L'élément 117 s'ajoute au tableau périodique

Bac S 2011 Polynésie (ancien programme) · Exercice 1 **5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1.1 À quelles conditions dit-on que deux noyaux sont isotopes ?

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

COMPRENDRE
Le calcium 48 ($Z = 20$, 28 neutrons) et le calcium 40 ($Z = 20$, 20 neutrons) sont isotopes : même case du tableau périodique, masses différentes.

1.2 Exprimer le défaut de masse Δm du noyau de calcium 48 en fonction de m_{noyau}, m_p, m_n, Z et A, puis le calculer en unité de masse atomique.

Données utiles $m_{\text{noyau}} = 47{,}941\,6$ u ; $m_p = 1{,}007\,28$ u ; $m_n = 1{,}008\,66$ u ; $Z = 20$; $A = 48$

Le défaut de masse est l'écart entre la masse des nucléons séparés, au repos, et la masse du noyau. Le noyau contient Z protons et $A - Z$ neutrons :

$$\Delta m = Z\,m_p + (A - Z)\,m_n - m_{\text{noyau}}$$

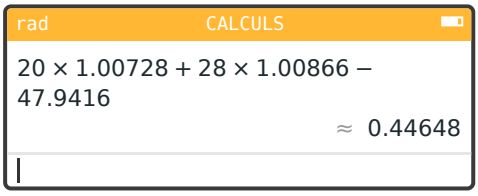
$$\Delta m = 20 \times 1{,}007\,28 + 28 \times 1{,}008\,66 - 47{,}941\,6$$

$$\boxed{\Delta m = 0{,}446\,5 \text{ u}}$$

PIÈGE
Multiplier m_n par $A = 48$ au lieu de $A - Z = 28$, ou soustraire dans l'autre sens : un défaut de masse est toujours positif.

COMPRENDRE
Chiffres significatifs : dans une somme, on garde la décimale de la donnée la moins précise. m_{noyau} est donnée à 10^{-4} u près, d'où $0{,}446\,5$ u. On conserve $0{,}446\,48$ u pour la suite.

À LA CALCULATRICE



1.3 En déduire, en MeV, l'énergie de liaison E_l du noyau de calcium 48, puis son énergie de liaison par nucléon E_l/A.

Données utiles $\Delta m = 0{,}446\,48$ u (1.2) ; $1 \text{ u} = 1{,}660\,54 \times 10^{-27}$ kg ; $c = 3{,}00 \times 10^8$ m · s^{-1} ; $1 \text{ eV} = 1{,}602 \times 10^{-19}$ J ; $A = 48$

Énergie de liaison : $E_l = \Delta m \cdot c^2$, avec Δm en kg.

$$E_l = 0{,}446\,48 \times 1{,}660\,54 \times 10^{-27} \times (3{,}00 \times 10^8)^2 = 6{,}67 \times 10^{-11} \text{ J}$$

Comme $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} = 1{,}602 \times 10^{-13}$ J :

$$E_l = \frac{6{,}67 \times 10^{-11}}{1{,}602 \times 10^{-13}} = 417 \text{ MeV}$$

Énergie de liaison par nucléon : $\dfrac{E_l}{A} = \dfrac{416{,}5}{48}$

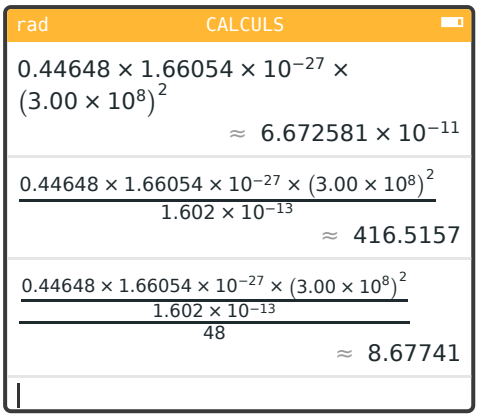
$$\boxed{E_l = 417 \text{ MeV et } \frac{E_l}{A} = 8{,}68 \text{ MeV par nucléon}}$$

PIÈGE
Laisser Δm en u dans $\Delta m \cdot c^2$: le résultat n'est en joules que si la masse est en kilogrammes. Ne pas confondre non plus eV et MeV.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, imposés par $c = 3{,}00 \times 10^8$ m · s^{-1}. On enchaîne les calculs sans arrondir les valeurs intermédiaires.

MÉTHODE
Plus E_l/A est grande, plus le noyau est stable. C'est cette grandeur, et non E_l, qui permet de comparer deux noyaux ; les plus stables atteignent environ 8,8 MeV par nucléon.

À LA CALCULATRICE



2.1 Compléter l'équation de désintégration du berkélium 249 en californium 249 en précisant les lois de conservation utilisées. Identifier la particule émise et le type de radioactivité.

On note ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$ la particule émise : ${}^{249}_{97}\mathrm{Bk} \longrightarrow {}^{249}_{98}\mathrm{Cf} + {}^{A}_{Z}\mathrm{X}$

- Conservation du nombre de nucléons : $249 = 249 + A$, donc $A = 0$.
- Conservation du nombre de charge : $97 = 98 + Z$, donc $Z = -1$.

La particule n'a aucun nucléon et porte une charge $-e$: c'est un électron.

${}^{249}_{97}\mathrm{Bk} \longrightarrow {}^{249}_{98}\mathrm{Cf} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$: émission d'un électron, radioactivité β^-.

PIÈGE
Parler de « conservation de la masse » ou « des éléments » : dans une réaction nucléaire, seuls le nombre de nucléons A et le nombre de charge Z se conservent (lois de Soddy).

2.2 Définir le temps de demi-vie $t_{1/2}$.

Le temps de demi-vie $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle **la moitié des noyaux radioactifs** initialement présents dans un échantillon se sont désintégrés : $N(t_{1/2}) = \dfrac{N_0}{2}$.

PIÈGE
Écrire qu'au bout de $2\,t_{1/2}$ tous les noyaux ont disparu : il en reste un quart, la population étant divisée par deux à chaque demi-vie.

2.3.1 Rappeler l'expression de la loi de décroissance radioactive en faisant intervenir la constante radioactive λ.

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

COMPRENDRE
N_0 est le nombre de noyaux à $t = 0$; λ s'exprime en s^{-1} (ou en jour^{-1} si t est en jours) pour que l'exposant soit sans unité.

2.3.2 Exprimer le rapport $\dfrac{N}{N_0}$ en fonction de la date t et de la demi-vie $t_{1/2}$.

D'après la loi de décroissance : $\dfrac{N}{N_0} = \mathrm{e}^{-\lambda t}$, avec $\lambda = \dfrac{\ln 2}{t_{1/2}}$.

$$\frac{N}{N_0} = \mathrm{e}^{-\frac{\ln 2}{t_{1/2}}\,t}$$

MÉTHODE
Forme équivalente, utile pour vérifier : $\dfrac{N}{N_0} = \left(\dfrac{1}{2}\right)^{t/t_{1/2}}$. Pour $t = t_{1/2}$ on retrouve bien $\dfrac{1}{2}$.

2.3.3 Le bombardement a duré 150 jours. Vérifier l'affirmation : « À la fin de l'expérience, il ne restait que 70 % du berkélium initial ».

Données utiles $t = 150$ jours ; $t_{1/2} = 320$ jours (la « période » du texte)

t et $t_{1/2}$ sont exprimés dans la même unité (le jour) :

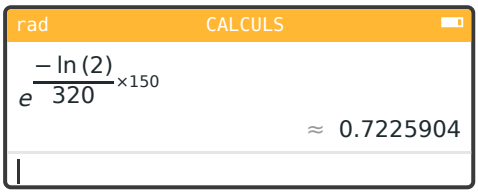
$$\frac{N}{N_0} = \mathrm{e}^{-\frac{\ln 2}{320}\times 150} = 0{,}72$$

$\frac{N}{N_0} = 0{,}72$, soit 72 % : il reste bien environ 70 % du berkélium initial, l'affirmation est vérifiée.

PIÈGE
Oublier le signe « $-$ » dans l'exponentielle (on trouverait 1,38, soit plus de noyaux qu'au départ), ou convertir une seule des deux durées en secondes.

COMPRENDRE
Le résultat est cohérent : 150 jours représentent un peu moins d'une demi-vie, il doit donc rester plus de 50 % des noyaux.

À LA CALCULATRICE



2.4.1 Déterminer le nombre initial N_0 de noyaux de berkélium 249 dans l'échantillon de 22 mg.

Données utiles $m = 22$ mg ; $m_{\text{atome}} = 4{,}136 \times 10^{-25}$ kg

Chaque atome contient un noyau, donc $N_0 = \dfrac{m}{m_{\text{atome}}}$, avec $m = 22\ \text{mg} = 22 \times 10^{-6}$ kg.

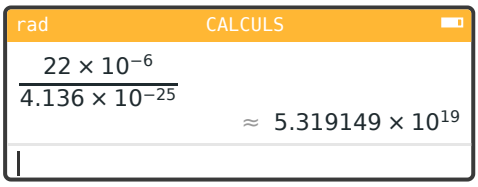
$$N_0 = \frac{22 \times 10^{-6}}{4{,}136 \times 10^{-25}}$$

$N_0 = 5{,}3 \times 10^{19}$ noyaux

PIÈGE
Conversion : $1\ \text{mg} = 10^{-3}\ \text{g} = 10^{-6}$ kg. Écrire 22×10^{-3} kg donne un résultat mille fois trop grand.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la masse de 22 mg, donnée la moins précise.

À LA CALCULATRICE



2.4.2 Exprimer l'activité initiale A_0 de l'échantillon de berkélium 249 en fonction de N_0 et $t_{1/2}$, puis la calculer en becquerel.

Données utiles $N_0 = 5{,}3 \times 10^{19}$ (2.4.1) ; $t_{1/2} = 320$ jours

L'activité est proportionnelle au nombre de noyaux : $A(t) = \lambda N(t)$. À $t = 0$: $A_0 = \lambda N_0$, soit

$$A_0 = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} N_0$$

Le becquerel est une désintégration par seconde : $t_{1/2} = 320 \times 24 \times 3600 = 2{,}76 \times 10^7$ s.

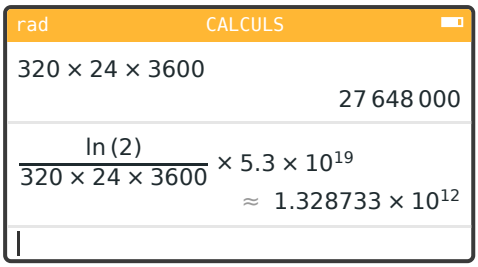
$$A_0 = \frac{\ln 2}{320 \times 24 \times 3600} \times 5{,}3 \times 10^{19}$$

$A_0 = 1{,}3 \times 10^{12}$ Bq

PIÈGE
Laisser $t_{1/2}$ en jours : on obtient des désintégrations par jour, pas des becquerels. Ici, contrairement à la question 2.3.3, la conversion en secondes est indispensable.

COMPRENDRE
$A = \lambda N$ vient de $A = -\dfrac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t}$ appliquée à $N_0\,\mathrm{e}^{-\lambda t}$. L'activité décroît donc comme N : au bout de 150 jours elle ne vaut plus que 72 % de A_0.

À LA CALCULATRICE



3.1 Écrire l'équation de la désintégration α d'un noyau d'ununseptium 293, le noyau fils n'étant pas dans un état excité.

La particule α est un noyau d'hélium ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$. Pour le noyau fils ${}^{A}_{Z}\mathrm{Y}$:

- conservation du nombre de nucléons : $293 = 4 + A$, donc $A = 289$;
- conservation du nombre de charge : $117 = 2 + Z$, donc $Z = 115$, élément ununpentium Uup d'après le tableau.

${}^{293}_{117}\mathrm{Uus} \longrightarrow {}^{289}_{115}\mathrm{Uup} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$

COMPRENDRE
Noyau fils non excité : aucun rayonnement γ n'accompagne la désintégration. Depuis 2016, ces éléments ont un nom définitif : tennesse (Ts) pour $Z = 117$, moscovium (Mc) pour $Z = 115$.

3.2.1 Quel type de désintégration n'a pas encore été évoqué dans cet exercice ?

L'exercice a traité la radioactivité β^- (2.1) et la radioactivité α (3.1).

Il reste la radioactivité β^+ : émission d'un positon ${}^{0}_{1}\mathrm{e}$.

3.2.2 Dans le fragment de diagramme (N, Z), choisir un noyau instable concerné par ce type de désintégration et écrire l'équation correspondante, le noyau fils n'étant pas dans un état excité.

Lors d'une désintégration β^+, un proton du noyau se transforme en neutron : Z diminue de 1 et N augmente de 1. Sont concernés les noyaux instables trop riches en protons, situés à droite des cases grises : ${}^{11}_{6}\mathrm{C}$, ${}^{13}_{7}\mathrm{N}$ ou ${}^{15}_{8}\mathrm{O}$.

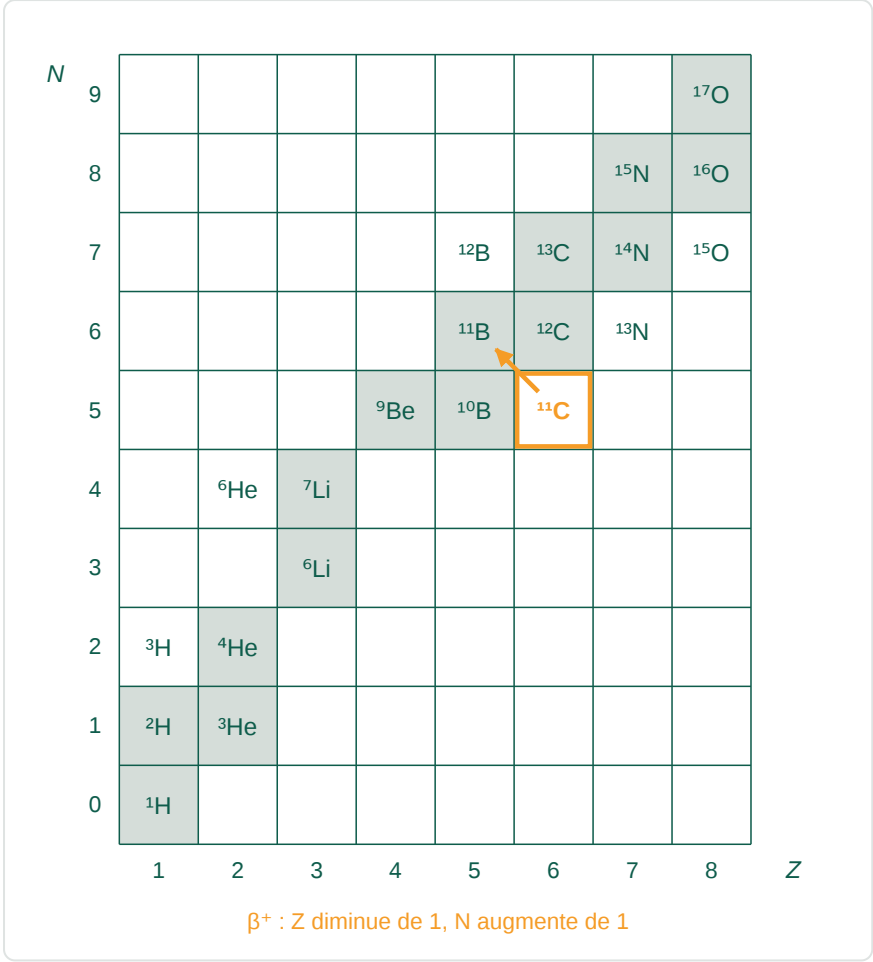
Choix du carbone 11 : ${}^{11}_{6}\mathrm{C} \longrightarrow {}^{A}_{Z}\mathrm{Y} + {}^{0}_{1}\mathrm{e}$

- nombre de nucléons : $11 = A + 0$, donc $A = 11$;
- nombre de charge : $6 = Z + 1$, donc $Z = 5$: c'est le bore.

${}^{11}_{6}\mathrm{C} \longrightarrow {}^{11}_{5}\mathrm{B} + {}^{0}_{1}\mathrm{e}$; le bore 11 ($Z = 5$, $N = 6$) est bien dans une case grise, donc stable.

PIÈGE
Choisir ${}^{3}_{1}\mathrm{H}$, ${}^{6}_{2}\mathrm{He}$ ou ${}^{12}_{5}\mathrm{B}$: ces noyaux ont trop de neutrons et sont radioactifs β^-.

MÉTHODE
Sur ce diagramme (Z en abscisse, N en ordonnée), une désintégration β^+ déplace le noyau d'une case vers la gauche et d'une case vers le haut ; une β^- fait l'inverse. On vérifie ainsi que le noyau fils se rapproche des cases grises.



3.2.2 · Fragment du diagramme (N, Z) du sujet : cases grises = noyaux stables ; en orange, la désintégration β^+ du carbone 11