

Les éléments chimiques

I Origine des éléments chimiques dans l'univers

1 La fusion nucléaire au sein des étoiles

Il y a 13,8 milliards d'années, juste après le Big Bang, l'Univers était principalement constitué de noyaux d'hydrogène, de numéro atomique $Z = 1$. L'hydrogène est le plus léger des éléments puisqu'il est constitué d'un seul proton.

Définition

On appelle la nucléosynthèse, la première étape de la formation des noyaux atomiques de plus en plus lourds à partir des noyaux d'hydrogène.

La formation des noyaux à partir de noyaux plus légers peut être réalisée par des réactions de fusion.

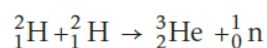
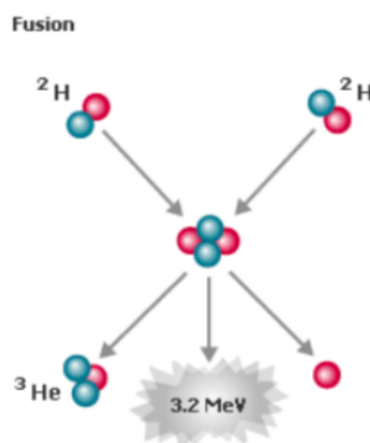
Définition

Lors d'une fusion, deux noyaux légers s'unissent pour former un noyau plus lourd. Une grande quantité d'énergie est alors libérée.

La plupart des noyaux d'atomes sont stables. Ils le doivent à l'interaction forte entre nucléons qui l'emporte sur la répulsion électrostatique entre protons (de même charge positive). Néanmoins, au cœur des étoiles, la forte densité et la température extrême permettent à des noyaux légers de fusionner. Les éléments les plus lourds sont produits dans les derniers stades de la vie des étoiles. Des fusions successives conduisent d'abord jusqu'au fer, l'élément le plus stable du tableau périodique, puis dans la phase ultime de la vie de l'étoile, seront formés les éléments plus lourds que le fer.

La fusion de deux noyaux peut s'accompagner de l'éjection d'une ou plusieurs particules (neutron, proton...)

Exemple :



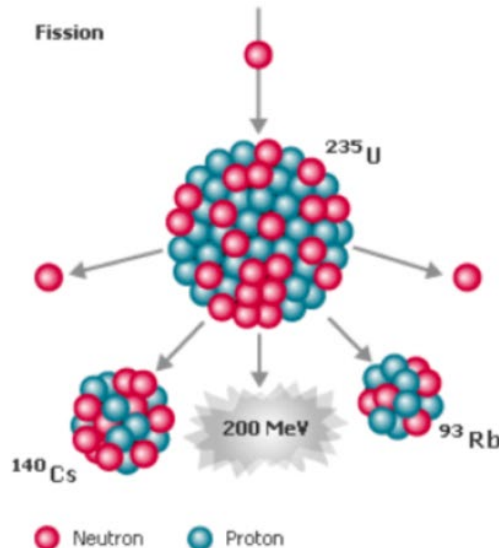
2 La fission nucléaire

Il s'agit d'un autre type de transformation nucléaire utilisée en particulier dans les centrales nucléaires.

Définition

Lors d'une fission nucléaire, un noyau lourd se scinde en deux noyaux plus légers.

Exemple :



3 La matière dans l'univers

Représentant plus de 90 % des atomes de la matière connue, soit presque les 3/4 de sa masse, l'hydrogène est le plus abondant de l'Univers. Il est suivi par l'hélium. Très loin ensuite viennent l'oxygène, le carbone, l'azote...

Propriété

Dans l'Univers, les éléments chimiques hydrogène et hélium sont prédominants. La Terre est surtout constituée d'oxygène, d'hydrogène, de fer, de silicium et de magnésium. Les êtres vivants sont constitués de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote qui sont les éléments indispensables à la vie.

II Radioactivité

1 Définition

Un excès de protons par rapport aux neutrons, ou l'inverse, ou encore trop de nucléons, rendent certains noyaux d'atomes instables. Ces noyaux instables vont alors se transformer spontanément en d'autres noyaux. Ils se désintègrent en émettant des rayonnements sous forme de particules chargées et/ou d'ondes électromagnétiques.

Définition

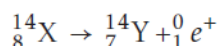
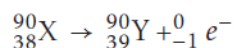
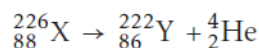
La radioactivité est la désintégration spontanée d'un noyau instable (noyau père) en un autre noyau plus stable (noyau fils).

La radioactivité a été découverte par Pierre et Marie Curie. Ils ont reçu le prix Nobel de physique en 1903.

Propriété

Au cours d'une réaction nucléaire, il y a conservation globale des numéros atomiques et des nombres de masse.

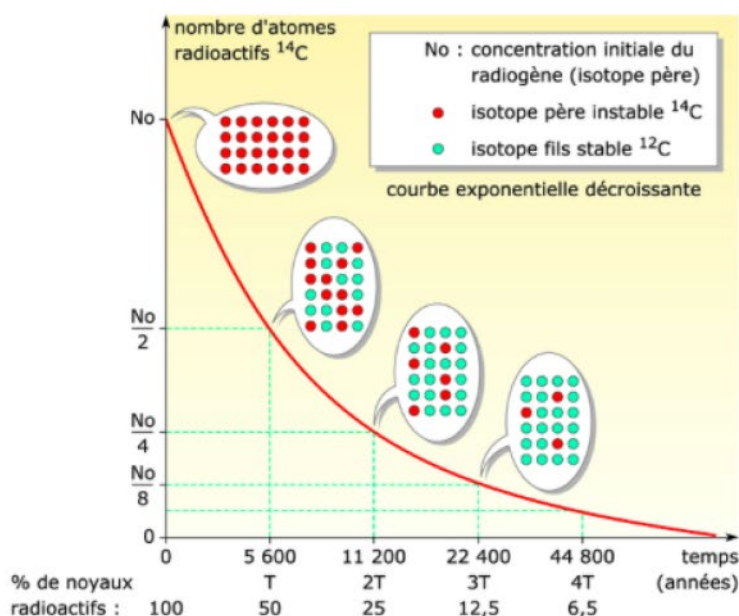
Exemples de réactions nucléaires de radioactivité :



2 Loi de décroissance radioactive

La désintégration d'un noyau instable étant spontanée, on ne peut raisonner qu'en termes de probabilité. On ne sait pas à quel instant un noyau va se désintégrer mais on connaît la loi de probabilité avec laquelle un échantillon de noyaux radioactifs se désintègre. La courbe de décroissance des noyaux radioactifs a une allure d'exponentielle décroissante.

Exemple : décroissance radioactive du carbone 14



Définition

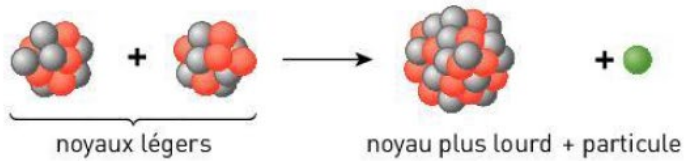
La demi-vie (notée $t_{1/2}$) est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux instables d'un échantillon radioactif s'est désintégrée, ou encore l'activité initiale a été divisée par deux.

Exemple : D'après le graphique, la demi-vie du carbone 14 est de 5600 ans.

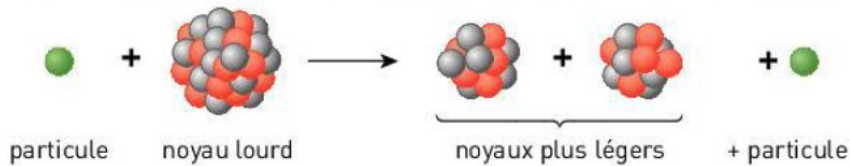
1

Formation des éléments

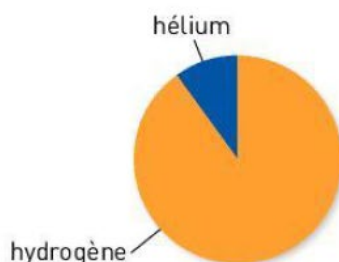
Des réactions de fusion nucléaire dans les étoiles forment les éléments :



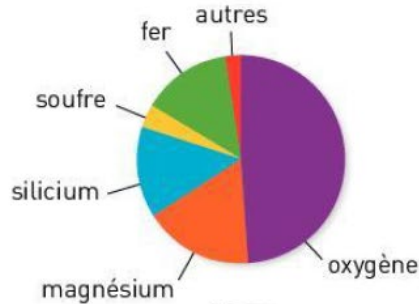
La fission nucléaire est un autre type de transformation nucléaire :



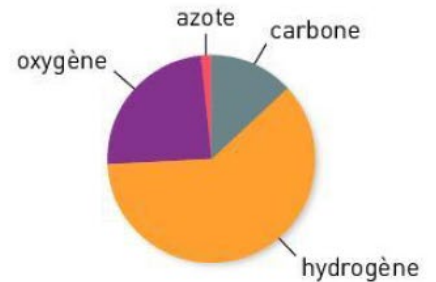
Abondance des éléments chimiques



Univers



Terre

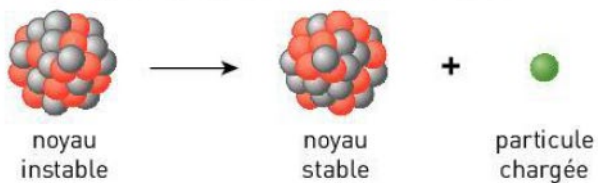


corps humain

2

Radioactivité

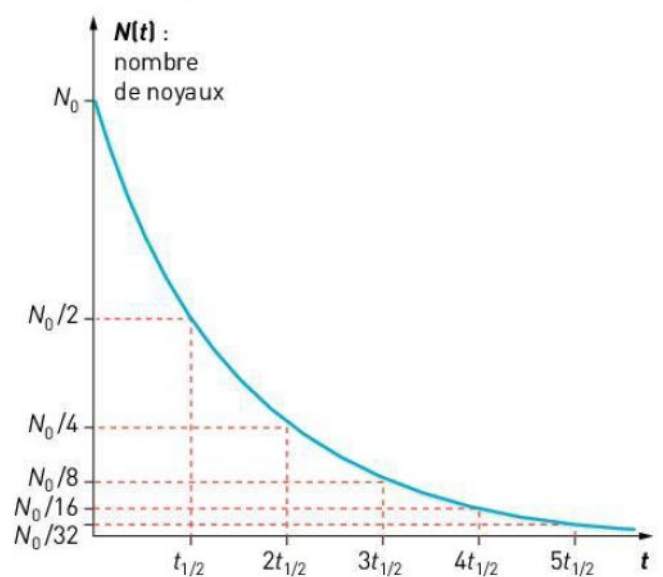
La radioactivité est la désintégration spontanée d'un noyau instable



C'est un phénomène aléatoire au niveau d'un noyau



Courbe de décroissance radioactive



$t_{1/2}$, la demi-vie, telle que $N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2}$

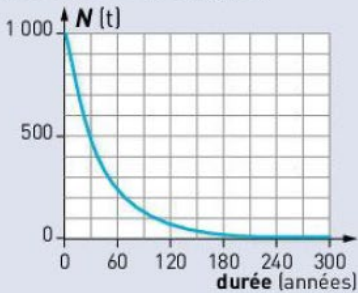
Exercices

Exercice 01 .Répondre aux questions suivantes :

Question	Réponse
Combien d'éléments chimiques stables a-t-on identifié sur Terre ?	
Quels sont les deux principaux éléments chimiques dans l'univers ?	
Quels sont les principaux éléments chimiques sur Terre ?	
Quels sont les principaux éléments chimiques qui forment les êtres vivants ?	
Que se passe-t-il au cours d'une fusion nucléaire ?	
Que se passe-t-il au cours d'une fission nucléaire ?	
Qu'est-ce que la radioactivité ?	
Qu'est-ce que la demi-vie d'un noyau radioactif ?	

2 Questions à choix multiples

Pour chaque question, choisir la ou les bonnes réponses.

	1	2	3
A - Une fusion a lieu :	dans les étoiles.	dans les centrales nucléaires.	dans les moteurs à explosion.
B - Voici l'équation d'une réaction de fission :	$^{30}_{15}\text{P} \rightarrow ^{30}_{14}\text{Si} + ^0_1\text{e}$	$^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n}$	$^{239}_{94}\text{Pu} \rightarrow ^{112}_{46}\text{Pd} + ^{124}_{48}\text{Cd} + 3\ ^1_0\text{n}$
C - $^2_1\text{H} + ^3_2\text{He} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^1_1\text{p}$	C'est une équation de fusion.	Une particule est éjectée.	De l'énergie est libérée.
D - La radioactivité concerne :	des noyaux stables.	des noyaux instables.	toujours des noyaux lourds.
E - Soit la courbe de décroissance radioactive d'un noyau : 	Sa demi-vie est 300 ans.	Sa demi-vie est 100 ans.	Sa demi-vie est 30 ans.
F - D'un échantillon de départ contenant 1×10^6 noyaux radioactifs, il reste au bout de 3 demi-vies :	$1,25 \times 10^5$ noyaux.	$2,5 \times 10^4$ noyaux.	1×10^2 noyaux.

5 Un isotope de l'iode pour étudier la thyroïde

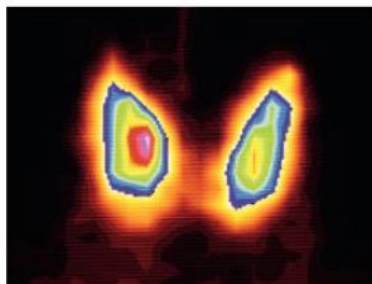
La glande thyroïde produit des hormones essentielles à différentes fonctions de l'organisme à partir de l'iode alimentaire. Pour vérifier son fonctionnement, on procède à une scintigraphie thyroïdienne. Il s'agit d'un examen d'imagerie médicale qui nécessite l'injection d'un produit faiblement **radioactif**. Ce radio-traceur qui peut être l'isotope $^{131}_{53}\text{I}$ de l'iode va se fixer préférentiellement sur les cellules thyroïdiennes. Pour cette scintigraphie, le patient ingère une dose contenant $N_0 = 4,60 \times 10^{15}$ **atomes** de l'isotope 131.

1. La demi-vie de l'isotope $^{131}_{53}\text{I}$ vaut 8,0 jours. Qu'appelle-t-on demi-vie d'un isotope radioactif ?

2. **Déterminer** l'allure de la courbe donnant l'évolution du nombre de noyaux radioactifs de l'échantillon au cours du temps, en prenant comme unité la demi-vie sur l'axe des abscisses.

3. **En déduire** :

- la durée nécessaire pour qu'il ne reste plus que 25 % de noyaux radioactifs ;
- le nombre restant au bout de 32 jours.



Les clés de l'énoncé

- La radioactivité concerne des noyaux instables qui vont **se désintégrer**, donc disparaître au cours du temps.
- Le **nombre initial** de noyaux donne l'origine de la courbe de décroissance radioactive.

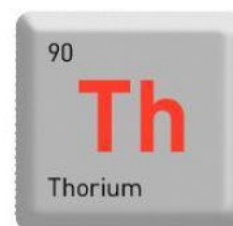
Les questions à la loupe

- Déterminer** : mettre en œuvre une stratégie pour trouver un résultat.
- En déduire** : intégrer le résultat précédent pour répondre.

6 Utilisation d'un isotope du thorium

L'isotope $^{227}_{90}\text{Th}$ de l'élément thorium est radioactif. Sa demi-vie est de 19 jours. Cet isotope pourrait être utilisé pour soigner, par radiothérapie, certaines maladies des tissus mous. On dispose d'un échantillon de cet isotope de masse $m = 1,0 \mu\text{g}$.

- Représenter la courbe donnant l'évolution de la masse de thorium restant en fonction du temps, en prenant comme unité la demi-vie sur l'axe des abscisses.
- Déterminer la masse de thorium restant au bout de 57 jours.
- Calculer la durée nécessaire pour qu'il ne reste plus que 6,25 % des noyaux de thorium.



10 Scintigraphie osseuse

Le disphosphonate est une molécule qui se fixe préférentiellement sur des lésions. Pour visualiser les lésions osseuses, on insère des noyaux de technétium 99, isotope radioactif, dans une molécule de diphosphonate. La détection des rayonnements émis par cet isotope radioactif permet de localiser les lésions. À la date $t = 0$ s, on injecte un échantillon contenant un nombre $N_0 = 555 \times 10^6$ noyaux radioactifs. On mesure ensuite le nombre de noyaux restants en fonction du temps.

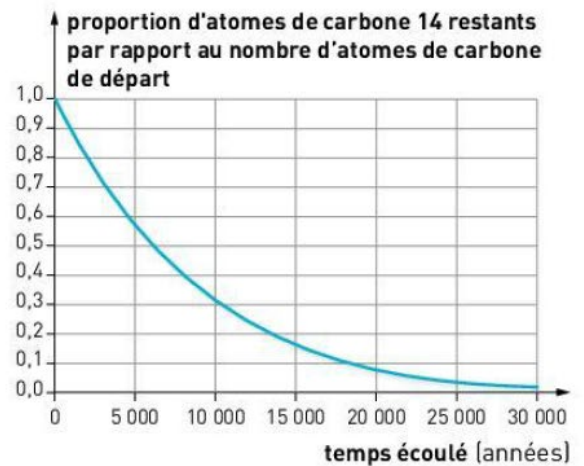
- Tracer l'évolution du nombre de noyaux $N(t)$ en fonction du temps. Que constate-t-on ?
- Au bout de combien de temps le nombre initial de noyaux est-il divisé par 2 ? Comment appelle-t-on cette durée ?
- Pourquoi ce traceur est-il adapté à une utilisation dans le domaine médical ?

t (h)	0	2	4	8	12	18	20	24	30	36
$N(t) \times 10^6$ (noyaux)	555	441	350	222	139	69	55	35	17	6

11 Âge d'une momie

Une momie a été découverte en Égypte dans la vallée des Rois. On réalise une datation au carbone 14. Cet élément radioactif, produit en continu dans l'atmosphère terrestre, reste en proportion constante dans les organismes vivants. Le carbone n'étant plus renouvelé à partir du décès, sa proportion diminue comme l'indique le graphique ci-contre.

On mesure une baisse de 40 % de la proportion de carbone 14 de la momie.



1. Pourquoi le carbone 14 n'est-il plus renouvelé à partir du décès des êtres vivants ?
2. En vous aidant de la courbe ci-dessus, dater la momie.
3. Peut-on utiliser la méthode de datation au carbone 14 pour dater les dinosaures qui se sont éteints il y a 65,5 millions d'années ? Pourquoi ?

Prépa
BAC

CONTRÔLE CONTINU

12 Réactions de fusion dans les étoiles

L'objectif de cet exercice est d'étudier les transformations nucléaires qui se produisent dans l'Univers, notamment dans les étoiles, et qui engendrent la synthèse des éléments chimiques.

Sous l'action de la force gravitationnelle, les premiers éléments (hydrogène, hélium...) se rassemblent, formant des nuages gazeux en certains endroits de l'Univers. Le nuage s'effondre ensuite sur lui-même et la température centrale atteint environ 10^7 °C. À cette température démarre la première réaction de fusion de l'hydrogène dont le bilan peut s'écrire :



Une étoile est née.

Seul un dixième de la masse du soleil est constitué d'hydrogène suffisamment chaud pour être le siège de réactions de fusion. D'autres réactions de nucléosynthèse peuvent se produire au cœur d'une étoile. Selon les modèles élaborés par les physiciens, l'accumulation par gravitation des noyaux d'hélium formés entraîne une contraction du cœur de l'étoile et une élévation de sa température. Lorsqu'elle atteint environ 10^8 °C, la fusion de l'hélium commence :



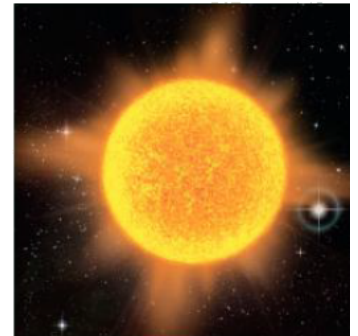
Il se forme ainsi des noyaux de béryllium 8 radioactifs, de très courte durée de vie.

Données : Énergie libérée par la réaction de fusion de 4 noyaux d'hydrogène : $E = 4 \times 10^{-12}$ J.

Masse du Soleil à sa naissance : $M_s = 2 \times 10^{30}$ kg.

Masse d'un noyau d'hydrogène : ${}^1_1\text{H} : m = 1,67 \times 10^{-27}$ kg.

Demi-vie du béryllium 8 : $t_{1/2} = 7 \times 10^{-17}$ s.



1. En considérant que l'essentiel de l'énergie produite vient de la réaction de fusion donnée ci-dessus (a), montrer que l'énergie totale E_{Totale} pouvant être produite par ces réactions de fusion est voisine de 10^{44} J.
2. Des physiciens ont mesuré la quantité d'énergie reçue par la Terre et en ont déduit l'énergie E_s libérée par le Soleil en une année : $E_s = 10^{34}$ J · an⁻¹. En déduire la durée Δt nécessaire pour que le Soleil consomme toutes ses réserves d'hydrogène.
3. Soit $N(t)$ le nombre de noyaux de béryllium 8 présents dans l'échantillon à l'instant de date t , et N_0 celui à l'instant de date $t_0 = 0$ s. Calculer le rapport $\frac{N(t_1)}{N_0}$ à l'instant de date $t_1 = 1,4 \times 10^{-16}$ s.