

La radioactivité et la gammagraphie

1. Principe général

Il s'agit d'un phénomène lié au noyau des atomes.

Le noyau se désintègre en éjectant une particule et donc se transforme en noyau d'un nouvel élément. La radioactivité est donc liée à une instabilité du noyau.

La réaction est spontanée. On ne peut rien faire pour la modifier, la ralentir ou la provoquer. Elle est aussi aléatoire et peut donc se réaliser à n'importe quel moment.

2. Les différentes formes de radioactivité

a. La désintégration α

Elle a été découverte par Becquerel, puis étudiée avec Pierre et Marie Curie en 1896, tous les 3 prix Nobel en 1903.

Elle concerne les noyaux lourds pour lesquels $A > 200$. Le noyau expulse un noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$.

Ainsi, le radium est radioactif α : ${}^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^{222}_{86}\text{Rn}$. Rn est le gaz radon, le plus lourd des gaz rares. C'est lui qui est pour l'essentiel responsable de la radioactivité naturelle qui dépend pour l'essentiel de la nature du sol et du sous-sol qui peut varier entre quelques dizaines et quelques centaines, voire éventuellement quelques milliers de Becquerel par m^3 . Le seuil maximum admis sans conséquence pour l'homme est de 1000 Bq/m^3 . Le Becquerel correspond à une activité $A = \frac{dN}{dt}$ de une désintégration par seconde.

On écrira de façon générale : ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^{A-4}_{Z-2}\text{Y}$. Le nouveau noyau donnera un rayonnement γ de photons qui constitueront un spectre de raies caractéristiques du noyau.

Le noyau d'hélium étant lourd, il est éjecté avec une faible vitesse et il est facilement arrêté par une faible épaisseur de matière, quelques cm d'air, quelques μm de solide. Par contre, c'est un rayonnement fortement ionisant.

b. La désintégration β^-

Lors d'une désintégration β^- , le noyau éjecte un électron.

On a ainsi : ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^0_{-1}\text{e}^- + {}^A_{Z+1}\text{Y} + {}^0_0\bar{\nu}$. L'électron n'est pas présent dans le noyau. Il se forme par désintégration avec une antiparticule de même nature afin de conserver le nombre de leptons, c'est l'antineutrino. L'antineutrino difficilement détectable à été introduit théoriquement par Pauli en 1930. Il est découvert expérimentalement en 1956.

L'électron est éjecté avec une forte vitesse et est pénétrant, une dizaine de mètres dans l'air, quelques mm dans les métaux.

L'exemple typique de désintégration β^- est celui du carbone 14, isotope du carbone 12 et présent en quantité constante dans les organismes vivants. Nous verrons que ceci permet de dater un certain nombre d'objets.

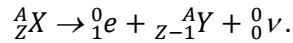
La réaction s'écrit : ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^0_{-1}\text{e}^- + {}^{14}_7\text{N} + {}^0_0\bar{\nu}$.

On note que la désintégration α concerne les noyaux ayant un excès de protons et de neutrons, la désintégration β^- concerne ceux qui ont un excès de neutrons.

c. La désintégration β^+

Il s'agit d'une forme de radioactivité qui n'affecte que les noyaux artificiels. Irène et Frédéric Joliot-Curie la découvre en 1934 en passant à côté de la découverte simultanée du neutron réalisée par Chadwick.

La réaction symétrique de celle de la radioactivité β^- s'écrit :



Les noyaux concernés ont un excès de protons. On obtient ainsi un neutrino et l'antiparticule de l'électron, le positon.

Les Joliot-Curie ont bombardé l'aluminium de particules α et ont ainsi réalisé la première synthèse d'un nouvel élément : ${}^{27}_{13}Al + {}^4_2He \rightarrow {}^{30}_{15}P + {}^1_0n$. Le phosphore 30 est radioactif β^+ : ${}^{30}_{15}P \rightarrow {}^0_1e + {}^{30}_{14}Si + {}^0_0\nu$.

3. La période radioactive

Individuellement, un noyau peut se désintégrer mais on ne peut prévoir quand. Statistiquement, pour un grand nombre de noyaux, on peut prévoir combien se désintègrent en un temps donné. On a ainsi la relation : $dN = -\lambda N_0 dt$. En intégrant, on obtient : $N = N_0 e^{-\lambda t}$.

On définit la « période radioactive » ou « demi-vie » correspondant au temps nécessaire pour la désintégration de la moitié des noyaux : $T = \frac{\ln 2}{\lambda}$.

Cette période est très variable de 10^{-15} s à plusieurs milliards d'années, 5700 ans pour le carbone 14, 4,5 milliards d'années pour l'uranium 238.

On peut considérer qu'un noyau radioactif n'est plus dangereux au delà de 5 à 10 périodes. Ainsi, le nombre de noyaux encore radioactifs est $\frac{N}{N_0} = e^{-5 \ln 2} = 0,03 = 3 \%$, voire $e^{-10 \ln 2} = 0,001 = 0,1 \%$.

4. La gammagraphie

Ayant une très courte longueur d'onde, inférieure à celle des rayons X, les rayons γ pénètrent les métaux et permettent de détecter les défauts par un contrôle non-destructif.

On utilise comme source le cobalt ${}^{60}_{27}Co$. C'est un élément artificiel produit à partir du ${}^{59}_{27}Co$ par la réaction : ${}^{59}_{27}Co + {}^1_0n \rightarrow {}^{60}_{27}Co$. Sa période radioactive est de 5,3 années. Le rayonnement impressionne une plaque photographique avec des zones d'ombres. La gammagraphie est plus simple d'utilisation que les rayons X et permet surtout de voir à l'intérieur de la pièce. Les inconvénients sont évidemment la protection nécessaire et les longs temps de pose nécessaires. La lecture du film n'est pas non plus évidente.