

Décroissance radioactive

Niveau : 2ème Bac Sciences Physiques et Chimiques

Prof : AIT MAMA MOHAMED

Sommaire

- I. Le noyau atomique
- II. Noyau et radioactivité
- III. Différents types d'émissions radioactives
- IV. Familles radioactives
- V. Décroissance radioactive
- VI. Application de la radioactivité à la datation
- VII. Protection contre les rayonnements
- VIII. Exercices avec solutions

1 Le noyau atomique

1.1 Composition du noyau

Le noyau atomique

Le noyau atomique est composé de :

- **Protons** : charge $+e = +1,6 \times 10^{-19}$ C, masse $m_p = 1,6726 \times 10^{-27}$ kg
- **Neutrons** : charge nulle, masse $m_n = 1,6750 \times 10^{-27}$ kg

Ces particules sont appelées **nucléons**.

1.2 Représentation symbolique

Notation A_ZX



- X : symbole de l'élément chimique
- A : nombre de masse (nombre de nucléons)
- Z : numéro atomique (nombre de protons)
- $N = A - Z$: nombre de neutrons

1.3 Isotopes

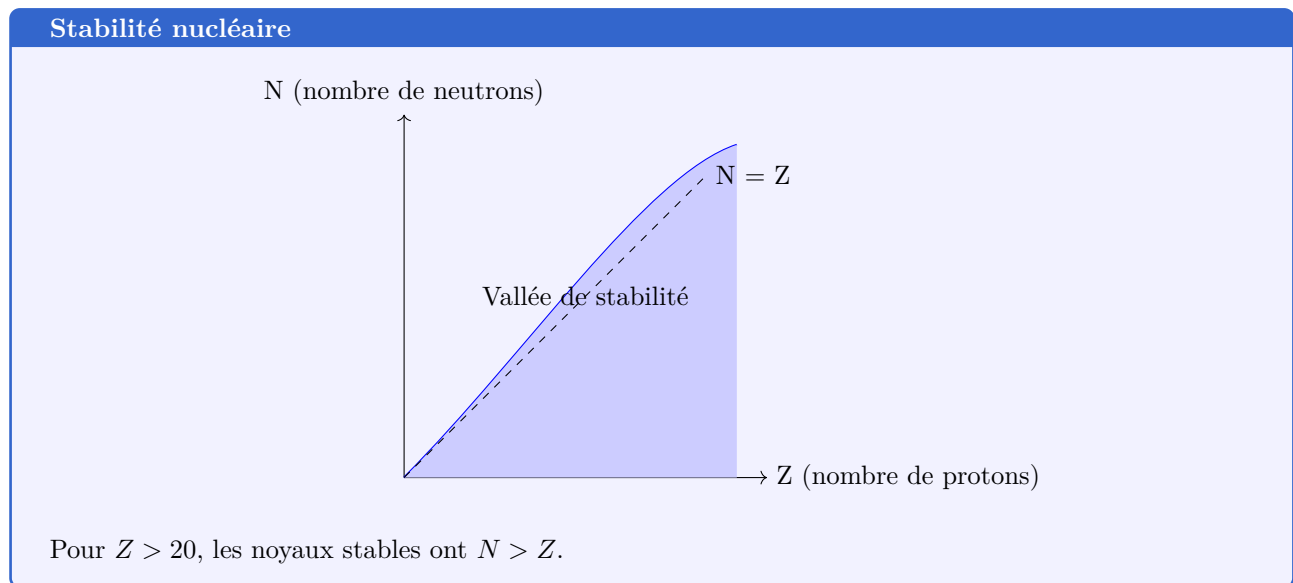
Exemples d'isotopes

- Carbone : ${}^{12}_6C$ et ${}^{14}_6C$
- Uranium : ${}^{235}_{92}U$ et ${}^{238}_{92}U$

Les isotopes ont le même Z mais des A différents.

2 Noyau et radioactivité

2.1 Diagramme de Segré



2.2 Radioactivité

Définition

Transformation spontanée d'un noyau instable en un noyau plus stable avec émission de particules.

Propriétés :

- Aléatoire
- Spontanée
- Inévitable
- Indépendante des conditions extérieures

3 Types d'émissions radioactives

Types de radioactivité

- α : émission de noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$
- β^- : émission d'électron ${}^0_{-1}e$
- β^+ : émission de positron ${}^0_{+1}e$
- γ : émission de photon énergétique

3.1 Exemples de désintégrations

Équations de désintégration

- α : ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$
- β^- : ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^0_{-1}e$
- β^+ : ${}^{30}_{15}\text{P} \rightarrow {}^{30}_{14}\text{Si} + {}^0_{+1}e$
- γ : ${}^{16}_8\text{O}^* \rightarrow {}^{16}_8\text{O} + \gamma$

4 Décroissance radioactive

4.1 Loi de décroissance

Loi exponentielle

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

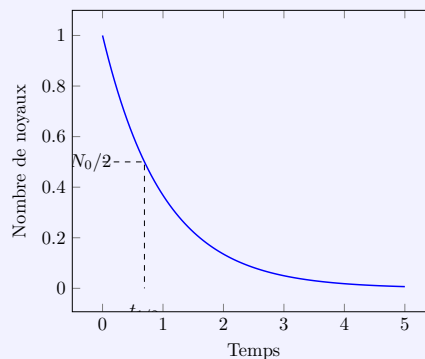
- N_0 : nombre initial de noyaux
- λ : constante radioactive
- $\tau = 1/\lambda$: constante de temps

4.2 Demi-vie

Temps de demi-vie

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

Temps au bout duquel la moitié des noyaux se sont désintégrés.



5 Datation au carbone 14

Principe de la datation

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{a_{\text{vivant}}}{a_{\text{mort}}} \right) = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \ln \left(\frac{a_{\text{vivant}}}{a_{\text{mort}}} \right)$$

Pour le carbone 14 ($t_{1/2} = 5570$ ans) :

- Taux constant dans les organismes vivants
- Décroissance après la mort

6 Protection contre les rayonnements

Protection

- α : feuille de papier
- β : quelques mm de métal
- γ : plomb ou béton épais

7 Exercices avec solutions

7.1 Exercice 1

Exercice 1 (Carbone 14)

Le carbone ($Z = 6$) possède deux isotopes de nombre de masse 12 et 14.

1. Donner la composition de chacun des noyaux.
2. Écrire l'équation de la réaction d'un neutron sur un noyau d'azote 14 produisant du carbone 14.
3. Écrire l'équation de désintégration β^- du carbone 14.
4. Donner l'expression de la loi de décroissance radioactive.
5. Définir la demi-vie et l'exprimer en fonction de λ .
6. Pour un échantillon de bois ancien avec une teneur en carbone 14 8 fois plus faible que dans le bois vivant, déterminer son âge.

Solution Exercice 1

1. — ${}^1_0n + {}^{14}_7N \rightarrow {}^{14}_6C + {}^1_1p$
— ${}^{14}_6C : 6 \text{ protons, } 8 \text{ neutrons}$
— ${}^{14}_7N : 7 \text{ protons, } 7 \text{ neutrons}$
2. ${}^{14}_6C \rightarrow {}^{14}_7N + {}^0_{-1}e$
3. $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$
4. $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$
5. $\frac{N(t)}{N_0} = \frac{1}{8} = \left(\frac{1}{2}\right)^3$
Donc $t = 3 \times t_{1/2} = 3 \times 5570 = 16710 \text{ ans}$

7.2 Exercice 2

Exercice 2 (Iode 131)

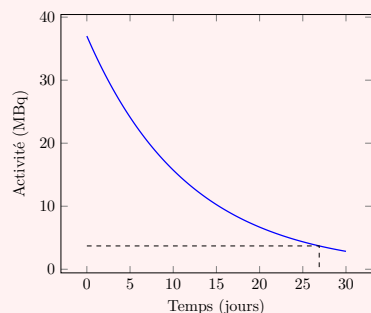
L'iode 131 (${}^{131}_{53}I$) est radioactif β^- avec $t_{1/2} = 8,1 \text{ jours}$.

1. Écrire l'équation de désintégration en xénon (Xe).
2. Pourquoi distribuer des comprimés d'iode 127 en cas d'accident nucléaire ?
3. Calculer l'activité de 1,0 g d'iode 131.
4. Pour un examen médical nécessitant 37 MBq, quelle masse d'iode 131 injecter ?
5. Tracer la courbe de décroissance et déterminer quand l'activité est divisée par 10.

Données : $M({}^{131}I) = 131 \text{ g/mol}$; $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Solution Exercice 2

- ${}^{131}_{53}\text{I} \rightarrow {}^{131}_{54}\text{Xe} + {}^0_{-1}\text{e}$
- Saturer la thyroïde en iode stable pour éviter la fixation d'iode radioactif.
- $\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{0,693}{8,1 \times 86400} = 9,9 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$
 $N = \frac{1}{\lambda} \times 6,02 \times 10^{23} = 4,60 \times 10^{21} \text{ noyaux}$
 $A = \lambda N = 9,9 \times 10^{-7} \times 4,60 \times 10^{21} = 4,55 \times 10^{15} \text{ Bq}$
- $m' = \frac{37 \times 10^6}{4,55 \times 10^{15}} \times 1,0 = 8,1 \times 10^{-9} \text{ g} = 8,1 \text{ ng}$



5.

7.3 Exercice 3**Exercice 3 (Datation au carbone 14)**

- Écrire l'équation de formation du carbone 14 par action d'un neutron sur l'azote 14.
- Écrire l'équation de désintégration β^- du carbone 14.
- Exprimer l'activité après un temps $t = n \times t_{1/2}$.
- Pour un échantillon de bois ancien avec $\frac{a_2}{a_1} = 1,85$, estimer sa date de coupe.

Donnée : $t_{1/2}({}^{14}\text{C}) = 5570 \text{ ans}$ **Solution Exercice 3**

- ${}_0^1\text{n} + {}_7^{14}\text{N} \rightarrow {}_6^{14}\text{C} + {}_1^1\text{p}$
- ${}_6^{14}\text{C} \rightarrow {}_7^{14}\text{N} + {}^0_{-1}\text{e}$
- $A(nt_{1/2}) = A_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n$
- $\frac{a_2}{a_1} = 1,85 \Rightarrow \frac{a_0 e^{-\lambda(t-1985)}}{a_0 e^{-\lambda(t-1998)}} = e^{\lambda \times 13} = 1,85$
 $\lambda = \frac{\ln 1,85}{13} = 0,047 \text{ an}^{-1}$
 $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \approx 14,7 \text{ ans}$
 $t = 1998 - \frac{\ln(a_0/a_1)}{\lambda} \approx 1998 - 14,7 \times \log_2(8) \approx 1960$

7.4 Exercice 4**Exercice 4 (Radon 222)**On étudie la décroissance du radon 222 (${}^{222}_{86}\text{Rn}$) par mesure d'activité.

- Donner l'expression de $A(t)$.
- Déterminer graphiquement $t_{1/2}$ à partir de $\ln A = f(t)$.
- Déterminer A_0 .
- Calculer le nombre de noyaux désintégrés en 50 jours.

Solution Exercice 4

1. $A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$
2. La pente de $\ln A$ vs t donne λ :
 $\ln A = \ln A_0 - \lambda t$
 $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \approx 3,8$ jours (pour le radon)
3. Extrapolation à $t = 0$: $\ln A_0 \approx 6,5 \Rightarrow A_0 \approx e^{6,5} \approx 665$ Bq
4. $N_{dés} = N_0(1 - e^{-\lambda \times 50}) = \frac{A_0}{\lambda}(1 - e^{-\lambda \times 50}) \approx 2,5 \times 10^7$ noyaux

Fin de la séance - Bon travail !