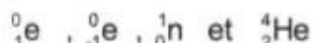


Exercice n°1

L'astate **At** est un élément radioactif, il existe en faible quantité dans la croûte terrestre. Le nucléide $^{211}_{85}\text{At}$ est un isotope de l'astate : il se désintègre en un noyau de bismuth $^{207}_{83}\text{Bi}$ en émettant une particule ^a_bX .

1- a- Préciser s'il s'agit d'une réaction nucléaire spontanée ou provoquée.

b- Déterminer les valeurs de **a** et **b**. Identifier cette particule parmi les particules suivantes :



c- Ecrire l'équation de cette désintégration.

2- a- Calculer, en **u** (unité de masse atomique), la masse perdue par un noyau $^{211}_{85}\text{At}$ lors de cette désintégration.

On donne les masses des noyaux au repos : $^{211}_{85}\text{At}$: 210,94152 u ; $^{207}_{83}\text{Bi}$: 206,93355 u

^a_bX : 4,00151 u

b- Préciser, en le justifiant, la forme sous laquelle est transformée cette masse.

c- Déterminer l'énergie libérée, **W**, par un noyau d'astate. Donner le résultat en **MeV** et en joule sachant que : $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV} \cdot \text{c}^{-2} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;

$$1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}.$$

3- A l'instant $t_0 = 0$, un échantillon d'astate contient N_0 noyaux d'astate $^{211}_{85}\text{At}$. A une date ultérieure t , on détermine le nombre **N** de noyaux d'astate non désintégrés. On

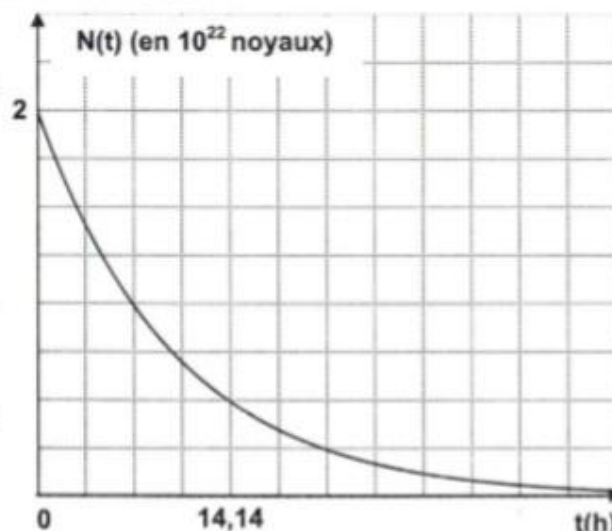
trace sur la **figure 6** l'évolution de **N** au cours du temps, régie par la loi : $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$; où λ représente la constante radioactive de l'échantillon étudié.

a- Définir la période radioactive **T**.

b- Déterminer sa valeur à partir du graphe.

c- En déduire la valeur de λ .

d- Déterminer le nombre de particules ^a_bX émises au cours des dix (10) premières heures de désintégration.



1-a-

La désintégration du noyau Astate est une transformation nucléaire spontanée au cours de laquelle un noyau d'Astate instable se désintègre en un noyau plus stable avec émission de particules. Il s'agit d'une réaction nucléaire spontanée et non provoquée.

1-b-

Conservation du nombre de masse : $211 = 207 + a$ ce qui implique que : $a = 4$.

Conservation du nombre de charge : $85 = 83 + b$ ce qui implique que : $b = 2$.

La particule émise est : ${}^4_2\text{He}$.

1-c-



2-a-

$$m_p = |\Delta m| = m_{\text{At}} - (m_{\text{Bi}} + m_{\text{He}})$$

A.N :

$$m_p = 210,94152 - (4,00151 + 206,93355) = 6,46 \cdot 10^{-3} \text{u}$$

2-b-

D'après la relation d'Einstein, il y a une équivalence entre la masse et l'énergie : De l'énergie peut se transformer en masse, c'est-à-dire se matérialiser sous forme de particule et inversement la masse peut être convertie en énergie. Par conséquent, toute perte de masse ou défaut de masse équivaut une variation d'énergie : $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$.

2-c-

$$W = |\Delta m| \cdot c^2 = [m_{\text{At}} - (m_{\text{Bi}} + m_{\text{He}})] \cdot c^2$$

A.N :

$$W = 6,46 \cdot 10^{-3} \cdot 931,5 \text{MeV} \cdot c^{-2} \cdot c^2 = 6,01749 \text{MeV} = 6,01749 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} = 9,62798 \cdot 10^{-13} \text{J}$$

3-a-

La demi vie radioactive ou période radioactive T d'une substance radioactive, est la durée au bout de laquelle le nombre de noyaux initialement présents diminue de moitié.

3-b-

Graphiquement T est l'abscisse du nombre $1 \cdot 10^{22}$ noyaux. Ce qui implique que $T = \frac{14,14}{2} \text{h} = 7,07 \text{h}$.

3-c-

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} \text{ donc } \lambda = \frac{\ln 2}{T}$$

$$\text{A.N : } \lambda = 9,8 \cdot 10^{-2} \text{h}^{-1}$$

3-d-

$$N_{\text{émises}} = N_0 - N(t)$$

Or d'après la loi de décroissance radioactive : $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$, avec $t = 10 \text{h}$.

$$N_{\text{émises}} = N_0 \cdot (1 - e^{-\lambda t})$$

$$\text{A.N : } N_{\text{émises}} = 2 \cdot 10^{22} \cdot (1 - e^{-9,8 \cdot 10^{-2} \cdot 10}) = 1,25 \cdot 10^{22} \text{noyaux}$$

Exercice n°2

« Etude d'un document scientifique »

Le carbone 14, horloge du monde

La technique du carbone 14 permet de dater tous les fossiles d'origine organique : le bois, les charbons de bois, les ossements, l'émail dentaire...

Mais, cette technique ne s'applique pas à des matériaux âgés de plus de **50000** ans ; ils ne contiennent pratiquement plus d'atomes de radiocarbone détectables. Dans la haute atmosphère, les protons du rayonnement cosmique entrent en collision avec les molécules d'air, les neutrons créés par ces chocs interagissent avec l'azote de l'air pour produire du carbone 14. Ce dernier est instable : il est radioactif β^- et redevient de l'azote 14 en perdant un électron.

La demi-vie du carbone 14 a été estimée à **5568** ans : c'est-à-dire que la moitié des atomes de carbone 14 disparaît durant ce laps de temps. Un gramme de carbone contient une quantité de carbone 14 suffisante pour qu'un compteur détecte **13,56** désintégrations par minute. Un matériau dégageant **6,78** désintégrations par minute serait donc daté de **5568** ans, et **3,39** désintégrations par minute correspondraient à **11136** ans...

D'après un article du numéro hors série (janvier – mars 2004) de la revue Pour la science

Questions

1. Préciser la signification de la nomenclature "carbone 14" utilisée dans le texte.
2. Relever du texte le type de radioactivité mis en jeu dans la transformation du carbone 14 en azote 14 et écrire l'équation de la réaction nucléaire correspondante.
3. a) Expliquer pourquoi le groupe de mots souligné dans le texte n'est pas scientifiquement correct.
b) Le remplacer par une expression précise.
4. Interpréter l'obtention d'une activité de **3,39** désintégrations par minute au bout de **11136** ans.

Correction

1. Carbone 14 élément radioactif β^-
2. Réaction spontanée de type β^- " radioactif β^- "
3. a- Dans le noyau, il n'existe pas d'électrons
b- En émettant une particule β^- " un négaton "
4. L'activité $A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$, pour $t = T \rightarrow A = A_0/2$, on a aussi
pour $t = 2T \rightarrow A = A_0/4$, ce qui est confirmé avec les données du texte.

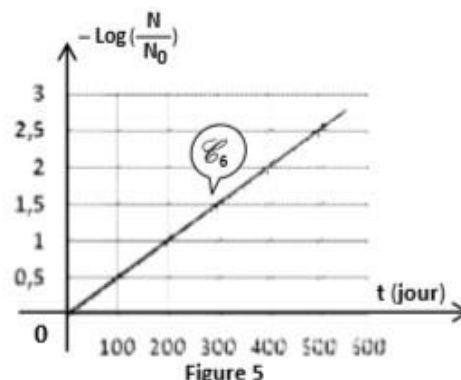
Exercice n°3

Données :

Masse du noyau de polonium ${}^{210}_{84}\text{Po} = 209,9368\text{u}$	$1\text{u} = 1,66 \cdot 10^{-27}\text{kg} = 931,5\text{MeV} \cdot \text{c}^{-2}$
Masse du noyau de plomb ${}^A_Z\text{Pb} = 205,9265\text{u}$	Célérité de la lumière dans le vide $c = 3,0 \cdot 10^8\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
Masse du noyau d'hélium ${}^4_2\text{He} = 4,0015\text{u}$.	$1\text{MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13}\text{J}$.

Le polonium ${}^{210}_{84}\text{Po}$ est radioactif. Il émet une particule α (noyau ${}^4_2\text{He}$) et se transforme en plomb ${}^A_Z\text{Pb}$.

- 1) a – Ecrire l'équation de la désintégration du polonium ${}^{210}_{84}\text{Po}$ en plomb ${}^A_Z\text{Pb}$.
En précisant les lois de conservation utilisées, déterminer les valeurs de A et de Z.
b – Calculer, en MeV, l'énergie libérée au cours de la désintégration d'un noyau de polonium 210.
- 2) La masse d'un échantillon de ${}^{210}_{84}\text{Po}$ à un instant $t_0 = 0$, est $m_0 = 4,2 \cdot 10^{-3}\text{g}$.
Déterminer le nombre de noyaux N_0 contenu dans cet échantillon à t_0 .
- 3) Le nombre N de noyaux restants de polonium 210 à l'instant t est donné par la relation $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$; où λ est la constante radioactive du ${}^{210}_{84}\text{Po}$. La courbe \mathcal{C}_6 de la figure 5 représente la variation de $-\text{Log}\left(\frac{N}{N_0}\right)$ au cours du temps.
a – Déterminer graphiquement la valeur de λ en $(\text{jour})^{-1}$ puis en s^{-1} .
b – Définir la demi-vie radioactive T d'un radioélément.
Calculer sa valeur pour le polonium 210.
- 4) Calculer, en becquerels (Bq), l'activité A_0 à l'instant t_0 sachant que
l'activité A s'exprime par : $A = -\frac{dN}{dt}$.
- 5) Déterminer l'instant t_1 au bout duquel la masse des noyaux restants de ${}^{210}_{84}\text{Po}$ est $m_1 = 0,5 \cdot 10^{-3}\text{g}$.



Correction

PHYSIQUE (11 points) Exercice 3 (3,25 points)	BAREME
1) a – ${}^{210}_{84}\text{Po} \rightarrow {}^A_Z\text{Pb} + {}^4_2\text{He}$ La conservation des nombres de masse et de charge donne : $A = 206$ et $Z = 82$. b – L'énergie libérée par la désintégration d'un noyau de polonium 210 est $E = (m_{\text{Po}} - m_{\text{Pb}} - m_{\alpha}) \cdot c^2 = 0,0088 \times 931,5 = 8,2\text{Mev}$.	0,75 0,25x2
2) $N_0 = \frac{m_0}{M_p} = 1,2 \times 10^{19}$ noyaux.	0,25
3) a : $-\text{Log}(N/N_0) = \lambda t$. λ représente la pente de la fonction $-\text{Log}(N/N_0) = f(t)$. $\lambda = 5 \times 10^{-3}\text{jour}^{-1}$, soit $\lambda = 5,78 \times 10^{-8}\text{s}^{-1}$. b – La demi-vie radioactive T d'un radioélément est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux initialement présents dans un échantillon se désintègrent. $T \cong \frac{\ln 2}{\lambda} = 138,6\text{jours}$ ou $T = 1,2 \times 10^7\text{s}$.	0,25 0,25x2
4) L'activité à l'instant t_0 : $A_0 = \lambda \cdot N_0$; $A_0 = 5,8 \times 10^{-8} \times 1,2 \times 10^{19}$; $A_0 = 7 \times 10^{11}\text{Bq}$.	0,25x2
5) $m_1 = m_0 e^{-\lambda t_1}$; soit $t_1 = -\frac{1}{\lambda} \ln \frac{m_1}{m_0}$. $t_1 = 3,67 \times 10^7\text{s} = 1,16\text{ans}$	0,25x2

Le fonctionnement d'un réacteur nucléaire à eau pressurisée

Un réacteur à eau pressurisée n'est autre qu'un dispositif élaboré destiné à chauffer de l'eau, avec à l'intérieur de la chaudière une pression de 155 bars et une température de 310 °C. Le principe d'un tel réacteur est d'entretenir en permanence des réactions de fission de noyaux d'uranium ou de plutonium au sein d'un milieu, appelé « cœur du réacteur ». Chaque fission, induite par les neutrons présents dans le cœur, dégage une énergie de l'ordre de 200 MeV, et produit deux ou trois neutrons supplémentaires, dont l'un sert à entretenir la réaction en chaîne, les autres étant absorbés dans l'eau, les structures ou perdus hors du cœur. Un réacteur à eau pressurisée est de la famille des réacteurs, dits « à neutrons thermiques ».

On suppose que le seul matériau fissile est $^{235}_{92}\text{U}$. Les nombres indiqués sont des ordres de grandeur. 100 fissions de $^{235}_{92}\text{U}$ libèrent en moyenne 250 neutrons qui donnent lieu à ce qui suit :

- (r₁) : 100 neutrons provoquent 100 nouvelles fissions, entretenant ainsi la réaction en chaîne et consommant 100 noyaux du matériau fissile ;
- (r₂) : 70 neutrons subissent des captures fertiles par 70 noyaux $^{238}_{92}\text{U}$. Chaque capture fertile produit un noyau de plutonium fissile $^{239}_{94}\text{Pu}$ et deux particules ^A_ZX ;
- (r₃) : 75 neutrons subissent des captures stériles entre autres par des structures du cœur du réacteur ;
- (r₄) : 5 neutrons fuient hors du cœur.

(D'après Commissariat à l'énergie atomique « L'énergie nucléaire du futur : quelles recherches pour quels objectifs? »)

1- a- Nommer la réaction nucléaire décrite en (r₁).

b- Préciser, en le justifiant, si tous les neutrons produits par (r₁) provoquent des réactions.

c- La réaction de fission est une réaction en chaîne. Expliquer.

2- a- Ecrire l'équation de la réaction nucléaire subie par chaque noyau décrit en (r₂).

b- Identifier la particule ^A_ZX parmi : ^1_1p , ^1_0n , $^0_{-1}\text{e}$ et ^0_1e .

Le noyau d'uranium 238, naturellement radioactif, se transforme en un noyau de plomb 206 stable, par une série de désintégrations successives $\alpha(^4_2\text{He})$ et $\beta(^0_{-1}\text{e})$ selon l'équation globale :

$^{238}_{92}\text{U} \rightarrow ^{206}_{82}\text{Pb} + x\ ^0_{-1}\text{e} + y\ ^4_2\text{He}$; avec x et y qui désignent respectivement le nombre de désintégrations β et α .

1- Déterminer, en le justifiant les nombres x et y.

2- La courbe de la figure 5 de la page 5/5 (feuille annexe), traduit l'évolution au cours du temps, du nombre

N_U de noyaux d'uranium 238 restant dans l'échantillon d'une roche ancienne noté : $N_U(t) = N_U(0)e^{-\lambda t}$,

avec $N_U(0)$ le nombre de noyaux d'uranium à l'instant $t_0 = 0$ et λ la constante radioactive.

a- Définir la période radioactive T d'un radioélément.

b- A partir de la courbe, donner la valeur de T de l'uranium 238. En déduire sa constante radioactive λ .

3- A l'instant d'étude t_1 , la roche ancienne, renferme un nombre de noyaux de plomb 206 noté

$N_{Pb}(t_1) = 2,5 \cdot 10^{12}$. Sachant qu'à l'instant $t_0 = 0$, $N_{Pb}(t_0) = 0$.

a- Montrer que l'évolution du nombre $N_{Pb}(t)$ de noyaux de plomb présents à l'instant t dans l'échantillon de la roche ancienne au cours du temps, a pour expression: $N_{Pb}(t) = N_U(0)(1 - e^{-\lambda t})$.

b- Représenter sur la figure 5 de la page 5/5, de la feuille annexe à remplir par le candidat et à remettre avec sa copie, l'allure de la courbe qui traduit l'évolution du nombre de noyaux de plomb au cours du temps.

c- Calculer l'âge de la Terre, sachant qu'elle présente le même âge que l'échantillon.

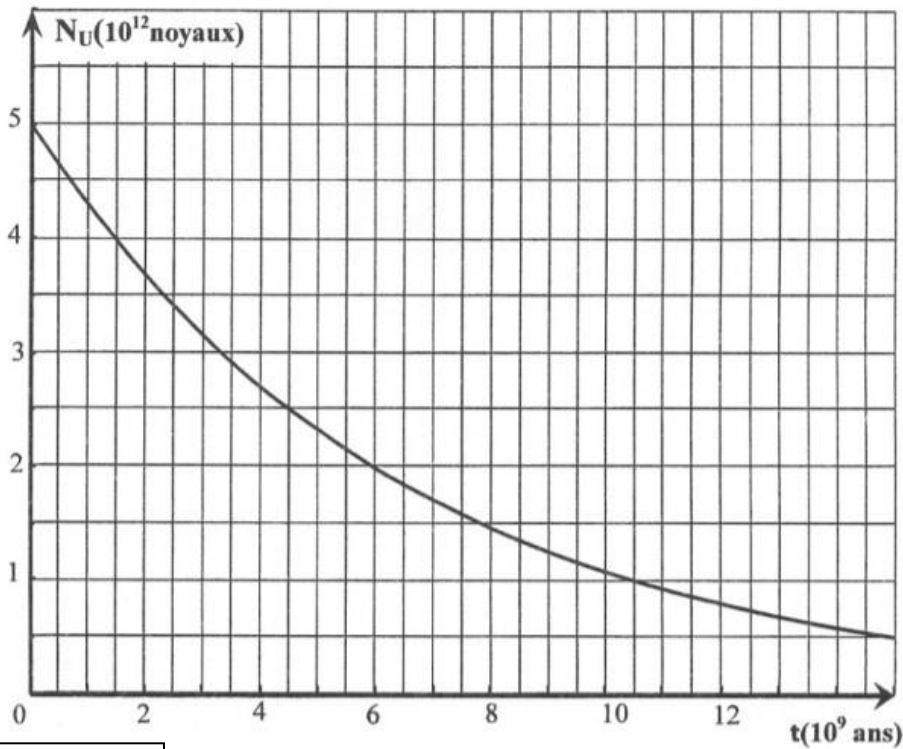
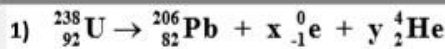


figure 5

Correction



D'après le principe de conservation du nombre de masse :

$238=206+4y$ donc $y=8$. D'après le principe de conservation du nombre de charge : $92=82-x+2y$ donc $x=6$

2- a-La période T d'un radioélément est la durée au bout de laquelle le nombre de noyaux radioactifs initialement présents diminue de moitié.

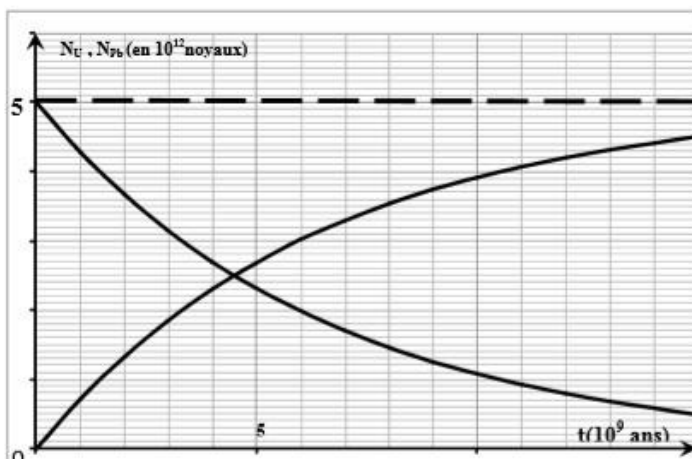
b- $T=4,5 \cdot 10^9$ ans $\lambda = \frac{\text{Ln}(2)}{T} = \frac{0,693}{4,5 \cdot 10^9} = 1,54 \cdot 10^{-10} \text{ ans}^{-1}$

3- a- A $t=0$ on a $N_U(0)=N_0$ et $N_{Pb}(0)=0$

à chaque instant t on a $N_U(t) + N_{Pb}(t) = N_U(0) = N_0$ (la conservation du nombre de noyaux initial)

$\Rightarrow N_{Pb}(t) = N_0 - N_U(t) = N_0 - N_0 e^{-\lambda t} = N_0(1 - e^{-\lambda t})$

b-



c-Puisque à l'instant t_1 le nombre de noyaux de plomb 206 présents dans l'échantillon de roche ancienne est égal à $2,5 \cdot 10^{12}$ noyaux, donc cet instant est égal à la période T et vu que l'âge de cette roche est le même que celui de la terre donc l'âge de la terre vaut environ 4,5 milliards d'années.

La fission nucléaire

Lorsqu'un neutron percute le noyau de certains isotopes, il existe une probabilité que le noyau percuté se scinde en deux noyaux plus légers. Cette réaction, qui porte le nom de fission nucléaire, se traduit par un dégagement d'énergie très important (de l'ordre de **200 MeV** par évènement).

Cette fission s'accompagne de l'émission de plusieurs neutrons qui, dans certaines conditions, percutent d'autres noyaux et provoquent ainsi une réaction en chaîne. Dans un réacteur nucléaire, cette réaction en chaîne se déroule dans des conditions stables, à vitesse lente et contrôlée. Dans une bombe, où la matière est placée brusquement très loin de son domaine de stabilité, la réaction se multiplie si rapidement qu'elle conduit à une réaction explosive.

L'importance de l'énergie émise lors de la fission provient du fait que l'énergie de liaison par nucléon du noyau initial est plus faible que celle des noyaux produits (environ **7,7 MeV par nucléon** pour les éléments lourds, contre **8,8 MeV par nucléon** pour le fer). La plus grande partie de l'énergie se retrouve sous forme d'énergie cinétique des neutrons et des noyaux fils, énergie récupérée sous forme de chaleur dans les réacteurs conçus pour produire de l'énergie électrique...

D'après : Energie nucléaire - Wikipédia

Pour répondre aux questions, se référer au texte.

- 1- a- Définir la fission nucléaire.
b- Préciser, en le justifiant, si la fission nucléaire est une réaction spontanée ou provoquée.
c- La réaction de fission nucléaire est une réaction en chaîne. Expliquer.
- 2- a- Expliquer l'origine de l'énergie libérée au cours d'une réaction de fission nucléaire.
b- L'énergie libérée par la fission nucléaire est utilisée pour des fins utiles. Donner un exemple.
- 3- Qualifier la réaction de fission dans un réacteur nucléaire par opposition à celle qui se produit dans une bombe.

Exercice n°6

La fumée des cigarettes est radioactive. Elle contient du polonium 210, dont la combustion produit tout simplement du rayonnement alpha.

Le rayonnement alpha est très énergétique - car c'est un rayonnement corpusculaire, à la différence du rayonnement gamma, qui est électromagnétique et ses particules sont 7500 fois plus lourdes que celles du rayonnement bêta. Elles sont moins pénétrantes, mais beaucoup plus ionisantes et l'on sait que les organes les plus touchés par le polonium 210 sont la rate, les poumons et le côlon.

Le polonium 210 est un émetteur de radiations alpha si instable et dangereux qu'il est un des rares à n'avoir jamais été utilisé en médecine. Il provoque des cancers du poumon par inhalation : il se dépose aux embranchements des bronches où il provoque le processus de cancérisation.

Mais d'où vient ce polonium ? Selon les Drs Thomas Winters et Joseph di Franza, de l'université du Massachusetts, il proviendrait d'engrais phosphatés utilisés dans la culture du tabac. Ce fut d'ailleurs l'une des hypothèses les plus sérieuses.

Extrait de Sciences & Vie n°775, 1982

Questions

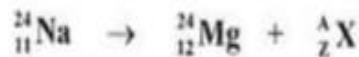
- 1- Justifier, d'après le texte pourquoi la fumée des cigarettes est radioactive.
- 2- Citer les rayonnements radioactifs figurant dans le texte et préciser la nature de chacun d'eux.
- 3- En se référant au texte, comparer les propriétés des rayonnements alpha et bêta.
- 4- Justifier pourquoi, le polonium 210 est qualifié parmi les rares éléments radioactifs à n'avoir jamais été utilisé en médecine.

Exercice n°7

Données :

 $m(\text{Na}) = 23,99096 \text{ u}$; m_e (électron) = $5,5 \cdot 10^{-4} \text{ u}$; m_p (proton) = $1,00728 \text{ u}$; m_n (neutron) = $1,00867 \text{ u}$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$; $1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$; $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 931,5 \text{ MeV.c}^{-2}$

Le nucléide ${}^{24}_{11}\text{Na}$ du sodium est un isotope radioactif qui se désintègre en un noyau de magnésium ${}^{24}_{12}\text{Mg}$ en émettant une particule ${}^A_Z\text{X}$, selon l'équation :



1) a- Déterminer les valeurs de **A** et **Z**. Identifier la particule ${}^A_Z\text{X}$ parmi les particules suivantes : ${}^1_1\text{p}$; ${}^1_0\text{n}$; ${}^0_{-1}\text{e}$; ${}^0_1\text{e}$.



b- Expliquer l'origine de la particule émise.

2) L'énergie libérée au cours de la désintégration d'un noyau de sodium est $\Delta E = 10,92 \text{ MeV}$.

a- Montrer que la masse du noyau de magnésium ${}^{24}_{12}\text{Mg}$, exprimée en **u** (unité de masse atomique) est : $m(\text{Mg}) = 23,97868 \text{ u}$.

b- Comparer la masse m_i de(s) particule(s) à l'état initial à la masse m_f des particules à l'état final, pour la désintégration étudiée. Justifier l'écart constaté.

3) a- Définir l'énergie de liaison d'un noyau.

b- Calculer l'énergie de liaison par nucléon, $E({}^{24}_{12}\text{Mg})$ (en MeV), du noyau de magnésium.

c- Comparer la stabilité des noyaux ${}^{24}_{11}\text{Na}$ et ${}^{24}_{12}\text{Mg}$. On donne l'énergie de liaison par nucléon du noyau de sodium : $E({}^{24}_{11}\text{Na}) = 7,83 \text{ MeV}$.

Correction

Q	Corrigé
3-a	L'énergie de liaison, notée E_i , est l'énergie qu'il faut fournir à un noyau pour le dissocier en nucléons séparés, isolés et immobiles.
3-b	$E({}^{24}_{12}\text{Mg}) = [12m_p + 12m_n - m({}^{24}_{12}\text{Mg})].c^2/24$ $E({}^{24}_{12}\text{Mg}) = 8,25 \text{ MeV}$
3-c	$E({}^{24}_{12}\text{Mg}) > E({}^{24}_{11}\text{Na}) \Rightarrow$ le noyau ${}^{24}_{12}\text{Mg}$ est plus stable que le noyau ${}^{24}_{11}\text{Na}$
2-a	$\Delta E = 10,92 \text{ MeV} = \Delta m.c^2 = [m(\text{Na}) - m(\text{Mg}) - m(e^-)].c^2$ $\Rightarrow m(\text{Mg}) = [m(\text{Na}) - m(e^-)] - [\Delta E/c^2] = 23,97868 \text{ u}$
2-b	$m_i = m(\text{Na})$; $m_f = m(\text{Mg}) + m(e^-)$ et $m_i > m_f$ \Rightarrow la non conservation de la masse se traduit par l'énergie libérée : équivalence masse-énergie.

Exercice n°8

Production d'une fusion nucléaire

« Dans une cavité en or de quelques millimètres de long, on place une micro-bille contenant quelques dixièmes de milligrammes d'atomes de la famille de l'hydrogène : de deutérium ${}^2_1\text{H}$ ($m({}^2_1\text{H}) = 2,01355 \text{ u}$) et de tritium ${}^3_1\text{H}$ ($m({}^3_1\text{H}) = 3,0155 \text{ u}$). Des faisceaux laser de longueur d'onde λ convergent dans la cavité en émettant une énergie de 1,8 MJ et sont absorbés par les parois qui jouent le rôle d'un four. Dans la micro-bille, de la taille d'un grain de riz, la température et la pression augmentent jusqu'à atteindre les conditions pour la fusion. A ce stade, le contenu de la micro-bille est un mélange d'atomes, d'ions et d'électrons. Grâce à la forte agitation thermique au centre de la micro-bille, les noyaux de même charge électrique de deutérium et de tritium qui, naturellement se repoussent, viennent en contact et se combinent dans un temps très court pour former un noyau isotope d'hélium ${}^4_2\text{He}$ ($m({}^4_2\text{He}) = 4,0015 \text{ u}$) en libérant un neutron ${}^1_0\text{n}$ ($m({}^1_0\text{n}) = 1,00867 \text{ u}$) et une énergie $E_1 = 17,6 \text{ MeV}$. En se produisant simultanément un grand nombre de fois, cette réaction libère un fort dégagement d'énergie ».

D'après Aquitaine - Unicnam (article 13)

- 1) a- Nommer la réaction nucléaire qui se produit dans la micro-bille.
b- Préciser, en le justifiant, s'il s'agit d'une réaction nucléaire spontanée ou provoquée.
- 2) a- Ecrire l'équation de la réaction nucléaire qui se produit dans la micro-bille.
b- En précisant les lois utilisées, déterminer les valeurs de A et de Z du noyau d'hélium formé au cours de cette réaction.
- 3) a- Montrer que la masse ne se conserve pas lors de la réaction nucléaire précédente.
b- Préciser, en le justifiant, l'origine de l'énergie E_1 .
Sachant que $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV} \cdot \text{c}^{-2}$, retrouver la valeur de E_1 .

Correction

Q	Corrigé
1-a-	La réaction nucléaire qui se produit est une réaction de fusion nucléaire.
1-b-	C'est une réaction provoquée car le milieu extérieur (faisceau laser) intervient pour augmenter la température et la pression jusqu'à atteindre les conditions favorables pour produire la fusion.
2-a-	l'équation de la réaction nucléaire qui se produit dans la micro bille : ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \longrightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$
2-b-	Conservation du nombre de masse : $A_i = A_f \Rightarrow A = 4$ Conservation du nombre de charge : $Z_i = Z_f \Rightarrow Z = 2$.
3-a-	$\Delta m = m_f - m_i$ $= (m(\text{He}) + m(\text{n})) - (m(\text{H}) + m(\text{H}))$ $= -18,89 \cdot 10^{-3} \text{ u} \neq 0 \Rightarrow$ la masse ne se conserve pas.
3-b-	Le système perd de la masse ; celle-ci se transforme en énergie . $E_1 = \Delta m \cdot \text{c}^2 = 931,5 \cdot 18,89 \cdot 10^{-3} = 17,6 \text{ MeV}$.

Exercice n°9**Différents types de radioactivité**

Les premiers rayonnements d'origine radioactive furent découverts par Henri Becquerel en 1896. L'année suivante Thomson montra que le rayonnement étudié était en réalité constitué d'électrons. Par la suite, d'autres rayonnements ont été découverts, chacun caractérisant un type de radioactivité. Tous découlent d'une instabilité du noyau, conséquence d'un excès relatif soit de neutrons, soit de protons, soit encore du nombre total de nucléons. Dans ce dernier cas, le noyau atomique peut se scinder spontanément en deux noyaux plus petits : c'est la fission nucléaire spontanée (à distinguer de la fission provoquée), ou revenir à un état stable par l'expulsion simultanée de **2 protons** et de **2 neutrons**, c'est-à-dire d'un noyau d'hélium 4. Cet élément est stable et se rencontre couramment dans la nature.

Dans le cas d'un excès de neutrons ou de protons, le noyau peut éjecter l'une de ces deux particules, mais ce phénomène est relativement rare. Il est beaucoup plus courant que la structure interne du noyau soit modifiée pour rétablir l'équilibre : un neutron est transformé en proton, ou un proton en neutron. Dans le premier cas, la transformation d'une particule neutre en particule chargée positivement est accompagnée de l'émission d'un électron chargé négativement. Dans le second cas, il s'agit d'un positon chargé positivement. Enfin, un autre rayonnement, appelé Gamma γ est observé quand le noyau formé est encore excité, c'est-à-dire quand la désintégration n'a pas permis l'évacuation de toute l'énergie excédentaire contenue dans le noyau instable.

D'après Mathieu Nowak dans le mensuel « la recherche n° 326 »

- 1) Préciser la signification des termes :
 - a – radioactivité ;
 - b – fission nucléaire spontanée.
- 2) Nommer le type de radioactivité conduisant à la formation d'un noyau d'hélium 4.
- 3) Relever du texte les transformations possibles qui peuvent avoir lieu dans un noyau possédant un excès de neutrons ou de protons, lors de son retour à un état stable.
- 4) Traduire la phrase du texte « Dans le premier cas, la transformation d'une particule neutre en particule chargée positivement est accompagnée de l'émission d'un électron chargé négativement » par une équation nucléaire et nommer le type de radioactivité mis en jeu.

Correction

Q	Corrigé
1-a-	La réaction nucléaire qui se produit est une réaction de fusion nucléaire.
1-b-	C'est une réaction provoquée car le milieu extérieur (faisceau laser) intervient pour augmenter la température et la pression jusqu'à atteindre les conditions favorables pour produire la fusion.
2-a-	l'équation de la réaction nucléaire qui se produit dans la micro bille : ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \longrightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$
2-b-	Conservation du nombre de masse : $A_i = A_f \Rightarrow A = 4$ Conservation du nombre de charge : $Z_i = Z_f \Rightarrow Z = 2$.
3-a-	$\Delta m = m_f - m_i$ $= (m(\text{He}) + m(\text{n})) - (m(\text{H}) + m(\text{H}))$ $= -18,89 \cdot 10^{-3} \text{ u} \neq 0 \Rightarrow$ la masse ne se conserve pas.
3-b-	Le système perd de la masse ; celle-ci se transforme en énergie . $E_1 = \Delta m \cdot c^2 = 931,5 \cdot 18,89 \cdot 10^{-3} = 17,6 \text{ MeV}$.

Exercice n°10

La période ou demi-vie d'un élément radioactif est définie comme le temps nécessaire pour que la moitié des atomes de cet élément, initialement présent dans un échantillon, ait disparu par désintégration radioactive. L'activité de l'échantillon, c'est-à-dire le nombre de désintégrations qui s'y produisent par seconde, est donc également divisée par deux au bout d'un laps de temps égal à une demi-vie. Lorsque la période d'un élément radioactif atteint le million ou le milliard d'années, le temps nécessaire pour constater une diminution de l'activité, et donc en déduire la période, est trop long. Cependant, l'activité A , qui est inversement proportionnelle à la demi-vie T , est aussi proportionnelle au nombre N d'atomes, si bien qu'une mesure de l'activité d'un échantillon dont la concentration en radioéléments est connue, permet un accès indirect à la période. Cette mesure est rapide. Ainsi, un gramme d'uranium 238 pur, contenant $2,53 \cdot 10^{21}$ atomes, produit 12400 désintégrations par seconde, ce qui permet de déduire une période d'environ 4,5 milliards d'années. Toutefois, les difficultés expérimentales sont multiples : elles vont de l'obtention d'un échantillon pur ne contenant qu'un seul radioélément à la connaissance précise du rendement de détection et de la sélectivité de l'appareil de mesure utilisé.

La Recherche – le 01 / 07 / 2009 mensuel n° 432- Jean – Christophe Sabroux, IRSN Gif-sur-Yvette

On donne : $1 \text{ an} = 31,536 \cdot 10^6 \text{ s}$.

Pour répondre aux questions, on se réfère au texte.

1- Donner la définition de chacun des termes suivants :

- a- période T d'un élément radioactif ;
- b- activité A d'un échantillon radioactif d'un élément donné.

2- a- Dégager l'expression qui traduit la définition de l'activité A .

b- En déduire que : $A \approx 0,69 \cdot \frac{N}{T}$

3- Citer les difficultés expérimentales qu'on peut rencontrer lors de la détermination de la période d'un élément radioactif.

Correction

1-a- T : durée nécessaire pour que la moitié des atomes de cet élément, initialement présent dans un échantillon, ait disparu par désintégration radioactive.

b- A : le nombre de désintégration qui se produisent par seconde.

2-a- $A = \frac{k_1}{T}$; $A = k_2 N$ $\implies A = \frac{kN}{T}$

b- $k = A \frac{T}{N} \approx 0,69$

3-

- Accès indirect à la période : pour déterminer T , il faut déterminer à la fois A et N .
- Obtention d'un échantillon pur ne contenant qu'un seul radioélément.
- Connaissance précise du rendement de détection.
- Sélectivité de l'appareil de mesure utilisé.

Exercice n° 11**Le polonium : un métal redoutable**

« Le Polonium 210 ($^{210}_{84}\text{Po}$) est mille fois plus toxique que le plutonium et un million de fois plus que le cyanure : un seul centième de milligramme suffit à tuer en quelques semaines un homme de poids moyen; une dose évidemment invisible à l'œil nu, indétectable par la police ou les douanes.

Le Polonium 210 émet une radiation de type alpha (^4_2He) qui peut être arrêtée par une simple feuille de papier, ou quelques centimètres d'air. Ce Polonium perd la moitié de sa radioactivité tous les 138 jours, il doit avoir été récemment fabriqué par irradiation (bombardement par un neutron) du bismuth dans un réacteur nucléaire. Après l'ingestion du poison, il passe de l'estomac dans la circulation sanguine. Chaque atome de Polonium est alors porteur d'un projectile alpha expulsé à grande vitesse : de quoi littéralement griller toutes les cellules de l'organisme, les globules rouges en premier, et causer une mort dite "multifactorielle". Ce redoutable métal est pourtant présent dans la nature, produit en permanence par la désintégration de l'uranium. »

Extrait tiré de : «Nouvel Observateur 11-17 Janvier 2007» D'après Fabien Gruhier par adaptation.

Questions :

- Le texte évoque deux transformations permettant d'obtenir le polonium 210.
 - Indiquer ces deux transformations.
 - Préciser pour chacune d'elles si elle est spontanée ou provoquée.
- En se référant au texte, préciser le type de la radioactivité du polonium 210 et écrire son équation nucléaire sachant que le noyau fils obtenu est le plomb (Pb).
- Définir la période radioactive d'un radioélément et donner sa valeur pour $^{210}_{84}\text{Po}$.
- Indiquer l'origine de la toxicité du $^{210}_{84}\text{Po}$, qui est considéré comme métal redoutable.

1-a-Par bombardement du Bismuth par un neutron ;
Par désintégration de l'uranium.

b- Par bombardement du Bismuth par un neutron : réaction nucléaire provoquée
Par désintégration de l'uranium : réaction nucléaire spontanée

2- le polonium 210 émet une radioactivité de type α



3- la période est la durée T au bout de laquelle le nombre de noyaux radioactifs initialement présents diminue de moitié, T = 138 jours

4- Chaque atome de Polonium est alors porteur d'un projectile alpha expulsé à grande vitesse.

Exercice n° 12**On donne :**

Masse d'un noyau de fer $^{59}_{26}\text{Fe}$: $m(^{59}_{26}\text{Fe}) = 58,9348755 \text{ u}$

Masse d'un noyau de cobalt $^{59}_{27}\text{Co}$: $m(^{59}_{27}\text{Co}) = 58,9331950 \text{ u}$

Masse d'un électron : $m(\text{électron}) = 0,000548 \text{ u}$

$1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV} \cdot c^{-2} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Le noyau du fer $^{59}_{26}\text{Fe}$ est radioactif de période radioactive T. Il se désintègre spontanément en un noyau de cobalt $^{59}_{27}\text{Co}$ avec émission d'une particule ^A_ZX .

1- a- Ecrire, en précisant les lois utilisées, l'équation de désintégration de $^{59}_{26}\text{Fe}$.

b- Nommer la particule émise et expliquer son origine.

- 2- Calculer, en MeV, l'énergie W libérée par la désintégration d'un noyau ${}^{59}_{26}\text{Fe}$.
- 3- On désire mesurer l'activité $A(t)$ d'une substance de ${}^{59}_{26}\text{Fe}$ radioactif. Pour cela, on dispose, à $t = 0$, d'un échantillon de ${}^{59}_{26}\text{Fe}$, de masse $m_0 = 1 \text{ mg}$ et d'activité A_0 . Chaque dix jours, on mesure l'activité $A(t)$ de cet échantillon. On remarque que $\frac{A(t)}{A(t+10)} = 1,17$; t étant exprimé en jours.
- a- Définir l'activité A d'un échantillon radioactif et donner son expression en fonction de A_0 , de la constante radioactive λ et du temps t .
- b- Déterminer la valeur de λ et en déduire celle de T .
- c- Calculer A_0 .
- 4- La masse de ${}^{59}_{26}\text{Fe}$ désintégrée à un instant t , est notée $m_d(t)$. Déterminer la valeur de m_d à l'instant $t_1 = 10 \text{ jours}$.

Correction

- 1) a- On a conservation du nombre de masse et du nombre de charge :
- $${}^{59}_{26}\text{Fe} \rightarrow {}^0_{-1}\text{X} + {}^{59}_{27}\text{Co}$$
- b- La particule émise est un électron. il provient de la transformation d'un neutron en un proton au sein du noyau. (${}^1_0\text{n} \rightarrow {}^1_1\text{p} + {}^0_{-1}\text{e}$)
- 2) $W = (m({}^{59}_{26}\text{Fe}) - m_e - m({}^{59}_{27}\text{Co}))c^2 = 1,055 \text{ MeV}$
- 3) a- Définition ; $A = A_0 e^{-\lambda t}$

$$b - \frac{A(t)}{A(t+10)} = e^{10\lambda} = 1,17, \text{ à } t = 0 \Rightarrow \lambda = \frac{\ln 1,17}{10} = 1,57 \cdot 10^{-2} \text{ jours}^{-1}$$

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = 44,15 \text{ jours}$$

$$c - A_0 = \lambda N_0 = \lambda \frac{m_0}{m({}^{59}_{26}\text{Fe})} = 1,6 \cdot 10^{17} \text{ désintégrations.jour}^{-1} = 1,852 \cdot 10^{15} \text{ Bq ;}$$

- 4) $m_d = m_0 - m_{\text{rest}} = m_0(1 - e^{-\lambda t})$
pour $t = t_1 = 10 \text{ jours}$: $m_d = 0,145 \text{ mg}$

Exercice n°13

La médecine nucléaire, pourquoi faire ?

La médecine nucléaire couvre le champ d'une pratique médicale pour agir dans un but à la fois diagnostic et thérapeutique. Dans les deux cas, une substance contenant un isotope radioactif est administré au patient. Les isotopes utiles en médecine nucléaire se caractérisent par leur période relativement courte qui tient compte des contraintes d'imagerie et d'élimination biologique...

Les rayonnements intéressant la médecine nucléaire sont en nombre de quatre. Pour le diagnostic, les rayonnements (γ) et (β^+) et pour la radiothérapie (β^-) et (α) ...

Le fluor 18 est un émetteur β^+ pur ; c'est un candidat idéal pour le marquage de molécules d'imagerie ... le fluor 18, n'a qu'une demi-vie de 108 minutes. Cette propriété favorisera une élimination rapide et un faible impact dans l'accumulation de déchets ...

Le fluor 18 est injecté par voie intraveineuse à une dose de $3,5 \cdot 10^8 \text{ Bq}$. Au bout d'une certaine durée après l'injection, un millième de la dose radioactive initiale est détectable...

D'après La médecine nucléaire

La radioactivité au service du diagnostic et de la thérapie. Richard ZIMMERMANN- EDP, Sciences 2006

Questions:

- 1) En se référant au texte, citer la caractéristique des isotopes utiles en médecine nucléaire.
- 2) Préciser la nature de chaque rayonnement intéressant la médecine nucléaire et donner pour chacun d'eux le champ d'application.
- 3) Dégager du texte, un avantage de la courte demi-vie du fluor 18.
- 4) Déterminer l'instant t au bout duquel $\frac{1}{1000}$ de la dose radioactive initiale du fluor 18 sera détectable.

La matière irradiée, source de radioactivité artificielle

C'est vers 1932 que le couple de physiciens français Frédéric Joliot et Irène Curie commence à utiliser, pour ses recherches, une source de particules alpha (${}^4_2\text{He}$) émises spontanément par le polonium, un élément naturellement radioactif. Grâce à elle, ils peuvent provoquer des réactions nucléaires dans les atomes des éléments. Les Joliot-Curie, avec cette source de particules alpha, bombardent des éléments et analysent les réactions nucléaires produites. Ils remarquent que des éléments légers, en particulier l'aluminium et le bore, éjectent parfois un neutron. Mais ils observent également un autre phénomène, parfaitement inattendu : « la matière irradiée, notent-ils, conserve une radioactivité relativement durable après l'enlèvement de la source de particules alpha, radioactivité se manifestant par l'émission de positons ». Ainsi, une feuille d'aluminium irradiée émet un rayonnement avec une demi-vie de 3 minutes 15 secondes. Un résultat analogue est obtenu avec du bore irradié, mais la demi-vie est différente : 14 minutes. La seule explication possible, c'est que l'aluminium (Al) et le bore, éléments naturellement stables, sont devenus radioactifs.

Les Joliot-Curie sont persuadés qu'ils ont trouvé le moyen de provoquer une radioactivité artificielle, par la création d'un élément instable et sa désintégration spontanée. Ils proposent une réaction probable : le noyau d'aluminium, contenant 13 protons et 14 neutrons, aurait capturé une particule alpha et aurait immédiatement réémis un neutron. L'aluminium se serait alors transmuté en un isotope instable du phosphore (P). Puis le phosphore (P) radioactif se serait à son tour désintégré en silicium (Si) stable, en émettant un positon.

Extrait tiré de : « Les grandes expériences scientifiques » de Michel Rival (Éditions du Seuil)

- 1) Dégager du texte le moyen découvert par les Joliot-Curie pour provoquer une radioactivité artificielle.
- 2) En se référant au texte, et en appliquant les lois de conservation adéquates, écrire les équations des deux réactions nucléaires conduisant à la formation du silicium (Si).
- 3) Les échantillons d'aluminium et de bore irradiés suivent la loi de décroissance radioactive car ils contiennent des noyaux radioactifs. Soit N le nombre de noyaux, à l'instant t , d'un échantillon radioactif et N_0 son nombre de noyaux à l'instant $t = 0$.
 - a- Exprimer $\ln(N)$ en fonction de N_0 , la constante radioactive λ et le temps t .
 - b- La figure 8 représente la courbe d'évolution de $\ln(N)$ en fonction du temps t de l'un des échantillons d'aluminium ou de bore irradiés. En exploitant cette courbe, identifier l'échantillon étudié.

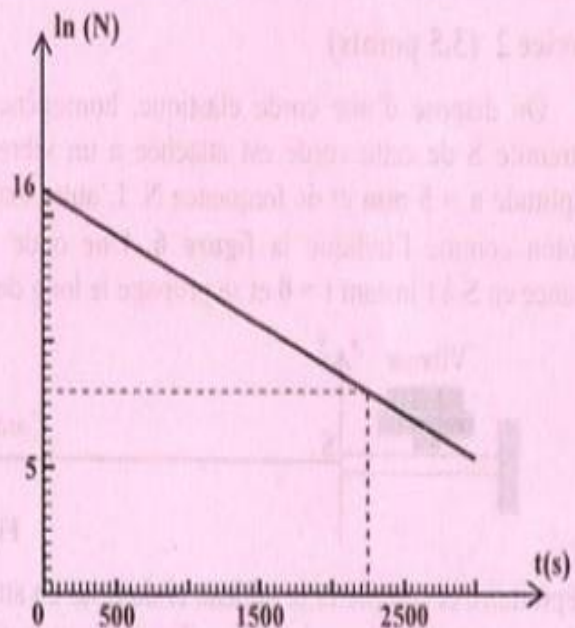


Figure 8

Exercice n°15

L'iode $^{131}_{53}\text{I}$ se désintègre spontanément en un noyau de xénon ($^{131}_{54}\text{Xe}$) avec émission d'un électron. Sa période radioactive est $T = 8$ jours.

- 1- a) Préciser si la radioactivité est de type α , β^+ ou β^- . Justifier la réponse.
 b) En précisant les lois de conservation utilisées, déterminer les valeurs de Z et A .
 c) En réalité, cette désintégration est accompagnée de l'émission d'un photon. Expliquer l'origine de ce photon.
- 2- Un échantillon d'iode 131 contient N_0 noyaux de ce radioélément à l'instant $t = 0$. A un instant de date t , le nombre de noyaux non désintégrés est $N(t)$.
 a) Rappeler la loi de décroissance radioactive en faisant intervenir N_0 et la constante radioactive λ .
 b) Définir la période radioactive T .
 c) Sachant que l'activité instantanée $A(t)$ d'un échantillon de noyaux radioactifs est $A(t) = -\frac{dN(t)}{dt}$,
 c₁- établir l'expression de $A(t)$ en fonction de λ , N_0 et t ;
 c₂- exprimer l'activité A_0 de l'échantillon à l'origine des temps, en fonction de N_0 et de T .
 d) On considère un échantillon d'iode 131 de masse $m_0 = 1 \mu\text{g}$ et d'activité A_0 à l'instant $t_0 = 0$, pris comme origine des temps. Cette activité devient A_1 à un instant $t_1 = 24$ jours.
 d₁- Calculer le nombre de noyaux radioactifs initialement présents dans l'échantillon d'iode ; sachant que la masse d'un atome d'iode 131 est égale à $2,17 \cdot 10^{-25}$ kg.
 d₂- Calculer les activités A_0 et A_1 .

Correction

1- a) Il s'agit de la radioactivité bêta moins car il y a émission d'un électron.
b) On applique les lois de conservation du nombre de masse et du nombre de charge à savoir $131 = A + 0$ ainsi $A = 131$ et $53 = Z - 1$ ainsi $Z = 54$.
c) Le photon émis est dû à la désexcitation du noyau de Xénon formé dans un état excité.
2- a) $N = N_0 e^{-\lambda t}$
b) La période radioactive d'une substance radioactive est la durée T au bout de laquelle le nombre de noyaux radioactifs initialement présents dans un échantillon de cette substance est réduit de moitié.
c) c ₁ - $A = -\frac{dN}{dt}$ or $N = N_0 e^{-\lambda t}$ d'où $A = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$
c ₂ - Pour $t = 0$, on a $A = A_0 = \lambda N_0$ or $\lambda = \frac{\text{Log}2}{T}$ ainsi $A_0 = N_0 \frac{\text{Log}2}{T}$
d) d ₁ - $N_0 = \frac{m_0}{m_{\text{atome d'iode 131}}}$ or $m_0 = 1 \mu\text{g} = 10^{-6}$ g et $m_{\text{atome d'iode 131}} = 2,17 \cdot 10^{-22}$ g donc $N_0 = 4,6 \cdot 10^{15}$ noyaux d ₂ - $A_0 = N_0 \frac{\text{Log}2}{T}$ or $N_0 = 4,6 \cdot 10^{15}$; $T = 8 \cdot 24 \cdot 3600$ s donc $A_0 = 4,6 \cdot 10^9$ Bq $A_1 = A_0 e^{-\lambda t_1}$ or $t_1 = 24$ jours = $3T$ donc $A_1 = \frac{A_0}{8} = 5,75 \cdot 10^8$ Bq