

Généralité:

- La Radioactivité - mot composé de rayon et activité - représente les réactions nucléaires impliquant les noyaux d'isotopes radioactifs (radionucléides). Elle peut être d'origine naturelle ou artificielle.

1) La radioactivité naturelle:

Recquerel (1896) découvrit fortuitement que les sels d'Uranium impressionnaient les plaques photographiques. Il montra que c'est une conséquence d'une propriété atomique de l'élément Uranium, et que cette propriété subsistait quel que soit le sel dans lequel était bloqué l'Uranium et quelle que soit sa combinaison, d'où le phénomène de radioactivité.

- Le phénomène n'est influencé par aucun facteur physique habituel (pression, Température, combinaison...) c'est une caractéristique atomique.

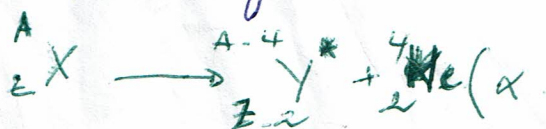
- La radioactivité naturelle consiste en une désintégration spontanée de certains éléments dits radioactifs ($\frac{N}{Z} \geq 1,51$) qui apparaissent instables et donnent lieu à de véritables transmutations appelées désintégrations.

Cette transformation (désintégration) d'un noyau radioactif s'accompagne toujours de l'émission d'un rayonnement.

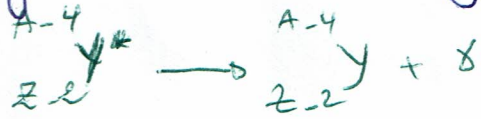
2) différents type de rayonnement:

a) - Rayonnement α :

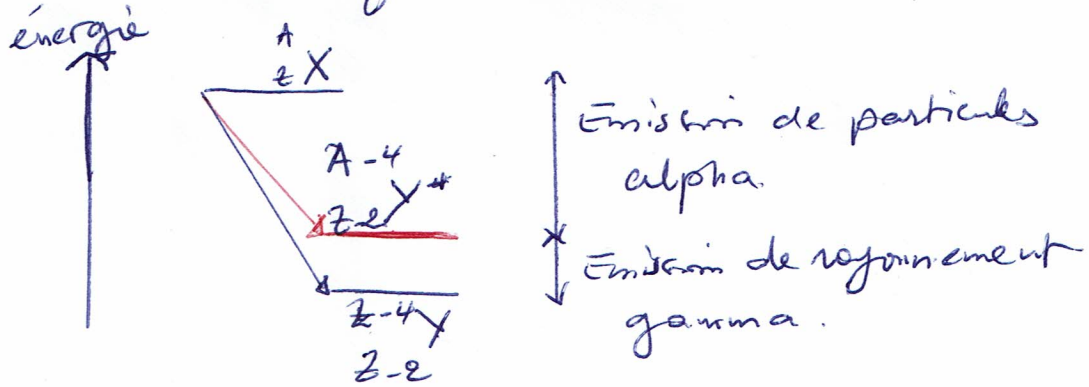
Elle correspond à l'émission de noyau d'Hélium (${}^4_2\text{He}$), désigné α , selon la Transformation:



$A-4$
 ${}_{Z-2}^{A-4}Y^*$ est le noyau produit à l'état excité. La désexcitation de ${}_{Z-2}^{A-4}Y^*$ s'accompagne d'émission de rayonnement γ :



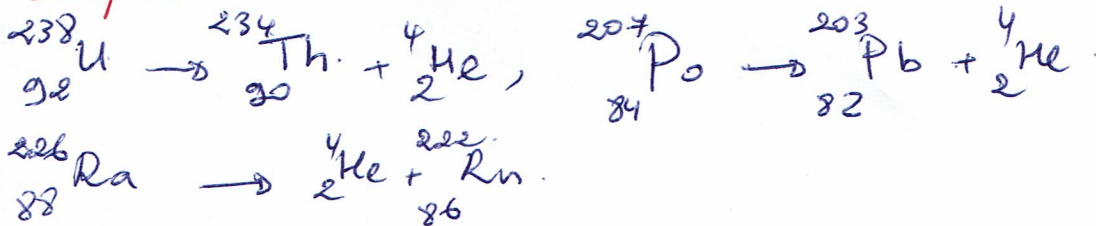
le diagramme de énergies des noyaux impliqué dans cette transformation est de la forme :



Remarque:

- la radioactivité α , concerne les noyaux lourds ($A > 130$), riches en protons et en neutrons. Elle correspond à une réaction de fission et s'accompagne d'émission de rayonnement γ .
- les particules α ont un pouvoir pénétrant, et sont peu énergétiques. Elles sont facilement arrêtées par une feuille de papier, par l'air et le linge.

Exemples de radioactivité α :



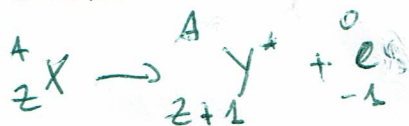
b) Rayonnement β^- (négatifs):

La radioactivité β^- correspond à l'émission d'électrons (${}_{-1}^0e$) suite à la désintégration de radionucléides généralement riches en neutrons.

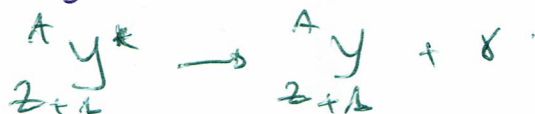
L'électron produit dérive de la transformation d'un neutron en proton.



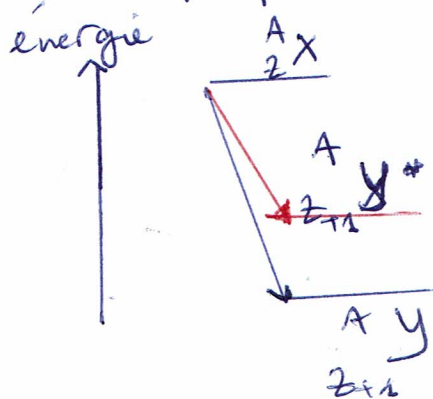
La réaction de Transformation d'un noyau A_ZX siège de radioactivité β^- s'écrit :



le passage de l'état excité à l'état fondamental de ${}^A_{Z+1}Y^*$ s'accompagne également d'émission de rayonnement γ :

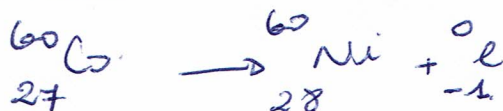


Le schéma suivant montre la stabilité énergétique relative aux noyaux impliqués dans la radioactivité β^- :



↑ émission de particules.
Béta moins.
×
↓ Emission de rayonnement gamma.

- Exemple de radioactivité β^- :



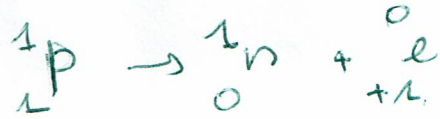
remarque :

le rayonnement β^- est peu ionisant mais pénétrant (traverse une plaque de Plomb d'épaisseur 0,4 mm).

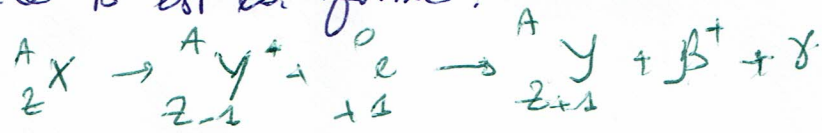
↓ Rayonnement β^+ (ou positons) :

les noyaux riches en protons, tel que le nucléides artificiels, sont instables et se désintègrent en donnant lieu à des positons (ou positrons ${}^0_{+1}e$).

les positons sont des particules de masse identique à celle de l'électron et ont charge égale à celle du proton. En fait, le positon dérive de la transformation d'un proton en neutron

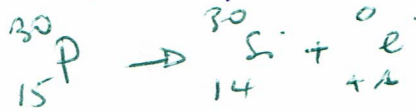


l'équation de désintégration d'un nuclide ${}^A_Z\text{X}$ siège de radioactivité β^+ est la forme :



Exemple de radioactivité β^+ :

${}^{30}_{15}\text{P}$ (nucléide artificiel) se désintègre en émettant des particules β^+



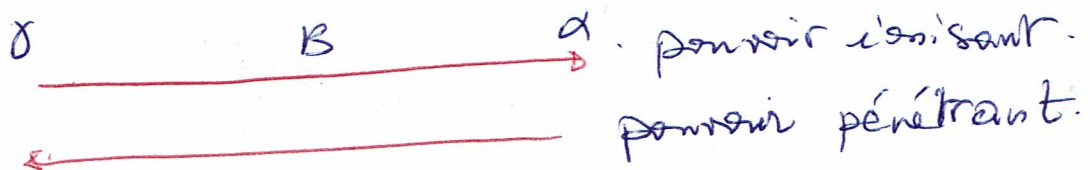
Remarque :

- La radioactivité β^+ s'accompagne d'émission de rayonnement γ
- les particules β^+ sont relativement très instable (faible durée de vie). Elle peuvent être instantanément annihilées par les électrons adjacents.

- ds. Rayonnement γ :

le rayonnement accompagne généralement l'émission de particules α ou β^- . c'est un rayonnement très pénétrant (arrêt par 40 cm de Plomb).

Osons :

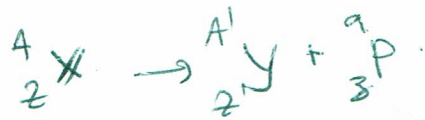


- Lois de conservation de Soddy :

les transformations nucléaires se font de telle manière que les nombres de protons et de nucléons restent constants,

et l'énergie totale est conservée.

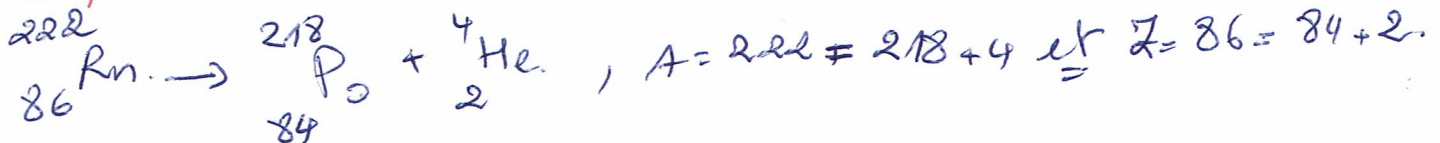
soit la réaction nucléaire suivante mettant en jeu une particule $p(\alpha, {}^0_2\text{e}, {}^0_2\text{e})$.



La loi de conservation de Soddy implique que :

$$Z = Z' + z \text{ et } A = A' + a$$

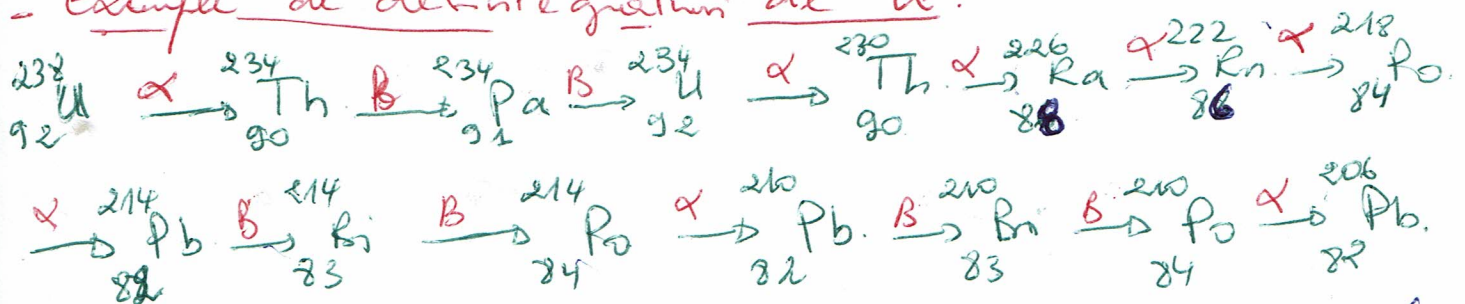
Exemple :



* Remarque :

les nucléides lourds se désintègrent en donnant lieu à une série de réactions nucléaires qui se terminent par la formation d'un nucléide stable.

- Exemple de désintégration de ${}^{238}_{92}\text{U}$:



Le ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ est le nucléide le plus stable dans cette série de réactions.

- La loi de la désintégration radioactive :

La désintégration spontanée de noyaux radioactifs suit une loi cinétique du premier ordre (ordre 1). Le nombre de noyaux désintégrés par unité de temps est proportionnel au nombre de noyaux restants (non désintégrés). Nous limitons notre étude au cas simple où :

X^* $\rightarrow$ X non radioactif.
instable stable.

à $t=0$. N_0

0

à t N_t

$N_0 - N_t$

À l'instant t on a N_t noyaux instables restants (non désintégrés) et on a formé $(N_0 - N_t)$ noyaux stables.

À l'instant $(t + dt)$ N_t aura diminué de dN ; dN étant le nombre de noyaux instables qui se sont désintégrés durant l'instant dt . La vitesse de désintégration est donnée par la relation :

$$v = - \frac{dN}{dt} = \lambda N. \quad (\text{le signe } - \text{ indique qu'il y a diminution})$$

λ : Constante radioactive.

$$- \frac{dN}{dt} = \lambda N \Rightarrow \int \frac{dN}{N} = - \int \lambda dt \Rightarrow \ln N_t = -\lambda t + C$$

$$\text{à } t=0, N_t = N_0 \Rightarrow C = \ln N_0$$

$$\Rightarrow \ln N_t = -\lambda t + \ln N_0 \Rightarrow \ln \frac{N_t}{N_0} = -\lambda t \Rightarrow \frac{N_t}{N_0} = e^{-\lambda t}$$

$$\Rightarrow \boxed{N_t = N_0 e^{-\lambda t}} \quad \text{ou} \quad \boxed{N_0 = N_t e^{\lambda t}}$$

plutôt que d'indiquer la vitesse de désintégration par sa constante radioactive, il est plus simple de donner la période radioactive (Temps de demi-vie) $t_{1/2}$.

- Période radioactive $t_{1/2}$:

La période radioactive (ou temps de demi-vie $t_{1/2}$) correspond au temps requis pour la désintégration de la moitié d'un échantillon de N_0 radionucléides.

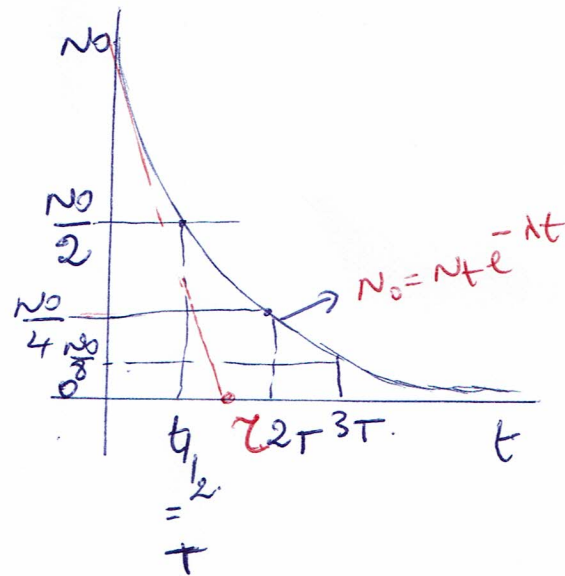
Au temps de demi-vie $t_{1/2}$ on a

$$\boxed{N = \frac{N_0}{2}}$$

et par conséquent

$$\boxed{t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}}$$

le graphique suivant montre l'évolution de $N = f(t)$ et le point correspondant à $t_{1/2}$.



$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

c'est la tangente.
c'est la constante de Temps.

exemple de période radioactive:

^{214}Po : $164 \mu\text{s}$, ^{15}O : 2 min , ^{131}I : 8 jours , ^{137}Cs : 30 ans , ^{14}C : 5700 ans
 ^{235}U : $710 \times 10^6 \text{ ans}$, ^{238}U : $4,5 \times 10^9 \text{ ans}$.

Activité radioactive:

L'activité radioactive (A) d'un échantillon de nucléides instables est le nombre de désintégrations par unité de temps:

$$A = -\frac{dN}{dt} = \dots$$

Comme $N_t = N_0 e^{-\lambda t}$ on a alors: $A = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = \lambda N$

à l'instant $t=0$ on a: $A(t=0) = A_0 = \lambda N_0 \Rightarrow A = A_0 e^{-\lambda t}$

Dans le système MKSA, A est exprimé en Bq (le Becquerel) qui correspond à une désintégration par second (dps). A peut être mesurée en Ci (le Curie): $1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$

Le Curie correspond à l'activité de 1g de Radium 226 par second. (la période de $R_{226} = 1580 \text{ ans}$.)

2) Radioactivité artificielle:

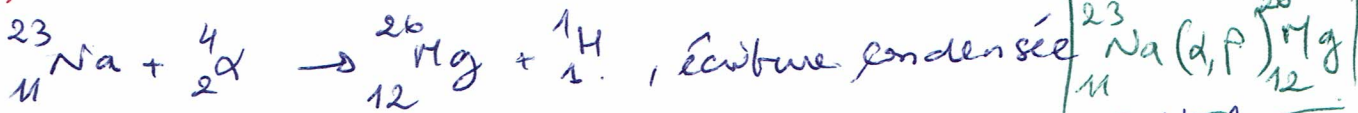
la radioactivité artificielle représente la désintégration de noyaux atomiques produit artificiellement comme par exemple $^{30}_{15}\text{P}$ qui est synthétisé selon la réaction suivante:



- les différents réactifs nucléaires:

Convention d'écriture: On exprime les divers types de réactifs par une notation abrégée indiquant la particule émise:

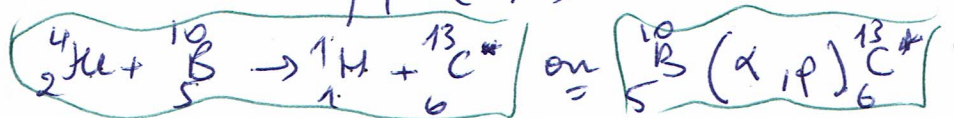
exemple:



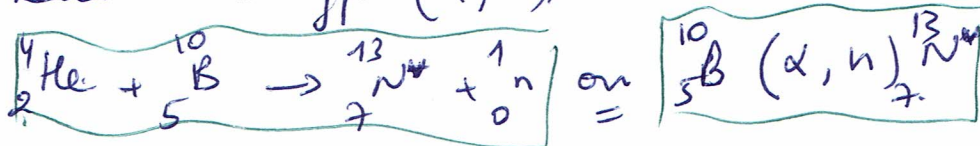
les types de projectiles utilisés peuvent être soit des particules α , des protons, des deutons ou des neutrons.

a) Réaction avec les héliums (α)

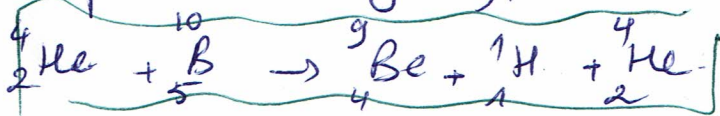
- Réaction de type (α, p)



- Réaction de type (α, n)



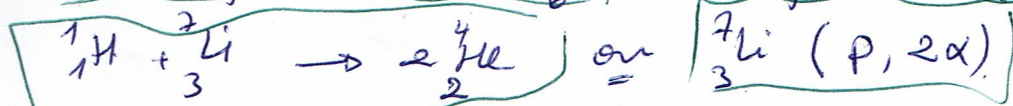
- réaction sans capture (les particules α sont utilisées comme simple transporteurs d'énergie, il provoquent l'émission de protons sans s'insérer au noyau).



b) réactions avec les protons (p):

- Réaction de type (p, α).

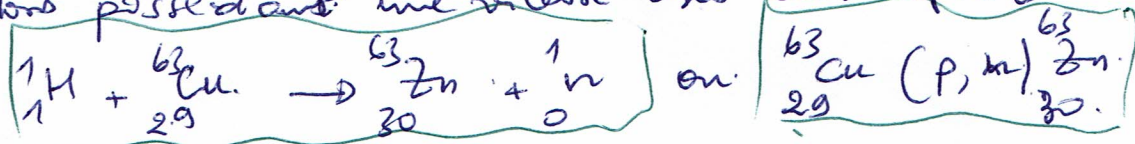
protons possédant une vitesse élevée.



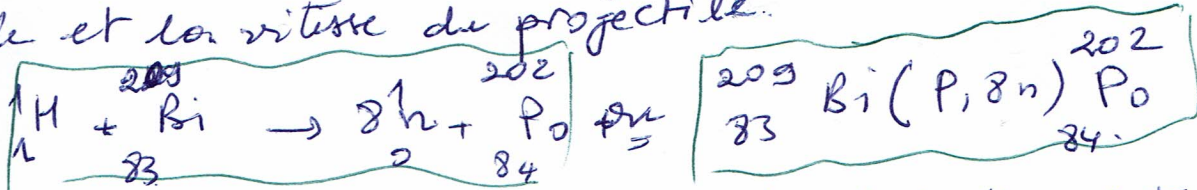
cette réaction est très exothermique $E \approx 17 \times 10^6 \text{ MeV}$

- réaction de type (p, n).

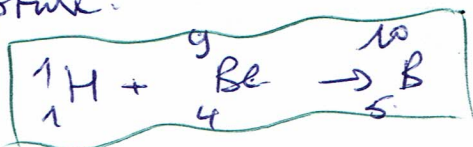
protons possédant une vitesse très élevée ($E \approx 200 \text{ à } 10^3 \text{ MeV}$)



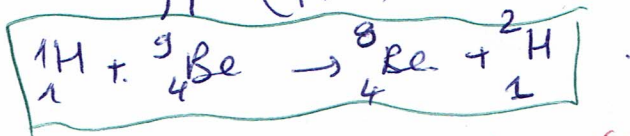
On peut avoir émission de plusieurs neutrons selon le type de cible et la vitesse du projectile.



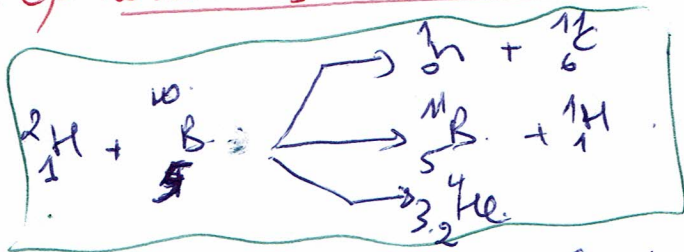
protons possédant une vitesse peu élevée (protons lents): réaction de capture.



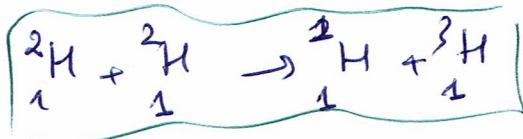
• Réaction de type (p, d) rares:



- c) réactions avec les deutons (d)

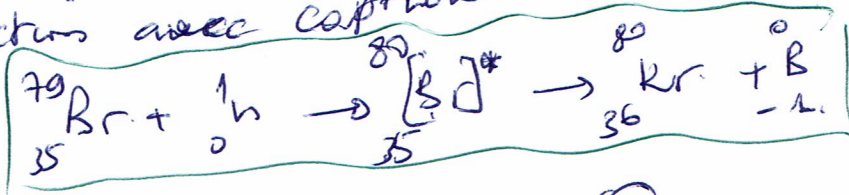


on peut aussi avoir des réactions de fusion (nécessitent une température de $\approx 10^6 \text{ }^\circ\text{C}$).

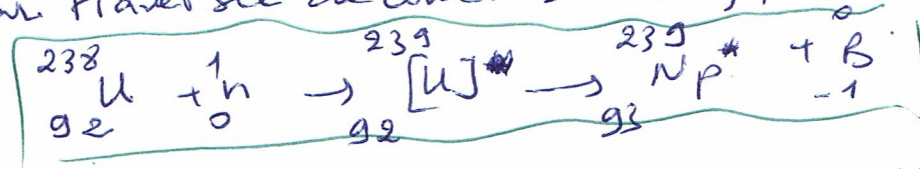


d) Réactions avec les neutrons (n) :

Réactions avec capture.



La capture sera d'autant plus facile que le neutron est lent ($E \approx 2.3 \times 10^{-5} \text{ eV}$), les neutrons "énergétiques" obtenus sont ralentis par passages successifs sur plusieurs centimètres de paraffine, ou par traversée de couches d'eau).

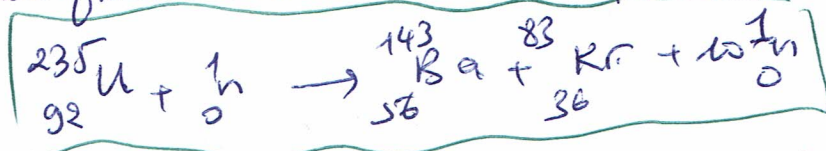


cette réaction de capture permettra la synthèse des transuraniens dont $Z > 92$.

- Réaction de type (n, Kn)

Il s'agit de bombardement de noyaux lourds qui aboutit à une éclatement du noyau touché en 2 ou plusieurs noyaux de Z moyens avec production d'énergie considérable.

On a une fission nucléaire avec production de neutrons.



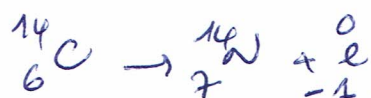
Exemple d'application de la radioactivité:

Datation de fossiles:

- l'interaction des neutrons du rayonnement cosmique avec le gaz atmosphérique, particulièrement l'Azote, donne lieu au nucléon ^{14}C :



le nucléide ^{14}C et le reste des isotopes de C (^{12}C , ^{13}C) sont assimilés par les organismes vivants, et l'Activité de ^{14}C dans ce cas est de $0,23 \text{ Bq/g}$ de Carbone. Après la mort, l'organisme cesse d'assimiler le ^{14}C et l'activité de ^{14}C diminue en raison de son désintégration:



La diminution de l'activité obéit à la relation

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

En remplaçant λ par $\frac{\ln 2}{t_{1/2}}$ on obtient: $\ln\left(\frac{A_0}{A}\right) = \frac{\ln 2 \cdot t}{t_{1/2}}$

Finalement, dans le cas d'un organisme fossilisé, l'âge t est donné par la relation:

$$t = t_{1/2} \cdot \ln\left(\frac{A_0}{A}\right) / \ln 2 \quad \text{avec} \quad t_{1/2} = 5700 \text{ ans.}$$

La datation par ^{14}C permet de connaître l'âge de fossiles vieux de 50.000 ans au maximum.

La série de réactions nucléaires issue de la désintégration de l'uranium conduisant à la formation de ^{206}Pb a été utilisée pour la détermination de l'âge de la Terre (4,5 milliards d'années).

Médecine nucléaire:

Certains isotopes radioactifs, appelés marqueurs ou traceurs radioactifs, sont utilisés pour diagnostiquer le dysfonctionnement d'organes du corps humain.

Le traceur en mouvement ou immobilisé sur un endroit du corps se désintègre, et les particules ou les rayonnements émis sont détectés.

li-après quelques traceurs utilisés dans les divers diagnostics des organes vivants (foie, poumons, cœur...) et du squelette

^{85}Sr Imagerie du cerveau.

^{131}I Imagerie de la thyroïde (goitre).

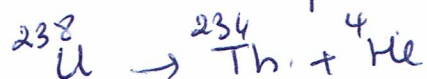
^{142}Ce Mesure du flux sanguin; examen gastro-intestinal.

- production d'électricité:

La réaction de fission de l'uranium ^{235}U enrichi au ^{238}U (97%) est utilisée comme une source d'énergie. L'énergie ainsi produite permet la production de la vapeur, qui sert à faire tourner des turbines, qui font tourner à leur tour des générateurs d'électricité.

- Bombe atomique:

L'énergie dégagée par la bombe atomique provient de la réaction de fission de l'isotope de l'uranium ^{238}U .



La perte de masse (Δm) qui accompagne la fission d'une mole de ^{238}U , à savoir 238,0003 g est égale à -0,0046 g. et l'énergie dégagée dans ce cas est : $E = |\Delta m| c^2 = 410 \times 10^9 \text{ J}$
 $E = 410 \text{ GJ}$, cette énergie est équivalente à 195 000 bâtons de dynamite.

La bombe atomique dégage une énergie égale à 67 TJ ($67 \times 10^{12} \text{ J}$) qui s'accompagne d'une perte de masse de 750 mg.