



☆☆☆☆☆☆☆☆
Matière : Sciences Physiques
☆☆☆☆☆☆☆☆

Décroissance Radioactive

Prof: ELBADAOUI.

07-72-96-61-01 . PC-MATH

Partie B : Transformations nucléaires

~~P&X~~

Chapitre 4 : Décroissance radioactive

1. Stabilité et instabilité des noyaux

1.1. Composition d'un noyau et notation

Le **noyau** d'un atome est noté sous la forme : A_ZX .

X représente le symbole de l'élément considéré.

A représente le nombre de nucléons qui constituent le noyau (protons + neutrons).

Z représente le nombre de charges (pour un atome : nombre de protons du noyau).

Le nombre N de neutrons se détermine donc par l'expression : $N = A - Z$

Notation des particules :

électron : ${}^0_{-1}e$: 0 nucléon ; charge -1

positon : ${}^0_{+1}e$: 0 nucléon ; charge +1

proton : 1_1p : 1 nucléon ; charge +1

neutron : 1_0n : 1 nucléon ; charge 0

Rem. 1 : A est appelé nombre de masse (la masse (en g) d'une mole de noyau est proche de la valeur de A).

Rem. 2 : Z est appelé nombre de charge ou numéro atomique pour un atome.

Exemple : ${}^{206}_{82}Pb$: le noyau contient 82 protons et $206 - 82 = 124$ neutrons

1.2. L'isotopie

Des **noyaux isotopes** sont des noyaux possédant **même nombre de protons Z** (ils appartiennent donc au même élément chimique) mais des **nombre de nucléons A différents** (ils ne diffèrent que par leur nombre de neutrons).

Rem. : il existe 90 éléments chimiques naturels et 350 nucléides naturels (on parle de nucléide pour des noyaux strictement identiques : même nombre de protons et de neutrons). On connaît environ 1500 nucléides.

Exemple : ${}^{206}_{82}Pb$ et ${}^{208}_{82}Pb$: ces nucléides sont deux isotopes du plomb Pb.

${}^{206}_{82}Pb$ et ${}^{206}_{83}Bi$: ces nucléides ne sont pas isotopes l'un de l'autre.

1.3. Les noyaux radioactifs

Les deux nucléides ${}^{12}_6C$ et ${}^{14}_6C$, bien qu'isotopes, ne possèdent pas les mêmes propriétés. En effet le carbone 12 est un **nucléide stable** alors que le carbone 14 est un **nucléide instable** (on parle alors de radionucléide) : il peut se désintégrer spontanément pour se transformer en un autre noyau.

Lors de sa désintégration, il émet une particule.

Un **noyau radioactif** peut se transformer spontanément en un noyau différent, avec émission d'un « rayonnement ».


1-4/ le diagramme (N, Z) de ségré


Pour les faibles valeurs de Z (Z < 20) le domaine de stabilité se situe près de la première bissectrice N=Z


* pour $Z > 20$ la stabilité du noyau n'est assurée que si celui-ci $N > Z$.

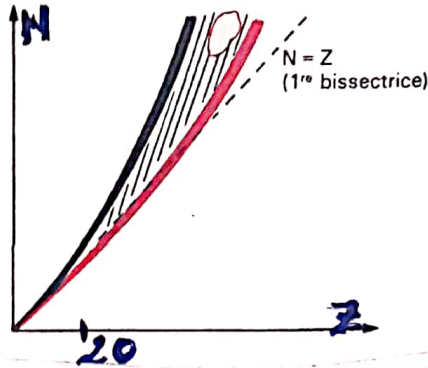
Un noyau stable ne modifie pas spontanément sa composition au cours du temps. Tous les noyaux ont été répertoriés. Un noyau instable est radioactif (cf. p. 247).

Les noyaux  sont stables.

Les noyaux  présentent un excès de neutrons par rapport aux noyaux stables : ils sont radioactifs β^- .

Les noyaux  présentent un défaut de neutrons par rapport aux noyaux stables : ils sont radioactifs β^+ .

Les noyaux  sont radioactifs α .



1-5/ Dimension du noyau.

on assimile le noyau atomique à une sphère dont le rayon croît avec le nombre de masse A selon la relation :

$$r = r_0 \cdot A^{1/3}$$

avec $r_0 = 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ m}$ (le rayon d'atome d'hydrogène)

page : 2

proposé par : ELBADAOUI.A

2. La radioactivité

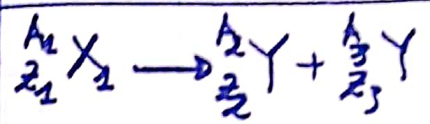
Frederick Soddy
Prix Nobel en 1921



2.1. Lois de conservation (lois de Soddy)

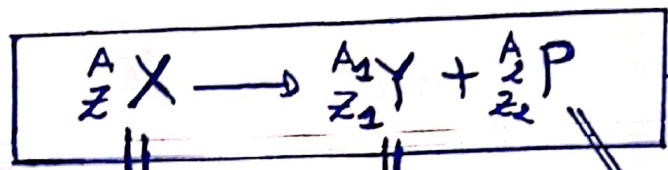
Le noyau radioactif est appelé le **noyau père**. Il se transforme en un **noyau fils** en émettant une particule. Cette réaction nucléaire obéit à des lois de conservation (dite loi de Soddy) :

- Conservation de la charge électrique (mais pas du n^{bre} de protons).
- Conservation du nombre de nucléons.



donc: $A_1 = A_2 + A_3$
 $Z_1 = Z_2 + Z_3$

Rm:



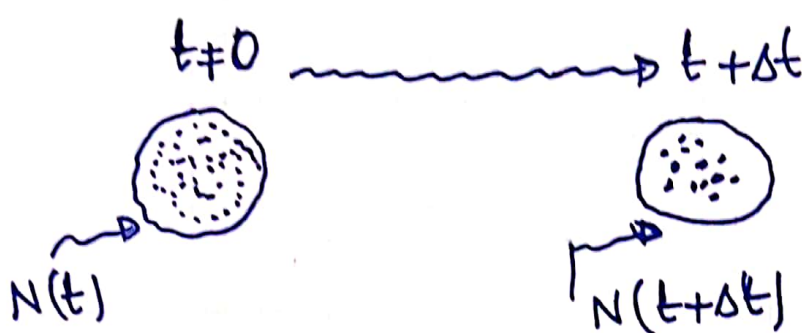
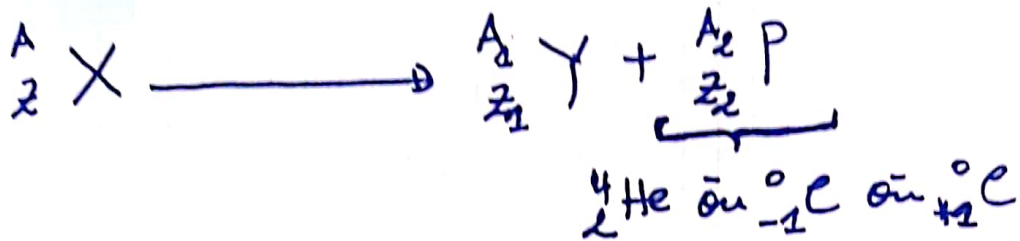
noyau-père noyau-fils particule émise

la particule émise détermine le type désintégrations (α ou β⁻ ou β⁺).

3° Les différentes désintégrations nucléaires.

Radioactivité α	La radioactivité α concerne les noyaux lourds instables à cause d'un excès de nucléons. Elle se traduit par l'émission d'une particule α (noyau d'hélium).	${}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}_{2}^{4}He$ <p>Exemple: ${}_{88}^{226}Ra \rightarrow {}_{86}^{222}Rn + {}_{2}^{4}He$</p>	
Radioactivité β	Radioactivité β ⁻	Elle concerne les noyaux instables à cause d'un excès de neutrons. Elle se traduit par l'émission d'un électron.	${}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{Z+1}^{A}Y + {}_{-1}^{0}e$ <p>Exemple: ${}_{6}^{14}C \rightarrow {}_{7}^{14}N + {}_{-1}^{0}e$</p>
	Radioactivité β ⁺	Elle concerne les noyaux instables à cause d'un excès de protons. Elle se traduit par l'émission d'un positon.	${}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{Z-1}^{A}Y + {}_{+1}^{0}e$ <p>Exemple: ${}_{15}^{30}P \rightarrow {}_{14}^{30}Si + {}_{+1}^{0}e$</p>
Emission γ	Le noyau issu d'une désintégration α ou β est souvent dans un état instable (état excité). Il devient stable en libérant l'excédent d'énergie sous la forme d'un rayonnement électromagnétique, le rayonnement γ.	${}_{Z}^{A}Y^* \rightarrow {}_{Z}^{A}Y + \gamma$	

4- loi de décroissance radioactivité



ΔN est proportionnelle
à Δt et $N(t)$.

Donc: $\Delta N = N(t+\Delta t) - N(t) = -\lambda N \Delta t$
 $\Delta N < 0$ car $N \searrow$

Notons $N(t)$ le nombre de noyau radioactif d'un échantillon à l'instant t et $N(t+\Delta t)$ le nombre de noyau radioactif du même échantillon à $(t+\Delta t)$. Pendant la durée Δt la variation du nombre de noyau radioactifs de la source est $\Delta N = N(t+\Delta t) - N(t) < 0$. si $\Delta t \rightarrow 0$

on écrit: $dN = -\lambda N dt$

$$(\ln(u))' = \frac{u'}{u}$$

$$\Rightarrow \frac{dN}{N} = -\lambda dt$$

$$(\ln g)' = \frac{g'}{g}$$

$$\Rightarrow \ln(N) = -\lambda t + K_1$$

$$\Rightarrow N(t) = e^{-\lambda t + K_1}$$

$$\Rightarrow N(t) = e^{-\lambda t} \cdot e^{K_2} \quad , \quad (e^{K_2} = A)$$

$$\Rightarrow N(t) = A e^{-\lambda t}$$

$$\text{or } N(t=0) = N_0 \Rightarrow N(t=0) = A e^0$$

$$\Rightarrow N_0 = A \times 1$$

$$\Rightarrow A = N_0$$

donc :
$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$
 λ : la constante radioactivité

nombre des noyaux
à l'instant t
restants. c'est à dire
non désintégrés.

nombre des noyaux
à l'instant ($t=0$)

5 - Demi-vie radioactive

la demi-vie $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux radioactifs initialement présent dans l'échantillon se sont désintégrés.

donc à $t = t_{1/2}$ il se désintègre $N_d = \frac{N_0}{2}$ donc

le reste c'est $N = \frac{N_0}{2}$ (non désintégrés) avec : $N = N_0 e^{-\lambda t}$

$$\text{donc : } \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} \Rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\lambda t_{1/2}}$$

$$\Rightarrow \ln\left(\frac{1}{2}\right) = -\lambda t_{1/2}$$

- $a = b \Leftrightarrow \ln a = \ln b$
 $a > 0$ et $b > 0$
- $\ln\left(\frac{1}{a}\right) = -\ln a$
- $\ln(e^x) = x \ln(e)$
 $= x$
- $\ln(e) = 1$.

$$\Rightarrow \ln\left(\frac{1}{2}\right) = \ln\left(e^{-\lambda t_{1/2}}\right)$$

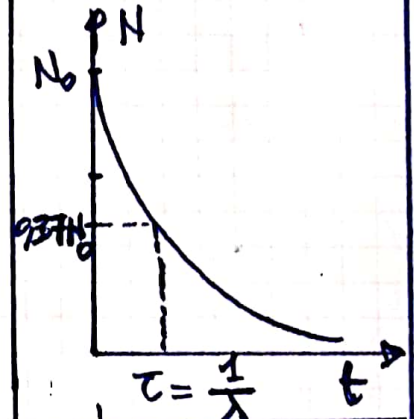
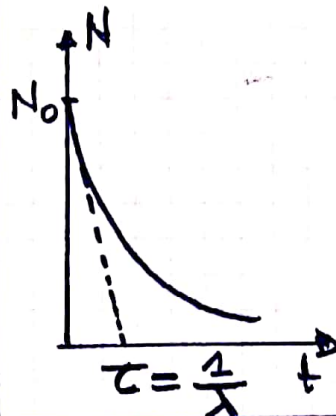
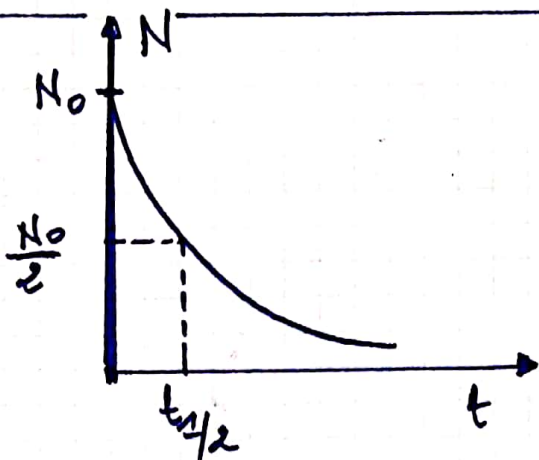
$$\Rightarrow -\ln(2) = -\lambda t_{1/2}$$

$$\Rightarrow \boxed{t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \text{ ou } \lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}}$$

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

nombre des noyaux initial à $t=0$

c'est le nombre des noyaux non désintégrés à l'instant t (restants).



τ : c'est la constante de temps

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

$$\left[\text{avec } \tau = \frac{1}{\lambda} \Rightarrow \tau \lambda = 1 \right]$$

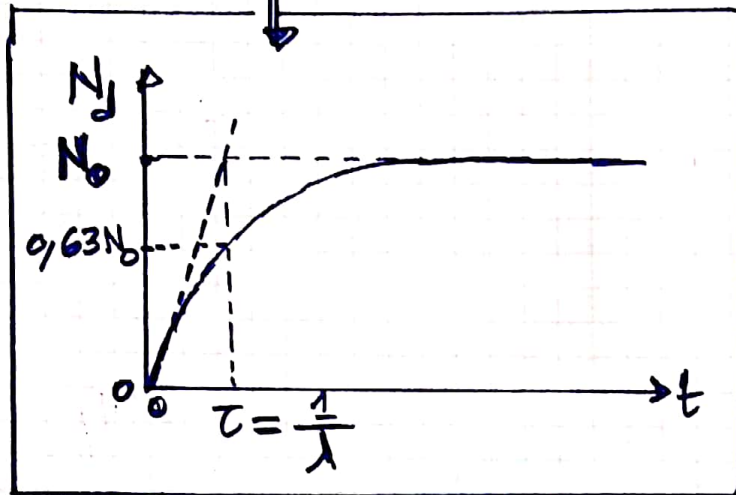
$$N(t=\tau) = N_0 e^{-\lambda \tau} = N_0 e^{-1} = N_0 \cdot 0,37$$

$$\Rightarrow \boxed{N(t=\tau) = 0,37 N_0}$$

Rem: nombre des noyaux non désintégrés

$$N_d = N_0 - N = N_0 - N_0 e^{-\lambda t}$$

$$N_d(t) = N_0 (1 - e^{-\lambda t})$$



5/ Activité d'un échantillon radioactif

l'activité a d'un échantillon radioactif est le nombre de désintégrations par seconde de cet échantillon

$$a(t) = -\frac{dN}{dt} \Rightarrow a(t) = -\frac{d(N_0 e^{-\lambda t})}{dt}$$

$$e^{ax} \prime = a e^{ax}$$

$$\Rightarrow a(t) = -N_0 \cdot \frac{d(e^{-\lambda t})}{dt}$$

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

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

posons $a_0 = \lambda N_0 \Rightarrow a(t) = a_0 e^{-\lambda t}$

Remarquons que $N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow a(t) = \lambda N(t)$

l'unité de l'activité a dans le système internationale des unités est le Becquerel (Bq).

1 Bq correspond à une désintégration par seconde

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ désintégration/s.}$$

on emploie encore couramment une ancienne unité, le Curie (symbole Ci) qui correspond à l'activité d'un gramme (1g) de radium 226 (${}_{88}^{226}\text{Ra}$)

* $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$
 * $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ (désintégrations/s)}$

⚠ Comment calculer le nombre initial des noyaux N_0 dans un échantillon ${}^A_Z X$ de masse m_0 .

$$N_0 = \frac{m_0}{m_{\text{Atome}}} \quad m_{\text{noyau}} \approx m_{\text{Atome}}$$

• $m_{\text{Atome}} = \frac{M(X)}{N_A} \Rightarrow N_0 = \frac{m_0 \cdot N_A}{M(X)}$

• $m_{\text{Atome}} \approx \frac{A}{N_A} \Rightarrow N_0 = \frac{m_0 N_A}{A}$

• si $m_p \approx m_n \Rightarrow m_{\text{Atome}} = A \cdot m_p \Rightarrow N_0 = \frac{m_0}{A \cdot m_p}$

avec $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
 $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$