

II-2- Série des exercices Radioactivité et les réactions nucléaires

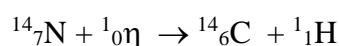
Exercice 1

Dans une haute atmosphère, l'action des neutrons due au rayonnement cosmique, sur l'azote, engendre du carbone 14.

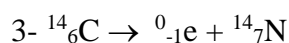
- 1- Ecrire la réaction correspondante.
- 2- A quelle radioactivité doit-on s'attendre pour cet isotope du carbone ?
- 3- Quel noyau donne cette désintégration ?
- 4- 1 g de carbone naturel prélevé dans l'atmosphère donne 15,3 désintégration par minute. Sachant que la période du carbone responsable de cette radioactivité est $T = 5600$ ans, déterminer la proportion de carbone radioactif dans l'échantillon.

Corrigé 1.

1- La réaction correspondante a comme équation :



2- Cet isotope comportant un excès de neutrons, par rapport aux protons, il sera radioactif β^+ .



4- Le nombre de moles de carbone radioactif est $n = 1,08 \cdot 10^{-13}$; il correspond à un pourcentage de $1,08 \cdot 10^{-10} \%$; ce qui est très faible.

Exercice 2.

Le carbone possède 5 isotopes dont les nombres de masse sont : 10, 11, 12, 13, et 14.

- 1- Quels sont les isotopes naturels, et les isotopes stables
- 2- A quels types de radioactivité doit-on s'attendre pour les isotopes instables ? Ecrire les équations nucléaires.
- 3- Quel rôle particulier joue l'isotope 12 ?

4- Quelle réaction nucléaire peut-on envisager pour obtenir l'isotope 11 à partir d'azote 14 ?

5- La période de ^{14}C est 5600 ans ; comment peut-on déterminer une telle période ? On compare l'activité de deux échantillons de charbon du bois de même masse :

- 4500 Bq pour un échantillon fraîchement préparé ;

- 660 Bq pour un échantillon trouvé dans une grotte.

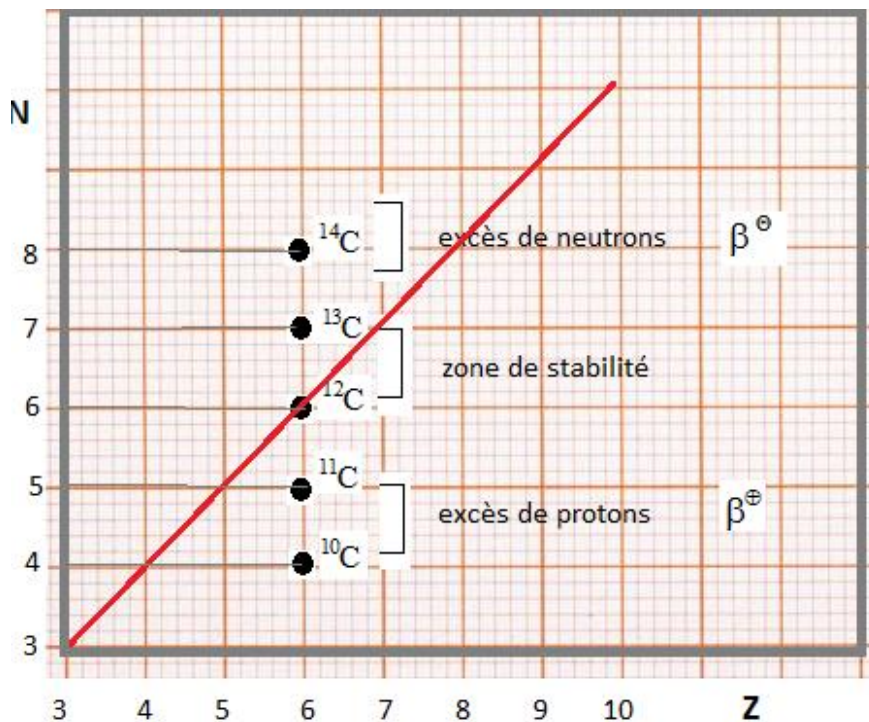
Déterminer l'âge de cet échantillon.

Corrigé 2.

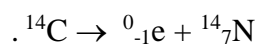
Le carbone possède 5 isotopes dont les nombres de masse sont : 10, 11, 12, 13, et 14.

1- La figure ci-dessous (nombre de neutrons N en fonction de Z) représente la position des isotopes du carbone dans le diagramme N, Z ; on peut en déduire les isotopes stables, ^{13}C et ^{12}C , les autres étant instables.

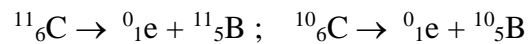
Les isotopes naturels sont les isotopes stables et l'isotope ^{14}C formé dans la stratosphère.



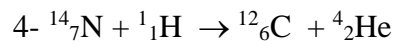
2- ^{14}C comportant un excès de neutrons, sera radioactif β^- .



. ^{11}C et ^{10}C , possédant un excès de protons par rapport aux neutrons seront radioactif β^{\oplus} .



3- l'isotope 12 est le plus abondant dans la nature (98,891%), il joue un rôle crucial dans la photosynthèse.



5- On mesure l'activité d'un échantillon de carbone ^{14}C : en connaissant sa masse, on peut en déduire sa constante radioactive d'où sa période.

$$\lambda = \ln 2/T = 0,639/5600 = 1,141 \cdot 10^{-4} \text{ an}^{-1}$$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow N(t)/N_0 = e^{-\lambda t} \Rightarrow \ln N(t)/N_0 = -\lambda t \Rightarrow t = -\ln N(t)/N_0 \times 1/\lambda$$

$$\text{d'où } t = \ln 4500/600 \times 1/1,141 \cdot 10^{-4} = 1,55 \cdot 10^4 \text{ an}$$

Exercice 3.

Un noyau ^A_ZX réagit avec un proton pour donner deux noyaux d'hélium.

Quelle est la nature de X ?

La réaction s'accompagne d'une diminution de masse Δm . Quelle est l'énergie correspondante ? Est-elle dégagée ou absorbé ? Justifier votre réponse

$$H = 1,0081 \text{ u.m.a} \quad He = 4,0039 \text{ u.m.a}$$

$$\Delta m = 0,0186 \text{ u.m.a} \quad c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Corrigé 3.



L'élément X est le lithium : ^7_3Li

$$\text{L'énergie correspondante est } \Delta E = \Delta m c^2 = 0,0186 \text{ u.m.a} \times 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \times (3 \cdot 10^8)^2 \text{ m}^2/\text{s}^2 =$$

X joules

Comme $\Delta m = 0,0186 \text{ u.m.a}$ est positive donc l'énergie est aussi positive

Donc cette énergie est absorbée

Exercice 4

Une substance radioactive dont la demie-vie est de 10 s émet initialement $2 \cdot 10^7$ particules α par seconde.

1. Calculer la constante de désintégration de la substance. $\lambda = \ln 2 / T = \ln 2 / 10 = 0,0693 \text{ s}^{-1}$.
2. Quelle est l'activité de cette substance?
3. Initialement, combien y a-t-il en moyenne de noyaux radioactifs ?
4. Combien restera-t-il en moyenne de noyaux radioactifs après 30 s
5. Quelle sera alors l'activité de la substance?

Corrigé 4.

- 1- La constante de désintégration de la substance est: $\lambda = \ln 2 / T = \ln 2 / 10 = 0,0693 \text{ s}^{-1}$.
- 2- L'activité de cette substance est : $A = 2 \cdot 10^7 \text{ Bq}$ (1 particule alpha émise correspond à 1 noyau de la substance désintégré).
- 3- Le nombre de noyaux radioactifs initial est : $N_0 = A / \lambda = 2 \cdot 10^7 / 0,0693 = 2,89 \cdot 10^8$ noyaux
- 4- Le nombre de noyaux radioactifs après 30 s est : Après 30s c'est-à-dire 3 périodes, il restera $N = N_0 / 2^3 = 3,97 \cdot 10^6$ noyaux
- 5- L'activité de la substance est : $A = \lambda \cdot N = 2,75 \cdot 10^5 \text{ Bq} = 275 \text{ kBq}$

Exercice 5 (Exercices sur la fission nucléaire)

- 1- Calculer l'énergie (en joules) libérée par la fission d'un kg d'uranium contenant 90% d' ^{235}U en supposant qu'il y a libération de 200 MeV par noyau.
- 2- Calculer le défaut de masse lors de la fission d'un kg à 90% d' ^{235}U en supposant qu'il y a libération de 200 MeV par noyau.

3- Calculer la puissance de la bombe qui contiendrait 10 kg d' ^{235}U dont la fission s'opère en 0,1 s.

Corrigé 5.

1- $7,38 \times 10^{13} \text{ J}$;

2- $\Delta m = 3,55 \times 10^{-28} \text{ kg / noyau} = 0,0906 \% \Rightarrow 0,0813 \% \text{ pour un kg à } 90\%$
 $d^{235}\text{U}$.

3- $\Delta m = 10 \times 0,0813 \% = 8,15 \text{ g}$; $E = \Delta m c^2 = 7,38 \times 10^{14} \text{ J}$; $P = E/t \Rightarrow$

$P = 7,38 \times 10^{15} \text{ W}$.

Exercice 6

Les radionucléides les plus utilisés en biologie sont : ^3_1H , $^{14}_6\text{C}$, $^{32}_{15}\text{P}$ et $^{35}_{16}\text{S}$. Ces radionucléides sont tous des émetteurs β purs. Ecrire l'équation de la réaction de désintégration de chacun d'eux.

Données : $^{14}_7\text{N}$, $^{32}_{16}\text{S}$, $^{35}_{17}\text{Cl}$ et ^3_2He

1- $^3_1\text{H} \rightarrow ^0_{-1}\text{e} + ^3_2\text{He}$

2- $^{14}_6\text{C} \rightarrow ^0_{-1}\text{e} + ^{14}_7\text{N}$

3- $^{32}_{15}\text{P} \rightarrow ^0_{-1}\text{e} + ^{32}_{16}\text{S}$

4- $^{35}_{16}\text{S} \rightarrow ^0_{-1}\text{e} + ^{35}_{17}\text{Cl}$

Corrigé 6.

1- $^3_1\text{H} \rightarrow ^0_{-1}\text{e} + ^3_2\text{He}$

2- $^{14}_6\text{C} \rightarrow ^0_{-1}\text{e} + ^{14}_7\text{N}$

3- $^{32}_{15}\text{P} \rightarrow ^0_{-1}\text{e} + ^{32}_{16}\text{S}$

4- $^{35}_{16}\text{S} \rightarrow ^0_{-1}\text{e} + ^{35}_{17}\text{Cl}$

Exercice 7.

Le $^{45}_{20}\text{Ca}$ a une période T de 163 jours.

- 1- Calculer la valeur de la constante radioactive λ en jour^{-1} et s^{-1} .
- 2- Calculer le pourcentage de la radioactivité initiale qui reste après 90 jours.

Corrigé 7.

1. Calcul de la constante radioactive :

$$\lambda = \ln 2 / T = (0,693 / 163) = 4,25 \cdot 10^{-3} \text{ jours}^{-1}$$

$$\Rightarrow \lambda = 0,693 / (163 \times 8,64 \cdot 10^4) = 4,92 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1}$$

2. La loi de décroissance radioactive intégrée s'écrit :

$$N_t = N_0 \cdot \exp(-\lambda \cdot t) \text{ avec } : N_0 = 100\% = 1$$

$$\Rightarrow N_t = \exp(-4,25 \cdot 10^{-3} \times 90) = 0,682 = 68,2 \%$$

Exercice 8

Calculer la masse correspondante à une activité de 1 Ci de chacun des radionucléides suivants: $^{131}_{53}\text{I}$, $^{226}_{88}\text{Ra}$, $^{238}_{92}\text{U}$.

On donne les périodes: Période $^{131}_{53}\text{I}$: T = 8 jours ; $^{226}_{88}\text{Ra}$: T = 1620 ans ; $^{238}_{92}\text{U}$: T = 4,5 milliards d'années ; 1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bequerel (Bq)

Corrigé 8.

La relation masse - activité s'écrit : $m = 0,24 \cdot 10^{-23} \cdot M \cdot A \cdot T$ avec : M = masse molaire en g ; A = activité en Bq ; T = période en s

$$1- ^{131}_{53}\text{I} : m = 0,24 \cdot 10^{-23} \times 131 \times 3,7 \cdot 10^{10} \times (8 \times 8,64 \cdot 10^4) = 8 \cdot 10^{-6} \text{ g} = 8 \mu\text{g}$$

$$2- ^{226}_{88}\text{Ra} : m = 0,24 \cdot 10^{-23} \times 226 \times 3,7 \cdot 10^{10} \times (1620 \times 365 \times 8,64 \cdot 10^4) = 1,02 \text{ g}$$

$$3- ^{238}_{92}\text{U} : m = 0,24 \cdot 10^{-23} \times 238 \times 3,7 \cdot 10^{10} \times (4,5 \cdot 10^9 \times 365 \times 8,64 \cdot 10^4) = 3 \cdot 10^6 \text{ g} = 3 \text{ tonnes}$$

Remarque : On doit tenir compte du nombre de masse (A) et pas du numéro atomique.

Exercice 9.

Calculer l'activité de 10 μg d'iodure de sodium (INa) sachant que 20% des atomes d'iode sont radioactifs ($^{131}_{53}\text{I}$) et 80% sont stables ($^{127}_{53}\text{I}$). Quel est le taux d'émission du rayonnement β ?

Données : masse molaire du Na = 23 ; Nombre d'Avogadro : $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$; $E_\beta = 606 \text{ keV}$;
 $I_\beta = 89,9 \%$; $E_\gamma = 364 \text{ keV}$; $I_\gamma = 81,6 \%$

Corrigé 9.

1- Calcul de la masse molaire moyenne des deux types de molécule de INa : $^{131}_{53}\text{INa}$ et $^{127}_{53}\text{INa}$

$M = [(131 \times 0,2) + (127 \times 0,8)] + 23 = 150,8 \text{ g}$, donc N_A molécules de INa pèsentes 150,8 g.

2- Calcul du nombre de molécules de INa et d'atome d'iode radioactifs dans une masse de 10 μg

$N = (m \times N_A) / M = (10^{-5} \times 6,02 \cdot 10^{23}) / 150,8 = 3,99 \cdot 10^{16}$ molécules de INa

$\Rightarrow N' = 3,99 \cdot 10^{16}$ atomes d'iode puisqu'il y a 1 atome d'iode par molécule de INa

dont : $N'^{131}_{53}\text{I} = 3,99 \cdot 10^{16} \times 0,2 = 7,98 \cdot 10^{15}$ atomes d'iode radioactifs.

3- Calcul de l'activité A

$A = (\ln 2 \cdot N'^{131}_{53}\text{I}) / T = (0,693 \times 7,98 \cdot 10^{15}) / (8 \times 8,64 \cdot 10^4) = 8 \cdot 10^9 \text{ Bq}$

$\Rightarrow A = (8 \cdot 10^9 \times 3,7 \cdot 10^{10}) = 0,22 \text{ Ci}$

4- Calcul du taux d'émission taux (en s^{-1}) = activité rayonnement (en Bq) x intensité

rayonnement $\Rightarrow \text{taux} = 8 \cdot 10^9 \times 0,899 = 7,2 \cdot 10^9$

Exercice 10.

Le $^{40}_{19}\text{K}$ a une période T de $1,3 \cdot 10^9$ années et il constitue 0,012 % du potassium trouvé dans la nature. Le potassium dans le corps humain représente environ 0,35 % du poids. Calculer la radioactivité totale (exprimée en DPM, en Ci et en Bq) qui résulte de la désintégration du potassium 40 chez un individu de 75 kg.

Rappel : le Curie (Ci) est défini comme la quantité d'une substance radioactive dont la vitesse de décroissance est $2,22 \cdot 10^{12}$ désintégrations par minutes ($2,22 \cdot 10^{12}$ DPM)

Corrigé 10.

Rappel : le Curie (Ci) est défini comme la quantité d'une substance radioactive dont la vitesse de décroissance est $2,22 \cdot 10^{12}$ désintégrations par minutes ($2,22 \cdot 10^{12}$ DPM)

1- Calcul de la masse totale de $^{40}_{19}\text{K}$ dans un corps de 75 kg : $m = (1,2 \cdot 10^{-4} \times 3,5 \cdot 10^{-3} \times 7,5 \cdot 10^4) = 3,15 \cdot 10^{-2} \text{ g } ^{40}_{19}\text{K}$

2- Calcul du nombre d'atomes de $^{40}_{19}\text{K}$ correspondant à cette masse :

$$N = (m \times N_A) / M = (3,15 \cdot 10^{-2} \times 6,02 \cdot 10^{23}) / 40 = 4,74 \cdot 10^{20} \text{ atomes}$$

3- Calcul de la constante radioactive : $\lambda = \text{Ln } 2 / T = 0,693 / (1,3 \cdot 10^9 \times 365 \times 24 \times 60) = 1,014 \cdot 10^{-15} \text{ min}^{-1}$

4- La loi de décroissance radioactive s'écrit : $dN = - \lambda \cdot N \cdot dt$

$$\Rightarrow - dN / dt = \lambda \cdot N = (1,014 \cdot 10^{-15} \times 4,74 \cdot 10^{20}) = 4,81 \cdot 10^5 \text{ DPM}$$

$$\Rightarrow (4,81 \cdot 10^5 / 2,22 \cdot 10^{12}) = 0,217 \cdot 10^{-6} \text{ Ci}$$

$$\Rightarrow (0,217 \cdot 10^{-6} \times 3,7 \cdot 10^{10}) = 8029 \text{ Bq}$$