

# Exercices du chapitre Physique 4 : Décroissance radioactive

## Applications directes

### Identifier la radioactivité

(§ 1 du cours)

#### 1. Détecter un matériau radioactif



1. Comment détecter un matériau radioactif ?
2. Les rayonnements sont-ils émis de manière régulière ?
3. La température a-t-elle une influence sur l'émission ?

### Connaître les différents rayonnements et leur origine

(§ 2 du cours)



#### 2. Connaître la composition d'un noyau

1. Quelle est la signification du symbole  ${}^A_ZX$  ?
2. Écrire le symbole d'un isotope du nucléide précédent.
3. Que se passe-t-il si ce noyau est radioactif ?

#### 3. Différencier des noyaux

Soit deux noyaux : l'iode  ${}^{125}_{53}I$  et l'antimoine  ${}^{125}_{51}Sb$ .

Quelles sont les affirmations exactes ?

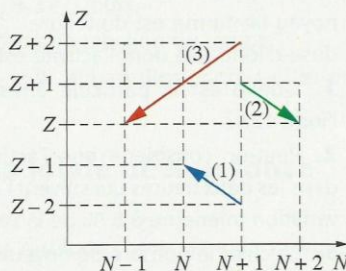
- a. Les deux noyaux ont le même nombre de protons.
- b. Les deux noyaux ont le même nombre de nucléons.
- c. Les deux noyaux ont le même nombre de neutrons.
- d. Les deux noyaux sont isotopes.

#### 4. Savoir exploiter le diagramme (N, Z)

1. Dans le diagramme (N, Z), où se situent les noyaux stables pour  $Z < 20$  ?
2. Que peut-il se passer si le noyau est trop riche en protons ?
3. Que peut-il se passer si le noyau est trop riche en neutrons ?

#### 5. Reconnaître les types de radioactivité sur le diagramme (N, Z)

Indiquer, en le justifiant, les types de radioactivité associés au diagramme (N, Z) ci-contre.



#### 6. Connaître les lois de désintégration

1. Énoncer les lois qui régissent une désintégration nucléaire spontanée.
2. On considère la réaction :  ${}^{12}_7N \rightarrow {}^{12}_6C + {}^A_ZX$ 
  - a. Quelle est la nature de la particule X émise ?
  - b. Quel est le type de radioactivité de  ${}^{12}_7N$  ?
  - c. Que se passe-t-il si le noyau de carbone est obtenu dans un état excité ?

#### 7. Compléter des équations de réaction de désintégration

En utilisant une classification périodique, compléter les équations des réactions ci-dessous qui sont de type  $\alpha$  ou  $\beta^-$  ou  $\beta^+$ .

1.  ${}^{217}_{88}Ra \rightarrow \dots + {}^4_2He$
2.  ${}^{103}_{42}Mo \rightarrow \dots + {}^0_{-1}e$
3.  ${}^{174}_{75}Ta \rightarrow {}^{174}_{72}Hf + \dots$
4.  ${}^{174}_{72}Hf \rightarrow \dots + {}^4_2He$
5.  ${}^{213}_{84}Po \rightarrow {}^{209}_{82}Pb + \dots$
6.  ${}^{209}_{82}Pb \rightarrow {}^{209}_{83}Bi + \dots$

#### 8. Étudier la désintégration du noyau de palladium

(voir l'exercice résolu 1)

Le palladium  ${}^{107}_{46}Pd$  est émetteur  $\beta^-$ .

1. Quelle est la particule émise ?
2. Écrire l'équation de désintégration du palladium 107.
3. Le noyau de palladium 107 est-il un noyau radioactif possédant un excès de protons ? Justifier.
4. Où est situé le noyau de palladium 107, par rapport à la vallée de stabilité, dans un diagramme (N, Z) ?

#### 9. Étudier la radioactivité de l'or

Le noyau  ${}^{197}_{79}Au$  est le seul isotope stable de l'or.

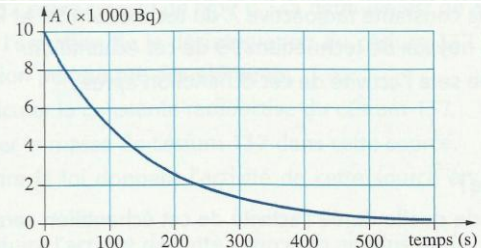
1. Donner la composition de ce noyau.
2. Les noyaux  ${}^{194}_{79}Au$  et  ${}^{198}_{79}Au$  sont radioactifs, l'un de type  $\beta^-$  et l'autre de type  $\beta^+$ .
  - a. Attribuer à chaque noyau un type de radioactivité. Justifier.
  - b. Écrire dans chaque cas l'équation de la désintégration.

### Connaître et exploiter la loi de décroissance radioactive

(§ 3 du cours)

#### 10. Exploiter la courbe de décroissance radioactive

On se propose, à partir du graphe ci-dessous, d'établir la loi de décroissance d'un radionucléide.



1. Rappeler l'expression de la loi donnant l'activité d'un radionucléide en fonction du temps.
2. Graphiquement, déterminer l'activité initiale et la demi-vie  $t_{1/2}$ .
3. Calculer la constante radioactive  $\lambda$  en précisant son unité.
4. Graphiquement, déterminer la constante de temps  $\tau$ .
5. Quelle est la relation entre  $\tau$  et  $\lambda$  ? Est-elle vérifiée dans ce cas ?

#### 11. Utiliser la loi de décroissance

Le polonium 210 est radioactif de type  $\alpha$ , sa demi-vie est de 138 jours.

1. Déterminer sa constante radioactive  $\lambda$ .
2. La valeur de l'activité  $A_0$  d'un échantillon à la date  $t = 0$  est  $7,4 \times 10^{10}$  Bq.
  - a. Quel est, à cette date, le nombre de désintégrations par seconde ?
  - b. Calculer le nombre moyen de noyaux radioactifs non désintégrés à cette date.
  - c. Calculer la masse de polonium 210 contenue dans cet échantillon.
3. a. Écrire l'expression de l'activité en fonction du temps.
  - b. Au bout de quelle durée l'activité est-elle divisée par 2 ? par 4 ? par 8 ?
  - c. Une mesure d'activité dure  $\Delta t = 20$  s.
    - a. Calculer le rapport  $\frac{A(t)}{A(t + \Delta t)}$ .
    - b. Peut-on considérer que l'activité reste quasiment constante sur toute la durée  $\Delta t$  d'une mesure ?

Données :  $M(Po) = 210 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ;  $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

#### 12. Exploiter la décroissance radioactive dans le domaine de l'imagerie médicale (voir l'exercice résolu 2)

Le technétium 99 est utilisé en imagerie médicale. Sa demi-vie est de 6,01 heures.

Un échantillon de sérum contenant ce nucléide radioactif est préparé avec une activité initiale  $A_0 = 500 \text{ MBq}$ .

1. a. Rappeler les lois de décroissance de l'activité  $A(t)$  et du nombre de noyaux  $N(t)$ .
  - b. Quelle est la relation entre  $A(t)$  et  $N(t)$  ?
  - c. Calculer la constante radioactive  $\lambda$  du technétium 99 et le nombre initial  $N_0$  de noyaux de technétium 99 de cet échantillon.



Marie et Pierre CURIE ont découvert le polonium en 1898.

## Exercices du chapitre Physique 4 : Décroissance radioactive

2. a. Quelle sera l'activité de cet échantillon après :

- 1 heure ?
- 1 jour ?
- 1 semaine ?

b. Au bout de quelle durée l'activité de cet échantillon sera-t-elle de 150 MBq ?

### 13. Effectuer une datation au carbone 14

On étudie l'activité  $A(t)$  d'un radionucléide en fonction de sa demi-vie.

1.  $A(t)$  est l'activité du radionucléide à la date  $t$ .

$A_0$  est l'activité du radionucléide à la date  $t = 0$ . Compléter le tableau ci-après.

Date ( $t_{1/2}$ )	0	$t_{1/2}$	$2 t_{1/2}$	$3 t_{1/2}$	$4 t_{1/2}$
Activité (Bq)	$A_0$				
$\frac{A(t)}{A_0}$					

2. Sur papier millimétré, en choisissant une échelle adaptée, construire la courbe de décroissance radioactive du radionucléide.

On portera :

- en ordonnée, le rapport  $\frac{A(t)}{A_0}$  ;
- en abscisse, les dates  $t_{1/2}$ ,  $2 t_{1/2}$ ,  $3 t_{1/2}$  et  $4 t_{1/2}$ .

3. Des fragments d'os et de charbon de bois d'un foyer ont été prélevés sur un site préhistorique. On souhaite connaître leur âge par datation au carbone 14 dont la demi-vie est 5570 ans. On a mesuré l'activité  $A(t)$  d'un fragment d'os, ainsi que l'activité  $A_0$  d'un fragment identique d'os actuel.

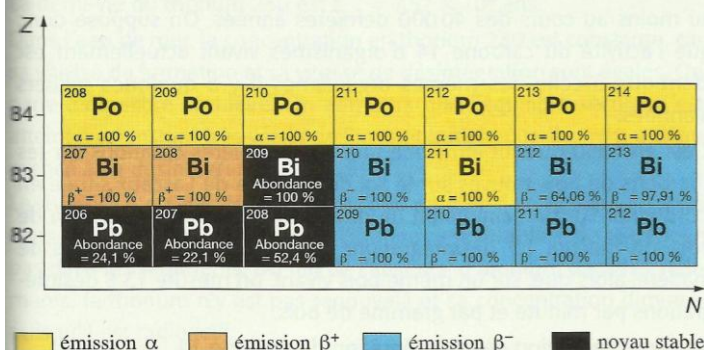
On a calculé le rapport  $\frac{A(t)}{A_0} = 0,100$ . Déterminer graphiquement l'âge du site préhistorique.

## Utilisation des acquis

### 15. Le polonium 214 et ses fils

1. À partir de l'extrait suivant du diagramme ( $N, Z$ ), écrire l'équation de désintégration du polonium 214 en précisant les lois de conservation utilisées.

2. Écrire toutes les équations des désintégrations successives jusqu'au noyau stable.



### 16. Décroissance de l'activité

L'iode  $^{131}_{53}\text{I}$  est radioactif de type  $\beta^-$ , sa demi-vie est  $t_{1/2} = 8,0$  jours.

1. a. Écrire l'équation de la désintégration de  $^{131}_{53}\text{I}$  en précisant les lois utilisées.

b. On considère les isotopes  $^{127}_{53}\text{I}$  et  $^{135}_{53}\text{I}$ . Un seul est stable, lequel ? Justifier.

2. On considère un échantillon de  $^{131}_{53}\text{I}$  dont l'activité initiale est  $A_0 = 3,2 \times 10^7$  Bq.

a. Calculer l'activité de cet échantillon aux dates  $t_1 = 8,0$  jours,  $t_2 = 16,0$  jours,  $t_3 = 24,0$  jours et  $t_4 = 32,0$  jours.

b. Représenter l'évolution de l'activité en fonction du temps.

c. À quelle date l'activité de cet échantillon sera-t-elle de  $10 \times 10^6$  Bq ?

### 18. Du césium au lycée

Le laboratoire d'un lycée possède une source contenant du césium 137 ( $^{137}\text{Cs}$ ). L'activité initiale de cette source est  $A = 1,5 \times 10^5$  Bq. Le césium 137 est radioactif de type  $\beta^-$ , sa demi-vie est de 30,2 ans.

1. Écrire l'équation de la désintégration du césium 137. Utiliser une classification périodique des éléments.

2. a. Calculer la constante radioactive du césium 137.

b. Calculer la masse de césium 137 dans cette source.

3. a. Écrire la loi donnant l'activité de cette source en fonction du temps.

b. En déduire l'activité de cette source un an plus tard.

c. Que peut-on en conclure sur l'activité de cette source durant une séance de travaux pratiques de deux heures?

d. Cette source n'est plus utilisable lorsque son activité devient inférieure à  $0,3 \times 10^5$  Bq. Déterminer la durée pendant laquelle elle est encore utilisable.

Données : masse molaire atomique du césium 137 :  $136,9 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .  $N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

### 21. Datation des grottes de Lascaux

Le carbone 14 est un noyau radioactif émetteur  $\beta^-$ , de demi-vie 5570 ans. Le carbone 12 est un noyau stable. Les proportions de ces deux noyaux sont les mêmes dans un organisme vivant et dans l'atmosphère. À la mort de l'organisme, les échanges gazeux cessent, le carbone 14 n'est plus renouvelé, sa radioactivité décroît.

On émet l'hypothèse que la radioactivité naturelle est restée constante au moins au cours des 40 000 dernières années. On suppose donc que l'activité du carbone 14 d'organismes vivant actuellement est identique à celle des mêmes organismes il y a quelques milliers d'années.

C'est en 1950 que fut effectuée une des premières datations sur les charbons de bois trouvés sur le sol de la grotte de Lascaux située en Dordogne. Sur un échantillon de quelques grammes de charbon de bois, on mesura 1,7 désintégrations par minute et par gramme de matière, alors que, sur un même bois vivant, on mesure 13,6 désintégrations par minute et par gramme de bois.

1. Écrire l'équation de désintégration du carbone 14.

2. Calculer l'activité en becquerel d'un gramme de charbon de bois et celle d'un gramme de bois vivant.

3. Dans la loi de décroissance radioactive,  $A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ , indiquer la signification de chacun des termes, ainsi que leur unité.

4. Calculer l'âge du charbon de bois.

5. Le carbone 14 est utilisé pour contrôler l'origine d'une espèce chimique employée, par exemple dans des adjuvants alimentaires ou des parfums. Cette espèce chimique peut être d'origine naturelle. Elle peut aussi être d'origine synthétique en étant produite à partir du pétrole. On rappelle que le pétrole est le résultat de la décomposition de micro-organismes et de végétaux. Cette décomposition s'est déroulée sur des dizaines, voire des centaines de millions d'années.

a. Calculer la valeur de 5 fois la constante de temps  $\tau$  du carbone 14 et la comparer aux millions d'années nécessaires à la formation du pétrole.

b. Quelle est l'activité d'une source radioactive en carbone 14 au bout d'une durée de  $5 \tau$  en fonction de  $A_0$  ?

c. Que peut-on dire de la radioactivité due au carbone 14 d'un produit d'origine pétrochimique et celle d'un produit d'origine naturelle ?

d. Proposer une méthode pour contrôler l'origine d'un produit chimique.

### 22. Dater une eau grâce au chlore

Pour dater des eaux comme celles de nappes souterraines, on peut utiliser le chlore 36 qui est radioactif de type  $\beta^-$  avec une constante radioactive  $\lambda = 2,30 \times 10^{-6} \text{ an}^{-1}$  ou le silicium 32 dont la demi-vie est de 132 ans. Les eaux de surface ont une teneur en chlore 36 constante.

Des études sur un forage de la région parisienne ont montré que l'eau de la nappe souterraine ne contenait plus que 39 % de la quantité de chlore 36 mesurée dans les eaux de surface.

1. Écrire l'équation de la désintégration du chlore 36 et calculer sa demi-vie.

2. Calculer l'âge de la nappe souterraine.

3. Pourquoi n'a-t-on pas utilisé le silicium 32 pour cette étude ?