

Série 3 : Décroissance radioactive



EXERCICE 1 :

Le thorium ${}_{90}^{230}\text{Th}$ est utilisé pour dater les coraux et les sédiments marins, car sa concentration à la surface des sédiments qui sont en contact avec l'eau de mer reste constante, et elle diminue selon la profondeur dans le sédiment.

- 1 L'uranium ${}_{92}^{238}\text{U}$ dissout dans l'eau de mer, donne des atomes de thorium ${}_{90}^{230}\text{Th}$ avec émission de x particules α et y particules β^- .

1.1. Ecrire l'équation de cette transformation nucléaire en précisant la valeur de x et celle de y .

1.2. On désigne par :

- λ la constante radioactive du thorium ${}_{90}^{230}\text{Th}$;
- λ' la constante radioactive de l'uranium ${}_{92}^{238}\text{U}$;
- $N({}_{90}^{230}\text{Th})$ le nombre de noyaux de thorium 230 à l'instant t ;
- $N({}_{92}^{238}\text{U})$ le nombre de noyaux de l'uranium 238 au même instant t .

Montrer que le rapport $\frac{N({}_{90}^{230}\text{Th})}{N({}_{92}^{238}\text{U})}$ reste constant

quand le thorium 230 et l'uranium 238 ont même activité.

- 2 Le noyau du thorium 230 se désintègre en donnant un noyau de radium 226 ${}_{88}^{226}\text{Ra}$. Écrire l'équation de cette réaction nucléaire en précisant la nature du rayonnement émis.
- 3 On appelle $N(t)$ le nombre de noyaux de thorium 230 qui se trouve dans un échantillon de corail à l'instant t et N_0 le nombre de ces noyaux à $t = 0$.

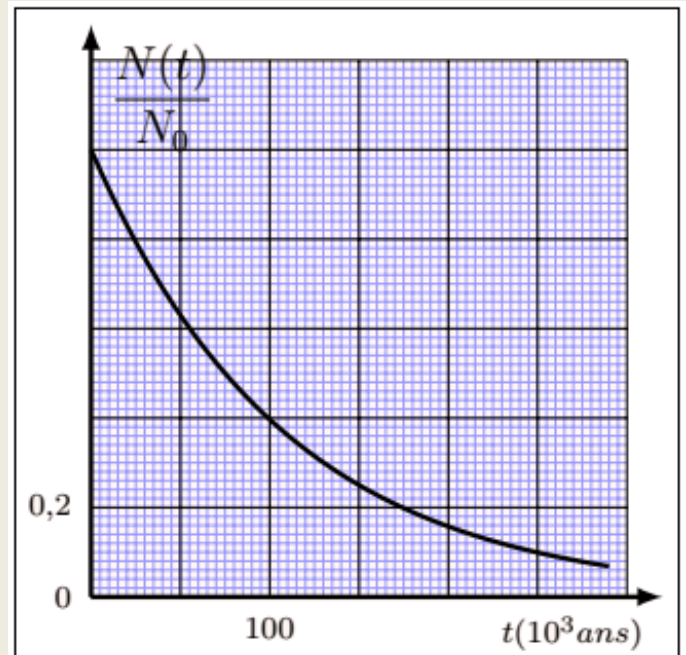
Le graphe ci-contre représente l'évolution du rapport $\frac{N(t)}{N_0}$ en fonction du temps.

A l'aide de ce graphe, vérifier que la demi-vie du thorium 230 est : $t_{1/2} = 7,5 \times 10^4$ ans

- 4 Ce graphe est utilisé pour dater un sédiment marin. Un échantillon de sédiment de forme cylindrique de hauteur h est prélevé au fond de l'océan.

L'analyse d'un fragment (1) pris à la base supérieure de cet échantillon, qui est en contact avec l'eau de mer, montre qu'il contient $m_s = 20\mu\text{g}$ de thorium 230. Un fragment (2), de même masse, pris à la base inférieure de l'échantillon contient une masse $m_p = 1,2\mu\text{g}$ de thorium 230.

On prend pour origine des dates ($t = 0$) l'instant où la masse du thorium est $m_0 = m_s$. Déterminer, en années, l'âge de la base inférieure de l'échantillon.



EXERCICE 2

Données : $M(\text{C}) = 12,0 \text{ g/mol}$; $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$; $\ln 2 = 0,69$; $\ln 1,64 \cdot 10^{-2} = -4,1$.

Dans la nature l'élément carbone possède deux noyaux isotopes : le carbone 12 noté ${}_{6}^{12}\text{C}$ et le carbone 14 noté ${}_{6}^{14}\text{C}$. Le carbone 14 se forme dans la haute atmosphère à la suite d'un choc entre un neutron et un noyau d'azote 14 : ${}_{7}^{14}\text{N}$. Ce carbone 14 est radioactif - et a un temps de demi-vie égal à 5570 ans. On note λ la constante radioactive du carbone 14. On note $N(t)$ le nombre de noyaux radioactifs présents à l'instant t dans l'échantillon. L'activité d'un échantillon radioactif $A(t)$ est le nombre de désintégrations qu'il produit par unité de temps soit $A(t) = -dN(t) / dt$. Dans la matière vivante, les échanges d'élément carbone entre l'organisme végétal ou animal et l'air atmosphérique font que le rapport $N(\text{carbone 14}) / N(\text{carbone 12})$ est constant. A la mort de l'être vivant, ces échanges prennent fin ce qui entraîne la

décroissance de ce rapport. Dans 200 g d'os d'un être vivant, il y a 1,0 g de carbone et on mesure 15 désintégrations par minute.

1. Après avoir énoncé les lois utilisées, écrire l'équation de la réaction nucléaire correspondant à la formation du carbone 14 dans l'atmosphère. Quelle est la seconde particule formée ?
2. Définir la radioactivité.
3. Ecrire l'équation de la désintégration - du carbone 14.
4. Exprimer $A(t)$ en fonction de $N(t)$ et λ .
5. En déduire l'équation différentielle vérifiée par le nombre $N(t)$ de noyaux.
6. Vérifier que l'expression $N(t) = N_0 \exp(-\lambda t)$ est solution de cette équation.
7. Définir le temps de demi-vie.
8. A un instant pris comme origine des temps, l'activité d'un échantillon est notée A_0 . Exprimer en fonction de A_0 , l'activité de cet échantillon aux instants $t_{1/2}$, $2t_{1/2}$, $3t_{1/2}$, $4t_{1/2}$, et $5t_{1/2}$.
9. Tracer l'allure de la courbe représentant l'évolution de l'activité de l'échantillon en fonction du temps. Déduire des questions 6 et 9 l'équation de la courbe obtenue.
10. Etablir la relation entre λ et $t_{1/2}$. Calculer λ pour le carbone 14 et préciser son unité.
11. Dans 200 g d'os trouvés sur un site archéologique, l'analyse montre que le rapport $N/N_0 = 1,64 \cdot 10^{-2}$.
12. Calculer l'âge T de ces ossements en justifiant.
13. Quelle est en Bq l'activité de ces ossements ?
14. Quel est le nombre N_0 de noyaux radioactifs présents dans l'échantillon ?
15. En supposant qu'il n'y ait que des noyaux de carbone 12 dans l'échantillon, quel est le nombre total de noyaux de carbone dans 200 g d'os ? Comparer ce nombre à N_0 et commenter ce résultat.

EXERCICE 3: Datation d'une nappe phréatique

Le chlore 36 est créé régulièrement dans la haute atmosphère et se trouve dans l'eau. Il est radioactif β^- . Les eaux de surface ont une teneur en chlore 36 constante malgré sa radioactivité. Leur contact avec l'atmosphère et les mouvements de l'eau permettent d'en garantir la teneur. Les nappes phréatiques d'écoulement lent en sous-sol voient leur teneur en chlore 36 diminuer. Ainsi, un forage réalisé dans une telle nappe indique que celle-ci ne contient plus que 33% de chlore 36 par rapport à une eau courante. La demi-vie du chlore 36 est $t_{1/2} = 3,0 \cdot 10^4 \text{ ans}$.

1. Écrire l'équation nucléaire de radioactivité du chlore 36.
2. Calculer l'âge de la nappe d'eau trouvée par forage.
3. Est-il possible d'utiliser le silicium 32 pour réaliser cette datation, sachant que sa demi-vie est $t_{1/2} = 6,5 \cdot 10^2 \text{ ans}$?

EXERCICE 4 : Datation au carbone 14

Lorsque, dans la haute atmosphère, un neutron appartenant au rayonnement cosmique rencontre un noyau d'azote $^{14}_7\text{N}$, il donne naissance à du carbone 14, isotope de carbone $^{12}_6\text{C}$

1. Écrire l'équation de la réaction en précisant la nature de la particule apparue avec le carbone 14.
2. Le noyau de carbone 14 se désintègre en émettant un rayonnement β^- . Écrire le bilan de cette réaction nucléaire.

Des végétaux absorbent le dioxyde de carbone de l'atmosphère provenant indifféremment du carbone 14 et de carbone 12. La proportion de ces deux isotopes est la même dans les végétaux vivants et dans l'atmosphère. Mais lorsque la plante meurt, elle cesse d'absorber le dioxyde de carbone ; le carbone 14 qu'elle contient se désintègre alors, sans être renouvelé, avec une demi-vie $t_{1/2} = 5570 \text{ ans}$.

- (a) Quelle sera l'activité d'un échantillon de végétal au bout d'une durée $t = n \cdot t_{1/2}$ après sa mort ?
- (b) On a comparé l'activité a_1 d'un échantillon de bois trouvé dans une tombe égyptienne en 1998 avec l'activité a_2 d'un échantillon de référence dont l'activité était a_0 en 1985. Le rapport est $\frac{a_2}{a_1} = 1.85$. Calculer l'ordre de grandeur de la date de la coupe du bois trouvé dans la tombe

EXERCICE 5:

L'iode est indispensable à l'organisme humain. Il participe à la synthèse des hormones thyroïdiennes. L'assimilation de cet iode $^{127}_{53}\text{I}$ non radioactif se fait sous forme d'ions iodure dans la glande thyroïde. Lors des accidents nucléaires, il y a émission dans l'atmosphère d'iode $^{131}_{53}\text{I}$, radioactif β^- de demi-vie $t_{1/2}=8,1$ jours. Lors de sa désintégration l'iode $^{131}_{53}\text{I}$ donne du Xénon (Xe).

1. Écrire l'équation de désintégration de l'iode $^{131}_{53}\text{I}$.
2. La population française vivant dans les environs des centrales nucléaires a reçu des comprimés d'iode $^{127}_{53}\text{I}$ (sous forme d'iodure de potassium) à prendre en cas d'accident nucléaire. Justifier cette mesure.
3. L'iode $^{131}_{53}\text{I}$ est aussi utilisé en médecine, par exemple pour l'examen par scintigraphie des glandes surrénales. Déterminer l'activité A_1 de $m=1,0\text{g}$ d'iode $^{131}_{53}\text{I}$.
4. Sachant que pour cet examen il faut une solution d'iode $^{131}_{53}\text{I}$ d'activité $A_0=37\text{MBq}$. Quelle est alors la masse m' d'iode $^{131}_{53}\text{I}$ injectée au patient?
5. Tracer la courbe de décroissance de l'activité du produit injecté au cours du temps et déterminer graphiquement la date t où l'activité sera divisée par 10.

Données : Iode $^{131}_{53}\text{I}$: $M(\text{iode } ^{131}_{53}\text{I}) = 131\text{g/mol}$ et Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

EXERCICE 6 : Datation par la méthode Uranium - Thorium :

Le Thorium se trouvant dans les roches marines, résulte de la désintégration spontanée d'Uranium $^{234}_{92}\text{U}$ au cours du temps. C'est pourquoi le Thorium et l'Uranium se trouvent dans toutes les roches marines en proportions différentes selon leurs dates de formation.

On dispose d'un échantillon d'une roche marine, qui contenant à l'instant de sa formation considéré comme origine des dates ($t = 0$), un nombre N_0 de noyaux d'Uranium $^{234}_{92}\text{U}$, et on suppose qu'elle ne contenait pas du Thorium à l'origine des dates.

L'étude de cet échantillon à l'instant t a montré que le rapport du nombre de noyaux de Thorium sur le nombre de noyaux d'Uranium est : $r = \frac{N(^{230}_{90}\text{Th})}{N(^{234}_{92}\text{U})} = 0,4$

On donne :

- Masse d'un noyau d'Uranium : $m(^{234}_{92}\text{U}) = 234,0409\text{u}$
- Demi-vie de l'Uranium 234 : $t_{1/2} = 2,455 \times 10^5 \text{ ans}$;
- Masse du proton : $m_p = 1,00728\text{u}$;
- Masse du neutron : $m_n = 1,00866\text{u}$;
- Unité de masse atomique : $1\text{u} = 931,5\text{MeV} \cdot c^{-2}$

1 Etude du noyau d'Uranium ($^{234}_{92}\text{U}$) :

- 1.1. Donner la composition du noyau d'Uranium 234.
- 1.2. Calculer en MeV, l'énergie de liaison E_ℓ du noyau $^{234}_{92}\text{U}$.
- 1.3. Le nucléide $^{234}_{92}\text{U}$ est radioactif, se transforme spontanément en nucléide de Thorium $^{230}_{90}\text{Th}$. Par application des lois de conservation, écrire l'équation de désintégration de ce nucléide d'Uranium $^{234}_{92}\text{U}$.

2 Etude de la décroissance radioactive :

- 2.1. Donner l'expression du nombre de noyaux de Thorium $N(^{230}_{90}\text{Th})$ à l'instant t , en fonction de N_0 et le temps de demi-vie $t_{1/2}$ de l'Uranium 234.
- 2.2. Trouver l'expression de l'instant t en fonction de r et $t_{1/2}$. Calculer sa valeur.