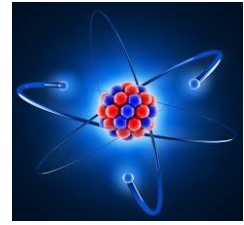


# Chapitre III



## PRINCIPAUX CONSTITUANTS DE LA MATIERE

### 1)-Introduction :

*Expérience de Farady : relation entre la matière et l'électricité*

**2)-**Mise en évidence des constituants de la matière et donc de l'atome et quelques propriétés physiques (masse et charge)

### **2.1- Electron :**

**a-** Expérience de Crookes et caractéristiques des rayonnements cathodiques

**b-** Expérience de J.J.Thomson : Détermination du rapport  $|e|/m$

**c-** Expérience de Millikan :

*Détermination de la charge  $|e|$  de l'électron et déduction de sa masse*

### **2.2- Proton :**

*Expérience de Goldstein : mise en évidence de la charge positive du noyau*

### **2.3- Neutron :**

*Expérience de Chadwick : mise en évidence du neutron existant dans le noyau*

**3)** Modèle planétaire de Rutherford

**4)** Présentation et caractéristiques de l'atome (Symbole, numéro atomique Z, numéro de masse A, nombre de Proton, neutrons et électron)

**5)** Isotopie et abondance relative des différents isotopes

**6)** Séparation des isotopes et détermination de la masse atomique et de la masse moyenne d'un atome : Spectrométrie de masse : spectrographe de Bainbridge

**7)** Energie de liaison et de cohésion des noyaux

**8)** Stabilité des noyaux :

**a-** Détermination de l'énergie de cohésion par nucléon : courbe d'Aston

**b-** Stabilité et nombre de nucléons : courbe nombre de neutrons =  $f(Z : \text{nombre de protons})$

## PRINCIPAUX CONSTITUANTS DE LA MATIERE

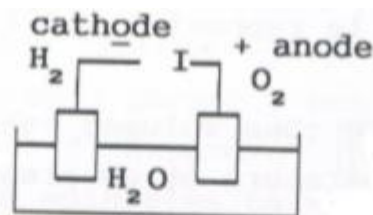
### II-1 Introduction :

L'étude expérimentale des réactions chimiques fut la première méthode d'investigation des propriétés des éléments. Des expériences simples telles que la mesure des poids des éléments qui se combinent les uns aux autres, mais dont la précision était soigneusement discutée, ont conduit à cette notion physique fondamentale qu'est l'atome. Bien que le mot ait été inventé par les Grecs, ce n'est que vers le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle que le concept d'atome a réellement porté ses fruits. Depuis le début de ce siècle, le développement de la technologie a permis l'étude des particules élémentaires constitutives des atomes et des molécules. Ces entités ont pu être isolées et l'action de forces extérieures a permis de mettre en évidence leurs propriétés et leur structure. C'est la découverte des rayons X par Rontgen en 1895 puis la radioactivité par Henri Becquerel en 1896 et Pierre Marie Curie à partir de 1896 qui a permis de comprendre la structure des atomes

### II-2 Expérience de Faraday : relation entre la matière et l'électricité

#### II-2-1 La découverte de l'électron

Faraday, établit en 1833 les lois de l'électrolyse, qui voulaient que dans une solution d'eau avec une solution de sel, chaque atome ou chaque fragment moléculaire ait une charge électrique fixe.



**Figure II-1:** Expérience de Faraday – Electrolyse de l'eau

La formulation des lois de l'électrolyse a constitué un atout majeur pour la théorie atomique, tout au long du XIX<sup>e</sup> siècle, jusqu'à la mise en évidence de l'électron à la fin du siècle.

La découverte de l'électron. En étudiant la décomposition de solutions par le courant électrique, Faraday avait établi que, pour une même quantité d'électricité, le poids de matière déposée par les ions varie dans des rapports semblables à ceux qui interviennent dans les réactions chimiques

Exemple: l'électrolyse d'eau :  $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + 1/2 \text{O}_2$

à l'anode + :  $\text{O}^{2-} \rightarrow 1/2 \text{O}_2 + 2 \text{e}^-$

à la cathode - :  $2\text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$

Quand  $2N$  électrons traversent le circuit,  $N$  molécules d'hydrogène se dégagent.  $N \text{e}^-$  constituent 1 mole d'électrons et la quantité équivalente d'électricité est de 96500 coulomb

## II-3 Mise en évidence des constituants de la matière et donc de l'atome et quelques propriétés physiques (masse et charge)

### II-3-1 Electron:

#### II-3-1-1 Expérience de Crookes et caractéristiques des rayonnements cathodiques

Tube de Crookes (ou tube à décharge, tube à gaz ou tube à cathode froide), contient un gaz résiduel (air, hélium ou néon) à très faible pression. Ce tube est simplement une ampoule de verre comportant deux électrodes à ses extrémités : une cathode métallique, en aluminium, et une anode, qui sert de cible aux électrons. Une bobine d'induction est utilisée pour fournir une haute tension de 15000 volt. L'écran de vient fluorescent.

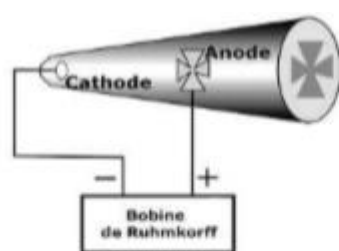


Figure II-3 : Tube de l'expérience de Crookes

On met en évidence le fait que la fluorescence est due à un rayonnement cathodique constitué de particules chargées négativement ; il s'agit d'électrons.

-Un objet placé sur le trajet, forme d'une ombre sur l'écran ; le rayonnement, issu de la cathode se propage en ligne droite, ces rayonnements cathodiques ont une trajectoire rectiligne.

Le faisceau d'électrons est dévié vers la plaque positive : trajectoire (1), sous l'action de la force :  $F_1 = e.E = m_e \gamma$  :  $e$  : charge de l'électron,  $m_e$  : sa masse,  $\gamma$  : accélération qui lui est communiquée par la force  $F_1$

**b-2) Action du champ magnétique**

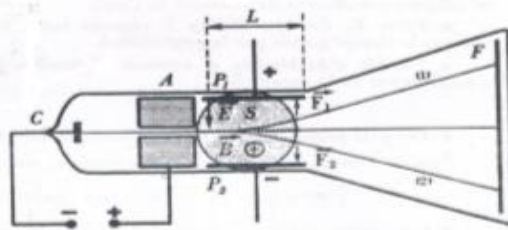
Le faisceau d'électrons est dévié vers le bas du trajectoire (2), sous l'action de la force :

$$F_2 = B.e.v \quad v : \text{vitesse des électrons}$$

- Un moulin très fin, placé sur la trajectoire du rayonnement, se met en mouvement : le rayonnement est constitué de particules ayant une énergie cinétique et par conséquent une masse.
- Rayonnement est dévié par un champ magnétique ; les particules sont chargées électriquement ; le signe de leur charge est négatif. Ce sont les électrons arrachés à la cathode

**II-3-1-2 Expérience de J.J.Thomson : Détermination du rapport  $\frac{|e|}{m_e}$**

Thomson soumet un faisceau de rayons cathodique à l'action d'un champ électrique entre les plaques du condensateur selon l'expérience suivante :



**Figure III-4 : Expérience de J.J.Thomson**

**a) Constitutions de l'expérience**

C : cathode, A : anode, F : écran fluorescent, P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub> : plaques d'un condensateur, entre lesquelles règne un champ électrique  $\vec{E}$ .

S : section des pièces polaires d'un électro-aimant entre lesquelles règne un champ d'induction magnétique  $\vec{B}$ .

L : domaine d'action commun aux champs  $\vec{E}$  et  $\vec{B}$ .

**b) Expérience**

**b-1) Action du champ électrique**

Le faisceau d'électrons est dévié vers la plaque positive : trajectoire (1), sous l'action de la force :  $F_1 = e.E = m_e \gamma$  :  $e$  : charge de l'électron,  $m_e$  : sa masse,  $\gamma$  : accélération qui lui est communiquée par la force  $F_1$

**b-2) Action du champ magnétique**

Le faisceau d'électrons est dévié vers le bas du trajectoire (2), sous l'action de la force :

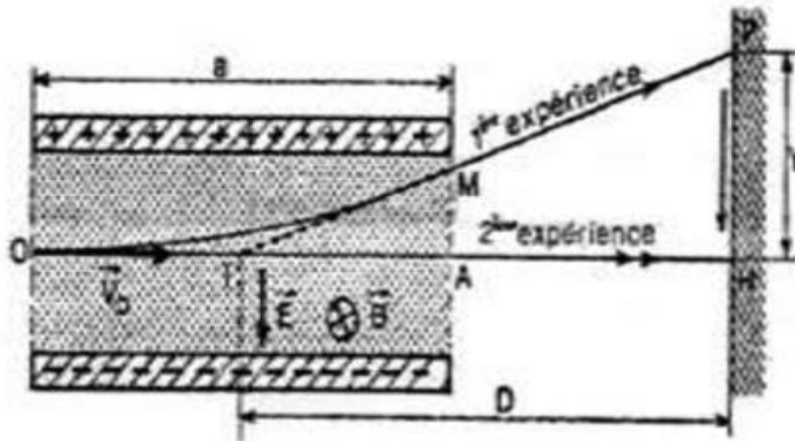
$$F_2 = B.e.v \quad v : \text{vitesse des électrons}$$

### Action simultanée des champs électrique et magnétique

En combinant leurs intensités, le faisceau d'électrons peut ne pas être dévié de sa trajectoire initiale. Ceci aura lieu lorsque:  $e.E = B.e.v \Rightarrow v = \frac{E}{B}$

#### c) Calcul de la valeur de $\frac{|e|}{m_e}$

Dans l'expérience de J.J.Thomson, on réalise la déviation d'un faisceau d'électrons à l'aide d'un champ électrique E et on mesure la déviation Y sur l'écran. La déviation



du faisceau électronique est annulée par l'action d'un champ magnétique B qui agit dans le même espace que E

Le déplacement de l'électron est la supposition de deux mouvements :

- Suivant ox : mouvement rectiligne uniforme  $\gamma_x = 0, v_x = v_0$

$$\gamma_x = \frac{d^2x}{dt^2} = 0 \Rightarrow \frac{dx}{dt} = v_0 \Rightarrow x = v_0 t \Rightarrow t = \frac{x}{v_0}$$

- Suivant oy : mouvement uniforme accélérée  $\Rightarrow \gamma_y \neq 0$ , l'électron est soumis à une force électrostatique :  $F_1 = e.E = m_e \gamma \Rightarrow \gamma_y = \frac{e}{m_e} E$  ;  $\gamma_y = \frac{d^2y}{dt^2} \Rightarrow \frac{dy}{dt} = \frac{e}{m_e} E . t \Rightarrow$

$$y = \frac{1}{2} \frac{e}{m_e} E . t^2 \Rightarrow y = \frac{1}{2} \frac{e}{m_e} E . \frac{x^2}{v^2} \text{ à la sortie du condensateur : } x = a ; y = Y$$

$$\Rightarrow Y = \frac{1}{2} \frac{e}{m_e} E . \frac{a^2}{v^2} \Rightarrow Y = Y = \frac{1}{2} \frac{e}{m_e} \frac{a^2}{E} B^2 \Rightarrow \frac{e}{m_e} = \frac{2Y.E}{a^2 B^2}$$

Connaissant la vitesse des électrons et les données géométriques de l'appareil,

J.J.Thomson a pu déterminer la valeur de  $\frac{e}{m_e}$ , la valeur actuellement admise est :

$$\frac{e}{m_e} = 1,7589.10^{11} \text{ coulomb/ Kg quelque soit les intensités des champs E et B}$$

### II-3-1-3 Expérience de Millikan : Détermination de la charge $|e|$ de l'électron et déduction de sa masse

L'expérience de Millikan contient un pulvérisateur P produit des gouttelettes d'huile dans l'enceinte supérieur. Le microscope M permet de suivre l'évolution les gouttelettes lorsqu'elles ont pénétré entre les plateaux du condensateur. Un faisceau de rayons X irradiant l'espace situé entre les plateaux crée des ions qui se fixent sur les gouttelettes

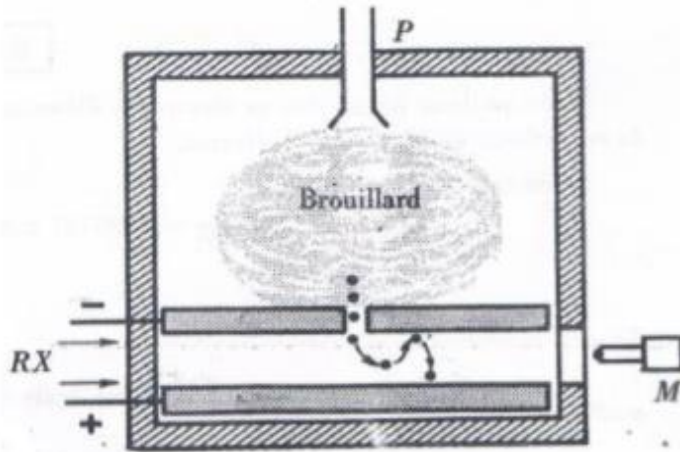


Figure II-4: Expérience de Millikan

*Les forces qui s'exercent sur une gouttelette chargée :*

- Forces de Stocks  $F_{st}$  qui s'opposent au déplacement de la gouttelette :  $F_{st} = 6\pi\eta r v$   
 $v$  : vitesse de la gouttelette,  $\eta$  coefficient de viscosité de l'air,  $r$  : rayon de la gouttelette.
- Forces  $F_e$  due au champ  $\vec{E}$  régnant entre les plateaux du condensateur :  $F_e = q.E$   
 $q$  étant la charge porté par la gouttelette.
- Force de pesanteur  $P$  :  $P = mg = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho$ ,  $\rho$  masse volumique de l'huile  
 Poussé d'archimède  $F_A = m'g$  (négligeable) :  $\rho_{air} \ll \rho_{huile}$

a) En absence du champ électrique ( $F_e=0$ )

$\vec{F}_{st} + \vec{P} = \vec{0} \Rightarrow P - F_{st} = 0 \Rightarrow P = F_{st}$  la gouttelette va atteindre une vitesse maximale



$$v = v_0 \Rightarrow 6\pi\eta r \cdot v_0 = \rho \frac{4}{3}\pi r^3 \Rightarrow r = \sqrt{\frac{9\eta v_0}{2\rho g}}$$

b) Sous l'effet du champ électrique

$$\vec{F}_{st} + \vec{P} + \vec{F}_e = \vec{0}$$

Le mouvement de gouttelette est une montée et atteint une nouvelle vitesse  $v$

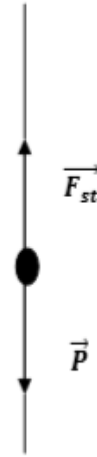
$$\Rightarrow P + F_{st} = F_e$$

$$\Rightarrow mg + 6\pi\eta r \cdot v = q \cdot E \Rightarrow q = \frac{m \cdot g + 6\pi\eta r v}{E}$$

Les valeurs de  $q$  ainsi déterminé, sont toujours des multiples d'une certaine valeur  $e$  qui est la plus petite charge électrique que peut porter une gouttelette d'huile chargée.

Il s'agit de la charge électrique élémentaire  $e$ . avec :  $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$  Coulomb

Connaissant la valeur  $\frac{e}{m_e}$  et  $e$ , on en déduit la masse de l'électron :  $m_e = 9,108 \cdot 10^{-31}$  Kg



### II-3-2 Proton:

#### II-3-2-1 Expérience de Goldstein : mise en évidence de la charge positive du noyau

Dans un tube à décharge, on place une cathode percée des canaux. Un rayonnement est mis en évidence sur l'écran fluorescent : ce sont les rayons canaux, il s'agit d'ions positifs obtenus en arrachant des électrons aux molécules des gaz contenues dans l'enceinte. Les ions positifs attirés par la cathode et animés d'une énergie cinétique suffisante et traversent le canal et frappent l'écran fluorescent d'où la mise en évidence l'existence de particules positives du noyau. Ce sont des protons.

### II-3-3 Neutron:

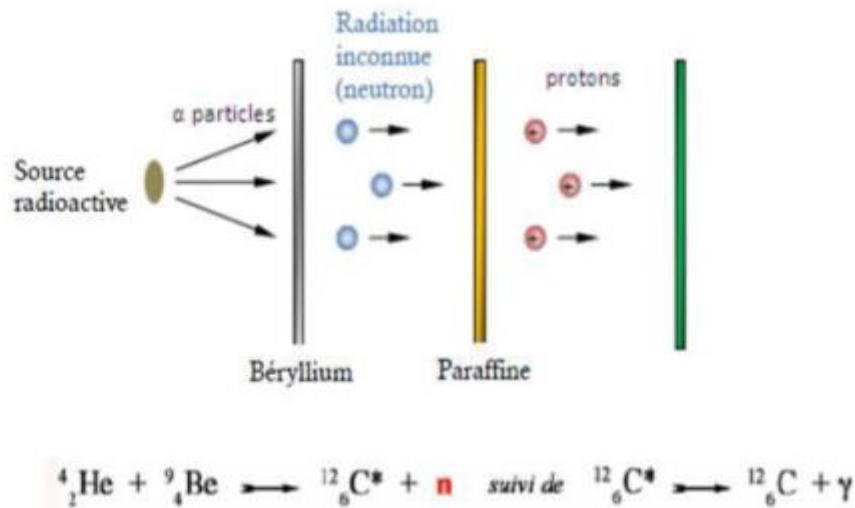
#### II-3-3-1 expérience de Chadwick : mise en évidence du neutron existant dans le noyau

Il a été mis en évidence par James Chadwick (1932).

Le bombardement d'une cible de béryllium par des noyaux d'hélium émet des neutrons :  ${}^4_2\text{He} + {}^9_4\text{Be} \rightarrow {}^{12}_6\text{C}^* + n$

Ceux-ci n'ont pu être détectés que suite à leur action sur de la paraffine : cela provoquait l'expulsion de protons détectés

Le rayon issu du béryllium n'étant pas dévié par des champs électriques et magnétiques il ne pouvait s'agir que d'un rayonnement électromagnétique ou d'un faisceau de particules neutres. Lors d'une expérience où il bombardait du béryllium avec des particules alpha, il a remarqué une radiation inconnue qui éjectait les protons du noyau. Chadwick a conclu que ces radiations étaient composées de particules de masse approximativement égale au proton mais sans charge électrique; les neutrons.



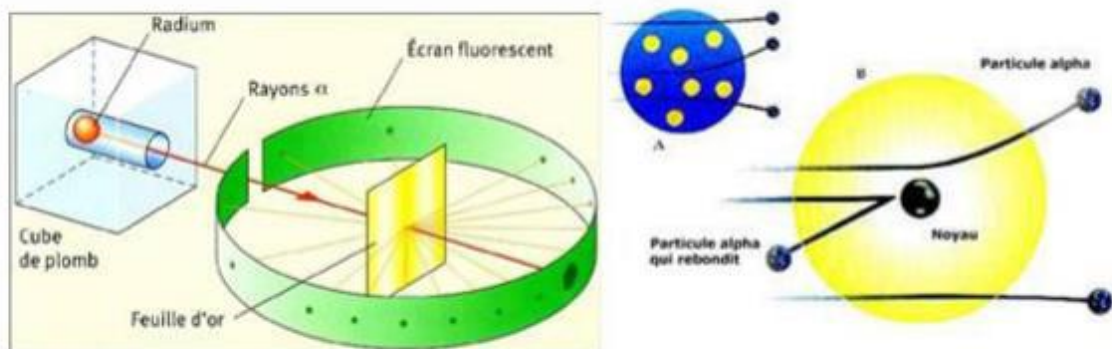
## II-4 Modèle planétaire de Rutherford

### II-4-1 Découverte Du noyau

#### II-4-1-1 Expérience de la feuille d'or

Rutherford bombarde une feuille d'or de très faible épaisseur ( $0,6\mu\text{m}$ ) par des particules  $\alpha$  émises par une source de radium. Les taches qui apparaissent sur un écran fluorescent lui permettent de connaître la trajectoire suivie par les particules

Rutherford constate alors que la grande majorité d'entre elles traversent la feuille d'or sans être déviée, la tache lumineuse observée sur l'écran garde en effet la même intensité avec ou sans la feuille d'or. Quelques impacts concentrés montrent que quelques unes sont déviées d'autres (1 sur 20 000 à 30 000) semblent renvoyé vers l'arrière (Figure II-7)



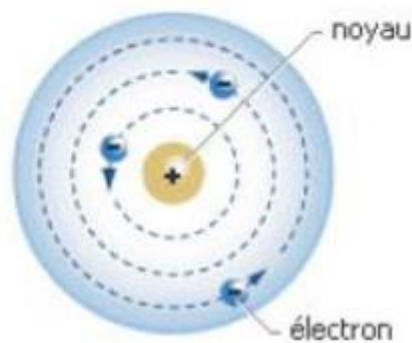
**Figure II-7 :** L'expérience de la feuille d'or bombardé par des particules  $\alpha$

Il a déduit que l'atome est constitué d'un noyau chargé positivement, autour duquel des électrons chargé négativement, sont en mouvement et restent à l'intérieur d'une sphère. Le noyau est  $10^4$  à  $10^5$  fois plus petit que l'atome et concentre l'essentiel de sa masse. L'atome est donc essentiellement constitué de vide



A la lumière de ces résultats Rutherford propose son modèle : La matière est rassemblée dans un noyau de très petite dimension, environ  $10^{-14}$  m de rayon, chargé d'électricité positive. Les électrons de l'atome se déplacent autour de ce noyau tels des planètes autour du Soleil, et la force électrique attractive (la charge - de l'électron attirant la charge + du noyau) joue le rôle de la force de gravitation pour les planètes; d'où le nom de modèle d'atome planétaire. L'électron ne subit que la force électromagnétique (Figure II-8)

Donc l'existence du noyau est prouvée. Modèle planétaire de l'atome : au centre, un noyau, charge positivement et autour, des électrons négatifs qui gravitent comme les planètes autour du soleil



**Figure II-8** : atome de Rutherford (1911). Les électrons gravitent autour du noyau

## II-5 Présentation de l'atome

Les atomes sont les particules qui composent la matière. Au centre de l'atome, il y a un noyau, composé de neutrons et de protons. Autour de ce noyau se trouvent des particules en mouvement très rapide, les électrons. Dans un atome, il y a autant de protons, chargés positivement, que d'électrons, chargés négativement : un atome est électriquement neutre. Le nombre de protons est le numéro atomique  $Z$ . La somme des protons et des neutrons est le nombre de masse  $A$ .

## I. L'atome

L'atome est constitué d'un noyau (protons + neutrons) et d'électrons. L'élément est défini par son numéro atomique, qui correspond au nombre de protons présents dans le noyau.

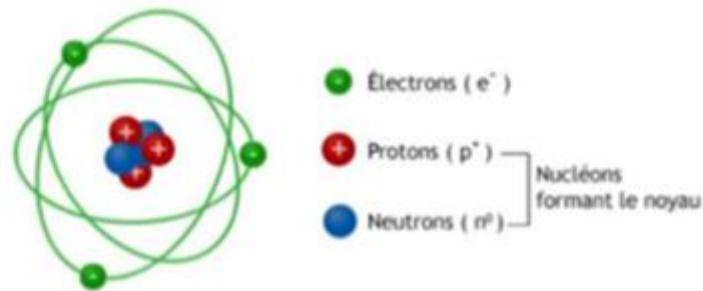
*Exemple* : le noyau de l'hydrogène est constitué d'un seul proton. Le noyau d'hélium est constitué de 2 protons et 2 neutrons.

- Les protons ont une charge positive, alors que le neutron est électriquement neutre.
- Autour du noyau atomique se trouve les "électrons". Il s'agit de petites particules "gravitant" autour du noyau.

Les électrons sont de charges négatives, pour compenser la charge positive des protons et ainsi rendre l'atome électriquement neutre. On trouve ainsi dans un atome le même nombre de protons et d'électrons.

Les ions sont en fait des atomes ayant gagné ou perdu des électrons, ils sont ainsi chargés négativement (anions) ou positivement (cations).

La masse de l'atome est concentrée dans une petite région chargée positivement : le noyau central. La figure 3 suivante illustre l'atome dans le modèle de Rutherford.



**Figure 3.** L'atome dans le modèle de Rutherford.

### *Caractéristiques de l'atome*

- Atome = électrons + noyau ; noyau = protons + neutrons
- Electron : charge électrique négative  $|e|=1,6 \cdot 10^{-19}$  C ; proton : charge électrique positive ; neutron : électriquement neutre
- Masse de l'électron :  $9,1 \cdot 10^{-31}$  kg ; Masse du proton :  $1,673 \cdot 10^{-27}$  kg
- Masse du neutron :  $1,675 \cdot 10^{-27}$  kg ;  $m_n \approx m_p = 1836 m_e$
- Diamètre d'un atome :  $10^{-10}$  m (1 Å) ; Diamètre d'un noyau :  $10^{-15}$  m (1 fm)

Remarques : Pour une espèce d'atome  ${}^A_ZX$

- Une espèce donnée de noyau s'appelle un nucléide (nuclide) :  ${}^A_ZX$
- Les  $A$  et  $Z$  sont des entiers. Ils caractérisent un atome ou son noyau.
- Le nombre de protons  $Z$  fixe la charge du noyau
- Le nombre de nucléons  $A$  fixe la masse du noyau
- La charge totale du noyau :  $+Ze$
- La charge totale des électrons :  $-Ze$

Exemples :  ${}^{16}_8O$  ;  ${}^{27}_{13}Al$  , ...

## II. Les isotopes

Des atomes peuvent avoir un même numéro atomique  $Z$  et des nombres de masse  $A$  différents.

On dit qu'ils sont des isotopes d'un même élément.

Exemples :  ${}^{16}_8O$  ;  ${}^{17}_8O$  ;  ${}^{18}_8O$  ;  ${}^{35}_{17}Cl$  ,  ${}^{37}_{17}Cl$  ; ...

### II.1. Détermination de la masse des isotopes

Dans un spectromètre de masse, un gaz est bombardé d'électrons de manière à créer des ions chargés positivement par éjection d'un ou plusieurs électrons. Ces ions sont accélérés par un champ électrique puis déviés plus ou moins fortement suivant leur masse par un champ magnétique. Un détecteur permet de visualiser le point d'impact de l'ion et donc d'en déduire sa masse avec une très grande précision. On peut séparer les isotopes d'un élément et mesurer leurs abondances en utilisant un spectromètre de masse (Figure 4).

leurs abondances en utilisant un spectromètre de masse (Figure 4).

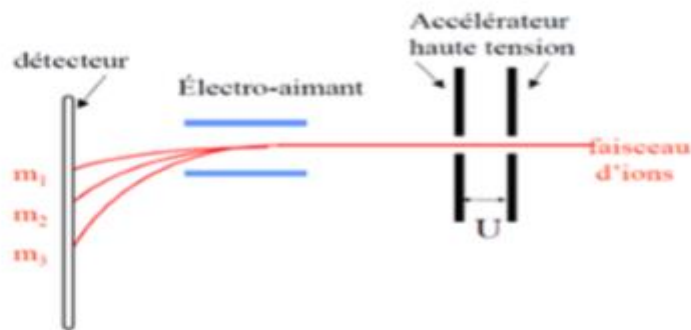


Figure 4. Schéma d'un spectromètre de masse.

Un grand nombre d'éléments existe à l'état naturel sous forme d'un mélange d'isotopes. La masse moyenne d'un élément est donnée par la relation:

$m = \frac{\sum m_i x_i}{100}$  avec  $m_i$  = masse de l'isotope  $i$  et  $x_i$  son abondance relative (%) (Exemples illustrés par le tableau 1).

**Tableau 1** : Quelques isotopes naturels, leurs abondances et les masses correspondantes.

Elément	Isotope	Abondance (%)	Masse (kg)x10 <sup>27</sup>
Hydrogène	${}^1_1\text{H}$	99,98	1,673
	${}^2_1\text{H}$ (D)	0,015	3,344
Carbone	${}^{12}_6\text{C}$	98,89	19,926
	${}^{14}_6\text{C}$	1,11	21,592
Chlore	${}^{35}_{17}\text{Cl}$	75,77	58,066
	${}^{37}_{17}\text{Cl}$	24,23	61,382

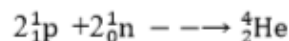
### Remarques:

- Un élément chimique (X) est caractérisé par son numéro atomique  $Z$ ,
- Un ion ( $q \neq 0$ ), correspond au nombre d'électrons  $e = Z - q$
- Les isotopes ont même numéro atomique  $Z$
- Les isobares ont même nombre de masse  $A$
- Les isotones ont même nombre de neutrons  $N$

## II.2. La cohésion du noyau

### 1. Energie de cohésion

Si on considère la formation d'un noyau d'hélium (He) à partir des nucléons selon la réaction:



Cette réaction s'accompagne d'une perte de masse  $\Delta m$  qui se transforme en énergie  $\Delta E$  (conservation de la matière) :  $\Delta E = -E_i = \Delta m \cdot C^2$

Avec  $\Delta E$  : énergie de formation (toujours négative)

$$\Delta m = m_{\text{finale}} - m_{\text{initiale}}$$

$C$  : célérité de la lumière =  $3 \cdot 10^8$  m/s.

On définit l'énergie de cohésion ( $-\Delta E = E_i$ ) comme étant l'énergie nécessaire pour détruire un noyau en neutrons et en protons (elle est toujours positive).

### Unité de l'énergie de cohésion

Les principales unités utilisées sont : le joule, l'eV ( $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ) et le MeV ( $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$ ).

L'électron volt est l'énergie d'un électron soumis à une différence de potentiel (ddp) de 1 volt ( $\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$  ;  $1 \text{ V} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ).