

A] NOYAU ATOMIQUE

I] Rappels

1°) Caractéristiques d'un noyau d'atome.

La représentation symbolique du noyau d'un atome est A_ZX

- Z est le nombre de protons. Z est aussi appelé nombre de charge.
- A est le nombre de nucléons (protons + neutrons). A est aussi appelé nombre de masse.
- $N = A - Z$ est le nombre de neutrons présents dans le noyau.

Exemple : noyau d'hélium (He) renfermant 3 protons et 2 neutrons :

Remarque : La représentation symbolique du noyau est utilisée pour représenter les particules élémentaires

- Proton : ${}_1^1p$ ou ${}_1^1H$
- Electron : ${}_{-1}^0e$
- Neutron : ${}_0^1n$
- Positon : ${}_{+1}^0e$

2°) Nucléide.

Un nucléide est l'ensemble des noyaux ayant le même nombre de nucléons A et le même nombre de protons Z .

3°) Élément.

Un élément est constitué par l'ensemble des particules, atomes et ions monoatomiques, ayant le même nombre de charge Z .

4°) Isotopes.

Des noyaux sont appelés isotopes si ils ont le même nombre de charge mais des nombres de nucléons A différents. Par exemple: ${}^{12}_6C$; ${}^{13}_6C$; ${}^{14}_6C$ et ${}^{16}_8O$; ${}^{18}_8O$.

Par exemple: ${}^{12}_6C$; ${}^{13}_6C$; ${}^{14}_6C$ et ${}^{16}_8O$; ${}^{18}_8O$.

5°) Unités usuelles de masse et d'énergie en physique nucléaire

Le joule est une unité d'énergie inadaptée à l'échelle microscopique. On utilise plutôt à cette échelle l'électron volt (noté eV): $1eV = 1,6 \cdot 10^{-19} J$

On utilise aussi le MeV: $1Mev = 1,6 \cdot 10^{-13} V$

A cette échelle, il est possible d'utiliser comme **unité de masse** l'unité de masse atomique (notée **u**).

qui est définie comme étant égale au douzième de la masse d'un atome de carbone ${}^{12}_6C$.

masse de l'atome de carbone 12 : $m = 19,93 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \Rightarrow 1 u = \dots\dots\dots = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$

II] EQUIVALENCE MASSE-ÉNERGIE

1) Défaut de masse :

Activité : On donne les masses : du proton : $m_p = 1,007276$ u. et du neutron : $m_n = 1,008665$ u.

On considère un noyau de lithium ${}^7_3\text{Li}$ de masse $m_0 = 7,01435$ u et initialement au repos

1°) calculer en **u**, la masse totale **m** de ses nucléons à l'état libre et au repos

.....

2°) comparer la masses m_0 du noyau à la masse totale **m** de ses nucléons à l'état libre et au repos.

.....

3°) Calculer la différence de masse $\Delta m = m - m_0$.

.....

Définition

Le défaut de masse Δm d'un noyau est égal à la masse de ses nucléons, pris séparément et au repos, diminuée de la masse du noyau.

Pour un noyau de symbole ${}^A_Z\text{X}$: $\Delta m(\text{X}) = \dots\dots\dots$ ou m_X est la masse du noyau, m_p celle du proton et m_n celle du neutron.

2) L'ÉNERGIE DE MASSE

Pour Einstein, la masse est une forme d'énergie potentielle. Il postula, en 1905, le principe suivant :

“ Tout corps au repos dans un référentiel donné possède du seul fait de sa masse **m une énergie potentielle appelée énergie de masse donnée par la relation : $E_0 = m c^2$ où **c** représente la célérité de la lumière dans le vide**

Remarque : Vu que l'unité usuelle de l'énergie est le **MeV**, d'après la relation d'Einstein, la masse **m** a la dimension d'une énergie par c^2 : c'est le **MeV.c⁻²**. En particulier, **1u = 931,5 MeV.c⁻²**.

III] STABILITÉ DU NOYAU

1- ENERGIE DE LIAISON

L'énergie de liaison, notée E_ℓ est l'énergie qu'il faut fournir à un noyau au repos pour le dissocier en nucléons isolés et immobiles.

Activité : Calculer en Mev l'énergie de liaison du noyau d'hélium

On donne : $m({}^4_2\text{He}) = 4,002602$ u ; $m_p = 1,007277$ u et $m_n = 1,008665$ u

.....

.....

.....

2- ENERGIE DE LIAISON PAR NUCLEON :

L'énergie de liaison par nucléon d'un noyau notée $E_{\ell/A}$ est le quotient de son énergie de liaison par le nombre de ses nucléons (A) : $E_{\ell/A} = \frac{E_{\ell}}{A}$

Activité : Calculer l'énergie de liaison par nucléon du noyau d'hélium

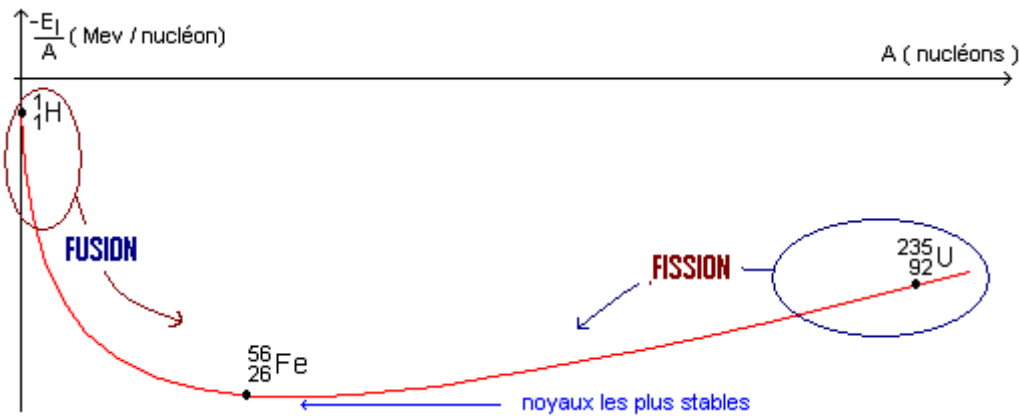
.....

Remarque : Un noyau est d'autant plus stable que son énergie de liaison par nucléon est plus grande.

Les noyaux naturels les plus stables sont ceux de nombre de masse voisin de 60 :

$$7,8 \text{ MeV} < E_{\ell}/A < 8,8 \text{ MeV}.$$

Un physicien, Aston, a tracé une courbe. Cependant, il a préféré utiliser $-\frac{E_{\ell}}{A}$ pour obtenir une sorte de coupelle ou cuvette qui illustre bcp plus l'idée de stabilité pour les noyau qui sont en bas. Le signe négatif a donc pour conséquence de placer les noyaux les plus stables en bas.



Activité : L'énergie de liaison de l'uranium 238 est de 1801,5 MeV. Comparer la stabilité du noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$ à celle du noyau d'uranium ${}^{238}_{92}\text{U}$.

.....

.....

.....

.....

B] Les réactions Nucléaires

I/ Réactions Nucléaires spontanées : Radioactivité

1/ Instabilité du noyau.

Sous l'action des différentes forces en présence, certains noyaux sont stables (ils ont une durée de vie considérée comme infinie à l'échelle géologique) et d'autres sont instables (ils se détruisent spontanément au bout d'une durée plus ou moins grande à la même échelle).

2/ Définition.

La radioactivité est une réaction nucléaire spontanée au cours de laquelle un noyau atomique instable se transforme (se désintègre) en un noyau d'une autre espèce chimique avec émission des rayonnements

Remarque : La transformation est dite nucléaire car elle concerne le noyau de l'atome par opposition aux réactions chimiques qui ne concernent que le cortège électronique sans modifier le noyau.

3] Les divers types des rayonnements

Un noyau radioactif est un noyau instable dont la désintégration (destruction) est aléatoire et s'accompagne de:

- L'apparition d'un nouveau noyau,
- L'émission d'une particule notée α , β^- ou β^+ et éventuellement γ

Rayonnement α : est constitué par des particules α (noyaux d'hélium ou hélions) de symbole ${}^4_2\text{He}$

Rayonnement β^- : est constitué par des électrons de symbole ${}^0_{-1}e$

Rayonnement β^+ : est constitué par des positons de symbole ${}^0_{+1}e$

L'émission d'un rayonnement électromagnétique noté γ : Cette émission de rayonnement γ n'est pas systématique mais extrêmement fréquente.

4/ Propriétés de la désintégration.

La désintégration radioactive est:

- **Aléatoire:** Il est impossible de prévoir l'instant où va se produire la désintégration d'un noyau radioactif
- **Spontanée:** La désintégration se produit sans aucune intervention extérieure,
- **Inéluctable:** Un noyau radioactif se désintégrera tôt ou tard,
- Indépendante de la combinaison chimique dont le noyau radioactif fait partie, Indépendante des paramètres extérieurs tels que la pression ou la température.

5/ Les divers types de radioactivités.

a) Lois de conservation.

Les réactions de désintégration nucléaires obéissent à un certain nombre de lois. Cette année, par souci de simplification, nous n'en utiliserons que deux, dites **lois de Soddy**.

Lors d'une désintégration radioactive α ou β il y a conservation du nombre de charge Z et du nombre des nucléons A .

Considérons la désintégration d'un **noyau X** (appelé noyau père). Cette désintégration conduit à un **noyau Y** (appelé noyau fils) et à l'expulsion d'une **particule P** (particule α ou β). L'équation de la désintégration s'écrit:

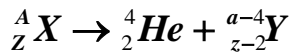


Les lois de conservation de Soddy imposent:

- **Loi de conservation du nombre de nucléons A**
- **Loi de conservation du nombre de charges Z**

b) Radioactivité α .

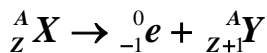
La radioactivité α correspond à la transformation spontanée d'un noyau ${}^A_Z X$ en un noyau ${}^{A'}_{Z'} Y$ avec émission d'une particule α :



Exemple :

c) LA RADIOACTIVITÉ β^-

La radioactivité β^- correspond à la désintégration d'un noyau ${}^A_Z X$ en un noyau ${}^{A'}_{Z'} Y$ avec émission d'électron :



Exemple :

Origine de l'électron : Comme dans le noyau il n'y a pas d'électrons, un neutron se transforme au sein du noyau en un proton qui y demeure et un électron qui est éjecté selon l'équation bilan : ${}^1_0 n \rightarrow {}^0_{-1} e + {}^1_1 p$

d) LA RADIOACTIVITÉ β^+

La radioactivité β^+ correspond à la désintégration d'un noyau ${}^A_Z X$ en un noyau ${}^{A'}_{Z'} Y$ avec émission d'un positon selon l'équation ${}^A_Z X \rightarrow {}^0_{+1} e + {}^{A}_{Z-1} Y$

Exemple :

Activité : Expliquer l'origine du positon

.....

e) Émission γ

Le rayonnement γ est dû à l'obtention à un état excité du noyau formé par radioactivité α ou β . En fait, il est émis avec le retour de ce noyau à son état fondamental selon le schéma suivant : ${}^A_Z Y \rightarrow {}^A_Z Y^* + \gamma$

II / EVOLUTION TEMPORELLE DE LA RADIOACTIVITÉ

1) Loi de décroissance radioactive.

Considérons un échantillon de substance radioactive qui contient N_0 noyaux à l'instant $t = 0$.

Soit N le nombre de noyaux radioactifs présents dans l'échantillon à un instant $t > 0$.

Soit dN la variation moyenne de N entre les instants t et $t + dt$, où dt est un intervalle de temps infinitésimal.

Comme la constante radioactive λ , la période est une caractéristique du noyau radioactif ; elle peut varier de 10^{-15} s à 10^{23} s

3) Activité d'une source radioactive.

a°) Définition.

L'activité **A** d'une source radioactive est égale au nombre moyen de désintégrations par seconde dans l'échantillon. Elle s'exprime en **becquerels** dont le symbole est **Bq** (1Bq=1 désintégration par seconde).

b°) Expression de l'activité.

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

4°) Principe de la datation d'un objet très ancien à l'aide d'un radioélément

Si l'on connaît le radioélément contenu dans l'objet (on connaît alors λ), si l'on connaît l'activité A_0 de l'échantillon et si l'on sait mesurer A, alors il est possible de connaître la date d'origine t de l'objet.

Activité : datation par carbone 14

L'isotope Carbone14 est radioactif β^- avec une demi-vie de 5730 années. $^{14}_6\text{C}$ est créé dans l'atmosphère par bombardement par rayons cosmiques. Il est ensuite absorbé par les plantes sous forme de dioxyde de carbone. A la mort des plantes, l'absorption cesse et le carbone $^{14}_6\text{C}$ se désintègre au cours du temps. L'activité renseigne sur la date de la mort de l'organisme.

Pour connaître l'époque à laquelle vécurent des hommes préhistoriques dans une grotte, on mesure l'activité d'un échantillon de charbon de bois enfui dans le sol de la grotte. Il s'avère alors que le nombre de désintégrations n'est plus que 1,6 par minute, alors qu'il serait 11,5 par minute pour un échantillon de même masse de bois récemment coupé. Déterminer le temps écoulé depuis le dernier feu dans la grotte

--	--

C/ Réactions Nucléaires provoquées

1) Fission et fusion nucléaire

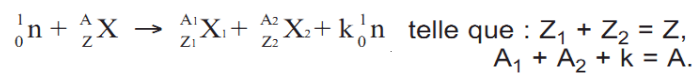
Définition : Une réaction nucléaire est dite provoquée lorsqu'un noyau cible est frappé par un noyau ou une particule projectile et donne naissance à des nouveaux noyaux.

Remarque : Au cours d'une transformation provoquée, les lois de Soddy sont évidemment vérifiées.

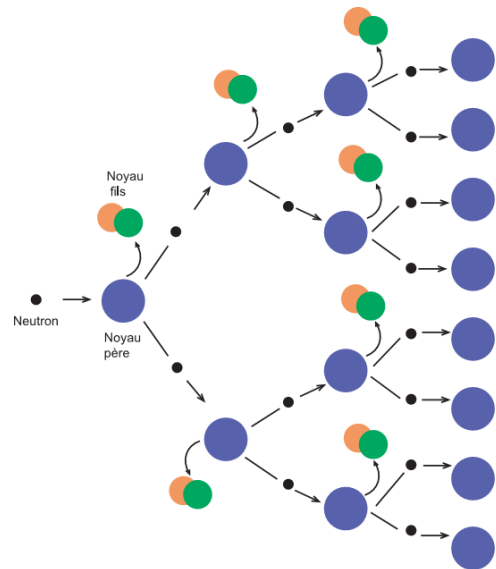
2°) La fission nucléaire : réaction en chaîne

Définition : La réaction de fission est une réaction nucléaire au cours de laquelle un noyau lourd se scinde en deux noyaux plus légers et de masses comparables.

L'équation générale d'une réaction de fission s'écrit :



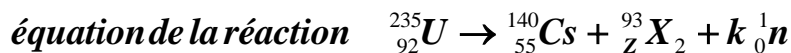
Remarque : Les neutrons émis lors de la fission peuvent à leur tour provoquer la fission d'autres noyaux. Si le nombre de neutrons émis lors de chaque fission est supérieur à 1, il peut se produire une réaction en chaîne qui devient rapidement incontrôlable (principe de la bombe à fission). Dans les centrales nucléaires, la réaction en chaîne est contrôlée par des barres qui absorbent une partie du flux de neutrons.



Activité : Par fission d'un noyau d'uranium 235, il se forme un noyau de césium ${}_{55}^{140}\text{Cs}$ et un noyau ${}_{Z_2}^{93}\text{X}_2$, avec éjection de k neutrons.

1) Calculer Z_2 , k et identifier X_2 en se référant au tableau suivant :

Élément chimique	Brome	Krypton	Rubidium	Strontium
Symbole	Br	Kr	Rb	Sr
Nombre de charge	35	36	37	38

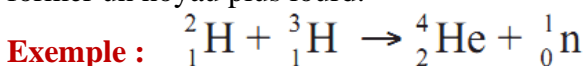


Loi de conservation du nombre de charge : $92 = 55 + Z + k \times 0 \Rightarrow Z = 92 - 55 = 37 \Rightarrow X = \text{Rb}$

Loi de conservation du nombre de masse : $235 = 140 + 93 + k \times 1 \Rightarrow k = 235 - 140 - 93 = 2$

3°) 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.



D/ Bilan d'énergie

1°) Cas des réactions nucléaires spontanées

Si la réaction se produit avec perte de masse, le milieu extérieur reçoit de l'énergie (généralement sous forme d'énergie cinétique des particules émises).

Activité : Le Bismuth ${}_{83}^{212}\text{Bi}$ est radioactif. Il se désintègre avec émission d'une particule α , le noyau fils est un noyau de Thallium (Tl)

a) Écrire l'équation de cette désintégration :

.....

b) Calculer, en **MeV** , l'énergie libérée par cette réaction

On donne $m_{\text{Bi}} = 211,9454 \text{ u}$; $m_{\alpha} = 4,0015 \text{ u}$; $m_{\text{Tl}} = 207,9375 \text{ u}$

.....

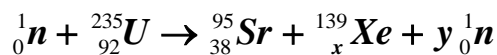
.....

.....

.....

2°) Cas des réactions de fission

Dans une centrale nucléaire, une des réactions possibles est représentée par :



.....

a) Calculer les valeurs de x et y en justifiant.

.....

.....

b) Calculer en MeV l'énergie libérée au cours de cette réaction :

$m_{\text{U}} = 234,9934 \text{ u}$; $m_{\text{Sr}} = 94,8064 \text{ u}$; $m_{\text{Xe}} = 138,8888 \text{ u}$; $m_n = 1,0087 \text{ u}$

.....

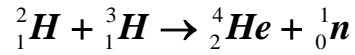
.....

.....

.....

3°) Cas des réactions de fusion :

Calculer la quantité d'énergie libérée au cours de la formation d'un noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$ par la fusion d'un noyau de deutérium ${}^2_1\text{H}$ et d'un noyau de tritium ${}^3_1\text{H}$.



$$m({}^2_1\text{H}) = 2,01355 \text{ u}, m({}^3_1\text{H}) = 3,01550 \text{ u};$$

$$m({}^4_2\text{He}) = 4,00150 \text{ u} \text{ et } m({}^1_0\text{n}) = 1,00867 \text{ u}$$

.....

.....

.....

.....