PHYSIQUE-CHIMIE · TERMINALE / COURS

Décroissance radioactive

Astrolab Cours · astrolabcours.fr

01 Le problème

On a retrouvé un os dans une grotte. Il contient encore un peu de carbone 14, un noyau radioactif, mais quatre fois moins qu'un os actuel. Quel âge a-t-il ? Pour répondre, il faut savoir à quel rythme les noyaux radioactifs disparaissent.

01 L'idée : le grand lancer de pièces

Donne une pièce à chacun des 1 000 élèves d'un lycée. Chaque minute, tout le monde lance sa pièce. Ceux qui tombent sur pile sortent du jeu.

- Personne ne peut prédire **qui** sortira à la prochaine minute : c'est du hasard.
- Mais on sait très bien **combien** : environ la moitié de ceux qui restent.

Après 1 minute, il reste environ 500 joueurs, après 2 minutes 250, après 3 minutes 125. Le nombre de joueurs est divisé par 2 à chaque minute. Les noyaux radioactifs font exactement la même chose : chacun se désintègre au hasard, mais la population entière suit une loi très régulière.

01 Les noyaux et les désintégrations

Un noyau se note ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$, avec Z le nombre de protons et A le nombre de nucléons. Deux **isotopes** ont le même Z mais pas le même A.

Un noyau **radioactif** est instable : il se transforme spontanément en un autre noyau en émettant une particule.

Type	Particule émise	Exemple
α	noyau d'hélium ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$	${}^{238}_{92}\mathrm{U} \longrightarrow {}^{234}_{90}\mathrm{Th} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$
β^-	électron ${}^{0}_{-1}\mathrm{e}$	${}^{14}_{6}\mathrm{C} \longrightarrow {}^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$
β^+	positon ${}^{0}_{1}\mathrm{e}$	${}^{18}_{9}\mathrm{F} \longrightarrow {}^{18}_{8}\mathrm{O} + {}^{0}_{1}\mathrm{e}$

Lois de conservation : dans une équation de réaction nucléaire, la somme des A et la somme des Z se conservent.

Le noyau fils est souvent dans un état excité : il se désexcite en émettant un rayonnement électromagnétique très énergétique, le rayonnement γ.

La loi de décroissance

Appelons $N(t)$ le nombre de noyaux radioactifs encore présents. Pendant une petite durée $\mathrm{d}t$, le nombre

© Astrolab Cours · astrolabcours.fr/physique/terminale/decroissance-radioactive/ · Tous droits réservés : usage personnel uniquement, republication et usage commercial interdits

de désintégrations est proportionnel au nombre de noyaux présents et à la durée : $\mathrm{d}N = -\lambda\, N\, \mathrm{d}t$.

Loi de décroissance radioactive.

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

λ est la **constante radioactive**, en s^{-1} : la probabilité de désintégration par unité de temps, propre à chaque noyau.

Demi-vie $t_{1/2}$: durée au bout de laquelle la moitié des noyaux présents se sont désintégrés.

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

La demi-vie, c'est la minute du lancer de pièces. Elle va de la fraction de seconde à des milliards d'années selon les noyaux : 8 jours pour l'iode 131, 5 730 ans pour le carbone 14, 4,5 milliards d'années pour l'uranium 238.

Au bout de n demi-vies, il reste $N_0/2^n$ noyaux.

L'activité

On ne compte pas les noyaux, on compte les désintégrations : c'est ce que mesure un compteur Geiger.

Activité d'un échantillon, en becquerels (Bq), 1 Bq = 1 désintégration par seconde :

$$A(t) = -\frac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t} = \lambda\, N(t) = A_0\, \mathrm{e}^{-\lambda t}$$

L'activité suit la même loi que N : elle est divisée par 2 à chaque demi-vie.

La datation

Un être vivant échange du carbone avec l'atmosphère : la proportion de carbone 14 dans son corps reste constante. À sa mort, les échanges s'arrêtent, le carbone 14 n'est plus renouvelé et décroît. En comparant l'activité d'un échantillon ancien à celle d'un échantillon actuel, on remonte au temps écoulé :

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{A_0}{A}\right) = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \ln\left(\frac{A_0}{A}\right)$$

Pour l'os du début, $A_0/A = 4$, donc $t = 2\, t_{1/2} \approx 11\,500$ ans. Le carbone 14 date jusqu'à environ 50 000 ans. Au-delà, on utilise d'autres noyaux de plus grande demi-vie (potassium-argon, uranium-plomb).

Se protéger

Les rayonnements ionisants abîment les cellules. On s'en protège par trois moyens : **la distance** à la source, **la durée** d'exposition, et **un écran** (une feuille de papier arrête les particules α, quelques millimètres d'aluminium les β, il faut du plomb ou du béton épais contre les γ). En médecine, on choisit des noyaux de courte demi-vie, comme le fluor 18 ($t_{1/2} \approx 110$ min) en imagerie, pour que l'activité dans le corps disparaisse vite.

© Astrolab Cours · astrolabcours.fr/physique/terminale/decroissance-radioactive/ · Tous droits réservés : usage personnel uniquement, republication et usage commercial interdits

Les pièges

- Une désintégration est **aléatoire** pour un noyau, la loi ne vaut que pour un **grand nombre** de noyaux.
- Deux demi-vies : il reste $\frac{1}{4}$, pas 0.
- λ et $t_{1/2}$ doivent être dans **la même unité de temps** que t.
- La demi-vie ne dépend ni de la quantité de noyaux, ni de la température, ni de l'état chimique.

© Astrolab Cours · astrolabcours.fr/physique/terminale/decroissance-radioactive/ · Tous droits réservés : usage personnel uniquement, republication et usage commercial interdits