

CHIMIE GENERALE ET ORGANIQUE

Chapitre I

Cours 2 : La Radioactivité

Enseignant : DAOUD Ismail

TABLE DES MATIERES

1. Radioactivité

1.1. Radioactivité naturelle : <i>Principaux types de rayonnement</i>	3
1.2. Radioactivité artificielle	5
1.3. Loi de la désintégration radioactive	6
1.4. Différent types de réaction nucléaire	8
1.5. Application de la radioactivité	9

1. Radioactivité

1.1. Radioactivité naturelle : Principaux types de rayonnement

Les noyaux dans le nombre des protons est peu différent du nombre de neutron présentent une stabilité probable ; par contre les noyaux qui portent un excès de neutrons ou de protons, en général sont instables et se désintègrent spontanément : ils sont **radioactifs**.

On définit ainsi la radioactivité comme étant l'émission spontanée d'un rayonnement par le noyau de certains éléments dits radioactifs (1896 H.Becquerel, 1898 P. et M. Curie).

Le rapport N/Z peut donner des indications sur la stabilité du noyau.

- Si le rapport $N/Z=1 \Rightarrow$ l'atome est stable
- Si le rapport $N/Z>1.5 \Rightarrow$ l'atome est instable, il est radioactif.

Exemple :

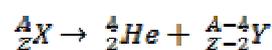
$${}_{20}^{40}\text{Ca} : \frac{A-Z}{Z} = \frac{40-20}{20} = 1 \Rightarrow \text{Atome stable}$$

$${}_{93}^{237}\text{Np} : \frac{A-Z}{Z} = \frac{237-93}{2093} = 1.55 \Rightarrow \text{Atome radioactif}$$

Les noyaux isotopes de certains éléments sont instables et désintègrent pour donner des nouveaux éléments ; cette désintégration est accompagnée de l'émission de particules élémentaires , et rayonnement électromagnétique .

Rayonnement

Les particules sont des noyaux d'hélium (ou ${}_{2}^{4}\text{He}^{2+}$ hélion) émis essentiellement par des noyaux lourds :



Exemple :



La radioactivité réalise la transmutation de l'élément émetteur. Bien qu'elles possèdent au moment de leur émission des énergies cinétique très élevées (leur vitesse peut atteindre $22 \cdot 10^3$ km/s), les particules sont très rapidement arrêtées par la matière qu'elles

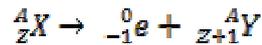
ionisent très lentement.

Les particules les énergétiques sont émises par les radioéléments ayant les périodes les plus courtes.

Rayonnement

Les rayonnements peuvent être des électrons négatifs (négatons : $^-$ ou e^-) ou positifs (positons : $^+$ ou e^+).

Radioactivité $^-$



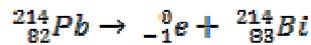
Le négaton est formé lors de la transmutation dans le noyau, d'un neutron en un proton :



: neutrino, particule sans charge et sans masse qui se déplace à la vitesse de la lumière.

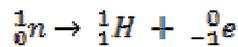
Au cours d'une désintégration $^-$, le nombre de masse A ne varie pas, mais le numéro atomique Z croît de une unité.

Exemple :



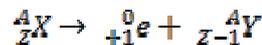
Remarque :

A l'état libre, le neutron est lui-même radioactif ($^-$) :



Radioactivité $^+$

Ces processus n'existent pas pour les éléments naturels mais uniquement pour des éléments artificiels, obtenus par réactions nucléaires :

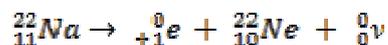


Le positon $^+$ se produit de transformation d'un proton en un neutron :



La radioactivité $^+$ est l'émission de positons par le noyau.

Exemple :



Beaucoup plus pénétrantes que les particules de même énergie, les particules sont bien moins ionisantes.

Les particules les plus énergétiques sont émises par les radioéléments ayant les périodes les plus courtes.

Rayonnement

Les trois types de radioactivités (, ,) sont souvent accompagnés de l'émission d'un rayonnement électromagnétique, d'énergie très grande (supérieure à celle des rayons X), de très courtes longueurs d'onde (1Å à 10^{-4}Å), émis lors du passage d'un noyau d'un état excité à un état moins excité.

Les rayonnements ont pour origine des réactions nucléaires, alors que les rayons X proviennent des transitions électroniques vers des couches internes.

Une émission de rayonnement ne produit ni variation de A, ni de Z ; l'élément ne change pas, seule la masse atomique diminue d'une quantité équivalente à l'énergie h du rayonnement émis. Il s'agit simplement d'une réorganisation interne du noyau.

Les rayonnements ont un pouvoir de pénétration bien important que celui des particules et , mais ils sont plus ionisants.

1.2. Radioactivité artificielle

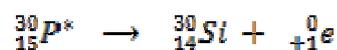
Découverte en 1934 par Irène et Frédéric Joliot-Curie. Les radioéléments artificiels sont obtenus en bombardement des éléments stables par des particules légères tel que : n, p, ,

Exemple :

L'interaction qui a permis la découverte de la radioactivité artificielle :



Le radiophosphore P^* se désintègre ensuite pour donner spontanément le silicium ${}_{14}^{30}\text{Si}$ élément stable :



Remarque :

Le positon ${}_{+1}^0\text{e}$ ou ($+$) est émis essentiellement par les radioactivités artificielles.

⁺ est la première antiparticule observé en 1932 (antiparticule : même masse mais propriétés électromagnétiques différente, c'est-à-dire charge et moment magnétique opposés).

C'est l'antiparticule de l'électron, elle ne peut exister dans le noyau, elle est donc émise.

1.3. Loi de la désintégration radioactive

1^{er} cas : le noyau produit n'est pas radioactif

Activité d'une source :

Si on présente par N le nombre d'atomes radioactif présents à un temps t, l'activité de cette radioactif peut être représentée par la variation du nombre d'atomes par unité de temps au signe près :

$$a = - \frac{dN}{dt}$$

Autre unité : le curie, 1Ci=3.7 *10¹⁰ Bq, 1 Bq=1 désintégration/s. (becquerels (Bq))

Evolution au cours du temps :

La loi relative à l'activité représente une cinétique d'ordre un. Son intégration est donc aisée.

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \Rightarrow \ln N = \ln N_0 - \lambda t, \quad \text{où : } N = N_0 * e^{-\lambda t}$$

N₀ : nombre d'atome de l'élément radioactif à t=0. : constante radioactive de l'élément.

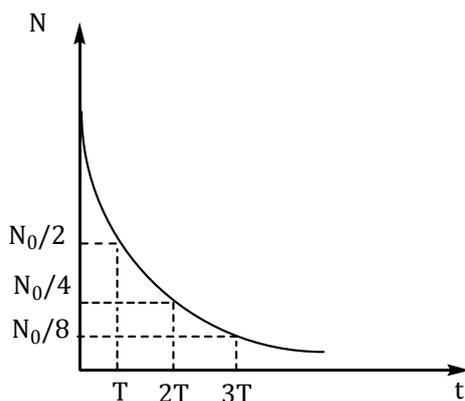


Fig. 2 : Courbe de désintégration radioactive

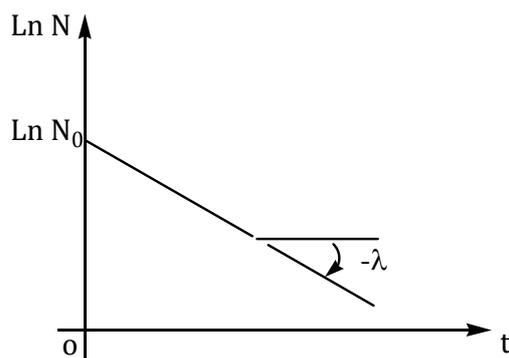


Fig. 3 : Détermination de la Constante radioactive

On appelle période $T_{1/2}$ de l'élément radioactif, l'intervalle de temps nécessaire pour que N soit divisé par 2. C'est une constante pour un élément radioactif donné.

La période et la constante de la radioactivité sont liées par la relation : $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$

On appelle vie moyenne, le nombre $\tau = 1/\lambda$, on voit que : $T = \tau \cdot \ln 2$.

Exemple :

$${}^{226}_{88}\text{Ra} : T_{1/2} = 1620 \text{ ans}, {}^{213}_{84}\text{Po} : T_{1/2} = 4.2 \cdot 10^{-6} \text{ s}, {}^{14}_6\text{C} : T_{1/2} = 5600 \text{ ans}.$$

2nd cas : le noyau produit est radioactif

Un élément radioactif A (parent) de constant λ_A se transforme en un élément B (produit), radioactif lui aussi, de constant λ_B .

Soient : $A_0 = A(0)$ et $B_0 = 0$, le nombre d'atomes de parent et de produit à $t=0$.

A et B leur nombre à l'instant t.

Pendant le temps dt, il disparaît $\lambda_B \cdot B \cdot dt$ atomes de produit et $\lambda_A \cdot A \cdot dt$ atomes de parent.

La variation dB du nombre d'atomes de B est :

$$dB = (\lambda_A \cdot A - \lambda_B \cdot B) dt \dots\dots\dots(1)$$

Avec: $A = A_0 \cdot e^{-t \cdot \lambda_A}$ l'intégration de (1) conduit à :

$$B = \frac{\lambda_A}{\lambda_A - \lambda_B} A_0 (e^{-t \cdot \lambda_A} - e^{-t \cdot \lambda_B})$$

- Si $\lambda_A \gg \lambda_B$

Le parent se désintègre beaucoup plus rapidement que le produit.

Les A_0 atomes de parent se transforment rapidement en un stock B d'atomes de produit ($A_0 \approx B$), qui décroît avec sa propre période.

- Si $\lambda_A \ll \lambda_B$

Le produit se désintègre beaucoup plus rapidement que le parent.

Après un intervalle de temps assez grand, on aura : Si $\lambda_A \cdot A = \lambda_B \cdot B$

Il se forme par unité de temps autant d'atome de produit qu'il en disparaît.

Il s'établit un équilibre radioactif entre le parent et le produit.

1.4. Différent types de réaction nucléaire

Lorsqu'on bombarde une substance par des particules légères (n, p, ...) ayant une grande énergie, les chocs de ces particules avec les noyaux peuvent donner naissance à d'autres éléments ; il y a alors modification du noyau : c'est une réaction nucléaire.

On distingue trois sortes de réactions :

Réaction de transmutation

Ce sont des réactions qui produisent de nucléides dont A est égale ou voisine de celui qui a servi de cible.

Exemple 1 :

Rutherford réalisa la 1^{ère} transmutation d'atome en 1919 :



De façon générale : $X + a \rightarrow X' + a'$

Réactions de fission

Dans ces réactions, on bombarde un atome lourd tel que ou ${}^{239}_{94}\text{Pu}$ par des neutrons.

Il y a formation d'éléments de numéro atomique compris entre 35 et 60 et quelques neutrons avec une très grande libération d'énergie E.

Les neutrons formés vont à leur tour provoquer la fission de nouveaux atomes d'uranium ou de plutonium, ect...

La réaction va aller de plus en plus vite, si cette réaction en chaîne est incontrôlée, si la bombe atomique (bombe A), par contre si la réaction est contrôlée grâce à des ${}^{235}_{92}\text{U}$ ralentissements de neutrons, c'est le réacteur nucléaire.

Exemple :

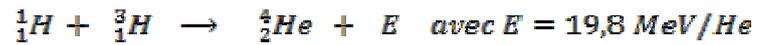


$E = 200 \text{ MeV}$ pour ${}^{235}\text{U} + {}^1\text{n}$ ($\approx 236 \text{ u}$) soit 0.8 MeV/u .

Réaction de fusion

Dans la fusion, plusieurs atomes légers vont fusionner pour donner un atome plus lourd, avec expulsion d'un neutron ou d'un proton et dégagement d'énergie.

Exemple :



$E = 19,8 \text{ MeV}$ pour 1H et 3H ($\approx 4 \text{ u}$) soit 5 MeV/u .

La bombe H utilise des réactions de fusion semblables telle que :



On n'a pas encore réussi à contrôler la fusion !

Beaucoup de réactions nucléaires dégagent une grande quantité d'énergie.

C'est une réaction nucléaire qui est responsable de la chaleur dégagée par le soleil :



Les réactions nucléaires telles que la fusion et la fission sont assimilable à des sources d'énergie.

1.5. Application de la radioactivité

- Datation : « détermination de l'âge » des roches et des matières organiques, méthode utilisée en archéologie.
- En médecine : traitement du cancer (radiothérapie).
- En biologie : étude du métabolisme des éléments par l'organisme.
- En chimie : analyse, mécanismes rationnels.
- En géologie : analyse du déplacement des cours d'eau.