T1C06 - Réactions nucléaires

E. Machefer

10 janvier 2024

1 Désintégration radioactive

1.1 Interactions fondamentalesAPPARTÉ

Table 1 – Interactions fondamentales

Interaction	boson	phénomènes
Gravitation	graviton (?)	orbite, chute libre
Électromagnétisme	photon	électricité, lumière, radiographie
Forte	8 gluons	cohésion proton, neutron
Faible	Z^0, W^+, W^-	désintégrations nucléaires

1.2 Stabilité des noyaux

Les noyaux radioactifs (X) sont des noyaux instables qui se **désintègrent spontanément** en un autre noyau (Y) en émettant une autre particule.

Le noyau qui se désintègre est appelé **noyau père**, le noyau formé est appelé **noyau fils**, ce dernier peut également être radioactif.

Table 2 – Symbole des particules

Particule	symbole
proton	${}_1^1\mathrm{p}$
neutron	${}_0^1\mathrm{n}$
électron	${}_{-1}^{0}\mathrm{e}$
positron	${}_1^0\mathrm{e}$

Le nombre en bas à gauche est le **nombre de charge**, il correspond aux nombre de charges électriques élémentaires de la particule émise.

1.3 Équations de désintégration

Définition 1.

Afin de modéliser une désintégration, on utilise une équation de désintégration radioactive. Cette équation respecte la **conservation du nombre de charge** et la **conservation du nombre de masse**.

— **Exemple : désintégration du carbone 14**, le noyau ${}_6^{14}\mathrm{C}$ est instable (il a un excédent de neutrons par rapport au nombre de protons), il se désintègre spontanément en azote ${}_7^{14}\mathrm{N}$
${}_6^{14}\mathrm{C} \rightarrow {}_7^{14}\mathrm{N} + {}_{-1}^{0}\mathrm{e} + \bar{\nu}_e$

Remarque 1.

Lors d'une désintégration, le noyau fils est régulièrement instable il émet ensuite un rayonnement gamma.

Table 3 – Principaux rayonnements ionnisants

Rayonnement	particule émise	exemple	force
alpha (α)	${}^{2}_{4}$He	${}^{A}_{Z}$X $\rightarrow$ ${}^{2}_{4}$He + ${}^{A-4}_{Z-2}$Y	S + EM
beta plus (β^{+})	${}^{0}_{1}$e	${}^{A}_{Z}$X $\rightarrow$ ${}^{0}_{-1}$e + ${}^{A}_{Z+1}$Y + $\bar{\nu}_e$	WEAK
beta moins (β^{-})	${}^{0}_{-1}$e	${}^{A}_{Z}$X $\rightarrow$ ${}^{0}_{1}$e + ${}^{A}_{Z-1}$Y + ν_e	WEAK
gamma	${}^{0}_{0}\gamma$	${}^{A}_{Z}$X* $\rightarrow$ ${}^{A}_{Z}$X + ${}^{0}_{0}\gamma$	EM

1.4 Types de radioactivité

Exercice 6 p 122

Exercice 8 p 122

Exercice 10 p 122

1.5 Diagramme (N, Z)

Afin de gagner en stabilité les noyaux subissent des désintégrations spécifique.

Excès de...	rayonnement émis
neutrons	${}^{0}_{-1}$e
protons	${}^{0}_{1}$e
nucléons	${}^{2}_{4}$He

Activité 1 p 113

2 Décroissance radioactive

2.1 Loi de décroissance et demie vie

Au cours d'un intervalle de temps Δ t, la variation Δ N(t) du nombre de noyau radioactifs est proportionnel au nombre de noyaux présents à l'instant t, et N(t+Δ t) < N(t), donc la variation doit être négative, donc Δ N(t)/Δ t = -λ N(t).

Pour un intervalle Δ t $\rightarrow$ dt, l'expression devient

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda \times N(t).$$

La résolution de cette équation différentielle de degré 1 donne l'expression de l'évolution de noyaux radioactifs au cours du temps, la **loi de décroissance radioactive**

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

avec λ la **constante radioactive** caractéristique du noyau (en s^{-1}), et $\mathrm{N_0}$ le nombre initial de noyau radioactifs.

Définition 2.

La **demi-vie** ($\mathrm{t_{1/2}}$) est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux initialement présent se sont désintégrés.
$\mathrm{N(t_{1/2})} = \mathrm{N_0}/2$, soit $\mathrm{t_{1/2}} = \ln(2)/\lambda$

Exercice : preuve

Exercice 14 p 123

Exercice 16 p 123

Exercice 18 p 124

Exercice 23 p 125

2.2 Activité radioactive

Définition 3.

L'**activité** (A) d'un échantillon radioactif correspond au nombre de désintégrations par seconde dans l'échantillon, elle s'exprime en becquerel (1 Bq = 1 désintégration par seconde).
L'activité d'un échantillon est modélisé par la loi de décroissance

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

avec $\mathrm{A_0}$ l'activité de l'échantillon à l'état initial.

Remarque 2.

L'activité correspond à la variation du nombre de noyaux radioactifs au cours du temps

$$A(t) = -\frac{dN}{dt}(t) = \lambda N(t)$$

Exercice 31 p 127

3 Datation et radioprotection

3.1 Radioatation

Définition 4.

Une **radiodatation** consiste à déterminer l'âge t d'un échantillon. Pour cette datation, il faut connaître la constante radioactive du noyau considéré et mesurer l'activité ou le nombre de noyaux à la date t.

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

Exercice : datation au plomb 210

La désintégration du l'uranium 238 présent naturellement dans de nombreuses roches produit en permanence du radon 222, un gaz qui se répand dans l'atmosphère.

Après plusieurs désintégration ce radon produit du plomb 210, de demi-vie $t_{1/2} = 22.2$ ans. L'activité dans l'atmosphère de ce plomb est constante et mesurable, elle vaut A_0.

Sous l'action de la pluie, le plomb est ramené au sol, son activité suis une loi de décroissance.

1. Déterminer l'age d'un échantillon ayant pour activité $A(t) = 0.27\ A_0$
   — **Réponse** $t = -\frac{t_{1/2}}{ln(2)} ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right)$
   Soit $t = -22.2\frac{ln(0.27)}{ln(2)} = 42$ ans

3.2 Médecine et radioprotection

TABLE 4 – Distances de pénétration et rayonnements en m

	Air	Béton	Plomb	Risques
α	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	Aucun
β	10^{1}	10^{-1}	10^{-2}	Lésions cutanées
γ	10^{3}	10^{0}	10^{-1}	Tissus ou organes atteints

— La meilleure protection est l'éloignement par rapport aux sources radioactives
— Pour toutes manipulation d'une source radioactive, il faut utiliser des écrans protecteurs et minimiser la durée d'exposition

En Europe, la dose de radioactivité maximale pour le public est de 1 mSv pour 12 mois ([Sv] = J/kg = m^2/s^2)

29 p 126 **exercice**