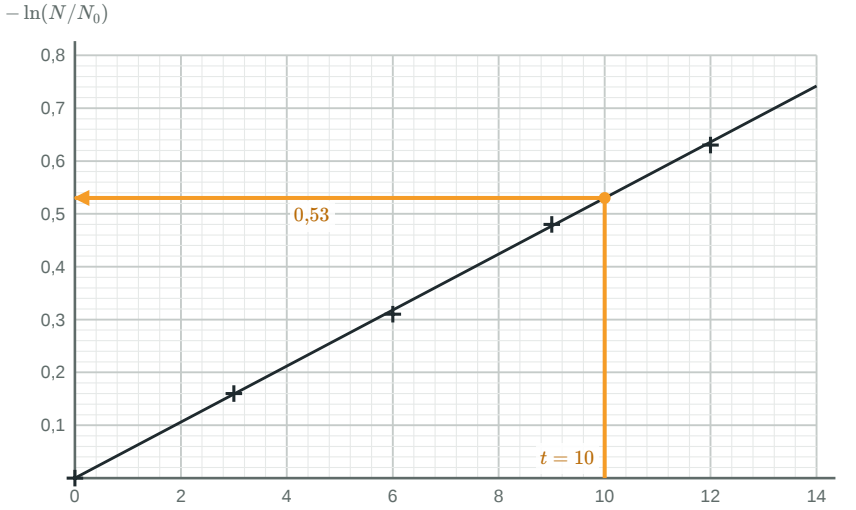
À $t = t_{1/2}$, $\dfrac{N}{N_0} = \dfrac{1}{2}$, donc $\lambda\, t_{1/2} = \ln 2$:

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

$t_{1/2} \approx 13$ ans, en accord avec « une dizaine d'années » annoncé par le texte.

PIÈGE
Lire directement $t_{1/2}$ dans le tableau est impossible : à 12 ans, $N/N_0 = 0{,}53$, la moitié n'est pas encore atteinte. Deux chiffres significatifs au plus, comme les mesures.

MÉTHODE
Linéariser une exponentielle avec le logarithme, puis exploiter la droite moyenne : elle compense les écarts de mesure de chaque point. Prendre le point de lecture sur la droite, loin de l'origine, et non dans le tableau.



2.3.2 · Droite moyenne passant par l'origine et lecture d'un point de la droite

À LA CALCULATRICE

