

Chapitre 11 - Radioactivité et réactions nucléaires

Manuel pages 180 à 199

Choix pédagogiques

Dans un seul chapitre sont réunies l'étude des réactions nucléaires (spontanées et provoquées) et l'étude des aspects énergétiques associés.

La définition de l'activité est complétée par la notion de décroissance radioactive. La grandeur temporelle accompagnant le phénomène de radioactivité est ainsi introduite. La courbe de décroissance n'est pas étudiée mais la définition de la demi-vie est donnée et illustrée par un exemple.

L'énergie libérée par un système est traitée conformément au programme et l'accent est mis sur la perte de masse qui l'accompagne. La distinction est réalisée entre perte de masse et défaut de masse. Le défaut de masse est traité dans un paragraphe distinct et sans développement énergétique.

Les unités utilisées en physique nucléaire sont introduites dans le cours.

Des animations et des simulations ont été créées pour illustrer ce chapitre et aider à sa compréhension. Elles sont disponibles dans le manuel numérique enrichi.

Double page d'ouverture

Galaxie des Antennes contenant plusieurs milliards d'étoiles

La photographie d'une nébuleuse permet, dans un premier temps, de mobiliser les connaissances des élèves : une étoile émet de la lumière parce que sa température est élevée. Il s'agit dans un deuxième temps de s'interroger sur la source d'énergie. Plus énergétique qu'une réaction chimique, une réaction nucléaire est à envisager. La différence entre les deux types de réactions peut être abordée à cette occasion.

La réaction de fusion nucléaire et la libération d'énergie qui l'accompagne seront développées dans le cours.

Sur le Web

<http://www.cea.fr/var/cea/storage/static/fr/jeunes/animation/playBac3/11-etoiles-brillent.html>

Campagne de février 2009 pour la récupération d'objets anciens radioactifs

Les objets anciens radioactifs présentés sur l'affiche sont très variés : montres, réveils, fontaines à radium, aiguilles radioactives etc. Une description de tous ces objets et de leur utilisation est donnée à l'adresse suivante :

http://www.andra.fr/download/site-principal/document/objets_radioactifs.pdf

L'Andra (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs) est chargée de récupérer ces objets car ils restent dangereux.

Après un rappel ou une recherche sur la date de la découverte de la radioactivité, le débat pourra porter sur la connaissance ou la méconnaissance des dangers de la radioactivité à cette époque. Pendant des décennies, la communauté scientifique jugeait que le radium avait un pouvoir destructif à haute dose mais était bénéfique pour la santé à faible dose. Cette ignorance des effets biologiques de la radioactivité explique l'engouement pour les produits enrichis en radium, engouement largement exploité par les publicitaires des années 1930.

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

La dangerosité des rayonnements émis par le radium et ses descendants n'a été découvert que progressivement (d'abord chez les travailleurs exposés au radium).

Scintigraphie de la thyroïde : la médecine utilise des traceurs radioactifs pour étudier le fonctionnement d'un organe

La radiographie étant connue des élèves, ses caractéristiques peuvent être rappelées.

Les différences essentielles entre radiographie et scintigraphie sont suggérées par la légende de la photographie.

La première différence à mettre en évidence est la source : rayons X dans un cas et traceurs radioactifs d'autre part.

La deuxième différence porte sur les renseignements fournis par l'examen : la scintigraphie étudie le fonctionnement d'un organe ; la radiographie n'en donne qu'une image renseignant sur la forme et la taille.

Le fait que la source est externe en radiographie (rayons X) alors qu'elle est interne lors d'une scintigraphie (traceurs radioactifs administré au patient) peut être également évoqué.

Sur le Web

Un complément sur les traceurs radioactifs :

<http://www.laradioactivite.com/fr/site/pages/lestraceurs.htm>

Une animation sur la scintigraphie :

<http://www.edumedia-sciences.com/fr/a559-scintigraphie>

À noter : la remarque historique du cours page 190 (§3.2.A) a été modifiée dans le manuel élève par rapport aux spécimens. En effet, Pauli a postulé l'existence du neutrino en 1930 (non en 1933), et c'est Fermi (et non Pauli) qui l'a nommé « petit neutre » ou neutrino.

Découvrir et réfléchir

Activité documentaire 1. Découverte de la radioactivité

Commentaires

Ce document rappelle les travaux qui ont abouti à la découverte de la radioactivité et leur associe les noms des scientifiques. Il aborde également la différence entre radioactivité naturelle et radioactivité artificielle.

Le terme d'isotope est défini pour permettre son utilisation dans la partie interprétation où l'instabilité d'un noyau est abordée en termes d'interactions (étudiées dans le chapitre 10).

La recherche documentaire qui termine cette activité est une ouverture vers les nombreuses applications de la radioactivité.

Réponses

1. Comprendre le texte

a. La radioactivité est l'émission spontanée d'un rayonnement avec désintégration du noyau émetteur.

b. La radioactivité a été mise en évidence par impression de plaques photographiques maintenues à l'obscurité mais stockées au voisinage de sels d'uranium.

c. La radioactivité est dite naturelle lorsque les noyaux radioactifs existent dans la nature : c'est le cas de l'uranium, du polonium et du radium.

Cette découverte est attribuée conjointement à Henri Becquerel, Pierre et Marie Curie.

La radioactivité est dite artificielle lorsque les noyaux radioactifs n'existent pas dans la nature : c'est le cas du phosphore radioactif qui est créé en laboratoire. Sa découverte est attribuée à Irène, fille aînée du couple Curie, et à son mari Frédéric Joliot.

2. Interpréter

a. D'après la définition, deux noyaux isotopes ont le même nombre de protons donc le même numéro atomique Z . Un élément chimique étant caractérisé par son numéro atomique, deux noyaux isotopes appartiennent à un même élément.

b. $^{30}_{15}\text{P}$ (15 protons et 15 neutrons) présente un déficit de neutrons lorsqu'on le compare au noyau stable $^{31}_{15}\text{P}$ (15 protons et 16 neutrons).

c. L'interaction forte assure la cohésion du noyau en s'opposant à l'interaction électromagnétique responsable de la répulsion entre les protons.

Cette cohésion n'est pas assurée dans le cas de $^{30}_{15}\text{P}$ et le noyau est instable.

3. Faire une recherche

La radioactivité est utilisée en médecine. La radiothérapie utilise l'effet biologique des isotopes radioactifs (notamment le cobalt 60) pour détruire des cellules cancéreuses. L'imagerie médicale utilise des isotopes radioactifs appelés traceurs radioactifs (le technétium 99, l'iode 123, ...) dont on suit le cheminement et l'absorption par les différents organes.

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

Les traceurs radioactifs sont également utilisés dans l'industrie (contrôle des procédés de fabrication, analyse....)

La radioactivité permet aussi de dater des objets anciens, des roches, des coraux, etc.

La radioactivité est également utilisée pour la préservation des objets anciens (la radioactivité au service de l'art page 198).

Sur le web :

<http://www.laradioactivite.com/fr/site/pages/industrie.htm>

http://www cea.fr/jeunes/themes/la_radioactivite/la_radioactivite/les_applications_de_la_radioactivite

Activité documentaire 2. Stabilité et instabilité des noyaux

Commentaires

Cette activité, basée sur le diagramme de Segré (N, Z), a pour objectif d'étudier la cohésion de noyaux et d'introduire les différents types de désintégration.

Le logiciel *Nucleus* donne les caractéristiques de tous les noyaux. S'il n'est pas utilisé, une classification périodique des éléments est indispensable pour répondre à certaines questions.

Réponses

1. Analyser le document

a. Sur le diagramme, les cases colorées sont beaucoup plus nombreuses que les cases noires correspondant aux noyaux stables : les noyaux instables sont plus abondants que les noyaux stables.

b. Le noyau stable le plus lourd est le plomb 208 : $^{208}_{82}\text{Pb}$.

c. Le noyau dont la représentation symbolique est $^{20}_{10}\text{Ne}$ correspond à la case de coordonnées (10, 10) ; cette case est noire, le noyau est stable.

La case de coordonnées (30, 30) correspond à $^{60}_{30}\text{Zn}$; cette case est orange, le noyau est instable.

La case de coordonnées (35, 20) correspond à $^{55}_{20}\text{Ca}$; cette case est bleue, le noyau est instable.

La case de coordonnées (126, 84) correspond à $^{210}_{84}\text{Po}$; cette case est jaune, le noyau est instable.

2. Interpréter

a. Les noyaux de même ordonnée ont le même nombre de protons et le même symbole : $^{208}_{82}\text{Pb}$ et $^{207}_{82}\text{Pb}$ sont isotopes ; deux noyaux isotopes ont le même nombre de protons mais des nombres de neutrons différents.

b. L'interaction forte assure la cohésion du noyau en s'opposant à l'interaction électromagnétique responsable de la répulsion entre les protons.

Cette cohésion est assurée dans le cas de $^{20}_{10}\text{Ne}$ et le noyau est stable.

Pour $^{60}_{30}\text{Zn}$ (30 neutrons et 30 protons), on peut supposer que l'interaction électromagnétique l'emporte sur l'interaction forte car, d'après le diagramme, les noyaux stables possédant 30 protons contiennent plus de 30 neutrons.

Pour $^{55}_{20}\text{Ca}$ (35 neutrons et 20 protons), on peut supposer que l'interaction forte l'emporte sur l'interaction électromagnétique car les noyaux stables possédant 20 protons contiennent moins de 35 neutrons (22, 23 ou 24 neutrons).

Le noyau $^{210}_{84}\text{Po}$ contient trop de protons pour être stable.

3. Conclure

a. Les noyaux situés au-dessus de la vallée de stabilité comme ${}^{60}_{30}\text{Zn}$ transforment un proton en neutron et se rapprochent ainsi de cette vallée : ils sont radioactifs β^+ .

Les noyaux situés en dessous de la vallée de stabilité comme ${}^{55}_{20}\text{Ca}$ transforment un neutron en proton et se rapprochent ainsi de cette vallée : ils sont radioactifs β^- .

Les noyaux situés au-delà de $Z = 82$ comme ${}^{210}_{84}\text{Po}$ perdent deux neutrons et deux protons : ils sont radioactifs α .

b. ${}^{60}_{30}\text{Zn}$ donne ${}^{60}_{29}\text{Cu}$ par radioactivité β^+ ;

${}^{55}_{20}\text{Ca}$ donne ${}^{55}_{21}\text{Sc}$ par radioactivité β^- ;

${}^{210}_{84}\text{Po}$ donne ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ par radioactivité α .

Activité documentaire 3. Comment mesure-t-on la radioactivité ?

Commentaires

Ce document introduit l'activité d'une source radioactive et son unité.

Il répond également aux questions que peuvent se poser les élèves concernant la mesure de la radioactivité et il introduit les unités employées dans le domaine scientifique comme dans les medias : gray et sievert.

Réponses

1. Analyser les documents

- a.** Les rayonnements radioactifs ionisent ou excitent les atomes de la matière qu'ils rencontrent. Les détecteurs de radioactivité convertissent en signal électrique les électrons ou les photons ainsi créés.
- b.** L'activité d'une source radioactive est égale au nombre de désintégrations qu'elle produit par seconde. Elle s'exprime en becquerel.
- c.** Les effets des rayonnements sont évalués en tenant compte de leur énergie, de leur nature et de la partie de l'organisme atteinte.

2. Faire une recherche

- a.** Les noyaux radioactifs présents dans le corps humain sont essentiellement des noyaux de potassium 40 et des noyaux de carbone 14.

Dans une roche granitique, les noyaux radioactifs sont des noyaux d'uranium.

- b.** La radioactivité naturelle est due à des noyaux radioactifs naturels :

- des noyaux radioactifs créés lors de la formation de la Terre et qui ne sont pas encore désintégrés comme l'uranium 238 et le potassium 40 ;
- les descendants radioactifs des noyaux précédents comme le radium, lui-même radioactif, qui donne un gaz radioactif : le radon 222 ;
- les noyaux radioactifs créés par l'action des rayonnements cosmiques sur certains noyaux comme le carbone 14 (qui se forme en permanence dans l'atmosphère).

La radioactivité artificielle est due aux activités humaines. Les noyaux radioactifs sont essentiellement créés à des fins médicales, scintigraphies et tomographies utilisant des traceurs radioactifs. D'autres sources radioactives sont utilisées dans l'industrie, l'armée, l'énergie nucléaire civile, la recherche scientifique.

En plus de la radioactivité naturelle, il faut donc prendre en compte la radioactivité liée aux traitements médicaux mais aussi liée aux rejets des activités humaines.

- c.** La demi-vie radioactive est la durée au bout de laquelle l'activité d'un échantillon radioactif est divisée par 2.

Trois noyaux radioactifs naturels possèdent une demi-vie supérieure au milliard d'années (potassium 40, thorium 232 et uranium 238) alors que la période du polonium 214, un descendant de ce même uranium 238, n'est que de 0,16 milliseconde.

Activité documentaire 4. L'énergie nucléaire, une énergie du futur ?

Commentaires

Les documents permettent de définir fission et fusion nucléaires. Ils donnent également les bases de réflexion sur l'énergie nucléaire : l'utilisation de la fission d'une part et les recherches en cours sur la fusion d'autre part.

Réponses

1. Analyser les documents

a. La fission est une réaction nucléaire au cours de laquelle un noyau fissile se scinde 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 fission s'accompagne de la libération de deux ou trois neutrons susceptibles à leur tour de provoquer la fission d'autres noyaux d'uranium : la réaction en chaîne peut s'amorcer.

c. La fusion nucléaire se produit dans des environnements extrêmement chauds comme dans les étoiles (une très grande agitation thermique permet de vaincre les forces répulsives entre deux noyaux chargés positivement).

Dans le Soleil, des noyaux d'hydrogène fusionnent en donnant des noyaux d'hélium. En laboratoire, on étudie la fusion d'un noyau de deutérium et d'un noyau de tritium qui donne un noyau d'hélium.

2. Faire une recherche

a. Le combustible est de l'uranium sous forme de pastilles d'oxyde d'uranium empilées dans des tubes étanches. La fission est contrôlée par des barres dites de contrôle qui absorbent les neutrons excédentaires.

Le cœur du réacteur est plongé dans de l'eau maintenue à une pression de l'ordre de 150 bars et à une température de l'ordre de 300°C. L'eau de ce circuit primaire passe dans un échangeur de chaleur où elle se refroidit en vaporisant l'eau d'un circuit secondaire.

Le circuit secondaire est fermé et indépendant du circuit primaire. La vapeur d'eau entraîne une turbine qui entraîne un alternateur produisant de l'électricité.

Enfin, de l'eau froide en provenance d'un fleuve ou de la mer permet la condensation de la vapeur d'eau du circuit secondaire.

b. ITER utilise le confinement magnétique : les noyaux de deutérium et de tritium sont maintenus à distance des parois grâce à des champs magnétiques créés par de puissants électroaimants (principe du tokamak).

L'autre technique est le confinement par laser : l'expérimentation se poursuit avec les lasers du NIF, National Ignition Facility, en Californie tout comme avec le Laser Mégajoule en France .

c. Pour les uns, l'énergie nucléaire est présentée comme une solution écologique puisqu'elle ne contribuerait pas aux rejets de dioxyde de carbone qui seraient responsables du réchauffement climatique. Pour d'autres, c'est une fausse solution car dangereuse pour l'environnement et l'homme, à cause des déchets radioactifs et des accidents possibles.

L'utilisation de l'énergie dégagée par la fusion nucléaire supprimerait en grande partie le problème des déchets, mais les problèmes techniques sont encore loin d'être résolus (notamment l'invention d'un matériau résistant aux flux de neutrons produits par la fusion pour les enceintes de confinement).

Exercices

Exercices d'application

5 minutes chrono !

1. Mots manquants

- a. isotopes
- b. noyau père ; noyau fils ; une particule
- c. de la charge électrique
- d. le nombre de désintégrations ; seconde ; le becquerel
- e. fusion
- f. radioactivité α
- g. de masse ; d'une libération

2. QCM

- a. Diminue.
- b. D'un positon.
- c. $^{222}_{86}\text{Rn}$.
- d. Une fission nucléaire.
- e. Trois.
- f. Kilogramme.

Mobiliser ses connaissances

Réactions nucléaires spontanées (§1 du cours)

3. a.

Noyau	élément	A	Z	N
$^{210}_{84}\text{Po}$	polonium	210	84	126
$^{204}_{84}\text{Po}$	polonium	204	84	120
$^{12}_6\text{C}$	carbone	12	6	6
$^{14}_6\text{C}$	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) : $^{14}_6\text{C}$ et $^{12}_6\text{C}$ sont isotopes.

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

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

b. $^{59}_{27}\text{Co}$ 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 $^{55}_{27}\text{Co}$ 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.

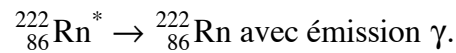
6. ${}^{28}_{13}\text{Al} \rightarrow {}^{28}_{14}\text{Si} + {}^0_{-1}\text{e}$, radioactivité β^- .

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

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

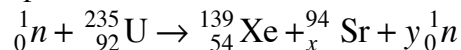
$$\dot{A} (t = 10,6 \text{ ans}) = \frac{2,0 \times 10^{11}}{4} = 5,0 \times 10^{10} \text{ Bq.}$$

Réactions nucléaires provoquées (§2 du cours)

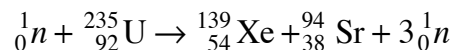
9. a. La fission est une réaction nucléaire au cours de laquelle un noyau lourd, dit fissile, est scindé en deux noyaux plus légers sous l'impact d'un neutron.

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 :

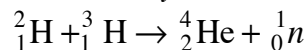


avec : $92 = 54 + x$ d'où $x = 92 - 54 = 38$ et $1 + 235 = 139 + 94 + y$ d'où $y = 3$.



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

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.

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

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.

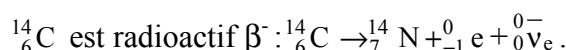
12. $|\Delta m| = \frac{\mathcal{E}_{\text{libérée}}}{c^2}$

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

13. a. Le noyau X_1 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).

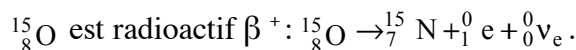
Au sein du noyau, un neutron se transforme en proton : $^1_0\text{n} \rightarrow ^1_1\text{p} + ^0_{-1}\text{e} + ^0_0\bar{\nu}_e$.



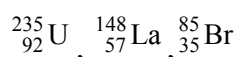
b. Le noyau X_2 se note $^{15}_8\text{O}$; il est isotope des autres noyaux d'oxygène $^{16}_8\text{O}$, $^{17}_8\text{O}$, qui sont stables.

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

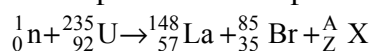
Au sein du noyau, un proton se transforme en neutron : $^1_1\text{p} \rightarrow ^1_0\text{n} + ^0_1\text{e} + ^0_0\nu_e$.



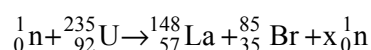
14. a. La classification périodique fournit le symbole et le nombre de charges des noyaux mis en jeu :



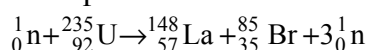
Le bombardement du noyau d'uranium par un neutron produit la fission :



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

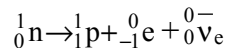
16. a. Le nombre de charges de l'azote est 7.

$^{17}_7\text{N}$: 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 :



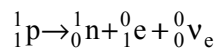
b. Le nombre de charges du fluor est 9.

$^{18}_9\text{F}$: 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.

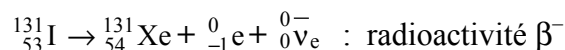
$^{238}_{94}\text{Pu} \rightarrow ^{234}_{92}\text{U} + ^4_2\text{He}$	radioactivité α
$^{131}_{53}\text{I} \rightarrow ^{131}_{54}\text{Xe} + ^0_{-1}\text{e} + ^0_0\bar{\nu}_e$	radioactivité β^-
$^{23}_{11}\text{Na} \rightarrow ^{23}_{10}\text{Ne} + ^0_1\text{e} + ^0_0\nu_e$	radioactivité β^+

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

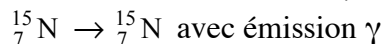
$\mathcal{E}_{\text{libérée}} = 1,660\,54 \times 10^{-27} \times (2,997\,924\,58 \times 10^8)^2$ en joule.

$\mathcal{E}_{\text{libérée}} = \frac{1,660\,54 \times 10^{-27} \times (2,997\,924\,58 \times 10^8)^2}{1,602\,18 \times 10^{-19}}$ 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. ${}^{60}_{27}\text{Co} \rightarrow {}^{60}_{28}\text{Ni}^* + {}^0_{-1}\text{e} + {}^0_0\bar{\nu}_e$: radioactivité β^- .

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\mathcal{E}_{\text{libérée}} = 9,631 \, 1 \times 10^{-30} \times (2,997 \, 924 \, 58 \times 10^8)^2 \text{ en joule}$$

$$\mathcal{E}_{\text{libérée}} = \frac{9,631 \, 1 \times 10^{-30} \times (2,997 \, 924 \, 58 \times 10^8)^2}{1,602 \, 18 \times 10^{-19}} \text{ en eV}$$

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

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

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

$$\Delta m = 98,882 \, 35 + 5,485 \, 79 \times 10^{-4} - 98,884 \, 37$$

$$\Delta m = -1,471 \, 42 \times 10^{-3} \text{ u}$$

$$\Delta m = -1,471 \, 42 \times 10^{-3} \times 1,660 \, 54 \times 10^{-27} = -2,443 \, 35 \times 10^{-30} \text{ kg}$$

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

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

$$\mathcal{E}_{\text{libérée}} = \frac{2,44335 \times 10^{-30} \times (2,997924 \, 58 \times 10^8)^2}{1,60218 \times 10^{-19}}$$

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

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

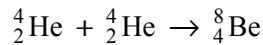
$$\Delta m = -0,01010 \text{ u}$$

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

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

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) = $(Z \times m_{\text{proton}} + (A - Z) \times m_{\text{neutron}}) - m_{\text{noyau}}$

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

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

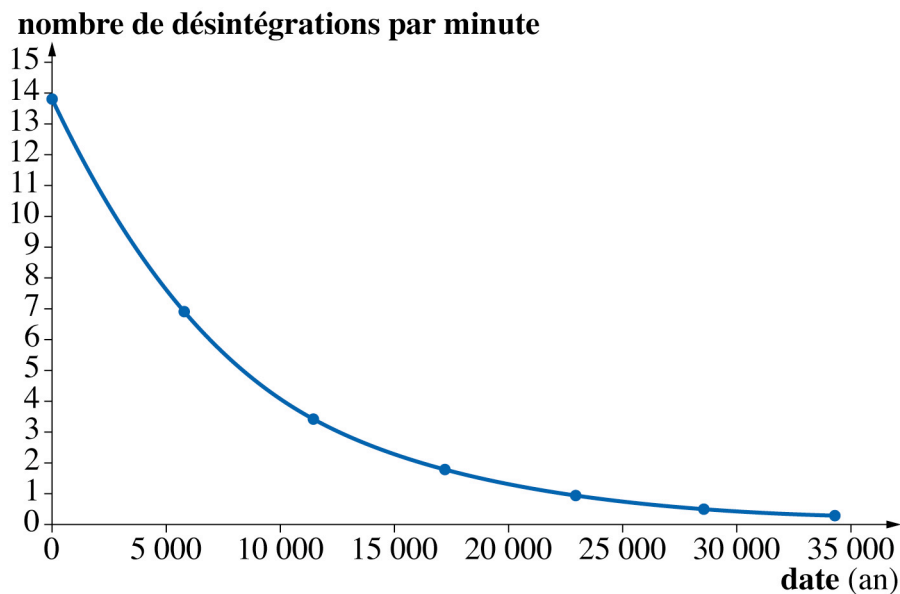
26. a. Radiologie : source externe de rayons X et obtention d'une image qui donne la forme, la taille... d'un organe.

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 :



© Corédoc. Nathan 2011

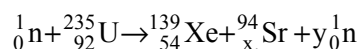
b. L'activité est le nombre de désintégrations par seconde et non par minute.

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

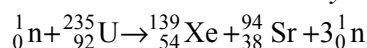
L'âge des peintures est $1,8 \times 10^4$ ans.

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.

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

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

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

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

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

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

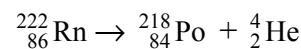
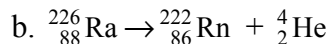
c. Calculer la valeur de l'énergie libérée en joule puis en MeV.

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

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

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

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

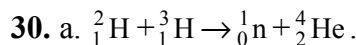


c. La période est la demi-vie.

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.

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

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

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

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

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

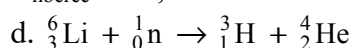
$$\text{Énergie libérée : } \mathcal{E}_{\text{libérée}} = |\Delta m| \times c^2$$

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

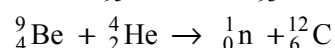
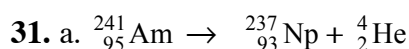
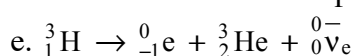
$$\mathcal{E}_{\text{libérée}} = 2,817\,69 \times 10^{-12} \text{ J}$$

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

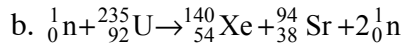
$$\mathcal{E}_{\text{libérée}} = 17,586\,6 \times 10^6 \text{ eV soit } 17,6 \text{ MeV}.$$



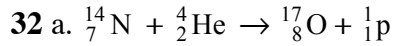
Les neutrons nécessaires proviennent de la fusion



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