

Noyaux, Masses Et Energies

Exercice :1

Production d'énergie nucléaire

1- Fission nucléaire

Une centrale nucléaire est une usine de production d'électricité. Actuellement ces centrales utilisent la chaleur libérée par des réactions de fission de l'uranium 235 qui constitue le "combustible nucléaire". Cette chaleur transforme de l'eau en vapeur. La pression de la vapeur permet de faire tourner à grande vitesse une turbine qui entraîne un alternateur produisant l'électricité.

Certains produits de fission sont des noyaux radioactifs à forte activité et dont la demi-vie peut être très longue.



1-1- Définir le terme demi-vie.

1-2- Définir l'activité d'une source radioactive. Préciser son unité dans le Système International.

1-3- Le bombardement d'un noyau d'uranium 235 par un neutron peut produire un noyau de strontium et un noyau de xénon selon l'équation suivante :

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{94}_{Z}Sr + ^{A}_{54}Xe + 3^{1}_{0}n$$

1-3-1- déterminer les valeurs des nombres A et Z.

1-3-2- Calculer en MeV l'énergie libérée par cette réaction de fission.

1-3-3- Quelle est l'énergie libérée par nucléon de matière participant à la réaction ?

2- Fusion nucléaire

Le projet ITER s'installera prochainement sur le site de Cadarache en France. L'objectif de ce projet est de démontrer la possibilité scientifique et technologique de la production d'énergie par la fusion des atomes. La fusion est la source d'énergie du soleil et des autres étoiles. Pour obtenir une réaction de fusion, il faut rapprocher suffisamment deux noyaux qui se repoussent, puisqu'ils sont tous deux chargés positivement. Une certaine énergie est donc indispensable pour franchir cette barrière et arriver dans la zone, très proche du noyau, où se manifestent les forces nucléaires capables de l'emporter sur la répulsion électrostatique. La réaction de fusion la plus accessible est la

réaction impliquant le deutérium et le tritium. C'est sur cette réaction que se concentrent les recherches concernant la fusion contrôlée. La demi-vie du tritium consommé au cours de cette réaction n'est que de 15 ans.
De plus il y a très peu de déchets radioactifs générés par la fusion et l'essentiel est retenu dans les structures de l'installation ; 90 % d'entre eux sont de faible ou moyenne activité.

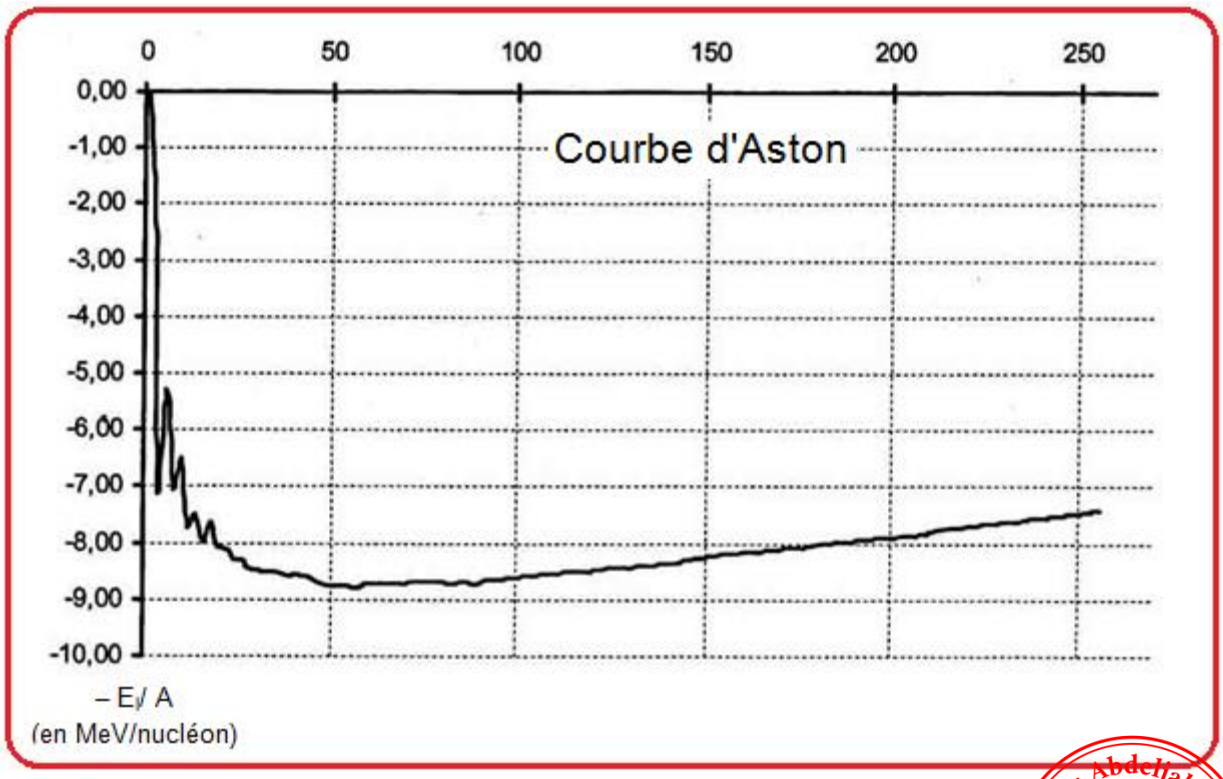
Professeur Abdeljalil CHAKIR RihabPC

Tableaux de données:

Particule ou Noyau	Neutron	proton	Deutérium	Tritium	Hélium 3	Hélium 4	Uranium 235	Xénon	Strontium
Symbole	$^{1}_{0}n$	$^{1}_{1}H$	$^{2}_{1}H$	$^{3}_{1}H$	$^{3}_{2}He$	$^{4}_{2}He$	$^{235}_{92}U$	$^{A}_{54}Xe$	$^{94}_{Z}Sr$
Masse en u	1,00866	1,00728	2,01355	3,01550	3,01493	4,00150	234,9942	138,8892	93,8945

Unité de masse atomique	u = 1,66054 $\times 10^{-27}$ kg
Énergie de masse de l'unité de masse atomique	1u = 931,5 MeV.c^{-2}
Électronvolt	1 eV = 1,60 $\times$ 10^{-19} J
Vitesse de la lumière dans le vide	c = 3,00 $\times$ 10^{8} m.s^{-1}

2-1- Le deutérium de symbole $^{2}_{1}H$ et le tritium de symbole $^{3}_{1}H$ sont deux isotopes de l'hydrogène.
  2-1-1- Définir le terme de noyaux isotopes.
  2-1-2- Donner le composition de ces deux noyaux.
2-2- Qu'appelle-t-on réaction de fusion ?
2-3- Sur la courbe d'Aston **(annexe à rendre avec la copie)** indiquer clairement dans quel domaine se trouvent les noyaux susceptibles de donner une réaction de fusion.
2-4- Écrire l'équation de la réaction nucléaire entre un noyau de Deutérium et un noyau de Tritium sachant que cette réaction libère un neutron et un noyau noté $^{A}_{Z}X$.Préciser la nature du noyau $^{A}_{Z}X$.
2-5- Montrer que l'énergie libérée au cours de cette réaction de fusion est de 17,6 MeV. Quelle est l'énergie libérée par nucléon de matière participant à la réaction ?
2-6- Conclure sur l'intérêt du projet ITER en indiquant les avantages que présenterait l'utilisation de la fusion par rapport à la fission pour la production d'électricité dans les centrales nucléaires.



Professeur Abdeljalil CHAKIR - RihabPC - RihabPC

Exercice :2

Données :

- Constante d' Avogadro : **N A = 6,02 x 10^{23} mol^{-1}**
- **1 u = 1,66055 x 10^{-27} Kg**
- **1 eV = 1,602 x 10^{-19}j**
- Masse d'un proton : **m_p= 1,0073u**
- Masse d'un neutron : **m_n= 1,0087u**
- Masse du noyau d'uranium 235 : **m(^{235}U) = 235 ,0134 u**
- Masse du noyau de Strontium 94 : **m(^{94}Sr) = 93,8946 u**
- Masse du noyau de Xénon 139 : **m(^{139}Xe) = 138,888u**
- Célérité de la lumière dans le vide : **c = 2,998 x 10^8 $m.s^{-1}$**
- Energies de liaison par nucléon :

E_l(^{144}La)=8,28 MeV/nucléon et E_l(^{88}Br) = 8,56 MeV/nucléon

Dans une **centrale nucléaire**, les noyaux d'uranium($^{235}_{92}U$) subissent la fission sous le choc d'un neutron lent. Un des nombreux processus possibles conduit à la formation d'un noyau de strontium($^{94}_{Z}Sr$) d'un noyau de Xénon ($^{139}_{54}Xe$) et de plusieurs neutrons.

1- Comparaison de la stabilité des noyaux

1-1- Calculer, en MeV, l'énergie de liaison $E_l(^{235}_{92}U)$ puis en déduire l-énergie de liaison par nucléons $E(^{235}_{92}U)$

1-2- Comparer par ordre croissant en justifiant la réponse la stabilité des

noyaux : $(^{235}_{92}U)$, $(^{144}_{57}La)$ et $(^{88}_{35}Br)$

2- Réaction de fission

2-1- Définir la réaction de **fission**

2-2- Ecrire l'équation de la réaction de fission étudiée

2-3- Calculer la perte de masse (défaut de masse) Δm de cette réaction

2-4- Calculer, en MeV, l'énergie ΔE_0 libérée par la fission d'un noyau

2-5- Calculer, en joule puis en MeV, ΔE l'énergie libérée par une mole de noyaux $^{235}_{92}U$

Exercice :3

En cas d'accident nucléaire majeur, les risques d'être atteint par les rayonnements émis par les matières radioactives rejetées dans l'atmosphère sont nombreux. A cet égard, le danger le plus grand est sans conteste celui d'une contamination par de l'iode 131 radioactif. Emis sous forme gazeuse, l'iode inhalé a la propriété de se fixer très rapidement sur la thyroïde. Le noyau d'iode 131 se désintègre principalement en émettant un électron $^{0}_{-1}e$. C'est un émetteur β^- : un de ses neutrons se transforme rapidement en proton, en émettant un électron.

Données :

Noyaux et particules	$^{131}_{52}Te$	$^{131}_{53}I$	$^{131}_{54}Xe$	*Electron*	*Neutron*	*Proton*
Energie de liaison par nucleon : $\frac{E_l}{A}$ $\left(MeV.nucleon^{-1}\right)$	8,41122	8,4223	8,4237	-	-	-
Masse (Kg)	-	-	-	$9{,}109\times10^{-31}$	$1{,}67492\times10^{-27}$	$1{,}67262\times10^{-27}$

Professeur Abdeljalil CHAKIR - RihabPC - RihabPC

- Célérité de la lumière dans le vide : $c = 2{,}998\times10^{8}\,ms^{-1}$, $1MeV = 1{,}062\times10^{-13}\,j$
- La figure ci-dessous, représente le diagramme énergétique de la transformation nucléaire

1- Parmi les isotopes de l'élément Iode, on trouve le ^{127}I , et le ^{124}I . L'un est stable,l'autre est radioactif β^+. Indiquer, avec justification, lequel des deux est stable

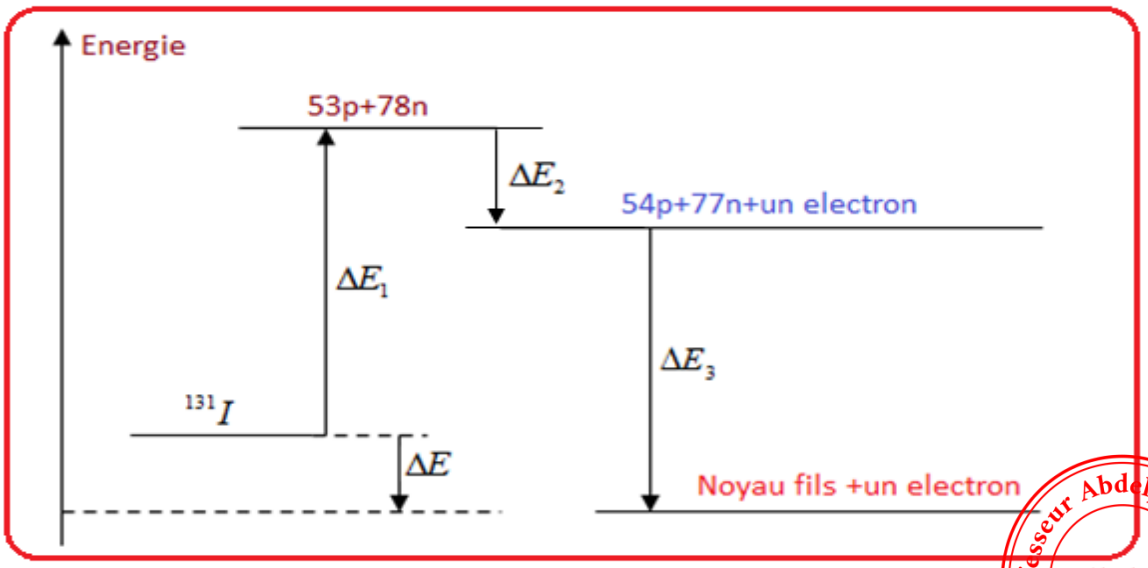
2- Écrire l'équation de la réaction de désintégration du noyau de l'iode 131.

3- Définir l'énergie de liaison E_l du noyau.

4- Montrer que $\Delta E_1 = 1103{,}321MeV$.

5- En utilisant la relation d'Einstein, calculer en MeV la variation d'énergie ΔE_2 .Que représente cette énergie ?

6- Calculer ΔE_3 , et en déduire l'énergie de la désintégration ΔE .



Professeur Abdeljalil CHAKIR - RihabPC - RihabPC

Exercice : 4

Une centrale nucléaire produit toujours de l'électricité à partir d'un combustible nucléaire fissile comme l'uranium(235) qui, une fois bombardé par un neutron, fissionne et produit beaucoup d'énergie nucléaire qui sera transformée en énergie électrique avec un certain rendement r. On se propose dans cet exercice d'évaluer l'importance de cette énergie et de la comparer avec l'énergie produite par une réaction chimique.

Données : $m\left(^{235}_{92}U\right)=234{,}9861u$ $m\left(^{137}_{55}Cs\right)=136{,}8679u$ $m\left(^{97}_{40}Zr\right)=96{,}9801u$

$m\left(^{1}_{0}n\right)=1{,}0086u$ $m\left(^{0}_{-1}e\right)\approx 0$ $1u=931{,}5MeV.c^{-2}=1{,}67\times10^{27}Kg$

$1eV=1{,}6\times10^{-19}j$

Au sein d'un réacteur nucléaire l'uranium $^{235}_{92}U$ fissionne après avoir été bombardé par un neutron $^{1}_{0}n$, il se forme le césium $^{137}_{55}Cs$ et le Zirconium $^{97}_{40}Zr$ et x neutrons et aussi y électrons

1- écrire l'équation de cette fission en calculant x et y

2- Calculer l'énergie $|\Delta E_0|$ libérée de cette fission

3- Sachant que le rendement du réacteur est $r=30\%$ et que la puissance électrique fournie par ce réacteur est $P=800MW$ et que ce réacteur consomme une masse $m_{Uranium}$ de $^{235}_{92}U$ chaque jour $(\Delta t=1jour)$

3-1- Donner l'expression de l'énergie $|\Delta E|$ qui résulte de la fission de la masse $m_{Uranium}$ en fonction de : r , P et Δt

3-2- Calculer $|\Delta E|$ en j et en MeV

3-3- Calculer la masse $m_{Uranium}$

4- Sachant que la puissance thermique du pétrole est $P_{th}=4{,}4\times10^{7}\ j.Kg^{-1}$

Calculer la masse m' du pétrole nécessaire pour produire la même quantité d'énergie que produit la masse $m_{Uranium}$ à la suite de sa fission. Que peut- on conclure ?

Solution

Exercice : 1

1- Fission nucléaire

1-1- Le **temps de demi-vie** $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle la moitié d'une quantité initiale de noyaux radioactifs contenus dans un échantillon s'est désintégrée.

1-2- L'**activité a** est le nombre de désintégrations que subit une population de noyaux radioactifs par seconde. Elle s'exprime en becquerel (Bq).

1-3-1- En appliquant les lois de conservation de Soddy, on a :

conservation du nombre de nucléons $235 + 1 = 94 + A + 3$ soit $A = 139$

conservation de la charge électrique $92 = Z + 54$ soit $Z = 38$

1-3-2- $\Delta E = \Delta m.c^2$ où Δm représente la perte de masse qui a lieu au cours de la réaction nucléaire

$\Delta E = (3m(n) + m(Xe) + m(Sr) - m(n) - m(U)).c^2$

$\Delta E = (2m(n) + m(Xe) + m(Sr) - m(U)).c^2$

Méthode 1: masses converties en kg en multipliant par $1{,}66054\times10^{-27}$, et énergie convertie de joule en mégaélectronvolt en divisant par $1{,}60\times10^{-13}$

$\Delta E = (2\times1{,}00866 + 138{,}8892 + 93{,}8945 - 234{,}9942)\times1{,}66054\times10^{-27}\times(3{,}00\times10^{8})^2 / (1{,}60\times10^{-13})$

$\Delta E = -1{,}80\times10^{2}$ MeV

Méthode 2 : masses en unité de masse atomique, on multiplie par l'énergie de masse atomique, on obtient directement ΔE en MeV.

$\Delta E = (2\times1{,}00866 + 138{,}8892 + 93{,}8945 - 234{,}9942) \times 931{,}5$

$\Delta E = -180{,}0 = -1{,}80\times10^{2}$ MeV

Le système noyau d'uranium + neutron perd de l'énergie, d'où le signe –.
Le milieu extérieur reçoit cette énergie, **l'énergie libérée est donc de 180 MeV**.

1-3-3- Il y a (235+1) nucléons qui participent à la réaction, soit une énergie $E_{libérée}$ / 236 égale à 0,76 MeV par nucléon de matière participant à la réaction.

2- Fusion nucléaire

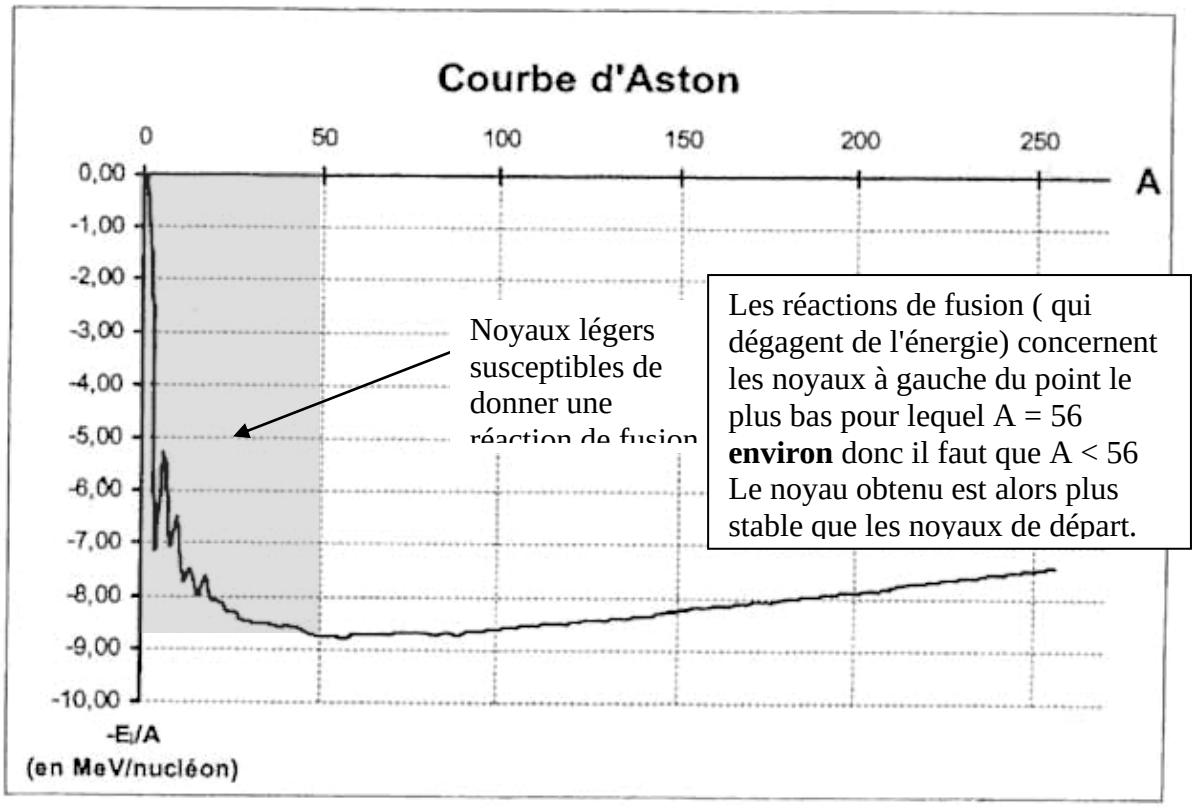
2-1- Deux noyaux sont isotopes s'ils ont le même nombre de protons mais un nombre différents de nucléons (donc de neutrons).

$^{2}_{1}H$: Z = 1 donc 1 proton et A = 2 donc A – Z = 1 neutron

$^{3}_{1}H$: 1 proton et deux neutrons.

2-2- Lors d'une réaction de fusion, il y a réunion de deux petits noyaux en un seul, avec éventuellement formation de particules (neutron, proton, ..). Cette réaction s'accompagne d'une perte de masse.

2-3-



2-4-

$$^{2}_{1}H+^{3}_{1}H\rightarrow^{1}_{0}n+^{A}_{Z}X$$

conservation du nombre de nucléons : $A + 1 = 2 + 3$ $A = 4$

conservation de la charge électrique $Z = 2$

Le noyau formé est un noyau d'hélium $^{4}_{2}He$: $^{2}_{1}H+^{3}_{1}H\rightarrow^{1}_{0}n+^{4}_{2}He$

2-5-

1ière methode. $\Delta E = \Delta m.c^2 = (m(n) + m(He) - m(D) - m(T)).c^2$

$\Delta E = (1,00866 + 4,00150 - 2,01355 - 3,01550)\times1,66054\times10^{-27}\times(3,00\times10^{8})^2 / (1,60\times10^{-13})$

$\Delta E = -17,6$ MeV

2ème méthode : avec l'énergie de masse de l'unité de masse atomique

$\Delta E = (1,00866 + 4,00150 - 2,01355 - 3,01550) \times 931,5$

$\Delta E = -17,60$ MeV

Le système noyaux "deutérium+ tritium" perd de l'énergie, d'où le signe -.
Le milieu extérieur reçoit cette énergie, **l'énergie libérée est donc de 17,6 MeV**.

Il y a 5 nucléons qui participent à la réaction, soit une énergie $E_{libérée}$ / 5

égale à **3,5 MeV par nucléon de matière** participant à la réaction.

2-6- L'utilisation d'ITER permet de produire plus d'énergie par nucléon de matière, les produits formés sont radioactifs mais en majorité ils possèdent une activité faible ou moyenne.Tandis qu'avec la fission, certains produits possèdent une forte activité et ont une demi-vie très longue.

Exercice :2

1)1-1 Calculons $E_\ell(^{235}_{92}U)$

on a $E_\ell = \Delta m . c^2$

et : $\Delta m = 92\, m_p + (235-92)\, m_n - m(^{235}_{92}U)$

$= 92 . 1,0073 + 143 \times 1,0087 - 235,0134$

$\Delta m = 1,9023\ u$

$\Delta m = 1,9023 \times 1,66055 \times 10^{-27} = 3,1589 . 10^{-27}\ Kg$

Donc $E_\ell = 3,1589 . 10^{-27}\ Kg \times (2,998 . 10^8)^2$

$= 2,839 \times 10^{-10}\ J$

$\Leftrightarrow E_\ell = \frac{2,839 \times 10^{-10}}{1,602 \times 10^{-19}} . 10^6 = 1772,1598\ Mev$

Alors : $\mathcal{E}_\ell(^{235}U) \frac{1772,1598}{235} = 7,54\ Mev/nucléon$ (par nucléon)

1-2) on a : $\mathcal{E}_\ell(^{235}U) = 7,54\ Mev/nucléon$

et $\mathcal{E}_\ell(^{144}La) = 8,28\ Mev/nucléon$

et $\mathcal{E}_\ell(^{88}Br) = 8,56\ Mev/nucléon$

donc : $\mathcal{E}_\ell(^{235}U) < \mathcal{E}_\ell(^{144}La) < \mathcal{E}_\ell(^{88}Br)$

Alors : (^{235}U) est moins stable que (^{144}La) puisque (^{88}Br)

2) 2-1

La fusion nucléaire est une réaction au cours de laquelle deux noyaux légers s'unissent pour former un noyau lourd avec libération d'une énorme énergie appelée énergie de fusion nucléaire.

AYA EL HENDAOUI

2-2 réaction de fusion :

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{94}_{38}Sr + ^{139}_{54}Xe + 3\,^{1}_{0}n$$

2-3 On a

$\Delta m = \sum m(\text{produits}) - \sum m(\text{réactifs})$

$= m(Sr) + m(Xe) + 3mn - m(^{235}U) - mn$

A.N $= 93,8945 + 138,8892 + 3 \times 1,00866 - 234,9942 - 1,00866$

$= ,19318\ u$

2-4 On a $\Delta E_0 = |\Delta E|$

$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$

A.N $\Delta E = -0,19318 \times 931,5$ Mev/$c^2 \times c^2$

$\Delta E = -180,52671$ Mev

donc $\Delta E_0 = 180,52671$ Mev

2-5 $\Delta E_0(^{235}U) = N \cdot \Delta E_0$

On a $n = \frac{N}{Na} \Leftrightarrow N = n \cdot Na$

$\Delta E_0(^{235}U) = n \cdot Na \cdot \Delta E_0$

$\Delta E_0(^{235}U) = 1 \times 6,02 \times 10^{23} \times 180,52671$

$\Delta E_0(^{235}U) = 1,0867 \times 10^{26}$ Mev

$\Delta E_0(^{235}U) = 1,0867 \times 10^{6} \times 10^{-19} \times 10^{26} = 1,73 \times 10^{13}$ J

$\times 1,6$

Exercice :3

1- ^{126}I ; ^{127}I

Puisque le ^{127}I est plus lourd donc ^{127}I est le moin stable

2- $^{131}_{53}I \longrightarrow {}^{0}_{-1}e + {}^{131}_{54}Xe$

3- L'énergie de liaison El, c'est l'Enérgie qu'il faut fournir à un certain noyau pour séparer ses nucléons.

4- on a $\frac{El(^{131}_{53}I)}{A} = 8,4223$ Mev/nucléon

donc $El = \frac{El}{A} \times A = 8,4223 \times 131 = 1103,321$ Mev

5- On a d'après Einstein

$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$

on a $\Delta m_2 = \left(54 \cdot m(p) + 77\, m(n) + m(e)\right) - (53\, m(p) + 78\, m(n))$

$= 2,19291 \times 10^{-25} - 2,19419 \times 10^{-25}$

$= -1,28 \times 10^{-28}$ Kg

donc $\Delta E_2 = \Delta m_2 \times C_2 = -1,15046 \times 10^{-11}$ J

$= -108,3299$ Mev

4- on a $\frac{El(^{131}_{53}I)}{A} = 8,4223$ Mev/nucléon

donc $El = \frac{El}{A} \times A = 8,4223 \times 131 = 1103,321$ Mev

5- On a d'après Einstein

$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$

on a $\Delta m_2 = \left(54 \cdot m(p) + 77\, m(n) + m(e)\right) - (53\, m(p) +$

6-

$\Delta E_3 = \Delta m . c^2$

$\star \Delta m = \left(\underline{m\left({}^{131}_{54}X\right)} + mp \right) - \left(54\, mp + 77\, m(n) + m(e) \right)$

$= m\left({}^{131}_{54}X\right) = \frac{E\ell}{c^2} = 8,4223 \times 131 \times 1,062 \times 10^{-23}\ J$

$= 1,71727222 \times 10^{-10}\ kg$

$\Delta m = (1,71727222 \times 10^{-10} + 1,67262 \times 10^{-27}) - (54 \times 1,67262 \times 10^{-27} + 77 \times 1,67492 \times 10^{-27} + 9,109 \times 10^{-31})$

$= 1,71727220 \times 10^{-10}\ kg$.

$\Delta E_3 = 1,71727222 \times 10^{-10} \times (2,998 \times 10^8)^2$

$= 1,543 \times 10^7\ J$.

AYA EL HENDAOui