



THEME : PHYSIQUE-NUCLEAIRE

TITRE DE LA LEÇON : RÉACTIONS NUCLÉAIRES PROVOQUÉES

I- SITUATION D'APPRENTISSAGE

Des élèves en classe de Terminale C au Lycée Municipal 2 Pierre Gadié de Yopougon ont suivi un documentaire sur les fuites de produits radioactifs à la centrale nucléaire de FUKOSHIMA au Japon. Dans ce documentaire on parle de barres de combustibles, de fusion, de radiations, d'irradiations. Impressionnés par ce vocabulaire, ces élèves informent leurs camarades de classe et ensemble, sous la conduite de leur Professeur, ils décident de déterminer le défaut de masse, de définir l'énergie de liaison par nucléon, la fission nucléaire, la fusion nucléaire, de connaître les applications et les dangers de la radioactivité.

II- CONTENU DE LA LEÇON**1. Défaut de masse**

1.1. Définition

La masse m_x d'un noyau X est inférieure à la somme des masses de ses constituants. On appelle défaut de masse Δm la différence entre la masse des nucléons séparés et la masse du noyau.

1.2. Expression et Unité

L'expression du défaut de masse est :

$$\Delta m = [Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - m_x]; \text{ Son unité est le MeV/C}^2$$

2. Energie de liaison2.1. Energie de liaison du noyau E_L

Le noyau étant un système à très forte cohésion, il faut fournir une énergie très importante pour dissocier un noyau au repos en ses nucléons séparés également au repos. Cette énergie est appelée énergie de liaison E_L : $E_L = \Delta m C^2$ avec : $C = 3,00.10^8 \text{ m/s}$ est la célérité (vitesse) de la lumière.

L'unité de E_L est le joule (J) mais il est commode en, physique nucléaire, d'exprimer l'énergie en **MeV**.

$$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} = 1,60.10^{-13} \text{ J}$$

Remarque :

On peut aussi exprimer les masses en MeV/C^2 . $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV/C}^2$

2.2. Energie de liaison par nucléon E_0

E_0 est l'énergie moyenne qu'il faut apporter à chaque nucléon pour le sortir du noyau. Elle traduit donc la

stabilité d'un noyau : $E_0 = \frac{E_L}{A} = \frac{\Delta m c^2}{A}$

Activité d'application 1

La masse du noyau d'uranium ${}^{235}_{92}\text{U}$ est $m_{\text{U}} = 235,0439 \text{ u}$. Sachant que la masse d'un neutron isolé est $m_{\text{n}} = 1,0087 \text{ u}$ et que celle d'un proton isolé est $m_{\text{p}} = 1,0073 \text{ u}$ calculer :

- 1- Le défaut de masse du noyau d'uranium.
- 2- L'énergie de liaison de son noyau.
- 3- Son énergie de liaison par nucléon.

Solution

- 1- Défaut de masse :

$$\Delta m = [Zm_{\text{p}} + (A - Z)m_{\text{n}} - m_{\text{X}}] = [92 \times 1,0073 + (235 - 92) \times 1,0087 - 235,0439]$$

$$\Delta m = 1,8718 \text{ u}$$

- 2- Energie de liaison

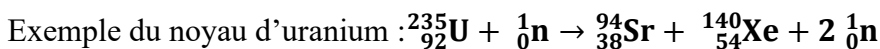
$$E_{\text{l}} = \Delta m \cdot c^2 = 1,8718 \times c^2 \times 931,5 \text{ MeV}/c^2 = 1743,5817 \text{ MeV}$$

- 3- Energie de liaison par nucléon

$$E_{\text{A}} = \frac{E_{\text{l}}}{A} = \frac{1743,5817}{235} = 7,4195 \text{ MeV}$$

3. Réaction de fission nucléaire

Une réaction de fission nucléaire est une réaction au cours de laquelle un noyau lourd se scinde en deux noyaux légers plus stables sous l'impact d'un neutron. Ce noyau susceptible de se scinder est dit noyau fissile.



Remarque :

Une réaction de fission nucléaire libère deux neutrons susceptibles, dans certaines conditions de produire de nouvelles réactions de fission. C'est le processus d'une réaction en chaîne.

Les réactions de fission nucléaires contrôlées sont mises en œuvre dans les réacteurs nucléaires. Celles incontrôlées se produisent dans les bombes explosives appelées « Bombes A ».

4. Réaction de fusion nucléaire

Une réaction de fusion nucléaire est une réaction au cours de laquelle deux noyaux légers s'unissent pour former un noyau lourd. Ce sont des réactions thermonucléaires.



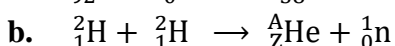
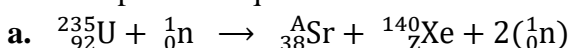
L'application des réactions de fusions nucléaires contrôlées pour la production d'énergie est encore au stade de la recherche.

Les réactions de fusions nucléaires incontrôlées se produisent dans les bombes thermonucléaires ou bombe H.

Les réactions thermonucléaires ont une très grande importance dans l'univers. Elles se produisent dans le soleil, les étoiles et sont à l'origine de l'énergie rayonnée par les astres.

Activité d'application 2

1. Complete les équations des réactions nucléaires suivante

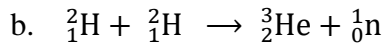
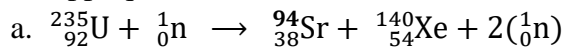




2. Précise pour chaque réaction s'il s'agit d'une fission ou d'une fusion

Solution

1. En appliquant les lois de conservation on a :



2.

a : une fission

b: une fusion

c : une fusion

5. Applications et dangers de la radioactivité

La radioactivité est utilisée en médecine en radiologie, pour le traitement des tumeurs, pour des analyses chimiques (spectrographie).

Dans l'industrie elle permet les contrôles d'épaisseur, des soudures...

En agronomie elle permet les modifications génétiques pour avoir des semences améliorées. On utilise aussi la radioactivité pour la datation au Carbone 14 des objets anciens (vestiges).

Par contre exposer à des déchets radioactifs et à des réactions nucléaires incontrôlées l'on risque d'être irradié.

Les bombes nucléaires font planer aussi sur la planète les risques de guerre désastreuse.

SITUATION D'ÉVALUATION

Après le cours sur les réactions nucléaires provoquées, votre professeur de physique-chimie vous soumet l'étude d'une réaction utilisée dans les centrales nucléaires : la fission de l'uranium 235. L'uranium 235 est fissile, c'est-à-dire que le noyau peut être brisé par un neutron << lent >> en deux nouveaux noyaux. Ces noyaux formés sont instables, et en général se désintègrent par radioactivité β^- .

Dans un réacteur nucléaire à eau sous pression, une fission possible du noyau d'uranium 235 peut se schématiser par l'équation bilan : ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{91}_{38}\text{Zr} + {}^{142}_{54}\text{Ce} + 3({}^1_0\text{n}) + 6({}^0_{-1}\text{e})$

Données : $m_p = 1,00728 \text{ u}$; $m_n = 1,00867 \text{ u}$; $m(U)=235,04384$

Les énergies de liaison par nucléon de noyaux en MeV/nucléon :

$${}^{235}\text{U} = 7,59 ; {}^{91}\text{Zr} = 8,7 ; {}^{142}\text{Ce} = 8,37$$

Une unité de masse atomique u a une énergie de masse de 931,5 MeV

Tu es désigné pour répondre aux questions ci-dessous.

1. Définis une réaction de fission nucléaire.
2. Recopie l'équation-bilan de la réaction nucléaire et complète là.
3. Détermine :
 31. l'énergie de liaison par nucléon de l'uranium 235.

3.2 en Mev puis en joule, l'énergie libérée au cours de la fission.

Solution

1. C'est l'éclatement d'un noyau lourd par bombardement d'un neutron lent pour donner deux noyaux légers.
2. En appliquant les lois de conservation on a :

$$\text{Conservation de masse : } 235+1=91+a+3 \rightarrow a=142$$

$$\text{Conservation de charge : } 92= b+58-6 \rightarrow b=40$$

$$\text{D'où l'équation s'écrit : } {}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{40}^{91}\text{Zr} + {}_{58}^{142}\text{Ce} + 3({}_0^1\text{n}) + 6({}_{-1}^0\text{e})$$

3.

3.1.L'énergie de liaison par nucléon :

$$E = \frac{E_l}{A} = \frac{\Delta mc^2}{A} = \frac{(Zm_p + Nm_n - m(U))c^2}{A}$$

$$E = \frac{(92 \times 1,00728 + 143 \times 1,00867 - 235,04394) \times 931,5}{235}$$

$$E = \frac{7,395 \text{ MeV}}{\text{nucléon}}$$

3.2.L'énergie libérée au cours de la fission

$$E = \sum E_l(\text{après}) - \sum E_l(\text{avant})$$

$$E = E_l(91\text{Zr}) + E_l(14\text{Ce}) - E_l(235\text{U})$$

$$\text{Or } E' = \frac{E_l}{A} \Rightarrow E_l = AE'$$

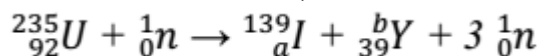
$$E = 91 \times 8,7 + 142 \times 8,37 - 235 \times 7,59 = 196,59 \text{ MeV}$$

$$\text{En joule : } E = 196,59 \times 1,6 \cdot 10^{-13} = 3,15 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

III- EXERCICES

Exercice 1

Dans un réacteur nucléaire, l'une des réactions possible est :

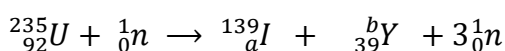


1. Donne la nature de cette réaction. Justifie ta réponse.
2. Détermine les valeurs de a et b en précisant les lois utilisées.
3. Calcule l'énergie libérée E Par la réaction en J puis en MeV

Solution

1. C'est une réaction de fission car il y a éclatement d'un noyau lourd par bombardement d'un neutron lent pour donner deux noyaux légers.

2. Valeurs de a et b



$$\text{Conservation de la masse : } 235 - 1 = 139 + b + 3 \Rightarrow b = 92$$

Conservation de la charge : $92 = a + 39 \Rightarrow a = 53$

3. Calcul de l'énergie libérée E_1 par la réaction en J et en MeV

$$E = \Delta m C^2 = (m_I + m_Y + 3m_n - m_U - m_n)C^2$$

$$\Delta m = (138,897 + 93,890 + 3 \times 1,00867 - 234,99332 - 1,00867)$$

$$\text{Soit } \Delta m = -0,18898u$$

$$E = -0,18898 \times 1,67 \cdot 10^{-27} \times (3 \cdot 10^8)^2 = -2,84 \cdot 10^{-11} J$$

Conversion de l'énergie en MeV.

$$E = \frac{-2,84 \cdot 10^{-11}}{1,6 \cdot 10^{-13}} = -177,5 \text{ MeV}$$

Exercice 2 :

On considère les nucléides suivants : ${}^{12}_5\text{B}$; ${}^{12}_6\text{C}$; ${}^{12}_7\text{N}$

1) Indique la composition de chaque noyau.

2)

2.1) Rappelle la définition de l'énergie de liaison.

2.2) Calcule l'énergie de liaison en MeV du carbone ${}^{12}_6\text{C}$.

On donne $m({}^{12}_6\text{C}) = 1,12 \cdot 10^4 \text{ MeV}/C^2$; $m_p = 938,27 \text{ MeV}/C^2$ et $m_n = 939,56 \text{ MeV}/C^2$.

3) Le bore ${}^{12}_5\text{B}$ est radioactif β^- et l'azote ${}^{12}_7\text{N}$ est radioactif β^+ .

Ecris l'équation bilan de chacune de ces réactions en précisant la nature des particules formées.

Solution :

1. Indiquons la composition de chaque noyau :

- ${}^{12}_5\text{B}$: Z = 5 protons; A = 12 nucléons et N = A - Z \rightarrow N = 12 - 5 = 7 neutrons
- ${}^{12}_6\text{C}$: Z = 6 protons; A = 12 nucléons et N = A - Z \rightarrow N = 12 - 6 = 6 neutrons
- ${}^{12}_7\text{N}$: Z = 7 protons; A = 12 nucléons et N = A - Z \rightarrow N = 12 - 7 = 5 neutrons

2.

2.1. Définition de l'énergie de liaison

L'énergie de liaison E_1 d'un noyau est l'énergie minimum qu'il serait nécessaire de fournir pour dissocier ses nucléons.

Ou encore l'énergie de liaison E_1 d'un noyau est l'énergie nécessaire à la cohésion du noyau.

2.2. Calculons l'énergie de liaison en MeV du carbone ${}^{12}_6\text{C}$.

L'énergie de liaison E_1 est obtenue en effectuant l'opération :

$E_1 = \Delta m \times C^2$ avec Δm le défaut de masse.

$$\Delta m = [Z \cdot m_p + (A - Z)m_N - m_{{}^{12}_6\text{C}}]$$

$$E_1 = [Z \cdot m_p + (A - Z)m_N - m_{{}^{12}_6\text{C}}] \times C^2$$

$$\text{AN : } E_1 = [(6 \times 938,27) + (6 \times 939,56) - 1,12 \cdot 10^4] = 66,98 \text{ MeV}$$

3. Equations-bilans de désintégration de ${}^{12}_5\text{B}$ et ${}^{12}_7\text{N}$

$$\bullet \quad {}^{12}_5\text{B} \rightarrow {}_{-1}^0\beta^- + {}^{12}_6\text{C} + {}^0_0\nu + \gamma$$

$$\text{NB: équation simplifiée: } {}^{12}_5\text{B} \rightarrow {}_{-1}^0\beta^- + {}^{12}_6\text{C} \quad \text{ou} \quad {}^{12}_5\text{B} \rightarrow {}_{-1}^0\text{e} + {}^{12}_6\text{C}$$

$$\bullet \quad {}^{12}_7\text{N} \rightarrow {}_{+1}^0\beta^+ + {}^{12}_6\text{C} + {}^0_0\nu + \gamma$$

$$\text{NB: équation simplifiée: } {}^{12}_7\text{N} \rightarrow {}_{+1}^0\beta^+ + {}^{12}_6\text{C} \quad \text{ou} \quad {}^{12}_7\text{N} \rightarrow {}_{+1}^0\text{e} + {}^{12}_6\text{C}$$

Exercice 3

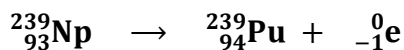
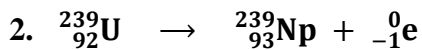
L'isotope de l'uranium ${}^{238}_{92}\text{U}$, non fissible, est dit fertile. Il peut capter un neutron rapide selon l'équation : ${}^{238}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{239}_{92}\text{U}$

Le nucléide ${}^{239}_{92}\text{U}$ est radioactif : il se transforme en neptunium ${}^{239}_{93}\text{Np}$ et ce dernier, est également radioactif, en plutonium ${}^{239}_{94}\text{Pu}$ fissible comme ${}^{235}_{92}\text{U}$

1. Nomme-le(s) type(s) de désintégration spontanée subissent l'uranium 239 et le neptunium 239.
2. Ecris les équations de ces réactions nucléaires.
3. Le combustible des réacteurs utilisés dans les centrales nucléaires de type phénix est un couple fissile-fertile : ${}^{239}_{94}\text{Pu}$ et ${}^{238}_{92}\text{U}$
Dis l'intérêt que présente l'usage d'un tel combustible.

Solution

1. Il s'agit d'une désintégration β^-



3. La fission du plutonium 239 engendre des neutrons qui, par réaction avec l'uranium 238, donnent naissance à du plutonium 239. On régénère donc une partie du combustible.

Exercice 4

Première partie

Pendant la leçon sur la radioactivité, le professeur et les élèves établissent la relation de décroissance radioactive. Cette relation indique l'évolution du nombre N de noyaux à la date t d'un échantillon radioactif, elle est donnée par la relation $N = N_0 e^{-\lambda t}$.

De retour à la maison, les élèves souhaitent appliquer la loi au nucléide Radium ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ très radioactif afin de déterminer son activité radioactive.

Aide-les.

- 1) Dis ce que signifie N_0 et λ .
- 2)
 - 2.1) Définis la période T d'un nucléide radioactif.
 - 2.2) Etablis l'expression de la période T en fonction de λ .
- 3) Représente qualitativement la courbe $N = f(t)$ d'évolution de nombre de noyaux en fonction du temps.
On placera sur cette courbe les points remarquables suivants : A (0, N(0)) ;
B (T, N(T)) ; C (2T, N(2T)) ; D (3T, N(3T)).

Solution :

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

1. Disons ce que signifie N_0 et λ :

- N_0 : Nombre de noyaux à l'instant considéré comme instant initial ($t=0s$)
- λ : Constante radioactive

2.

2.1. Définissons la période T d'un nucléide radioactif :

La période T d'un nucléide radioactif est le temps au bout duquel la moitié du nombre de noyaux à l'instant $t=0s$ s'est désintégrée.

2.2. Etablissons l'expression de $T=f(\lambda)$

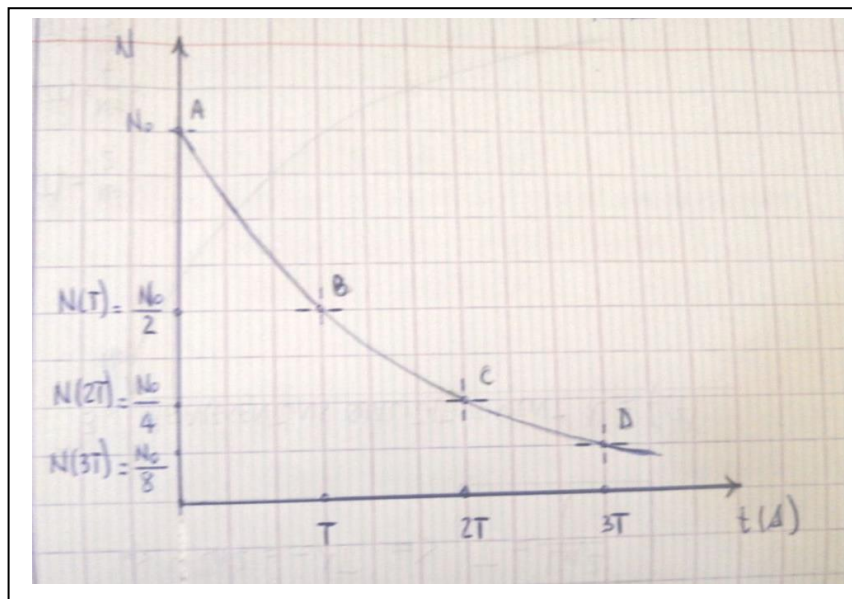
$$\text{A } t=T, N = \frac{N_0}{2} \rightarrow \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T} \rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\lambda T} \rightarrow -\ln 2 = -\lambda T \rightarrow$$

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

3. Représentons qualitativement la courbe $N = f(t)$

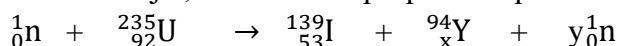
On placera sur cette courbe les points remarquables suivants : A (0, $N(0)$) ;

B (T , $N(T)$) ; C ($2T$, $N(2T)$) ; D ($3T$, $N(3T)$).



Exercice 5

Pendant la préparation du deuxième examen blanc, tes camarades de classe et toi souhaitent vérifier vos connaissances sur les réactions nucléaires, pour cela vous échangez avec votre professeur de physique-chimie sur ce sujet, ainsi il vous propose l'équation d'une réaction de fission de l'Uranium suivante :



Données :

Masse du neutron : 1,009 u ; masse de l'iode 139 : 138,905u

Masse de l'uranium : 235,044 u ; masse de l'yttrium 94 : 93,906 U

N_A (nombre d'Avogadro) : $6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}$; C : $3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

Tu es sollicité par tes camarades pour la rédaction du compte rendu

1. Définis la réaction de fission

2. Donne la composition du noyau d'uranium (protons et neutrons) ;

3. Détermine :
 - 3.1 les nombres x et y ;
 - 3.2. la perte de masse dans cette réaction .
4. Calcule en joule l'énergie libérée par 1kg d'uranium.

Solution

1. Définition : la fission nucléaire est le phénomène par lequel un noyau atomique lourd est scindé en deux ou en quelques nucléides plus légers. Cette réaction nucléaire s'accompagne de l'émission de neutrons et d'un dégagement d'énergie très important.

2. La composition du noyau est : 92 protons et de $235 - 92 = 143$ neutrons

3.1. Déterminons x et y :

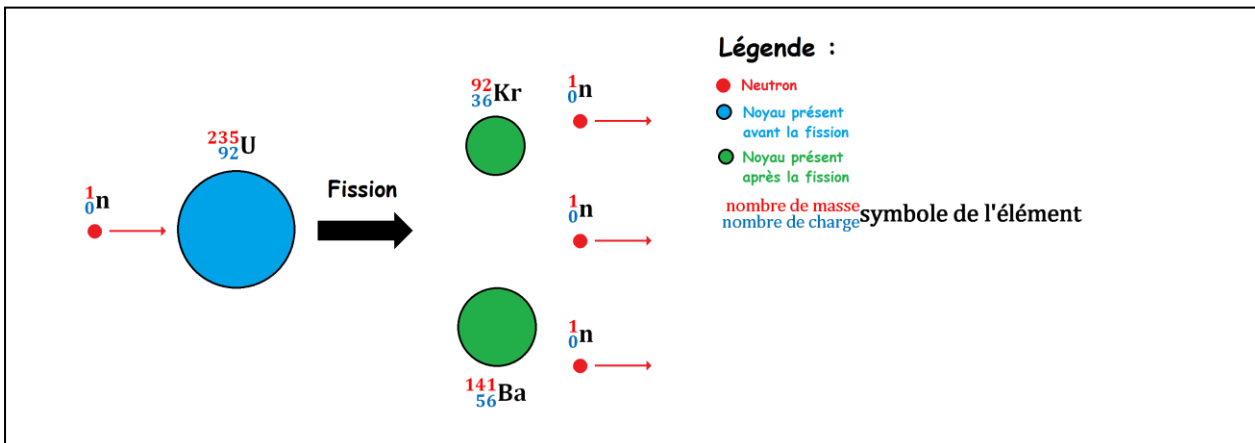
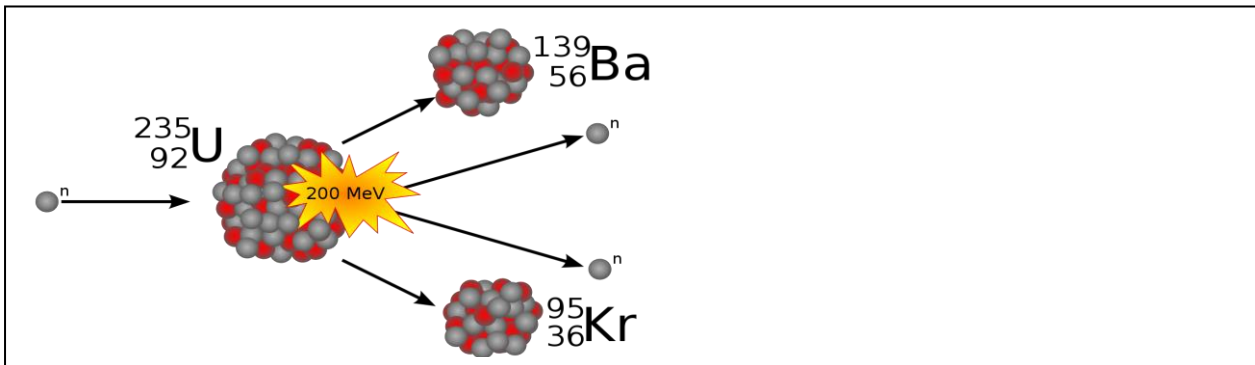
Par application des lois de conservation on trouve

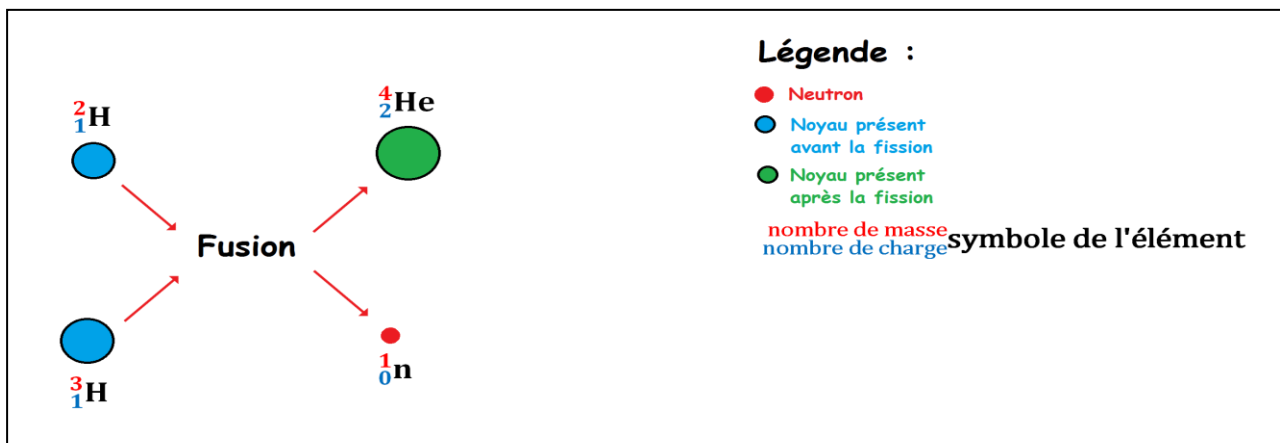
$$X = 92 - 53 = 8 \text{ et } y = 236 - (139 + 94) = 3$$

3.2. La perte de masse est : $\Delta m = m_I + m_y + 3m_o - (m_U + m_o) = -0,215 \text{ u}$

4. L'énergie libérée est : $\Delta E = \Delta m \cdot c^2 \cdot \frac{m}{M} \cdot N_A = -8,23 \cdot 10^{13} \text{ J}$

IV. DOCUMENTATION





Voyons les activités moyennes de quelques objets quotidiens, données pour 1kg (quand pas précisé le contraire), selon le Laboratoire Souterrain de Modane

Objets	Activité moyenne
Eau de pluie (1L)	0,3 à 1Bq
Eau de mer (1L)	10Bq
Lait (1L)	80Bq
Poisson	100Bq
Pomme de terre	150Bq
Sol sédimentaire	400Bq
Café	1000Bq
Granite	1000Bq
Cendre de charbon	2000Bq
Engrais (phosphate)	5000Bq
Homme (70kg)	7000Bq (donc 100Bq pour 1kg)
Sol granitique	8000Bq
Détecteur d'incendie	30000Bq
Minerai d'uranium	25millionsBq
Radioisotope pour les diagnostics médicaux	70millionsBq
Déchets nucléaires de haute activité (vieux de 50 ans), vitrifiés	10000milliardsBq
Source radioactive médicale	100000milliardsBq