

Physique chimie terminale S
Radioactivité

Radioactivité

I.	Structure d'un atome :	4
1.	Composition et représentation d'un noyau atomique :	4
2.	Isotope, élément, nucléide	4
II.	Energie de liaison E_l et énergie de liaison $E_{l/A}$:	5
1.	Unité de masse atomique, unité d'énergie électronvolt (eV), équivalence masse-énergie	5
a.	L'unité masse atomique :	5
b.	Electronvolt unité d'énergie (eV) :	5
c.	Equivalence masse-énergie :	6
2.	Défaut de masse, énergie de liaison et énergie de liaison par nucléon	6
a.	Défaut de masse :	6
b.	Energie de liaison :	6
c.	Energie de liaison par nucléon :	7
III.	Radioactivité α, β, γ	7
1.	Définition :	7
2.	Les équations bilans des radioactivités $\alpha, \beta -$ et $\beta +$	7
a.	Lois de conservation : lois de Soddy	7
b.	Radioactivité α :	7
c.	Radioactivité $\beta -$:	8
d.	Radioactivité $\beta +$:	9
e.	Désexcitation γ :	9
IV.	Application de radioactivité dans le domaine de la médecine nucléaire	11
1.	Les traceurs radioactifs :	11
a.	Pister les phénomènes avec des atomes radioactifs :	11
b.	Traceurs et marqueurs en médecine :	11
2.	La radiothérapie :	12

Objectif d'apprentissage	Contenus
<p>L'apprenant doit être capable de (d') :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identifier des applications de la radioactivité • Justifier la stabilité des noyaux à partir de l'énergie de liaison par nucléon • Caractériser une réaction nucléaire spontanée : la Radioactivité 	<ul style="list-style-type: none"> • Application de la radioactivité dans le domaine de la médecine nucléaire • Définition des termes suivants :- Élément- Nucléide- Isotope • Composition du noyau, les nucléons, énergie de liaison • Défaut de masse : $\delta m = [Zm_p + (A - Z)m_n] - m > 0$ • Energie de liaison : $E_t = \delta mc^2 = [Zm_p + (A - Z) m_n] c^2$ • Définition du phénomène la Radioactivité • Ecriture des équations bilan des radioactivités

Chapitre I : radioactivité

I. Structure d'un atome :

1. Composition et représentation d'un noyau atomique :

Un noyau atomique est composé de Z protons et de N neutrons.

Le nombre de neutron est donné par la différence ($N = A - Z$) où A le nombre de nucléon

Un noyau atomique est représenté par le symbole suivant :



- X est le symbole de l'élément ou du nucléide
- Z est le nombre de protons ou numéro atomique (nombre de charge).
- A est le nombre de nucléons (nombre de masse).

La charge électrique d'un noyau est égale à $(+Z.e)$, la neutralité électrique de l'atome impose la présence de Z électrons de charge totale $(-Z.e)$

Exemple :

- Représentation symbolique du noyau d'un atome de chlore est : ${}_{17}^{37}\text{Cl}$.
- Composition du noyau de chlore :

$$Z = 17 \text{ protons}$$

$$A = 37 \text{ nucléons}$$

$$N = 37 - 17 = 20 \text{ neutrons}$$

Application :

Donner la composition du noyau de l'uranium (92 ; 235). Puis représenter le noyau suivant la représentation symbolique du noyau.

2. Isotope, élément, nucléide

- Un **élément** est caractérisé par un nombre Z . Chaque Z correspond à un élément. Il peut se présenter comme un atome ou un ion.

Exemple : élément Fer ($Z = 26$), ion Fe^{2+} , etc

- Un **nucléide** (espèce nucléaire) est un type distinct d'atome ou de noyau caractérisé par un nombre spécifique de protons et de neutrons.

Exemple : le carbone 12 est un nucléide de carbone avec 6 protons et 6 neutrons. (${}_{6}^{12}\text{C}$)

- Les **isotopes** sont des nucléides ayant **même nombre** de protons **Z**, mais de nombre de neutrons **N différent**.

Exemple : ${}^{35}_{17}\text{Cl}$ et ${}^{37}_{17}\text{Cl}$, ${}^{12}_6\text{C}$ et ${}^{14}_6\text{C}$, ${}^{235}_{92}\text{U}$ et ${}^{238}_{92}\text{U}$

Application :

Sélectionner ceux qui correspondent à des noyaux isotopes

- ${}^{125}_{53}\text{I}$ et ${}^{131}_{53}\text{I}$
- ${}^{31}_{15}\text{P}$ et ${}^{31}_{16}\text{S}$
- ${}^{12}_6\text{C}$ et ${}^{14}_6\text{C}$
- ${}^{103}_{48}\text{Cd}$ et ${}^{98}_{43}\text{Te}$

II. Energie de liaison E_l et énergie de liaison $E_{l/A}$:

1. Unité de masse atomique, unité d'énergie électronvolt (eV), équivalence masse-énergie

a. L'unité masse atomique :

Pour des entités à l'échelle atomique, le kilogramme est une unité trop grande. En pratique on utilise l'unité de masse atomique pour exprimer la masse des noyaux.

Par définition, l'**unité de masse atomique (symbole : u)** est le douzième de la masse d'un atome de **carbone 12**.

Une mole de ${}^{12}_6\text{C}$ a une masse de 12g, donc un atome de ${}^{12}_6\text{C}$ a une masse de: $\frac{12}{N} \text{ g}$ soit en kg : $1u = \frac{1}{12} \times \frac{12 \times 10^{-3}}{6,0221415 \times 10^{23}} = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

$$1u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Particule	Charge	Masse en Kg	Masse en u
Electron (e^-)	$-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	$9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$	0,00054u
Proton	$1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	$1,672 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	1,00728u
Neutron	0	$1,674 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	1,00866u

b. Electronvolt unité d'énergie (eV) :

L'**électronvolt** est l'énergie acquise par une charge élémentaire accélérée par une différence de potentiel d'un volt.

$$1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

On utilise aussi les multiples de l'électronvolt (eV) :

$$1 \text{ keV} = 10^3 \text{ eV}$$

$$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$$

$$1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$$

$$1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV}$$

c. Equivalence masse-énergie :

En 1905, Albert Einstein postule l'équivalence entre masse et énergie :

« À toute masse correspond une énergie. » Cette énergie est appelée énergie de masse.

L'énergie E_0 d'une masse m au repos est : $E_0 = m.c^2$

E_0 en joule J

$c = 3.108 \text{ m.s}^{-1}$ est la vitesse de la lumière dans le vide.

Exemple : calcul de l'énergie correspondant à un défaut de masse de $\Delta m = 1u$

$$E = \Delta m \cdot c^2 = 1u \cdot c^2 = 1,66 \cdot 10^{-27} \times 9 \cdot 10^{16} = 14,9 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

$$E = \frac{14,9 \cdot 10^{-11}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 9,31 \cdot 10^8 \text{ eV} = 931 \text{ MeV}$$

$$E = 1u \cdot c^2 = 931 \text{ MeV} \qquad 1u = 931 \frac{\text{MeV}}{c^2}$$

Application :

Calculer l'énergie (en MeV) qui correspond à $\Delta m = 0,0304u$ d'hélium.

Solution :

$$E = 0,0304u \cdot c^2 = 0,0304 \cdot 931 \frac{\text{MeV}}{c^2} \cdot c^2 = 28,32 \text{ MeV}$$

2. Défaut de masse, énergie de liaison et énergie de liaison par nucléon

a. Défaut de masse :

On appelle défaut de masse Δm la différence entre la masse des nucléons pris séparément (masse supposée) et la masse du noyau ${}^A_Z X$ (masse réelle). La masse réelle d'un noyau atomique est déterminé expérimentale par spectrographe de masse.

$$\Delta m = [Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n] - m_X$$

b. Energie de liaison :

L'énergie de liaison d'un noyau, notée E_l est l'énergie nécessaire pour séparer un noyau au repos en ses nucléons.

$$E_l({}^A_Z X) = \Delta m \cdot c^2$$

$E_l({}_Z^AX)$: Énergie de liaison du noyau (en MeV)

Δm : Défaut de masse du noyau (en kg)

C: Célérité de la lumière dans le vide ($C = 3 \cdot 10^8 \text{m.s}^{-1}$)

c. Energie de liaison par nucléon :

On appelle énergie par nucléon d'un noyau le quotient de son énergie de liaison par le nombre de ses nucléons. On la note E_a

$$E_a({}_Z^AX) = \frac{E_l({}_Z^AX)}{A}$$

$E_a({}_Z^AX)$: Énergie de liaison par nucléon (en MeV/nucléon).

$E_l({}_Z^AX)$: Énergie de liaison du noyau (en MeV).

A : Nombre de nucléons du noyau.

Stabilité des noyaux

- ❖ Les noyaux dont l'énergie de liaison par nucléon est la plus grande sont les plus stables ;
- ❖ Le noyau est stable lorsque l'énergie de liaison par nucléon est supérieure à 8 MeV/nucléon

III. Radioactivité α, β, γ

1. Définition :

La **radioactivité** correspond à une réaction nucléaire **spontanée** avec émission de rayonnement. C'est un phénomène **aléatoire** et **inéductible**.

2. Les équations bilans des radioactivités α, β^- et β^+

a. Lois de conservation : lois de Soddy

Lors d'une réaction nucléaire, il y a toujours conservation de nombre de nucléon A et nombre de charge Z.

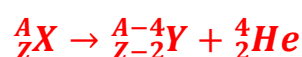


Les lois de conservation s'écrivent : $A = A_1 + A_2$ et $Z = Z_1 + Z_2$

b. Radioactivité α :

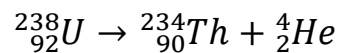
Des noyaux sont dits radioactifs α s'ils émettent des noyaux d'hélium ${}^4_2\text{He}$. Ce sont des particules positives appelées aussi particules α . Elle est caractéristique des éléments lourds. $A > 200$

L'équation-bilan de la réaction nucléaire :



D'après les lois de conservation, le nombre de masse du noyau fils diminue de 4 unités et le nombre de charge diminue de 2 unités.

Exemple : l'Uranium 238 est émetteur α



On obtient l'élément qui correspond à $Z=90$ le Thorium.

➤ Caractéristique du rayonnement α :

Les particules α sont arrêtées par quelques centimètres d'air ou une feuille de papier. Le rayonnement α est peu pénétrant mais il est très ionisant ; il est de ce fait particulièrement dangereux si des poussières radioactives α sont inhalées, ingérées, ou si elles sont en contact direct avec la peau.

c. Radioactivité β^- :

Des noyaux sont dits radioactifs β^- s'ils émettent des électrons ${}_{-1}^0e$.

Elle est caractéristique des éléments ayant trop de neutron.

L'équation-bilan de la réaction nucléaire :

D'après les lois de conservations, l'équation générale s'écrit ;



Exemple : le cobalt 60 est émetteur β^-

L'équation bilan de la réaction s'écrit : ${}_{27}^{60}\text{Co} \rightarrow {}_{28}^{60}\text{Ni} + {}_{-1}^0e$

On obtient l'élément qui correspond à $Z=28$ le Nickel.

Remarque : l'électron ne provient pas du cortège électronique. Il est expulsé du noyau lors de la réaction nucléaire. Un électron est produit lors de la transformation d'un neutron du en proton. (${}_0^1n \rightarrow {}_1^1p + {}_{-1}^0e$)

➤ Caractéristique du rayonnement β^- :

Les particules β^- sont assez pénétrantes, elles sont arrêtées par quelques millimètres d'aluminium.

d. Radioactivité β^+ :

Des noyaux sont dits radioactifs β^+ s'ils émettent des positons ${}_{+1}^0e$. Ces sont des particules chargées positivement appelées aussi particules β^+ . Elle porte une charge $+e$.

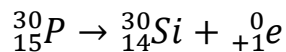
Elle est caractéristique des éléments possédant trop de proton. Elle n'existe que pour des noyaux « artificiels » c'est-à-dire préparés par l'homme.

L'équation-bilan de la réaction nucléaire :

D'après les lois de conservations, l'équation générale s'écrit ;



Exemple: le phosphore 30, obtenu par la première fois par Irène et Frédéric Joliot-Curie en 1934 est émetteur β^+ .



On obtient l'élément qui correspond à $Z= 14$ le Silicium.

Caractéristique du rayonnement β^+ :

Les particules β^+ ont des durées de vie très courtes dans la matière car lorsqu'elles rencontrent un électron, les deux particules s'annihilent et donnent un rayonnement γ (${}^0_{+1}e + {}^0_{-1}e \rightarrow \gamma$).

Cette propriété est utilisée en médecine dans les examens de tomographie à émission de position.

e. Désexcitation γ :

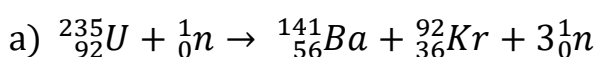
Le noyau fils est généralement obtenu dans un état excité noté Y^* . C'est la désexcitation du noyau fils Y^* qui produit le rayonnement γ :

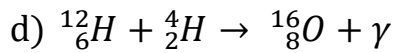
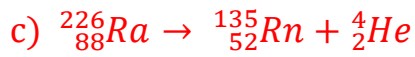
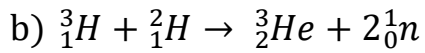


Le rayonnement γ est très pénétrant. Il est très difficile à arrêter, il faut une vingtaine de centimètre de plomb pour s'en protéger.

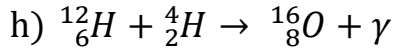
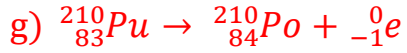
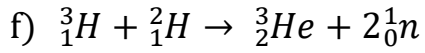
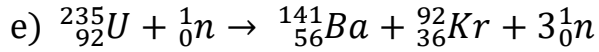
Application :

Cocher l'équation qui correspond à une radioactivité α

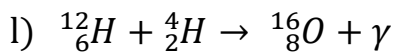
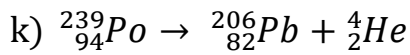
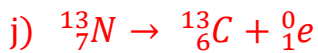
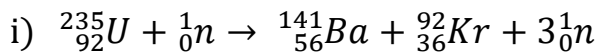




Cocher l'équation qui correspond à une radioactivité β^-



Cocher l'équation qui correspond à une radioactivité β^+



IV. Application de radioactivité dans le domaine de la médecine nucléaire

1. Les traceurs radioactifs :

a. Pister les phénomènes avec des atomes radioactifs :

On doit au physicien austro-hongrois Georg Von Hevesy d'avoir découvert l'existence des isotopes avec Frédéric Soddy et Kasimir Fajans. Il fut aussi le premier, en 1913, à avoir employé la méthode des indicateurs radioactifs. Pendant deux ans, il avait tenté en vain par des méthodes chimiques fines, de séparer du plomb le radium-D, appelé ainsi parce qu'il était le quatrième descendant du radium. Ce radioélément est aujourd'hui identifié à un isotope radioactif du plomb de période 22,3 années, le plomb-210 ce qui explique l'échec de la séparation.

b. Traceurs et marqueurs en médecine :

En médecine, les traceurs sont des molécules organiques complexes choisies pour leur affinité envers l'organe à étudier. Ces molécules sont "marquées" par la présence d'un noyau radioactif. Le traceur est généralement injecté par voie intraveineuse. Sur ces images du squelette, on distingue des foyers de fixation d'un diphosphonate marqué au technétium-99m, traduisant la présence de métastases. Ce marqueur est très utilisé pour les scintigraphies gamma.



Un isotope radioactif peut être incorporé dans une molécule dont on veut observer le parcours (par exemple un atome de tritium remplaçant un atome d'hydrogène). On parle

alors plutôt de marqueur que de traceur, l'atome marqué jouant le rôle passif de simple étiquette.

2. La radiothérapie :

La radiothérapie est un traitement locorégional des cancers. Elle consiste à utiliser des rayonnements (on dit aussi rayons ou radiations) pour détruire les cellules cancéreuses en bloquant leur capacité à se multiplier.



Séance de radiothérapie

L'irradiation a pour but de détruire les cellules cancéreuses tout en préservant le mieux possible les tissus sains et les organes avoisinants.

Plus de la moitié des patients atteints d'un cancer sont traités par radiothérapie à une étape de leur parcours de soin.

On distingue la radiothérapie externe et la curiethérapie :

- Dans la radiothérapie externe, les rayons sont émis en faisceau par une machine située à proximité du patient ; ils traversent la peau pour atteindre la tumeur.
- Dans la curiethérapie, des sources radioactives sont implantées directement à l'intérieur du corps de la personne malade.

Il existe une troisième modalité de radiothérapie, la radiothérapie métabolique. Elle consiste à administrer, par voie orale (boisson ou capsule) ou par injection intraveineuse, une substance radioactive, qui se fixe préférentiellement sur les cellules cancéreuses pour les détruire.

La radiothérapie métabolique est utilisée pour traiter certains cancers de la thyroïde, la maladie de Vaquez et certaines métastases osseuses.