

THÈME 1

CONSTITUTION ET TRANSFORMATIONS DE LA MATIÈRE

Pierre-André LABOLLE

Lycée International des Pontonniers

Avril 2024

THÈME 1 - CHAPITRE 1.8 :

DÉCROISSANCE RADIOACTIVE

I. Les noyaux des atomes

1. Composition des noyaux atomiques
2. Isotopie
3. Vallée de stabilité des noyaux

II. Radioactivité

1. Qu'est-ce que la radioactivité ?
2. Lois de conservation ou lois de Soddy
3. Radioactivité alpha α
4. Radioactivité bêta moins β^-
5. Radioactivité bêta plus β^+
6. Émission gamma γ

THÈME 1 - CHAPITRE 13 :

DÉCROISSANCE RADIOACTIVE

III. Loi de décroissance radioactive

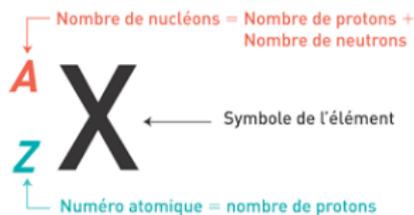
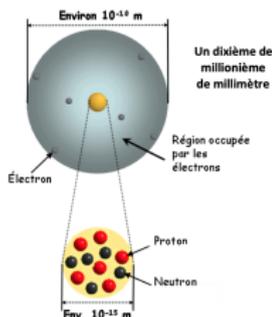
1. Expression de la loi
2. Démonstration de la loi
3. Demi-vie
4. Activité

IV. Applications

1. Radioactivité naturelle
2. Application à la datation
3. Applications dans le domaine médical
4. Radioprotection

I. Le noyau des atomes

1. Composition des noyaux atomiques



- Le noyau est constitué de particules appelées nucléons qui regroupent les protons et les neutrons.
- On appelle A le nombre total de nucléons du noyau (ou encore nombre de masse).
- On appelle Z le nombre de protons du noyau (ou encore numéro atomique).
- On appelle N le nombre de neutrons du noyau, autrement dit, $N = A - Z$.
- En physique nucléaire, le noyau d'un élément chimique X comportant A nucléons et Z protons est représenté par la notation ${}^A_Z X$
- Par exemple, le noyau ${}^{235}_{92}U$ contient 235 nucléons dont 92 protons. Il contient par conséquent $235 - 92 = 143$ neutrons.

I. Le noyau des atomes

2. Isotopie

- On appelle isotopes des noyaux possédant le même nombre de protons mais des nombre de neutrons différents.
- La relation entre ces noyaux est appelée isotopie.
- Par exemple, ${}^1_1\text{H}$, ${}^2_1\text{H}$ et ${}^3_1\text{H}$ sont trois isotopes de l'hydrogène.
- Ces trois noyaux contiennent tous 1 seul proton mais ils contiennent respectivement 0, 1 et 2 neutrons.

I. Le noyau des atomes

3. Vallée de stabilité des noyaux

- Au sein des noyaux, deux interactions fondamentales sont à l'œuvre : l'interaction forte qui est attractive et lie les nucléons entre eux (à très courte portée) et l'interaction électromagnétique qui est répulsive entre les protons.
- La physique quantique nous apprend en outre que plus un noyau contient de particules du même type, plus il est instable.
- Cela nous permet de comprendre la répartition des noyaux stables dans le diagramme (N, Z) représentant tous les isotopes de tous les éléments chimiques en fonction de la composition des noyaux.
- Schématiquement, pour $A < 50$, les noyaux stables comportent à peu près autant de neutrons que de protons. Pour les noyaux plus lourds, les noyaux stables présentent plus de neutrons que de protons.
- Cette infographie est particulièrement bien exécutée pour expliquer ce diagramme.

II. Radioactivité

1. Qu'est-ce que la radioactivité ?

- Lorsqu'un noyau ${}^A_Z X$ est instable, il subit une transformation spontanée, aléatoire et inéluctable aboutissant à la formation d'un nouveau noyau, plus stable ${}^{A'}_{Z'} Y$.
- Ce phénomène est appelé radioactivité.
- Une transformation mettant en jeu des noyaux radioactifs est une réaction nucléaire.
- Les désintégrations radioactives sont aléatoires. Elles ont lieu au hasard et la probabilité qu'un noyau se désintègre pendant une durée donnée est indépendante de l'âge du noyau. On utilise souvent l'expression "un noyau radioactif ne vieillit pas".
- Par exemple, un noyau de ${}^{14}_6 C$ apparu il y a 1000 ans a exactement la même probabilité de se désintégrer dans l'heure qui vient qu'un noyau identique formé il y a seulement 5 minutes.

II. Radioactivité

2. Lois de conservation ou lois de Soddy

- **Première loi** : au cours d'une transformation nucléaire, il y a conservation de la charge électrique totale.
- **Seconde loi** : au cours d'une transformation nucléaire, il y a conservation du nombre total de nucléons.

3. Radioactivité α

- La radioactivité alpha consiste en une transformation nucléaire accompagnée de l'émission d'une particule α ou noyau d'hélium de symbole ${}^4_2\text{He}$.
- Elle concerne essentiellement des noyaux lourds ayant un excès de nucléons. Ces noyaux perdent deux protons et deux neutrons pour se rapprocher de la vallée de stabilité.
- Exemple : ${}^{226}_{88}\text{Ra} \longrightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + {}^4_2\text{He}$

II. Radioactivité

4. Radioactivité β^-

- La radioactivité bêta moins consiste en une transformation nucléaire accompagnée de l'émission d'un électron de symbole ${}_{-1}^0\text{e}$.
- Elle concerne essentiellement des noyaux ayant un excès de neutrons. Dans le noyau, on assiste à la transformation suivante : ${}^1_0\text{n} \rightarrow {}^1_1\text{p} + {}_{-1}^0\text{e} + {}^0_0\overline{\nu}_e$
- Exemple : ${}^{14}_6\text{C} \longrightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}_{-1}^0\text{e} + {}^0_0\overline{\nu}_e$

5. Radioactivité β^+

- La radioactivité bêta plus consiste en une transformation nucléaire accompagnée de l'émission d'un positon de symbole ${}_{+1}^0\text{e}$.
- Elle concerne essentiellement des noyaux ayant un excès de protons. Dans le noyau, on assiste à la transformation suivante : ${}^1_1\text{p} \rightarrow {}^1_0\text{n} + {}_{+1}^0\text{e} + {}^0_0\nu_e$
- Exemple : ${}^{30}_{15}\text{P} \longrightarrow {}^{30}_{14}\text{Si} + {}_{+1}^0\text{e} + {}^0_0\nu_e$

II. Radioactivité

6. Émission γ

- Le noyau fils produit lors des réactions nucléaires est souvent produit dans un état instable de haute énergie que l'on appelle état excité et que l'on note à l'aide d'un astérisque : ${}^A_Z Y^*$
- Ce noyau fils excité se désexcite pour rejoindre un état plus stable en émettant un rayonnement électromagnétique de très petite longueur d'onde (donc de forte énergie) appelé rayonnement gamma.
- L'émission γ correspond donc à la désexcitation d'un noyau, accompagnée de l'émission d'un photon très énergétique appelé photon γ .
- Exemple : ${}^{12}_6\text{C}^* \longrightarrow {}^{12}_6\text{C} + \gamma$

III. Loi de décroissance radioactive

1. Expression de la loi

- Soit $N(t)$ le nombre de noyaux radioactifs présents à l'instant t dans un échantillon de matière et N_0 le nombre de noyaux radioactifs présents à l'instant $t = 0$.
- La loi de décroissance radioactive s'écrit alors
$$N(t) = N_0 \times e^{-\lambda \times t}$$
- Dans cette loi, λ est appelée constante radioactive. Il s'agit d'une constante positive, exprimée en s^{-1} .
- La constante radioactive est caractéristique du noyau radioactif et du mode de désintégration.

2. Démonstration de la loi

La physique nucléaire nous apprend que, pour un échantillon de matière ne contenant qu'un seul type de noyaux radioactifs :

- 1 la variation moyenne $dN(t)$ du nombre de noyaux entre les instants très proches t et $t + dt$ est négative et proportionnelle au nombre de noyaux présents à l'instant t et à la durée infinitésimale dt
- 2 le coefficient de proportionnalité est noté λ et ne dépend que du type de noyaux et du mode de désintégration considérés.

Ainsi, nous avons :

III. Loi de décroissance radioactive

2. Démonstration de la loi

$$dN(t) = N(t + dt) - N(t) = -\lambda \times N(t) \times dt \text{ d'où}$$

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda \times N(t)$$

$N(t)$ est donc une fonction du temps qui, lorsqu'on la dérive, est proportionnelle à la fonction $N(t)$ elle-même.

Cela correspond à une fonction exponentielle du type

$$N(t) = N_0 \times e^{-\lambda \times t}$$

comme nous l'avons vu à diverses reprises dans d'autres chapitres.

III. Loi de décroissance radioactive

3. Demi-vie

- Pour un type de noyaux radioactifs donné, la demi-vie $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle la population de noyaux est divisée par deux.
- Cela se traduit mathématiquement par :

$$N(t + t_{1/2}) = \frac{N(t)}{2} \text{ d'où, en utilisant la loi de décroissance radioactive :}$$

$$N_0 \times e^{-\lambda \times (t + t_{1/2})} = \frac{N_0 \times e^{-\lambda \times t}}{2}$$

$$N_0 \times e^{-\lambda \times t} \times e^{-\lambda \times t_{1/2}} = \frac{N_0 \times e^{-\lambda \times t}}{2}$$

$$\cancel{N_0 \times e^{-\lambda \times t}} \times e^{-\lambda \times t_{1/2}} = \frac{\cancel{N_0 \times e^{-\lambda \times t}}}{2}$$

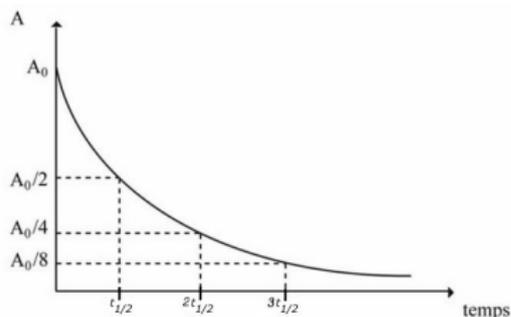
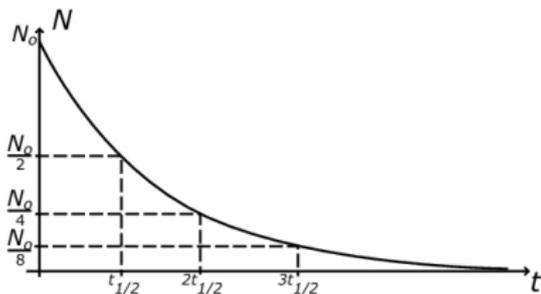
$$e^{-\lambda \times t_{1/2}} = \frac{1}{2} \quad \text{soit} \quad \ln e^{-\lambda \times t_{1/2}} = \ln \frac{1}{2} \quad \text{d'où} \quad -\lambda \times t_{1/2} = -\ln 2$$

$$\boxed{t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}} \text{ que l'on retrouve parfois sous la forme } t_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda}$$

III. Loi de décroissance radioactive

4. Activité

- L'activité $A(t)$ d'une quantité donnée d'une substance radioactive mesure le nombre moyen de désintégrations par unité de temps au sein de l'échantillon.
- L'activité s'exprime en becquerels, de symbole Bq, un becquerel correspondant à une désintégration par seconde.
- Par définition, on a donc $A(t) = -\frac{dN(t)}{dt} = \lambda \times N(t)$
- Ainsi $A(t) = \lambda \times N(t)$ avec A en Bq et λ en s^{-1}
- Remarque : $A(t) = \lambda \times N(t) = \lambda \times N_0 \times e^{-\lambda \times t}$
- L'activité suit donc également une loi de décroissance exponentielle, au même titre que le nombre de noyaux radioactifs.



IV. Applications

1. Radioactivité naturelle

- De nombreux radio-isotopes naturels sont présents dans notre environnement.
- L'atmosphère contient par exemple du $^{14}_6\text{C}$ ou du $^{222}_{86}\text{Rn}$
- La croûte terrestre renferme par exemple $^{238}_{92}\text{U}$, $^{235}_{92}\text{U}$, $^{226}_{88}\text{Ra}$
- Dans notre alimentation, on trouve notamment du $^{40}_{19}\text{K}$
- Nous sommes plongés dans un bain de radioactivité ambiante, l'ensemble représentant de faibles rayonnements.
- Exemples : 1 kg de granite présente une activité de 1000 Bq, un être humain de 70 kg a une activité de 8000 Bq, 1 L de lait une activité de 80 Bq, etc

IV. Applications

2. Applications à la datation

- Voir document spécifique fourni.

3. Applications dans le domaine médical

- L'imagerie médicale utilise parfois des espèces radioactives appelées traceurs radioactifs.
- Ces traceurs radioactifs doivent présenter de faibles demi-vies afin de ne pas laisser des traces de radioactivité dans le patient une fois l'examen terminé.
- Ces traceurs radioactifs permettent de suivre le fonctionnement des cellules ou des organes ciblés.
- On pourra consulter avec intérêt [cette page](#) du site du CEA à ce sujet.

IV. Applications

4. Radioprotection

- En traversant la matière (donc les tissus du corps humain), les rayonnements α , β et γ y déposent de l'énergie, provoquant des ionisations responsables de certains dégâts tels des destructions cellulaires, des cancers, des mutations, des anomalies génétiques, etc
- Le danger augmente avec l'activité de la source, la proximité de la source, la durée d'exposition et le type de rayonnement.
- Il convient donc de savoir se protéger de ces rayonnements afin d'éviter au maximum d'impact sur la santé, le "risque zéro" n'existant pas non plus dans ce domaine.
- Pour se protéger des effets néfastes des rayonnements ionisants, il est par exemple possible d'utiliser des écrans, des enceintes confinées ou des vêtements protecteurs.
- La protection dépend alors du type de rayonnement, de l'épaisseur de la protection et de la nature du matériau qui la compose.
- En effet, si les particules α sont bloquées par quelques centimètres d'air, il faudra environ un centimètre d'épaisseur de plastique pour arrêter les particules β et plusieurs centimètres de plomb pour arrêter les rayonnements γ .

EXERCICES

EXERCICES : PP123-129 n°17, 22, 25, 30, 33, 35