

Série de TD N°2, Radioactivité et réaction nucléaire

Exercice 01.

- Quel est le nombre de masse et le numéro atomique des atomes suivants : $^{12}_6\text{C}$; $^{16}_8\text{O}$; $^{16}_8\text{O}^{2-}$; $^{35}_{17}\text{Cl}^-$; $^{127}_{53}\text{I}^-$; $^{40}_{20}\text{Ca}$; $^{40}_{20}\text{Ca}^{2+}$; $^{27}_{13}\text{Al}^{3+}$.
- Donner le nombre de protons, de neutrons et d'électrons pour chaque atome.

Exercice 02.

Le cuivre naturel (^{29}Cu) est composé de 2 isotopes stables dont les masses atomiques (en u.m.a) sont respectivement $M(^{63}\text{Cu}) = 62,929$ et $M(^{65}\text{Cu}) = 64,927$.

- Donner la constitution des noyaux des 2 isotopes.
- Sachant que la masse atomique du cuivre naturel est de 63,502 u.m.a, calculer l'abondance pondérale des deux isotopes.

Exercice 03.

Le fer naturel ^{26}Fe est constitué de quatre isotopes stables (n°1 à n°4) dont les abondances naturelles sont indiquées ci-dessous :

Isotope	n°1	n°2	n°3	n°4
Masse atomique (u.m.a)	53,9399	55,9349	56,9350	57,9330
Abondance (%)	5,84	91,75	2,12	0,28

- Donner la constitution de chacun de ces isotopes.
- Trouver la masse moyenne naturelle du fer.
- Calculer le défaut de masse en (u.m.a) du noyau $^{56}_{26}\text{Fe}$.
- Calculer l'énergie de liaison par nucléon E_l/A de $^{56}_{26}\text{Fe}$ en J/ nucléon puis en MeV/ nucléon.
- Calculer L'énergie libérée lors de la formation d'1 mole de Fer ($^{56}_{26}\text{Fe}$).

Données : $m_n = 1,0086$ u.m.a, $m_p = 1,0073$ u.m.a, $c = 3.10^8$ m.s⁻¹.

Exercice 04.

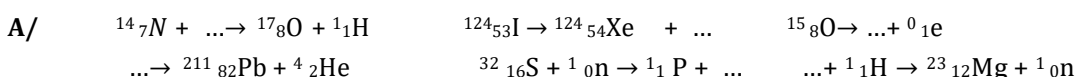
Considérons les deux atomes suivants : $^{235}_{92}\text{U}$ et $^{140}_{54}\text{Xe}$

Comparer la stabilité du noyau d'uranium (^{235}U) à celle du noyau de Xénon (^{140}Xe)

Données : $m_n = 1,0086$ u.m.a, $m_p = 1,0073$ u.m.a, $m_U = 234,9942$ u.m.a et $m_{Xe} = 139,9252$ u.m.a.

Exercice 05.

I. Compléter les réactions nucléaires suivantes. Pour chaque équation, indiquer le type de réaction dont il s'agit :



II. Compléter les réactions nucléaires suivantes en indiquant la nature de chaque réaction:

1. ${}^9_4\text{Be} (\dots\alpha){}^5_3\text{Li}$;
2. ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow \dots + {}^1_0\text{n}$;
3. ${}^{24}_{12}\text{Mg} (\text{d}, \alpha) \dots$;
4. ${}^{14}_7\text{N} + \dots \rightarrow {}^{16}_8\text{O} + {}^2_1\text{H}$;
5. ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{132}_{51}\text{Sb} + {}^{101}_{41}\text{Nb} + \dots$;
6. ${}^{27}_{13}\text{Al} (\alpha, \dots) {}^{30}_{15}\text{P}$.

Exercice 06.

L'astate ${}^{210}_{85}\text{At}$ est un radioélément qui se désintègre en donnant la particule α et un noyau fils ${}^A_Z\text{Y}$.

- 1) Écrire l'équation de la désintégration en précisant les nombres A et Z.
- 2) Quelle est en joule, eV et MeV l'énergie mise en jeu au cours de cette réaction nucléaire.

Données : $m({}^4\text{He}) = 4,0026 \text{ u.m.a}$; $m({}^3\text{He}) = 3,0116 \text{ u.m.a}$; $m({}^{210}\text{At}) = 209,9871 \text{ u.m.a}$; $m({}^A_Z\text{Y}) = 205,9785 \text{ u.m.a}$;

Exercice 07.

L'isotope radioactif du cobalt ${}^{60}_{27}\text{Co}$ se désintègre en émettant un rayonnement β^- .

A l'instant initial, son activité est de **7,805 10^{-6} Ci**. Au bout de **deux** années, elle est de **6 10^{-6} Ci**.

- 1- Écrire la réaction de désintégration nucléaire, en précisant la constitution du noyau formé
- 2- Déterminer la constante radioactive λ du cobalt.
- 3- Calculer la masse de Cobalt, non désintégrée, au bout de **deux** ans d'activité.

Données : $M({}^{60}\text{Co}) = 59,934 \text{ u.m.a}$; $1\text{Ci (Curie)} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ d.p.s}$

Exercice 08.

On dispose d'un échantillon constitué de $m_0 = 280 \text{ mg}$ de radon 222 émetteur de rayonnement alpha (α). La période de ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ est de 3.8 jours.

1. Écrivez la réaction de désintégration du noyau de ${}^{222}_{86}\text{Rn}$.
2. Calculer l'activité en Becquerel de l'échantillon de Rn à l'instant $t=0$.
3. Quel nombre de noyau de radon reste-t-il au bout de 15 jours ?
4. Calculer le temps t au bout duquel 90% des noyaux se sont désintégrés.

Exercice supplémentaire

1. Par radioactivité naturelle, le radium (${}^{226}_{88}\text{Ra}$) se transforme en gaz inerte et en radon (${}^{222}_{86}\text{Rn}$). Une désintégration de 35,38% de radium a lieu tous les 1000 ans.

- a) Déterminer la constante radioactive de cette transformation et la période T.
- b) Quelle est la masse du radium dont l'activité est de 1Ci ?

2. Quelle est l'activité, exprimée en curie d'une source radioactive constituée par 500 mg de Strontium (${}^{90}_{38}\text{Sr}$) si sa période est de 28 ans.

- a) Que devient cette activité un an plus tard.
- b) Au bout de combien de temps cette activité est réduite de 10%.

Corrigé de la série de TD n°2, Radioactivité et réaction nucléaire

Exercice 01.

La composition des atomes sont :

Atomes	Numéro atomique ou Nbre de proton Z	Nombre de masse A	Nbre de neutron N (A-Z)	Nbre d'électron	La charge
$^{12}_6\text{C}$	6	12	12-6=6	6	0
$^{16}_8\text{O}$	8	16	16-8=8	8	0
$^{16}_8\text{O}^{2-}$	8	16	16-8=8	8-(-2)=10	-2
$^{35}_{17}\text{Cl}^-$	17	35	35-17=18	17-(-1)=18	-1
$^{127}_{53}\text{I}^-$	53	127	74	54	-1
$^{40}_{20}\text{Ca}$	20	40	40-20=20	20	0
$^{40}_{20}\text{Ca}^{2+}$	20	40	40-20=20	20-(+2)=22	+2
$^{27}_{13}\text{Al}^{3+}$	13	27	14	10	+3

Exercice 02.

$$1- \begin{array}{ll} {}^{63}_{29}\text{Cu} & A=63 \\ Z=29 & Z=29 \\ N=34 & N=36 \end{array} \quad \begin{array}{ll} {}^{65}_{29}\text{Cu} & A=65 \\ Z=29 & Z=29 \\ N=36 & N=36 \end{array}$$

$$2- \text{Cu (naturel)} = 63,502 \text{ u.m.a}$$

$$M_{\text{naturel}} = \sum M_i x_i / 100$$

$$\text{Avec } \sum x_i = 100$$

$$x {}^{63}\text{Cu} = 71.33\% \quad \text{ET} \quad x {}^{65}\text{Cu} = 100 - 71.33 = 28.67\%$$

Exercice 03.

1. La constitution des 4 isotopes :

	Nbre de masse (A)	Protons (Z)	Nbre d'électrons	Neutrons (N)
Isotope 1	54	26	26	28
Isotope 2	56			30
Isotope 3	57			31
Isotope 4	58			32

2. La masse moyenne (\bar{M}) naturelle du fer :

$$\Rightarrow \bar{M} = \frac{M_1 \cdot \chi_1\% + M_2 \cdot \chi_2\% + M_3 \cdot \chi_3\% + M_4 \cdot \chi_4\%}{100\%}$$

$$\bar{M} = \frac{53,9399 \times 5,84\% + 55,9349 \times 91,75\% + 56,925 \times 2,12\% + 57,933 \times 0,28\%}{100\%}$$

$$\bar{M} = 55,8396 \text{ g.mol}^{-1}$$

3. Le défaut de masse du noyau $^{56}_{26}\text{Fe}$ en uma :

$$\Delta m = (Z \cdot m_p + N \cdot m_n) - ({}^{56}_{26}\text{Fe})$$

$$\Delta m = (26 \times 1,0073 + 30 \times 1,0086) - 55,9349 \quad \Delta m = 0,5129 \text{ u.m.a}$$

4. Calcul de l'énergie de liaison par nucléon E_l/A de ${}^{56}_{26}\text{Fe}$:

$$E_l = \Delta m \cdot c^2 ;$$

$$E_l = 0,5129 \times 1,66 \cdot 10^{-27} \times (3 \cdot 10^8)^2 = 7,6627 \cdot 10^{-11} \text{ J Ou J/noyau}$$

$$\frac{E_l}{A} = \frac{7,6627 \cdot 10^{-11}}{56} = 0,1368 \times 10^{-11} \text{ J/nucléon} = 0,0855 \times 10^8 \text{ eV} = 8,55 \text{ MeV/nucléon}$$

5. L'énergie libérée lors de la formation d'1 mole de Fe :

$$\Delta E = 7,6627 \cdot 10^{-11} \cdot 6,023 \cdot 10^{23} = 4,615 \cdot 10^{13} \text{ J.mol}^{-1}$$

Exercice 04.

L'énergie de liaison par nucléon $\frac{E_l}{A}$ d'un noyau est donnée par la relation :

$$\frac{E_l}{A} = \frac{\Delta m \cdot c^2}{A} \text{ Avec } \Delta m = (Z \cdot m_p + N \cdot m_n) - m(\text{noyau})$$

$$\Delta E = \Delta m \times c^2 \text{ Avec, } \Delta m \text{ en [Kg] et } c \text{ en [m.s}^{-1}]$$

Pour l'uranium : $\Delta m = (92 \times 1,0073 + 143 \times 1,0086) - 234,9942 = 1,9072 \text{ u.m.a}$

$$\frac{E_l}{A} = \frac{1,9072 \times 1,66 \cdot 10^{-27} \times (3 \cdot 10^8)^2}{235} = 0,1212 \times 10^{-11} \text{ J/nucléon} = 0,1212 \times 10^{-11} / 1,66 \cdot 10^{-13} = 7,57 \text{ MeV/nucléon.}$$

Pour le xénon : $\Delta m = (54 \times 1,0073 + 86 \times 1,0086) - 139,9252 = 1,2086 \text{ u.m.a}$

$$\frac{E_l}{A} = \frac{1,2086 \times 1,66 \cdot 10^{-27} \times (3 \cdot 10^8)^2}{140} = 0,1289 \times 10^{-11} \text{ J/nucléon.} = 8,056 \text{ MeV/nucléon.}$$

Ou bien $\frac{E_l}{A} = \Delta m \times 933,75 \text{ (MeV)}$ On peut passer de l'uma au MeV en multipliant l'uma par **933,75**

$$\text{Uranium } \frac{E_l}{A} = \frac{\Delta m \times 933,75}{A} = \frac{1,9072 \times 933,75}{235} = 7,57 \text{ MeV/nucléon.}$$

$$\text{Xénon : } \frac{E_l}{A} = \frac{\Delta m \times 933,75}{A} = \frac{1,2086 \times 933,75}{140} = 8,06 \text{ MeV/nucléon.}$$

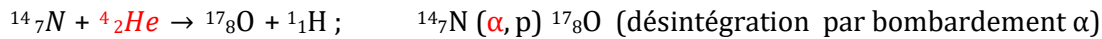
$$\left(\frac{E_l}{A}\right)_{\text{Xénon}} > \left(\frac{E_l}{A}\right)_{\text{Uranium}} \Rightarrow \text{le xénon est plus stable que l'uranium}$$

La règle dit que : "Les noyaux dont l'énergie de liaison par nucléon est la plus grande sont les plus stables." Donc d'après les résultats obtenus de calcul E_l/A on peut déduire que le **l'xénon** est le plus stable par rapport à l'Uranium

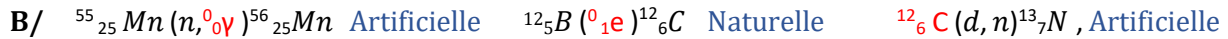
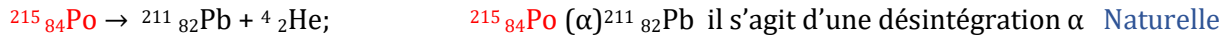
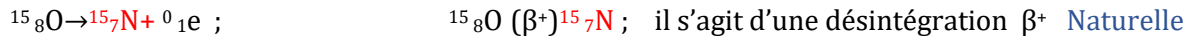
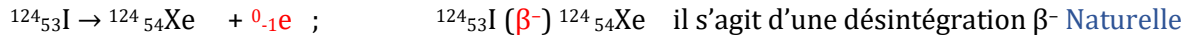
Exercice 05.

I.

A/



Artificielle



II.

- $^9_4\text{Be} (\beta^+, \alpha) ^5_3\text{Li}; \text{ il s'agit d'une réaction de Transmutation}$
- $^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n}; \text{ il s'agit d'une réaction de Fusion}$
- $^{24}_{12}\text{Mg} (d, \alpha) ^{22}_{11}\text{Na}; \text{ il s'agit d'une réaction de Transmutation}$
- $^{14}_7\text{N} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{16}_8\text{O} + ^2_1\text{H} \text{ (Transmutation)}$
- $^{235}_{92}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{132}_{51}\text{Sb} + ^{101}_{41}\text{Nb} + ^3_1\text{n}; \text{ il s'agit d'une réaction de Fission}$
- $^{27}_{13}\text{Al} (\alpha, ^1_0\text{n}) ^{30}_{15}\text{P}; \text{ il s'agit d'une réaction de Transmutation}$

Exercice 06.

- $^{210}_{85}\text{At} \rightarrow ^A_Z\text{Y} + ^4_2\text{He} \quad A = 206 \quad Z = 83$
- $|\Delta m| = [m(\text{Y}) + m(\alpha)] - [m(\text{At})] = [205,9785] + 4,0026 - [209,9871] = 0,006 \text{ u.m.a}$
 $\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = 8,96 \cdot 10^{-13} \text{ J} = 5,6 \cdot 10^6 \text{ eV} = 5,6 \text{ MeV}$

Exercice 07.

- $^{60}_{27}\text{Co} \rightarrow ^0_{-1}\text{e} + ^{60}_{28}\text{X}$ Le noyau de l'élément formé $^{60}_{28}\text{X}$ contient 28 protons et 32 neutrons
- $N_t = N_0 \exp(-\lambda t) \rightarrow A_t = A_0 \exp(-\lambda t) \rightarrow \lambda t = \ln\left(\frac{A_0}{A_t}\right) \rightarrow \lambda = \frac{1}{t} \ln\left(\frac{A_0}{A_t}\right) = 4,17 \cdot 10^{-9} \text{ s}^{-1}$
- $\frac{A_t}{\lambda} = N_t = 5,3237 \cdot 10^{13} \text{ noyaux}$
 $N_t = m_t \cdot N_A / M \Rightarrow m_t = N_t \cdot M / N_A = 5,43 \cdot 10^{-9} \text{ g}$

Exercice 08.

- $^{228}_{86}\text{Rn} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^{224}_{84}\text{Y} \text{ (} ^{224}_{84}\text{Po) ;}$
- $N_0 = m_0 \cdot N_A / M = 280 \cdot 10^{-3} \cdot 6,023 \cdot 10^{23} / 222 = 7,596 \cdot 10^{20} \text{ noyaux}$
 $A_0 = \lambda N_0 \text{ avec } \lambda = \ln 2 / T = \ln 2 / [3,8 \cdot 24 \cdot 3600] = 2,11 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$
 $A_0 = 2,11 \cdot 10^{-6} \cdot 7,596 \cdot 10^{20} = 1,6 \cdot 10^{15} \text{ dps (ou Bq)} \quad 1 \text{ dps} = 1 \text{ Bq}$
 $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq ou dps}$
- $N_t = N_0 e^{-\lambda t}$ d'où N_t : nombre de noyaux restant, N_0 : nombre de noyaux initial
 $N_0 - N_t :$
 $N_t = 7,596 \cdot 10^{20} \exp(-2,11 \cdot 10^{-6} \cdot 15 \cdot 24 \cdot 3600) = 4,9315 \cdot 10^{19} \text{ noyaux}$
- $N_t = 0,1 N_0 \Rightarrow N_t = N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow 0,1 N_0 = N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow 0,1 = e^{-\lambda t}$

$$\Rightarrow t = -\ln 0.1 \cdot T / \ln 2 = 12.68 \text{ jours.}$$

Exercice supplémentaire

$N_t = N_0 e^{-\lambda t}$, N_t : nombre de noyaux restant, N_0 : nombre de noyaux initial
 $N_0 - N_t$: nombre de noyaux désintégrés = 35,3 % $N_{\text{rest}} = 100 - 35,38 = 64,62$

$$\ln N_0 / N_t = -\lambda t,$$

$$\lambda = 1/t \ln N_0 / N_t = 1/1000 \ln 100/64,62 = 0,436 \times 10^{-3} \text{ ans}$$

$$\text{La période } T = \ln 2 / \lambda = \ln 2 / 0,436 \times 10^{-3} = 1589,8 \text{ ans.}$$

Masse du radium ^{226}Ra

$$A_0 = \lambda N_0 \quad 1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ dps}$$

$$\lambda N = 3,7 \times 10^{10} \text{ dps},$$

$$N = 3,7 \times 10^{10} / \lambda$$

$$226 \text{ g de Ra} \rightarrow N \text{ noyaux}$$

$$m \rightarrow N'$$

$$m = 226 N / N' M$$

$$m = 3,7 \times 10^{10} / \lambda \times 226 / N' = 1 \text{ g}$$

$$\text{b) } \lambda = \ln 2 / T = \ln 2 / 28 = 2,47 \times 10^{-2} \text{ an}^{-1}$$

$$N' = m / M \times N = 0,5 / 90 \times 6,023 \times 10^{23} = 3,34 \times 10^{21} \text{ noyaux}$$

$$A_0 = \lambda N_0 = 3,34 \times 10^{21} \times 2,47 \times 10^{-2} = 8,26 \times 10^{19} \text{ dp ans}$$

$$A = 2,26 \times 10^{12} \text{ dps} = 71 \text{ Ci}$$

$$\text{- Un an plus tard } A = A_0 \cdot e^{-\lambda t} = 71 \times e^{-2,47 \cdot 10^{-2} (1)} = 69,4 \text{ Ci}$$

- Une réduction de 10 % de l'activité initiale

$$A = 0,9 \times A_0, \quad 0,9 \times A_0 = A_0 \times e^{-\lambda t} \Rightarrow 0,9 = e^{-\lambda t} \Rightarrow T = -\ln 0,9 / \lambda = 4,7 \text{ ans.}$$