

Cours de : PHYSIQUE (Chapitre 10)

Classe : T^{le} C

Enseignant : M. Monkam Ybriss Joël.

Contacts : 695 44 34 47 // (WhatsApp : 679 39 88 93)

Email : ybrissjoelmonkam@yahoo.fr

CHAPITRE 10 : LA RADIOACTIVITE.

Objectifs :

- Mettre en évidence et interpréter l'émission spontanée des particules par des noyaux radioactifs.
- Connaître les applications de la radioactivité ainsi que ses inconvénients.

(PR : Contrairement aux réactions chimiques au cours des quelles les atomes interagissent au niveau de leurs électrons périphériques, les réactions nucléaires font intervenir les noyaux des différents atomes).

1. Le noyau atomique

1.1 Structure de l'atome.

L'atome est constitué d'électrons et de nucléons (protons et neutrons). Les nucléons occupent le noyau de l'atome. L'atome est électriquement neutre : Il possède autant de protons que d'électrons.

Particule	Symbole	Charge électrique (C)	Masse en (kg)	Masse en(u)
Électron	e-	$q_e = -e = -1,602 \times 10^{-19}$	$M_e = 9,109 \times 10^{-31}$	$M_e = 5,485 \times 10^{-4}$
Proton	P	$Q_p = e = 1,602 \times 10^{-19}$	$M_p = 1,672 \times 10^{-27}$	$M_p = 1,00728$
Neutron	N	$Q_n = 0$	$M_N = 1,674 \times 10^{-27}$	$M_N = 1,00866$

1.2 Définitions.

- On appelle nombre de charge noté Z, le nombre de proton contenu dans le noyau.
- On appelle nombre de masse noté A, le nombre de nucléons contenu dans le noyau d'un atome. Ainsi $A = N + Z$.
- On appelle nucléide l'ensemble d'atomes dont les noyaux ont le même nombre de proton et le même nombre de neutron. On représente un nucléide par le symbole :



- On appelle isotope d'un élément les atomes de cet élément ayant le même nombre de charge z, mais de nombre de masse A différents. Exemple : ${}^1_1\text{H}$, ${}^2_1\text{H}$, ${}^3_1\text{H}$ sont des isotopes de l'élément hydrogène ; ${}^{12}_6\text{C}$, ${}^{14}_6\text{C}$ sont des isotopes de l'élément carbone.
- On appelle isobares les noyaux d'éléments différents ayant le même nombre de masse A Exemple : ${}^{40}_{18}\text{Ar}$ et ${}^{40}_{20}\text{Ca}$.
- On appelle isotones, les noyaux d'éléments différents ayant même nombre de neutrons. Exemple : ${}^{15}_7\text{N}$ et ${}^{16}_8\text{O}$.
- L'énergie nucléaire est l'énergie qui provient des réactions entre les noyaux d'atomes.

➤ L'unité de masse atomique.

En physique atomique, les masses sont souvent exprimées en unité de masse atomique noté u ou u.m.a : L'u.m.a est égale à un douzième de la masse d'un atome de l'isotope 12 de l'élément carbone.

$$1u = M_c \times 10^{-3} / 12 \text{ \AA } \text{ soit } 1u \approx 1,660 \times 10^{-27} \text{kg. (} \text{\AA} = 6,02 \times 10^{23} \text{mol).}$$

1.3 Stabilité du noyau

Il existe 4 types d'interactions dans le noyau :

- Interaction gravitationnel : Elles sont très faibles pour les particules élémentaires.
- Les interactions électromagnétiques : Ce sont celles répulsives entre les protons.
- Les interactions nucléaires répulsives et attractives qui sont à l'origine de la cohésion du noyau, ce sont elles qui font en sorte que les protons se regroupent.
- Les interactions faibles qui agissent à l'intérieurs du nucléon et permettent de transformer les protons en neutron et inversement.

1.3.1 Aspect énergétique de la cohésion du noyau.

➤ Énergie de liaison :

D'après la théorie de la relativité et de l'équivalence entre l'énergie et la masse d'Albert Einstein « **toute particule même au repos possède du simple fait de sa masse une énergie E_0 appelée énergie de masse et donnée par la relation**

$$\boxed{E_0 = mC^2}$$
 Avec E_0 (j), m en (kg) et C (célérité de la lumière 3×10^8 m/s).

Exemple : pour 10^{-3} kg de matière, $E_0 = 10^{-3} \times (3 \times 10^8)^2 = \dots\dots\dots$

L'expérience montre que la masse m d'un noyau de la forme ${}^A_Z X$ est toujours inférieur à la masse des nucléons qui le constituent prit séparément. La différence entre ses deux masses notées Δm est appelé défaut de masse.

$$\Delta m = [Zm_p + (A - Z)m_N - m].$$

On appelle énergie de liaison d'un noyau E_l l'énergie qu'il faut fournir à ce noyau au repos pour le dissocier en ses nucléons isolés et immobiles. Cette énergie est positive et est donnée par la relation :

$$\boxed{E_l = \Delta m C^2.}$$

Exercice d'application. Le symbole d'un noyau de thorium est ${}^{230}_{90}\text{Th}$. Calcule son défaut de masse puis en déduire son énergie de liaison. On donne :

$$M_p \approx M_N = 1,672 \times 10^{-27} \text{ kg}, M_{\text{Th}} = 230,0331 \text{ u} = 3,81 \times 10^{-25} \text{ kg}.$$

➤ Énergie de liaison par nucléon :

Pour comparer la stabilité des noyaux, on définit l'énergie de liaison par nucléons ou énergie de cohésion noté $|\Delta E/A| = |\Delta m C^2/A|$

Plus cette énergie est élevée, plus le noyau est stable.

2. Radioactivité.

(PR : Au moyens âge, les alchimistes cherchaient une méthode permettant de transformer le plomb en or mais, le développement subséquent de la chimie montra que cela était impossible. le plomb et l'or sont deux éléments différents et il n'existe aucune réaction chimique permettant cela. Avec le temps, le rêve des alchimistes devint réalité, si les réactions chimiques ne permettent la transformation du plomb en or, les réactions nucléaires l'accomplissent. La radioactivité est un cas particulier de réaction nucléaire, il existe aussi des réactions nucléaires provoquées par l'homme ».

2.1 Généralités.

Ils existent deux types de radioactivité :

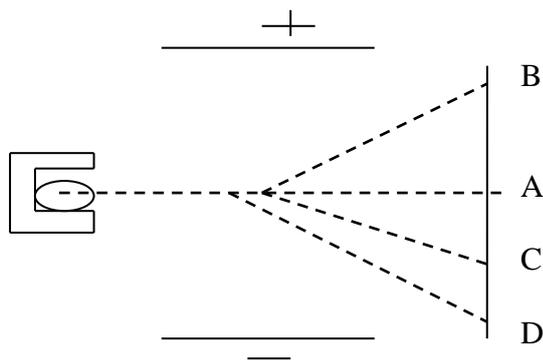
- La radioactivité naturelle découverte par Henry Becquerel en 1896, elle est dû aux noyaux existant dans la nature.

- La radioactivité artificielle découverte par Irène et Frédéric Joliot-Curie en 1934, elle est dû aux noyaux n'existant dans la nature mais qu'on peut créer par divers moyens.

On appelle radioactivité, l'émission spontanée de particules par de noyaux instables, accompagné d'une émission d'un rayonnement électromagnétique très pénétrant, le rayonnement γ (gamma).

➤ Mise en évidence des émissions radioactives.

Si nous plaçons une petite quantité de substance radioactive dans le fond d'un canal rectiligne percé dans un bloc de plomb, on constate que, une plaque photographique disposé à la sortie de ce canal est impressionnée en un point A.



Disposons deux armatures métalliques planes de part et d'autres du rayonnement qui atteint le point A. En présence d'un champ magnétique ou électrique, la plaque photographique montre l'existence de 4 taches. Il en résulte que le rayonnement radioactif conduit 4 sortes de radiations :

- Les rayons γ non déviés par les champs et par conséquents sans charges, ils sont très pénétrant et très dangereux biologiquement (A).
- Les rayons α constitués de charges positives, ils sont déviés vers l'armature négative. Ces rayons sont des noyaux d'hélium (${}^4_2\text{He}$). Ils sont peut pénétrant (C).
- Les rayons β^- constitués de charge négative, ils sont déviés vers l'armature positive et sont constitués d'électrons lancés avec une vitesse très grande. Ils sont plus pénétrants que les rayons α . (B)
- Les rayons β^+ constitués de charge positive sont déviés vers l'armature négative. Ils sont constitués d'antiparticules de l'électron appelé positon ou positron. On le note 0_1e ou e^+ (D).

2.2 Lois de conservation radioactive.

Au cours d'une réaction mettant en jeu des noyaux et des nucléons appelée réaction nucléaire, il y'a :

- Conservation de la quantité de mouvement.
- Conservation de l'énergie totale.
- Conservation du nombre de masse.
- Conservation du nombre de charge.

(Ces deux dernières lois sont connues sous le nom de loi de conservation de SODDY, elles sont utilisées pour équilibrer les équations des réactions nucléaires).

2.3 Mécanisme de transformation radioactive.

2.3.1 Radioactivité α .

On l'obtient généralement avec des noyaux lourds ($A > 200$). Considérons un élément radioactif α de symbole ${}^A_Z X$ l'équation de la réaction nucléaire sera :



Père fils



Le noyau fils est généralement dans un état excité. Pour reprendre son niveau fondamental il émet de l'énergie sous forme de photon ce qui constitue une radioactivité secondaire.

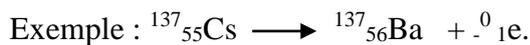
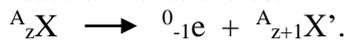
L'énergie de cette désintégration est donnée par :

$$E = m_X - (m_{X'} + m_{\text{He}})c^2.$$

Cette énergie est transmise à la particule α et au noyau X' sous forme d'énergie cinétique.

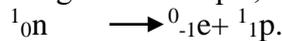
2.3.2 Radioactivité β^-

Elle se rencontre généralement chez les noyaux ayant en excès de neutrons. L'équation de la réaction nucléaire est :



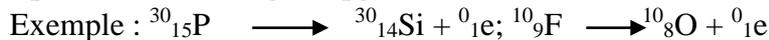
Remarque :

Les électrons émis ne peuvent en aucun cas provenir du noyau. Ils ne proviennent non plus du nuage électronique, ils proviennent de la transformation des neutrons suivant l'équation :



2.3.3. Radioactivité β^+ .

Elle se rencontre généralement chez les noyaux ayant un déficit en neutrons. L'équation de la réaction nucléaire est :



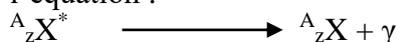
Remarque :

Les positons émis par ses radioéléments ne se trouvent pas dans le noyau, ils proviennent de la transformation d'un proton du noyau selon l'équation :



2.3.4 Radioactivité γ

Lors de la désintégration d'un noyau, on obtient un noyau fils qui se trouve dans un état excité. Ce noyau fils tombe dans son état fondamental en émettant un rayonnement γ suivant l'équation :



2.4 Décroissance radioactive, période radioactive.

2.4.1 Décroissance radioactive.

Considérons un échantillon de substance radioactive dont le nombre de noyaux $-dN$ qui se désintègrent pendant la durée dt est proportionnel à dt et au nombre de noyau N à la date t d'équation : $dN = -\lambda N dt$ (λ constante radioactive)

Elle peut encore s'écrire :

$dN = -\lambda N dt \leftrightarrow dN/N = -\lambda dt$, $\text{Ln}N = -\lambda t \leftrightarrow e^{\text{Ln}N} = e^{-\lambda t + k}$. A $t = 0$, $N = N_0 \leftrightarrow \text{Ln}N_0 = k$, on a alors : $\text{Ln}N = -\lambda t + \text{Ln}N_0 \leftrightarrow \text{Ln}N/N_0 = -\lambda t \leftrightarrow \text{Ln}N - \text{Ln}N_0 = -\lambda t \leftrightarrow N/N_0 = e^{-\lambda t}$ d'où

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

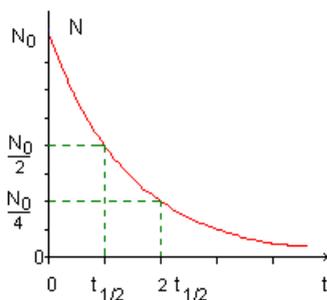
C'est la loi de décroissance radioactive. $N(t)$ est le nombre de noyau présent dans l'échantillon à l'instant t , λ est la constante radioactive, N_0 le nombre de noyau non désintégré à l'instant initial.

2.4.2 Période radioactive.

On appelle période radioactive ou demi-vie d'un radioélément, le temps T au bout duquel la moitié de atomes initialement présent dans l'élément ont été désintégrés.

Si $t = T$ alors $N = N_0/2$ or $N = N_0 e^{-\lambda t}$, on a : $N_0/2 = N_0 e^{-\lambda t}$ d'où

$$T = \frac{\text{Ln}2}{\lambda} \quad \text{Avec } T \text{ en (s)} \quad \lambda \text{ (s}^{-1}\text{)}.$$



On appelle vie moyenne ou durée de vie d'un échantillon le temps pour le quel $N = N_0/e$. Or $N = N_0 e^{-\lambda t}$ d'où $t = 1/\lambda$.

2.5 Activité radioactive.

On appelle activité A d'une substance radioactive le nombre de désintégrations par seconde.

$A = -dN/dt$. Dans le SI elle s'exprime en becquerels (Bq).

$A = -dN/dt$ avec $N = N_0 e^{(-\lambda t)}$, $dN/dt = -\lambda N_0 e^{(-\lambda t)} = -\lambda N$ d'où $A = \lambda N$. $A_0 = \lambda N_0$ représente l'activité initiale de l'échantillon, ainsi on peut écrire $A = A_0 e^{-\lambda t}$.

2.6 Réaction nucléaire.

Les noyaux lourds peuvent se scinder (fission) tandis que les noyaux légers peuvent se combiner (fusion nucléaire).

- La fission nucléaire

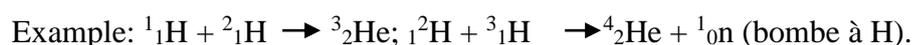
C'est une réaction nucléaire au cours de laquelle un noyau lourd se scinde en deux ou plusieurs noyaux petits. La fission s'opère en générale sous l'action des neutrons, elle est presque toujours artificielle (provoquée par l'homme).



Les neutrons émis pendant la fission peuvent entrer en collision avec d'autres noyaux d'uranium provoquant ainsi une réaction en chaîne pouvant conduire à une explosion : c'est le principe de la bombe atomique. Cependant, contrôlée, les réactions nucléaires permettent la production de l'énergie électrique (centrales nucléaires) d'où la propulsion de sous-marins.

- La fusion nucléaire.

Au cours d'une fusion nucléaire, deux noyaux légers s'unissent pour former un noyau lourd.



Pour ce faire les réactions de fusion nécessitent beaucoup d'énergie soit près de 10^8 °C c'est pour cela qu'on les appelle également réaction thermonucléaires. Ce sont ces réactions qui permettent au soleil de briller de millions de degré Celsius.

2.7 Applications des radionucléides.

- Traceurs radioactif.

En médecine, cette méthode permet de suivre l'action d'un médicament, de contrôler l'action d'un organe, de détecter la déficience d'un organe. Ex : la thyroïde.

En industrie, l'utilisation des rayons gamma (gammagraphie) permet d'explorer les corps opaques Ex : vérifier les soudures métalliques, les canalisations souterraines.

En chimie les traceurs sont utilisés pour étudier les mécanismes des réactions chimiques grâce au marquage.

- Applications liés aux procédés destructeurs :

On utilise les sources radioactives pour détruire les cellules cancéreuses pour aseptiser (stériliser) le matériel médical, pour la restauration des œuvres d'art, pour l'armement.

- Application liée à l'agriculture

Les organismes génétiquement modifiés (OGM) sont le fait des expositions aux radiations.

- La datation au carbone 14

Le carbone 14 est très utilisé dans la détermination de l'âge des échantillons organiques par comparaison de la proportion de carbone radioactive des restes de l'organisme fossile à ceux de l'organisme vivant.

2.8 Danger de radionucléides.

Les conséquences liées à l'utilisation des radioéléments sont nombreuses ; ce sont :

- L'irradiation c'est l'exposition au rayonnement radioactif.
- L'inhalation c'est lorsque l'on respire les vapeurs radioactive.
- La contamination c'est lorsqu'on consomme des éléments radioactive dans les aliments.
- Les catastrophes nucléaires.

Exercice d'application :

1- l'une des réactions de fission les plus courantes dans les réactions nucléaires est la suivante:



1.1 Qu'est ce qu'une fission nucléaire ?

1.2 Compléter cette réaction de fission.

1.3 Calculer la perte en masse en MeV/c².

1.4 En déduire l'énergie libérée par la fission d'un atome d'uranium.

1.5 Calculer l'énergie libérée par la fission de 10g d'uranium 235.

On donne : M(²³⁵U)=235,04392u ; M(⁹⁴Sr)= 93,91536u ;

M(¹⁴⁰Xe)=139,91879u ;M(neutron)=1,00866u ; 1.u=1,6605x10⁻²⁷Kg=931,5MeV/c².

2-Le noyau d'un isotope de cobalt 60 se désintègre en donnant un nucléide stable et une particule β⁻.

2.1 Écrire l'équation – bilan de la réaction en utilisant le symbole du nucléide formé.

2.2 La période radioactive du cobalt 60 est T=5,3ans. On considère un échantillon de masse m=10g de minerai de teneur en cobalt 60 t=20% à l'instant t=0

2.21 Calculer la masse de l'isotope dans ce minerai à l'instant t=0 et au bout de 15,9ans

2.2.2 Calculer le nombre de noyaux présents dans l'échantillon à ces instants.

2.2.3 La particule β⁻ émise lors de la désintégration a une énergie E=2MeV.

2.3.1 Calculer en MeV l'énergie au repos de cette particule.

2.3.2 Calculer en MeV l'énergie cinétique de la particule.

On donne : M(β⁻)=0,00055u ; N_A=6,02x10²³mol⁻¹ ; c=3x10⁸m/s ;

Ln2=0,693 ;M(Co)=58,9g/mol. ²⁵Mn, ²⁷Co, ²⁹Cu, ³⁰Zn.