Décroissance radioactive et demi-vie

Fiche méthode

(Physique-chimie Tle spécialité · Constitution et transformations de la matière · Modéliser l'évolution temporelle d'un système, siège d'une transformation nucléaire)

La démarche pour un calcul de décroissance

1. Je repère les données : le noyau, sa demi-vie ou sa constante λ, ce qu'on connaît au départ (N_0, A_0, m) et ce qu'on cherche.

2. Je calcule $\lambda = \dfrac{\ln 2}{t_{1/2}}$ dans l'unité de temps utile : $\mathrm{s^{-1}}$ pour des becquerels, sinon celle de l'énoncé.

3. J'écris la loi : $N(t) = N_0\,e^{-\lambda t}$, $A(t) = A_0\,e^{-\lambda t}$ ou $\dfrac{N}{N_0} = 2^{-t/t_{1/2}}$.

4. Je calcule ou j'isole : une fraction restante par l'exponentielle, une durée par le logarithme, $t = \dfrac{1}{\lambda}\ln\dfrac{N_0}{N}$.

5. Je contrôle l'ordre de grandeur avec le nombre de demi-vies écoulées.

Le réflexe — dans $e^{-\lambda t}$, λ et t ont la même unité de temps ; pour des becquerels, λ est en $\mathrm{s^{-1}}$.

Cas 1 · Prévoir le type de désintégration avec le diagramme (N, Z)

Réflexe — je compare $N = A - Z$ à celui des isotopes stables : trop de neutrons $\rightarrow \beta^-$, pas assez $\rightarrow \beta^+$.

Exemple. Le néon ($Z = 10$) a trois isotopes stables, 20, 21 et 22. Néon 19 et néon 24 ?

Isotopes stables : N de 10 à 12. Néon 19 : $N = 9$, pas assez de neutrons $\rightarrow \beta^+$. Néon 24 : $N = 14$, trop de neutrons $\rightarrow \beta^-$.

Attention — raisonner sur le nombre de neutrons, pas sur « au-dessus » ou « en dessous » de la vallée.

Cas 2 · Écrire une équation de désintégration

Réflexe — conservation de A et de Z, puis l'élément par Z.

Exemple. Le krypton 85 ($Z = 36$) est émetteur β^- (rubidium : $Z = 37$).

$A = 85$, $Z = 36 - (-1) = 37$: ${}^{85}_{36}\mathrm{Kr} \rightarrow {}^{85}_{37}\mathrm{Rb} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + \overline{\nu}_e$.

Attention — en β^-, Z augmente de 1 ; en β^+, il diminue de 1.

Cas 3 · Utiliser la loi de décroissance

Réflexe — $N(t) = N_0\,e^{-\lambda t}$, avec λt sans unité.

Exemple. $N_0 = 2{,}0 \times 10^{10}$ noyaux, $\lambda = 0{,}25\ \mathrm{j^{-1}}$. Combien en reste-t-il après 4,0 jours ?

$\lambda t = 0{,}25 \times 4{,}0 = 1{,}0$: $N = 2{,}0 \times 10^{10} \times e^{-1{,}0} \approx 7{,}4 \times 10^{9}$ noyaux.

Attention — λ en $\mathrm{j^{-1}}$ avec t en jours, pas en heures.

Cas 4 · Exploiter une demi-vie

Réflexe — $\dfrac{N}{N_0} = 2^{-t/t_{1/2}}$; une durée par le logarithme.

Exemple. Des grains d'iode 125 ($t_{1/2} = 59{,}4$ j), implantés en curiethérapie, restent dans le corps. Quelle fraction subsiste au bout de 365 jours ?

$\dfrac{365}{59{,}4} \approx 6{,}1$ demi-vies : $\dfrac{N}{N_0} = 2^{-365/59{,}4} \approx$ **1,4 %**.

Attention — pas de proportionnalité : 6 demi-vies divisent par 64, pas par 6.

Cas 5 · Calculer une activité

Réflexe — $N = \dfrac{m}{M}\,N_A$, λ en $\mathrm{s^{-1}}$, puis $A = \lambda N$.

Exemple. Activité de 1,0 µg de samarium 153 ($M = 153\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$, $t_{1/2} = 46{,}3\ \mathrm{h}$) ?

$N = \dfrac{1{,}0\times10^{-6}}{153}\times 6{,}022\times10^{23} \approx 3{,}9\times10^{15}$; $\lambda = \dfrac{\ln 2}{46{,}3\times 3\,600} \approx 4{,}16\times10^{-6}\ \mathrm{s^{-1}}$; $A \approx 1{,}6\times10^{10}$ **Bq**.

Attention — oublier de convertir les heures en secondes donne une activité 3 600 fois trop grande.

Cas 6 · Dater un échantillon

Réflexe — $t = \dfrac{t_{1/2}}{\ln 2}\ln\dfrac{A_0}{A}$, puis contrôle par le nombre de demi-vies.

Exemple. Un tissu ancien a gardé 85,0 % de l'activité en carbone 14 d'un tissu récent ($t_{1/2} = 5\,730$ ans).

$t = \dfrac{5\,730}{\ln 2}\ln\dfrac{1}{0{,}850} \approx 1{,}34\times10^{3}$ **ans**, moins d'une demi-vie : cohérent.

Attention — choisir un noyau dont la demi-vie est de l'ordre de l'âge cherché.

Les pièges

- Croire qu'après deux demi-vies il ne reste plus rien : il reste 25 % des noyaux.
- Calculer λ en $\mathrm{j^{-1}}$ ou en $\mathrm{an^{-1}}$ puis annoncer des becquerels.
- Se tromper de sens en $\beta^{\pm}$: $Z_{\text{fils}} = Z - (-1)$ en β^-, $Z - 1$ en β^+.
- Confondre l'activité A et le nombre de nucléons A.
- Penser que la demi-vie dépend de la masse de l'échantillon ou de la température.

Ce document est la propriété intellectuelle de Ben, professeur particulier (benprofparticulier.fr), protégée par le Code de la propriété intellectuelle (art. L. 111-1 et L. 122-4). Il est mis à disposition pour un usage personnel de révision. Toute reproduction, diffusion, mise en ligne ou revente, totale ou partielle, sans autorisation écrite est interdite et constitue une contrefaçon (art. L. 335-2).