

I - Un noyau radioactif a une demie-vie de 1 s.

1. Calculer sa constante de désintégration radioactive λ .

$$\lambda = \ln 2 / T = \ln 2 / 1 = 0,693 \text{ s}^{-1}$$

2. À un instant donné, un échantillon de cette substance radioactive a une activité de $11,1 \cdot 10^7$ désintégrations par seconde. Calculer le nombre moyen de noyaux radioactifs présents dans l'échantillon à cet instant.

$$N = A / \lambda = 11,1 \cdot 10^7 / 0,693 = 1,60 \cdot 10^8 \text{ noyaux}$$

II - 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?

$$A = 2 \cdot 10^7 \text{ Bq} \quad (1 \text{ particule alpha émise correspond à 1 noyau de la substance désintégré})$$

3. Initialement, combien y a-t-il en moyenne de noyaux radioactifs ?

$$N_0 = A / \lambda = 2 \cdot 10^7 / 0,0693 = 2,89 \cdot 10^8 \text{ noyaux}$$

4. Combien restera-t-il en moyenne de noyaux radioactifs après 30 s?

$$\text{Après 30s c'est-à-dire 3 périodes, il restera } N = N_0 / 2^3 = 3,97 \cdot 10^6 \text{ noyaux}$$

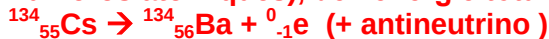
5. Quelle sera alors l'activité de la substance?

$$A = \lambda \cdot N = 2,75 \cdot 10^5 \text{ Bq} = 275 \text{ kBq}$$

III - Lors de la catastrophe de Tchernobyl, du césium 134 et du césium 137 ont été libérés dans l'atmosphère.

1. Le césium 137 est radioactif β^- . Écrire les lois de conservation intervenant dans cette réaction et l'équation bilan de désintégration, en précisant les produits formés.

Conservations des nucléons (somme des nombres de masses), de la charge (somme des numéros atomiques), de l'énergie totale et de la quantité de mouvement totale



2. La période du césium 134 est $T = 2$ ans. En déduire la constante radioactive λ . Au bout de combien de temps 99 % du césium 134 libéré auront-ils disparu ?

$$\lambda = \ln 2 / T = 0,347 \text{ an}^{-1}; \text{ fraction restante} = N/N_0 = 100-99 = 0,01 \text{ donc } t = -1/\lambda \cdot \ln(N/N_0) = 13,29 \text{ ans}$$

3. Répondre à la question précédente en considérant le césium 137 dont la période est 30 ans.

$$\lambda = \ln 2 / T = 2,31 \cdot 10^{-2} \text{ an}^{-1}; N/N_0 = 100-99 = 0,01 \text{ donc } t = -1/\lambda \cdot \ln(N/N_0) = 199,4 \text{ ans}$$

IV - Un noyau d'astate ${}^{211}_{85}\text{At}$ se désintègre en émettant une particule α . Calculer la période de ce nucléide, sachant que $2,7 \cdot 10^{15}$ particules α sont émises lors de la première heure de désintégration d'une masse $m = 10^{-5}$ g d'astate ${}^{211}_{85}\text{At}$.

L'équation de désintégration (non demandée) s'écrit ${}^{211}_{85}\text{At} \rightarrow {}^{207}_{83}\text{Bi} + {}^4_2\text{He}$

Le nombre de particules alpha émises N_α est égal au nombre de noyaux d'astate désintégrés donc le nombre de noyaux d'astate restants au bout de $t = 1$ h est $N = N_0 - N_\alpha$ avec $N_0 =$ nombre initial de noyaux. Comme $N = N_0 \cdot \exp(-\lambda \cdot t)$ on peut déduire λ et donc T .

$$N_0 = n \cdot N_{av} = m/M. N_{av} = (10^{-5}/211) \times 6,02 \cdot 10^{23} = 2,85 \cdot 10^{16} \text{ noyaux}; N = 2,85 \cdot 10^{16} - 2,7 \cdot 10^{15} = 2,58 \cdot 10^{16}$$

$$\lambda = -1/t \cdot \ln(N/N_0) = -1/1 \times \ln(2,58/2,85) = 9,95 \cdot 10^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ et } T = \ln 2 / \lambda = 6,96 \text{ h}$$

V - On utilise du phosphore ${}^{32}\text{P}$ comme traceur radioactif dans la détection de certaines tumeurs. Cet élément est un émetteur β^- de période 14,2 j. Des préparations cellulaires marquées au ${}^{32}\text{P}$ ont une activité de 1,6 mCi. Calculer la durée d'utilisation de ces préparations, sachant qu'elles sont jetées lorsque leur activité n'est plus que de 10 μCi . (On rappelle que 1 Ci = 37 GBq.)

$$A = A_0 \cdot \exp(-\lambda \cdot t); t = -1/\lambda \cdot \ln(A/A_0) = -T \cdot \ln(A/A_0) / \ln 2 = -14,2 \times \ln(10 \cdot 10^{-6} / 1,6 \cdot 10^{-3}) / \ln 2 = 72 \text{ j}$$

VI - Une ampoule contient 0,2 cm³ de radon ${}^{222}\text{Rn}$ sous 0,1 bar et à la température de 30 °C. Ce gaz monoatomique est considéré comme parfait; sa période est de 3,8 j. Données: constante des gaz parfaits $R = 8,32 \text{ S.I.}$; 1 bar = 10^5 Pa .

1. Quelle est l'activité initiale de cette ampoule ?

$A = \lambda \cdot N = \lambda \cdot n \cdot N_{av} = \lambda \cdot V/V_0 \cdot N_{av}$; $V_0 =$ volume molaire (d'une mole de gaz); la loi des gaz parfaits s'écrit $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$; $V = V_0$ pour $n = 1 \text{ mol}$, donc $P \cdot V_0 = R \cdot T$ et $V_0 = R \cdot T / P = 8,32 \times 303 / 0,1 \cdot 10^5 = 0,252 \text{ m}^3 = 252 \text{ L}$ rappel: $1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ L}$ et $T(\text{K}) = 273 + t(^{\circ}\text{C})$; finalement:

$$\lambda = \ln 2 / T = \ln 2 / 3,8 \times 24 \times 3600 = 2,11 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} \text{ et } A = 2,11 \cdot 10^{-6} \times (0,2 \cdot 10^{-3} / 252) \times 6,02 \cdot 10^{23} = 1,01 \cdot 10^{12} \text{ Bq}$$

2. Que devient cette activité six mois plus tard ?

$$A = A_0 \cdot \exp(-\lambda \cdot t) = 1,01 \cdot 10^{12} \times \exp(-2,11 \cdot 10^{-6} \times 365,25 / 2 \times 24 \times 3600) = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ Bq} \quad (\text{activité nulle})$$

VII - À une date origine $t = 0$, on dispose d'un échantillon contenant en moyenne $\bar{N}_0$ noyaux de polonium $^{210}_{84}\text{Po}$ radioactif. À une date t , on détermine le nombre moyen $\bar{N}$ de noyaux non désintégrés. Les mesures sont inscrites dans le tableau.

- À l'aide d'une représentation graphique, déduire de ces mesures les valeurs de la constante radioactive λ et de la période T de $^{210}_{84}\text{Po}$.

On portera t en abscisse (1 cm pour 20 jours) et $-\ln\left\{\frac{\bar{N}}{\bar{N}_0}\right\}$

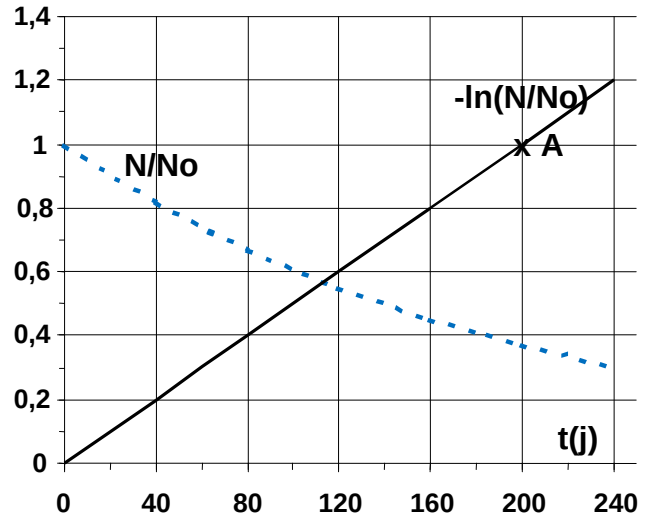
en ordonnée (1 cm pour 0,1).

t(j)	0	40	80	120	160	200	240
N/No	1	0,82	0,67	0,55	0,45	0,37	0,30
$-\ln(N/N_0)$	0,000	0,198	0,400	0,598	0,799	0,994	1,204

$N/N_0 = \exp(-\lambda t)$; $\ln(N/N_0) = -\lambda t$; $-\ln(N/N_0) = \lambda t$
Le graphe obtenu est une droite passant par l'origine dont λ est le coefficient directeur. En choisissant le point A d'abscisse 200 j et d'ordonnée 1 :
 $\lambda = -\ln(N/N_0) / t = 1 / 200 = \underline{5 \cdot 10^{-3} \text{ j}^{-1}}$

- Au bout de combien de temps la masse restante de $^{210}_{84}\text{Po}$ devient-elle le dixième de la masse initiale ?

$N/N_0 = m/m_0 = \exp(-\lambda t)$; $t = -1/\lambda \cdot \ln(N/N_0)$
 $N/N_0 = -T \cdot \ln(N/N_0) / \ln 2 = -138,6 \times \ln(1/10) / \ln 2 = \underline{462 \text{ j}}$



VIII – (ancien bac série D). La famille radioactive dont le nucléide père est l'uranium $^{238}_{92}\text{U}$ aboutit à un nucléide final stable, le plomb $^{206}_{82}\text{Pb}$.

- Le radium $^{226}_{88}\text{Ra}$ est un nucléide de cette famille qui, à la suite de désintégrations α ou β^- , conduit au plomb $^{206}_{82}\text{Pb}$.

1.1. Donner l'équation générale de la radioactivité α . En utilisant des éléments de cette famille notés dans le tableau ci-contre, écrire l'équation d'une désintégration de ce type.

$^{226}_{88}\text{Ra}$	$^{222}_{86}\text{Rn}$	$^{210}_{84}\text{Po}$	$^{206}_{82}\text{Pb}$
------------------------	------------------------	------------------------	------------------------

$^A_Z X \rightarrow ^{A-4}_{Z-2} Y + ^4_2\text{He}$; $^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow ^{222}_{86}\text{Rn} + ^4_2\text{He}$

1.2. Donner l'équation générale de la radioactivité β^- . $^A_Z X \rightarrow ^A_{Z+1} Y + ^0_{-1}e + \bar{\nu}$

1.3. Quels sont les nombres de désintégrations de type α et de type β^- permettant de passer du noyau $^{226}_{88}\text{Ra}$

au noyau $^{206}_{82}\text{Pb}$? **Equation bilan des désintégrations successives :** $^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow ^{206}_{82}\text{Pb} + x\ ^4_2\text{He} + y\ ^0_{-1}e$

On exprime la conservation des nucléons (somme des A) et la conservation de la charge totale (somme des Z) :
 $226 = 206 + 4x$ donc $x = (226-206) / 4 = \underline{5 \text{ désintégrations alpha}}$
 $88 = 82 + 2x - y$ donc $y = 82 + 2 \times 5 - 88 = \underline{4 \text{ désintégrations bêta-}}$

- On considère une masse m_0 de radon à la date $t = 0$. La période du radon est de 3,825 j.

2.1. Déterminer la masse de radon restant au bout de 1, 2, ..., n périodes. En déduire la masse de radon désintégrée au bout de n périodes.

La masse de radon et le nombre de noyaux sont proportionnels donc suivent la même loi de décroissance :

Au bout d'une période il reste une masse $m_1 = m_0/2$

" de 2 " " " $m_2 = m_1/2 = (m_0/2)/2 = m_0/2^2$

" de n " " " $m_n = m_0/2^n$

La masse de radon désintégrée au bout de n périodes est $m'_n = m_0 - m_n = m_0(1 - 1/2^n)$

2.2. Calculer les durées nécessaires pour désintégrer les 4/9 et les 9/10 de la masse m_0 de radon

$N/N_0 = m/m_0 = e^{-\lambda t}$; $t = -1/\lambda \cdot \ln(m/m_0) = -T \frac{\ln(m/m_0)}{\ln 2}$ ($m = \text{masse restante à } t$)

$m' = 4/9 m_0$ désintégrée correspond à $m = m_0 - m' = 5/9 m_0$ restante soit $m/m_0 = 5/9$
 $= 9/10 m_0$ $= 1/10 m_0$ $= 1/10$

donc $t_1 = -3,825 \times \frac{\ln(5/9)}{\ln 2} = \underline{3,244 \text{ j}}$; $t_2 = -3,825 \times \frac{\ln(1/10)}{\ln 2} = \underline{12,71 \text{ j}}$