CHAPITRE II LA RADIOACTIVITE

I . Introduction

1896 : Découverte fortuite de la radioactivité par Henri Becquerel (fluorescence des sels d'aluminium).

1898 : Pierre et Marie Curie invente le terme radioactivité, après la découverte du radium, et consacre leurs travaux à l'étude du phénomène. Ils obtiennent le prix Nobel en 1903.

Certains nucléides se transforment spontanément au cours du temps. Cette transformation correspond à un changement de nature du noyau. Cette transformation se fait par émission de particule α ou β ou par fission spontanée ou par capture électronique. Cela se passe pour les noyaux lourds ou qui ont un excès de neutron ou de proton.

Ces noyaux sont dits « Radioactifs » ils se désintègrent. Ce phénomène est indépendant des conditions physico-chimiques du nucléide et de l'âge du nucléide.

La probabilité que, pendant un temps dt, le nucléide considéré se désintègre est une donnée caractéristique de ce nucléide.

La radioactivité

II - Mode de transformation spontanée

On peut classer en deux catégories les modes de transformation :

- Transformation isobarique (A = cste)
- Transformation par partition en 2 noyaux.

II-1 Transformation isobarique

Ce sont des transformations sans changement du nombre de masse A. Ceci est du à un déséquilibre trop important entre les neutrons et protons dans le noyau.

II-1-1 émission β^+

La particule β^+ est un positon, car il y a trop de protons dans le noyau.

$$\boxed{{}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A}_{Z-1}X + {}^{0}_{1}e + \nu}$$

La particule β^+ est un positon, car il y a trop de protons dans le noyau.

$$\boxed{{}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A}_{Z-1}X + {}^{0}_{1}e + \nu}$$

On peut considérer que c'est un proton qui se transforme en un neutron

$$\boxed{{}^{1}_{1}P \longrightarrow {}_{0}^{1}n + {}^{0}_{1}e + \nu}$$

ν est un neutrino de charge nulle et de masse vraisemblablement nulle.

II-1-2 émission β^-

La particule β^- est un électron expulsé du noyau. Il y a émission d'un antineutrino, pour conservation de l'énergie. On peut considérer que β^- correspond à la transformation d'un neutron en proton, car il y a un excès de neutron dans le noyau.

$${}_{0}^{1}n \longrightarrow {}_{1}^{1}p + {}_{-1}^{0}e + \overline{\nu}$$

exemple :

$${}^{90}_{38}S \longrightarrow {}_{-1}^{0}e + {}^{90}_{39}Y + \overline{\nu}$$

II-2 Désintégration α

C'est une désintégration non isobarique, avec émission d'un noyau d'Hélium He

$${}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2}X' + {}^{4}_{2}X$$

$M_\alpha = 4{,}00150$ u

$M\alpha\, c^2 = 3727{,}41$ MeV

Energie de liaison totale El = 28,3 MeV

Energie de liaison par nucléon El/A = 7,07 MeV/nucléon

noyau	^{2}H	^{3}H	^{3}He	^{4}He	^{6}Li	^{7}Li
B (MeV)	2,22	8,48	7,72	28,3	32	9,2
B/A	1,11	2,83	2,57	7,07	5,33	5,60

III Les lois de la désintégration radioactive

- La décroissance radioactive

-Définition :

Supposons qu'on dispose à l'instant t d'une population de noyaux radioactifs, qu'on notera N(t) .

dN : le nombre de désintégration nucléaire qui se produisent dans une quantité données de matiére pendant un temps dt

Le noyau radioactif a une certaine probabilité λ **constante** de se désintégrer par unité de temps.

A l'instant t+dt , une partie des noyaux se sont désintégrés et il reste N(t+dt) noyaux, avec $N(t+dt)<N(t)$. On notera dN(t) la variation du nombre de noyaux pendant le temps dt :

$$dN(t)=N(t+dt)-N(t) \ , \ dN(t)<0$$

Pendant ce temps infinitésimal dt, un noyau à une probabilité λ dt de se désintégrer.

Pendant ce temps dt vont donc disparaître N λ dt noyaux.

On en déduit que $$dN(t)=-\lambda\, N(t)\, dt \qquad (1)$$

Intégrons cette équation différentielle :

$$N_{(t)} = N_0\, e^{-\lambda t} \qquad (2)$$

On voit que le nombre de noyaux va décroître exponentiellement avec le temps

II .3 . La période radioactive

a Définition : La période radioactive d'un radionucléide T est le temps nécessaire pour que la moitié des atomes radioactifs présents initialement se soient désintègre.

Au bout d'un temps t correspondant à une période on a donc

a $T= t \Rightarrow N_{(t)} = N_0\, e^{-\lambda t}$

a $T= t_{1/2} \Rightarrow N_t = N_0/2 \Rightarrow N_0/2 = N_0\, e^{-\lambda t} \Rightarrow$ $$T= \frac{ln2}{\lambda} \qquad \textbf{(3)}$$

b-Vie moyenne

La vie moyenne d'un atome particulier est comprise entre 0 et ∞ . Si on a N_0 atomes présents à t = 0 à t il en reste :

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

entre t et t + dt , dN_t atomes se désintègrent

$$dN_{(t)} = -\lambda \, N_{(t)} \, dt$$

ces $dN_{(t)}$ atomes ont eu une vie égale à t

La durée de vie totale de l'ensemble est

$$dN_{(t)} .t = -\lambda \, N_{(t)} \, t \, dt$$

Par définition la vie moyenne τ des N_0 atomes est la somme des durées de vie de tous les atomes divisée par N_0 .

$$\tau = -1/N_0 \int_0^{\infty} \lambda \, N(t) \, t dt$$

or $N_{(t)} = N_0 \, e^{-\lambda t}$

$$\tau = -\int_0^{\infty} \lambda \, e - \lambda \, t \, t dt$$

on intègre par partie, on obtient $\tau = \lambda^{-1}$

or $N_{(t)} = N_0 \, e^{-\lambda t}$ si $t = \tau = \lambda^{-1}$

donc $N_{(t)} = N_{(t)} = N_0 \, e^{-\lambda/\lambda} = N_0 \, e^{-1}$

(4) $$\boxed{N(t) = N_0 / e}$$

La vie moyenne correspond au temps au bout duquel le nombre d'atomes a décru d'un facteur 1/e.

II . 4 -Activité d'une source radioactive

L'activité moyenne A d'un échantillon radioactif est le nombre moyen de désintégrations qui se produisent par unité de temps ;

$$A = -dN/dt$$

De la relation (1) et de la relation (2) on obtient

$$dN / dt = - \lambda N = A$$

$$A = \lambda N = (0.69/T).N \qquad (5)$$

On peut ainsi monter que : $A_{(t)} = A_0\, e^{-\lambda t}$ (6)

L'unité de l'activité est le Becquerel (Bq). Un Becquerel est égal à une désintégration par seconde.

L'ancienne unité encore très utilisé est le curie

$$1ci = 3.7\ 10^{10}\ Bq$$

***Remarque* : L'activité est un nombre de désintégration par seconde, et non un nombre de rayonnement émis par seconde ; Ce nombre dépend lui du schéma de désintégration**

La vie moyenne correspond au temps au bout duquel le nombre d'atomes a décru d'un facteur 1/e.

II . 4 -Activité d'une source radioactive

L'activité moyenne A d'un échantillon radioactif est le nombre moyen de désintégrations qui se produisent par unité de temps ;

$$A = -dN/dt$$

De la relation (1) et de la relation (2) on obtient

$$dN / dt = - \lambda N = A$$

$$A = \lambda N = (0.69/T).N \qquad (5)$$

On peut ainsi monter que : $A_{(t)} = A_0\, e^{-\lambda t}$ (6)

L'unité de l'activité est le Becquerel (Bq). Un Becquerel est égal à une désintégration par seconde.

L'ancienne unité encore très utilisé est le curie

$$1ci = 3.7\ 10^{10}\ Bq$$

***Remarque* : L'activité est un nombre de désintégration par seconde, et non un nombre de rayonnement émis par seconde ; Ce nombre dépend lui du schéma de désintégration.**

II-5-Datation

Principe :

$$A_{(t)} = A_0\, e^{-\lambda t} \quad \Rightarrow \quad \ln(A_{(t)} / A_0) = -\lambda t \Rightarrow t = \ln(A_0 / A_{(t)} / \lambda$$

En connaissant un radioélément contenu dans l'objet, on détermine sa constante λ

On peut mesurer A, si l'on connait l'activité A_0 de l'échantillon, alors on peut connaitre la date d'origine t de l'objet.

$t_{½}$ (^{14}C) =5570 ans

Exemple : L'activité d'un fragment d'os humain actuel contenant du ^{14}C est de 880 Bq, sachant qu'un fragment ancien a une activité de 110 Bq déterminer l'âge de ce fragment.

à t=0 A_0 = 880 Bq

à t $A_t = A_0\, e^{-\lambda t}$ =110 Bq or T_C = 5570 ans pour ^{14}C donc

$A_{(t)} = A_0\, e_{-}^{0,693\, t/5570}$ $\Rightarrow$ t = 16713.5 ans

II .7 .Bilan d'énergie

-Equivalence masse-énergie

Postulat d'Einstein (1905) :

Un système de masse m possède lorsqu'il est au repos, une énergie de masse : **E = m.c2**

La formule d'Einstein montre que la masse au repos et l'énergie sont des grandeurs équivalentes. En effet, en mécanique classique, une particule libre au repos possède une énergie nulle.

La masse peut se transformer en énergie et réciproquement

-Energie de liaison du noyau

a - $E_l = \Delta m.C^2$

E_l : énergie de liaison du noyau (en Mev)

Δm : défaut de masse du noyau en Kg

C : célérite de la lumiére dans le vide (en m .s^{-1})

Pour un noyau : Zp + (A-Z)n ---------- noyau

$$\Delta m = Z.m_p + (A-Z).m_n - m_{noyau}$$

-Energie de liaison par nucleon

$$E_A = E_l / A$$

E_l : énergie de liaison du noyau (en Mev)

E_A : énergie de liaison par nucléon (en Mev/nucléon)

A : nombre de nucléon du noyau

-Remarque : EA permet de comparer la stabilite des noyaux entre eux.

Plus l'energie de liaison par nucleon est grande , plus le noyau est stable.

- Unités de masse et d'énergie

- L'**électronvolt « eV »** est une unité d'énergie bien adaptée à l'échelle du noyau : 1eV = 1,6.10-19 J

1 eV est l'énergie reçue par un électron accéléré par une différence de potentiel de 1V.

- On utilise également le MeV (= 10^6 eV) mieux adapté à l'échelle du noyau

-Variation de masse et bilan d'énergie d'une réaction nucléaire

On appelle variat**ion de masse** d'une réaction nucléaire la quantité :

$$\Delta m_{(réaction)} = m_{(produits)} - m_{(réactifs)}$$

$$\Delta E_l = \Delta m . C^2$$

III . Réactions nucléaires provoquées

III .1. La fission nucléaire: réaction en chaîne

Définition : La **fission** est une réaction nucléaire, provoquée au cours de laquelle un **noyau lourd** "fissible" (denuméro atomique élevé) **donne naissance à deux noyaux plus légers**

Ex Fission de l'uranium 235

$${}_0^1n \quad + \quad {}^{235}_{92}U \longrightarrow {}^{94}_{38}Sr \quad + \quad {}^{139}_{54}Xe \quad +3\,{}^1_0n \quad + \quad \gamma$$

III .2. La fusion nucléaire

Définition : La **fusion** nucléaire est une réaction au cours de laquelle, **deux noyaux légers s'unissent pour former un noyau plus lourd**.

Fusion de l’Hydrogéne en Hélium

$$^{1}_{1}H + {}^{3}_{1}H \longrightarrow {}^{4}_{2}He + {}_{0}^{1}n$$

Isotopes de l’Hydrogéne

$^{1}_{1}H$: hydrogéne

$^{2}_{1}H$: deutérium

$^{3}_{1}H$: tritium