

## Masse Noyaux et énergie

$m({}_0^1n)=1,00866u$ ;  $m({}_1^1p)=1,00728u$  ;  $m(\beta^-)=5,48579.10^{-4}u$ ;  $1MeV=1,6022.10^{-13}J$  ; Unité de masse atomique :  $1u = 1,66055 \times 10^{-27} kg=931,5MeV/c^2$  ; Constante d'Avogadro  $N_A = 6,022 \times 10^{23} mol^{-1}$  ;

### Exercice 1

La désintégration du nucléide  ${}_{17}^{36}Cl$  donne naissance au nucléide  ${}_{18}^{36}Ar$

- 1- Donner la composition du noyau 36
- 2- Calculer en MeV l'énergie de liaison du noyau du chlore 36. Masse de Chlore 36 : 35,9590

### Exercice 2

✓ Masse du noyau du Radon 222 : 221,9703u ,

De la désintégration de l'Uranium 238  ${}_{92}^{238}U$  , résulte le Radon  ${}_{86}^{222}Rn$  et des particules  $\alpha$  et  $\beta^-$ .

- 1- Donner la composition du noyau  ${}_{86}^{222}Rn$ .
- 2- Calculer en (MeV) l'énergie de liaison du noyau  ${}_{86}^{222}Rn$ .
- 3- Déterminer le nombre de désintégration de type  $\alpha$  et de type  $\beta^-$  produites par cette transformation nucléaire

### Exercice 3

- Masse du noyau d'Uranium 238 : 238,00031 u , Masse du noyau du Plomb 206 : 205,92949 u
- Energie de liaison par nucléon du Plomb 206 :  $\xi(Pb) = 7,87MeV/nucléon$   
Calculer l'énergie de liaison par nucléon de l'Uranium 238, et vérifier que le noyau  ${}_{82}^{206}Pb$  est plus stable que le noyau  ${}_{92}^{238}U$

### Exercice 4

La désintégration du noyau de cobalt  ${}_{27}^{60}Co$  donne un noyau de nickel  ${}_{28}^{60}Ni$  et une particule X.  
La masse du noyau  ${}_{27}^{60}Co$ : 59,91901 u , La masse du noyau  ${}_{28}^{60}Ni$ : 59,91543 u

L'énergie de liaison par nucléon du noyau  ${}_{28}^{56}Ni$ : 8,64MeV/nucléon

- 1- Identifier la particule X, puis déterminer le type de désintégration du cobalt 60.
- 2- Calculer, en MeV, l'énergie libérée  $E_{lib}$  au cours de cette désintégration.
- 3- Déterminer, en MeV/nucléon, l'énergie de liaison par nucléon  $\xi$  du noyau  ${}_{28}^{60}Ni$ , puis déduire parmi les deux noyaux  ${}_{28}^{60}Ni$  et  ${}_{28}^{56}Ni$ , lequel est le plus stable.

### Exercice 5 : La datation par la radioactivité

La datation au carbone-14 est parmi les méthodes les plus connues pour dater les vestiges archéologiques et préhistoriques. La détermination de l'âge se fait en comparant la teneur en carbone 14, de l'échantillon ancien et d'un végétal actuel

Masse du noyau ( ${}_{6}^{14}C$ ) :  $m({}_{6}^{14}C) = 14,0111u$

Masse de l'électron :  $m(e^-) = 0,00055u$

Masse du noyau  ${}_{Z}^AX$  :  $m({}_{Z}^AX) = 14,0076u$

${}_{8}O - {}_{7}N - {}_{5}B - {}_{4}Be$   
La demi-vie du  ${}_{6}^{14}C$  :  $t_{1/2} = 5600 ans$   
1 an = 365 jours ;  $1u = 931,5 MeV.c^{-2}$

#### 1- Désintégration d'un noyau du carbone 14

La désintégration du noyau de carbone 14 conduit à l'émission d'une particule  $\beta^-$

1.1- Ecrire l'équation de la désintégration d'un noyau du carbone  $^{14}_6\text{C}$  et déterminer le noyau fils



1.2- Calculer en MeV l'énergie  $\Delta E$  de la désintégration du  $^{14}_6\text{C}$

## 2- La datation par le carbone 14

On prélève un échantillon de l'épave d'un ancien bateau et on mesure son activité à l'instant  $t$ , on trouve  $a = 21,8\text{Bq}$  la mesure de l'activité d'un échantillon récent a donné  $a_0 = 28,7\text{Bq}$

2.1- Montrer que la valeur de la constante radioactive du  $^{14}_6\text{C}$  est :  $\lambda = 3,39 \times 10^{-7} \text{jours}^{-1}$ .

2.2- Déterminer en jours l'âge du bois de l'épave.

2.3- Sachant que les mesures ont été effectués en 2000, en quelle année le bateau a coulé.

### Exercice 6: les applications de la radioactivité dans la médecine

L'histoire de la médecine nucléaire a toujours été lié au progrès de la physique nucléaire. Dans plusieurs cas la médecine nucléaire consiste à injecter des produits radioactifs dans le corps humain pour diagnostiquer et remédier à la maladie. L'isotope  $^{99}_{43}\text{Tc}$  du technétium est parmi les noyaux les plus utilisés dans le domaine de la médecine à cause de sa durée de vie courte, ses effets radioactifs minimal, son cout très bas, et la facilité de sa mise à disponibilité des médecins.

Cet exercice a pour but l'étude d'une des utilisations du technétium dans le domaine médical.

<b>Énergie de liaison</b>	$E_L(^{99}_{43}\text{Tc}) = 852,53\text{MeV}$	$E_L(^{97}_{43}\text{Tc}) = 836,28\text{MeV}$
<b>La demi-vie du technétium <math>^{99}_{43}\text{Tc}</math> est <math>t_{1/2} = 6\text{h}</math></b>		

1- Les noyaux  $^{99}_{43}\text{Tc}$  et  $^{97}_{43}\text{Tc}$  sont deux isotopes de Technétium

1.1- Donner la composition de l'isotope  $^{99}_{43}\text{Tc}$  du noyau de technétium.

1.2- Quel est le noyau le plus stable ? Justifier votre réponse.

1.3- Le technétium  $^{99}_{43}\text{Tc}$  est produit par la désintégration d'un noyau du molybdène  $^{99}_{42}\text{Mo}$ .

Ecrire l'équation de désintégration du molybdène  $^{99}_{42}\text{Mo}$ , préciser le type de la désintégration radioactive.

2- Le technétium  $^{99}_{43}\text{Tc}$  est utilisé dans le domaine de la radiologie, on injecte à un malade une dose de technétium  $^{99}_{43}\text{Tc}$  puis on prend les clichés de ces os.

À l'instant  $t_0 = 0$  on injecte à un patient une dose d'activité radioactive  $a_0 = 5 \cdot 10^8 \text{Bq}$ , puis on prend une image-radio des os à l'instant  $t_1$ , l'activité radioactive devient  $a_1 = 0,6 \cdot a_0$ .

2.1- Vérifier que la valeur de la constante d'activité radioactive du technétium  $^{99}_{43}\text{Tc}$  est  $\lambda = 3,21 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$

2.2- Déterminer la valeur  $N_0$ , le nombre de noyaux injectés dans le corps à l'instant  $t_0 = 0$ .

2.3- Déterminer en heure (h) la valeur de  $t$ .

### Exercice 7 : les applications de la radioactivité dans la médecine

La médecine nucléaire est devenue l'une des spécialités les plus importantes à l'époque actuelle, elle est utilisée dans le diagnostic de la maladie et son traitement. Parmi les technologies adoptées, la thérapie de radiation nucléaire (Radiothérapie), où le rayonnement nucléaire est utilisé pour détruire les tumeurs et le traitement des cas de cancer en bombardant la tumeur par un rayonnement  $\beta^-$  émis par la désintégration du noyau du cobalt  $^{60}_{27}\text{Co}$ .

- Masse de noyau  $^{60}_{27}\text{Co}$ :  $m(^{60}_{27}\text{Co}) = 59,8523u$   
 - Masse de noyau  $^A_ZX$ :  $m(^A_ZX) = 59,8493u$   
 - Masse de l'électron :  $m(e^-) = 0,0005u$

Quelques éléments chimiques :  
 $^{25}\text{Mn}$  -  $^{26}\text{Fe}$  -  $^{27}\text{Co}$  -  $^{28}\text{Ni}$  -  $^{29}\text{Cu}$   
 $1u = 931,5 \frac{\text{MeV}}{c^2}$

1. Désintégration du noyau du cobalt  $^{60}_{27}\text{Co}$  :

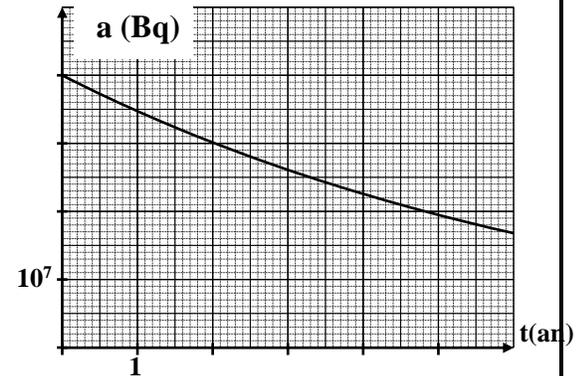
Le noyau de cobalt est radioactif  $\beta^-$

1.1- Ecrire l'équation de désintégration du cobalt  ${}^{60}_{27}\text{Co}$ , et déterminer le noyau fils  ${}^A_Z\text{X}$

1.2- Calculer en MeV, la valeur de E l'énergie nucléaire de cette désintégration

## 2. L'application de la loi de décroissance radioactive

Un centre hospitalier a reçu un échantillon de cobalt  ${}^{60}_{27}\text{Co}$ , à un instant t considéré comme origine des temps, et lance le processus du suivi de son évolution, en mesurant son activité a(t) à des différents moments. On trace la courbe de la variation de l'activité a en fonction du temps et on obtient la courbe ci-dessus



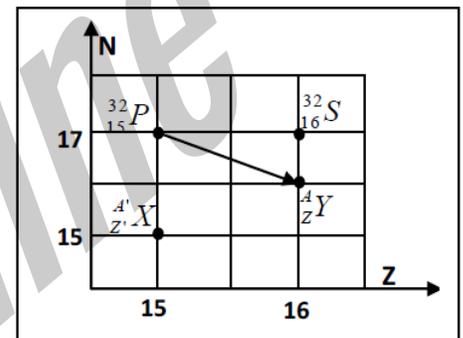
2.1- Déterminer graphiquement la demi-vie  $t_{1/2}$  du cobalt  ${}^{60}_{27}\text{Co}$  en années

2.2- On accepte que l'échantillon devienne inefficace pour le traitement, lorsque son activité devient  $a = 0,25a_0$ , où  $a_0$  l'activité initiale de l'échantillon. En quelle date li faut fournir un nouvel échantillon du cobalt  ${}^{60}_{27}\text{Co}$  au centre hospitalier

## Exercice 8 : Utilisation du nucléaire dans la médecine

Lorsque la moelle osseuse est atteinte de maladie de Vaquez il se produit une multiplication anormale des globules rouges dans le sang, pour traiter cette maladie on injecte au malade une solution qui contient le Phosphore  ${}^{32}_{15}\text{P}$  radioactif et qui se colle sur les globules rouges qui sont en excès dans le sang, puis les détruit grâce aux radiations émises.

masse du noyau du  ${}^{32}_{15}\text{P}$  :  $m({}^{32}_{15}\text{P}) = 31,965678\text{u}$  ; La constante radioactive du  ${}^{32}_{15}\text{P}$  :  $\lambda = 4,84 \times 10^{-2} \text{jours}^{-1}$ .



1- Quelle est la différence entre deux isotopes d'un élément chimique ?

2- En se basant sur le diagramme (Z,N) représenté ci-contre :

2.1- Déterminer le noyau  ${}^A_Z\text{Y}$  cité sur le diagramme.

2.2- Ecrire l'équation de désintégration du noyau  ${}^{32}_{15}\text{P}$  en  ${}^A_Z\text{Y}$ , déterminer le type de désintégration.

3- On considère les deux noyaux  ${}^{32}_{15}\text{P}$  et  ${}^{A'}_{Z'}\text{X}$  (voir le diagramme).

3.1. Calculer la valeur  $\frac{E_\ell}{A}$  ( ${}^{32}_{15}\text{P}$ ) l'énergie de liaison par nucléon du noyau du phosphore  ${}^{32}_{15}\text{P}$ .

3.2. Déterminer, en justifiant votre réponse, le noyau le plus stable des deux noyaux  ${}^{32}_{15}\text{P}$  et  ${}^{A'}_{Z'}\text{X}$ , sachant que l'énergie de liaison par nucléon du noyau  ${}^{A'}_{Z'}\text{X}$  est :  $\frac{E_\ell}{A}$  ( ${}^{A'}_{Z'}\text{X}$ ) = 8,35 MeV/nucléon.

4- A l'instant  $t=0$  on injecte à un malade une dose du  ${}^{32}_{15}\text{P}$ , elle devient inefficace lorsque son activité radioactive devient égale à 1% de sa valeur initiale ( $a = \frac{a_0}{100}$ ). Déterminer en (jours) la durée nécessaire pour que la dose devient inefficace.

## Exercice 9

Les médias ayant couvert la catastrophe nucléaire japonaise de Fukushima le 11 mars 2011, ont déclaré que les taux de contamination radioactive des aliments a parfois dépassé de 10 fois les taux autorisés. Par exemple l'activité de l'iode  ${}^{131}\text{I}$  dans les épinards a varié entre 6100 Bq et 15020 Bq par kilogramme. Au Japon, les épinards sont considérés non contaminés, lorsque leur activité ne dépasse pas 2000 Bq par kilogramme, comme niveau maximal admissible de contamination radioactive.

Le but de cet exercice est l'étude de la décroissance radioactive d'un échantillon d'épinard contaminé par l'iode 131 radioactif. Données:

- La demi-vie de l'iode 131 :  $t_{1/2} = 8$  jours ;  $m(^{131}_{54}\text{Xe}) = 130,8755u$ ,  $m(^{131}_{53}\text{I}) = 130,8770u$

### 1- Etude du nucléide iode $^{131}_{53}\text{I}$

- 1-1- La désintégration d'un noyau d'iode  $^{131}_{53}\text{I}$ , donne naissance à un noyau  $^{131}_{54}\text{Xe}$ . Ecrire l'équation modélisant cette désintégration, et préciser son type.
- 1-2- Calculer en MeV, l'énergie libérée par la désintégration d'un noyau d'iode 131.
- 2- Etude d'un échantillon d'épinard contaminé par de l'iode 131 : La mesure de l'activité d'un échantillon d'épinard, pris d'une prairie proche du lieu de l'accident nucléaire, a donné la valeur 8000 Bq par kilogramme, à un instant considéré comme origine des temps.
  - 2-1- Calculer le nombre  $N_0$  de noyaux d'iode 131 radioactifs se trouvant dans l'échantillon d'épinard étudié à l'origine des temps.
  - 2-2- Déterminer, en jours, la plus petite durée nécessaires pour la décontamination des épinards par l'iode 131.

## Exercice 10 : La radioactivité dans le tabac

Le tabac est l'une des causes principales du cancer du poumon, cette cause est dû essentiellement a des effets chimiques et peu de rayonnement nucléaire car le tabac contient l'isotope  $^{210}_{84}\text{Po}$  de l'élément polonium radioactif

Le noyau	Thallium	Hélium	Plomb	Bismuth	Polonium
Le symbole	$^{206}_{81}\text{Tl}$	$^4_2\text{He}$	$^{206}_{82}\text{Pb}$	$^{209}_{83}\text{Bi}$	$^{210}_{84}\text{Po}$
Masse du noyau (u)	205,9317	4,0015	205,9295	208,9348	209,9368
$t_{1/2}$ du $^{210}_{84}\text{Po}$ (en jours)					138

- 1- Le noyau du polonium  $^{210}_{84}\text{Po}$  est radioactif  $\alpha$ . Ecrire l'équation de désintégration du noyau du polonium en déterminant le noyau fils
- 2- Vérifier que la constante radioactive du noyau polonium  $^{210}_{84}\text{Po}$  est  $\lambda \approx 5,81 \times 10^{-8} \text{s}^{-1}$
- 3- On dispose d'un échantillon radioactif du polonium  $^{210}_{84}\text{Po}$  son activité à l'instant t est  $a_0 = 10^{-1} \text{Bq}$ 
  - 3.1- Déterminer la valeur de N le nombre de noyaux de polonium  $^{210}_{84}\text{Po}$  dans l'échantillon à l'instant t
  - 3.2- Calculer en MeV, la valeur de l'énergie libérée  $E_{\text{libérée}}$  durant la désintégration de N noyaux de polonium  $^{210}_{84}\text{Po}$

## Exercice 11 : Etude d'un stimulateur cardiaque

Le stimulateur cardiaque est un appareil médical introduit par chirurgie à l'intérieur du corps humain qui souffre d'une insuffisance cardiaque Cet appareil fonctionne avec une batterie qui utilise l'énergie nucléaire produit par la réaction de désintégration du noyau du plutonium  $\text{Pu}$

Le noyau	$^A_Z\text{X}$	$^{240}_{94}\text{Pu}$	$^{238}_{94}\text{Pu}$	$^{234}_{92}\text{U}$
L'énergie de liaison $E_L$ en MeV		28,285	1813,008	1800,827
La demi- vie (ans)			87,7	

- 1- Le plutonium a des isotopes tel que  $^{240}_{94}\text{Pu}$  et  $^{238}_{94}\text{Pu}$ . Déterminer le noyau le plus stable
- 2- La désintégration du plutonium  $^{238}_{94}\text{Pu}$  conduit à la formation du noyau d'uranium  $^{234}_{92}\text{U}$  avec émission d'une particule  $^A_Z\text{X}$ 
  - 2.1. Ecrire l'équation de désintégration du noyau du plutonium  $^{238}_{94}\text{Pu}$  et déterminer la nature de la particule émise

2.2. Trouver en MeV l'énergie libérée  $E_{\text{libérée}}$  durant la désintégration d'un noyau du plutonium



- 3- A l'instant  $t=0$  on introduit à un malade de 40 ans un stimulateur cardiaque. Le cœur du malade fonctionne normalement jusqu'à ce que l'activité du plutonium contenu dans le stimulateur devienne  $a=0,7a_0$ , avec  $a_0$  l'activité à l'instant  $t = 0$ . Déterminer l'âge du malade lorsqu'on change le stimulateur cardiaque

### Exercice 12

Dans une « pile atomique », une des réactions la plus courante est la suivante :



- 1- Nommer cette réaction nucléaire.
- 2- Déterminer, en les justifiant, les valeurs de  $Z$  et  $x$ .
- 3- Calculer la perte de masse.
- 4- Calculer, en joule, puis en MeV, l'énergie libérée par la fission d'un noyau d'uranium 235.
- 5- Un réacteur utilise par jour en moyenne 3,0 kg d'uranium 235.

Calculer l'ordre de grandeur de l'énergie libérée par la fission de 3,0 kg d'uranium 235.

**Données :** Masses des noyaux :  ${}^{235}\text{U} = 234,993\ 32\text{u}$  ;  ${}^{94}\text{Sr} = 93,894\ 46\text{u}$  ;  ${}^{140}\text{Xe} = 139,889\ 09\text{u}$

### Exercice 13

L'équation d'une réaction deutérium-tritium est  ${}_1^2\text{H} + {}_1^3\text{H} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_0^1\text{n}$

- 1- Exprimer l'énergie  $\Delta E$  qui peut être libérée par cette réaction en fonction des énergies de masse  $E_m({}_Z^AX)$  des particules (ou des noyaux) qui interviennent.
- 2- Exprimer la masse  $m({}_Z^AX)$  du noyau  ${}_Z^AX$  en fonction de  $m_p$ ,  $m_n$ ,  $Z$ ,  $A$  et de l'énergie de liaison  $E_L({}_Z^AX)$ . Pour la réaction de fusion envisagée, en déduire l'expression de  $\Delta E$  en fonction des énergies de liaison.
- 3- On donne les valeurs des énergies de liaison des noyaux suivants :

$$E_L({}_1^2\text{H}) = 2,224\ \text{MeV} ; \quad E_L({}_1^3\text{H}) = 8,481\ \text{MeV} ; \quad E_L({}_2^4\text{He}) = 28,29\ \text{MeV}.$$

Calculer numériquement la valeur de  $\Delta E$ .

### Exercice 14

L'air contient du radon 222 en quantité plus ou moins importante. Ce gaz radioactif naturel est issu des roches contenant de l'uranium et du radium. Le radon se forme par désintégration du radium (lui-même issu de la famille radioactive de l'uranium 238), selon l'équation de réaction nucléaire suivante :



- 1- Quel est le type de radioactivité correspondant à cette réaction de désintégration ? Justifier votre réponse.
- 2- Défaut de masse
  - 2.1- Donner l'expression littérale du défaut de masse  $\Delta m$  du noyau de symbole  ${}_Z^AX$  et de masse  $m_x$
  - 2.2- Calculer le défaut de masse du noyau de radium Ra. L'exprimer en unité de masse atomique u.
- 3- Écrire la relation d'équivalence masse-énergie.
- 4- Le défaut de masse  $\Delta m$  (Rn) du noyau de radon Rn vaut  $3,04 \times 10^{-27}$  kg
  - 4.1- Définir l'énergie de liaison  $E_l$  d'un noyau. Calculer, en joule, l'énergie de liaison  $E_l(\text{Rn})$  du noyau de radon.
  - 4.2- Vérifier que cette énergie de liaison vaut  $1,71 \times 10^3$  MeV.

4.3- En déduire l'énergie de liaison par nucléon  $E_l/A$  du noyau de radon. Exprimer ce résultat en  $\text{MeV.nucléon}^{-1}$ .

5- Calculer la variation d'énergie  $\Delta E$  de la réaction, Exprimer  $\Delta E$  en joule.

Données :

Nom du noyau ou de la particule	Radon	Radium	Hélium	Neutron	Proton
Symbole	${}^{222}_{86}\text{Rn}$	${}^{226}_{88}\text{Ra}$	${}^4_2\text{He}$	${}^1_0n$	${}^1_1p$
Masse (en u)	221,970	225,977	4,001	1,009	1,007

### Exercice 15

Dans une centrale nucléaire, les noyaux d'uranium  ${}^{235}_{92}\text{U}$  subissent la fission sous le choc d'un neutron lent. Un des nombreux processus possibles conduit à la formation d'un noyau de lanthane  ${}^{144}_{57}\text{La}$ , d'un noyau de brome  ${}^{88}_{35}\text{Br}$  et de plusieurs neutrons.

- Définissez l'énergie de liaison d'un noyau.
- Donnez l'expression littérale qui permettra son calcul.
- Calculez, en MeV, l'énergie de liaison d'un noyau  ${}^{235}_{92}\text{U}$
- Calculez l'énergie de liaison par nucléon de ce noyau.
- Ecrivez l'équation de la réaction de fission étudiée.
- Exprimez l'énergie libérée par la fission d'un noyau  ${}^{235}_{92}\text{U}$  en fonction des énergies de liaison par nucléon du noyau père et des noyaux fils et calculez la valeur de cette énergie en MeV.
- Dans le cœur de la centrale, de nombreuses autres réactions de fission du noyau  ${}^{235}_{92}\text{U}$  se produisent. La perte de masse est, en moyenne, de 0,200 u par noyau.
  - Calculez, en MeV, l'énergie moyenne libérée par la fission d'un noyau. Ce résultat est-il en concordance avec celui de la question 6 ?
  - Calculez, en joule, l'énergie moyenne libérée par une mole de noyaux  ${}^{235}_{92}\text{U}$

Données :

- Célérité de la lumière dans le vide :  $c = 2,998 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
- Masse du noyau d'uranium 235 :  $m({}^{235}_{92}\text{U}) = 235,0134 \text{ u}$
- Energies de liaison par nucléon :  $E_l/A({}^{144}_{57}\text{La}) = 8,28 \text{ MeV/nucléon}$  /  $E_l/A({}^{88}_{35}\text{Br}) = 8,56 \text{ MeV/nucléon}$

### Exercice 16

Un tel sous-marin utilise comme combustible de l'uranium enrichi en isotope  ${}^{235}_{92}\text{U}$  (cet isotope est fissile).

- Donner la structure du noyau noté  ${}^{235}_{92}\text{U}$ .
- Les noyaux d'uranium  ${}^{235}_{92}\text{U}$  peuvent subir différentes fissions. La plus fréquente est donnée par l'équation suivante :  ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0n \rightarrow {}^{94}_{38}\text{Sr} + {}^{140}_{54}\text{Xe} + x {}^1_0n$ 
  - Montrer que  $x = 2$ . Une justification soignée est demandée.
  - Montrer que l'énergie libérée par la fission, selon l'équation ci-dessus, d'un noyau d'uranium 235 vaut  $E_{\text{lib}} = 2,91 \times 10^{-11} \text{ J}$ .
- On suppose, pour simplifier, que les énergies libérées par toutes les réactions de fission sont approximativement égales à celle calculée au 2.2.
 

Le réacteur fournit une puissance moyenne de 150 MW. On rappelle que  $1 \text{ W} = 1 \text{ J.s}^{-1}$ .

  - Montrer qu'il se produit  $5,15 \times 10^{18}$  fissions par seconde.
  - En déduire que la masse d'uranium consommée en 1s vaut  $2,01 \times 10^{-3} \text{ g}$ .
- Un tel sous-marin est prévu pour naviguer pendant une durée de 2 mois.

Quelle masse minimum d'uranium 235 devra-t-il embarquer pour assurer son approvisionnement en énergie pendant cette durée ?

$$m(^{235}_{92}\text{U}) = 235,0439 \text{ u} ; m(^{94}_{38}\text{Sr}) = 93,9154 \text{ u} ; m(^{140}_{54}\text{Xe}) = 139,9252 \text{ u} ;$$
$$\text{Masse molaire de : } M(\text{U}) = 235 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

### Exercice 17

La scintigraphie est une technique d'investigation médicale qui permet l'observation de la glande thyroïde. Un patient ingère pour cette observation une masse  $m=1,31 \text{ ng}$  de l'isotope  $^{131}_{53}\text{I}$  de l'iode qui est radioactif de type  $\beta^-$

$$(t_{1/2} = 8,1 \text{ jours} = 7 \cdot 10^5 \text{ s})$$

- 1- Ecrire l'équation de la réaction de désintégration en justifiant.
- 2- Déterminer le nombre d'atomes radioactifs dans la dose ingérée.
- 3- On note  $N_0$  le nombre de noyaux radioactifs à la date  $t=0$ . On note  $N$  le nombre de noyaux radioactifs à la date  $t$ . Etablir la relation entre la constante radioactive  $\lambda$  et le temps de demi-vie  $t_{1/2}$ , en précisant la signification de la demi-vie.
- 4- Définir l'activité d'un échantillon radioactif et établir la relation entre l'activité et  $N$ .
- 5- Calculer l'activité initiale de la dose ingérée.
- 6- Calculer le temps au bout duquel l'activité résiduelle est égale à 1,5 % de l'activité initiale.

Données :  $M(\text{iode } 131) = 131 \text{ g/mol}$  ;  $N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  ;  $_{51}\text{Sb}$  ;  $_{52}\text{Te}$  ;  $_{54}\text{Xe}$  ;  $_{55}\text{Cs}$  ;  $_{56}\text{Ba}$ .

### Exercice 18

Le cobalt  $^{60}_{27}\text{Co}$  est un radionucléide émetteur  $\beta^-$

- 1- Préciser la nature de la radioactivité  $\beta^-$
- 2- Écrire l'équation de la réaction de désintégration du cobalt 60. Préciser les règles utilisées. On donne  $^{60}_{28}\text{Ni}$
- 3- L'activité  $A$  d'un échantillon est le nombre de désintégrations par seconde.
  - 3.1- Sachant que cette activité  $A$  est proportionnelle au nombre  $N$  de noyaux non désintégrés qu'il contient, montrer que cette grandeur varie au cours du temps selon la loi :  $\ln\left(\frac{A_0}{A}\right) = \lambda \cdot t$
  - 3.2- Préciser le nom de la constante  $\lambda$ .
- 4- Calculer la demi-vie  $t_{1/2}$  du cobalt 60, sachant qu'au bout d'un an, l'activité a diminué de 12%.

On donne  $_{28}\text{Ni}$  ;  $_{26}\text{Fe}$  ;  $_{29}\text{Cu}$

### EXERCICE 19

*La médecine est l'un des principaux domaines dans lequel on trouve l'application pratique de la radioactivité. On utilise dans ce domaine plusieurs éléments radioactifs pour diagnostiquer et traiter quelques maladies. Parmi ces éléments, on trouve le Sodium 24 :  $^{24}_{11}\text{Na}$  qui peut nous aider à contrôler la circulation sanguine dans le corps humain.*

1. Le sodium 24 :  $^{24}_{11}\text{Na}$  se désintègre en magnésium  $^{24}_{12}\text{Mg}$ 
  - 1.1 Écrire l'équation de la désintégration du Sodium 24 en précisant le type de la particule émis.
  - 1.2 Calculer la constante radioactive  $\lambda$  sachant que la demi - vie du Sodium 24 est :  $t_{1/2} = 15 \text{ h}$
2. Lors d'un accident routier un blessé a perdu un volume  $V_p$  du sang  
Pour déterminer ce volume  $V_p$  on injecte le blessé à  $t_0 = 0$  par un volume  $V_0 = 5 \text{ ml}$  de la solution de sodium 24 de concentration molaire  $C_0 = 10^{-3} \text{ mol/l}$ .
  - 2.1 Calculer  $n_1$  le nombre de mole (quantité de la matière) de sodium 24 qui reste dans le sang du blessé à l'instant  $t_1 = 3 \text{ h}$ .

On donne : la constante d'Avogadro  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

2.2 Calculer l'activité de cet échantillon à cet instant  $t_1$ .

2.3 Le résultat de l'analyse d'un volume  $V_2 = 2\text{ml}$  prélevé dans le sang du même individu à la date  $t_1$ , donne la quantité de la matière  $n_2 = 2,1 \cdot 10^{-9}$  mol du Sodium 24.

Supposant que le sodium 24 est réparti uniformément dans tout le volume sanguin, déduire le volume  $V_p$  du sang perdu lors de cet accident, sachant que le volume du sang dans le corps humain est de 5L.

## EXERCICE 20

Les eaux naturelles contiennent du chlore 36 radioactif qui se renouvelle en permanence dans les eaux de surface, donc sa concentration y reste constante. Par contre dans les eaux profondes stagnantes sa concentration décroît progressivement au cours du temps. L'objectif de cet exercice est de déterminer l'âge d'une couche d'eau stagnante à l'aide du chlore 36.

### Données :

Noyau ou particule	Neutron	Chlore 36	Proton
Symbole	${}^1_0n$	${}^{36}_{17}\text{Cl}$	${}^1_1p$
Masse(u)	1,0087	35,9590	1,0073

- La demi-vie du chlore 36 :  $t_{1/2} = 3,01.105$  ans ;
- $1u = 931,5 \text{ Mev} \cdot c^{-2}$ .

### 1- Désintégration du nucléide chlore 36 :

La désintégration du nucléide  ${}^{36}_{17}\text{Cl}$  donne naissance au nucléide  ${}^{36}_{18}\text{Ar}$

- 3- Donner la composition du noyau 36
- 4- Calculer en MeV l'énergie de liaison du noyau du chlore 36.
- 5- Ecrire l'équation de cette désintégration en précisant le type de radioactivité

### 2- Datation d'une nappe d'eau stagnante :

La mesure de l'activité, à l'instant  $t$ , d'un échantillon d'eau de surface a donné la valeur  $a_1 = 11,7 \times 10^{-6}$  Bq, et d'un échantillon de même volume des eaux profondes a donné la valeur  $a_2 = 1,19 \times 10^{-6}$  Bq. On suppose que le chlore 36 est le seul responsable de la radioactivité dans les eaux, et que son activité dans les eaux de surface est égale à son activité dans les eaux profondes lors de la formation de la nappe.

Déterminer (en ans) l'âge de la nappe étudiée.

## EXERCICE 21

Le Radon  ${}^{222}_{86}\text{Rn}$  est un gaz inerte, radioactif naturel. Il résulte de la désintégration spontanée de l'Uranium  ${}^{238}_{92}\text{U}$  présent dans les roches et la terre.

L'inhalation du Radon  ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ , est dans plusieurs pays, la cause essentielle du cancer de poumons, après le tabagisme.

Pour lutter contre les risques provoqués par l'exposition des individus au Radon 222, l'OMS recommande l'adoption de 100 Bq/m<sup>3</sup> comme niveau de référence et de ne pas dépasser 300 Bq/m<sup>3</sup> comme valeur limite maximale.

D'après le site électronique de l'OMS

### Données:

- ✓ Masse du noyau du Radon 222 : 221,9703u
- ✓ Masse du neutron : 1,0087 u
- ✓ Masse du proton : 1,0073u
- ✓  $1u = 931,5 \text{ Mev} / c^2$

- ✓ 1 jour = 86400 s
- ✓ Demi-vie du nucléide  $^{222}_{86}\text{Rn}$ :  $t_{1/2} = 3,9$  jours
- ✓ Constante d'Avogadro  $N_A = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- ✓ Masse molaire du Radon :  $M(\text{Rn}) = 222 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

### 1- Désintégration du nucléide d'Uranium $^{238}_{92}\text{U}$

De la désintégration de l'Uranium  $^{238}_{92}\text{U}$ , résulte le Radon  $^{222}_{86}\text{Rn}$  et des particules  $\alpha$  et  $\beta^-$ .

- 4- Donner la composition du noyau  $^{222}_{86}\text{Rn}$ .
- 5- Calculer en (MeV) l'énergie de liaison du noyau  $^{222}_{86}\text{Rn}$ .
- 6- Déterminer le nombre de désintégration de type  $\alpha$  et de type  $\beta^-$  produites par cette transformation nucléaire

### 2- S'assurer de la pureté de l'air dans une habitation :

A l'instant  $t_0$ , considéré comme origine des dates, la mesure de l'activité du Radon 222 dans chaque mètre cube d'air se trouvant dans une habitation a donné la valeur :  $a_0 = 5 \cdot 10^3 \text{ Bq}$ .

- 1- Déterminer, à la date  $t_0$ , la masse du Radon contenu dans chaque mètre cube d'air de cette habitation
- 2- Calculer le nombre de jours nécessaires pour que la valeur de l'activité à l'intérieur de cette habitation soit égale à la valeur limite maximale recommandée par l'OMS.

## EXERCICE 22

La datation par le carbone 14 est parmi les techniques adoptées par les savants pour déterminer l'âge de quelques fossiles et roches. La teneur en ce carbone reste constante dans l'atmosphère et dans les êtres vivants, mais commence à diminuer juste après la mort de ces derniers à cause de la radioactivité.

Le but de cet exercice est d'étudier la radioactivité du carbone 14 et la datation avec.

### Données :

- La demi-vie du carbone 14 :  $t_{1/2} = 5570$  ans ;
- $1u = 931,5 \text{ MeV}/c^2$

Particule	$^{14}_6\text{C}$	$^{14}_7\text{N}$	$e$
Masse (u)	13,9999	13,9992	0,0005

Masses des particules en unité de masse atomique (u)

### 1- Radioactivité du carbone 14 :

De la radioactivité spontanée du nucléide carbone  $^{14}_6\text{C}$ , résulte l'azote  $^{14}_7\text{N}$

- 1-1- Ecrire l'équation de cette désintégration en précisant le type de la radioactivité.
- 1-2- Donner la composition du noyau fils.
- 1-3- Calculer, en MeV, l'énergie  $\Delta E$  libérée par la désintégration d'un noyau de carbone 14

### 2- Datation par le carbone 14 :

Les archéologues ont trouvé une statue en bois d'activité 135 Bq. Sachant que l'activité d'un morceau de bois récent, de même masse et de même nature que bois de la statue, est 165 Bq. Déterminer, en années, l'âge approximatif de la statue en bois.

## EXERCICE 23

Pour dater ou suivre l'évolution de quelques phénomènes naturels, les scientifiques font recours aux méthodes et techniques diverses se basant essentiellement sur la loi de décroissance radioactive.

Parmi ces techniques : la technique de datation par l'Uranium-Plomb.

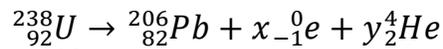
Données :

Masse du noyau d'Uranium 238 : 238,00031 u

- Masse du noyau du Plomb 206 : 205,92949 u

- Masse du proton : 1,00728 u
- Masse du neutron : 1,00866 u
- L'unité de masse atomique :  $1u = 931,5 \text{ MeV} \cdot c^{-2}$  ;
- Masse molaire de l'Uranium 238 ; :  $M(^{238}\text{U}) = 238 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- Masse molaire du Plomb 206 :  $M(^{206}\text{Pb}) = 206 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- Energie de liaison par nucléon du Plomb 206 :  $\xi(\text{Pb}) = 7,87 \text{ MeV/nucléon}$
- Demi-vie de l'Uranium 238 :  $t_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9 \text{ ans}$

Le nucléide Uranium 238 est radioactif, il se transforme en nucléide de Plomb par une succession d'émissions de type  $\alpha$  et  $\beta^-$ . On modélise ces transformations nucléaires par l'équation bilan suivante :



### 1- Etude du noyau d'Uranium ${}_{92}^{238}\text{U}$

- 1.1- Par application des lois de conservation, déterminer les valeurs de x et y signalés dans l'équation bilan.
- 1.2- Donner la composition du noyau d'Uranium 238.
- 1.3- Calculer l'énergie de liaison par nucléon de l'Uranium 238, et vérifier que le noyau  ${}_{82}^{206}\text{Pb}$  est plus stable que le noyau  ${}_{92}^{238}\text{U}$

### 2- Datation d'une roche métallique par la méthode d'Uranium-Plomb.

Le Plomb et l'Uranium se trouvent, avec des proportions différentes, dans les roches métalliques selon leur date de formation.

On considère que la présence du plomb dans certaines roches métalliques est due seulement à la désintégration spontanée de l'Uranium 238 au cours du temps. On dispose d'un échantillon d'une roche métallique contenant à la date de sa formation, considérée comme origine des dates ( $t = 0$ ), un certain nombre de noyaux d'Uranium  ${}_{92}^{238}\text{U}$ . Cet échantillon métallique contient à une date t, une masse  $m_{\text{Ue}}(t) = 10 \text{ g}$  d'Uranium 238 et une masse  $m_{\text{Pb}}(t) = 0,01 \text{ g}$  de Plomb 206.

- 1.1- Montrer que l'expression de l'âge de la roche métallique est :

$$t = \frac{t_{1/2}}{\ln(2)} \cdot \ln \left( 1 + \frac{m_{\text{Pb}}(t) \cdot M(^{238}\text{U})}{m_{\text{U}}(t) \cdot M(^{206}\text{Pb})} \right)$$

- 1.2- Calculer t en années.

## EXERCICE 24

Les médias ayant couvert la catastrophe nucléaire japonaise de Fukushima le 11 mars 2011, ont déclaré que les taux de contamination radioactive des aliments a parfois dépassé de 10 fois les taux autorisés. Par exemple l'activité de l'iode 131 dans les épinards a varié entre 6100 Bq et 15020 Bq par kilogramme. Au Japon, les épinards sont considérés non contaminés, lorsque leur activité ne dépasse pas 2000 Bq par kilogramme, comme niveau maximal admissible de contamination radioactive.

Le but de cet exercice est l'étude de la décroissance radioactive d'un échantillon d'épinard contaminé par l'iode 131 radioactif. Données :

- La demi-vie de l'iode 131 :  $t_{1/2} = 8 \text{ jours}$
- $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV} \cdot c^{-2}$
- $m(e^-) = 0,00055 \text{ u}$
- $m({}_{54}^{131}\text{Xe}) = 130,8755 \text{ u}$
- $m({}_{53}^{131}\text{I}) = 130,8770 \text{ u}$

- $m_p=1,00728u$
- $m_n=1,00866u$

### 3- Etude du nucléide iode $^{131}_{53}I$

- 2-3- La désintégration d'un noyau d'iode  $^{131}_{53}I$ , donne naissance à un noyau  $^{131}_{54}Xe$  Ecrire l'équation modélisant cette désintégration, et préciser son type.
- 2-4- Calculer en MeV, l'énergie libérée par la désintégration d'un noyau d'iode 131.
- 4- Etude d'un échantillon d'épinard contaminé par de l'iode 131 : La mesure de l'activité d'un échantillon d'épinard, pris d'une prairie proche du lieu de l'accident nucléaire, a donné la valeur 8000 Bq par kilogramme, à un instant considéré comme origine des temps.
- 3-1- Calculer le nombre  $N_0$  de noyaux d'iode 131 radioactifs se trouvant dans l'échantillon d'épinard étudié à l'origine des temps.
- 3-2- Déterminer, en jours, la plus petite durée nécessaires pour la décontamination des épinards par l'iode 131.

## EXERCICE 25

Les géologues et les astronomes, utilisent la méthode de datation Potassium-Argon, pour déterminer l'âge de roches anciennes et des météorites...

Le but de cet exercice est l'étude du nucléide Potassium 40, et la détermination approchée de l'âge d'une roche volcanique. Données :

- La masse d'un noyau de Potassium :  $m(^{40}_{19}K) = 39,9740u$
- La masse d'un noyau d'Argon  $m(^{40}_{18}Ar) = 39,9624u$
- La masse d'un positron  $m(^0_1e) = 0,0005u$
- Les masses molaires :  $M(^{40}_{19}K) = M(^{40}_{18}Ar)$
- La demi-vie du nucléide  $t_{1/2}=1,3,10^9$ ans
- $1u=931,5MeV.c^{-2}$

### 1- Etude de la désintégration du nucléide Potassium 40 :

Le noyau de Potassium 40 est radioactif, duquel résulte un noyau d'Argon  $^{40}_{18}Ar$

- 1-1- Ecrire l'équation de désintégration du noyau de Potassium 40, en indiquant le type de radioactivité résultante.
- 1-2- Calculer, en MeV, l'énergie libérée au cours de cette transformation nucléaire.

### 2- Détermination de l'âge d'une roche en basalte :

L'analyse d'un échantillon d'une roche en basalte, a révélé qu'il contient à un instant t, une masse  $m_K = 1,57$  mg de Potassium 40 et  $m_{Ar} = 0,025$  mg d'Argon 40. On considère que la roche de basalte est formée à l'instant  $t_0 = 0$ , et que l'Argon 40 qu'elle contient résulte seulement de la désintégration du Potassium 40.

Montrer que l'expression de l'âge de cette roche est :  $t = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \cdot \ln \left( 1 + \frac{m_{Ar}}{m_K} \right)$  puis calculer sa valeur en ans.

## EXERCICE 26

Le noyau de Polonium  $^{210}_{84}Po$ , se désintègre en un noyau de Plomb  $^{206}_{82}Pb$

1- Au cours de cette désintégration, il y'a émission d'une particule sous forme :

- Particule  $\alpha$        Neutron       Electron       Positron

2- On considère un échantillon radioactif de Polonium 210, de demi-vie  $t_{1/2}$ . Son activité initiale

est  $a_0$ , et son activité à un instant t est  $a(t)$  : A l'instant  $t_1 = 3 ; t_{1/2}$ , le rapport  $\frac{a(t)}{a_0}$  est égal à :

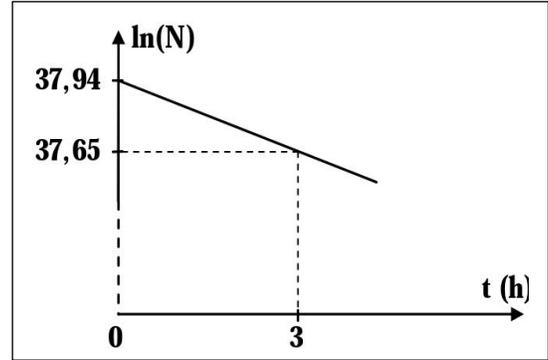
- $\frac{1}{3}$       ■  $\frac{1}{6}$       ■  $\frac{1}{8}$       ■  $\frac{1}{9}$

## EXERCICE 27

L'astate 211, radio émetteur  $\alpha$ , est utilisé en médecine nucléaire, pour diagnostiquer et suivre l'évolution de quelques tumeurs cancéreuses. La radioactivité de ce noyau donne naissance à un noyau de Bismuth  ${}^x_y\text{Bi}$

La courbe de la figure ci-contre représente les variations de  $\ln(N)$  en fonction du temps.

$N$  : Nombre de noyaux d'Astate 211 restants à l'instant  $t$ .



1- Le noyau de Bismuth résultant de la désintégration de  ${}^{211}_{85}\text{At}$  est :

- ${}^{206}_{83}\text{Bi}$      
   ${}^{207}_{82}\text{Bi}$      
   ${}^{207}_{83}\text{Bi}$      
   ${}^{208}_{84}\text{Bi}$

2- La demi-vie  $t_{1/2}$  de l'Astate 211 est :

- $t_{1/2} \approx 4,19h$      
   $t_{1/2} \approx 5,50h$      
   $t_{1/2} \approx 7,17h$      
   $t_{1/2} \approx 27,30h$

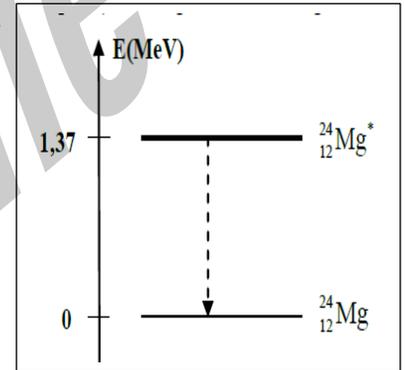
## EXERCICE 28

Le noyau de sodium  ${}^{24}_{11}\text{Na}$  se désintègre en noyau de magnésium  ${}^{24}_{12}\text{Mg}$  avec production d'une particule X.

- Identifier la particule X et préciser le type de radioactivité du sodium 24.
- Calculer, en MeV, l'énergie libérée  $E_{\text{lib}}$  lors de cette désintégration.
- Déterminer en J / nucléon, l'énergie de liaison par nucléon  $\xi$  du noyau  ${}^{24}_{12}\text{Mg}$

Données :

- Masse de  ${}^{24}_{11}\text{Na}$  : 23,98493 u;
- Masse de  ${}^{24}_{12}\text{Mg}$  : 23,97846 u;
- Masse de l'électron : 0,00055 u;
- Masse du proton : 1,00728 u;
- Masse du neutron : 1,00866 u;
- $1u = 931,5 \text{ MeV} \cdot c^{-2}$  ;  $1\text{MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13}\text{J}$ .



## EXERCICE 29

La formation de l'hélium à partir du deutérium et du tritium, qui sont deux isotopes de l'hydrogène, est une réaction de fusion nucléaire spontanée qui se produit continuellement au cœur des étoiles.

L'homme essaie sans cesse de reproduire cette réaction au laboratoire afin d'utiliser de façon contrôlée son énorme énergie libérée. Le chemin est encore long pour surmonter les différents obstacles techniques. On modélise cette réaction nucléaire par l'équation suivante :  ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$

Particule	Hélium	Tritium	Deutérium	Neutron
Masse (u)	4,0015	3,01550	2,01355	1,00866

- Célérité de la lumière dans le vide :  $c = 3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- $1u = 931,5 \text{ MeV} \cdot c^{-2}$
- $1\text{MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ .

1- Déterminer les nombres A et Z du noyau d'hélium.

- 2- Calculer, en MeV, l'énergie libérée  $E_{lib}$  lors de cette réaction nucléaire.
- 3- Un échantillon de sol contient du tritium radioactif. A la date  $t = 0$ , l'activité de cet échantillon est  $a_0 = 2,0 \times 10^6$  Bq. A l'instant de date  $t_1 = 4$  ans, cette activité devient égale à  $a_1 = 1,6 \times 10^6$  Bq.

Déterminer l'activité  $a_2$  de cet échantillon à l'instant de date  $t_2 = 12$ , 4 ans.

### EXERCICE 30

La désintégration du noyau de cobalt  ${}_{27}^{60}\text{Co}$  donne un noyau de nickel  ${}_{28}^{60}\text{Ni}$  et une particule X.

Données :

- La masse du noyau  ${}_{27}^{60}\text{Co}$ : 59,91901 u
  - La masse du noyau  ${}_{28}^{60}\text{Ni}$ : 59,91543 u
  - La masse de l'électron : 0,00055 u ;
  - La masse du proton : 1,00728 u ;
  - La masse du neutron : 1,00866 u ;
  - L'énergie de liaison par nucléon du noyau  ${}_{28}^{56}\text{Ni}$ : 8,64 MeV/nucléon
  - $1\text{u} = 931,5 \text{ MeV} \cdot \text{c}^{-2}$ .
- 4- Identifier la particule X, puis déterminer le type de désintégration du cobalt 60.
  - 5- Calculer, en MeV, l'énergie libérée  $E_{lib}$  au cours de cette désintégration.
  - 6- Déterminer, en MeV/nucléon, l'énergie de liaison par nucléon  $\xi$  du noyau  ${}_{28}^{60}\text{Ni}$ , puis déduire parmi les deux noyaux  ${}_{28}^{60}\text{Ni}$  et  ${}_{28}^{56}\text{Ni}$ , lequel est le plus stable.

### EXERCICE 31

Etude de la désintégration du noyau de plutonium 241

Le plutonium 241 est un élément radioactif qui n'existe pas dans la nature, il résulte des transformations nucléaires de l'uranium 238.

Le noyau de plutonium  ${}_{94}^{241}\text{Pu}$  se désintègre en un noyau d'américium  ${}_{95}^{241}\text{Am}$  avec production d'une particule X.

- Données :
- Masse du noyau  ${}_{95}^{241}\text{Am}$  :  $m({}_{95}^{241}\text{Am}) = 241,00471\text{u}$
  - Masse du noyau  ${}_{94}^{241}\text{Pu}$  :  $m({}_{94}^{241}\text{Pu}) = 241,00529\text{u}$  ;
  - Masse de la particule X :  $m(\text{X}) = 0,00055\text{u}$  ;
  - $1\text{u} = 931,5 \text{ MeV} \cdot \text{c}^{-2}$
  - Demi-vie du plutonium 241 :  $t_{1/2} = 14,35\text{ans}$ .

- 1- Ecrire l'équation de cette désintégration et préciser le type de radioactivité du plutonium 241.
- 2- Calculer, en MeV, l'énergie libérée  $E_{lib}$  lorsqu'un seul noyau  ${}_{94}^{241}\text{Pu}$  se désintègre.
- 3- L'activité initiale d'un échantillon radioactif du plutonium 241 est  $a_0 = 3 \times 10^8$  Bq. Trouver l'activité  $a_1$  de cet échantillon à la date  $t = 28,7$  ans.

### EXERCICE 32

La radioactivité est utilisée dans plusieurs domaines comme la médecine ou l'on peut diagnostiquer la maladie par imagerie médicale en utilisant des substances radioactives comme le fluorodéoxyglucose (en abrégé FDG) qui contient du fluor radioactif  ${}_{9}^{18}\text{F}$ .

Après avoir injecté le FDG par voie intraveineuse à un patient, on peut suivre les rayonnements émis à l'aide d'une caméra spéciale. Données :

Noyau	${}_{7}^{14}\text{N}$	${}_{8}^{18}\text{O}$	${}_{9}^{18}\text{F}$	${}_{10}^{18}\text{Ne}$
Energie de liaison par nucléon $\frac{E_l}{A}$ (MeV / nucléon)	7,473	7,765	6,629	7,338
Demi-vie du fluor ${}_{9}^{18}\text{F}$ :	$t_{1/2} = 110 \text{ min}$			

#### 1. Désintégration du noyau de fluor 18

Le fluor  $^{18}_9F$  est radioactif  $\beta^+$

1.1. Écrire l'équation de désintégration du fluor  $^{18}_9F$  en précisant le noyau fils.

1.2. Recopier sur votre copie le numéro de la question et écrire la lettre correspondante à la seule proposition vraie parmi :

a	Le noyau de fluor $^{18}_9F$ est constitué de 18 neutrons et 9 protons
b	La masse du noyau $^{18}_9F$ est inférieure à la somme des masses de ses nucléons
c	L'unité de l'énergie de liaison d'un noyau est le (MeV / nucléon)
c	La constante radioactive s'exprime par la relation $\lambda = t_{1/2} \cdot \ln 2$

1.3. Déterminer, en justifiant votre réponse, le noyau le plus stable parmi  $^{14}_7N, ^{18}_8O, ^{18}_{10}Ne$

## 2. Injection du FDG à un patient

Pour réaliser un examen d'imagerie médicale à un patient, on lui injecte une dose de FDG d'activité  $a = 5,0 \cdot 10^8$  Bq.

La dose du FDG a été préparée dans le bloc de médecine nucléaire d'un hôpital à 5 heures du matin pour l'injecter au patient à 10 heures du même jour. L'activité du  $^{18}_9F$  à 5 heures est  $a_0$ . Vérifier que  $a_0 = 3,3 \cdot 10^9$  Bq.

## EXERCICE 33

La datation par la méthode Uranium-Plomb est une technique ancienne, qui permet la détermination de l'âge approximatif de la Terre. Le noyau d'uranium  $^{238}_{92}U$ , naturellement radioactif, se transforme en un noyau de plomb  $^A_ZPb$  stable, après une série de désintégrations successives, parmi lesquelles la désintégration en noyau de thorium  $^{234}_{90}Th$  et la désintégration en noyau de protactinium  $^{234}_{91}Pu$ .

1. Recopier sur votre copie le numéro de la question et écrire la lettre correspondante à la proposition vraie parmi :

a	Le noyau $^{238}_{92}U$ se désintègre spontanément suivant l'équation $^{238}_{92}U \rightarrow ^{234}_{90}Th + ^4_2He$
b	Le noyau $^{234}_{90}Th$ se désintègre spontanément suivant l'équation $^{234}_{90}Th \rightarrow ^{234}_{91}Pa + ^0_{+1}e$
c	La désintégration selon l'équation $^{238}_{92}U \rightarrow ^{234}_{90}Th + ^4_2He$ de type $\beta^-$
d	La désintégration selon l'équation $^{234}_{90}Th \rightarrow ^{234}_{91}Pa + ^0_{-1}e$ de type $\beta^+$

2. L'équation  $^{238}_{92}U \rightarrow ^A_ZPb + 6 ^0_{-1}e + 8 ^4_2He$

Résume la série de désintégrations successives du noyau  $^{238}_{92}U$  jusqu'au noyau  $^A_ZPb$ .

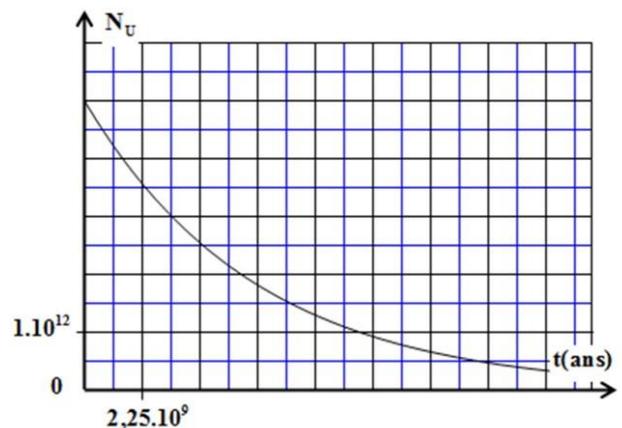
2.1. En appliquant les lois de conservation, trouver les valeurs de A et Z.

2.2. On considère que l'âge de chaque roche minérale ancienne est celui de la Terre qu'on note  $t_T$ .

La figure ci-contre représente la courbe de décroissance radioactive des noyaux d'uranium 238 dans un échantillon de roche minérale ancienne contenant  $N_U(0)$  noyaux d'uranium à l'instant  $t_0=0$ .

Pour les questions suivantes, recopier sur votre copie le numéro de la question et écrire la lettre correspondante à la proposition vraie parmi :

2.2.1. La valeur de  $N_U(0)$  est :



a	$2, 5.10^{12}$	b	$4.10^{12}$	c	$4, 5.10^{12}$	d	$5.10^{12}$
---	----------------	---	-------------	---	----------------	---	-------------

2.2.2. La demi-vie  $t_{1/2}$  de l'uranium 238 est :

a	$1, 5.10^9$ ans	b	$2,2 5.10^9$ ans	c	$4, 5.10^9$ ans	d	$9.10^9$ ans
---	-----------------	---	------------------	---	-----------------	---	--------------

2.2.2. La mesure du nombre de noyaux de plomb, dans la roche minérale ancienne, à la date  $t_T$ , a donné la valeur  $N_{Pb}(t_T) = 2,5.10^{12}$ .

L'âge approximatif  $t_T$  de la Terre est :

a	$4, 5.10^9$ ans	b	$2,25.10^9$ ans	c	$4, 5.10^{10}$ ans	d	$2,2 5.10^{10}$ ans
---	-----------------	---	-----------------	---	--------------------	---	---------------------

### EXERCICE 34

La production d'énergie dans les réacteurs nucléaire résulte essentiellement de la fission nucléaire de l'Uranium 235, mais de cette fission, résulte des noyaux radioactifs polluants. Des recherches actuelles visent à développer la production de l'énergie nucléaire à partir de la fusion des noyaux d'hydrogène.

On donne :

- Les masses des noyaux et particules :

	Noyaux				Particules	
	${}^{235}_{92}U$	${}^{238}_{92}U$	${}^{236}_{92}Ce$	${}^{85}_{34}Se$	Proton	Neutron
Masses (u)	234,9934	238,0003	145,8782	84,9033	1,00728	1,00886

- Masse molaire de l'Uranium 235 :  $M({}^{235}U) = 235 \text{ g.mol}^{-1}$
- Constante d'Avogadro :  $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$        $1u = 931,5 \text{ MeV.c}^{-2}$

1- **Fission nucléaire** : En bombardant un noyau d'Uranium  ${}^{235}U$  par un neutron, au cœur du réacteur nucléaire, il se transforme en un noyau de Cérium  ${}^{146}Ce$  et un noyau de Sélénium  ${}^{85}Se$  avec éjection de neutrons, selon une réaction modélisée par l'équation :  ${}^{235}_{92}U + {}^1_0n \rightarrow {}^{146}_{58}Ce + {}^{85}_{34}Se + x {}^1_0n$

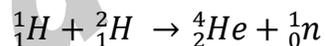
1-1- Déterminer les nombre Z et x.

1-2- Calculer, en MeV, l'énergie libérée par la fission d'un noyau d'Uranium  ${}^{235}U$ , et en déduire l'énergie  $E_1$ , libérée par la fission d'un échantillon d'Uranium  ${}^{235}U$  de masse 1 g.

1-3- Le noyau de Cérium  ${}^{146}Ce$  se transforme spontanément en noyau de Praséodyme  ${}^{238}_{92}U$  avec émission d'une particule  $\beta^-$ . Calculer la durée nécessaire pour la transformation de 99 % de noyaux  ${}^{146}Ce$ , initialement présents dans un échantillon de Césium 146.

On donne : La constante radioactive du nucléide  ${}^{146}Ce$  est :  $\lambda = 5,13.10^{-2} \text{ min}^{-1}$ .

2- **Fusion nucléaire** : La fusion d'un noyau de Deutérium  ${}^2_1H$  et d'un noyau de Tritium  ${}^3_1H$ , conduit à la formation d'un noyau d'Hélium  ${}^4_2He$  et d'un neutron, selon la réaction modélisée par l'équation :



L'énergie libérée au cours de la formation de 1 g d'Hélium est :  $E_2 = - 5,13.10^{24} \text{ MeV}$ . Citer deux raisons pour adopter la fission au lieu de la fusion dans la production d'énergie.

### EXERCICE 35

L'injection intraveineuse d'une solution contenant le phosphore 32 radioactif permet dans certains cas le traitement de la multiplication anormale des globules rouges au niveau des cellules de la moelle osseuse.

**Données** : Les masses en unité atomique u :

$$m({}^{32}_{15}P) = 31,9840u; m(\beta^-) = 5,485.10^{-4}u; m({}^4_2Y) = 31,9822u; 1u=931,5\text{MeV.c}^{-2}; 1\text{MeV}=1,6.10^{-13}\text{J}$$

La demi- vie du nucléide phosphore  ${}^{32}_{15}P$  :  $t_{1/2}=14,4\text{jours}$ , 1 jour = 86400 s

1. **L'activité radioactive du nucléide radioactif  ${}^{32}_{15}P$**

Le nucléide  ${}^{32}_{15}P$  est radioactif  $\beta^-$ , sa désintégration donne naissance au nucléide  ${}^4_2Y$

- 1-1- Ecrire l'équation de la désintégration du nucléide de phosphore  $^{32}_{15}\text{P}$  en précisant A et Z.  
 1-2- Calculer en Mev la valeur absolue de l'énergie libérée lors de la désintégration du nucléide  $^{32}_{15}\text{P}$ .

**2. L'injection intraveineuse au phosphore  $^{32}_{15}\text{P}$**

À l'instant  $t=0$ , on prépare un échantillon du phosphore  $^{32}_{15}\text{P}$  dont l'activité radioactive est  $a_0$ .

- 2-1- Définir l'activité radioactive 1Bq.  
 2-2- A l'instant  $t_1$ , on injecte à un patient une quantité d'une solution de phosphore  $^{32}_{15}\text{P}$  dont l'activité radioactive est  $a_1 = 2,5 \times 10^9 \text{Bq}$   
 a- Calculer en jour, la durée  $\Delta t$  nécessaire pour que l'activité nucléaire  $a_1$  du phosphore  $^{32}_{15}\text{P}$  soit égale à 20% de  $a_1$ .  
 b- On note  $N_1$  le nombre de nucléides du phosphore  $^{32}_{15}\text{P}$  restant à l'instant  $t_1$  et on note  $N_2$  le nombre nucléides restant à l'instant  $t_2$  dont l'activité radioactive de l'échantillon est  $a_2$ . Trouver l'expression du nombre de nucléides désintégrés pendant la durée  $\Delta t$  en fonction de  $a_1$  et  $t_1/2$   
 c- En déduire, en joule, la valeur absolue de l'énergie libérée pendant la durée  $\Delta t$ .

**EXERCICE 36 : Désintégration du plutonium 238**

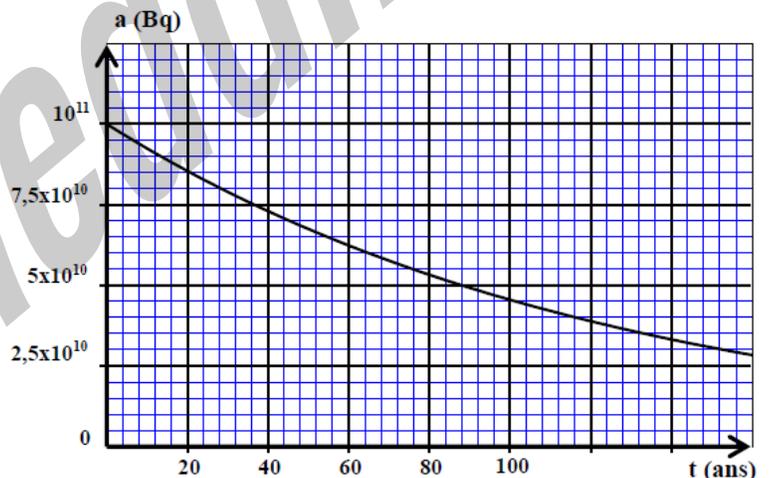
*Le stimulateur cardiaque (pacemaker) est un dispositif qui, une fois implanté dans l'organisme, fournit des impulsions électriques destinées à stimuler les muscles cardiaques. Ces impulsions permettent d'accélérer la pulsation du cœur lorsqu'il est trop lent. Certains stimulateurs cardiaques fonctionnent à partir de l'énergie libérée lors de la désintégration alpha des noyaux du plutonium 238.*

Cet exercice se propose d'étudier un stimulateur cardiaque au plutonium 238.

**Données :**

noyau	Protactinium238	Uranium234	Uranium238	Neptunium238	Plutonium238
symbole	$^{238}_{91}\text{Pa}$	$^{234}_{92}\text{U}$	$^{238}_{92}\text{U}$	$^{238}_{93}\text{N}$	$^{238}_{94}\text{Pu}$

- 1- Ecrire l'équation de désintégration alpha du plutonium 238 en identifiant le noyau fils.  
 2- La courbe de la figure ci-contre représente l'évolution de l'activité  $a(t)$  d'un échantillon de plutonium 238, présent dans un stimulateur cardiaque. On choisit l'instant d'implantation de ce stimulateur dans l'organisme d'un patient comme origine des dates  $t = 0$ .  
 2.1- Déterminer graphiquement la demi-vie  $t_{1/2}$  du plutonium 238.  
 2.2- En déduire que la valeur de la constante radioactive  $\lambda$  est :  $\lambda \approx 7,88 \cdot 10^{-3} \text{ans}^{-1}$ .  
 2.3- Trouver le nombre  $N_0$  de noyaux de plutonium 238, présents à  $t=0$ , dans ce stimulateur cardiaque. (on prend :  $1\text{an} = 365 \text{jours}$ ).  
 3- On considère que ce stimulateur fonctionne de façon efficace lorsque le nombre de noyaux de plutonium 238 qui se désintègrent ne dépasse pas 30% du nombre de noyaux présents dans l'échantillon à  $t = 0$ . Déterminer, en ans, la durée maximale  $t_{\text{max}}$  du fonctionnement efficace du stimulateur cardiaque.

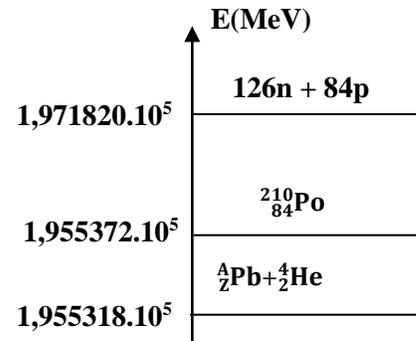


## EXERCICE 37 : Désintégration du polonium 210

Le polonium est un métal radioactif rare découvert en 1898 par Pierre Curie. Ce métal de symbole Po et de numéro atomique 84 est radioactif. Le polonium 210 est le seul isotope que l'on trouve dans la nature. La désintégration d'un noyau de polonium 210 produit un noyau de plomb  ${}_{82}^{206}\text{Pb}$  avec émission d'une particule  $\alpha$ .

### Données :

- La demi-vie du polonium 210 :  $t_{1/2} = 138$  jours ;
- $1\text{u} = 931,41 \text{ MeV}/c^2$  ;  $1\text{u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ .



- 1- Ecrire l'équation de désintégration du polonium 210 en déterminant A et Z.
- 2- A l'aide du diagramme d'énergie représenté ci-contre, calculer :
  - 2.1- L'énergie libérée  $E_{lib}$  lors de la désintégration d'un noyau polonium 210.
  - 2.2- Le défaut de masse  $\Delta m$  du noyau de polonium 210 exprimé en kilogramme (kg).
- 3- Calculer, en  $\text{s}^{-1}$ , la constante radioactive  $\lambda$  du polonium 210.
- 4- Un échantillon de noyaux de polonium 210 a une activité  $a_0 = 3,5 \cdot 10^{11} \text{ Bq}$  à un instant de date  $t = 0$ .  
Déterminer, en jours, l'instant de date  $t_1$  où l'activité de cet échantillon est :  $a_1 = 3,7 \cdot 10^4 \text{ Bq}$ .

## EXERCICE 38 : Etude de la désintégration du radon 222

Le radon de symbole Rn est un gaz rare naturellement présent dans l'atmosphère. Il est issu par décompositions successives de l'uranium présent dans les roches granitiques. L'isotope 222 du radon est radioactif. On se propose d'étudier dans cette partie la désintégration nucléaire de cet isotope.

### Données :

- La demi-vie du radon 222 est :  $t_{1/2} = 3,8$  jours.
- Tableau des énergies de liaison par nucléon :

Noyau	Hélium	Radon	Polonium
Symbole	${}^4_2\text{He}$	${}^{222}_{86}\text{Rn}$	${}^{218}_{84}\text{Po}$
Energie de liaison par nucléon (MeV / nucléon)	7,07	7,69	7,73

- 1- Parmi les deux noyaux,  ${}^{222}_{86}\text{Rn}$  et  ${}^{218}_{84}\text{Po}$ , lequel est le plus stable ? justifier la réponse.
- 2- Montrer que l'énergie de liaison d'un noyau d'hélium  ${}^4_2\text{He}$  est :  $E_l(\text{He}) = 28,28 \text{ MeV}$ .
- 3- L'équation de désintégration du radon 222 s'écrit :  ${}^{222}_{86}\text{Rn} \rightarrow {}^{218}_{84}\text{Po} + {}^4_2\text{He}$  Choisir la réponse juste parmi les propositions suivantes :  
L'énergie libérée lors de la désintégration d'un noyau du radon 222 est :  
 ■  $E_{lib} = 7,11 \text{ MeV}$     ■  $E_{lib} = 22,56 \text{ MeV}$     ■  $E_{lib} = 6,24 \text{ MeV}$     ■  $E_{lib} = 3420,6 \text{ MeV}$
- 4- On considère un échantillon de noyaux du radon 222 ayant, à l'instant  $t = 0$ , une activité  $a_0$ .  
Trouver, en jours, l'instant de date  $t_1$  à laquelle cet échantillon a une activité  $a_1 = \frac{a_0}{4}$ .

## Exercice 39 : Stabilité des noyaux – Réaction de fission.

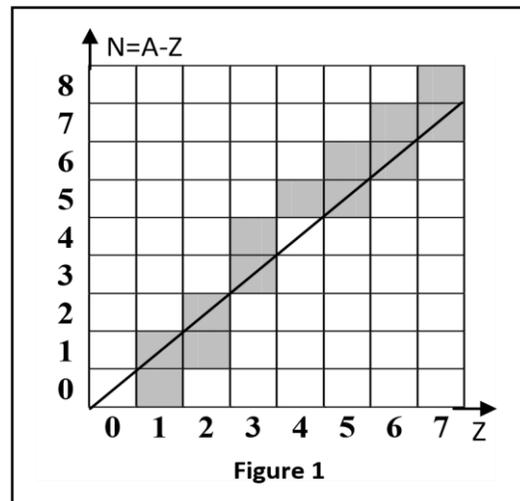
- Données :** - Masse des particules :  $m(\alpha) = 4,001506\text{u}$  ;  $m({}^{10}_5\text{B}) = 10,012938\text{u}$  ;  
 $m({}^7_3\text{Li}) = 7,016005\text{u}$  ;  
 - Energie de liaison de la particule  $\alpha$  :  $E_l = 28,295244 \text{ MeV}$  ;  $1\text{u} = 931,5 \text{ MeV} \cdot c^{-2}$  ;  
 - Masse du neutron :  $m_n = 1,008665\text{u}$  ; Masse du proton :  $m_p = 1,007276\text{u}$  .

## 1- Diagramme de Segré

La figure 1 ci-contre représente le diagramme de Segré (Z,N) dont lequel les noyaux stables correspondent aux cases grisées dans le diagramme.

Donner le nombre d'affirmations justes:

- La non-stabilité d'un noyau peut être due au grand nombre de nucléons qu'il contient.
- La stabilité d'un noyau peut être due au grand nombre de neutrons par rapport au nombre de protons qu'il contient.
- Les isotopes d'un même élément  ${}^A_ZX$  se trouvent sur la même ligne dans le diagramme de Segré(Z,N).
- Les noyaux  ${}^{10}_5B$ ,  ${}^{14}_6C$ ,  ${}^{12}_5B$  sont radioactifs  $\alpha$ .
- Le noyau  ${}^{10}_5B$  est stable.



## 2- Fission nucléaire

- 2.1- Ecrire l'équation de la réaction nucléaire correspondant au bombardement d'un noyau de bore  ${}^{10}_5B$ , par un neutron pour former une particule  $\alpha$  et un noyau de lithium  ${}^A_ZLi$  en déterminant A et Z.
- 2.2- Comparer la stabilité de la particule  $\alpha$  avec celle du  ${}^A_ZLi$  ;
- 2.3- Calculer, en unité MeV, l'énergie  $|\Delta E|$  libérée par la fission d'un noyau de bore 10.

## EXERCICE 39 : Activité du polonium

Le polonium  ${}^{210}_{84}Po$ , découvert en 1898 par Pierre et Marie Curie, se désintègre avec émission d'une particule  $\alpha$ .

Le polonium 210 est très toxique. La dose maximale du polonium 210 que peut supporter le corps humain correspond à une activité  $a_{\max} = 740Bq$ .

**Données** : - Extrait du tableau de la classification périodique :

${}_{81}Ti$	${}_{82}Pb$	${}_{83}Bi$	${}_{85}At$	${}_{86}Rn$
-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

- $m(He) = 4,00151u$  ;  $m(Pb) = 205,930u$  ;  $m(Po) = 209,9374u$  ;
- $1u = 931,5MeV \cdot c^{-2} = 1,6605 \cdot 10^{-27} kg$  ;
- $1MeV = 1,6 \cdot 10^{-13} J$ .

- Ecrire l'équation de désintégration du noyau de polonium 210.
- Calculer, en unité MeV, l'énergie  $|E_1|$  libérée par la désintégration d'un noyau de polonium 210.
- En déduire, en unité joule, l'énergie  $|E_2|$  libérée par la désintégration de masse  $m = 10 g$  de polonium 210.
- Un laboratoire reçoit un échantillon de polonium 210. Après une durée  $\Delta t = 245h37min$  de la date de sa réception, on mesure l'activité de l'échantillon, on trouve qu'elle a diminué de 5%. Déterminer, en jour, la valeur de la demi-vie  $t_{1/2}$  du polonium 210.

## EXERCICE 40 : Désintégration de l'oxygène 15

La tomographie par émission de positrons, (dénommée PET « positron emission tomography »), est une technique d'imagerie médicale pratiquée en médecine nucléaire qui permet d'obtenir des images précises de quelques organes du corps en trois dimensions dans lesquels il pourrait y avoir des maladies comme le cancer. Parmi les substances radioactives utilisées on cite le fluor, l'oxygène, l'azote...

Dans cet exercice on utilise l'oxygène 15 ( $^{15}_8\text{O}$ ) qui est l'un des isotopes de l'oxygène .

En PET, on détecte les molécules d'eau (présentes en grande quantité dans le cerveau) en utilisant de l'eau radioactive(eau marquée à l'oxygène 15 ( $^{15}_8\text{O}$ )) que l'on injecte au sujet par voie intraveineuse. L'oxygène 15 se désintègre en un noyau  $^A_Z\text{X}$  avec émission d'un positron.

- Données :** - Constante d'Avogadro :  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  ;  $1\text{u} = 931,494 \text{ MeV} \cdot \text{c}^{-2}$  ;
- Masse molaire de l'eau :  $M = 18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ; Masse volumique de l'eau :  $\rho = 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  ;
  - Les masses :  $m(^A_Z\text{X}) = 15,000109 \text{ u}$  ;  $m(^{15}_8\text{O}) = 15,003066 \text{ u}$  ;  $m(^0_1\text{e}) = 5,486 \cdot 10^{-4} \text{ u}$  ;
  - La demi-vie de l'oxygène 15 :  $t_{1/2} = 122 \text{ s}$  .

- 1- Écrire l'équation de la réaction de désintégration du noyau d'oxygène 15 ( $^{15}_8\text{O}$ ) en déterminant A et Z.
- 2- Déterminer, en unité MeV,  $|\Delta E|$  l'énergie libérée par un noyau d'oxygène 15.
- 3- En admettant que le volume d'une injection d'activité initiale  $a_0 = 3,7 \cdot 10^7 \text{ Bq}$  est  $V = 5 \text{ cm}^3$ , trouver la proportion de molécules d'eau marquées dans l'injection.
- 4- Pour poursuivre l'examen par PET, on suppose qu'il est nécessaire de procéder à une nouvelle injection lorsque l'activité  $a(t_1)$  du noyau d'oxygène 15 restant à l'instant de date  $t_1$  est de l'ordre de 0,15% de l'activité initiale  $a_0$  de l'injection à  $t = 0$ .  
Justifier, par calcul, que l'on puisse faire une nouvelle injection au bout d'un temps proche de  $t = 20 \text{ min}$ .

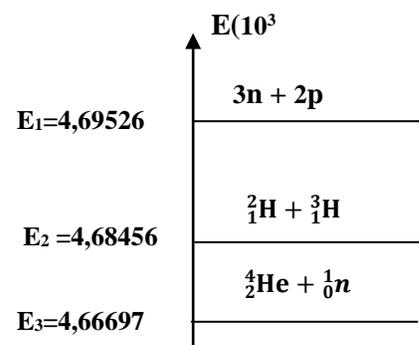
### Exercice 41 : Transformations nucléaires

Le combustible des réactions de fusion dans les futures centrales nucléaires est un mélange de deutérium  $^2_1\text{H}$  et de tritium  $^3_1\text{H}$ .

On étudie la formation d'hélium  $^4_2\text{He}$  à partir de la réaction de fusion du deutérium et du tritium, cette réaction nucléaire libère aussi un neutron.

Données: Constante d'Avogadro:  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  ;  $1 \text{ MeV} = 1,6022 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ .

- 1- Ecrire l'équation de la réaction de cette fusion. (0,25 pt)
- 2- Parmi les affirmations suivantes combien y en a-t-il d'exactes? (donner seulement le nombre) :
  - a- L'énergie de liaison d'un noyau est égale au produit du défaut de masse du noyau et de la célérité de la lumière dans le vide.
  - b- La masse du noyau est inférieure à la somme des masses des nucléons constituant ce noyau.
  - c- La fission nucléaire concerne uniquement les noyaux légers dont le nombre de masse  $A < 20$ .
  - d- La réaction  $^8_4\text{Be} + ^6_2\text{He} \rightarrow ^{12}_4\text{C}$  est une réaction de fusion.
  - e- La fission nucléaire est une réaction nucléaire spontanée.
- 3- En utilisant le diagramme d'énergie ci-contre, calculer en unité MeV :
  - 3.1- L'énergie de liaison  $E_l$  du noyau d'hélium.
  - 3.2- L'énergie libérée  $|\Delta E|$  par cette réaction de fusion
- 4- En déduire, en unité MeV, l'énergie libérée que l'on pourrait obtenir si on réalisait la réaction de fusion d'une mole de noyaux de deutérium avec une mole de noyaux de tritium.



## EXERCICE 42 : Etude de l'activité d'un échantillon radioactif

On étudie dans cet exercice la désintégration d'un échantillon radioactif du cobalt ayant une fiche technique portant les indications suivantes :

- Cobalt 60 :  ${}_{27}^{60}\text{Co}$ .
- Masse molaire atomique :  $M = 60\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .
- Radioactivité :  $\beta^-$ .
- Constante de temps :  $\tau = 2,8\cdot 10^3$  jours .

**Données :**

- Constante d'Avogadro  $N_A = 6,02\cdot 10^{23}\text{ mol}^{-1}$  ;
- Une année solaire :  $1\text{an} = 365,25$  jours ;
- Energie de liaison du nucléide  ${}^A_ZX$  :  $E_\ell = 588,387\text{MeV}$  ;
- $m({}_{27}^{60}\text{Co}) = 59,8523\text{u}$  ;
- $m({}_0^1n) = 1,00866\text{u}$ ,  $m({}_1^1p) = 1,00728\text{u}$ ,  $m(e) = 5,486\cdot 10^{-4}\text{u}$  ;
- $1\text{u} = 931,494\text{MeV}\cdot\text{c}^{-2}$ .

1- Choisir la proposition juste parmi les propositions suivantes :

- a- La constante radioactive a la dimension du temps.
- b- L'activité d'un échantillon s'exprime en seconde .
- c- Pour les noyaux lourds et selon la courbe d'Aston, plus un noyau est lourd, moins il est stable.
- d- Le défaut de masse s'exprime en MeV .

2- Définir la radioactivité  $\beta^-$ .

3- Le noyau issu de la désintégration de  ${}_{27}^{60}\text{Co}$  est  ${}^A_ZX$ . En se basant sur les énergies de masse, calculer en MeV l'énergie  $|\Delta E|$  libérée par la réaction de désintégration du  ${}_{27}^{60}\text{Co}$ .

4- La masse initiale de l'échantillon radioactif à l'instant de sa réception par un laboratoire spécialisé est  $m = 50\text{mg}$ . On considère l'instant de réception de cet échantillon comme origine des dates ( $t = 0$ ).

La mesure de l'activité de l'échantillon étudié à un instant  $t_1$  donne la valeur  $a_1 = 5,18\cdot 10^{11}\text{ Bq}$ .

Montrer que  $t_1 = \tau \cdot \ln\left(\frac{N_A \cdot m_0}{\tau \cdot M \cdot a_1}\right)$ . Calculer , en année, sa valeur.

## EXERCICE 43 : La radioactivité du polonium.

Le noyau de polonium  ${}_{84}^{210}\text{Po}$  se désintègre spontanément pour se transformer en un noyau de plomb  ${}_{82}^{206}\text{Pb}$  avec émission d'une particule  $\alpha$ .

Cet exercice se propose d'étudier le bilan énergétique de cette transformation ainsi que l'évolution de cette dernière au cours du temps.

**Données :**

- Energie de liaison du noyau de polonium 210 :  $E_\ell({}_{84}^{210}\text{Po}) = 1,6449\cdot 10^3\text{ MeV}$ ,
- Energie de liaison du noyau de plomb 206 :  $E_\ell({}_{82}^{206}\text{Pb}) = 1,6220\cdot 10^3\text{ MeV}$ ,
- Energie de liaison de la particule  $\alpha$  :  $E_\ell = 28,2989\text{MeV}$ ,
- On désigne par  $t_{1/2}$  la demi-vie du noyau de polonium 210.

1- Ecrire l'équation de cette transformation nucléaire en déterminant le nombre Z.

2- Déterminer en MeV l'énergie  $|\Delta E|$  produite lors de la désintégration d'un noyau de  ${}_{84}^{210}\text{Po}$ .

3- Soient  $N_0(\text{Po})$  le nombre de noyaux de polonium dans un échantillon à l'instant de date  $t=0$  et  $N(\text{Po})$  le nombre de noyaux restant dans le même échantillon à un instant de date  $t$ .

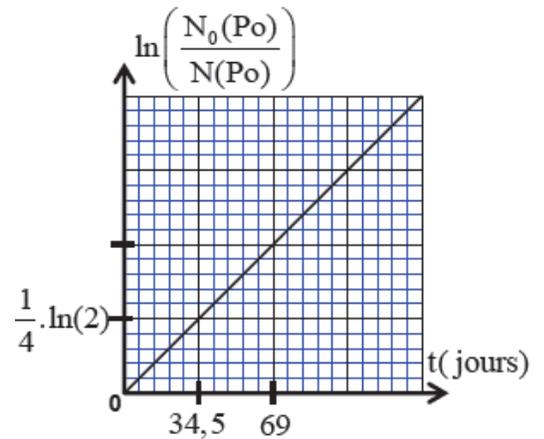
3.1- On désigne par  $N_D$  le nombre de noyaux de polonium désintégrés à l'instant de date  $t=4.t_{1/2}$ . Choisir la proposition juste parmi les propositions suivantes :

a-  $N_D = \frac{N_0(\text{Po})}{8}$ ; b -  $N_D = \frac{N_0(\text{Po})}{16}$ ; c -  $N_D = \frac{N_0(\text{Po})}{4}$ ; d -  $N_D = \frac{15 N_0(\text{Po})}{16}$

3.2- La courbe ci-dessous représente les variations de  $\ln\left(\frac{N_0(\text{Po})}{N(\text{Po})}\right)$  en fonction du temps.

A l'aide de cette courbe, déterminer en jour la demi-vie  $t_{1/2}$ .

3.3- Sachant que l'échantillon ne contient pas du plomb à  $t = 0$ , déterminer en jour, l'instant  $t_1$  pour lequel :  $\frac{N(\text{Pb})}{N(\text{Po})} = \frac{2}{5}$ , où  $N(\text{Pb})$  est le nombre de noyaux de plomb formés à cet instant.



### EXERCICE 44 :

Les réactions de fusion et de fission sont considérées parmi les réactions qui produisent une grande énergie qu'on peut exploiter dans divers domaines.

**Données :** -  $1\text{MeV} = 1,6022 \cdot 10^{-13} \text{J}$

$m({}_1^1\text{H}) = 1,00728\text{u}$  ;  $m({}_2^4\text{He}) = 4,00151\text{u}$  ;  $m({}_1^0e) = 5,48579 \cdot 10^{-4} \text{u}$ .

-  $1\text{u} = 931,494\text{MeV} \cdot \text{c}^{-2} = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{kg}$

- On prend la masse du soleil :  $m_S = 2 \cdot 10^{30} \text{kg}$ .

- On considère que la masse de l'hydrogène  ${}_1^1\text{H}$  représente 10% de la masse du soleil.

1- On donne dans le tableau ci-dessous les équations de quelques réactions nucléaires :

<b>A</b>	${}_1^2\text{H} + {}_1^3\text{H} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_0^1\text{n}$
<b>B</b>	${}_{27}^{60}\text{Co} \rightarrow {}_{28}^{60}\text{Ni} + {}_{-1}^0\text{e}$
<b>C</b>	${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{90}^{234}\text{Th}$
<b>D</b>	${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{54}^{139}\text{Xe} + {}_{38}^{94}\text{Sr} + 3 {}_0^1\text{n}$

1.1- Identifier, parmi ces équations, celle correspondant à la réaction de fusion

1.2- En utilisant le diagramme d'énergie ci-contre, calculer :

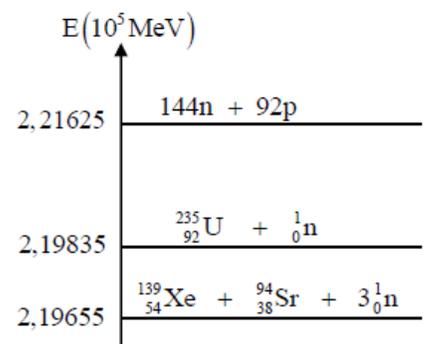
1.2.1- L'énergie de liaison par nucléon du noyau  ${}_{92}^{235}\text{U}$ .

1.2.2- L'énergie  $|\Delta E_0|$  produite par la réaction D.

2- Il se produit dans le soleil des réactions nucléaires dues essentiellement à la transformation de l'hydrogène selon l'équation bilan :  $4 {}_1^1\text{H} \rightarrow {}_2^4\text{He} + 2 {}_1^0\text{e}$

2.1- Calculer, en joule, l'énergie  $|\Delta E|$  produite par cette transformation.

2.2- Trouver, en ans, la durée nécessaire à la consommation de tout l'hydrogène présent dans le soleil, sachant que l'énergie libérée chaque année par le soleil selon cette transformation est  $E_S = 10^{34} \text{J}$ .



## EXERCICE 45

Un réacteur nucléaire fonctionne avec l'uranium enrichie qui est constitué de  $p = 3\%$  de  $^{235}\text{U}$  fissible et  $p' = 97\%$  de  $^{238}\text{U}$  non fissible. La production de l'énergie au sein de cette centrale nucléaire est basée sur la fission de l'uranium  $^{235}\text{U}$  bombardé par des neutrons.

**Donnés:**

$$m(^{140}\text{Xe}) = 139,8920\text{u}; m(^{94}\text{Sr}) = 93,8945\text{u}; m(^{235}\text{U}) = 234,9935\text{u}; m(^1_0\text{n}) = 1,0087\text{u}$$

$$1\text{MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}; 1\text{u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 931,5\text{MeV} \cdot \text{c}^{-2}.$$

Le noyau  $^{235}\text{U}$  subit une fission selon l'équation :  $^1_0\text{n} + ^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{94}_z\text{Sr} + ^{140}_{54}\text{Xe} + x^1_0\text{n}$ .

- 1- Déterminer  $x$  et  $z$ .
- 2- Calculer en joule ( $J$ ) l'énergie  $|\Delta E_0|$  libérée par la fission de  $m_0 = 1\text{g}$  de  $^{235}\text{U}$ .
- 3- Pour produire une quantité d'énergie électrique  $W = 3,73 \cdot 10^{16} \text{ J}$ , un réacteur nucléaire de rendement  $r = 25\%$  consomme une masse  $m$  de l'uranium enrichi. Exprimer  $m$  en fonction de  $W$ ,  $|\Delta E_0|$ ,  $m_0$ ,  $r$  et  $p$ . Calculer  $m$ .
- 4- Dans ce réacteur nucléaire se trouve aussi une faible quantité du nucléide  $^{234}\text{U}$  qui est radioactif  $\alpha$ .

La mesure de l'activité radioactive, à l'instant  $t = 0$ , d'un échantillon de l'uranium  $^{234}_{92}\text{U}$  a donné la valeur  $a_0 = 5,4 \cdot 10^8 \text{ Bq}$ .

Calculer la valeur de l'activité nucléaire de cet échantillon à l'instant  $t = \frac{t_{1/2}}{4}$

## EXERCICE 46 : Les réactions nucléaires des isotopes d'hydrogène

L'énergie solaire provient de la réaction de fusion des noyaux d'hydrogène. Les physiciens s'intéressent à produire l'énergie nucléaire à partir de la réaction de fusion des isotopes d'hydrogène : deutérium  $^2_1\text{H}$  et tritium  $^3_1\text{H}$ .

**Données :** Les masses en unité  $u$  :  $m(^3_1\text{H}) = 3,01550 \text{ u}$  ;  
 $m(^2_1\text{H}) = 2,01355 \text{ u}$  ;  
 $m(^4_2\text{He}) = 4,00150 \text{ u}$  ;  $m(^1_0\text{n}) = 1,00866 \text{ u}$  ;  $1\text{u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 931,5 \text{ MeV} \cdot \text{c}^{-2}$

### 1- la radioactivité $\beta^-$ du tritium

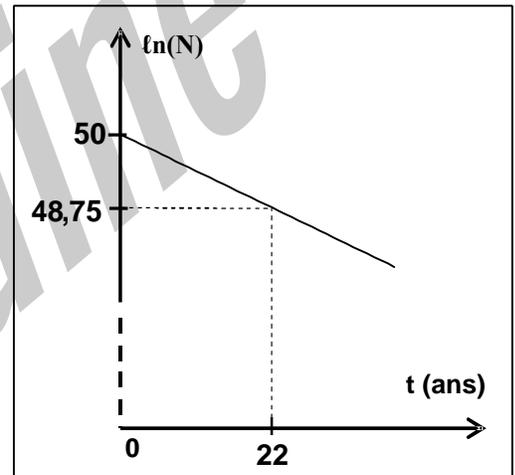
Le nucléide tritium  $^3_1\text{H}$  est radioactif  $\beta^-$ , sa désintégration donne lieu à un isotope de l'élément Hélium

1.1- Ecrire l'équation de cette désintégration.

1.2- On dispose d'un échantillon radioactif du nucléide tritium  $^3_1\text{H}$  contenant  $N_0$  nucléides à l'instant  $t=0$ .

Soit  $N$  le nombre de nucléides tritium dans l'échantillon à l'instant  $t$ .

Le graphe de la figure 1 représente les variations de  $\ln(N)$  en fonction du temps  $t$ . Déterminer la demi-vie  $t_{1/2}$  du tritium.



### 2- Fusion nucléaire

2.1- La courbe de la figure 2 représente les variations de l'opposé de l'énergie de liaison par nucléon en fonction du nombre de nucléons  $A$ .

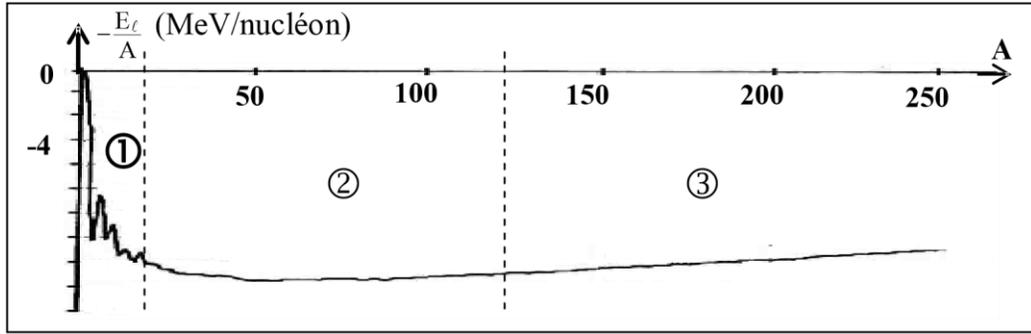


Figure 2

Déterminer, parmi les intervalles j, k et l indiqués sur la figure 2, celui dans lequel les nucléides sont susceptibles de subir des réactions de fusion. Justifier la réponse.

2.2- L'équation de la réaction de fusion des noyaux de deutérium  ${}^2_1\text{H}$  et de tritium  ${}^3_1\text{H}$  s'écrit :  ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$ .

On peut extraire 33mg de deutérium à partir de 1,0L de l'eau de mer.

Calculer, en MeV, la valeur absolue de l'énergie que l'on peut obtenir à partir de la réaction de fusion du tritium et du deutérium extrait de  $1 \text{ m}^3$  de l'eau de mer.

### EXERCICE 47: Datation par le carbone 14

Toutes les plantes absorbent le carbone C qui se trouve dans l'atmosphère ( ${}^{12}\text{C}$  et  ${}^{14}\text{C}$ ) à travers le dioxyde de carbone de telle sorte que le rapport du nombre  $N({}^{14}\text{C})_0$  des noyaux de carbone 14 à celui des noyaux du carbone  $N(\text{C})_0$  dans les plantes reste constant durant leur vie :  $\frac{N({}^{14}\text{C})}{N(\text{C})_0} = 1,2 \cdot 10^{-12}$ .

A partir de l'instant où la plante meurt, ce rapport commence à diminuer à cause de la désintégration du carbone 14 qui est un isotope radioactif.

#### Données :

- Demi-vie du carbone 14 :  $t_{1/2} = 5730$  ans ;
- Masse molaire du carbone :  $M(\text{C}) = 12,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ;
- Constante d'Avogadro :  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  ;
- $1 \text{ an} = 3,15 \cdot 10^7 \text{ s}$ .
- Le noyau du carbone 14 est radioactif  $\beta^-$ , sa désintégration donne un noyau  ${}^A_Z\text{Y}$ .

1- La figure (1) donne une partie du diagramme de Segri (Z,N).

1.1- Ecrire l'équation de la transformation nucléaire du carbone 14 en déterminant le noyau fils  ${}^A_Z\text{Y}$ .

1.2- La désintégration du noyau du carbone  ${}^{14}_6\text{C}$  donne un noyau de bore  ${}^A_Z\text{B}$ .  
Ecrire l'équation de cette transformation nucléaire en déterminant A' et Z'.

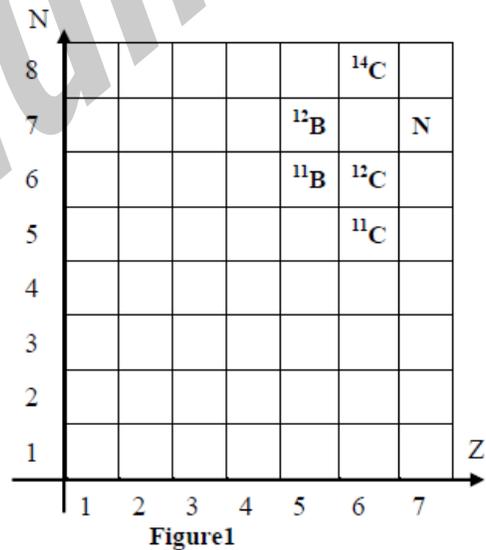


Figure 1

2- A l'aide du diagramme énergétique représenté dans la figure (2) :

2.1- Trouver l'énergie de liaison par nucléon du noyau de carbone 14.

2.2- Trouver la valeur absolue de l'énergie produite par la désintégration d'un noyau du carbone 14.

- 3- On veut déterminer l'âge d'un morceau de bois très ancien, pour cela on y prélève à un instant  $t$  un échantillon de masse  $m = 0,295\text{g}$ , on trouve que cet échantillon donne 1,40 désintégrations par minute. On considère que ces désintégrations proviennent uniquement du carbone 14 qui se trouve dans l'échantillon étudié.

On prélève d'un arbre vivant un morceau de même masse que l'échantillon précédent  $m = 0,295\text{g}$ , on trouve que le pourcentage massique du carbone dans ce morceau est 51,2%

- 2.3- Calculer le nombre de noyaux du carbone C et le nombre de noyaux du carbone 14 dans le morceau qui a été prélevé de l'arbre vivant .

- 2.4- Déterminer l'âge du morceau de bois ancien .

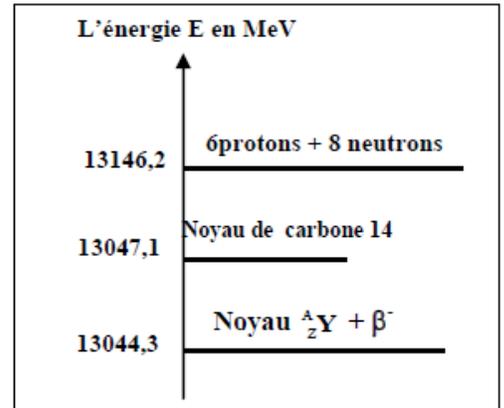


Figure 2

### EXERCICE 48 : Désintégration de l'uranium 234

Le thorium 230 ( ${}^{230}_{90}\text{Th}$ ) se trouvant dans les roches marines résulte de la désintégration spontanée de l'uranium 234 ( ${}^{234}_{92}\text{U}$ ). C'est pourquoi le thorium et l'uranium se trouvent dans toutes les roches marines en proportions différentes selon leurs dates de formation.

#### Données :

- Masse d'un noyau d'uranium 234 :  $m({}^{234}_{92}\text{U}) \approx 234,04095\text{u}$  ;
- La constante radioactive de l'uranium 234 :  $\lambda = 2,823 \cdot 10^{-6} \text{an}^{-1}$  ;
- Masse du proton :  $m_p = 1,00728\text{u}$  ;
- Masse du neutron :  $m_n = 1,00866\text{u}$  ;
- Unité de masse atomique :  $1\text{u} = 931,5 \text{MeV} \cdot \text{c}^{-2}$ .

1. Donner la composition du noyau d'uranium 234.
2. Calculer, en MeV, l'énergie de liaison  $E_l$  du noyau  ${}^{234}_{92}\text{U}$ .
3. Le nucléide  ${}^{234}_{92}\text{U}$  est radioactif, il se transforme spontanément en un nucléide de thorium  ${}^{230}_{90}\text{Th}$ . Ecrire l'équation de désintégration de  ${}^{234}_{92}\text{U}$  et déduire le type de désintégration.
4. On dispose d'un échantillon d'une roche marine, qui contient à l'instant de sa formation considéré comme origine des dates ( $t = 0$ ), un nombre  $N_0$  de noyaux d'uranium  ${}^{234}_{92}\text{U}$ . On suppose que cet échantillon ne contient pas du thorium à l'origine des dates.

On se propose de déterminer le rapport  $r = \frac{N({}^{230}_{90}\text{Th})}{N({}^{234}_{92}\text{U})}$  de cet échantillon à un instant de date  $t$ .

$N({}^{230}_{90}\text{Th})$  étant le nombre de noyaux de thorium formé à l'instant de date  $t$  et  $N({}^{234}_{92}\text{U})$  le nombre de noyaux d'uranium restant à cet instant.

- 4.1. En se basant sur la loi de décroissance radioactive, trouver l'expression du nombre de noyaux de thorium  $N({}^{230}_{90}\text{Th})$  en fonction de  $N_0$ ,  $t$  et la constante radioactive  $\lambda$  de l'uranium 234.
- 4.2. Montrer que l'expression de  $r$  à un instant  $t$  est:  $r = e^{\lambda t} - 1$ .
- 4.3. Calculer la valeur  $r_1$  de ce rapport à l'instant de date  $t_1 = 2 \cdot 10^5$  ans.