



PAES – 1^{er} Semestre 2011-2012

BIOPHYSIQUE DES RADIATIONS

Radioactivité

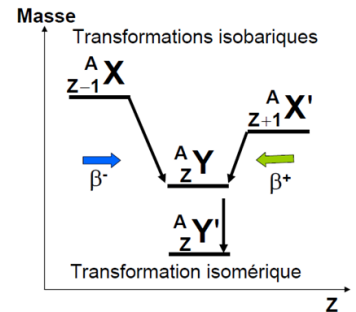
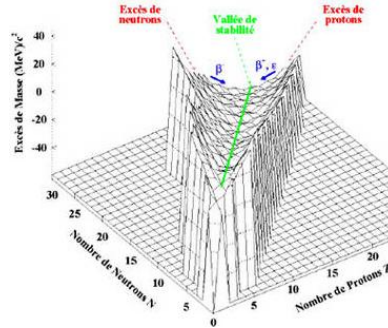
I. Généralités :

Transformation radioactive : mutation (ou désintégration) d'un noyau atomique.

$m(\text{Noyau}_{\text{père}}) - m(\text{Noyau}_{\text{fils}}) = \text{perte de masse} \rightarrow \text{Libération d'énergie}$ (émission d'une particule ou d'un photon).

Lois de conservation :

- ✓ A et Z
- ✓ Energie totale du système
- ✓ Quantité de mouvement

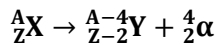


II. Radioactivité α :

Concerne les noyaux lourds

Particule $\alpha = {}^4_2\text{He}$ particulièrement stable (7MeV par nucléon)

Particule lourde, chargée, non relativiste.



$$\Delta M_{\text{noyau}} = M_{\text{atome}}(A, Z) - M_{\text{atome}}(A-4, Z-2) - M_{\text{atome}}(4, 2)$$

L'énergie disponible est libérée sous forme d'énergie cinétique partagée entre les 2 noyaux formés.

Energie cinétique de recul du noyau fils ≈ 0 (car masse très élevée).

- \Rightarrow La particule α emporte toute l'énergie disponible sous forme d'énergie cinétique
 \rightarrow spectre de raie (ordre de grandeur : $E_c = 4$ à 10 MeV).

Trajectoire rectiligne.

Attractions entre α et électrons \Rightarrow ionisations ++

Portée de plusieurs centimètres dans l'air, plusieurs micromètres dans les tissus

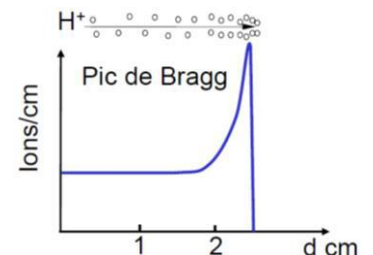
Arrêté par une feuille de papier

Aucun danger en source externe

Danger ++ si inhalé (poumons...)

Source principale d'irradiation naturelle, présent partout (sous-sols granitiques ++)

Utilisation récente en radiothérapie métabolique



III. Transformations isobariques :

En cas d'excès de protons ou de neutrons

1. Désintégration β^- :

En cas d'excès de neutrons

Particule $\beta^- = {}^0_{-1}e = e$

Particule relativiste (énergie de quelques MeV)



${}^0_0\bar{\nu}$ = antineutrino (masse négligeable et charge nulle)

$$\Delta M_{\text{noyau}} = M_{\text{atome}}(A, Z) - M_{\text{atome}}(A, Z+1)$$

Energie cinétique de recul du noyau fils ≈ 0 (car masse très élevée).

⇒ Les particules β^- et $\bar{\nu}$ se partagent toute l'énergie disponible sous forme d'énergie cinétique → spectre continu seul le β^- est détectable.

Trajectoire non rectiligne

Collisions avec des électrons ⇒ ionisations

Portée de plusieurs millimètres

Arrêté par une feuille de métal

Nécessite une protection en source externe et interne

Iode physiologiquement concentré par la thyroïde

Utilisation en radiothérapie métabolique (ou vectorisée) ⇒ traitement cancer thyroïdien

2. Désintégration β^+ :

En cas d'excès de protons

Particule $\beta^+ = {}^0_1e = \text{positon}$

${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z-1}Y + {}^0_1\beta + {}^0_0\nu$; le positon naît de la transformation (spontanément impossible) :

$${}^1_1p \rightarrow {}^1_0n + {}^0_1e \text{ (inversion d'un quark)}$$

${}^0_0\nu$ = neutrino (masse négligeable et charge nulle)

$$\Delta M_{\text{noyau}} = M_{\text{atome}}(A, Z) - M_{\text{atome}}(A, Z-1) - 2m_e$$

⇒ Existence d'un seuil : $M_{\text{atome}}(A, Z) - M_{\text{atome}}(A, Z-1) \cdot 931,5 > 1,022 \text{ MeV}$

Energie cinétique de recul du noyau fils ≈ 0 (car masse très élevée).

⇒ Les particules β^+ et ν se partagent toute l'énergie disponible sous forme d'énergie cinétique → spectre continu seul le β^+ est détectable.

Collisions avec les électrons jusqu'à épuisement de l'énergie cinétique ⇒ annihilation

⇒ Collision entre positon et électron → disparition de toute masse au profit d'une énergie équivalente libérée sous forme de 2 photons de 0,511 MeV.

Portée d'un millimètre

Utilisation en TEP scan (Tomographie par Emission de Positons) pour la cancérologie

3. Capture électronique :

En cas d'excès de protons

${}^A_ZX + {}^0_{-1}e \rightarrow {}^A_{Z-1}Y + {}^0_0\nu$; l'électron est prélevé par capture K : ${}^1_1p + {}^0_{-1}e \rightarrow {}^1_0n + {}^0_0\nu$

Cette capture entraîne un réarrangement de l'atome Y → photons de fluorescence ou électron Auger

$$\Delta M_{\text{noyau}} = M_{\text{atome}}(A, Z) - M_{\text{atome}}(A, Z-1)$$

⇒ Pour que la réaction soit possible, il suffit que $\Delta M > W_K$

Energie cinétique de recul du noyau fils ≈ 0 (car masse très élevée).

⇒ Le neutrino emporte toute l'énergie disponible $E_d - W_K$ sous forme d'énergie cinétique → pas de spectre d'origine nucléaire détectable.

⇒ Mais spectre d'origine atomique (réarrangement de Y : photons de fluorescence ou électrons Auger) → spectre de raies.

Photons émis indirectement → voir cours sur les interactions des photons avec la matière.

Portée de plusieurs mètres

Photons arrêtés par du plomb ou du béton

Utilisation dans la scintigraphie cardiaque au Thallium-201 (détection de fluorescence).

En cas d'excès de protons :

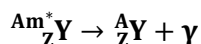
- Au-dessous de 1,022 MeV → capture électronique uniquement
- Au-dessus de 1,022 MeV → désintégration β^+ capture électronique (plus probable si A élevé et lorsque ΔM est peut > 1,022 MeV)

IV. Transformations isomériques :

En cas de désexcitation du noyau (modèle en couches)

Transformation portant sur les niveaux d'énergie des nucléons sans changement de nature du noyau. Intervient après certaines transformations isobariques où le noyau est excité (retour instantané) ou métastable (retour différé > 1s) → émission d'un photon γ ou conversion interne.

1. Radioactivité γ :



Photon γ = photon d'énergie nucléaire

$$\Delta M_{\text{noyau}} = M_{\text{noyau}}(Am, Z) - M_{\text{noyau}}(A, Z) = M_{\text{atome}}(Am, Z) - M_{\text{atome}}(A, Z)$$

Energie cinétique de recul du noyau fils ≈ 0 (car masse très élevée).

⇒ Le photon emporte toute l'énergie disponible $E = h\nu \rightarrow$ spectre électromagnétique nucléaire de raie

Collisions avec les électrons \Rightarrow ionisations (effet photo-électrique, diffusion Compton, création de paires).

Portée de plusieurs mètres

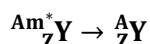
Rayonnements très pénétrants difficiles à arrêter $N(x) = N(0)e^{-\mu x}$

Les photons γ sont arrêtés par une épaisseur de béton ou de plomb

Utilisation dans la gamma caméra (scintigraphie)

En pratique, on calcule l'énergie du photon γ et on en déduit les masses.

2. Conversion interne :



L'énergie en excès est transmise à un électron de l'atome qui est ionisé \rightarrow réarrangements électroniques : photons de fluorescence + électrons Auger.

$$\Delta M_{\text{noyau}} = M_{\text{noyau}}(Am, Z) - M_{\text{noyau}}(A, Z) = M_{\text{atome}}(Am, Z) - M_{\text{atome}}(A, Z)$$

Energie cinétique de recul du noyau fils ≈ 0 (car masse très élevée).

⇒ L'électron emporte toute l'énergie disponible $E = \Delta M - |W_i| \rightarrow$ pas de spectre nucléaire.

⇒ Mais spectre d'origine atomique (réarrangement de Y : photons de fluorescence ou électrons Auger) \rightarrow spectre de raies.

En pratique, on calcule l'énergie du photon γ et on en déduit les masses.

Remarques :

- L'énergie des photons γ (d'origine nucléaire) est en générale supérieure à celle des photons de fluorescence ou de freinage (d'origine atomique).
- Quelle que soit leur origine, les photons ont la même nature et les mêmes propriétés.