Bienvenue !

Visiter

"Physique Fine enjah "

sur youtube

Pour plus comprendre le cours

Chapitre : 4 Radioactivité

- *Définition:*

✓ *La radioactivité est la désintégration spontannée d'un noyau instable en un noyau plus stable (Il peut être aussi instable) . C'est une transmutation d'un noyau père en un noyau fils avec émission d'un rayonnement gamma* γ *et des particules* α , β^+ , β^-...

❖ *Les mots clés de ce chapitre :*

- *Loi de conservation du nombre de masse A ,*
- *Loi de conservation du nombre de charge Z .*
- *Loi de conservation de l'énérgie Totale .*

➢ *Désintégration α :*

✓ *Particule α :*

$$\begin{cases} Noyau\ Helium:\ {}^{4}_{2}He \\ Charge\ q = +2e:\ He^{2+} \\ Vitesse:\ V_{max} \approx 2 \times 10^{7} m/s \\ E_C = \dfrac{1}{2} mV^2 \\ Pénétration\ faible\ . \end{cases}$$

➢ *Réaction:* $${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{A-4}_{Z-2}Y$$

✓ ${}^{A}_{Z}X$ *Noyau père , tel que :* $A > 200$ *, pour qu'il peut donner la particule α .*

✓ ${}^{A-4}_{Z-2}Y$ *Noyau fils .*

✓ *Si le noyau fils* ${}^{A-4}_{Z-2}Y$ *est produit dans l'état éxcité , il déséxcite en donnent du rayonnement* ${}^{0}_{0}\gamma$ *pour qu'il soit dans l'état fondamentale .*

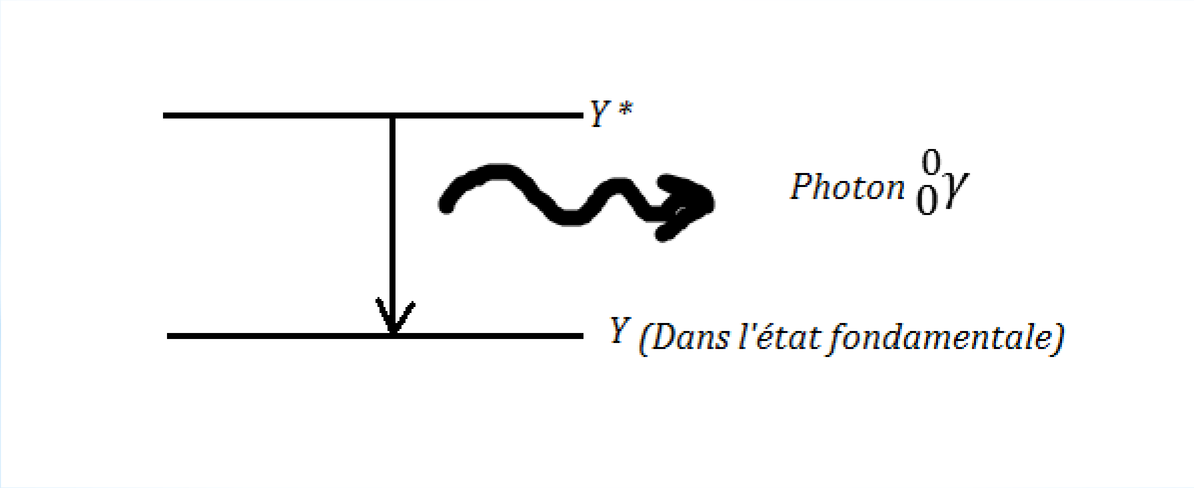
✓ *On écrit dans ce cas :* ${}_{Z-2}^{A-4}Y * \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}_{0}^{0}\gamma$ *, avec*

${}_{Z-2}^{A-4}Y *$ *: Dans l'état éxcité , et* ${}_{Z-2}^{A-4}Y$ *dans l'état fondamentale .*

❖ *Donc l'équation sera :* ${}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{2}^{4}He + {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}_{0}^{0}\gamma$

➢ *Si la question est : Justifier l'éxistence des rayonnements gamma* ${}_{0}^{0}\gamma$ *.*

✓ *Sol:* *Le noyau fils est produit dans l'état éxcité , il se déséxcite , on éméttant le rayonnement gamma , et devient dans l'état fondamentale .*



- *Conservation de l'énérgie totale :* Enérgie libérée

$E = mC^2$, est appelée énérgie de repos .

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{0}_{0}\gamma$$

$$E_{C(X)} + (mC^2)_{(X)} = E_{C(\alpha)} + (mC^2)_{(\alpha)} + E_{C(Y)} + (mC^2)_{Y} + E_{{}^{0}_{0}\gamma}$$

Alors : $[m_x - (m_\alpha + m_Y)]C^2 = \left(E_{C(\alpha)} + E_{C(Y)} + E_{{}^{0}_{0}\gamma}\right) - E_{C(X)}$

On pose : $\Delta m = m_x - (m_\alpha + m_Y)$, Donc : on aura :

$$E_L = \Delta m C^2 = \left(E_{C(\alpha)} + E_{C(Y)} + E_{{}^{0}_{0}\gamma}\right) - E_{C(X)}$$

E_L est appelée énérgie libérée par la désintégration .

Rq : si il faut utilisé les énérgies pour calculer l'énérgie libérée de la réaction (on n' pas les masses) , et les énérgies cinétiques de X et Y ne sont pas dans le données , et s'il n'ya pas un autre méthode pour calculer cette énérgie , alors X et Y sont au repos .

- ## *Application :*

Le noyau ${}^{241}_{95}Am$ *est un émetteur* α *. Il se transforme en un noyau de neptunium .*
On donne : $m\,{}^{241}_{95}Am = 241.00460u$, $m(Np) = 236.99705u$, $m_\alpha = 4.00151u$,
$E_{C(\alpha)} = 5.5Mev$, $E_{C(Np)} = 9.3 \times 10^{-2}\ Mev$, ${}^{241}_{95}Am$ *est au repos , 1u=931.5Mev/*C^2

1. *Ecriver l'équation bilan de cette désintégration .*

- ✓ *Sol:* ${}^{241}_{95}Am \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{A}_{Z}Np$

Loi de conservation de nombre de masse :

$$241 = 4 + A\ , donc\ A = 241 - 4 = 237$$

Loi de conservation de nombre de charge :

$$95 = 2 + Z\ , donc\ Z = 95 - 2 = 93$$

Alors : ${}^{241}_{95}Am \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{237}_{93}Np$

2. *Calculer l'énérgie libérée par cette désintégration .*

✓ <u>*Sol:*</u> $\Delta m = m_{^{241}_{95}Am} - m_{\alpha} - m_{^{237}_{93}Np} = 241.00460 - 4.00151 - 236.99705$

Donc : $\Delta m = 0.00604\, u$,
Alors : $\Delta m = 0.00604 \times 931.5\; Mev/C^2 = 5.62626 Mev/C^2$.

$E_L = \Delta m C^2 = 5.62626 (Mev/C^2)\, C^2 = 5.62626 Mev$.

3. *Cette désintégration est accompagné de l'émission d'un rayonnement* γ *.*
Détérminer l'énérgie de ce rayonnement .

✓ <u>*Sol:*</u> *Loi de conservation de l'énérgie total :*

$$E_L = E_{C(Np)} + E_{C(\alpha)} + E_{\gamma} - E_{C(Am)}$$

Donc : $5.62626 = 9.3(10^{-2}) + 5.5 + E_{\gamma} - 0 \Rightarrow E_{\gamma} = 0.03326\; Mev$.

- <u>Remarque:</u> ${}^{0}_{0}\gamma$: $\begin{cases} Photon \\ m \approx 0 \; et \; charge \; \approx 0 \\ Vitesse \; C = 3 \times 10^{8} \; m/s \\ \lambda(10^{-11} \to 10^{-13} m) \\ E_{Ph} = h\nu = \frac{hC}{\lambda} \\ Pénétration \; forte \; . \end{cases}$

- <u>*Désintégration β^- :*</u>

$$\beta^- : \begin{cases} Electron : \; {}^{0}_{-1}e \\ m = 9.1 \times 10^{-31} kg \approx 5.5 \times 10^{-4} \; u \\ Charge \; q = -e = -1.6 \times 10^{-19} (c) \\ Vitesse \; \approx 0.9C \\ Pénétration \; forte \; . \end{cases}$$

- *Caractéristiques des noyaux riches en neutrons :*

$$ {}_{0}^{1}n \rightarrow {}_{1}^{1}P + {}_{-1}^{0}e + {}_{0}^{0}\bar{\nu} $$

Neutron →Proton + éléctron + Antineutrino

- *Réaction général :*

$$ {}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{Z+1}^{A}Y + {}_{-1}^{0}e + {}_{0}^{0}\bar{\nu} $$

- ✓ *Forme de l'équation est vérifié par l'utilisation de 2 lois de conservations (nombre de charge et nombre de masse)*

- ✓ *Pour chaque β^{-} il y a un antineutrino .*

- ✓ *L'antineutrino est identifié après un contradiction avec la loi de conservation de l'énérgie totale , et parsuite son existence , pour assurer la conservation .*

➢ *Loi de conservation de l'énérgie totale :*

$$ {}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{Z+1}^{A}Y + {}_{-1}^{0}e + {}_{0}^{0}\overline{\nu} $$

$$ E_{C(X)} + (mC^2)_{(X)} = E_{C(\beta^-)} + (mC^2)_{(\beta^-)} + E_{C(Y)} + (mC^2)_{Y} + E_{{}_{0}^{0}\overline{\nu}} $$

$$ [m_x - (m_Y + m_{\beta^-})]C^2 = E_{C(Y)} + E_{C(\beta^-)} + E_{{}_{0}^{0}\overline{\nu}} - E_{C(X)} $$

Alors : $E_L = \Delta m C^2 = E_{C(Y)} + E_{C(\beta^-)} + E_{{}_{0}^{0}\overline{\nu}} - E_{C(X)}$.

S'il y a des photons , on ajoute leur énérgies .

Rq : si il faut utilisé les énérgies pour calculer l'énérgie libérée de la réaction (on n' pas les masses) , et les énérgies cinétiques de X et Y ne sont pas dans le données , et s'il n'ya pas un autre méthode pour calculer cette énérgie , alors X et Y sont au repos .

$${}_{0}^{0}\bar{\nu}: \begin{cases} Antineutrino \\ masse\ négligeable\ \approx 0 \\ Vitesse : V = C \\ q = 0 \\ Pas\ d'interaction\ avec\ la\ matière\ , pénétration\ très\ très\ forte\ . \end{cases}$$

- ***Exercice :***

${}_{83}^{210}Bi \ \rightarrow^{\beta^-}$ *… , ou on dit : le bismuth est un émétteur β^- . Il se tranforme en un noyau de polonium ${}_{Z}^{A}Po$.*

1. *Complétér l'équation de cette désintégration .*

- ✓ ***Sol:*** ${}_{83}^{210}Bi \rightarrow {}_{Z}^{A}Po + {}_{-1}^{0}e + {}_{0}^{0}\bar{\nu}$,

Conservation du nombre de masse :

$$210 = A + 0 + 0\ , donc : A = 210$$

Conservation du nombre de charge :

$$83 = Z - 1 + 0\ , donc : Z = 84$$

Alors : ${}_{83}^{210}Bi \rightarrow {}_{84}^{210}Po + {}_{-1}^{0}e + {}_{0}^{0}\bar{\nu}$

2. Vérifier que : ${}_{0}^{1}n \rightarrow {}_{1}^{1}P + {}_{-1}^{0}e + {}_{0}^{0}\bar{\nu}$

✓ <u>Sol:</u> on a ${}_{83}^{210}Bi \rightarrow {}_{84}^{210}Po + {}_{-1}^{0}e + {}_{0}^{0}\bar{\nu}$

Ceci implique que :

$(210 - 83) neutrons \rightarrow (210 - 84) neutrons\ car\ A = Z + N$

Alors : 127 neutrons → 126 neutrons .

D'autre part : $83\ protons \rightarrow 84\ protons$, et on a en plus un éléctron et antineutrino .

Donc : ${}_{0}^{1}n \rightarrow {}_{1}^{1}P + {}_{-1}^{0}e + {}_{0}^{0}\bar{\nu}$ Vérifié .

3. On donne : $m_n = 1.00866u$, $m_P = 1.00727u$, $m_{\beta^-} = 5.5(10^{-4})u$, $m_{Po} = 209.98733u$, $E_{C(\beta^-)} = 0.9\ Mev$, $E_{{}_{0}^{0}\bar{\nu}} = 1Mev$, $Bi\ et\ Po\ sont\ au\ repos$.

➢ Détérminer la masse du noyau ${}_{83}^{210}Bi$.

✓ <u>Sol:</u> *Loi de conservation de l'énérgie totale :*

$$E_L = \Delta m C^2 = E_{C(Po)} + E_{C(\beta^-)} + E_{{}^0_0\overline{\nu}} - E_{C(Bi)} = 0 + 0.9 + 1 - 0 = 1.9 Mev$$

Donc : $\Delta m C^2 = 1.9 Mev \Rightarrow \Delta m = 1.9 Mev/C^2$

Alors : $\Delta m = \frac{1.9}{931.5} = 0.00203\ u$

$$\Delta m = m_{210_{Bi}} - m_{(\beta^-)} - m_{210_{Po}} = m_{210_{Bi}} - 5.5(10^{-4}) - 209.98733$$

Donc : $m_{210_{Bi}} = 5.5(10^{-4}) + 209.98733 + 0.00203 \Rightarrow m_{210_{Bi}} = 209.98991\ u$.

4. *Calculer l'énérgie de liaison par nucléon pour le noyau* ${}^{210}_{83}Bi$.

✓ <u>*Sol:*</u> $\Delta m = [(z \times m_P) + (N \times m_N)] - m_{{}^{210}Bi}$

$= [(83 \times 1.00727) + (127 \times 1.00866)] - 209.98991 = 1.71332u$,

Donc : $\Delta m = 1.71332 \times 931.5 Mev/C^2 = 1595.95\ Mev/C^2$.

$E_l = \Delta m C^2 = 1595.95(Mev/C^2)(C^2)$

Donc : $E_l = 1595.95\ Mev$.

$\frac{E_l}{A} = \frac{1595.95}{210} = 7.599\ Mev/nucléons$.

Désintégration β^+ :

$$\beta^+ : \begin{cases} Positron\ (ou\ positon\ ) :\ {}^{\ 0}_{+1}e \\ m = 9.1 \times 10^{-31} kg \approx 5.5 \times 10^{-4}\ u \\ Charge\ q = +e = +1.6 \times 10^{-19} (c) \\ Vitesse\ \approx 0.9C \\ Pénétration\ forte\ . \end{cases}$$

Caractéristiques des noyaux riches en protons :

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

Proton → Positron + neutron + neutrino

- *<u>Réaction général :</u>*

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{\ A}_{Z-1}Y + {}^{\ 0}_{+1}e + {}^{0}_{0}\nu $$

- *Forme de l'équation est vérifié par l'utilisation de 2 lois de conservations (nombre de charge et nombre de masse)*

- *Pour chaque β^{+} il y a un neutrino .*

- *Le neutrino est identifié après un contradiction avec la loi de conservation de l'énérgie totale , et parsuite son existence , pour assurer la conservation .*

➢ *Loi de conservation de l'énérgie totale :*

$$ {}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{Z-1}^{\ \ A}Y + {}_{+1}^{\ \ 0}e + {}_{0}^{0}\nu $$

$$ E_{C(X)} + (mC^2)_{(X)} = E_{C(\beta^+)} + (mC^2)_{(\beta^+)} + E_{C(Y)} + (mC^2)_Y + E_{{}_0^0\nu} $$

$$ \left[m_x - \left(m_Y + m_{\beta^+}\right)\right]C^2 = E_{C(Y)} + E_{C(\beta^+)} + E_{{}_0^0\nu} - E_{C(X)} $$

Alors : $E_L = \Delta mC^2 = E_{C(Y)} + E_{C(\beta^+)} + E_{{}_0^0\nu} - E_{C(X)}$.

S'il y a des photons , on ajoute leur énérgies .

Rq : si il faut utilisé les énérgies pour calculer l'énérgie libérée de la réaction (on n' pas les masses) , et les énérgies cinétiques de X et Y ne sont pas dans le données , et s'il n'ya pas un autre méthode pour calculer cette énérgie , alors X et Y sont au repos .

$$ {}_0^0\nu : \begin{cases} Neutrino \\ masse\ négligeable\ \approx 0 \\ Vitesse : V = C \\ q = 0 \\ Pas\ d'interaction\ avec\ la\ matière\ , pénétration\ très\ très\ forte\ . \end{cases} $$

Khaled Soubra - Terminal

- <u>Exercice:</u>

Les roches volcaniques sont riches en ${}^{39}_{19}K$.

$$ {}^{39}_{19}K \rightarrow {}^{39}_{18}Ar + \cdots $$

1. *Compléter l'équation de cette désintégration , et nommer ce type .*

✓ <u>Sol:</u> ${}^{39}_{19}K \rightarrow {}^{39}_{18}Ar + {}^{A}_{Z}X$

Conservation du nombre de masse : $39 = 39 + A \Rightarrow A = 0$,

Conservation du nombre de charge : $19 = 18 + Z \Rightarrow Z = 19 - 18 = 1$

Donc X est un positron , donc :

$$ {}^{39}_{19}K \rightarrow {}^{39}_{18}Ar + {}^{0}_{+1}e + {}^{0}_{0}\nu $$

<u>Nom</u> : *Réaction radioactive , spontannée , aléatoire , désintégration* β^+ .

On peut dire aussi , incontrôlable .

2. On donne $m_{^{39}_{19}K} = 38.98341u$, $m_{\beta^+} = 5.5(10^{-4})u$, $m_n = 1.00866\ u$, $m_P = 1.00727\ u$, $r_0 = 1.2fm$, $1u = 931.5Mev/C^2 = 1.6605 \times 10^{-27}Kg$
Et $\frac{E_l}{A}(Ar) = 7.89\ Mev/nuc$.

a. Détérminer $m_{(Ar)}$, et $\rho_{(Ar)}$.

✓ <u>Sol:</u> On a $\frac{E_l}{A}(Ar) = 7.89\ Mev/nuc$, alors : $E_l(Ar) = 7.89 \times 39 = 307.71Mev$.

Alors $\Delta mC^2 = 307.71\ Mev \Rightarrow \Delta m = 307.71Mev/C^2$.

Donc : $\Delta m = \frac{307.71}{931.5} = 0.33033\ u$

Alors : $[(Z \times m_P) + (N \times m_n)] - m_{Ar} = 0.33033$

Donc : $m_{Ar} = [(18 \times 1.00727) + (21 \times 1.00866)] - 0.33033$

Alors : $m_{Ar} = 38.98239\ u$

Alors : $m_{Ar} = 38.98239 \times 1.6605 \times 10^{-27} = 6.47303 \times 10^{-26}\ kg$.

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi \times A \times {r_0}^3$$

Donc : $\rho_{(Ar)} = \frac{m_{(Ar)}}{V_{(Ar)}} = \frac{6.47303 \times 10^{-26}}{(\frac{4}{3}\pi \times 39 \times (1.2 \times 10^{-15})^3)} = 2.293 \times 10^{17}\ kgm^{-3}$.

b) Calculer l'énérgie libérée de la réaction .

✓ <u>*Sol:*</u> $\Delta m = m_K - m_{Ar} - m_{\beta^+} = 38.98341 - 38.98239 - 5.5(10^{-4})$

Donc : $\Delta m = 0.00047\ u$

Donc : $\Delta m = 0.00047 \times 931.5\ Mev/C^2 = 0.437805\ Mev/C^2$.

Donc : $E_L = \Delta m C^2 = 0.437805(Mev/C^2)\ (C^2)$

Alors : $E_L = 0.437805\ Mev$.

c) *Déduire* $E_{{}^0_0\nu}$ *, si* $E_{C(\beta^+)} = 0.3\ Mev$ *, et si les noyaux K et Ar sont au repos .*

✓ *<u>Sol:</u> Loi de conservation de l'énérgie totale :*

$$E_L = \Delta m C^2 = -E_{C(K)} + E_{C(Ar)} + E_{C(\beta^+)} + E_{{}^0_0\nu}$$

Donc : $0.437805 = -0 + 0 + 0.3 + E_\nu$ *, alors* $E_\nu = 0.137805\ Mev$ *.*

➢ *<u>Remarque :</u>*

✓ *L'énérgie des particules* β *n'est pas quantifiées , car elle est accompagnées par l'émission du neutrino (ou antineutrino) , qui peut prendre n'importe quelle valeur .*

- ***Effet du rayonnement sur la matière vivante :***

- ***Dose absorbée :***

La dose absorbé D est l'énérgie reçue par l'unité de masse de la matière vivante .

$$D = \frac{E}{m}$$

- *Avec : E en joule ,m en kg et D en gray (Gy)*
- $1rad = 10^{-2}\ Gy$.

- ***Equivalente physiologique du dose:*** : $ED = D \times fQ$, ED: en sievert (Sv)

- $fQ : facteur\ de\ qualité\ : \begin{cases} \alpha : 15 \rightarrow 20 \\ \beta^- ; \beta^+ ; \gamma : 1 \\ {}_0^1n : 10 \rightarrow 15 \end{cases}$. $1rem = 10^{-2}\ Sv$.

- $\begin{cases} ED < 0.05\ (Sv) \Rightarrow pas\ d'éffet . \\ ED > 10(Sv) \Rightarrow La\ mort . \\ 0.05 < ED < 10\ (Donnée\ DANS\ LE\ QUESTION\ ). \end{cases}$

- <u>Loi de décroissance radioactive :</u> **Décroissance exponentielle**

- N_0 : *nombre initiale de noyaux à l'instant* $t = 0$.

- N : *nombre de noyaux restant à un instant t .*

- N': *nombre de noyaux désintégrées à la même instant t .*

$$\text{Relation : } N_0 = N + N'$$

- <u>Enoncé de la loi :</u>

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

Le nombre de noyaux désintégrée $-dN$ *Càd* $-\Delta N$ *pendant une durée dt* (Δt *qui tend vers zéro*) *est propportionnelle au nombre N avec un coefficient de propportionnalité* $\lambda > 0$, *ce qui donne :*

$$\frac{dN}{N} = -\lambda\, dt \Rightarrow \int_{N_0}^{N} \frac{dN}{N} = \int_0^t -\lambda\, dt \Rightarrow \ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\lambda\, t \Rightarrow \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda\, t}$$

$$N = N_0 e^{-\lambda\, t} \text{ et parsuite : } N' = N_0(1 - e^{-\lambda\, t})$$

- ✓ <u>*Equation différentielle :*</u> $\frac{dN}{dt} = -\lambda N_0 e^{-\lambda t} = -\lambda N \Rightarrow \frac{dN}{dt} + \lambda N = 0$

- ✓ *λ est appelée constante radioactive du noyau , elle diffère d'un noyau à un autre .*

- ✓ $n = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A}$ *, avec :* $\begin{cases} n : nombre\ de\ mole \\ m : masse\ en\ (g) dans\ cette\ relation \\ M : masse\ molaire\ en\ g/mol \\ N : nombre\ de\ noyaux \\ N_A : nombre\ d'avogadro\ en\ mol^{-1} \end{cases}$

- ✓ $N = N_0 e^{-\lambda t}$ *, or* $n = \frac{N}{N_A}$ *, alors* $N = n \times N_A$ *,*

Donc : $n \times N_A = n_0 \times N_A e^{-\lambda t}$ *, alors* $n = n_0 e^{-\lambda t}$ *.*

- ➢ *De plus :* $n = \frac{m}{M} \Rightarrow \frac{m}{M} = \frac{m_0}{M} e^{-\lambda t} \Rightarrow m = m_0 e^{-\lambda t}$ *.*

➢ *Période ou demi – Vie*

C'est le temps T au bout duquel la moitié des noyaux restantes se désintégre .

Partant de l'instant initial tel que $N = N_0$. à $t = T$, on a $N = \frac{N_0}{2}$,

Après une autre période : $N = \frac{N_0}{2^2}$ *, et après une autre* $N = \frac{N_0}{2^3}$ ...

En général , à $t = n\,T$, *on a :* $N = \frac{N_0}{2^n}$ *, on aura aussi :* $n = \frac{n_0}{2^n}$ *et* $m = \frac{m_0}{2^n}$.

T est appelée période , ou demi vie .

➢ *Relation entre λ et T:*

✓ $N = N_0 e^{-\lambda\, t}$, *et d'autre part* $N = \frac{N_0}{2^n}$ *, alors :* $N_0 e^{-\lambda\, t} = \frac{N_0}{2^n}$ *, simplifier par* N_0

Donc : $e^{-\lambda\, t} = \frac{1}{2^n} \Rightarrow l\,n\left(e^{-\lambda\, t}\right) = ln\left(\frac{1}{2^n}\right) \Rightarrow -\lambda\, t = -\,ln(2^n) = -n\; ln(2)$

Alors $\lambda\, t = \frac{t}{T} ln(2) \Rightarrow \lambda = \frac{ln(2)}{T}$ *.(Applicable)*

- <u>*Remarque :*</u> *Si dans la question nous sommes obligé d'utiliser l'une des deux méthodes (Décroissance radioactive ou période) , on l'utilise , si non , on peut utiliser l'une des deux arbitrairement .*

- <u>*Activité :*</u>

- <u>*Définition (IMP):*</u> *L'activité A d'une échantillon radioactive , est le nombre de désintégration , par unité de temps .*

- $N = N_0 e^{-\lambda t}$, $A = -\frac{dN}{dt} = -\left(-\lambda N_0 e^{-\lambda t}\right) = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$ *, on pose* $A_0 = \lambda N_0$,

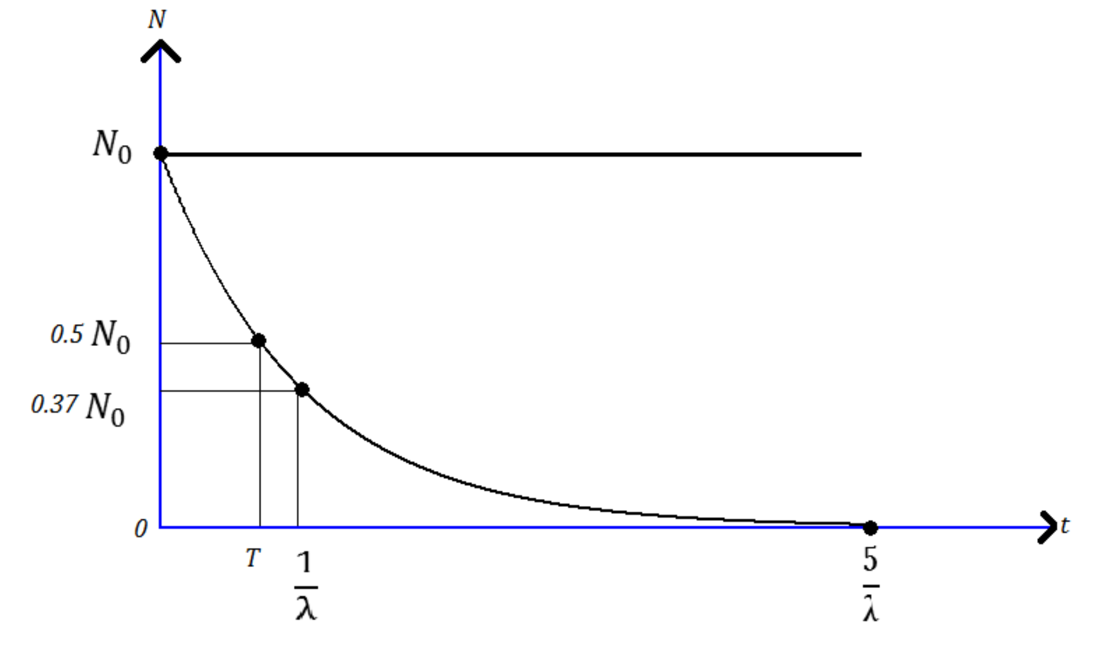
Alors : $A = A_0 e^{-\lambda t}$, $si\ t\ en\ seconde\ \Rightarrow \lambda = \frac{ln2}{T}\ en\ sec^{-1}$ *, on peut dire dans ce cas:*
$A = \lambda N$ *, A en bequrel tel que :*

1 Bq correspond à 1 désintégration par seconde .
Autre unité : Curie avec $1Ci = 3.7 \times 10^{10}\ Bq$.

- *En utilisant la loi de décroissance radioavtive , il faut que t et λ ont même unité .*
- *En calculant λ , laissé sa valeur sur la calculatrice , et ne considéré pas ln2=0.693 .*
- *Et* $A = \frac{A_0}{2^n}$ *, à* $t = n\,T$.

- ## *Graphe 1 :*

- ✓ $N = N_0 e^{-\lambda t}$
- ✓ $\grave{A}\ t = 0 \Rightarrow N = N_0$
- ✓ $\grave{A}\ t = T \Rightarrow N = 0.5N_0$
- ✓ $\grave{A}\ t = \frac{1}{\lambda} \Rightarrow N = 0.37N_0$
- ✓ $\grave{A}\ t = \frac{5}{\lambda} \Rightarrow N = 0$.

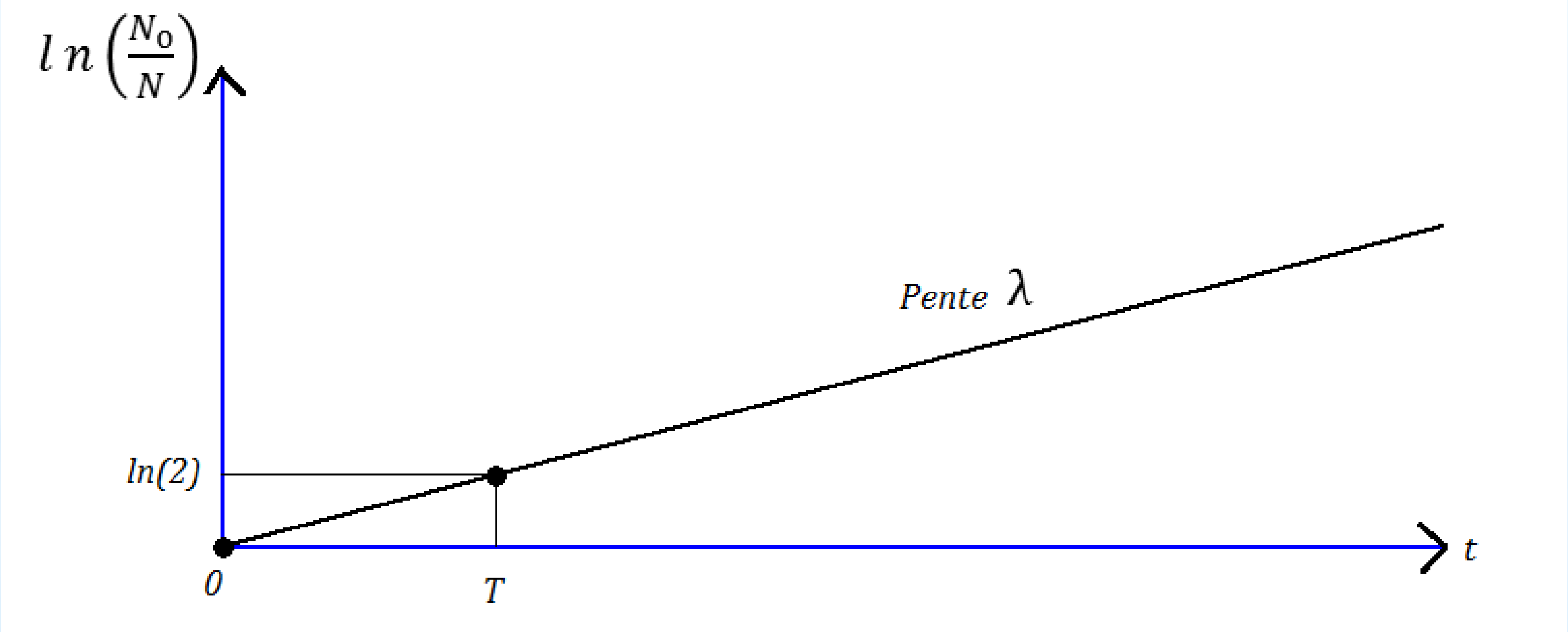


➢ Graphe 2 :

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} \Rightarrow -\lambda t = l\,n\left(\frac{N}{N_0}\right) \Rightarrow \lambda t = l\,n\left(\frac{N_0}{N}\right),$$

C'est une équation sous forme $y = a\,t$ *, avec* $a = \lambda > 0$ *, alors elle représente une équation d'une droite croissant passant par l'origine .*

En particulier , pour $t = T \Rightarrow \lambda t = \lambda T = ln2$ *, (c'est le point où* $N = \frac{N_0}{2}$ *) .*

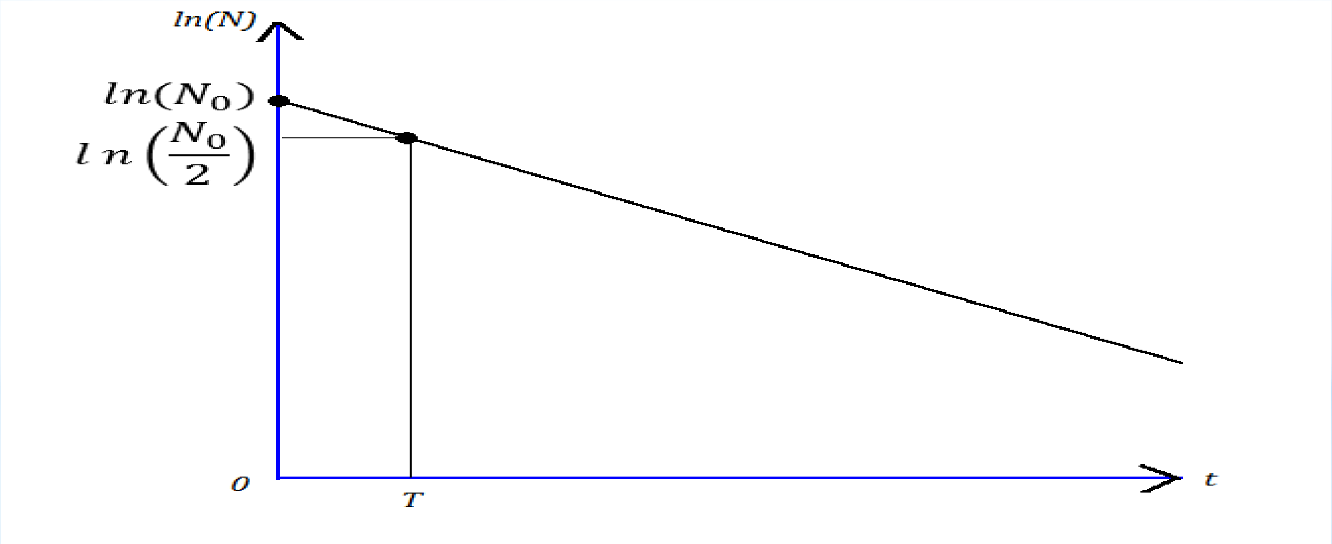


- *Graphe 3 :*

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow lnN = l\,n\left(N_0 e^{-\lambda t}\right) \Rightarrow lnN = ln(N_0) + ln\left(e^{-\lambda t}\right)$$

Alors : $lnN = -\lambda t + lnN_0$ *, C'est une équation de la forme :* $y = a\,t + b$ *, avec* $a = -\lambda < 0$ *, donc c'est une équation d'une droite décroissant qui ne passe pas par l'origine .*

$\grave{A}\ t = T \Rightarrow \lambda\, t = \lambda T = ln2$ *, alors :* $lnN = ln\frac{N_0}{2}$ *, et à* $t = 0 \Rightarrow lnN = lnN_0$ *.*

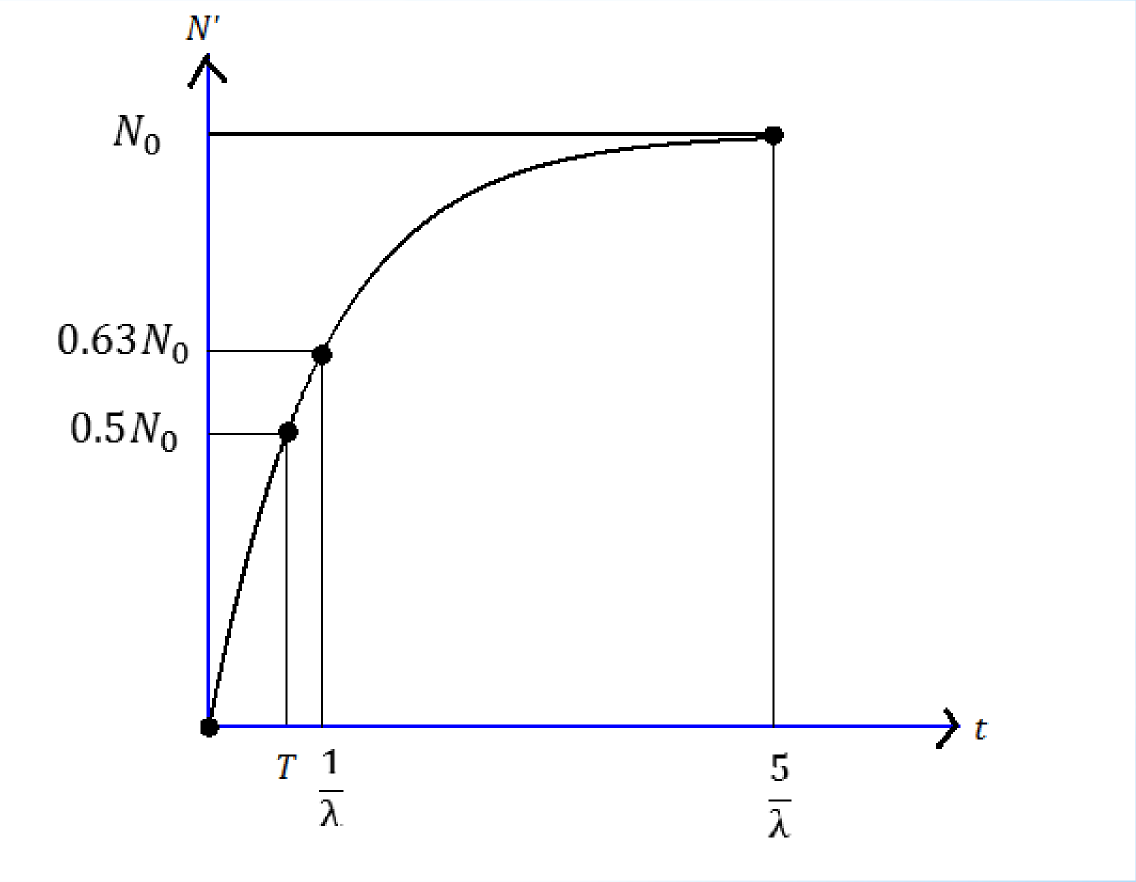


➢ Graphe 4 :

$$N_0 = N + N' \Rightarrow N' = N_0 - N = N_0 - N_0 e^{-\lambda\, t}$$

Donc : $N' = N_0(1 - e^{-\lambda\, t})$

- ✓ À $t = 0 \Rightarrow N' = 0$
- ✓ À $t = T \Rightarrow N' = 0.5N_0 = N$
- ✓ À $t = \frac{1}{\lambda} \Rightarrow N' = 0.63N_0$
- ✓ À $t = \frac{5}{\lambda} \Rightarrow N' = N_0$.



- ***Applications:***

L'isotope $^{14}_{6}C$ *a une demi vie de 5730 ans . A un certain instant , un échantillon contient* 1.0×10^{22} *noyaux de carbone 14 . Détérminer son activité à l'instant considérée .*

- ✓ *Sol:* $\lambda = \frac{ln2}{T} = \frac{ln2}{5730 \times 365.25 \times 24 \times 60 \times 60} = 3.83324 \times 10^{-12}\ sec^{-1}$

$$A = \lambda N = 3.83324 \times 10^{-12} \times 1.0 \times 10^{22} \Rightarrow A = 3.83324 \times 10^{10}\ (Bq)$$

- ***Application:***

Après 36 h , l'activité d'un échantillon tombe à $\frac{1}{8}$ *de sa valeur initial . Détérminer sa période .*

- ✓ *Sol:* *à* $t = 36\ h$, $A = \frac{A_0}{8}$, *donc :* $\frac{A_0}{8} = \frac{A_0}{2^n} \Rightarrow n = 3$, $t = nT \Rightarrow T = \frac{36}{3} = 12h.$

- ✓ *Autre méthode :* $A = A_0 e^{-\lambda\, t} \Rightarrow \frac{A_0}{8} = A_0 e^{-\lambda\, t} \Rightarrow e^{-\lambda\, t} = \frac{1}{8} \Rightarrow \lambda\, t = ln8$

Donc : $\lambda = \frac{ln8}{36} = 0.05776 \Rightarrow T = \frac{ln2}{0.05776} \Rightarrow T = 12\ h$.

- ## *Exercice fondamentale :*

Un géologiste de masse 80 kg effectue une éxpérience pour détérminer l'âge d'une roche volcanique riche en potassium ${}^{37}_{19}K$.

$$ {}^{37}_{19}K \rightarrow {}^{37}_{18}Ar + \cdots + \cdots $$

1. *Complétér et nommer cette réaction .*

✓ *Sol:* ${}^{37}_{19}K \rightarrow {}^{37}_{18}Ar + {}^{A}_{Z}X$

Conservation du nombre de masse : $37 = 37 + A$, *donc* $A = 0$
Conservation du nombre de charge : $19 = 18 + Z$, *donc* $Z = 1$

C'est un positron ${}^{0}_{+1}e$ *, avec un neutrino .*

Donc : ${}^{37}_{19}K \rightarrow {}^{37}_{18}Ar + {}^{0}_{+1}e + {}^{0}_{0}\nu$.

- *Réaction radioactive spontannée aléatoire désintégration* β^{+} .

2. *Le géologiste prend une échantillon de masse 1 g d'une roche volcanique et il étudie le nombre de noyaux Ar et K dans cette échantillon .*

Sachant que $N_{Ar} = \frac{N_K}{2}$ *. La période de potassium est* $T = 3250\ ans$ *. Détérminer l'âge de la roche .*

✓ <u>*Sol:*</u> $N_K = N_{0(K)}e^{-\lambda\, t}$, $N_{Ar} = N'_K = N_{0(K)}(1 - e^{-\lambda\, t})$

$$N_{Ar} = \frac{N_K}{2} \Rightarrow N_{0(K)}\left(1 - e^{-\lambda\, t}\right) = \frac{N_{0(K)}}{2}e^{-\lambda\, t}$$

Donc : $1 - e^{-\lambda\, t} = \frac{1}{2}e^{-\lambda\, t} \Rightarrow \frac{3}{2}e^{-\lambda\, t} = 1 \Rightarrow e^{-\lambda\, t} = \frac{2}{3}$

Alors : $\lambda\, t = ln\frac{3}{2} \Rightarrow t = \frac{T}{ln2} \times ln\frac{3}{2} = \frac{3250 \times ln1.5}{ln2}$

Donc l'âge de la roche est $t = 1901.128\ ans$

3. *Détérminer le nombre de noyaux Ar et K dans l'échantillon . Le nombre de mole et la masse sont proportionnel :* $m_{Ar} = \frac{m_K}{2}$ *. Nombre d'avogadro :*

$$N_A = 6.022 \times 10^{23}\ mol^{-1}$$

✓ <u>*Sol:*</u> $m_{Ar} + m_K = 1(g) \Rightarrow m_{Ar} + 2m_{Ar} = 1 \Rightarrow 3m_{Ar} = 1 \Rightarrow m_{Ar} = \frac{1}{3}\ (g)$.

Pour Ar : $\frac{m}{M} = \frac{N}{N_A} \Rightarrow N = \frac{m \times N_A}{M} = \frac{(\frac{1}{3}) \times 6.022 \times 10^{23}}{37} = 5.425 \times 10^{21}$ *noyaux .*

Pour K : $\frac{m}{M} = \frac{N}{N_A} \Rightarrow N = \frac{(1 - \frac{1}{3})(6.022 \times 10^{23})}{37} = 1.085 \times 10^{22}$ *noyaux .*

4. *On donne :* $m_K = 36.99721\ u$, $m_{\beta^+} = 5.5(10^{-4})u$, $E_{C(\beta^+)} = 0.62\ Mev$, $E_\nu = 0.5\ Mev$ *. Détérminer* m_{Ar} *.*

✓ <u>*Sol:*</u> *Conservation de l'énérgie totale :*

$$E_L = \Delta m C^2 = E_{C(\beta^+)} + E_\nu + E_{C(Ar)} - E_{C(K)} = 0.62 + 0.5 - 0 - 0 = 1.12 Mev .$$

$$E_L = 1.12Mev \Rightarrow \Delta m C^2 = 1.12\ Mev \Rightarrow \Delta m = 1.12\ Mev/C^2$$

Alors : $\Delta m = \frac{1.12}{931.5} = 0.00120\ u$

$$\Delta m = m_K - m_{\beta^+} - m_{Ar} = -m_{Ar} - 5.5(10^{-4}) + 36.99721 = 0.00120\ u$$

Donc : $m_{Ar} = -0.00120 + 36.99721 - 5.5(10^{-4}) \Rightarrow m_{Ar} = 36.99545\ u$.

5. *Calculer l'activité A du potassium* ${}^{37}_{19}K$.

✓ Sol: $A = \lambda N \quad , \ \lambda = \frac{ln2}{T} = \frac{ln2}{3250 \times 365.25 \times 24 \times 60 \times 60} \Rightarrow \lambda = 6.75831 \times 10^{-12}\ s^{-1}$

Donc : $A = 6.75831 \times 10^{-12} \times 1.085 \times 10^{22} \Rightarrow A = 7.33277 \times 10^{10}\ Bq$.

6. *Calculer la puissance de* β^+ .

✓ Sol: $P = N_{\beta^+/s} \times E_{C(\beta^+)} = A \times E_C = 7.33277 \times 10^{10} \times 0.62 \times 1.6 \times 10^{-13}$

Donc : $P = 7.27 \times 10^{-3}\ W$.

7. *L'éxpérience est efféctué en 10 (s) . On suppose que le géologiste absorbe 75 % de particules* β^+

a) *Calculer la dose absorbée .*

✓ <u>Sol:</u> $N_{\beta^+/10(s)} = 10 \times A = 10 \times 7.33277 \times 10^{10} = 7.33277 \times 10^{11}$.

$$E = 0.62 \times 7.33277 \times 10^{11} = 4.546 \times 10^{11}\ Mev$$

$$E = 4.546 \times 10^{11} \times 1.6 \times 10^{-13} = 0.07274\ J$$

$$E_{absorbé} = 0.75 \times 0.07274 = 0.054555\ J$$

$D = \frac{E}{m} = \frac{0.054555}{80} \Rightarrow D = 0.00068\ Gy$.

b) *Calculer l'équivalent physiologique du dose , si le facteur de qualité de* $\beta^+ = 1$.

✓ <u>Sol:</u> $ED = D \times fQ = 0.00068 \times 1 = 0.00068\ (Sv)$

c) *Déduire l'éffet toxique sur le géologiste .*

✓ <u>Sol:</u> $ED = 0.00068(Sv) < 0.05(Sv) \Rightarrow Pas\ d'éffet$.

Familles radioactives :

On considère la famille radioactive dont le nucléïde père est le noyau d'uranium $^{238}_{92}U$ et le nucléïde finale stable est le plomb $^{206}_{82}Pb$.

Le radium $^{226}_{88}Ra$ est un nucléïde de cette famille qui , à la suite de désintégrations de type α ou β^- , conduit au plomb $^{206}_{82}Pb$.

1. *Donner l'équation générale représentative de la radioactivité α . En utilisant des éléments dans le tableau ci – dessous , écrivez l'équation d'une désintégration de cet type .*

$^{226}_{88}Ra$	$^{222}_{86}Rn$	$^{210}_{84}Po$	$^{206}_{82}Pb$

- ✓ *Sol:* *radioactivité α :* $^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{X-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He$.

Donc : $^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He$, *et* $^{210}_{84}Po \rightarrow {}^{206}_{82}Pb + {}^{4}_{2}He$.

2. *Donner le nombre de désintégrations de type α et de type β^- permettant de passer du noyau ${}^{226}_{88}Ra$ au noyau ${}^{206}_{82}Pb$.*

✓ *<u>Sol:</u>* ${}^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{206}_{82}Pb + x\,{}^{0}_{-1}e + x\,{}^{0}_{0}\bar{\nu} + y\,{}^{4}_{2}He$.

Conservation du nombre de masse : $226 = 206 + 0 + 0 + 4y$
Donc : $4y = 20$, $alors\ y = 5$.

Conervation du nombre de charge : $88 = 82 - x + 0 + 2(5)$
Donc : $x = 92 - 88$, $alors : x = 4$.

Alors : ${}^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{206}_{82}Pb + 4\,{}^{0}_{-1}e + 4\,{}^{0}_{0}\bar{\nu} + 5\,{}^{4}_{2}He$.

3. *On considère une masse m_0 de radon à une date choisit comme origine du temps . La période du radon est de 3.825 Jours .*

a) *Quelle est la masse de radon qui reste après une , puis deux , puis ... , puis n période ? En déduire la masse du radon désintégrées après n période .*

✓ <u>*Sol:*</u> $T = 3.825\ Jours$.

$$à\ t = 1T \Rightarrow m = \frac{m_0}{2}$$
$$à\ t = 2T \Rightarrow m = \frac{m_0}{2^2}$$

.

.

.

$$à\ t = n\,T \Rightarrow m = \frac{m_0}{2^n}\ ,\ et\ m' = m_0(\,1 - \frac{1}{2^n}\,)\ .$$

b) Calculer la durée nécéssaire pour désintégrés le $\frac{4}{9}$ *de la masse* m_0 *du radon .*

✓ <u>*Sol:*</u> $m' = m_0\left(1 - \frac{1}{2^n}\right) \Rightarrow \frac{4m_0}{9} = m_0\left(1 - \frac{1}{2^n}\right) \Rightarrow 1 - \frac{1}{2^n} = \frac{4}{9}$

$$Alors : \frac{1}{2^n} = \frac{5}{9} \Rightarrow 2^n = \frac{9}{5} \Rightarrow n = \frac{ln(\frac{9}{5})}{ln2} \Rightarrow n = 0.8479\ .$$

$$t = n\,T = 0.8479 \times 3.825\ ,\ alors : t = 3.24358\ Jours\ .$$

- ***Exercice* (**)**

$$ {}^{239}_{93}Np \rightarrow {}^{239}_{94}Pu + \cdots $$

1. *Compléter et nommer cette réaction .*

✓ *Sol:* $\quad {}^{239}_{93}Np \rightarrow {}^{239}_{94}Pu + {}^{A}_{Z}X$

Conservation du nombre de masse : $239 = 239 + A$ *, donc* $A = 0$
Conservation du nombre de charge : $93 = 94 + Z$ *, donc* $Z = -1$

Donc : X est éléctron , donc : ${}^{239}_{93}Np \rightarrow {}^{239}_{94}Pu + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\bar{\nu}$

Réaction radioactive spontanné aléatoire , désintégration β^- .

2. *Cette désintégration est accompagné par rayonnement* γ *, de longueur d'onde* $\lambda_\gamma = 2\ Pm$.

a) *Expliquer l'éxistence de ces rayonnements* γ .

✓ <u>Sol:</u> *Le noyau fils* $^{239}_{94}Pu$ *est produit dans l'état éxcité , il se déséxcite , en éméttant du rayonnement* γ *, pour qu'il venir à l'état fondamentale .*

Alors : $^{239}_{94}Pu^* \rightarrow {}^{0}_{0}\gamma + {}^{239}_{94}Pu$ *(fondamentale)*

Donc : $^{239}_{93}Np \rightarrow {}^{239}_{94}Pu + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\overline{\nu} + {}^{0}_{0}\gamma$.

b) *Donner les caractéristiques du rayonnements* $^{0}_{0}\gamma$.

✓ <u>Sol:</u> $^{0}_{0}\gamma :$ $\begin{cases} Photon \\ m \approx 0 \; et \; charge \approx 0 \\ Vitesse \; C = 3 \times 10^{8} \; m/s \\ \lambda(10^{-11} \rightarrow 10^{-13} m) \\ E_{Ph} = h\nu = \dfrac{hC}{\lambda} \\ Pénétration \; forte \, . \end{cases}$

c) *Détérminer en joule et en Mev , l'énérgie du rayonnement* γ . On donne : $h = 6.63 \times 10^{-34} J.s$ *, et* $C = 3 \times 10^{8}\ m/s$.

- ✓ <u>*Sol:*</u> $E_{Ph} = \frac{hC}{\lambda} = \frac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{2\times10^{-12}}$ *, donc* $E_{Ph} = 9.945 \times 10^{-14}\ J$

Alors : $E_{Ph} = \frac{9.945\times10^{-14}}{1.6\times10^{-13}}$ *, alors :* $E_{Ph} = 0.62156\ Mev$.

3. *La particule* β^- *est une particule relativiste de vitesse* $V = 0.89\ C$.

$$E_{C(\beta^-)} = mC^2\left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}} - 1\right)$$

La masse de $\beta^- = 5.5 \times 10^{-4}\ u$. *Calculer* E_C .

- ✓ <u>*Sol:*</u> $E_C = (5.5 \times 10^{-4})C^2(931.5 Mev/C^2)\left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{(0.89)^2C^2}{C^2}}} - 1\right)$

Alors : $E_C = 0.512325\left(\frac{1}{\sqrt{1-(0.89)^2}} - 1\right) \Rightarrow E_C = 0.61129\ Mev$.

4. *On donne :* $m_{Np} = 239.00428\ u$, $m_{Pu} = 238.99321\ u$.

Détérminer l'énérgie libérée et vérifier l'éxistence de l' ${}_{0}^{0}\bar{\nu}$ *. Np et Pu sont au repos .*

- ✓ <u>*Sol:*</u>

$$E_{C(Pu)} + E_{C(\beta^-)} - E_{C(Np)} + E_\gamma = 0 + 0.61129 - 0 + 0.62156 = 1.23285\ Mev\ .$$

$$\Delta m = m_{Np} - m_{Pu} - m_{\beta^-} = 239.00428 - 238.99321 - 5.5(10^{-4})$$

Alors : $\Delta m = 0.01052\ u$

Donc : $\Delta m = 0.01052 \times 931.5\ Mev/C^2$ *, Donc :* $\Delta m = 9.79938\ Mev/C^2$.

$E_L = \Delta m C^2 = 9.79938(Mev/C^2)\,(C^2) \Rightarrow E_L = 9.79938\ Mev$ *>1.23285 Mev ,*
alors l'éxistence de l'antineutrino , pour assurer la conservation de l'énérgie totale ,
avec $E_{\bar{\nu}} = 9.79938 - 1.23285 = 8.56653\ Mev$.