DS n°3 – TS1 2012
À propos de transformations nucléaires

Les trois parties sont largement indépendantes.

1. Étude de déchets radioactifs

Données :

Nombre d'Avogadro N_A	$6,022 \times 10^{23}$ mol^{-1}
Unité de masse atomique	1 u $= 1,660\,54 \times 10^{-27}$ kg
Célérité de la lumière dans le vide	$c = 3,00 \times 10^8$ m $\cdot$ s^{-1}
Valeur de l'électron-volt	1 eV $= 1,602 \times 10^{-19}$ J

Nom du noyau ou de la particule	Uranium (238)	Uranium (239)	Neptunium (239)	Plutonium (239)	Neutron	Proton	Électron
Symbole	${}^{238}_{92}\mathrm{U}$	${}^{239}_{92}\mathrm{U}$	${}^{239}_{93}\mathrm{Np}$	${}^{239}_{94}\mathrm{Pu}$			
Masse (u)	238,050 79	239,054 29	239,052 94	239,052 16	1,008 66	1,007 28	0,000 55

1.1. *Un déchet radioactif à vie courte dans le lait de vache*

Le lait de vache contient du césium 137 dont l'activité est de l'ordre de 0,22 Bq pour un litre ($V = 1,0$ L).
La demi-vie du césium 137 est égale à environ 30 ans.

On considère que la radioactivité du lait de vache est due uniquement à la présence de césium 137.

1.1.1. Combien de désintégrations par seconde se produit-il dans un litre de lait ?

1.1.2. Donner la définition de la demi-vie d'un élément radioactif.

1.1.3. Donner la loi de décroissance radioactive.

1.1.4. Établir la relation entre λ et $t_{1/2}$ où λ représente la constante radioactive de l'élément radioactif considéré et $t_{1/2}$ sa demi-vie.

1.1.5. En déduire la valeur de la constante radioactive du césium 137.

1.1.6. Déterminer le nombre de noyaux radioactifs de césium 137 présents dans un litre de lait.

1.1.7. En déduire la concentration molaire volumique en césium 137 du lait de vache.

1.1.8. On prend comme origine des dates l'instant où on mesure l'activité d'un litre de lait de vache soit lorsque $A_0 = 0,22$ Bq. Au bout de combien de temps ne restera-t-il plus que 1,00 % de cette activité ?

1.2. *Les déchets radioactifs à vie longue*

« Le plutonium, de numéro atomique 94, est radioactif. Sa demi-vie est égale à 24 000 ans. Il en existe donc peu à l'état naturel. En revanche, il s'en forme dans le cœur des réacteurs nucléaires, par une réaction en chaîne. Quand un noyau d'uranium 238 capture un neutron, il se transforme en uranium 239. (...)
En libérant un électron, l'uranium 239 se transforme en neptunium 239. Cet élément libère à son tour un électron et donne ainsi naissance au plutonium 239 (${}^{239}\mathrm{Pu}$). »

D'après un article paru dans le magazine Science et Vie (Hors série n°225 de décembre 2003).

1.2.1. Écrire l'équation de réaction nucléaire correspondant à la capture d'un neutron par l'uranium 238 en énonçant les lois de conservation utilisées.

1.2.2. L'uranium 239 et le plutonium 239 sont-ils des isotopes ? Justifier.

1.2.3. Écrire l'équation de désintégration qui permet de passer de l'uranium 239 au neptunium 239 puis celle qui permet de passer du neptunium 239 au plutonium 239.

1.2.4. Calculer l'énergie libérée, en joules, par la désintégration d'un noyau d'uranium 239 en neptunium 239. Convertir le résultat en eV.

1.2.5. En déduire l'énergie libérée par 1,0 g d'uranium 239. Donner le résultat en joules (J) et mégaélectronvolt (MeV).

2. Âge de la momie

Pour déterminer l'âge d'une momie, on utilise une méthode de datation au carbone 14. Cet isotope du carbone est constamment produit par bombardement de l'azote atmosphérique par les neutrons cosmiques. Le carbone 14 est ensuite assimilé par les organismes vivants, et se trouve donc présent en très faible quantité dans ces organismes. L'expérience montre que les proportions des deux isotopes ^{14}C et ^{12}C sont les mêmes dans le dioxyde de carbone atmosphérique et dans tous les organismes vivants : 1 atome ^{14}C pour 10^6 atomes ^{12}C. On fait l'hypothèse qu'il en a été toujours ainsi (tout au moins au cours des derniers millénaires).
Après la mort, la proportion de carbone 14 diminue car le carbone 14 est radioactif β^-, de période 5 570 années.

Donnée : $M(\text{C}) = 12,00\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$. On trouvera la valeur du nombre d'Avogadro dans les données de la partie 1.

2.1. Écrire l'équation de désintégration du carbone 14.

2.2. Calculer la constante radioactive λ.

2.3. Démontrer que l'expression qui permet de donner l'âge t de la mort d'un organisme s'écrit :

$$t = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \times \ln\left(\frac{\mathcal{A}_0}{\mathcal{A}}\right)$$

2.4. Dans un prélèvement de 1,000 dg (décigramme) de matières organiques sur la momie, on constate qu'il y a 10,00 % en masse de carbone. Cet échantillon présente une activité 1 180 désintégrations par seconde.
Évaluer le nombre d'atomes de l'isotope ^{14}C lors de l'ensevelissement de la momie sachant que la masse de carbone 14 est négligeable par rapport à la masse totale de carbone.

2.5. Quelle est l'activité $\mathcal{A}_0$ de cet échantillon au moment de la mort du pharaon ?

2.6. En déduire l'âge approximatif de la momie.

3. La fusion nucléaire contrôlée

Depuis plusieurs années des recherches sont menées en Europe sur les réactions de fusion nucléaire contrôlées. Elles concernent principalement les isotopes de l'hydrogène : le deutérium et le tritium.
Le mélange réagissant doit être porté à très haute température, d'où l'expression énergie thermonucléaire désignant l'énergie libérée dans ce type de réactions.
À long terme, l'énergie thermonucléaire pourra remplacer l'énergie des centrales à fission actuelles.

Données :

Noyaux	Hydrogène 1	Deutérium	Tritium	Hélium 3	Hélium 4
Symbole	$^1_1$H	$^2_1$H ou $^2_1$D	$^3_1$H	$^3_2$He	$^4_2$He
Masse (u)	1,007 28	2,013 55	3,015 50	3,014 93	4,001 50

3.1. *Réactions nucléaires*

Actuellement les recherches sont menées sur un mélange deutérium – tritium ; plusieurs réactions nucléaires sont possibles.
Par exemple, avec 2 noyaux de deutérium, on peut avoir la réaction (1) :

$$^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \longrightarrow {}^{A_1}_{Z_1}\text{X} + \text{neutron} \tag{1}$$

ou la réaction (2) :

$$^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \longrightarrow {}^{A_2}_{Z_2}\text{X} + \text{proton} \tag{2}$$

Pour chacune de ces réactions (1) et (2), donner le nom et le symbole des noyaux formés $^{A_1}_{Z_1}$X et $^{A_2}_{Z_2}$X, en justifiant correctement.

3.2. *Courbe d'Aston*

Au cours des chocs, les noyaux sont dissociés en nucléons séparés puis de nouveaux noyaux sont formés. Il faut donc fournir de l'énergie au noyau pour le dissocier. Cette énergie comptée positivement est au moins égale à l'énergie de liaison des noyaux. Plus le noyau contient de nucléons, plus l'énergie de liaison est importante.

3.2.1. Rappeler la définition de l'énergie de liaison E_L.

3.2.2. Calculer en mégaélectronvolt (MeV) l'énergie de liaison du noyau de tritium.

3.2.3. Pour comparer la stabilité des noyaux entre eux, on utilise l'énergie de liaison par nucléon. La courbe d'Aston donnée en annexe représente l'opposée de l'énergie de liaison par nucléon ($-E_L/A$) en fonction du nombre de nucléons A.

Indiquer sur la courbe, par des hachures, la zone où l'on trouve les noyaux les plus stables.

3.2.4. Parmi les réactions de fusion possibles dans les « tokamaks », la réaction entre le deutérium et le tritium libère le plus d'énergie. La réaction (3) s'écrit :

$$ {}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{3}_{1}\mathrm{H} \longrightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \qquad (3)$$

a. Repérer sur la courbe la place du noyau de tritium.

b. Comparer à partir de la courbe d'Aston l'énergie de liaison par nucléon de ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$ aux énergies de liaison de ${}^{2}_{1}\mathrm{H}$ et ${}^{3}_{1}\mathrm{H}$. Dégager l'intérêt énergétique de la réaction (3).

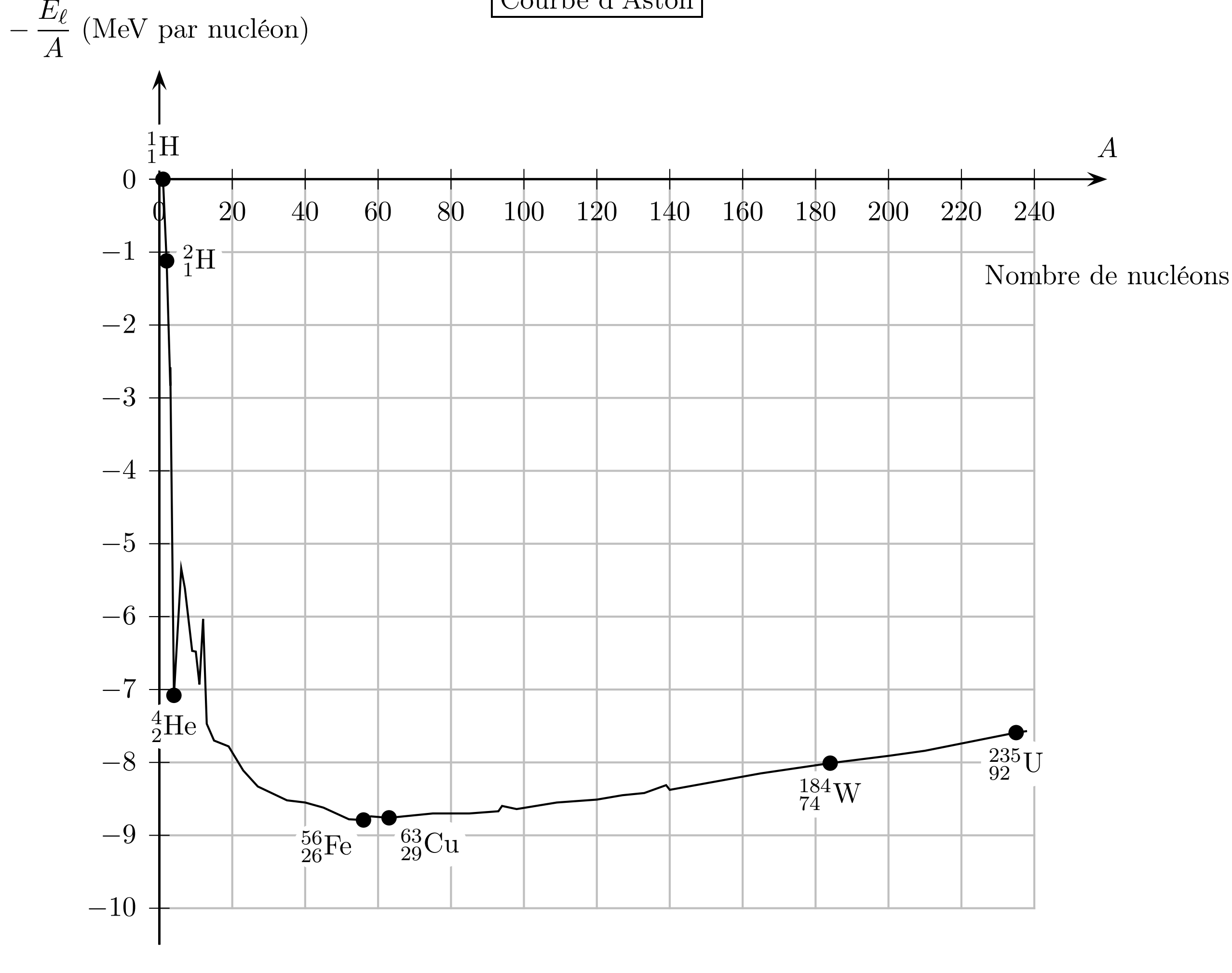
3.3. ***Bilan énergétique***

Calculer, en MeV, l'énergie libérée par la réaction (3).

Nom : .... **Prénom :** ....

ANNEXE — À rendre avec la copie

Courbe d'Aston



Correction du DS n°3 – TS1 2012
À propos de transformations nucléaires

1. Étude de déchets radioactifs

1.1. *Les déchets radioactifs à vie courte*

1.1.1. Par définition de l'activité, un litre de lait de vache est le siège de 0,22 désintégrations par seconde (il s'agit d'une moyenne statistique, les désintégrations étant aléatoires, spontanées et inéluctables).

1.1.2. La demi-vie $t_{1/2}$ d'un élément radioactif est le temps au bout duquel la moitié des noyaux de l'échantillon se sont désintégrés :

$$N\left(t_{1/2}\right) = \frac{N_0}{2} \quad \text{ou} \quad N\left(t + t_{1/2}\right) = \frac{N(t)}{2}$$

1.1.3. Loi de décroissance radioactive, donnant le nombre N de noyaux non encore désintégrés, à l'instant t :

$$N(t) = N_0 \mathrm{e}^{-\lambda t} = N_0 \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}}$$

où N_0 est le nombre de l'échantillon à l'instant initial $t = 0$, λ la constante radioactive et τ la constante de temps. On peut de façon équivalente donner la loi de décroissance radioactive pour l'activité $\mathcal{A}$ de l'échantillon :

$$\mathcal{A}(t) = \mathcal{A}_0 \mathrm{e}^{-\lambda t} = \mathcal{A}_0 \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}}$$

où $\mathcal{A}_0$ est l'activité de l'échantillon à l'instant initial $t = 0$.

1.1.4. Écrivons la loi de décroissance radioactive au temps de demi-vie $t = t_{1/2}$, et identifions avec la définition de la demi-vie :

$$\left.\begin{array}{l} N\left(t_{1/2}\right) = N_0 \mathrm{e}^{-\lambda t_{1/2}} \\ N\left(t_{1/2}\right) = \dfrac{N_0}{2} \end{array}\right\} \Rightarrow \ N_0 \mathrm{e}^{-\lambda t_{1/2}} = \frac{N_0}{2}$$

Simplifions par N_0 et prenons le logarithme népérien, afin d'éliminer l'exponentielle :

$$\Rightarrow \ \mathrm{e}^{-\lambda t_{1/2}} = \frac{1}{2} \quad \Rightarrow \quad -\lambda t_{1/2} = \ln\left(\frac{1}{2}\right)$$

L'opposé du logarithme est égal au logarithme de l'inverse de l'argument, et on divise par $t_{1/2}$:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \qquad \text{c. q. f. d.}$$

1.1.5. Application numérique, avec la demi-vie en années :

$$\lambda = \frac{\ln 2}{30} = 2,3 \times 10^{-2}\ \mathrm{an}^{-1}$$

ou avec la demi-vie en secondes :

$$\lambda = \frac{\ln 2}{30 \times 365,25 \times 24 \times 3\,600}$$

$$\lambda = 7,3 \times 10^{-10}\ \mathrm{s}^{-1}$$

1.1.6. Expression du nombre de noyaux en fonction de l'activité :

$$\mathcal{A} = \lambda N \quad \Leftrightarrow \quad N = \frac{\mathcal{A}}{\lambda}$$

Application numérique :

$$N = \frac{0,22}{7,3 \times 10^{-10}} = 3,0 \times 10^{8} \text{ noyaux}$$

1.1.7. La quantité de matière n de noyaux radioactifs de césium 137 est liée au nombre N de noyaux et au nombre N_{A} d'Avogadro :

$$n = \frac{N}{N_{\mathrm{A}}}$$

En remplaçant dans l'expression de la concentration molaire C :

$$C = \frac{n}{V} = \frac{N}{V N_{\mathrm{A}}}$$

Application numérique, pour un volume d'un litre $V = 1,0$ L :

$$C = \frac{3,0 \times 10^{8}}{1,0 \times 6,022 \times 10^{23}}$$

$$C = 5,0 \times 10^{-16}\ \mathrm{mol} \cdot \mathrm{L}^{-1}$$

Cette concentration est heureusement très faible.

1.1.8. On veut :

$$\frac{\mathcal{A}}{\mathcal{A}_0} = 1,00\,\% = 0,0100$$

On isole le temps à partir de la loi de décroissance radioactive :

$$\mathcal{A} = \mathcal{A}_0 \mathrm{e}^{-\lambda t} \ \Leftrightarrow \ \frac{\mathcal{A}}{\mathcal{A}_0} = \mathrm{e}^{-\lambda t}$$

$$\Leftrightarrow \quad t = -\frac{1}{\lambda} \ln \frac{\mathcal{A}}{\mathcal{A}_0}$$

Application numérique :

$$t = -\frac{1}{7,3 \times 10^{-10}} \times \ln(0,01)$$

$$t = 6,3 \times 10^{9}\ \mathrm{s} \simeq 200 \text{ ans}$$

Cette valeur, très élevée, montre que l'on ne peut pas proposer du lait à la radioactivité plus faible simplement en le stockant quelques heures ou même quelques semaines (dans le cas du lait stérilisé).

1.2. ***Les déchets radioactifs à vie longue***

1.2.1. Équation nucléaire de capture d'un neutron par l'uranium 238 :

$$ {}^{238}_{92}\text{U} \;+\; {}^{1}_{0}\text{n} \;\rightarrow\; {}^{239}_{92}\text{U}^* $$

Les lois de conservation utilisées sont les lois de Soddy, ou conservation du nombre de neutrons et de protons :

$$ \begin{cases} 238+1=239 \\ \quad\;\; 92=92 \end{cases} $$

1.2.2. Non ; deux isotopes ne diffèrent que par leur nombre de neutrons, le nombre de protons étant identique, ce qui n'est pas le cas ici. Conséquence, des isotopes correspondent au même élément chimique, par exemple uranium 238 et uranium 239.

1.2.3. Transformation nucléaire de l'uranium 239 en neptunium 239 :

$$ {}^{239}_{92}\text{U} \;\rightarrow\; {}^{239}_{93}\text{Np}^* \;+\; {}^{\;\,0}_{-1}\text{e} $$

Transformation nucléaire du neptunium 239 en plutonium 239 :

$$ {}^{239}_{92}\text{U} \;\rightarrow\; {}^{239}_{94}\text{Pu}^* \;+\; {}^{\;\,0}_{-1}\text{e} $$

Dans les deux cas, il s'agit de désintégration β^-.

1.2.4. L'énergie libérée Q est la différence entre les énergies de masse des produits (état final) moins celle du réactif (état initial) :

$$ Q = \left[m\left({}^{239}_{93}\text{Np}\right) + m\left({}^{\;\,0}_{-1}\text{e}\right) - m\left({}^{239}_{92}\text{U}\right)\right] \cdot c^2 $$

Le résultat est demandé en joules (J), on ne peut se passer de convertir les masses, données en unité de masse atomique (u), en kilogrammes (kg) :

$$ \begin{aligned} Q &= [239,052\,94 + 0,000\,55 - 239,054\,29] \\ &\quad \times 1,660\,54 \times 10^{-27} \times \left(3,00 \times 10^{8}\right)^2 \\ Q &= \;[-0,000\,80] \\ &\quad \times 1,660\,54 \times 10^{-27} \times \left(3,00 \times 10^{8}\right)^2 \\ Q &= \;-1,20 \times 10^{-13} \text{ J} \end{aligned} $$

Conversion du résultat en eV :

$$ Q = \frac{-1,20 \times 10^{-13}}{1,602 \times 10^{-19}} $$

$$ Q = 7,49 \times 10^{5} \text{ eV} = 0,749 \text{ MeV} $$

1.2.5. Calculons le nombre N de noyaux d'uranium 239 dans $m = 1,0$ g :

$$ N = nN_{\text{A}} = \frac{mN_{\text{A}}}{M} $$

Application numérique :

$$ N = \frac{1,0 \times 6,022 \times 10^{23}}{239} = 2,5 \times 10^{21} \text{ noyaux} $$

On en déduit l'énergie libérée E en joules (J) :

$$ \begin{aligned} E &= NQ \\ E &= 2,5 \times 10^{21} \times \left(-1,20 \times 10^{-13}\right) \\ E &= 3,0 \times 10^{8} \text{ J} \end{aligned} $$

et en mégaélectronvolts (MeV) :

$$ \begin{aligned} E &= 2,5 \times 10^{21} \times (-0,749) \\ E &= 1,9 \times 10^{21} \text{ MeV} \end{aligned} $$

Ceci correspond à une énergie considérable. Même si on n'arrive pas à faire réagir la totalité des noyaux de l'échantillon, la quantité d'énergie reste plusieurs ordres de grandeur au dessus de ce que l'on peut obtenir par une réaction « chimique » (dans le sens d'une réaction entre atomes, et pas entre noyaux).

2. Âge de la momie

2.1. Désintégration β^- du carbone 14 :

$$ {}^{14}_{6}\text{C} \;\rightarrow\; {}^{14}_{7}\text{N} \;+\; \text{e}^- \;+\; \gamma $$

2.2. Expression de la constante radioactive :

$$ \lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} $$

Application numérique, avec la demi-vie en années :

$$ \lambda = \frac{\ln 2}{5\,570} = 1,244 \times 10^{-2} \text{ an}^{-1} $$

ou avec la demi-vie en secondes :

$$ \lambda = \frac{\ln 2}{5\,570 \times 365,25 \times 24 \times 3\,600} $$

$$ \lambda = 3,943 \times 10^{-12} \text{ s}^{-1} $$

2.3. On isole le temps à partir de la loi de décroissance radioactive (il n'est pas utile de refaire la démonstration si elle a déjà été donnée précédemment) :

$$ \mathcal{A} = \mathcal{A}_0\, \text{e}^{-\lambda t} \;\Leftrightarrow\; \text{e}^{-\lambda t} = \frac{\mathcal{A}}{\mathcal{A}_0} $$

$$ \Leftrightarrow\; -\lambda t = \ln\frac{\mathcal{A}}{\mathcal{A}_0} \quad\Leftrightarrow\quad t = -\frac{1}{\lambda}\ln\frac{\mathcal{A}}{\mathcal{A}_0} $$

On remplace λ par son expression en fonction de $t_{1/2}$ et on inverse la fraction dans le logarithme pour éliminer le signe moins :

$$ \Rightarrow\quad t = \frac{t_{1/2}}{\ln 2}\ln\left(\frac{\mathcal{A}}{\mathcal{A}_0}\right) $$

2.4. Nombre de noyaux dans $1,000$ dg $= 0,1000$ g de matière contenant $10,00\,\%$ de carbone :

$$ \left.\begin{aligned} n &= \frac{m}{M} \\ N &= n\mathcal{N}_{\text{A}} \end{aligned}\right\} \Rightarrow N = \frac{m\mathcal{N}_{\text{A}}}{M} $$

$$ \Rightarrow\quad N = \frac{0,1000 \times 0,1000 \times 6,022 \times 10^{23}}{12} $$

$$ \Rightarrow\quad N = 5,018 \times 10^{20} \text{ atomes} $$

où l'on a multiplié la masse par le facteur 0,1000 pour tenir compte du 10,00 %. Nombre de noyaux de carbone 14, à raison de 1 pour 10^6 noyaux de carbone :

$$N_0 = \frac{5,018 \times 10^{20}}{10^6} = 5,018 \times 10^{14} \text{ noyaux}$$

2.5. Activité au moment de la mort :

$$\mathcal{A}_0 = \lambda N_0 = 3,943 \times 10^{-12} \times 5,018 \times 10^{14}$$
$$\mathcal{A}_0 = 1\,979 \text{ Bq}$$

2.6. Cet échantillon a une activité $\mathcal{A} = 1\,180$ Bq lors de sa découverte ; donc son âge t vaut :

$$t = -\frac{5,570 \times 10^3}{\ln 2} \ln\left(\frac{1\,979}{1\,180}\right)$$
$$t = 4,159 \times 10^3 = 4\,159 \text{ ans}$$

3. La fusion nucléaire contrôlée

3.1. *Réactions nucléaires*

Pour la réaction nucléaire (1) :

$$^2_1\text{H} + ^2_1\text{H} \rightarrow ^{A_1}_{Z_1}\text{X} + ^1_0\text{n}$$

Lois de conservation :

$$\begin{cases} 2+2 = A_1 + 1 \\ 1+1 = Z_1 + 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} A_1 = 3 \\ Z_1 = 2 \end{cases}$$

Il s'agit donc de l'hélium 3 :

$$^2_1\text{H} + ^2_1\text{H} \rightarrow ^3_2\text{He} + ^1_0\text{n}$$

Pour la réaction nucléaire (2) :

$$^2_1\text{H} + ^2_1\text{H} \rightarrow ^{A_2}_{Z_2}\text{X} + ^1_1\text{p}$$

Lois de conservation :

$$\begin{cases} 2+2 = A_2 + 1 \\ 1+1 = Z_2 + 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} A_1 = 3 \\ Z_1 = 1 \end{cases}$$

Il s'agit donc de l'hydrogène 3 ou tritium :

$$^2_1\text{H} + ^2_1\text{H} \rightarrow ^3_1\text{H} + ^1_1\text{p}$$

3.2. *Courbe d'Aston*

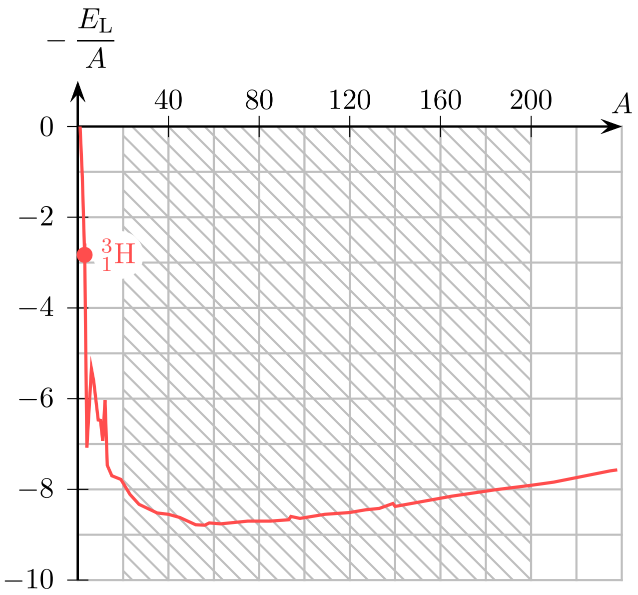
3.2.1. Définition de l'énergie de liaison E_L : il s'agit de l'énergie monopolisée par le noyau dans les liaisons entre nucléons, et de ce fait égale à l'énergie du défaut de masse Δm :

$$E_\text{L} = \Delta m \cdot c^2 = [(A-Z)m_\text{n} + Zm_\text{p} - m] \cdot c^2$$

3.2.2. Suivant la définition précédente,

$$E_\text{L} = [2 \times 1,008\,66 + 1 \times 1,007\,28 - 3,015\,50] \times 1,660\,54 \times 10^{-27} \times \left(3,00 \times 10^8\right)^2$$
$$E_\text{L} = 1,36 \times 10^{-12} \text{ J}$$
$$E_\text{L} = 8,49 \text{ MeV}$$

3.2.3. Les noyaux les plus stables ont une énergie de liaison par nucléons au dessus de 8 MeV/nucléons, donc entre $A = 20$ et $A = 180$.



3.2.4. a. Calculons l'énergie de liaison par nucléons pour le tritium :

$$\frac{E_\text{L}}{A} = \frac{E_\text{L}}{3} = 2,83 \text{ MeV/nucléon}$$

Le tritium est mis en évidence sur la courbe d'Aston reproduite dans la question précédente, aux coordonnées $(3\,;\,-2,83)$.

b. La somme des énergies de liaison du deutérium (hydrogène 2, proche de 1 MeV/nucléon) et du tritium (hydrogène 3, proche de 3 MeV/nucléon) fait environ 4 MeV/nucléon, ce qui est nettement inférieur à l'énergie de liaison de l'hélium 4 (proche de 7 MeV/nucléon) ; par conséquent, cette réaction nucléaire permet une nette stabilisation, et donc un dégagement d'énergie assez important, de l'ordre de $7 - 4 = 3$ MeV/nucléon. Quatre nucléons sont mis en jeu, ce qui nous donne approximativement $4 \times 3 = 12$ MeV par réaction (exactement, $-17,6$ MeV, voir ci-dessous), ce qui est important au vu du faible nombre de nucléons impliqués.

On peut aussi expliquer que l'hélium 4 est plus bas sur la courbe d'Aston, donc plus stable, mais cette explication est incomplète.

3.3. *Bilan énergétique*

L'énergie dégagée est :

$$Q = \left[m\left(^4_2\text{He}\right) + m\left(^1_0\text{n}\right) - m\left(^2_1\text{H}\right) - m\left(^3_1\text{H}\right)\right] c^2$$
$$Q = [4,00150 + 1,00866 - 2,01355 - 3,01550] \times 1,660\,54 \times 10^{-27} \times \left(3,00 \times 10^8\right)^2$$
$$Q = [-0,018\,89] \times 1,660\,54 \times 10^{-27} \times \left(3,00 \times 10^8\right)^2$$
$$Q = -2,82 \times 10^{-12} \text{ J} = -17,6 \text{ MeV}$$

DS3 TS1 2012

- ❑ 0,22 désintégrations par seconde !
- ❑ $N(t_{1/2}- = N_0/2$
- ❑ $N(t) = N_0 \mathrm{e}^{-\lambda t}$ ou équivalent
- ❑ Démonstration $\lambda = \ln 2/t_{1/2}$
- ❑ $\lambda = 0,023$ an^{-1} ou $7,3 \times 10^{-10}$ s^{-1}
- ❑ $N = \mathcal{A}/\lambda = 3,0 \times 10^8$ noyaux
- ❑ $C = N_{VN_\mathrm{A}} = 5,0 \times 10^{-16}$ mol $\cdot$ L^{-1}, très faible
- ❑ $\mathcal{A} = \mathcal{A}_0/100$ et donc $t = -1/\lambda \ln \mathcal{A}/\mathcal{A}_0$, démontrée
- ❑ $t = 6,3 \times 10^9$ s $\simeq 200$ ans
- ❑ ${}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{238}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{239}_{92}\mathrm{U}^*$ ou γ
- ❑ Lois de Soddy ou équivalent
- ❑ Non, ici éléments différents
- ❑ ${}^{239}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{239}_{93}\mathrm{Np}^* + \mathrm{e}^-$ ou γ
- ❑ ${}^{239}_{93}\mathrm{Np} \rightarrow {}^{239}_{94}\mathrm{Pu}^* + \mathrm{e}^-$ ou γ
- ❑ $Q = (m_\text{finale} - m_\text{initiale})c^2$ ici ou à la question **3.3**
- ❑ $Q = [m({}^{239}_{93}\mathrm{Np}) + m(\mathrm{e}^-) - m({}^{239}_{92}\mathrm{U})] \cdot c^2$
- ❑ $Q = -1,20 \times 10^{-13}$ J
- ❑ $Q = -0,749$ MeV
- ❑ $-3,0 \times 10^8$ J ou $-1,9 \times 10^{21}$ MeV
- ❑ ${}^{14}_{6}\mathrm{C} \rightarrow {}^{12}_{7}\mathrm{N}^* + \mathrm{e}^- + \gamma$
- ❑ $\lambda = 1,244 \times 10^{-4}$ an^{-1} ou $3,946 \times 10^{-12}$ s^{-1}
- ❑ Démonstration $t = t_{1/2}/\ln 2 \ln(\mathcal{A}_0/\mathcal{A})$
- ❑ 4 159 années
- ❑ Hélium 3 (${}^{3}_{2}\mathrm{He}$) et tritium (${}^{3}_{1}\mathrm{H}$), justifié
- ❑ $E_\mathrm{L} = \Delta m \cdot c^2 = [(A - Z)m_\mathrm{n} + Zm_\mathrm{p} - m] \cdot c^2$
- ❑ $E_\mathrm{L} = 8,49$ MeV
- ❑ Hachures entre $A = 20$ et $A = 180$
- ❑ $E_\mathrm{L}/A = E_\mathrm{L}/3 = 2,83$ MeV/nucléon
- ❑ ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$ plus bas, plus stable
- ❑ $Q = [m({}^{4}_{2}\mathrm{He}) + m({}^{1}_{0}\mathrm{n}) - m({}^{2}_{1}\mathrm{H}) - m({}^{3}_{1}\mathrm{H})] \cdot c^2$
- ❑ $Q = -17,6$ MeV

Total .../30

Note .../20

DS3 TS1 2012

- ❑ 0,22 désintégrations par seconde !
- ❑ $N(t_{1/2}- = N_0/2$
- ❑ $N(t) = N_0 \mathrm{e}^{-\lambda t}$ ou équivalent
- ❑ Démonstration $\lambda = \ln 2/t_{1/2}$
- ❑ $\lambda = 0,023$ an^{-1} ou $7,3 \times 10^{-10}$ s^{-1}
- ❑ $N = \mathcal{A}/\lambda = 3,0 \times 10^8$ noyaux
- ❑ $C = N_{VN_\mathrm{A}} = 5,0 \times 10^{-16}$ mol $\cdot$ L^{-1}, très faible
- ❑ $\mathcal{A} = \mathcal{A}_0/100$ et donc $t = -1/\lambda \ln \mathcal{A}/\mathcal{A}_0$, démontrée
- ❑ $t = 6,3 \times 10^9$ s $\simeq 200$ ans
- ❑ ${}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{238}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{239}_{92}\mathrm{U}^*$ ou γ
- ❑ Lois de Soddy ou équivalent
- ❑ Non, ici éléments différents
- ❑ ${}^{239}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{239}_{93}\mathrm{Np}^* + \mathrm{e}^-$ ou γ
- ❑ ${}^{239}_{93}\mathrm{Np} \rightarrow {}^{239}_{94}\mathrm{Pu}^* + \mathrm{e}^-$ ou γ
- ❑ $Q = (m_\text{finale} - m_\text{initiale})c^2$ ici ou à la question **3.3**
- ❑ $Q = [m({}^{239}_{93}\mathrm{Np}) + m(\mathrm{e}^-) - m({}^{239}_{92}\mathrm{U})] \cdot c^2$
- ❑ $Q = -1,20 \times 10^{-13}$ J
- ❑ $Q = -0,749$ MeV
- ❑ $-3,0 \times 10^8$ J ou $-1,9 \times 10^{21}$ MeV
- ❑ ${}^{14}_{6}\mathrm{C} \rightarrow {}^{12}_{7}\mathrm{N}^* + \mathrm{e}^- + \gamma$
- ❑ $\lambda = 1,244 \times 10^{-4}$ an^{-1} ou $3,946 \times 10^{-12}$ s^{-1}
- ❑ Démonstration $t = t_{1/2}/\ln 2 \ln(\mathcal{A}_0/\mathcal{A})$
- ❑ 4 159 années
- ❑ Hélium 3 (${}^{3}_{2}\mathrm{He}$) et tritium (${}^{3}_{1}\mathrm{H}$), justifié
- ❑ $E_\mathrm{L} = \Delta m \cdot c^2 = [(A - Z)m_\mathrm{n} + Zm_\mathrm{p} - m] \cdot c^2$
- ❑ $E_\mathrm{L} = 8,49$ MeV
- ❑ Hachures entre $A = 20$ et $A = 180$
- ❑ $E_\mathrm{L}/A = E_\mathrm{L}/3 = 2,83$ MeV/nucléon
- ❑ ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$ plus bas, plus stable
- ❑ $Q = [m({}^{4}_{2}\mathrm{He}) + m({}^{1}_{0}\mathrm{n}) - m({}^{2}_{1}\mathrm{H}) - m({}^{3}_{1}\mathrm{H})] \cdot c^2$
- ❑ $Q = -17,6$ MeV

Total .../30

Note .../20