

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed El Bachir Elibrahimi – Bordj Bou Arreridj
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département des Sciences de la Matière

جامعة محمد البشير الإبراهيمي « برج بوعرييرج »
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم علوم المادة



Mémoire de fin d'études

PRESENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME DE : Master

Filière : Physique
Option : Physique des matériaux

THÈME

La distribution des charges dans un noyau atomique

Préparé par :
M'HAMDIA SOUHILA

Soutenu le :

Devant le jury :

Président : LATERECHE A/ HAKIM
Rapporteur : REGAIGUI GASMI
Examineur : L EBGA NOUDJOUR

Année Universitaire 2020-2021

Dédicaces

A ma mère

A qui je dois plus je ne saurai exprimée

Mes pauvres mots ne peuvent jamais exprimer ma reconnaissance et ma profonde gratitude pour le sacrifice que tu à faire pour mon bonheur et ma réussite. Puisse ce projet être le reflet quoique insuffisant de ma gratitude et mon amour.

A mon père

Pour tout ce qui je te dois tu as toujours été mon soutien et mon guide, que ce projet soit un témoignage de ma profonde reconnaissance et mon grande amour. Je prie Dieu pour qu'il t'alloue bonne santé et longue vie.

Ames frères et mes belles sœurs et mon mari

Avec tout mon amour et ma tendresse. En témoignage de mon profonde amour et attachement que Dieu vous procure beaucoup de bonheur et de succès.

A tous mes amis (es)

Pour leur aide précieuse dans l'élaboration de ce travail qu'ils trouvent ma reconnaissance et mon affection.

A tous ceux que j'aime

Ils sont nombreux qu'ils trouvent ici l'expression de mon respect et mon affection.

Remerciements

Avant toute chose, nous tenons à remercier l'Éternel notre Dieu pour cette grâce d'être en vie, en bonne santé jusqu'à ce jour, et de nous avoir donnée la force, l'espoir pour accomplir ce mémoire de fin d'études.

Nous exprimons aussi toute notre profonde reconnaissance o toutes les personnes suivantes :

- *D'abord, à Monsieur ABELHAKIM LATERACHE t maître de conférences, qui nous a fait l'honneur de de présider la soutenance de ce mémoire.*
- *Ensuite, à Madame NOUJOUR LEBGA. Maître de conférences, qui, malgré ses multiples occupations, nous accepte avec l'honneur de juger et d'examiner ce travail.*
- *Nous sommes heureux de pouvoir exprimer notre vif sentiment de gratitude à notre encadreur, Monsieur GHASMI REGUIGI, et maître de conférences, pour sa disponibilité, son aide, ses encouragements bienveillants et ses précieux conseils tout au long de notre travail. La réalisation de ce mémoire n'aurait été possible sans votre aimable soutien, Monsieur, ainsi merci infiniment.*

Merci infiniment à vous tous et que Dieu vous bénisse.

Lestes du Tableaux

N^0	Liste des Tableaux	Page
	Chapitre 1 : La structure atomique.	
01	Tableau I .1 Les masses des particules.	04
02	Tableau I .2 Un tableau présentant des charges des particules Constituant l'atome.	05
03	Tableau I .3 Un tableau présentant la configuration électronique d'un atome.	06
	Chapitre 2 : Noyau atomique et la radioactivité.	
04	Tableau I .2 Un tableau présentant le nombre du noyau restant en fonction du temps (s).	22

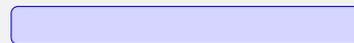
Listes des figures

N^0	Listes des figures	Page
	Chapitre 1 : La structure atomique.	
01	Figure 1 : Image représentative les constituant d'un atome.	
02	Figure2 : Image représentative une structure lacunaire.	
03	Figure 3 : Image représentative postulat de Bohr.	
04	Figure 4 : Schéma représentative les niveaux d'énergie.	

05	Figure 5 : Schéma représentative le remplissage des niveaux d'énergie.	
	Chapitre 2 : Le noyau atomique et la radioactivité.	
01	Figure 1 : Image représentative d'un noyau atomique.	
02	Figure 2 : LA courbe d'Aston représentation la quantité $\frac{E_L}{A}$ En fonction de A.	
03	Figure 3 : Bilan représentative la désintégration α .	
04	Figure 4 : Bilan représentative la désintégration β^+ .	
05	Figure 5 : Bilan représentative la désintégration β^- .	
06	Figure 6 : Courbe représentative nombre du noyau N en fonction du temps.	
07	Figure 7 : Schéma représentative la fission nucléaire de l'uranium 235.	
08	Figure 8 : Schéma représentative la fusion nucléaire.	
	Chapitre 3 : les interactions et forces nucléaires.	
01	Figure 1 : Image représentation l'interaction forte.	
02	Figure 2 : Image représentation l'interaction électromagnétique	
03	Figure 3 : Image représentation l'interaction faible.	

Sommaire

I Introduction générale	
Chapitre 1 : La structure atomique	1
II . Propriétés et caractéristiques de l'atome	3
II .1. Grandeur liées à l'atome	3
II .1.1 La taille d'un atome	3
II .2. Masses caractéristiques de l'atome	4
II .2.2 .Masses du noyau	
II .3. Le temps du noyau	
II .4. Les charges électriques	
Chapitre 2 : Le noyau atomique et la radioactivité	10
I . Le noyau atomique	10
I .1. Historique	
I .2. Définition	10
I .3. composition d'un noyau atomique	11
I .4. Masses et des énergies	12
I .4. 1. Unité de masse atomique	12
I .4.2 Défaut de masse	13
I .4.3 Principe d'équilibre	13
II Stabilité d'un noyau	14
II .1 . Energie de liaison ou energie de cohesion	14
II .2. Energie de liaison par nucleon	15
III . Réaction nucléaire spontanée	15
III .1. Propriétés d'un noyau radioactive	16
III .2. Différentes types de radioactives	16
III .2.1 Radioactivité α	16
III .2.2 Radioactivité β	17
III .2.3. Radioactivité β	18
III .2.4. Le rayonnement γ	18



III.3.Décroissance radioactive	19
III.3.1 Description.....	19
III.3.2 Lois de décroissance radioactive.....	20
III.3. Activité nucléaire d'un élément radioactive.....	22
III.4.Utilisation de la radioactivité.....	23
IV. Réaction nucléaire provoqué	24
IV.1.réaction e fission nucléaire.....	24
IV.1.2.Equation bilan de cette reaction.....	25
IV.2. Réaction de fusion nucléaire.....	26
IV.2.1.Equation du bilan de cette reaction.....	26
Chapitre 3 : Les interactions et forces nucléaire.....	27
I .Introduction.....	27
II . caractéristique la force nucléaire.....	28
III. Les trois forces en action dans le noyau.....	28
III.1 Interaction forte.....	28
III.2 Interaction électromagnétique.....	29
III.3 Interaction faible.....	30

Introduction général :

La physique théorique accepte la physique nucléaire comme une branche.

La physique nucléaire est la science pour l'étude du noyau atomique et des interactions dont il est siège, c'est-à-dire l'étude du noyau atomique en tant que tel (élaboration d'un modèle théorique décrivant son état fondamental, ses différents modes d'excitations et de désexcitations), mais aussi de la façon dont il interagit avec des particules élémentaires comme le proton ou les électrons, ou avec d'autres noyaux. La physique nucléaire expérimentale se propose d'étudier des phénomènes très énergétiques (les énergies mises en jeu vont de la fraction de MeV à, plusieurs GeV) et très localisés dans l'espace (l'ordre de grandeur des distances est 10^{-12}).

Le première chapitre : nous avons parlons sur la structure de l'atome et leur constituants.

La matière est constitué de molécules, elles même constitué d'atomes. Ces atomes sont formés d'un noyau central entouré par un nuage, le noyau contient des nucléons, c'est-à-dire des protons et des neutrons. Les électrons ont une charge électrique négative. Les protons ont une charge électrique positive, de même valeur que celle de l'électron. Les neutrons n'ont pas de charge électrique, ils sont neutres.

Il y a exactement le même nombre d'électrons et de protons dans un atome, l'atome est donc électriquement neutre. Le nombre d'électrons (ou de protons) dans un atome détermine ses propriétés physiques et chimiques, c'est le nombre atomique. Par exemple, un atome d'hydrogène a 1 électron et 1 proton.

Chapitre deuxième : dans cette chapitre nous avons parlons sur les compositions d'un noyau atonique, les protons et neutrons (nucléides), et leur unité de masse (u) avec le défaut de masse et la stabilité du noyau par exemple l'énergie de liaison.

D'abord nous avons parlons sur la radioactivité est un phénomène physique naturel au cours duquel des noyaux atomiques instables se désintègrent en dégageant de l'énergie sous forme rayonnement ainsi émis sont appelés, selon le cas, des rayons α (alpha), β (bêta) ou γ (gamma) et l'utilisation de radioactivité par exemple domaine de médecine (médecine nucléaire), armement (bombe atomique).

Enfin nous avons parlons sur la réaction nucléaire artificielle par étudier deux types de réaction : la réaction de fission nucléaire et la réaction de fusion nucléaire.

Chapitre troisième : nous cette chapitre nous avons expliquons théoriquement l'énergie de liaison d'un noyau atomique (l'équation de Schrödinger) pour un noyau et pour gluons par la méthode d'approximation puisque la distribution des charges est symétrique dans le noyau et e noyau leur dimension est faible par rapport la dimension d'un atome pour cette raison on peut considérer le noyau comme un ensemble des particules «élémentaires (gluons, quarks).

Chapitre 1 : Structure atomique

I . Introduction :

Un atome (grec ancien [ATOMOS], « que l'on ne peut diviser») est la plus petite partie d'un corps simple pouvant se combiner chimiquement avec une autre. La théorie atomiste, qui soutient l'idée d'une matière composée de «grains» indivisibles (contre l'idée d'une matière indéfiniment sécable), est connue depuis l'Antiquité, et fut en particulier défendue par Démocrite, philosophe de la Grèce antique. Elle fut disputée jusqu'à la fin du XIX^e siècle, mais n'est plus au XXI^e siècle l'objet de la moindre controverse. C'est en particulier sur cette notion d'atome que reposent les sciences de la matière modernes. L'atome n'est cependant plus considéré comme un grain de matière insécable, depuis les expériences de physique nucléaire ayant mis à jour sa structure au début du X^e siècle.

Un atome est constitué d'un noyau concentrant plus 99,9% de sa masse, autour duquel se distribuent des électrons pour former un nuage 40 000fois plus étendu que le noyau lui-même. Ce dernier est constitué de protons, chargés positivement, et de neutrons, électriquement neutres ; l'hydrogène fait exception, car le noyau de son isotope 1H , appelé PROTIUM, ne contient aucun neutron. Les électrons occupent des orbitales atomiques en interaction avec le noyau via la force électromagnétique, tandis que les nucléaires forte. Le nuage électronique est stratifié en niveaux d'énergie quantifiés est une manifestation de l'interaction nucléaire forte. Le nuage électronique est stratifié en niveaux d'énergie quantifiés autour des noyaux définissant des couches et des sous-couche électronique ; les nucléons se répartissent également en couches nucléaires, bien qu'un modèle approché assez commode popularise la structure nucléaire d'après le modèle de la goutte liquide.

Plusieurs atomes peuvent établir des liaisons chimiques entre eux grâce à leur électrons, et, d'une manière générale, les propriétés chimiques des atomes sont déterminées par leur configuration électronique, laquelle découle du nombre de protons de leur noyau. Ce nombre, appelé numéro atomique, définit un élément chimique. [1]

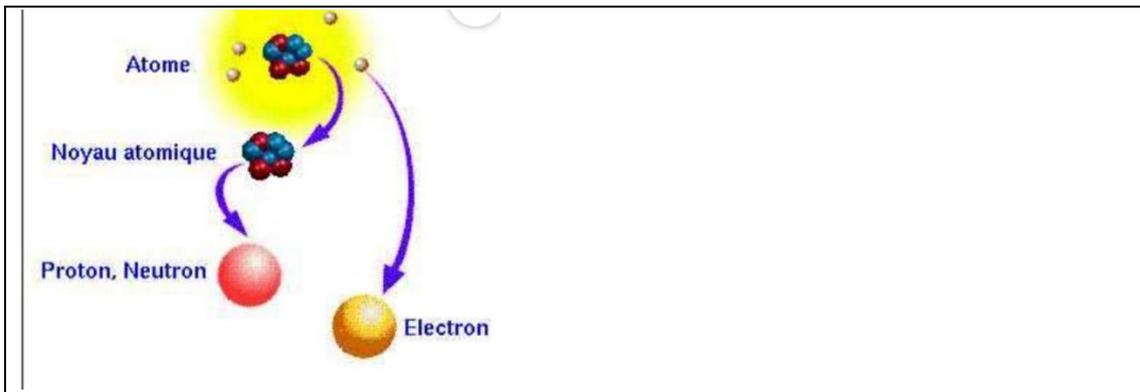


Figure 1 : Représentative les composantes d'un noyau atomique.

I . Propriétés et caractéristiques de l'atome :

I .1. Grandeurs liées à l'atome :

I . 1.1. La taille d'un atome :

Le diamètre d'un atome est de l'ordre de grandeur de l'angström (Å) (10^{-10}). Le rayon de Bohr de l'atome d'hydrogène est $r_H = 0,59 \text{ \AA}$, le rayon du proton est de l'ordre du 10^{-15} fm et le rayon d'un noyau lourd est de environ 7 fm .

Le rayon du noyau de l'atome varie en fonction du nombre nucléon A :

$$R = R_0 A^{1/3} \quad [2] \text{Page 3 sur 8}$$

✚ Le rayon atomique :

La sphère représentant l'atome, d'après le modèle de Rutherford possède un rayon qui en globale le noyau et va jusqu'aux limites du nuage électronique.

L'ordre de grandeur du rayon de l'atome est de $10^{-10} = 100 \text{ pm}$ car $1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$.

Plus un atome possède de nucléons et d'électrons, plus le volume de la sphère atomique associée au noyau est important donc plus le rayon de l'atome noté r_a est grand.

Exemples :

$$r_a({}_1^1\text{H}) = 50 \text{ pm}$$

$$r_a({}_{56}^{133}\text{Cs}) = 270 \text{ pm}$$

✚ Le rayon du noyau :

L'ordre grandeur du noyau est 100000 fois ou 10^5 fois plus petit que celui de l'atome.

Exemple :

Si le noyau était une orange de 3 centimètre de rayon de 3 Kilomètres.

✚ Vide de la structure atomique :

Les électrons qui gravitent autour du noyau sont très petits et peu nombreux, entre le noyau et le rayon atomique il existe donc un vide dans lequel les électrons se déplacent : on dit que l'atome possède une structure lacunaire.

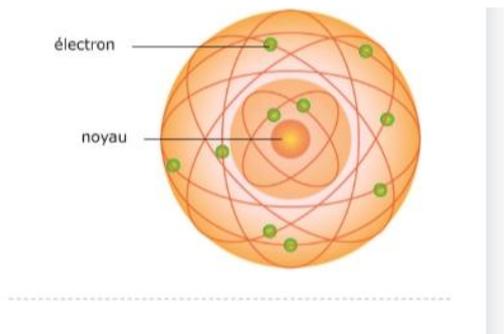


Figure 2 : Image représentative une structure lacunaire.

l'essentiel :

L'atome possède une structure lacunaire, c'est-à-dire qu'il est essentiellement composé de vide.

Le rayon de l'atome est de l'ordre de 10^{-10}m et celui du noyau de l'ordre de 10^{-15}m , d'où rapport suivant :

$$\frac{r_{\text{atome}}}{r_{\text{noyau}}} = \frac{10^{-10}}{10^{-15}} = 10^5.$$

I .2. Masses caractéristique de l'atome :

I .2.1.Masse de l'atome :

On remarque que la masse d'un électron est très petite comparé celle des nucléons, donc la masse de l'atome est concentrée dans son noyau.

Les masses des protons et des neutrons sont quasiment identique aussi, si on néglige la masse des électrons, on peut écrire que la masse de l'atome est égale au nombre de nucléon (proton ou neutron) :

$$m_{\text{atome}} \approx (A) \times m_p$$

I .2.2.Masses du noyau :

Le noyau d'un atome est constitué de nucléons de deux types : les neutrons et les protons. Pour calculer la masse du noyau d'un atome, il suffit donc d'additionner les masses des particules qui le constituent grâce aux valeurs suivantes :

Tableau1 : Les masses des particules.

Particule	Masse en kg
Proton	$m_p = 1,673.10^{-27}\text{kg}$
Neutron	$m_n = 1,675.10^{-27}\text{kg}$
Electron	$m_e = 9,110.10^{-31}\text{kg}$

1) L'électron est environ 2000 fois plus léger que le proton et le neutron qui se trouvent dans le noyau.

2) les masses du proton et du neutron sont quasi identiques (10^{-27}kg).

I .3.Le temps

L'échelle de temps des phénomènes nucléaires s très étendu. Elle varie de $10^{-20}s$ réaction nucléaire à 10^9ans (désintégration nucléaire). Dans la pratique on utilise l'unité la mieux adaptée au phénomène.

I .4. Les charges électriques :

L'ensemble des phénomènes électriques, dont l'électrostatique, s'explique à l'aide de théories occupe une place toutes qui se basées sur la structure atomique de la matière. La notion de charge électrique importante dans ces théories.

Les études expérimentales faites sur matière sur a matière à la fin du 19 siècle, début du 20 siècle, ont permis d'établir que la matière était constituée moins grosses, et regroupées de façon ordonnée dans des entités appelées atomes.

Ces trois particules sont :

- Les protons, chargés positivement.
- Les neutrons, électriquement neutre.
- Les, chargés négativement.

L'atome dans son état fondamental est électriquement neutre.

Tableau 2 : un tableau présentant les charges des particules constituant l'atome.

Charge du proton	Positive (+1)	$+1,602 \times 10^{-19}C$
Charge du neutron	Neutre (0)	0
Charge de l'électron	Négative (-1)	$-1,602 \times 10^{-19}C$

L'atome neutre a une charge électrique nulle ce qui conduit à la relation simple :

Nombre de protons=Nombre d'électrons

- Quelque définition :

Le proton : est une particule subatomique portant une charge positive située dans le noyau.

L'électron : est une particule subatomique portant une charge négative. Cette particule est située sur les couches électroniques.

Le neutron est une particule neutre (charge=0) qui se trouve dans le noyau d'un atome. [3]

II . Modèle atomique :

II .1.Structure électronique postulat de Bohr.

Un électron, dans un atome, décrit une orbite autour du noyau sous l'influence de l'attraction Coulombienne entre électron et noyau.

Le moment angulaire orbital de l'électron $L = mvr$ ne peut varier que de manière discrète. IL est quantifié seules sont permises les orbites pour lesquelles :

$$2pL + nh$$

Avec $n = 1, 2, 3, \dots$

Sur une orbite permises l'électron, bien que constamment accéléré ne rayonne pas d'énergie. Son énergie totale est constante.

Un rayonnement électromagnétique n'est émis que si un électron saute d'une orbite d'énergie E_i sur une autre orbite permise d'énergie inférieure E_f

L'énergie rayonnée est : $E = E_f - E_i < 0$ ($E < 0$ car énergie cédée). Chaque orbite correspond à un état d'énergie de l'atome.

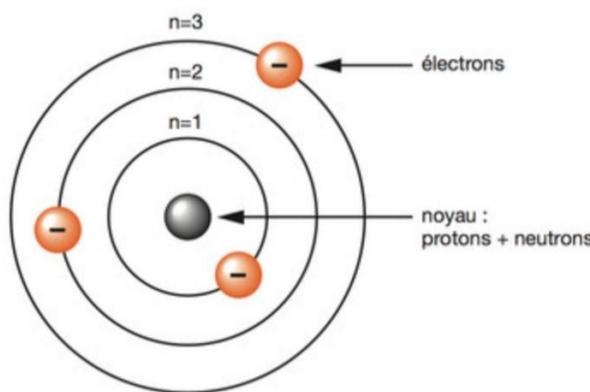


Figure 3 : Image représentative modèle de Bohr [4]

(Auteur : Gilles Chabot (illustrateur), Sophie Maheu (auteur de livre)).

II.2. Niveaux d'énergie :

L'énergie totale de l'électron sur un niveau d'énergie est la somme de son énergie potentielle et de son énergie cinétique E_c . L'énergie potentielle est nulle si l'électron est à l'infini.

$$E_n = E_p + E_c$$

$$\text{Avec : } E_c = \frac{1}{2}mv^2 \text{ et } E_p = -\frac{Ze^2}{r}$$

$$\text{Or } \frac{Ze}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \rightarrow \frac{e^2}{r} = \frac{mv^2}{Z} \text{ donc } E_n = -\frac{m^4}{2\pi^2 h^2} Z^2$$

$$\text{Le moment cinétique } 2pL = nh \text{ avec } \hbar = \frac{h}{2\pi}$$

$$L = nh = mvr$$

On montre que pour l'atome d'hydrogène $Z=1$

$$E_n = \frac{me^4Z^2}{2\pi^2\hbar^2} = \frac{-13.6}{n^2} eV$$

Pour $n > 1$ Les états sont excités et instable : la durée de vie dans un état excité est l'ordre de la nanoseconde ($10^{-9}s$).

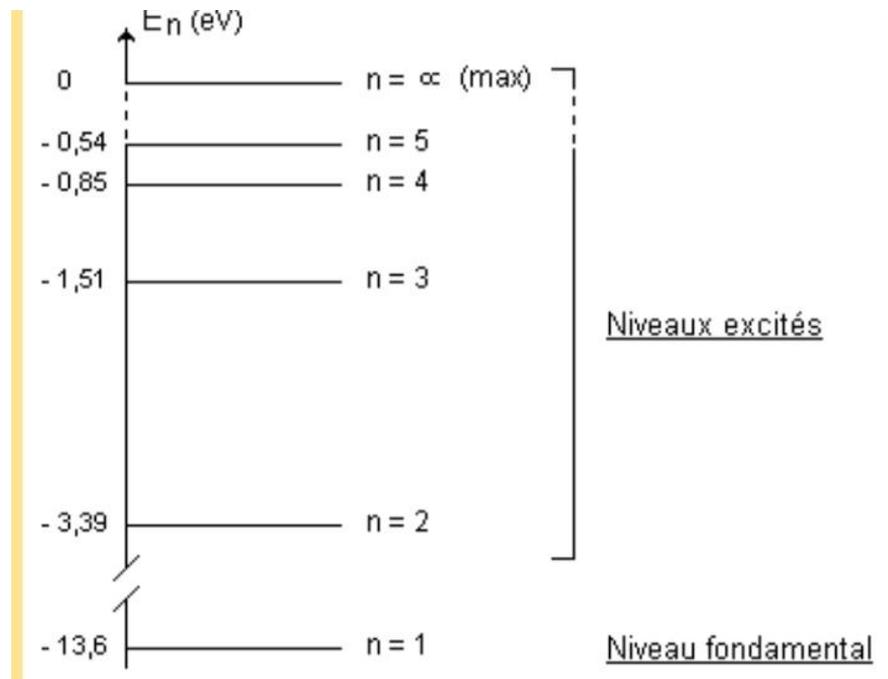


Figure 4 : Schéma représentative les niveaux d'énergie

Pour $n=1$ l'atome est dans l'état fondamental.

Pour $n = \infty$ l'atome est ionisé.

II.3. Nombres quantiques, structure hyperfine :

Définition :

- n = nombre quantique principal : $n = 1 ; 2, 3, \dots$ Correspond au niveau d'énergie
- l = nombre quantique azimutal $0, 1, 2, 3, \dots$
- $m_l = -l, +l, +1, \dots, 0, 1, 2, \dots, l-1, l$. Correspond au moment cinétique (sens de rotation de l'électron autour du noyau, c'est une charge électrique qui tourne donc crée un champ magnétique)
- s = spin et $s = \pm \frac{1}{2}$, le spin correspond à la rotation de l'électron sur lui-même.

II.4. Principe d'exclusion de Pauli :

Si un atome a un numéro atomique Z la charge autour du noyau est de Z_e

Les Z électrons ne peuvent pas avoir le même état quantique.

- Le principe de Pauli dit que deux électrons dans un atome ne peuvent être représentés par le même ensemble de nombre quantiques.
- Une conséquence du principe de Pauli est qu'une orbitale atomique peut seulement contenir deux électrons et un électron est nécessairement de spin $+1/2$ et l'autre est nécessairement de spin $-1/2$

• Parce qu'une orbitale atomique peut seulement avoir deux électrons et les deux électrons sont de spins opposés, les configurations électroniques des cinq premiers éléments sont

- $H(1s^1) \ 2s^{\uparrow}$
- $He(1s^2) \ 1s^{\uparrow\downarrow}$
- $Li(1s^2 2s^1) \ 1s^{\uparrow\downarrow} \ 2s^{\uparrow}$
- $Be(1s^2 2s^2) \ 1s^{\uparrow\downarrow} \ 2s^{\uparrow\downarrow}$
- $B(1s^2 2s^2 2p^1) \ 1s^{\uparrow\downarrow} 2s^{\uparrow\downarrow} 2p^{\uparrow}$

Si un atome a un numéro atomique Z la charge auteur du noyau est Z_e

Les Z électrons ne peuvent pas avoir le même état quantique. Il faut donc que les 4 nombres quantiques ne soient pas identiques pour deux électrons quelconques

II . Configuration électronique d'un atome.

Pour un même niveau d'énergie le nombre quantique n est le même.

Tableau 3 : Un tableau présentant la configuration électronique d'un atome.

niveau	n	l	m	s	états
K	n = 1	l = 0	m = 0	$S = \pm 1/2$	$1s^1$
L	n = 2	l = 0 l = 1	m = 0 m = 0, ± 1	$S = \pm 1/2$ $S = \pm 1/2$	$2s^2$ $2p^6$
M	n = 3	l = 0 l = 1 l = 2	m = 0 m = 0, ± 1 m = 0, $\pm 1, \pm 2$	$S = \pm 1/2$ $S = \pm 1/2$ $S = \pm 1/2$	$3s^2$ $3p^6$ $3d^{10}$
N	n = 4	l = 0 l = 1 l = 2 l = 3	m = 0 m = 0, ± 1 m = 0, $\pm 1, \pm 2, \pm 3$ m = 0, $\pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4$	$S = \pm 1/2$ $S = \pm 1/2$ $S = \pm 1/2$ $S = \pm 1/2$	$4s^2$ $4p^6$ $4d^{10}$ $4f^{14}$

L'énergie de liaison d'un électron varie de quelques électrons-voltes à quelques centaines de KeV pour les atomes les plus lourds et les électrons es plus liés (les plus profonds).

A l'état fondamental les électrons d'un atome sont au niveau le plus bas possible.

Ordre de remplissage des niveaux d'énergie par les électrons :

Le remplissage du sous niveau 3d correspond à la série des Lanthanides et celui des 4 d à la série des Actinides.

Les Lanthanides sont tous dans la case 57 du tableau de MENDELEÏV et les Actinides sont tous dans la case 89 de l'actinium. Il est à noter qu'il y a quelques irrégularités dans le remplissage dans le remplissage au niveau du nickel et cuivre, du Technétium et Ruthénium, ainsi que de l'iridium et platine.

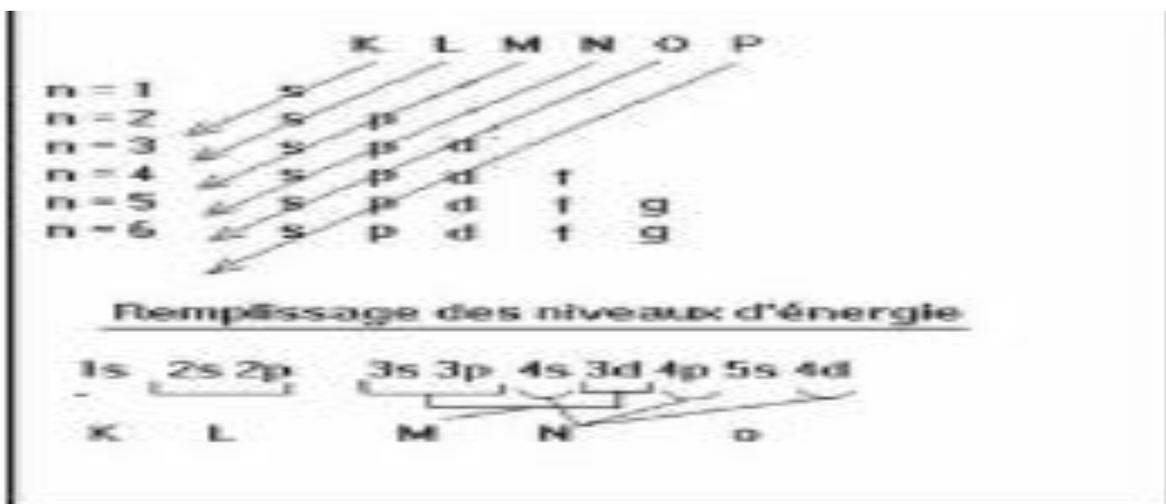


Figure 5 : Schéma représentative remplissage des niveaux d'énergie. [5]

Chapitre 2 : Le noyau atomique et la Radioactivité

I. Le noyau atomique

I.1 Historique.

A partir des années 1911 où le physicien et chimiste Britannique Rutherford à découvert le noyau atomique, le modèle atomique ne cesse plus d'évoluer. L'étude se focalise surtout sur le noyau atomique. Il est un élément constitutif d'un atome. Il occupe la partie centrale de l'atome. Il a de charge électriques et il est chargé positivement. Il représente la majeure partie de la masse d'un atome.

Aux années 1921, il y a une conférence sur la structure du noyau atomique faite par Rutherford. Il a dit que « le noyau atomique est un assemblage de protons et d'électrons en nombre variable ». Il évoqua aussi la possibilité d'un assemblage particulièrement étroit d'un proton et d'un électron qui forme une particule neutre très pénétrante. A partir de cette année, au laboratoire de Cavendish de Cambridge, Rutherford et ses collaborateurs ont fait des recherches sur la nature et les propriétés de cette neutre.

Aux années 1931, le physicien James Chadwick a prouvé l'existence de cette particule neutre. Il a découvert aussi la propriété de cette particule. Il la nomme « neutron ». Il a dit alors que le noyau atomique est constitué des deux particules « protons et neutrons ». L'ensemble de ces deux particules forme « le nucléons ».

Après la découverte du neutron, le modèle du noyau atomique a été développé rapidement par Dimitri et Warner Heisenberg.

Aux années 1970, le physicien Murray Gell-Mann a prouvé l'existence des petites particules autres que le proton et le neutron qui constituent le noyau atomique. Il les appelle « Quarks ». Il a dit alors que le proton et le neutron ne sont pas des particules élémentaires. Le proton et le neutron sont constitués par des Quarks.

Le noyau atomique est donc constitué des nucléons (formés de Z protons et de N neutrons) à l'intérieur desquels, on y trouve de petite particules appelées quarks.

Le nombre de protons définit l'élément chimique. Le nombre de protons et le nombre de neutrons sont voisins pour un élément chimique.

I.2. Définition.

Le noyau atomique, cœur de l'atome

Toute la matière, ou presque, retrouve concentré dans de minuscules noyaux 100000 fois plus petits que l'atome, mais environ 4000 fois plus lourds que le cortège de leurs électrons. Les noyaux sont constitués de protons et de neutrons, deux espèces de particules de particules qui jouent un rôle très similaire dans la matière nucléaire.

L'habitude est regrouper protons et neutrons sous l'appellation commune de «nucléons». Alors que l'électron peut être considéré comme un corpuscule élémentaire, les protons et neutrons qui sont constitué de corpuscules plus petits, les quarks, ne le sont pas.

L'existence des quarks s'est imposée depuis les années 1970. Dans le domaine de la physique nucléaire qui est celui de la radioactivité, l'habitude était de considérer les nucléons comme les constituants élémentaires du noyau. Pour simplifier nous conservons cette conservation, ne faisant allusion à la structure interne des nucléons et aux quarks que lorsque c'est nécessaire.

La représentation classique d'un noyau est celle d'un assemblage compact de protons et de neutrons, caractérise principalement par deux nombres : Z le nombre de protons et N le nombre de neutrons. Le nombre total de nucléons A est la somme des deux : $A=N+Z$. Comme les protons et neutrons ont pratiquement la même masse, A est e proportion de la masse du noyau, alors que le nombre de Z est en proportion de sa charge électrique.

Depuis l'origine, l'habitude est de représenter le noyau sous la forme d'une sorte de framboise composée de deux sortes de grains. La physique nucléaire moderne en donne une image moins gourmande : protons et neutrons ne s'y comportent pas comme des grains bien sages et se transforment sans cesse. Si pour le physicien, le noyau est un être complexe, presque vivant, nous contenterons de l'image d'un noyau rond et bien sage, type framboise, pour la plupart des phénomènes liés à la radioactivité. [1]

I.3. Composition d'un noyau atomique.

Un noyau atomique est constitué par des A particules (nucléons) dont on trouve Z protons et $N=A-Z$ neutrons. La nature de l'élément chimique est déterminée par le nombre de protons Z et le nombre des particules A (nombre de masse ou nombre des nucléons du noyau).

Les protons et les neutrons sont des nucléons liés par une force nucléaire. (Raoul, 1983).

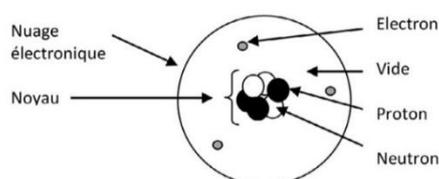


Figure1 : Représentation d'un noyau atomique

➤ Eléments chimiques.

Les éléments chimiques représentent l'ensemble des entités chimiques (atomes ou ions) ayant le même numéro atomique Z. A chaque nombre de protons Z correspond un symbole.

Exemple : Si Z=8, l'élément en question est l'oxygène O ; si Z= 11, on a le sodium Na.

➤ Nucléides :

C'est l'ensemble des éléments chimiques qui ont les mêmes nombres de masse A. Il est représenté par A_ZX ou AX avec :

A : Nombre de masse du noyau atomique

Z : Nombre de charge ou nombre de protons du noyau atomique

X : Symbole de l'élément correspondant.

Exemple : ${}^{12}_6C$; ${}^{14}_7N$

➤ Isotope :

Des noyaux sont dits «isotopes» quand ils ont même nombre de charge, mais de nombre de masse A différent.

Exemples : ${}^{14}_6C$, ${}^{15}_7N$, ${}^{16}_8O$

I.4. Masse et énergie.

I.4.1. Unité de masse atomique : u. m. a. ou u.

Définition ; L'unité de masse atomique est symbolisée par u.et c'est par convention, le douzième de la masse de l'isotope le plus abondant du carbone (${}^{12}_6C$).

On note donc que la masse de N_A atomes de carbone 12 est grammes.

$$1u.=1,66(05402).10^{-27} Kg$$

Pour faciliter les calculs, on donnera les masses des atomes en u. aussi :

$$m_{proton}=1,00730*u.$$

$$m_{neutron}=1,00866u.$$

$$m_{électron}=0.0055*u.$$

As, la masse isotopique relative d'un atome est donnée par le rapport de la masse de l'atome sur 1/12 de celle de l'isotope 12 du carbone, soit :

$$\frac{m({}^A_Z)}{\frac{m({}^{12}_6C)}{12}}$$

On multipliant par $N_A \frac{m({}^A_Z)}{\frac{m({}^{12}_6C)}{12}} \cdot N_A$ soit $\frac{M(X)en\ gramme}{1gramme}$

Ce calcul conduit à un nombre abstrait qui représente la masse atomique relative si l'on prend une mole de l'atome considéré.

Attention, la masse atomique relative d'un élément naturel est la moyenne des masses isotopiques relatives des isotopes qu'il contient naturellement.

On lui attribue la valeur de la masse atomique en $g.mol^{-1}$, (Le carbone naturel, il y a du carbone12, 13 et très peu de 14 aussi, $M = 12.011g.mol$).[2]

Utilisation de u :

L'énergie de liaison des nucléons dans le noyau peut être obtenue à partir de la relation d'Einstein qui est symbolisée par l'expression $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$.

Sachant que la masse d'un noyau est toujours inférieure à la somme des masses des nucléons qui le composent.

Exemple ; l'hélium 4 a une masse de 4,00260 u.

2neutrons= $2 \cdot 1,00866u$.

2protons= $2 \cdot 1.00727u$. [3]

La masse d'un atome peut être exprimée en kilogramme. Mais il faudra manipuler des nombres très petits, car elle est de l'ordre de 10^{-27} c'est pour cette raison qu'on doit utiliser une autre unité de masse qui est «l'unité de masse atomique».

On remarqué que la masse de tous les atomes est un multiple de la masse d'un atome d'hydrogène. Mais pour avoir la valeur d'une unité de masse atomique.

On prend comme référence le «douzième de la masse d'un atome de carbone ^{12}C ».

«L'unité de masse atomique est égale à douzième de la masse d'un atome de l'isotope 12 de l'élément carbone» (Coup et al, 2002).

I.4.2. Défaut de masse atomique : Δm .

Dans un noyau atomique, on trouve que de protons et de neutrons. Donc la masse d'un noyau atomique devrait être la somme de protons et de neutrons qui le constituent.

L'expérience montre que la masse du noyau au repos d'un nucléide donné est inférieure à la somme de masses des nucléons séparés au repos. C'est-à-dire, lors d'une décomposition d'un noyau A_ZX , de masse m_x , en ses conditions, on a remarqué que :

Noyau $^A_ZX \rightarrow Z \text{ protons} + Z \text{ neutrons}$

$$m_x < Zm_p + Nm_p$$

La différence entre la somme des masses des nucléons séparés au repos (sans interaction) par la masse du noyau au repos d'un nucléide représente le défaut de masse atomique. Si on veut utiliser un formalisme

Mathématique, pour un nucléide A_ZX donné, on peut exprimer le défaut de masse atomique, noté Δm , par la relation :

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_x$$

Avec :

- Z : nombre de proton
- A-Z=N : nombre de neutrons
- m_n : masse d'un neutron

- m_p : masse d'un proton
- m_x : masse du noyau au repos
-

I.4.3. Principe d'équivalence.

En 1605, Einstein pense que le défaut de masse était dû à l'interaction entre les nucléons dans le noyau. Pour justifier son hypothèse, il a postulé « le principe d'équivalence entre masse et énergie ». D'après lui, « une particule matérielle, même au repos, du seul fait de sa masse, possède une énergie nommée : énergie de masse ».

Soit E l'énergie de masse d'une particule et m sa masse, on a la relation $E = mc^2$ avec c désigne la vitesse de lumière dans le vide ($c = 299\,792\,458$ m/s). [4]

II . Stabilité d'un noyau.

II .1. Energie de liaison ou énergie de cohésion : E_l

Les nucléons (protons et neutrons) d'un noyau atomique sont confinés dans un très petit volume.

Il existe une répulsion électrostatique intense entre les protons, car ils ont toute la même charge électrique, qui devrait briser le noyau. Mais ce n'est pas le cas. Car les nucléons s'attirent aussi par interaction forte. Cette interaction ne modifier pas la taille du noyau, mais elle assure tout simplement la liaison entre les nucléons qu'ils soient protons soient neutrons. Il est donc difficile de séparer les nucléons d'un noyau, car ils sont très liés grâce à l'existence de cette interaction.

Donc, pour pouvoir séparer les nucléons d'un noyau en ses constituants, il lui faut apporter une certaine énergie. Cette sorte d'énergie est appelée «Energie de liaison ».

«L'énergie de liaison du noyau, notée E_l , est l'énergie qu'il faut fournir à un noyau pris au repos pour le dissocier en ses différents nucléons obtenus isolés, immobiles est sans interactions entre eux. C'est l'énergie qu'il faut séparer les nucléons, pour casser la liaison entre les nucléons ».

A partir d'une réaction de décomposition d'un noyau en ses différents constituants, on peut trouver l'expression de l'énergie de liaison d'un noyau.

En effet soit la réaction de décomposition suivante :



Lors de cette réaction, l'énergie doit être conservée. Le noyau A_ZX a une énergie de masse $m_x c^2$ et aussi une énergie de liaison E_l . Les Z protons et N neutrons séparés ont tout simplement une «énergie de masse» respectivement $Zm_p c^2$ et $(A-Z)m_n c^2$.

En utilisant le principe de la conservation de l'énergie, on a :

$$m_x c^2 + E_l = Zm_p c^2 + (A-Z)m_n c^2$$

$$\text{Alors } E_l = Zm_p c^2 + (A-Z)m_n c^2 - m_x c^2$$

$$D'o\grave{u} E_l = [Zm_p + (A-Z)m_n - m_x] \cdot c^2$$

$$E_l = \Delta mc^2$$

II.2. Energie de liaison par nucl\u00e9on : E_N

Chaque noyau a sa propre \u00e9nergie de liaison. Plus l'\u00e9nergie de liaison est \u00e9lev\u00e9e, plus noyau est lourd, plus l'\u00e9nergie de liaison est \u00e9lev\u00e9e. Mais pour bien caract\u00e9riser la stabilit\u00e9 d'un noyau, les physiciens ont introduit ce qu'on appelle «\u00c9nergie de liaison par nucl\u00e9ons». Comme son nom l'indique, l'\u00e9nergie de liaison par nucl\u00e9on, not\u00e9e par E_n est donn\u00e9e par la relation : $E_N = \frac{E_l}{A}$. Elle est exprim\u00e9e en MeV/nucl\u00e9on. On a remarqu\u00e9 que, pour chaque \u00e9l\u00e9ment chimique, sa valeur est presque sensiblement \u00e9gale \u00e0 8 MeV/ nucl\u00e9on comme r\u00e9f\u00e9rentiel. Quand E_N est strictement sup\u00e9rieur \u00e0 8 MeV/nucl\u00e9on, alors le noyau est stable. Dans le cas contraire, on dit qu'il est instable. Quand un noyau est instable, on dit qu'il est radioactif.

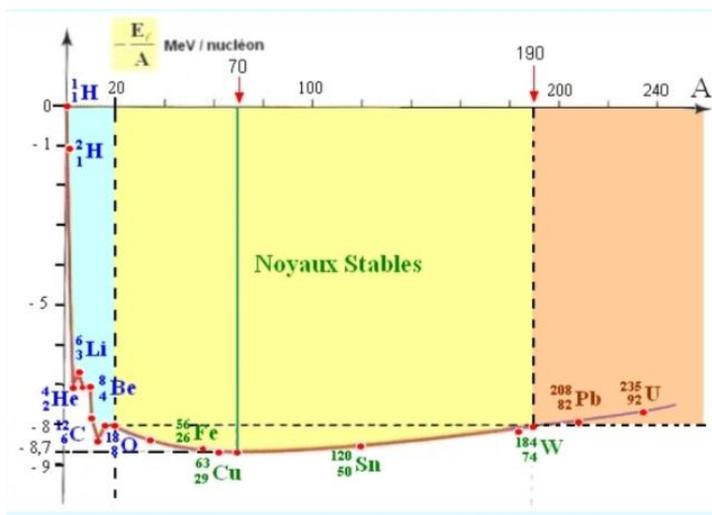


Figure 2 : La courbe d'Aston repr\u00e9sente la quantit\u00e9 $\frac{E_l}{A}$ en fonction de A .

On a choisi cette fonction pour que les noyaux les plus stables se trouvent dans la partie la plus basse de la courbe.

Les noyaux stables sont ceux qui ont une \u00e9nergie de liaison par nucl\u00e9on d'environ 8 MeV/nucl\u00e9on.

Pour $1 < A < 20$ E varie de fa\u00e7on discontinue : $1 \text{ MeV} \rightarrow 8 \text{ MeV} \rightarrow$ Instable

Pour $20 < A < 190$ E varie peu : $E > 8 \text{ MeV} \rightarrow$ Stable

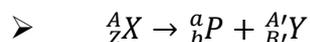
Pour $A > 190$ E varie : $E < 8 \text{ MeV} \rightarrow$ Instable [5].

III. R\u00e9action nucl\u00e9aire spontan\u00e9e :

III.1. Propri\u00e9t\u00e9s d'un noyau radioactif :

Un noyau radiatif est un instable qui se transforme spontanément de façon aléatoire et imprévisible en un autre noyau en émettent des radiations. En d'autres termes, on peut dire qu'il se désintègre donner naissance à un autre noyau en expulsant d'autres particules. Dans ce cas, il y a apparition d'un phénomène de décroissance radioactive.

Ce phénomène peut se présenter par l'équation de désintégration suivante :



Avec :

- ${}^A_Z X$: noyau instable, noyau radioactif ou noyau père.
- ${}^a_b P$: Particule expulsée lors cette réaction de désintégration.
- ${}^{A'}_{B'} Y$: Noyau stable que le précédent ou noyau fils.

La radioactivité est donc la désintégration (ou décomposition) spontanée (ou naturelle) d'un noyau ${}^A_Z X$ instable, accompagnée d'émission de particule ${}^a_b P$, des radiations et d'un noyau fils ${}^{A'}_{B'} X$ plus stable que le noyau père auparavant. Elle est aussi une propriété d'un noyau radioactif.

Quelques particules élémentaires :

- Proton ${}^1_1 p$ ou ${}^1_1 H$
- Neutrons ${}^1_1 n$
- Electron ${}^0_{-1} e$ ou particule β^-
- Positron ${}^0_1 e$ ou particule β^+
- Noyau d'hélium ${}^4_2 He$ ou particule α
- Neutrino ν (particule de masse nulle)
- Antineutrino $\bar{\nu}$ (particule de masse nulle)
- Gamma γ

Loi d'une réaction nucléaire, il y a conservation du :

- Nombre de masse
- Nombre de charge

III.2. Différentes types de radioactivités :

Il existe trois types de radioactivité nucléaire étudiée en classe de terminal S. La radioactivité bêta (β) (radioactivité bêta moins (β^-) et la radioactivité bêta plus (β^+) et la radioactivité gammay.

III.2.1. Radioactivité alpha α :

La radioactivité α est une désintégration nucléaire naturelle spontanée correspond aux noyaux lourds ($A > 200$) dans laquelle un noyau père transforme en un noyau fils avec l'émission d'un noyau d'hélium. Le noyau fils excite en émettant un photon désexcitationy.

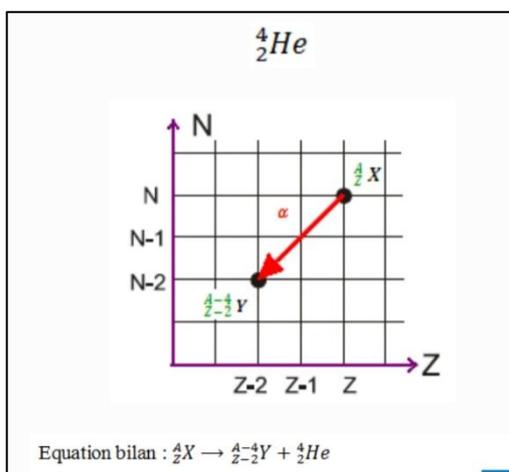
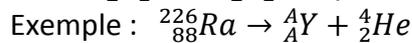
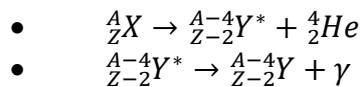


Figure 3 : bilan représentative la désintégration α



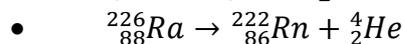
D'après la conservation du nombre de masse :

$$226 = A + 4 \text{ donc } A = 226 - 4 = 222$$

D'après la conservation du nombre de charge :

$$88 = Z + 2 \text{ donc } Z = 88 - 2 = 86.$$

Alors, d'après le tableau de classification périodique des éléments chimiques, on trouve que le noyau fils A_ZY est le noyau ${}^{222}_{86}Rn$.



✓ Propriétés du rayonnement alpha :

Le rayonnement alpha est composé par des particules alpha. Ces particules sont fortement ionisantes, mais peu pénétrantes. Elles sont arrêtées par une feuille de papier et par une épaisseur de quelques centimètres d'air (environ 4cm). Elles sont éjectées à grande vitesse de l'ordre de $2 \cdot 10^7$ m/s et peuvent parcourir 50 μ m dans le tissu humain, mais elles ne sont pas dangereuses pour la peau. Par contre, elles sont dangereuses par absorption interne (inhalation ou ingestion...).

III.2.2. Radioactivité bêta moins β^- :

La radioactivité β^- correspond à l'émission d'électrons.

C'est une désintégration nucléaire naturelle spontanée correspond aux noyaux en excès de neutrons (situés au-dessus de la courbe de stabilité) dans laquelle un noyau père transforme en un noyau fils avec l'émission d'un électron

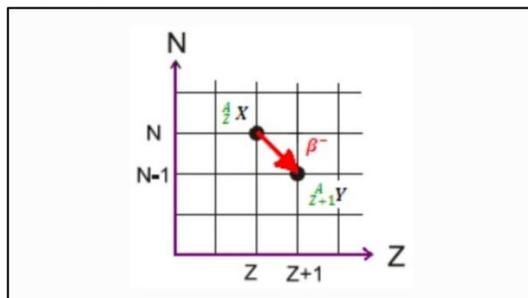
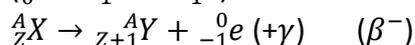
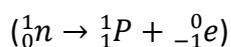
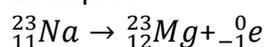


Figure 4 : bilan représentative la désintégration β^-



Exemple :



III.2.3. Radioactivité bêta plus β^+ :

La radioactivité β^+ correspond à l'émission de positrons (${}_{+1}^0e$). C'est une désintégration nucléaire naturelle spontanée correspond aux noyaux en excès de protons, (situés en dessous de la courbe de stabilité) dans laquelle un noyau père se transforme en un noyau fils avec l'émission d'un positron, cela provient de la décomposition proton en neutron et un positron suivant l'équation :

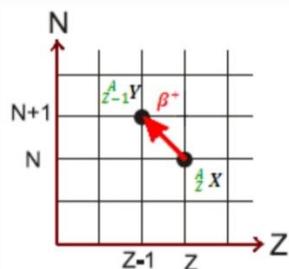
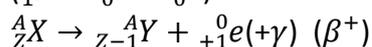
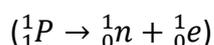
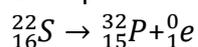


Figure 5 : bilan représentative la désintégration β^+



Exemple :



✓ Propriétés du rayonnement bêta :

Le rayonnement bêta est constitué par des particules β^- ou par des particules β^+ . Ces particules sont plus pénétrantes, mais moins ionisantes que les particules alpha. Elles sont (environ 3 mm). Elles sont émises à grande vitesse de l'ordre de $2,8 \cdot 10^8$ m/s. Elles sont dangereuses pour la peau.

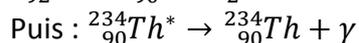
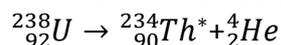
III.2.4 .Le rayonnement Y

Le rayonnement γ est une onde électromagnétique de très grande énergie, émis au cours des désintégrations α ou β^- et β^+ le noyau fils est produit dans un état excité (ayant un excès d'énergie par rapport à son état fondamental).

Ce noyau dans état excité est représenté avec un astérisque (*) en exposant à droite

Exemple :

Émission Y associée à la radioactivité α



Propriétés radioactive :

Il est constitué d'une onde électromagnétique de très courte longueur d'onde, de l'ordre de pm, et de photons qui se déplacent à la vitesse de la lumière et dont la masse est nulle.

Ils ne sont pas directement ionisants, mais ils sont très pénétrants et peuvent traverser jusqu'à 20 cm de plomb. [6]

III .3. Décroissance radioactive.

III.3.1. Description.

Un noyau A_ZX se désintègre en un noyau A_ZY , son nombre de noyaux N diminue au cours du temps, Soient :

➤ N_0 : nombre de noyau initiale $t=0$ de A_ZX .

➤ $N = N(t)$: le nombre de noyau de A_ZX restant (non désintégré) pendant l'instant t .

L'expérience montre que la variation dN du nombre de noyau A_ZX est inversement proportionnelle au nombre de noyaux N et à la variation du temps dt . La constante de la proportionnalité, noté par λ , est appelé constante radioactive. Celle-ci représente aussi la probabilité que présente un noyau radioactif de se désintégrer pendant une unité de temps. Elle s'exprime donc comme l'inverse du temps. C'est-à-dire, pendant l'intervalle de temps de 0 à Δt , le nombre du noyau désintégré est $\lambda \Delta t$, le nombre du noyau désintégré est $\lambda \Delta t$.

Remarquons que la présence du terme «probabilité» nous amène à dire que la désintégration nucléaire se fait de façon aléatoire. Mais on peut faire des études statistiques pour grand nombre des noyaux.

Mathématiquement, on peut écrire :

Pour un noyau, le nombre du noyau désintégré est $\lambda \Delta t$. Donc, il y a $\lambda \Delta t$ noyau formé à partir de N_0 noyaux initiaux. Alors la variation du noyau ΔN , nombre des noyaux restant diminué du nombre du noyau initial, est $\Delta N = N - N_0 = -\lambda \Delta t$.

Et quand, Δt tend vers 0 , on peut écrire :

$$dN = -\lambda N dt$$

Le signe moins indique qu'il y a une diminution du noyau pendant la désintégration nucléaire.

III.3.2. Lois de décroissance radioactive.

Pour avoir le nombre de noyaux restant N au bout d'un instant t quelconque, on doit intégrer la relation $dN = -\lambda N dt$ en faisant varier le nombre des noyaux N de N_0 à N . On doit faire ce calculer, car quand le temps varie de 0 à l'instant t quelconque, le nombre de noyaux varie de N_0 à N . C'est-à-dire : $\frac{dN}{N} = -\lambda dt$

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = \int_0^t -\lambda dt$$

$$[\ln(N)]_{N_0}^N = -\lambda [t]_0^t$$

$$\ln N - \ln(N_0) = -\lambda(t-0)$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

$$e^{\ln\left(\frac{N}{N_0}\right)} = e^{-\lambda t}$$

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

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

Cette relation traduit la loi de décroissance radioactive.

On peut aussi exprimer la loi de décroissance radioactive en fonction de la masse de l'élément chimique à étudier. Soit M sa masse molaire, on trouve N noyaux, N représente le nombre d'Avogadro Ampère. Si on prélève une masse m de cet élément, on doit y avoir N noyaux. Mathématiquement, on peut avoir la relation de proportionnalité suivante :

Masse de l'élément chimique à étudier (g)	M (la masse molaire de cet élément)	m (la masse de cet élément) $\times \frac{N}{M}$
Nombre du noyau de l'élément chimique à étudier	N (Nombre d'Avogadro)	N = ?

On obtient alors : $N = m \times \frac{N}{M}$.

A $t = 0$ s, le nombre du noyau initial est N_0 . A lors $N_0 = m_0 \times \frac{N}{M}$.

En remplaçant N_0 et N par leurs expressions dans la loi de décroissance radioactive, on obtient la nouvelle loi de décroissance radioactive ayant la dimension d'une masse. Cette loi peut s'écrire :

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

$$m \times \frac{N}{M} = m_0 \times \frac{N}{M} e^{-\lambda t}$$

Après simplification par $\frac{N}{M}$, on a $m = m_0 e^{-\lambda t}$

On a donc deux expressions de la loi de décroissance radioactive : loi en fonction du nombre du noyau et loi en fonction de masse du noyau décroît exponentiellement avec le temps. En d'autres termes, quand le temps augmente, le nombre du noyau restant diminue. Par conséquent, sa masse diminue aussi.

III. 3.2. Période radioactive ou demi-vie : T.

On appelle période ou demi-vie, notée par T, d'un élément A_ZX le temps au bout duquel la moitié du noyau initialement présent se désintègre. C'est -à-dire, à l'instant t est égale à T, le nombre du noyau désintégré est

$$\frac{N_0}{2}. \text{ Donc le nombre du noyau restant est } N = N_0 - \frac{N_0}{2} = \frac{N_0}{2}.$$

Chaque élément chimique est caractérisé par sa période T.

En utilisant la loi de décroissance radioactive, on peut obtenir l'expression de la période T. Maintenant, nous allons déterminer cette expression.

A un instant t quelconque, d'après la loi de décroissance radioactive, on a :

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

A $t = T$, le nombre du noyau restant est $N = \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T}$

Après simplification par N_0 , on a : $\frac{1}{2} = e^{-\lambda T}$

En utilisant la propriété de la fonction logarithme Népérienne et de la fonction exponentielle Népérienne ; on obtient : $\ln \frac{1}{2} = \ln e^{-\lambda T}$, avec $\ln \frac{1}{2} = \ln 1 - \ln 2$ et $\ln e^{-\lambda T} = -\lambda T$

Donc $\ln 1 - \ln 2 = -\lambda T$. Or $\ln 1 = 0$, alors, on a $\ln 2 = \lambda T$ D'où $T = \frac{\ln 2}{\lambda}$.

La période T est en unité de temps : en seconde, en minutes, en heures, en jours ou en ans. Et la période T est exprimé en seconde (s), la constante radioactive λ est exprimée en s^{-1} .

➤ Conséquence :

On peut exprimer la loi de décroissance radioactive en fonction de la période T en remplaçant la constante radioactive λ par $\lambda = \frac{\ln 2}{T}$

En effet, partant de la relation $N = N_0 e^{-\lambda t}$ Avec $\lambda = \frac{\ln 2}{T}$

On a : $N = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T} t}$

$$N = N_0 e^{-\frac{t \ln 2}{T}}$$

$N = N_0 e^{\ln 2 \frac{-t}{T}}$, car d'après la propriété d'une fonction logarithme Népérienne

et de la fonction exponentielle Népérienne, $\frac{t}{T} \ln 2 = \ln 2^{-\frac{t}{T}}$ et $e^{\ln 2^{-\frac{t}{T}}} = 2^{-\frac{t}{T}}$

Alors, $N = N_0 \times 2^{-\frac{t}{T}}$

Donc $N = \frac{N_0}{2^{\frac{t}{T}}}$ d'où $N = \frac{N_0}{2^{\frac{t}{T}}}$

Cette relation nous montre qu'aux instants :

- $t = 0s$, le nombre du noyau restant est égale au nombre des noyaux initial ($N = N_0$).
- $t = T$, le nombre du noyau restant est la moitié du noyau initial ($N = \frac{N_0}{2}$).
- $t = kT$ le nombre du noyau restant est $N = \frac{N_0}{2^k}$ car $\frac{t}{T} = k$. Nous avons la même forme d'équation si on remplace le nombre des noyaux N par sa masse m.

Courbe représentative de la loi de décroissance radioactive en fonction du temps t.

Pour tracer la courbe représentative de la loi de décroissance radioactive, on doit chercher quelques valeurs de N pour quelques valeurs de t donné. On doit dresser un tableau de valeur. Pour simplifier le calcul, on prend $t = kT$ avec $k \in \mathbb{N}$. On obtient alors le tableau suivant :

Instant t	0	T	2T	3T	4T	5T
Nombre du noyau restant	N_0	$\frac{N_0}{2}$	$\frac{N_0}{2^2}$	$\frac{N_0}{2^3}$	$\frac{N_0}{2^4}$	$\frac{N_0}{2^5}$

Tableau 1 : représente le nombre du noyau restant en fonction du temps (t).

D'après ce tableau, on obtient la courbe suivante :

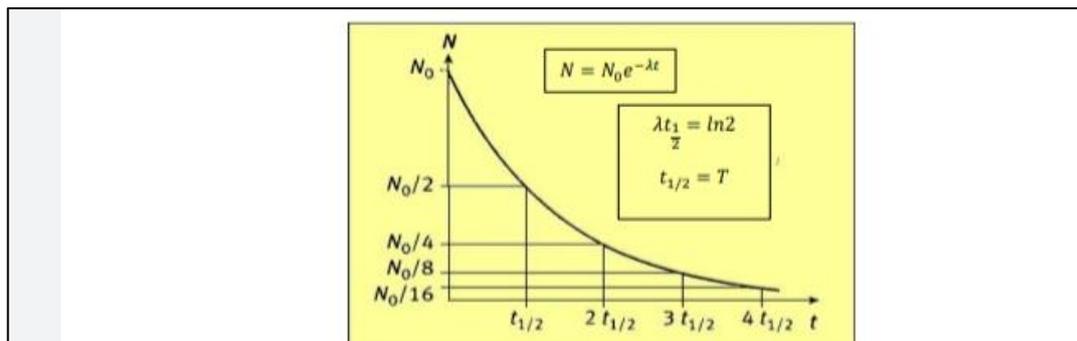


Figure 6 : Courbe représentative du nombre du noyau N en fonction du temps. [7]

III.3.3. Activité nucléaire d'un élément radioactif : A.

Définition :

«L'activité nucléaire d'un élément radioactif A à une date t d'un échantillon contenant N noyaux radioactifs est définie comme le nombre de noyaux qui se désintègrent par seconde».

Dans ce cas, l'activité nucléaire est exprimée en becquerel(Bq). Mais de manière générale, on définit l'activité nucléaire comme le nombre de désintégration par unité du temps, ou la vitesse de désintégration.

Pendant une durée élémentaire dt , il y a dN noyaux qui se désintègrent. C'est-à-dire, le nombre du noyau initial a diminué de dN noyaux. Mathématiquement, cette diminution est précédée par un signe moins. Alors, on peut exprimer l'activité nucléaire A par $A = -\frac{dN}{dt}$.

Avec dt représente un intervalle de temps et dN le nombre du noyau qui se désintègrent.

Remarque :

Quand l'intervalle du temps dt est exprimé en seconde, l'activité nucléaire est exprimée en Becquerel (Bq). Mais on peut aussi exprimer l'activité nucléaire en cuivre (Ci) tel que

$$1\text{Ci}=3.7.10^{10}\text{Bq}=3.7.10^{10}\text{désintégration/seconde}$$

IL ne faut pas confondre l'activité nucléaire radioactive A avec A le nombre de masse A qui est une caractéristique du nombre de masse.

✚ Expression mathématique :

D'après la loi de décroissance radioactive ; on a : $dN = -\lambda dt$

Alors $A = -\frac{dN}{dt} = -(-\lambda N) = \lambda N$ donc $A = \lambda N$ et A l'activité nucléaire d'un élément à l'instant t quelconque et N indique le nombre du noyau restant pendant cet instant. Or on a eu la relation $N = N_0 e^{-\lambda t}$. Quand on multiplie par la constante radioactive λ à gauche et à droite de cette égalité, on obtient : $\lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$. Or $A = \lambda N$ alors, on peut écrire

$A = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$; Posant A_0 l'activité b, initiale du noyau, à l'instant t

$A_0 = \lambda N_0$. D'où ; on a $A = A_0 e^{-\lambda t}$. D'après cette relation ; on peut exprimer aussi l'activité A en fonction de la période radioactive d'un élément chimique.

✚ Expression de l'activité nucléaire A en fonction de la période T.

On sait que $T = \frac{\ln 2}{\lambda}$ donc $\lambda = \frac{\ln 2}{T}$. En remplaçant λ par cette expression dans $A = A_0 e^{-\lambda t}$, on a : $A = A_0 e^{-\frac{\ln 2}{T} t} = A_0 e^{-\frac{\ln 2 t}{T}} = A_0 (e^{-\ln 2})^{\frac{t}{T}} = A_0 (e^{\ln \frac{1}{2}})^{\frac{t}{T}} = A_0 (e^{\ln \frac{1}{2}})^{\frac{t}{T}} = A_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$, Finalement

on obtient $A = \frac{A_0}{2^{\frac{t}{T}}}$.

Dans le cas où l'instant t est égale à Kt où K est un entier naturel ; on a $A = \frac{A_0}{2^K}$.

On peut aussi exprimer l'activité nucléaire A en fonction de la masse m de l'échantillon et la période radioactive T. En partant de la relation $A = \lambda N$ avec $N = m \times \frac{N}{M}$

et $\lambda = \frac{\ln 2}{T}$, on a : $A = \frac{m N \ln 2}{T M}$

Cette relation nous montre que A et T sont inversement proportionnels pour une masse donnée d'élément radioactif, l'activité est d'autant plus grande que la période est plus petite.

La décroissance ou l'élimination du radioélément est alors plus rapide dans ce cas.

III.3.4. Utilisation de la radioactivité.

La radioactivité utilisée dans plusieurs domaines :

- Domaine de médecine «médecine nucléaire» : imagerie médicale.
- Technique de datation : datations des roches, des objets et des êtres vivants.
- Armement : bombe atomique.
- Production d'énergie : production d'électricité dans un réacteur nucléaire.
- Alimentation : Stérilisation et conservation.

IV. Réaction nucléaire provoquée : Radioactivité artificielle.

✚ Définition :

On appelle réaction nucléaire provoquée une réaction artificielle au cours de laquelle plusieurs noyaux réagissent par suite de choc ou bombardement. On distingue deux types de réaction nucléaire provoquée : réaction de fission nucléaire et réaction de fusion nucléaire.

Pour bien comprendre ces deux types de réactions, nous allons étudier une à une ces deux réactions.

IV.1. Réaction de fission nucléaire.

🚦 Définition :

La fission nucléaire artificielle se produit lorsque le noyau atomique d'un élément lourd ($Z > 80$) absorbe un neutron supplémentaire.

La fission nucléaire de l'uranium 235 en est un exemple (image ci-dessous). Lorsqu'un noyau d'uranium 235 absorbe un neutron, il devient alors de l'uranium 236. Ce dernier est tellement instable qu'il se brise en deux noyaux plus légers. Dans le cas de l'uranium 236, les deux noyaux formés sont du baryum 141 et du krypton 92, deux isotopes radioactifs qui font partis des déchets nucléaires de cette transformation.

Dans la nature La nature, il existe deux isotopes de l'uranium 238 ($^{238}_{92}\text{U}$ 99.3%) et l'uranium 235 ($^{235}_{92}\text{U}$ 0.7%). Ce dernier a une propriété particulière. FREDERIC JOLIOT-CUIRE et ses collaborateurs ont remarqué que sous l'impact d'un neutron sur le noyau d'uranium 235 ; ce noyau se brise en deux noyaux légers et deux ou trois neutrons tout en libérant une quantité importante d'énergie Q . Telle que réaction s'appelle réaction de fission nucléaire.

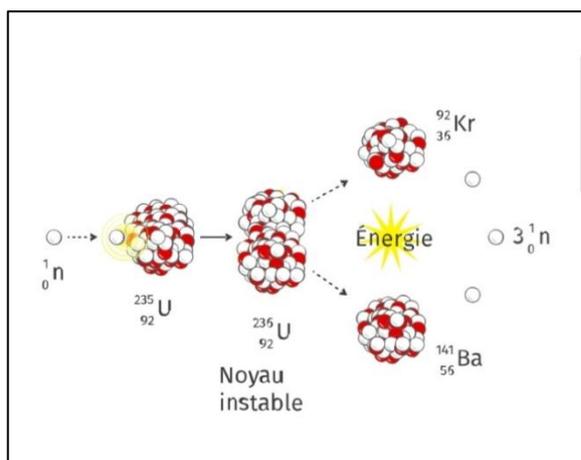
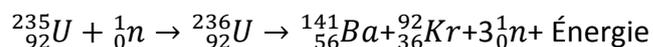


Figure7 : Schéma représentative la fission nucléaire de l'uranium235 [8]



En plus former deux noyaux plus légers, la réaction de fission de l'uranium 235 libère une très grande quantité d'énergie ainsi que trois neutrons se déplaçant à grande vitesse. Ces neutrons peuvent à leur tour déclencher d'autres fissions nucléaires, qui elles- même, libéreront des neutrons supplémentaires. Ainsi, le nombre de neutrons s'accroît à chaque étape du processus, ce qui augmente le nombre de fission possible ; il se produit alors une réaction en chaîne.

La quantité d'énergie libérée lors d'une fission nucléaire est considérable. Par exemple, la fission de l'uranium 235 libère $8,3 \times 10^{13}$ J/kg de charbon en libère 2.7 millions de fois moins.

Si on ne contrôle la réaction en chaîne. Pour ce faire, il faut ralentir le déplacement des neutrons émis lors de la fission nucléaire. En modérant la vitesse de la réaction, il est alors possible d'utiliser le potentiel énergétique de la fission pour produire de l'électricité. [9]

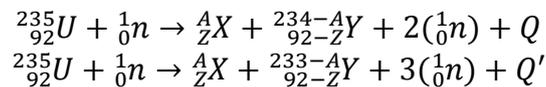
IV. 1.2. Equation bilan de cette réaction.

La réaction de fission est une réaction nucléaire. Donc ; elle obéit aux lois des conservations en nombre de masse, en nombre de charges et en énergie. Alors, l'équation bilan de la fission d'un noyau lourd A_ZX par un neutron en donnant deux légers ${}^{A_1}_{Z_1}X_1$ et ${}^{A_2}_{Z_2}X_2$ et d'autres neutrons s'écrit :

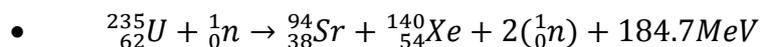
${}^A_ZX + {}^1_0n \rightarrow {}^{A_1}_{Z_1}X_1 + {}^{A_2}_{Z_2}X_2 + k({}^1_0n) + Q$ Avec k est désigner le nombre de neutron expulsés.

Remarque :

- Les noyaux ${}^{A_1}_{Z_1}X_1$ et ${}^{A_2}_{Z_2}X_2$ ainsi formés sont souvent des noyaux radioactifs β^- et émettent des rayonnements γ .
- Les autres neutrons émis peuvent produire d'autres réactions de fission. Dans ce cas, on a une réaction en chaîne.
- L'équation bilan de la fission d'un noyau d'uranium 235 peut s'écrire de deux manières différentes car cette réaction libère deux ou trois neutrons.

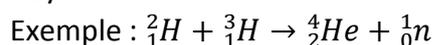


IV. 1. 3. Exemple : fission de l'uranium 235.



IV.2. 2 Réaction de fusion nucléaire.

La fusion nucléaire lorsque deux noyaux légers s'assemblent pour former un noyau lourd.



Cette réaction nécessite une température de plusieurs millions de degrés pour être initiée. Cette condition est réalisée dans les étoiles. Sur terre, des laboratoires de recherche étudient la possibilité de contrôler la fusion nucléaire (projet international ITER et Mégajoule en France).[9]

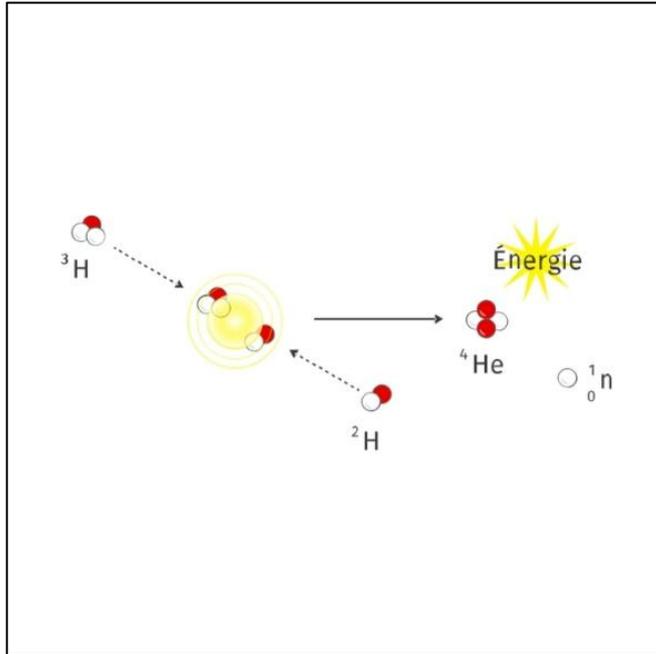


Figure 8 : Schéma représentative la fusion nucléaire

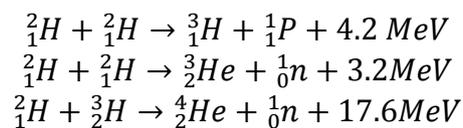
IV. 2.1. Utilisation de la réaction de fusion nucléaire.

L'analyse montre que la somme des masses de produits de la fusion est plus petite que celle des deux noyaux légers initiaux. Cela nous amène à penser qu'une certaine quantité «d'énergie de masse» est libérée lors de cette réaction. Elle libère plus d'un million de fois d'énergie qu'une réaction chimique. Donc, cette réaction est utilisée par les physiciens pour produire des énergies (Tokamak, Laser Mégajoule).

Cette réaction est aussi utilisée dans les armes thermonucléaires (bombe) dont le principe est de combiner deux isotopes de l'hydrogène, le tritium ^3H et le deutérium ^2H pour former un isotope d'hélium.

IV.2.2.Exemple des réactions de fusion nucléaire.

Au centre d'une étoile, la seule réaction qui se produit naturellement est la réaction de fusion entre deux isotopes de l'hydrogène, le deutérium et le tritium selon les équations suivantes : [9]



Chapitre 3 : les interactions et forces nucléaires

I .Introduction .

La force nucléaire est une force qui s'exerce entre nucléons. Elle est responsable de la liaison des protons et des neutrons dans les noyaux atomiques. Cette force peut être comprise en termes d'échange de mésons légers, comme les pions.

Elle est parfois appelée force résiduelle ; pour la distinguer de l'interaction forte que l'on explique maintenant à partir de la chromodynamique quantique. Cette formulation a été introduite dans les années 1970 en raison d'un changement de paradigme. Auparavant, la force nucléaire forte désignait la force entre nucléon. Après l'introduction du modèle des quarks, l'interaction forte a désigné la force définie par la chromodynamique quantique, Les nucléons n'ayant aucune charge de couleur, la force nucléaire n'implique pas directement les gluons, particules responsables de l'interaction forte.

II . Caractéristiques la force nucléaire.

- 1) La force nucléaire est ressentie uniquement par les hadrons.
- 2) Aux distances typiques de séparation des nucléons ($1,3\text{fm}$), c'est une force attractive très intense.
- 3) À de plus faibles distances, la force est fortement répulsive, ce qui maintient une certaine séparation entre nucléons.
- 4) Au-delà d'environ $1,3\text{fm}$, la force diminue exponentiellement vers zéro.
- 5) À courtes distances, la force nucléaire est plus intense que la force coulombienne ; elle peut vaincre la répulsion entre protons produite par la force coulomb entre protons a une plus grande portée et devient la seule force significative entre protons quand ils sont séparés de plus de $2,5\text{fm}$.
- 6) La force NN est pratiquement indépendante de la nature des nucléons, neutrons ou protons. Cette propriété est appelée indépendance de charge.
- 7) La force NN dépend de fait que les spins des nucléons sont parallèles ou anti parallèles.
- 8) La force NN possède une composante non centrale ou tensorielle. Cette partie de la force ne conserve pas le moment orbital angulaire, qui est une constante du mouvement produit par une force centrale. [1]

III. Les trois forces en actions dans le noyau.

Trois types de forces entrent en compétition dans le noyau. La principale est la force ou interaction nucléaire dite interaction forte qui assure la cohésion des noyaux car est attractive. Elle responsable aussi la radioactivité alpha. La second, appelée interaction électromagnétique, est répulsive mais moins intense. La troisième force est appelée interaction faible. Ni attractive, ni répulsive, elle agit à l'intérieur même des nucléons. Elle transforme une espèce de nucléons (proton ou neutron) dans l'autre espèce et vice-versa, provoquant la radioactivité beta. La stabilité ou l'instabilité d'un noyau sont le résultat de la compétition entre ces trois interactions.

Le noyau est pratiquement incompressible. En son sein protons et neutrons sont en contact comme les molécules d'un liquide.

III. 1. Interaction forte et le noyau des atomes :

Cette force agit naturellement aussi sur des particules composées de quarks comme les protons et les neutrons. Pour les spécialistes de la physique nucléaire, l'interaction forte désigne donc la force responsable de la cohésion des noyaux atomiques. Sans interaction forte, le noyau des atomes céderait à la répulsion électrostatique des protons entre eux.

À l'instar de la charge électrique portée par les particules sensibles à la force électromagnétique, les quarks portent des charges de couleurs. C'est pourquoi on qualifie parfois l'interaction forte de «force de couleur».

Pour expliquer la liaison durable entre les nucléons, il faut une interaction qui agisse tout aussi bien sur les neutrons que sur les protons.

Les neutrons étant neutres, l'interaction électromagnétique ne convient pas. La gravité est bien trop faible, nous le verrons plus loin. On doit donc invoquer une interaction spécifique, possédant des propriétés très particulière : dans un noyau d'hélium, il y a deux protons pratiquement collés l'un à l'autre. Les deux protons portant chacun une charge électrique positive, se repoussent très violemment. Ils devraient par conséquent s'éloigner brutalement. Pour que ce ne soit pas le cas, l'interaction qui les colle doit être beaucoup plus forte, d'où son nom d'interaction forte. Elle doit agir indifféremment sur les protons et les neutrons, puisque ces derniers sont fixés dans le noyau. Mais pour que le noyau d'hélium soit stable, il faut ajouter au moins un neutron, qui participe à l'interaction forte et retient les deux protons, sans augmenter leur répulsion puisqu'il est neutre. Sans lui, ils se sépareraient. C'est pourquoi l'hélium 2(2protons, pas de neutrons) n'existe pas.

L'interaction forte a été découverte comme force unissant les nucléons, et assurant la stabilité du noyau atomique. Mais ses propriétés sont quelque peu curieuses. Et lorsqu'on a mis en évidence les quarks ? Il faut une force, et l'interaction forte est la candidate naturelle.

On doit alors considérer que le nucléon est formé de trois quarks, liés les uns aux autres par l'interaction forte, et donc cette dernière n'agit pas sur les nucléons, mais sur leur composants.

La saturation de l'interaction forte permet d'expliquer que le noyau ne s'écoule pas sur lui-même. Ce n'est pas la seule raison. Nous verrons aussi que cette force n'est pas tout le temps attractive. Il existe un cœur dur répulsif. C'est la première force fondamentale que vous allez étudier qui change de signe en fonction de la distance. Cette force est encore très mal connue et nous n'en avons que des descriptions phénoménologiques. Il y a beaucoup de travaux et d'excitations pour essayer de bâtir une interaction entre les nucléons sur la base de l'interaction entre les quarks. De plus. Quand bien même nous connaîtrions l'interaction. Il serait difficile de s'en servir car il faudrait savoir extraire les solutions d'une équation de Schrödinger (si on ne tient pas compte des aspects relativistes) avec N particules en interaction. Pour rappel. En physique atomique on ne sait calculer exactement que l'atome d'hydrogène En physique nucléaire. Le traitement exact a été fait pour quelques nucléons en interaction. On utilise donc des approximations pour contourner le traitement exact du problème à N corps.

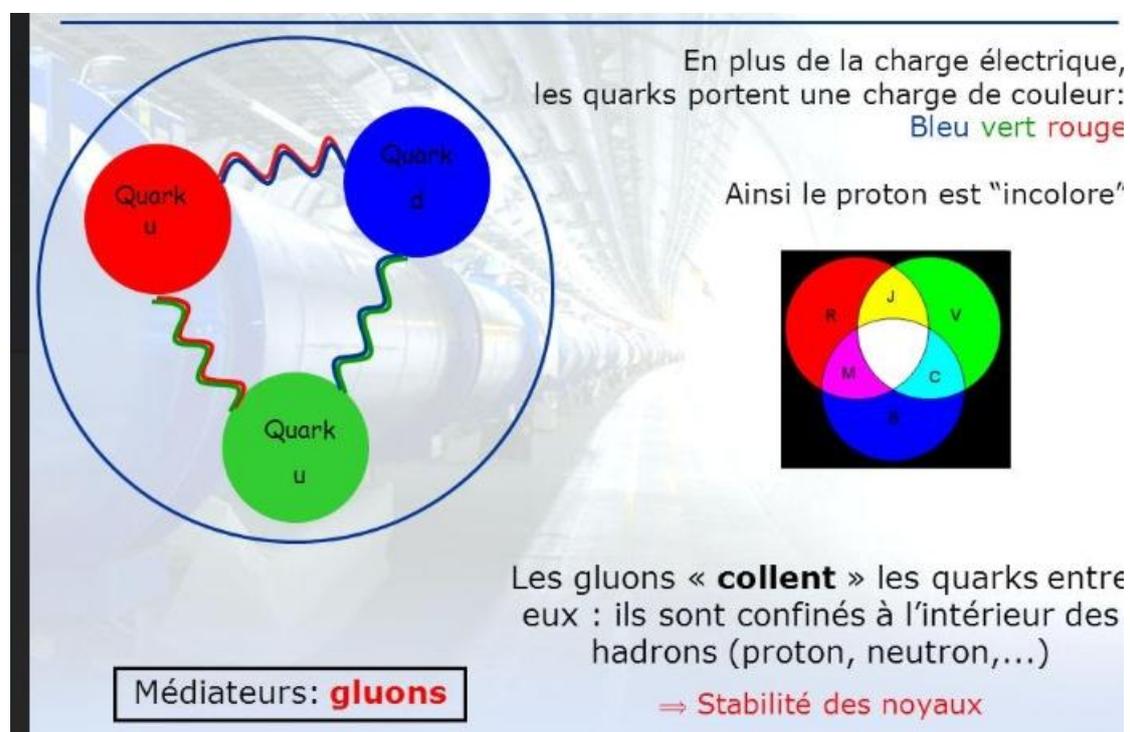


Figure1 : Image Représentative l'interaction forte. [2]

II.2. Interaction électromagnétique.

L'interaction électromagnétique est une force attractive ou répulsive qui agit sur les objets ayant une charge électrique.

Deux objets de charges électriques les mêmes signes se repoussent alors que deux objets de charges électriques de signes opposés s'attirent. Comme les atomes sont électriquement neutres, il y a peu d'effet de cette interaction à grande échelle.

L'interaction électromagnétique permet aussi la cohésion des atomes en liant les électrons (charges électrique négative) et le noyau des atomes (charge électrique

positive). Cette même liaison permet de combiner les atomes en molécules et l'interaction électromagnétique est donc responsable des réactions chimiques.

Des forces de répulsion électromagnétique s'exercent dans le noyau entre charge électriques de même signe. Ces charges sont portées par les protons. Les protons étant pratiquement au contact, il faut que les forces nucléaires attractives soient très intenses pour vaincre la répulsion de ces charges confinées dans une minuscule

sphère dont le rayon est de quelques milliardièmes de mètre.

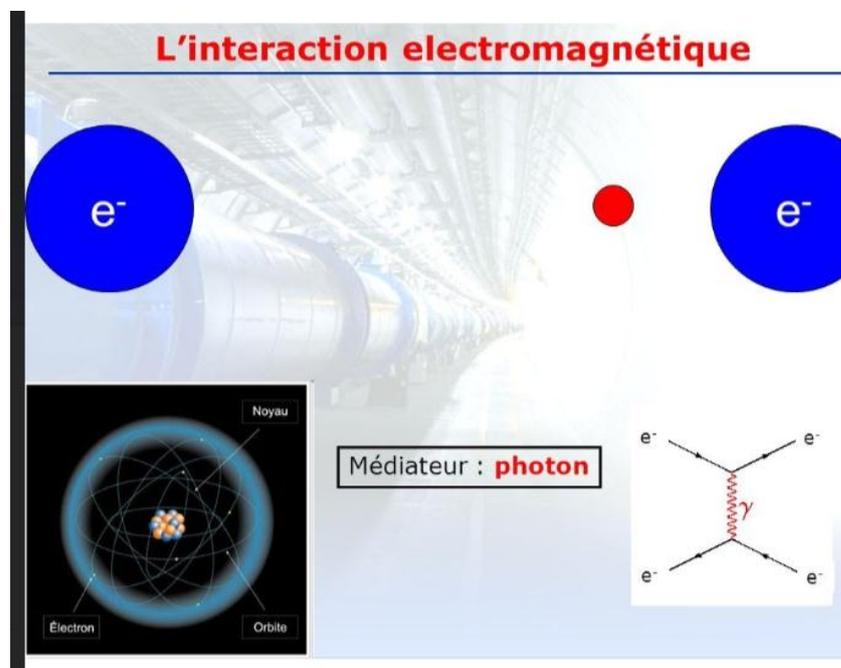


Figure 2 : Image représente l'interaction électromagnétique.

III.3. Interaction faible :

La troisième force présente dans le noyau est une force discrète, comme son nom de force faible l'indique, mais qui joue un rôle fondamental dans l'univers. Sans la «force faible», le soleil s'arrêterait de briller parce qu'il ne pourrait pas fusionner l'hydrogène en deutérium. En rendant possible, si le bilan énergétique le permet, la transformation d'un proton en neutron ou inversement, la force faible permet la radioactivité bêta.

Le rayonnement bêta est un rayonnement émis par certains noyaux radioactifs qui se désintègrent par l'interaction faible. Le rayonnement β^+ (β^-) est constitué de positons (électrons) et se manifeste lorsqu'un proton (neutron) se transforme en neutron (proton). Un neutrino (antineutrino) électronique est également émis. Ce rayonnement est peu pénétrant : un écran de quelques mètres d'air ou une simple feuille d'aluminium suffisent pour l'arrêter.

Les particules élémentaires associées à l'interaction faible sont le boson neutre (Z^0) et les deux bosons chargés (Les W^+ et W^-). Ils ont tous une masse non nulle (plus de 80 fois plus massifs qu'un proton), ce qui fait que l'interaction faible agit à courte portée (portée subatomique de l'ordre de 10^{-17} m).

L'interaction faible n'est pourtant pas tellement différente des autres sur son principe de fonctionnement. C'est simplement que, plus spécialement pour elle, il convient de bien parler d'interaction et non pas de force.

L'interaction faible n'échappe pas à cette règle : les particules vectrices de la force sont les bosons Z et W et son action se fait sur les fermions, qui regroupent les quarks (constituants des protons et des neutrons) et les leptons (incluant l'électron).

L'interaction faible peut modifier la nature de certaines particules : elle peut donc transformer une particule en une autre.[3]

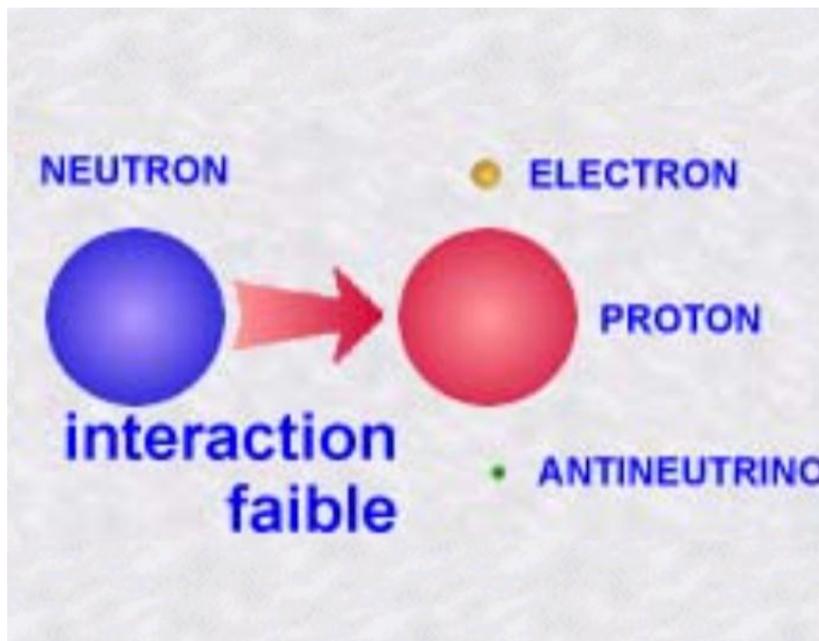


Figure3 : Schéma représentative l'interaction électromagnétique. [4]

IV. Energie de liaison d'un noyau atomique et l'équation de Schrödinger :

- Nous acceptons que le noyau a une forme sphérique, alors

Le puits infinis quantique est donné par :

$$U_0 = \begin{cases} 0 & 0 \leq r \leq 2\sigma \\ +\infty & r < 0 \text{ ou } r > 2\sigma \end{cases}$$

Avec : σ = le rayon du noyau

L'équation de Schrödinger indépendante du temps Alors :

$$H \Psi = E \Psi$$

On a :

$$H = \frac{p^2}{2m} + U_0$$

- Lorsque $0 \leq r \leq 2\sigma$ L'énergie de potentiel est nul

Donc :

$$H = \frac{p^2}{2m} + 0 \rightarrow H = \frac{p^2}{2m}$$

On a :

$$P = -i \hbar \frac{\partial}{\partial r} \rightarrow P = -\hbar^2 \frac{\partial^2}{\partial r^2}$$

Donc :

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial r^2} \Psi = E\Psi$$

$$\rightarrow \frac{\partial^2 \Psi}{\partial r^2} = -\frac{2mE}{\hbar^2} \Psi$$

$$\rightarrow \Psi'' + k^2 \Psi = 0 \dots (1)$$

Avec :

$$k^2 = \frac{2mE}{\hbar^2}$$

La solution de l'équation ... (1) est donné par

$$\Psi = A e^{ikr} + B e^{-ikr}$$

On utilise les conditions aux limites :

$$\left\{ \lim_{r \rightarrow 0} \Psi = 0 \right.$$

$$\left\{ \lim_{r \rightarrow 2\sigma} \Psi = 0 \right.$$

Alors :

$$A+B = 0 \rightarrow A = -B$$

On trouve :

$$\Psi(r) = 2A \sin kr \dots (2)$$

Détermination de la constante A :

On utilise les conditions de normalisation :

$$\int_0^{2\sigma} \Psi^* \Psi dr = 1$$

$$\rightarrow \int_0^{2\sigma} 4 |A|^2 \sin^2 kr dr = 1$$

$$\rightarrow \int_0^{2\sigma} 4 |A|^2 \frac{1}{2} (1 - \cos 2kr) dr = 1$$

$$\rightarrow 2 |A|^2 \int_0^{2\sigma} (1 - \cos 2kr) dr = 1$$

$$\rightarrow 2 |A|^2 \left[2\sigma - \frac{\sin(4k\sigma)}{2k} \right]_0^{2\sigma} = 1$$

$$\rightarrow 2 |A|^2 2\sigma = 1 \rightarrow A^2 = \frac{1}{4\sigma} \rightarrow A = \frac{1}{\sqrt{2\sigma}}$$

Détermination de la constante k de l'équation ... (2)

$$2A \sin 2k\sigma = 0$$

$$\rightarrow \sin 2k\sigma = 0 \rightarrow 2k\sigma = \pi l \text{ avec } l = 0, 1, 2, \dots$$

Donc :

$$k = \frac{\pi l}{2\sigma}$$

$$\text{On a : } k^2 = \frac{2mE}{\hbar^2} \dots (3) \text{ et } k^2 = \frac{\pi^2 l^2}{4\sigma^2} \dots (4)$$

Détermination de l'énergie E :

On peut ... (3) = ... (4)

Donc :

$$K^2 = \frac{2mE}{\hbar^2} = \frac{\pi^2 L^2}{4\sigma^2} \rightarrow E = \frac{\pi^2 \hbar^2}{8m\sigma^2} L^2$$

$$\text{Donc : } \Delta E_0 = \frac{\pi^2 \hbar^2}{8m\sigma^2} (2L+1) \text{ avec } L = 0, 1, 2, \dots$$

U temps :

On peut poser :

$$\varphi = \Psi \text{ Et } \Delta t = \tau$$

- $i\hbar \frac{\partial \varphi}{\partial t} = E \varphi$
 $\rightarrow \frac{\partial \varphi}{\varphi} = \frac{E}{i\hbar} \partial t$

$$\rightarrow \ln \varphi \Big|_{\varphi_0}^{\varphi} = \frac{E}{i\hbar} \Delta t$$

$$\rightarrow \varphi = \varphi_0 e^{\frac{E\tau}{i\hbar}}$$

Pour un gluon entre les pôles du noyau atomique :

$$\varphi = \varphi_0 e^{\frac{-iE\tau j}{\hbar}}$$

$$\rightarrow \varphi = \varphi_0 \left(e^{\frac{-iE\tau}{\hbar}} + e^{\frac{-2iE\tau}{\hbar}} + \dots + e^{\frac{-niE\tau}{\hbar}} \right)$$

$$\rightarrow \varphi = e^{\frac{-iE\tau}{\hbar}} \left[\frac{1 - e^{\frac{-iE\tau n}{\hbar}}}{1 - e^{\frac{-iE\tau}{\hbar}}} \right] \quad \text{Avec } n : \text{ nombre du nucléon.}$$

L'énergie de liaison du noyau :

$$\rightarrow \langle \Delta E \rangle = \int_0^{+\infty} |\Psi|^2 |\varphi|^2 dE = \int_{\Delta E} |\Psi|^2 |\varphi|^2 dE$$

$$\rightarrow \Delta E = E(L+1) - E(L) = \frac{\pi^2 \hbar^2}{8m\sigma^2} (2L+1)$$

$$\Delta E = \langle \Psi \varphi | \sigma E_1 | \Psi \varphi \rangle + \langle \Psi \varphi | \sigma E_2 | \Psi \varphi \rangle + \dots$$

$$\rightarrow \int_0^{+\infty} |\Psi|^2 |\varphi|^2 dE$$

$$= \int_{\Delta E} \frac{1}{\sigma} \sin^2(k\sigma) \frac{1 - \cos \frac{nET}{\hbar}}{1 - \cos \frac{ET}{\hbar}} dE$$

Nous acceptons :

$$\frac{ET}{\hbar} \ll 1 \rightarrow \cos(nET/\hbar) = 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{nET}{\hbar}\right)^2$$

$$\leftrightarrow \langle \Delta E \rangle = \frac{1}{4\sigma} \int n^2 (k\sigma)^2 dE = \frac{2\sigma n^2 m}{\hbar^2} \int_{\Delta E_0} E dE$$

$$= \frac{2\sigma m n^2}{\hbar^2} \frac{E^2}{2} / \Delta E_0 = \frac{\sigma m n^2}{\hbar^2} \frac{\pi^4 \hbar^4}{64 m^2 \sigma^4} (2l+1)^2$$

Finalemment :

$$\Delta E = \frac{\pi^4 n^2 \hbar^2}{64 m \sigma^3} (2l+1)^2.$$

Conclusion générale :

La matière qui nous entoure est constituée d'une infinité d'atomes. Nous allons nous intéresser à leur structure complexe. En effet, les atomes sont composés d'éléments infiniment petits, ce qui est remarquable si on considère leur taille.

Dans ce travail, nous avons étudié les propriétés structurales de l'atome et leurs constituants, aussi nous avons parlé de la radioactivité (naturelle et provoquée). Nous avons également utilisé dans nos calculs l'approximation pour calculer l'énergie de liaison pour montrer que la physique théorique accepte la physique nucléaire comme une branche.

Dans la première partie consacrée aux propriétés structurales de l'atome, chaque atome est constitué d'un nuage électronique et au centre constitué des protons de charge positive et des neutrons (sans charge). La dimension d'un noyau est plus faible par rapport à la dimension de l'atome. Pour cette raison ; on peut considérer ensemble des particules élémentaires comme (gluons, quarks.....). La distribution des charges électriques dans le noyau est symétrique. On peut considérer le noyau comme un point ponctuel (1 fm).

Dans la deuxième partie nous avons parlé sur les composantes d'un noyau atomique et leur stabilité (l'énergie de liaison) et, nous avons étudié la radioactivité et les différents types (alpha, bêta, gamma), l'objectif de ce travail pour comprendre la radioactivité naturelle comme γ et β et α et leurs propriétés, par exemple l'émission alpha est fortement ionisante mais peu pénétrante et peut parcourir 50 μ m, l'émission bêta est plus pénétrante et émise à grande vitesse de l'ordre de $2,8 \cdot 10^8$ m/s. par contre l'émission gamma est très pénétrante et peut traverser jusqu'à 20 cm. La radioactivité provoquée (la fission de réaction nucléaire, la fusion de réaction nucléaire).

La radioactivité utilisée dans plusieurs domaines :

- Domaine de médecine « médecine nucléaire ».
- Technique de datation : datations des roches, des objets et des êtres vivants.
- Armement : bombe atomique.
- Production d'énergie : production d'électricité dans un réacteur nucléaire.
- Alimentation : stérilisation et conservation.

La réaction nucléaire provoquée utilisée dans les armes thermonucléaires (bombe) par exemple.

Dans la troisième partie : nous avons parlé des forces et des interactions nucléaires pour comprendre les interactions fondamentales (interaction forte ; interaction faible, interaction électromagnétique) ; et aussi nous avons trouvé que l'énergie de liaison d'un noyau atomique dépend du rayon à la puissance 3, aussi en fonction de la liaison de chaque nombre de nucléons.

Bibliographie

Chapitre 1 : La structure atomique.

[1] : <https://www.techno-science.net>

[2] : <https://www4.ac-nancy-metz.fr>

[3] : <https://www.maxicours.com>

[4] : <https://monde.ccdmd.qc.ca>

[5] : <https://www4.ac-nancy-metz.fr>

Chapitre 2 : Le noyau atomique et la radioactivité.

[1] : <https://www.lardioactivite.com>

[2] : <https://www.biblio.unv-antananarivo.mg>

[3] : <https://public.iutenligne.net>

[4] : <https://www.coursuniversel.com>

[5] : <https://pipouz.free.fr/Images/courbe.jpg>

[6] : <https://biblio.unv-antananarivo.mg>

[7] : <https://www.lolivrescolaire.fr>

[8] : <https://www.alloprof.qc.ca>

[9] : <https://biblio.unv-antananarivo.mg>

Chapitre 3 : les interactions et forces nucléaires .

[1] : <https://www.techno-science.net>

[2] : <https://www.google.com>

[3] : <https://www.lardioactivite.com>

[4] : <https://quark.chez-alice.fr>

Résumé :

Ce travail est une explication comment les charges distribuer dans un noyau atomique, et pour affirmer que chaque atome constituer d'un nuage électronique et aux centre un noyau contient des nucléons, c'est-à-dire des protons et des neutrons. Il a donc une charge électrique positive puisque les protons de charge positive et les neutrons neutre (sans charge).

Et aussi pour trouver l'énergie de liaison d'un noyau par la méthode d'approximation dépend de rayon à la puissance (3), aussi en fonction de la liaison des pôles.

Abstract :

THIS WORK ALLOWS YOU TO EXPLAIN HOW THE SHIPMENT IS DISTRIBUTED ON THE ATOMIC NUCLEUS.

IT IS DIFFICULT TO CONTEND THAT PARTICIPATING IN AN ELECTRON IS A PRECONDITION FOR A LIFE IN SAFTEY.AND AT ITS CENTER A NUCLUENS CONTAINING NUCLEI ARE PROTONS AND NEUTRONS.SO IT'S POSITIVE BECAUSE THE NITRONS ARE POSITIVE AND THE PROTON ARE NEUTRALWITH NO ELECTRIC CHARGE°.

ALSO FOR EVEN GRATER THE BINDING ENERGIE BY THE METHOD D'APPROXIMATED RELATED RAYON TO THE POWER (3).ALSO EN FONCTION ABOUT CONNECTION PÔLES.