Université A/MIRA, Bejaia
Faculté de Technologie
Département de Technologie. 1ère année LMD

L-1 2023/2024

Série de TD N°2, Radioactivité et réaction nucléaire

Exercice 01.

1. Quel est le nombre de masse et le numéro atomique des atomes suivants : $^{12}_{6}C$; $^{16}_{8}O$; $^{16}_{8}O^{2-}$; $^{35}_{17}Cl^{-}$; $^{127}_{53}I$- $^{40}_{20}Ca$; $^{40}_{20}Ca^{2+}$; $^{27}_{13}Al^{3+}$.
2. 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}Cu)= 62,929 et M(^{65}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

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

Données : mn = 1,0086 u.m.a, mp = 1,0073 u.m.a, c = 3.10^{8} $m.s^{-1}$.

Exercice 04.

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

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 :

A/ $^{14}_{7}N$ + …→ $^{17}_{8}O$ + $^{1}_{1}H$ $\qquad$ $^{124}_{53}I \rightarrow {}^{124}_{54}Xe$ + … $\qquad$ $^{15}_{8}O$→ …+ $^{0}_{1}e$

…→ $^{211}_{82}Pb$ + $^{4}_{2}He$ $\qquad$ $^{32}_{16}S + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}P$ + … $\qquad$ …+ $^{1}_{1}H \rightarrow {}^{23}_{12}Mg + {}^{1}_{0}n$

B/ $^{55}_{25}Mn\,(n, \dots)^{56}_{25}Mn$; $\qquad$ $^{12}_{5}B(\dots)^{12}_{6}C$; $\qquad$ $\dots(d, n)^{13}_{7}N$

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

1. ${}^{9}_{4}Be$ (…α)${}^{5}_{3}Li$;
2. ${}^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow$ …$+{}^{1}_{0}n$;
3. ${}^{24}_{12}Mg$ (d, α) … ;
4. ${}^{14}_{7}N$ + …→ ${}^{16}_{8}O + {}^{2}_{1}H$;
5. ${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{132}_{51}Sb + {}^{101}_{41}Nb$ + …;
6. ${}^{27}_{13}Al$ (α, …) ${}^{30}_{15}P$.

Exercice 06.

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

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

Exercice 07.

L'isotope radioactif du cobalt ${}^{60}_{27}Co$ 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 (${}^{60}Co$)= 59,934 u.m.a ; 1Ci (Curie) = 3,7 10^{10} d.p.s

Exercice 08.

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

1. Écrivez la réaction de désintégration du noyau de ${}^{222}_{86}Rn$.
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 (${}^{226}88Ra$) se transforme en gaz inerte et en radon (${}^{222}86Rn$). 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 (${}^{90}Sc$) 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'electron	La charge
${}^{12}_{6}C$	6	12	12-6=6	6	0
${}^{16}_{8}O$	8	16	16-8=8	8	0
${}^{16}_{8}O^{2-}$	8	16	16-8=8	8-(-2)=10	-2
${}^{35}_{17}Cl^{-}$	17	35	35-17=18	17-(-1)=18	-1
${}^{127}_{53}I^{-}$	53	127	74	54	-1
${}^{40}_{20}Ca$	20	40	40-20=20	20	0
${}^{40}_{20}Ca^{2+}$	20	40	40-20=20	20-(+2)=22	+2
${}^{27}_{13}Al^{3+}$	13	27	14	10	+3

Exercice 02.

1- ${}^{63}_{29}Cu$ A=63 ${}^{65}_{29}Cu$ A=65
Z=29 Z=29
N=34 N=36.

2- *Cu* (naturel)= 63,502 u.m.a
M naturel= ∑Mixi/100
Avec ∑xi=100
$x\,{}^{63}Cu$ =71.33% *ET* *$x\,{}^{65}Cu$ =100-71.33 =28.67%*

Exercice 03.

1. La constitution des 4 isotopes :

	Nbre de masse (A)	Protons (Z)	Nbre d'electrons	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 :

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

$$\bar{M} = \frac{53{,}9399 \times 5{,}84\% + 55{,}9349 \times 91{,}75\% + 56{,}925 \times 2{,}12\% + 57.933 \times 0.28\%}{100\%}$$

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

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

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

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

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

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

$\boldsymbol{E_l} = 0{,}5129 \times 1{,}66.\ 10^{-27} \times (3.10^8)^2 = \mathbf{7{,}6627.10^{-11}}\ J$ Ou J/noyau

$\underline{\boldsymbol{E_l/A}} = \dfrac{7{,}6627.\ 10^{-11}}{56} = \mathbf{0{,}1368 \times 10^{-11}}\ \boldsymbol{J/nucléon} = 0{,}0855 \times 10^8\ \text{eV}$
$= \mathbf{8{,}55}\ \boldsymbol{MeV/nucléon}$

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

$\Delta E = 7{,}6627.10^{-11}.6{,}023.10^{23} = \mathbf{4{,}615\ 10^{13}}\ J.mol^{-1}$

Exercice 04.

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

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

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

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

$E_l/A = 1{,}9072 \times 1{,}66.\ 10^{-27} \times (3.10^8)^2\ /235 = 0{,}1212 \times 10^{-11}\ \boldsymbol{J/nucléon}$
$=0{,}1212 \times 10^{-11}/1{,}66.10^{-13} = 7{,}57\ MeV/\text{nucléon.}$

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

$E_l/A = 1{,}2086 \times 1{,}66.\ 10^{-27} \times (3.10^8)^2/140 = 0{,}1289 \times 10^{-11}\ J/\text{nucléon.} = 8{,}056\ MeV/\text{nucléon.}$

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

Uranium $\frac{E_l}{A} = \frac{\Delta m \times 933{,}75}{A} = \frac{1{,}9072 \times 933.75}{235} = 7{,}57\ MeV/\text{nucléon}.$

Xénon : $\frac{E_l}{A} = \frac{\Delta m \times 933{,}75}{A} = \frac{1{,}2086 \times 933.75}{140} = 8{,}06\ MeV/\text{nucléon.}$

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

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

Exercice 05.

I.

A/

${}^{14}_{7}N + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{17}_{8}O + {}^{1}_{1}H$; ${}^{14}_{7}N\ (\alpha, p)\ {}^{17}_{8}O$ (désintégration par bombardement α) Artificielle

${}^{124}_{53}I \rightarrow {}^{124}_{54}Xe + {}^{0}_{-1}e$; ${}^{124}_{53}I\ (\beta^-)\ {}^{124}_{54}Xe$ il s'agit d'une désintégration β^- Naturelle

${}^{15}_{8}O \rightarrow {}^{15}_{7}N + {}^{0}_{1}e$; ${}^{15}_{8}O\ (\beta^+)\ {}^{15}_{7}N$; il s'agit d'une désintégration β^+ Naturelle

${}^{215}_{84}Po \rightarrow {}^{211}_{82}Pb + {}^{4}_{2}He$; ${}^{215}_{84}Po\ (\alpha)\ {}^{211}_{82}Pb$ il s'agit d'une désintégration α Naturelle

${}^{32}_{16}S + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}P + {}^{32}_{15}X = {}^{32}P$; ${}^{32}_{16}S\ (n, p)\ {}^{32}_{15}P$ Artificielle

${}^{23}_{11}Na + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{23}_{12}Mg + {}^{1}_{0}n$; ${}^{23}_{11}Na\ (p, n)\ {}^{23}_{12}Mg$; Artificielle

B/ ${}^{55}_{25}Mn\ (n, {}^{0}_{0}\gamma)\ {}^{56}_{25}Mn$ Artificielle ${}^{12}_{5}B\ ({}^{0}_{1}e)\ {}^{12}_{6}C$ Naturelle ${}^{12}_{6}C\ (d, n)\ {}^{13}_{7}N$, Artificielle

II.

1. ${}^{9}_{4}Be\ (\beta^+, \alpha)\ {}^{5}_{3}Li$; il s'agit d'une réaction de Transmutation
2. ${}^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n$; il s'agit d'une réaction de Fusion
3. ${}^{24}_{12}Mg\ (d, \alpha)\ {}^{22}_{11}Na$; il s'agit d'une réaction de Transmutation
4. ${}^{14}_{7}N + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{16}_{8}O + {}^{2}_{1}H$ (Transmutation)
5. ${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{132}_{51}Sb + {}^{101}_{41}Nb + 3\,{}^{1}_{0}n$; il s'agit d'une réaction de Fission
6. ${}^{27}_{13}Al\ (\alpha, {}^{1}_{0}n)\ {}^{30}_{15}P$; il s'agit d'une réaction de Transmutation

Exercice 06.

1. ${}^{210}_{85}At \rightarrow {}^{A}_{Z}Y + {}^{4}_{2}He$ A= 206 Z= 83
2. $|\Delta m|$ = [m(Y) + m(α)] - [m(At)] = [205,9785) + 4,0026] - [209,9871] = 0,006 u .m.a

   $\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = 8{,}96.10^{-13}$ J $= 5{,}6.10^{6}$ eV = 5,6 MeV

Exercice 07.

1) ${}^{60}_{27}Co \rightarrow {}^{0}_{-1}e + {}^{60}_{28}X$ Le noyau de l'élément formé ${}^{60}_{28}X$ contient 28 protons et 32 neutrons

2) $N_t = N_0 \exp(-\lambda t) \rightarrow A_t = A_0 \exp(-\lambda t) \rightarrow \lambda t = \ln\left(\frac{A_0}{A_t}\right) \rightarrow \lambda = \frac{1}{t}\ln\left(\frac{A_0}{A_t}\right) = 4{,}17\ 10^{-9}\ s^{-1}$

3) $\frac{A_t}{\lambda} = N_t = 5{,}3237 .10^{13}$ *noyaux* -

$N_t = m_t * NA/M \Rightarrow m_t = N_t * M / NA = 5{,}43\ 10^{-9}$ g

Exercice 08.

1. ${}^{228}_{86}Rn \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{224}_{84}Y$ (${}^{224}_{84}Po$) ;
2. $N_0 = m_0 * NA/M = 280\ 10^{-3} * 6.023\ 10^{23} / 222 = 7.596\ 10^{20}$ noyaux

   $A_0 = \lambda N_0$ avec $\lambda = Ln2/T = Ln2/[3.8 * 24 * 3600] = 2.11\ 10^{-6}\ s^{-1}$

   $A_0 = 2.11\ 10^{-6} * 7.596\ 10^{20} = 1.6\ 10^{15}$ dps (ou Bq) 1dps = 1 Bq

1 Ci = $3.7\ 10^{10}$ Bq ou dps

3. $N_t = N_0\, e^{-\lambda t}$ d'où N_t : nombre de noyaux restant, N_0 : nombre de noyaux initial$N_0 - N_t$:

$N_t = 7.596\ 10^{20} \exp(-2.11\ 10^{-6} * 15 * 24 * 3600) = 4.9315\ 10^{19}$ noyaux

4. $N_t = 0.1\ N_0 \Rightarrow N_t = N_0\, e^{-\lambda t} \Rightarrow 0.1\ N_0 = N_0\, e^{-\lambda t} \Rightarrow 0.1 = e^{-\lambda t}$

$\Rightarrow t = -\ln 0.1*T/\ln 2 = 12.68$ 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 % $N_{rest} = 100 - 35{,}38 = 64{,}62$

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

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

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

Masse du radium ^{226}Ra

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

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

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

226 g de Ra $\rightarrow$ N noyaux

m $\rightarrow$ N'

m= 226 N/N'M

$m = 3{,}7 \times 10^{10}/ \lambda \times 223/N' = 1$ g

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

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

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

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

- Un an plus tard $A = A_0 \cdot e^{-\lambda t} = 71 \times e^{-2{,}47.10^{-2}(1)} = 69{,}4$ Ci

- Une réduction de 10 % de l'activité initiale

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