Chapitre I
Les composants de l'atome

I.1. Caractéristique de l'atome :

$$Atome\begin{cases} noyau\begin{cases} protons: m_P = 1.6726.10^{-27}\,Kg, q = 1.602.10^{-19}\,C \\ neutrons: m_P = 1.6749.10^{-27}\,Kg, q = 0 \end{cases} \\ électrons: m_{e-} = 9.108.10^{-31}\,Kg, q = -1.6.10^{-19}\,C \end{cases}$$

L'atome est symbolisée par une ou deux lettres dont la première est majuscule ${}_{Z}^{A}X$ tel que:

$$\begin{cases} Z = P = e^- \\ A - Z = N \end{cases}$$

- Numéro atomique ou nombre de charges Z: représente le nombre de protons ainsi que le nombre d'électrons si l'atome n'est pas chargé.
- Nombre de masse A: C'est le nombre de nucléons (protons et neutrons). C'est un nombre entier qui se rapproche de la masse de l'atome parce que la masse de l'atome est concentrée dans le noyau $(m_{Atome} \approx m_{Noyau})$ si nous négligeons la masse des électrons.

Exemple:

$${}_{7}^{14}N \Rightarrow \begin{cases} Z = 7 \Rightarrow P = e^- = 7 \\ A - Z = N = 14 - 7 = 7 \end{cases} \qquad {}_{8}^{16}O \Rightarrow \begin{cases} Z = 8 \Rightarrow P = e^- = 8 \\ A - Z = N = 16 - 8 = 8 \end{cases}$$

Remarque:

Si l'atome est chargé ${}_{Z}^{A}X^{q}$, nous calculons le nombre de protons et de neutrons de la même manière décrite précédemment, mais le nombre d'électrons devient comme suit:

$$\begin{cases} Z = P \\ A - Z = N \\ e^- = Z - q \end{cases}$$

Exemple :

$${}_{17}^{35}Cl^- \Rightarrow \begin{cases} Z = 11 \Rightarrow P \\ A - Z = N = 35 - 17 = 18 \\ e^- = Z - q = 17 - (-1) = 18 \end{cases} \qquad {}_{17}^{35}Cl \Rightarrow \begin{cases} Z = 11 \Rightarrow P = e^- = 17 \\ A - Z = N = 35 - 17 = 18 \end{cases}$$

$${}_{11}^{23}Na^+ \Rightarrow \begin{cases} Z = 11 \Rightarrow P = e^- = 11 \\ A - Z = N = 23 - 11 = 12 \\ e^- = Z - q = 11 - (+1) = 10 \end{cases} \qquad {}_{11}^{23}Na \Rightarrow \begin{cases} Z = 11 \Rightarrow P = e^- = 11 \\ A - Z = N = 23 - 11 = 12 \end{cases}$$

I.2. Les isotopes :

I.2.1. Définition: Les isotopes sont définis comme des atomes du même élément qui ont le même numéro atomique Z, c'est à dire le même nombre de protons, mais ils diffèrent par le nombre de masse A (le nombre de nucléons) (donc ayant un nombre de neutrons différent). Les isotopes du même élément se situent au même endroit (même case) dans le tableau périodique des éléments. Les isotopes possèdent le même nombre d'électrons ce qui leurs confèrent des propriétés chimiques identiques.

Exemple: isotopes de l'hydrogène.

Isotopes	Hydrogène "léger" $^{1}_{1}H$	Hydrogène "lourd" ou Deutérium $^{2}_{1}H$	Tritium $^{3}_{1}H$
Structure du noyau	1 proton	1 proton et 1 neutron	1 proton et 2 neutrons
Nombre de masse : A	1	2	3
Abondance naturelle (%)	99.985	0.0151	Instable
Masse atomique (u.m.a)	1.007825	2.014	3.01605

I.2.2. La masse atomique moyenne d'un élément à l'état naturelle $\overline{M}$: est la moyenne pondérée des masses atomiques des isotopes de cet élément. Alors:

$$\overline{M} = \frac{X_1M_1 + X_2M_2 + X_3M_3 + ... + X_iM_i}{100}$$

$$\overline{M} = \frac{\sum_i X_iM_i}{100}$$

Avec :

$X_1, X_2, X_3, \ldots, X_i$: Abondance naturelle des isotopes 1, 2, 3, …, i.

$M_1, M_2, M_3, \ldots, M_i$: Masse atomique des isotopes 1, 2, 3, …, i.

On Note que l'abondance naturelle totale des isotopes d'un élément est:

$$X_1 + X_2 + X_3 + ... + X_i = 100$$

$$\sum_i X_i = 100$$

Exemple: Les masses atomiques et l'abondance naturelle des isotopes de silicium sont données dans le tableau suivant. Calculez la masse atomique moyenne de cet élément.

Isotope	Abondance naturelle (%)	Masse atomique (u.m.a)
$^{28}_{14}Si$	92.23	27.97693
$^{29}_{14}Si$	4.67	28.97649
$^{30}_{14}Si$	3.10	29.97376

Réponse :

$$\overline{M} = \frac{X_1M_1 + X_2M_2 + X_3M_3 + ... + X_iM_i}{100}$$
$$\overline{M} = \frac{27.97693 \times 92.23 + 28.97649 \times 4.67 + 29.97376 \times 3.10}{100}$$
$$\overline{M} = 28.0855 u.m.a$$

Note: La masse atomique moyenne est égale à peu près à la masse atomique de l'isotope le plus abondant dans la nature.

I.2.3. Unité des masses atomiques: Le gramme est rarement utilisé comme unité pour exprimer la masse des atomes ou de particules élémentaires. C'est pourquoi nous définissons ici une nouvelle unité appelée «unité des masses atomiques», qui est le 1/12 de la masse d'un atome de carbone 12.

$$1\,mol \xrightarrow{\text{contient}} N_A \xrightarrow{\textit{pèse}} 12g$$
$$1\,\text{atome} \xrightarrow{\textit{pèse}} m$$

$$m = \frac{12g \times 1}{6.023.10^{23}} = 1.9924.10^{-23}\,g$$
$$\Rightarrow 1\,u.m.a = \frac{1.9924.10^{-23}\,g}{12}$$
$$\Rightarrow 1\,u.m.a = 1.66.10^{-24}\,g$$

Note: La masse d'un seul atome exprimée par unité des masses atomiques est <u>numériquement</u> égale à la masse de 1 mole d'atomes exprimée en grammes. Par exemple, pour un l'élément $^{16}_{8}O$:

• Masse atomique: 16 u.m.a (masse d'un seul atome).

• Masse molaire: 16 g / mol (1 masse d'une mole d'atomes ou de 6.023 .10^{23} atomes).

I.2.4. Séparation des isotopes: «Spectromètre de masse de *Bainbridge*»: La spectroscopie de masse est utilisée pour la séparation des ions positifs en se basant sur leurs masses différentes ou plus précisent sur le rapport de **m/q** différent. La spectroscopie de masse est utilisée pour déterminer les isotopes d'un élément et leurs masses.

Le spectromètre de masse de *Banbridge* est composé de 4 sections:

a. Chambre d'ionisation

b. Filtre de vitesse

c. Analyseur

d. Détecteur

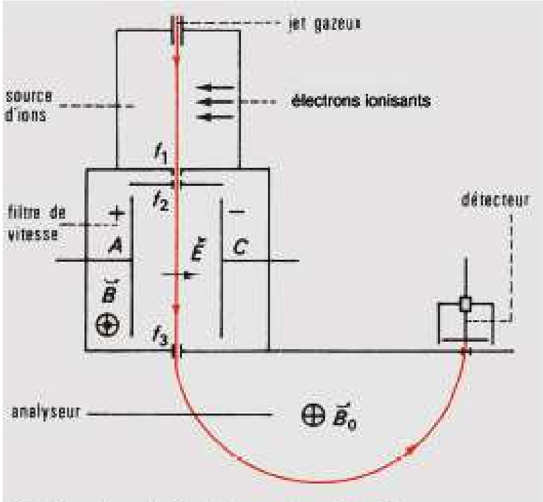

Schéma de principe du spectromètre de BAINBRIDGE

a. Chambre d'ionisation

Les atomes ou les particules qui passent à travers la fente f_1 arrivent à cette pièce à la suite de la collision avec des électrons accélérés pour donner des ions positifs (et des électrons qui seront piégés). Nous obtenons donc un faisceau d'ions positifs avec une cinétique hétérogène c'est à dire ayant des vitesses différentes.

b. Filtre de vitesses

Les ions sont reçus à partir de la fente f_2 avec des vitesses différentes où ils seront soumis en même temps à l'action du champ électrique $\vec{E}$ et du champ magnétique $\vec{B}$ perpendiculaires avec la trajectoire des ions. Si la charge électrique portée par l'ion est q et sa vitesse est v, les forces qui agissent sur les ions sont:

• *Force électrique*: $F_e = q.E$

• *Force magnétique*: $F_m = q.v.B$

Etant donné que les fentes sont situées sur la même la ligne, il ne passe à travers la fente f_3 que les ions que leur déviation résultant du champ électrique est annulée sous l'influence du champ magnétique,
c'est-à-dire qu'il ne passe à travers la fente f_3 que les ions pour lesquels les forces résultants des champs électriques et magnétiques sont égales:

$$F_e = F_m$$
$$\Rightarrow q.E = q.v.B$$
$$\Rightarrow v = \frac{E}{B}$$

C'est-à-dire que tous les ions auront la même vitesse à la sortie du filtre des vitesses.

c. L'analyseur

Dans l'analyseur, les ions (cations) sont soumis à un nouveau champ magnétique B_o perpendiculaire à tout instant sur la tangente des trajectoires demi-circulaires tracées par les ions. L'effet du champ d'induction magnétique conduit à la déviation des ions en décrivant alors des chemins demi-circulaires de rayons R.

Dans l'analyseur, le mouvement des ions est circulaire (v = cte). Ces ions sont soumis à deux forces:

- *La force magnétique*: qui est donnée dans la relation suivante: $F_m = q.v.B_o$
- La force centrifuge: qui est donnée par la relation: $F_c = \frac{m.v^2}{R}$

Où m est la masse des ions et R est le rayon des trajectoires semi-circulaire que décrivent les ions.

A l'équilibre dynamique:

$$F_m = F_c$$

$$\Rightarrow q.v.B_o = \frac{m.v^2}{R}$$

Nous pouvons écrire alors:

$$R = \frac{m.v}{q.B_o}$$

Or : $v = \frac{E}{B}$ Alors : $R = \frac{m.E}{q.B_o.B}$

Donc : $\frac{m}{q} = \frac{R.B_o.B}{E}$

Nous avons : $R = \frac{D}{2}$ donc : $\frac{m}{q} = \frac{D.B_o.B}{2E}$

Si : $B = B_o$ alors : $\frac{m}{q} = \frac{D.B^2}{2E}$

C'est l'expression mathématique par laquelle on a pu calculer les rapports masse-charge des différents ions qui apparaissent sous forme de points d'impact sur la plaque photographique.

Remarque:

* Pour des ions ayant la même charge q: les masses des ions sont proportionnelles aux diamètres D de la trajectoire que décrivent les ions: Plus l'ion est lourd, plus le chemin est long et vice versa.

$$\nearrow m \Rightarrow D \nearrow$$

Par exemple : D ($^{12}C^+$) < D ($^{13}C^+$) < D ($^{14}C^+$)

* Pour des ions ayant la même masse m: les charges des ions sont inversement proportionnelles aux diamètres des trajectoires: Plus la charge est petite, plus la trajectoire est longue et vice versa:

$$\nearrow \; m \Rightarrow D \; \searrow$$

Par exemple :D ($^{12}C^{++}$) < D ($^{12}C^+$)

d. Le Détecteur

Le détecteur le plus simple est la plaque photographique. On peut trouver également un compteur mobile des ions qui permet de calculer le nombre des ions recueillis par unité de temps et utilisé pour déterminer la composition isotopique d'un élément et l'abondance naturelle des isotopes.

Exemple: Pour l'élément néon, on observe sur le spectre de masse résultant trois signaux d'intensité différents de sorte que chaque signal corresponde à un isotope (^{20}Ne, ^{21}Ne et ^{22}Ne) de sorte que:

- L'intensité du signal de l'isotope ^{20}Ne : h_1 =1500
- L'intensité du signal de l'isotope ^{21}Ne : h_2 =10
- L'intensité du signal de l'isotope ^{22}Ne : h_3 =150

$$\begin{cases} \%^{20}Ne = \dfrac{1500}{1660} = 90.4\% \\ \%^{21}Ne = \dfrac{10}{1660} = 0.6\% \\ \%^{22}Ne = \dfrac{150}{1660} = 9\% \end{cases}$$

Pour calculer la masse atomique moyenne $\overline{M}$ du néon:

$$\overline{M} = \frac{x_1.M_1 + x_2.M_2 + x_3.M_3}{100}$$
$$\Rightarrow \overline{M} = \frac{90.4\times 20 + 0.6\times 21 + 9\times 22}{100}$$
$$\Rightarrow \overline{M} = 20.186 u.m.a$$

Remarque **:**

✓ Connaissant les diamètres des trajectoires tracées par les ions (les distances entre la fente f_3 et les points d'impact des ions sur la plaque photographique) et la valeur de la charge électrique, on peut calculer la masse :

$$\frac{m}{q} = \frac{D.B_o.B}{2E} \Rightarrow m = \frac{D.B_o.B.q}{2E}$$

✓ Pour deux ions ayant la même charge q et leurs masses sont respectivement m*1* et m_2 sont représentés sur la plaque d'imagerie en deux points de collision différents, et en écrivant l'équation des blocs en termes de diamètres D_1 et D_2:

$$\begin{cases} \dfrac{m_2}{q} = \dfrac{D_2.B_o.B}{2E} & \text{……….(1)} \\[2ex] \dfrac{m_1}{q} = \dfrac{D_1.B_o.B}{2E} & \text{……….(2)} \end{cases}$$

En prenant la différence entre les deux relations, nous trouvons:

$$\frac{m_2}{q} - \frac{m_1}{q} = \frac{D_2.B_o.B}{2E} - \frac{D_1.B_o.B}{2E}$$

$$\Rightarrow \frac{m_2}{q} - \frac{m_1}{q} = \frac{B_o.B}{2E}(D_2 - D_1)$$

$$\Rightarrow m_2 - m_1 = \frac{B_o.B.q}{2E}(D_2 - D_1)$$

$$\Rightarrow m_2 - m_1 = \frac{B_o.B.q.d}{2E}$$

d : est la distance entre deux points d'impact sur la plaque photographique.
En prenant le rapport entre les deux relations, nous trouvons:

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{D_2}{D_1}$$