Corrigé des exercices sur toute la radioactivité

Exercice 1

1.1. Le numéro atomique de l'élément chimique plutonium étant Z = 94, tous ses isotopes possèdent **94 protons**.
Le noyau de plutonium 238 possède 238 nucléons donc 238 – 94 = **144 neutrons** (et 94 protons).
Le noyau de plutonium 239 possède 239 nucléons soit **145 neutrons** (et 94 protons).

1.2. Deux noyaux sont isotopes s'ils possèdent le **même nombre de protons** mais un **nombre différent de neutrons**.

1.3. Une « particule alpha » correspond à un **noyau d'hélium** : ${}_{2}^{4}\mathrm{He}$

1.4. Le noyau de plutonium 238 est un émetteur de particules alpha. ${}_{94}^{238}\mathrm{Pu} \rightarrow {}_{2}^{4}\mathrm{He} + {}_{Z}^{A}\mathrm{Y}^{*}$
Loi de conservation du nombre de nucléons : 238 = 4 + A, soit A = 234.
Loi de conservation de la charge électrique : 94 = 2 + Z, soit Z = 92
L'équation de désintégration est : $\boxed{{}_{94}^{238}\mathrm{Pu} \rightarrow {}_{2}^{4}\mathrm{He} + {}_{92}^{234}\mathrm{U}^{*}}$

1.5. Le noyau fils est émis dans un état excité, il se désexcite en émettant un **rayonnement électromagnétique gamma.**

1.6. Dans le commentaire on parle de matière fissile, les noyaux de plutonium 239 et 241 sont susceptibles de subir une **fission**.
La fission est une **réaction nucléaire provoquée**. Sous l'impact d'un neutron, un gros noyau, dit fissile, est scindé en deux noyaux plus petits et plus stables. Cette réaction s'accompagne d'un dégagement d'énergie.

$${}_{94}^{239}\mathrm{Pu} + {}_{0}^{1}\mathrm{n} \rightarrow {}_{52}^{135}\mathrm{Te} + {}_{42}^{102}\mathrm{Mo} + 3\,{}_{0}^{1}\mathrm{n}$$

2.1. Exprimons la variation de masse au cours de la fission :
$\Delta m = \sum m_{finales} - \sum m_{initiales} = m({}_{52}^{135}\mathrm{Te}) + m({}_{42}^{102}\mathrm{Mo}) + 3m({}_{0}^{1}\mathrm{n}) - m({}_{94}^{239}\mathrm{Pu}) - m({}_{0}^{1}\mathrm{n})$
$\Delta m = m({}_{52}^{135}\mathrm{Te}) + m({}_{42}^{102}\mathrm{Mo}) + 2\cdot m({}_{0}^{1}\mathrm{n}) - m({}_{94}^{239}\mathrm{Pu})$
Δm = $(134{,}9167 + 101{,}9103 + 2\times1{,}0089 - 239{,}0530) \times 1{,}66043\times10^{-27} =$ **$-\ 3{,}4570\times10^{-28}$ kg**
$\Delta m < 0$ car toute réaction nucléaire s'accompagne d'une perte de masse.
La perte de masse est donc de $3{,}4570\times10^{-28}$ kg.

2.2. $\boxed{E_{lib} = \Delta m\cdot c^2}$ où Δm est la variation de masse (et non le défaut de masse)
$E_{lib} = -3{,}4570\times10^{-28}\times(2{,}9979\times10^{8})^2 = -3{,}1070\times10^{-11}$ J

$$\mathbf{E_{lib}} = -\frac{3{,}1070\times10^{-11}}{1{,}6022\times10^{-13}} = \mathbf{-193{,}92\ MeV}$$

Le système {réactifs} cède de l'énergie au milieu extérieur, on la compte négativement.
Pour le système {milieu extérieur}, l'énergie reçue est compté positivement.

3.1. $\boxed{E_{lib} = E\ell({}_{94}^{239}\mathrm{Pu}) - (E\ell({}_{52}^{135}\mathrm{Te}) - E\ell({}_{42}^{102}\mathrm{Mo})}$
E_{lib} = $1{,}79\times10^{3} - 1{,}12\times10^{3} - 8{,}64\times10^{2} =$ **-194 MeV**
Les deux valeurs obtenues sont **identiques** si l'on conserve trois chiffres significatifs.

3.2 Te : $E\ell/A = 1{,}12\times10^{3}/135 =$ **8,30 MeV/nucléon**
Mo : $E\ell/A = 8{,}64\times10^{2}/102 =$ **8,47 MeV/nucléon**
Pu : $E\ell/A = 1{,}79\times10^{3}/239 =$ **7,49 MeV/nucléon**
Le noyau le moins stable est celui qui a l'énergie de liaison par nucléons la plus faible, soit le plutonium.
Les noyaux formés sont plus stables que le noyau de plutonium fissile.

3.3. L'énergie de liaison par nucléon du plutonium étant plus faible que celles des noyaux fils (molybdène et tellure), ses nucléons sont moins liés entre eux. Le noyau père Pu est donc moins stable, il se casse sous l'impact d'un neutron, en libérant 194 MeV vers le milieu extérieur.

Exercice 2

1. L'antimatière au voisinage de la Terre

1.1. Exploitation du texte

1.1.1. $E = m.c^2$ Il s'agit de l'équivalence masse-énergie.

E : énergie de masse en joules (J) d'une particule au repos.

m : masse de la particule en kilogrammes (kg).

c : célérité de la lumière dans le vide en $m \cdot s^{-1}$.

1.1.2. D'après Einstein, il y a équivalence entre la masse et l'énergie. Au cours de l'annihilation, la masse des particules est convertie en énergie sous forme de rayonnement.

1.2. Énergie créée lors de l'éruption solaire de juillet 2002

1.2.1. ${}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{1}e \rightarrow 2\,{}^{0}_{0}\gamma$

1.2.2. $E_{lib} = (\Sigma m_f - \Sigma m_i) \times c^2$

$E_{lib} = 0 - (m_{électron} + m_{positon}) \times c^2 = -\,2 \cdot m_{électron} \times c^2$

$E_{lib} = -\,2 \times 9{,}109 \times 10^{-31} \times (2{,}998 \times 10^{8})^2 = -1{,}63743457 \times 10^{-13}\ J = \mathbf{-1{,}637 \times 10^{-13}\ J}$

Le système {positon + électron} cède $1{,}637 \times 10^{-13}$ J au milieu extérieur.

1.2.3. En 2002, l'éruption solaire a formé 0,5 kg d'antimatière, soit 0,5 kg de positons.
Or l'énergie précédente est celle libérée pour la consommation d'un seul positon de masse $9{,}109 \times 10^{-31}$ kg.
Soit N le nombre de positons contenus dans un demi-kilogramme d'antimatière.
$E = N.\ E_{lib}$

$$E = \frac{0{,}500}{9{,}109 \times 10^{-31}} \times -1{,}63743457 \times 10^{-13} = -\,8{,}988 \times 10^{16}\ J$$

Or $1\ W \cdot h = 3600\ J$

$$E = \frac{-8{,}988 \times 10^{16}}{3600} = -\,2{,}497 \times 10^{13}\ W \cdot h = -2{,}497 \times 10^{4} \times 10^{9}\ W \cdot h = -2{,}497 \times 10^{4} GW \cdot h$$

L'éruption solaire a fourni $2{,}497 \times 10^4$ GW·h au milieu extérieur. Ce qui correspond à environ 21 jours ($2{,}497 \times 10^4$ / 1200) de consommation électrique en France.

2. La création d'éléments radioactifs artificiels

2.1. Étude de la réaction 1

2.1.1. Une « particule alpha » est un **noyau d'hélium** ${}^{4}_{2}He$.

2.1.2. Réaction 1 **:** transformation nucléaire provoquée ${}^{4}_{2}He + {}^{27}_{13}Al \rightarrow {}^{30}_{15}P + {}^{1}_{0}n$ **.**

2.1.3. $\Delta E = (\Sigma m_f - \Sigma m_i) \times c^2 = (m_n + m(P) - m(He) - m(Al)) \times c^2$

2.1.4. **Méthode 1 :**

$\Delta E = (\Sigma m_f - \Sigma m_i) \times c^2 = (m_n + m(P) - m(He) - m(Al)) \times c^2$ avec **m en kg**

$\Delta E = (1{,}008\,66 + 29{,}970\,1 - 4{,}001\,50 - 26{,}974\,4) \times 1{,}660\,43 \times 10^{-27} \times (2{,}998 \times 10^{8})^2$

$\Delta E = 0{,}00286 \times 1{,}660\,43 \times 10^{-27} \times (2{,}998 \times 10^{8})^2 = 4{,}27 \times 10^{-13}\ J$

$\Delta E(MeV) = \Delta E(J) / 1{,}602 \times 10^{-13} = \mathbf{2{,}66\ MeV}$

Méthode 2 (plus rapide !) :

Sachant que 1 u correspond à une énergie de 931,5 MeV, il suffit d'exprimer la variation de masse en u et de la multiplier par 931,5 pour avoir l'énergie libérée en MeV.

$\Delta E = (1{,}008\,66 + 29{,}970\,1 - 4{,}001\,50 - 26{,}974\,4) \times 931{,}5 = 0{,}00286 \times 931{,}5 = \mathbf{2{,}66\ MeV}$

Cette réaction provoque **un gain de masse** $\Sigma m_f - \Sigma m_i > 0$.

2.2. Étude de la réaction 2

2.2.1. ${}^{30}_{15}P \rightarrow {}^{0}_{1}e + {}^{30}_{14}Si$ Il s'agit d'une **désintégration β^+** qui libère un positon.

2.2.2. C'est une réaction nucléaire **spontanée qui provoque une perte de masse**.
Elle fournit de l'énergie au milieu extérieur, donc $E_{lib} < 0$ car $(\Sigma m_f - \Sigma m_i) < 0$.

3. <u>**Décroissance radioactive du phosphore**</u>

3.1. L'activité est égale au nombre moyen de désintégrations chaque seconde.

$A(t) = A_0 . e^{-\lambda\times t}$

A_0 activité à la date t = 0 exprimée en becquerels
λ constante radioactive exprimée en s^{-1}
t date exprimée en s

3.2. Le temps demi-vie $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle la population d'un échantillon radioactif a été divisé par deux. Il en est de même pour l'activité.

$$A(t_{1/2}) = \frac{A_0}{2}$$

$$A_0 . e^{-\lambda\times t_{1/2}} = \frac{A_0}{2}$$

$$e^{-\lambda\times t_{1/2}} = \frac{1}{2} \text{ donc } \frac{1}{e^{\lambda\times t_{1/2}}} = \frac{1}{2} \text{ soit } e^{\lambda\times t_{1/2}} = 2$$

$$\ln(e^{\lambda\times t_{1/2}}) = \ln 2$$

Soit $\lambda \times t_{1/2} = \ln 2$

Finalement $t_{1/2} = \dfrac{\ln 2}{\lambda}$.

3.3. $A(t_1) = A_1 = A_0 . e^{-\lambda\times t_1}$

$\ln(A(t_1)) = \ln A_1 = \ln (A_0 . e^{-\lambda . t_1}) = \ln A_0 - \lambda . t_1$

$\lambda . t_1 = \ln A_0 - \ln A_1$

$\dfrac{\ln 2}{t_{1/2}} . t_1 = \ln \dfrac{A_0}{A_1}$

$t_1 = (\ln \dfrac{A_0}{A_1}) \times \dfrac{t_{1/2}}{\ln 2}$

$t_1 = (\ln \dfrac{7,2\times 10^{13}}{9,0\times 10^{12}}) \times \dfrac{156}{\ln 2} = 468 \text{ s} = \mathbf{4,7\times 10^2 \text{ s}}$

3.4. $\dfrac{A_0}{A_1} = \dfrac{7,2\times 10^{13}}{9,0\times 10^{12}} = 8,0$

$A_1 = A_0/8$ L'activité initiale a été divisée par 8.

Or au bout de $t_{1/2}$ elle est divisée par deux, au bout de $2.t_{1/2}$ elle est divisée par quatre, et au bout de $3.t_{1/2}$ elle est divisée par huit.

Soit $t_1 = 3.t_{1/2}$

$t_1 = 3\times 156 =$ **468 s**