

Exercices

Exercices d'application

5 minutes chrono !

1. Mots manquants

- isotopes
- noyau père ; noyau fils ; une particule
- de la charge électrique
- le nombre de désintégrations ; seconde ; le becquerel
- fusion
- radioactivité α
- de masse ; d'une libération

2. QCM

- Diminue.
- D'un positon.
- ${}_{86}^{222}\text{Rn}$.
- Une fission nucléaire.
- Trois.
- Kilogramme.

Mobiliser ses connaissances

Réactions nucléaires spontanées (§1 du cours)

3. a.

Noyau	élément	A	Z	N
${}_{84}^{210}\text{Po}$	polonium	210	84	126
${}_{84}^{204}\text{Po}$	polonium	204	84	120
${}_{6}^{12}\text{C}$	carbone	12	6	6
${}_{6}^{14}\text{C}$	carbone	14	6	8

b. Deux noyaux isotopes ont le même nombre de protons mais des nombres de neutrons différents (Z identiques mais A différents) : ${}_{6}^{14}\text{C}$ et ${}_{6}^{12}\text{C}$ sont isotopes.

De même, ${}_{84}^{210}\text{Po}$ et ${}_{84}^{204}\text{Po}$ sont isotopes.

4.a. ${}_{27}^{59}\text{Co}$: 27 protons et 32 neutrons ; ${}_{27}^{55}\text{Co}$: 27 protons et 28 neutrons.

b. ${}_{27}^{59}\text{Co}$ est stable car l'interaction forte assure la cohésion du noyau, elle compense la répulsion électrique entre protons et lie les protons et les neutrons entre eux.

Ce n'est pas le cas pour le noyau ${}_{27}^{55}\text{Co}$ qui ne contient pas suffisamment de neutrons pour que la cohésion du noyau soit assurée.

Sirius 1^{ère} S - Livre du professeur

Chapitre 11. Radioactivité et réactions nucléaires

5. a. Lois de Soddy : lors d'une réaction nucléaire, il y a conservation de la charge électrique et du nombre de nucléons.

b. ${}^A_Z X$ est le noyau père.

$Z = Z_1 + Z_2$: conservation de la charge électrique.

$A = A_1 + A_2$: conservation du nombre de nucléons.

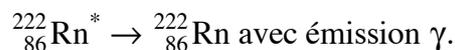
6. ${}^{28}_{13} Al \rightarrow {}^{28}_{14} Si + {}^0_{-1} e$, radioactivité β^- .

${}^{91}_{42} Mo \rightarrow {}^{91}_{41} Nb + {}^0_1 e$, radioactivité β^+ .

${}^{238}_{92} U \rightarrow {}^{234}_{90} Th + {}^4_2 He$, radioactivité α .

7.a. La désexcitation γ accompagne l'émission d'un noyau fils possédant un excès d'énergie, il est dit « excité ».

b. C'est un rayonnement électromagnétique de fréquence très élevée appelé « rayonnement gamma ».



8. a. L'activité, notée A , d'un échantillon radioactif est le nombre de désintégration qu'il produit par seconde. L'activité diminue au cours du temps.

b. À la date 5,3 ans, égale à la demi-vie, l'activité est divisée par 2.

À la date 10,6 ans, égale à deux demi-vie, l'activité est divisée par 4.

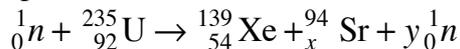
$$\dot{A} (t = 10,6 \text{ ans}) = \frac{2,0 \times 10^{11}}{4} = 5,0 \times 10^{10} \text{ Bq.}$$

Réactions nucléaires provoquées (§2 du cours)

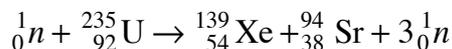
9. a. La fission est une réaction nucléaire au cours de laquelle un noyau lourd, dit fissile, est scindé en deux noyaux plus légers sous l'impact d'un neutron.

La fusion est une réaction nucléaire au cours de laquelle deux noyaux légers s'unissent pour donner un noyau plus lourd.

b. La première équation correspond à une réaction de fission :

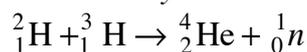


avec : $92 = 54 + x$ d'où $x = 92 - 54 = 38$ et $1 + 235 = 139 + 94 + y$ d'où $y = 3$.



La deuxième équation correspond à une réaction de fusion : ${}_1^2 H + {}_1^y H \rightarrow {}_2^4 He + {}_0^1 n$

avec : $1 + 1 = x$ d'où $x = 2$ et $2 + y = 4 + 1$ d'où $y = 3$.



Bilan d'énergie (§3 du cours)

10. a. $\mathcal{E}_{\text{libérée}} = |\Delta m| \times c^2$; unités : joule ; kg ; ms⁻¹.

b. $|\Delta m| = \frac{\mathcal{E}_{\text{libérée}}}{c^2}$; $|\Delta m| = \frac{2,00 \times 10^{-13}}{(2,99792458 \times 10^8)^2} = 2,22 \times 10^{-30} \text{ kg.}$

Utiliser ses compétences

11. a. Le technétium présente une forte fixation osseuse mais une faible fixation extra-osseuse.

b. La dose injectée par kg est : $400/50 = 8,0$ MBq/kg.

La prescription est correcte : $3,7 < 8,0 < 11,1$ MBq /kg.

c. D'après les données, l'échantillon radioactif est inactif après une durée égale à 20 fois sa demi-vie, soit $20 \times 6 = 120$ h.

Au bout de 48 h, le produit injecté est encore actif.

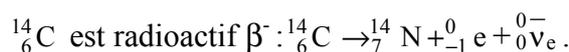
12. $|\Delta m| = \frac{E_{\text{libérée}}}{c^2}$

$$|\Delta m| = \frac{200 \times 10^6 \times 1,60218 \times 10^{-19}}{(2,99792458 \times 10^8)^2} = 3,57 \times 10^{-28} \text{ kg.}$$

13. a. Le noyau X₁ se note $^{14}_6\text{C}$; il est isotope des autres noyaux de carbone $^{12}_6\text{C}$, $^{13}_6\text{C}$, qui sont stables.

Comparé aux noyaux stables, $^{14}_6\text{C}$ possède un excès de neutrons (8 neutrons pour 6 protons).

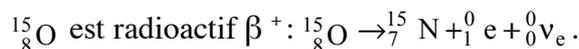
Au sein du noyau, un neutron se transforme en proton : $^1_0\text{n} \rightarrow ^1_1\text{p} + ^0_{-1}\text{e} + ^0_0\bar{\nu}_e$.



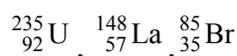
b. Le noyau X₂ se note $^{15}_8\text{O}$; il est isotope des autres noyaux d'oxygène $^{16}_8\text{O}$, $^{17}_8\text{O}$, qui sont stables.

Comparé aux noyaux stables, $^{15}_8\text{O}$ possède un déficit de neutrons (7 neutrons pour 8 protons).

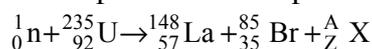
Au sein du noyau, un proton se transforme en neutron : $^1_1\text{p} \rightarrow ^1_0\text{n} + ^0_1\text{e} + ^0_0\nu_e$.



14. a. La classification périodique fournit le symbole et le nombre de charges des noyaux mis en jeu :



Le bombardement du noyau d'uranium par un neutron produit la fission :



La conservation de la charge électrique donne : $0 + 92 = 57 + 35 + Z$ d'où $Z = 0$; la particule émise est un neutron :



La conservation du nombre de masse impose $1 + 235 = 148 + 85 + x$ donc $x = 3$.



b. L'un des trois neutrons émis lors la fission peut à son tour heurter un noyau d'uranium et provoquer une deuxième fission : la fission peut donner naissance à une réaction en chaîne.

Exercices d'entraînement

15. Exercice résolu

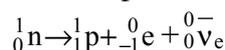
16. a. Le nombre de charges de l'azote est 7.

$^{17}_7\text{N}$: 7 protons et 10 neutrons, instable.

$^{14}_7\text{N}$: 7 protons et 7 neutrons, stable.

$^{17}_7\text{N} \rightarrow ^{17}_8\text{O} + ^0_{-1}\text{e} + ^0_0\bar{\nu}_e$, radioactivité β^-

Au sein du noyau, un neutron se transforme en proton :



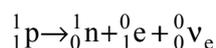
b. Le nombre de charges du fluor est 9.

$^{18}_9\text{F}$: 9 protons et 9 neutrons, instable.

$^{19}_9\text{F}$: 9 protons et 10 neutrons, stable.

$^{18}_9\text{F} \rightarrow ^{18}_8\text{O} + ^0_1\text{e} + ^0_0\nu_e$, radioactivité β^+ .

Au sein du noyau, un proton se transforme en neutron :



17.

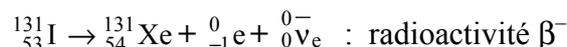
$^{238}_{94}\text{Pu} \rightarrow ^{234}_{92}\text{U} + ^4_2\text{He}$	radioactivité α
$^{131}_{53}\text{I} \rightarrow ^{131}_{54}\text{Xe} + ^0_{-1}\text{e} + ^0_0\bar{\nu}_e$	radioactivité β^-
$^{23}_{11}\text{Na} \rightarrow ^{23}_{10}\text{Ne} + ^0_1\text{e} + ^0_0\nu_e$	radioactivité β^+

18. a. $^{127}_{53}\text{I}$: 53 protons et 74 neutrons.

$^{131}_{53}\text{I}$: 53 protons et 78 neutrons.

L'iode 131 est qualifié d'artificiel car il n'existe pas dans la nature.

b. L'instabilité de l'iode 131 est due à un excès de neutrons :



c. La prise de comprimés contenant de l'iode 127 sature la glande thyroïde en isotopes non radioactifs, elle ne peut donc plus fixer l'iode radioactif.

19. $\mathcal{E}_{\text{libérée}} = |\Delta m| \times c^2$

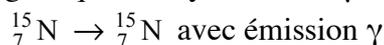
$\mathcal{E}_{\text{libérée}} = 1,660\,54 \times 10^{-27} \times (2,997\,924\,58 \times 10^8)^2$ en joule.

$\mathcal{E}_{\text{libérée}} = \frac{1,660\,54 \times 10^{-27} \times (2,997\,924\,58 \times 10^8)^2}{1,602\,18 \times 10^{-19}}$ en eV.

$\mathcal{E}_{\text{libérée}} = 931,5$ MeV.

20. a. $^{15}_8\text{O} \rightarrow ^{15}_7\text{N} + ^0_1\text{e} + ^0_0\nu_e$.

b. Il s'agit d'une onde électromagnétique, le rayonnement γ est émis par le noyau excité :



c. Par définition, l'activité est le nombre de désintégrations par seconde :

$$A(t_0) = 5,0 \times 10^3 \text{ Bq}$$

Sirius 1^{ère} S - Livre du professeur
Chapitre 11. Radioactivité et réactions nucléaires

La demi-vie étant de 2 min, l'activité est divisée par 2 toutes les 2 minutes :

- à la date $t_1 = 2$ min, $A(t_1) = A(t_0)/2 = 2,5 \times 10^3$ Bq ;

- à la date $t_2 = 8$ min, $A(t_2) = A(t_0)/2^4 = 3,1 \times 10^2$ Bq.

d. L'activité diminue rapidement car la demi-vie est de 2 min : l'irradiation subie par le patient est faible et cette radioactivité disparaissant en quelques heures, on peut faire plusieurs études des modifications de l'irrigation d'un organe chez le même sujet.

Par contre, l'activité diminuant très rapidement, elle serait trop faible pour permettre l'étude de processus physiologiques s'effectuant sur plusieurs jours.

21. a. ${}_{27}^{60}\text{Co} \rightarrow {}_{28}^{60}\text{Ni}^* + {}_{-1}^0\text{e} + {}_0^0\bar{\nu}_e$: radioactivité β^- .

${}_{28}^{60}\text{Ni}^* \rightarrow {}_{28}^{60}\text{Ni}$ avec émission γ , désexcitation du noyau fils.

b. L'énergie du photon est : $\Delta\mathcal{E} = h\nu$.

La fréquence : $\nu = \frac{\Delta\mathcal{E}}{h}$; $\nu = \frac{1,33 \times 10^6 \times 1,60218 \times 10^{-19}}{6,626 \times 10^{-34}} = 3,22 \times 10^{20}$ Hz

La valeur trouvée est en accord avec le diagramme des ondes électromagnétiques : c'est le domaine des rayons γ .

22. a. ${}_{84}^{210}\text{Po} \rightarrow {}_{82}^{206}\text{Pb} + {}_2^4\text{He}$.

b. $\Delta m = m({}_{82}^{206}\text{Pb}) + m({}_2^4\text{He}) - m({}_{84}^{210}\text{Po})$

$\Delta m = 205,9295 + 4,0015 - 209,9368$

$\Delta m = -5,80 \times 10^{-3}$ u

$|\Delta m| = 5,80 \times 10^{-3} \times 1,66054 \times 10^{-27}$ en kg

$\mathcal{E}_{\text{libérée}} = |\Delta m| \times c^2$

$\mathcal{E}_{\text{libérée}} = 9,6311 \times 10^{-30} \times (2,99792458 \times 10^8)^2$ en joule

$\mathcal{E}_{\text{libérée}} = \frac{9,6311 \times 10^{-30} \times (2,99792458 \times 10^8)^2}{1,60218 \times 10^{-19}}$ en eV

$\mathcal{E}_{\text{libérée}} = 5,40 \times 10^6$ eV soit 5,40 MeV.

23. a. ${}_{42}^{99}\text{Mo} \rightarrow {}_{43}^{99}\text{Tc} + {}_{-1}^0\text{e} + {}_0^0\bar{\nu}_e$, radioactivité β^-

b. $\Delta m = m({}_{43}^{99}\text{Tc}) + m({}_{-1}^0\text{e}) - m({}_{42}^{99}\text{Mo})$

$\Delta m = 98,88235 + 5,48579 \times 10^{-4} - 98,88437$

$\Delta m = -1,47142 \times 10^{-3}$ u

$\Delta m = -1,47142 \times 10^{-3} \times 1,66054 \times 10^{-27} = -2,44335 \times 10^{-30}$ kg

$\mathcal{E}_{\text{libérée}} = 2,44335 \times 10^{-30} \times (2,99792458 \times 10^8)^2$

$\mathcal{E}_{\text{libérée}} = 2,19597 \times 10^{-13}$ J

$\mathcal{E}_{\text{libérée}} = \frac{2,44335 \times 10^{-30} \times (2,99792458 \times 10^8)^2}{1,60218 \times 10^{-19}}$

$\mathcal{E}_{\text{libérée}} = 1,37 \times 10^6$ eV soit 1,37 MeV

24. a. $\Delta m = m({}_6^{12}\text{C}) - m({}_4^8\text{Be}) - m({}_2^4\text{He})$

$\Delta m = -0,01010$ u

b. $\mathcal{E}_{\text{libérée}} = |\Delta m| \times c^2$

$\mathcal{E}_{\text{libérée}} = 9,41$ MeV.

Sirius 1^{ère} S - Livre du professeur
Chapitre 11. Radioactivité et réactions nucléaires

c. Fusion de deux noyaux d'hélium :



d. Le carbone est formé à partir de trois noyaux ${}^4_2\text{He}$ dont deux forment le béryllium.

25. a. ${}^{16}_8\text{O}$: 8 protons et 8 neutrons.

b. (défaut de masse) = $(Z \times m_{\text{proton}} + (A - Z) \times m_{\text{neutron}}) - m_{\text{noyau}}$

$$\mathcal{E}_{\text{liaison}} = (\text{défaut de masse}) \times c^2$$

$$\mathcal{E}_{\text{liaison}} = 2,044\,52 \times 10^{-11} \text{ J} = 127,6 \text{ MeV.}$$

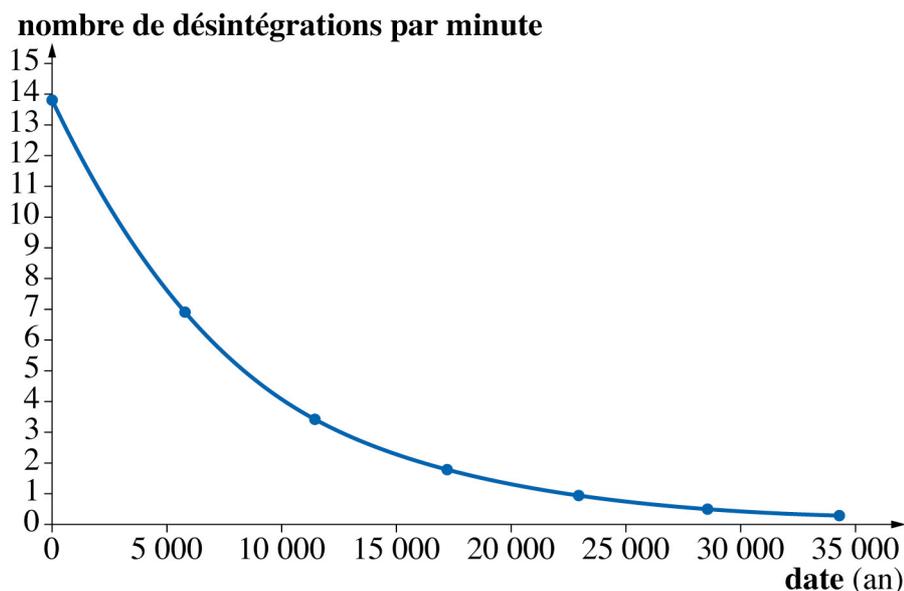
26. a. Radiologie : source externe de rayons X et obtention d'une image qui donne la forme, la taille... d'un organe.

Médecine nucléaire : source interne, utilisation d'un traceur radioactif administré au patient, et obtention d'images qui renseignent sur le fonctionnement de l'organe.

b. Les rayons X ont été découverts par Röntgen ; la radioactivité naturelle par Becquerel, Pierre et Marie Curie ; la radioactivité artificielle par Irène et Frédéric Joliot.

c. Quelques isotopes utilisés en imagerie médicale : le technétium 99 ; le fluor 18 ; l'oxygène 15 ; l'iode 123.

27. a. Nombre de désintégrations par minute en fonction du temps :



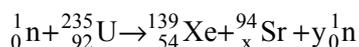
b. L'activité est le nombre de désintégrations par seconde et non par minute.

c. Par lecture graphique, $A = 1,5$ en ordonnée donne $t = 1,8 \times 10^4$ ans en abscisse.

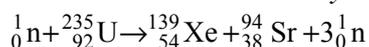
L'âge des peintures est $1,8 \times 10^4$ ans.

d. L'activité serait trop faible pour dater des objets ayant quelques millions d'années.

28. a. *Écrire l'équation de cette réaction.*



$$92 = 54 + x \text{ d'où } x = 92 - 54 = 38 \text{ et } 1 + 235 = 139 + 94 + y \text{ d'où } y = 3.$$



Sirius 1^{ère} S - Livre du professeur
Chapitre 11. Radioactivité et réactions nucléaires

b. Donner l'expression de la variation de masse en fonction des masses des entités mises en jeu dans cette réaction. Calculer sa valeur. Commenter son signe.

$$\Delta m = [m({}_{54}^{139}\text{Xe}) + m({}_{38}^{94}\text{Sr}) + 3 m({}_0^1\text{n})] - [m({}_{92}^{235}\text{U}) + m({}_0^1\text{n})]$$

$$\Delta m = m({}_{54}^{139}\text{Xe}) + m({}_{38}^{94}\text{Sr}) - m({}_{92}^{235}\text{U}) + 2 m({}_0^1\text{n})$$

$$\Delta m = 138,88917 + 93,89451 - 234,99345 + 2 \times 1,00866$$

$$\Delta m = -0,19245 \text{ u}$$

$$\Delta m = -0,19245 \times 1,66054 \times 10^{-27} \text{ kg} = -3,19571 \times 10^{-28} \text{ kg.}$$

La variation de masse est négative, la réaction étudiée libère de l'énergie.

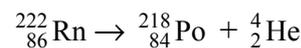
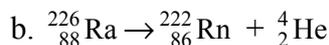
c. Calculer la valeur de l'énergie libérée en joule puis en MeV.

$$\mathcal{E}_{\text{libérée}} = |\Delta m| \times c^2$$

$$\mathcal{E}_{\text{libérée}} = \frac{3,19571 \times 10^{-28} \times (2,99792458 \times 10^8)^2}{1,60218 \times 10^{-19}}$$

$$\mathcal{E}_{\text{libérée}} = 179,266 \times 10^6 \text{ eV soit } 179 \text{ MeV.}$$

29. a. Le radon 222 a pour notation ${}_{86}^{222}\text{Rn}$, son noyau contient 86 protons et 136 neutrons.

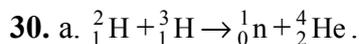


c. La période est la demi-vie.

d. Sa demi-vie étant courte, un échantillon de radon disparaît rapidement en se désintégrant.

Le radon existe dans notre environnement car il est produit par la désintégration du radium : « il se crée autant de radon qu'il n'en disparaît ».

e. L'uranium 238 se désintègre en donnant un noyau fils lui-même radioactif qui donne un autre noyau fils lui-même radioactif. Le radon 222 est le sixième noyau ainsi obtenu.



b. La température doit être élevée pour vaincre les répulsions entre les noyaux chargés positivement.

$$\text{c. Variation de masse: } \Delta m = m({}_2^4\text{He}) + m({}_0^1\text{n}) - m({}_1^2\text{H}) - m({}_1^3\text{H})$$

$$\Delta m = (4,001\ 51 + 1,008\ 66 - 2,013\ 55 - 3,015\ 50)$$

$$\Delta m = -0,018\ 88 \text{ u}$$

Δm est la perte de masse, le signe de Δm est négatif.

$$|\Delta m| = +0,018\ 88 \times 1,660\ 54 \times 10^{-27} = 3,135\ 10 \times 10^{-29} \text{ kg}$$

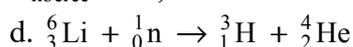
$$\text{Énergie libérée : } \mathcal{E}_{\text{libérée}} = |\Delta m| \times c^2$$

$$\mathcal{E}_{\text{libérée}} = 3,135\ 10 \times 10^{-29} \times (2,997\ 924\ 58 \times 10^8)^2$$

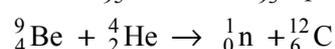
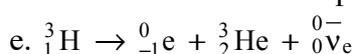
$$\mathcal{E}_{\text{libérée}} = 2,817\ 69 \times 10^{-12} \text{ J}$$

$$\mathcal{E}_{\text{libérée}} = 2,817\ 69 \times 10^{-12} / 1,602\ 18 \times 10^{-19}$$

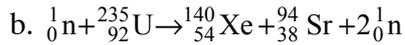
$$\mathcal{E}_{\text{libérée}} = 17,586\ 6 \times 10^6 \text{ eV soit } 17,6 \text{ MeV.}$$



Les neutrons nécessaires proviennent de la fusion



Sirius 1^{ère} S - Livre du professeur
Chapitre 11. Radioactivité et réactions nucléaires



c. La fission est une réaction en chaîne, la source ne doit fournir que les premiers neutrons (risque de divergence ensuite).



b. $\Delta m = m({}_8^{17}\text{O}) + m({}_1^1\text{p}) - m({}_2^4\text{He}) - m({}_7^{14}\text{N})$

AN : $\Delta m = (16,994\ 7 + 1,007\ 28 - 4,001\ 5 - 13,999\ 2)$

$\Delta m = +1,3 \times 10^{-3}\ \text{u}$.

c. Le signe de Δm est positif : il n'y a pas perte de masse. Cette réaction ne libère pas d'énergie, elle demande un apport d'énergie (énergie cinétique des particules α incidentes)

33 a. Perte de masse par seconde : $|\Delta m| = \frac{\mathcal{E}_{\text{libérée}}}{c^2}$

$$|\Delta m| = \frac{3,9 \times 10^{26}}{(3,0 \times 10^8)^2}$$

$|\Delta m| = 4,3 \times 10^9\ \text{kg}$ par seconde.

b. Pour 4,6 milliards d'années :

$$|\Delta m| = 4,3 \times 10^9 \times 3\ 600 \times 24 \times 365 \times 4,6 \times 10^9 = 6,3 \times 10^{26}\ \text{kg}.$$

Cette perte de masse correspond à $\frac{6,3 \times 10^{26}}{1,99 \times 10^{30}} = 0,032\ \%$ de sa masse.