

Chapitre II

Principaux constituants de la matière

1. Expérience de Faraday : Relation entre la matière et l'électricité

En faisant l'électrolyse d'une solution d'un sel métallique dans laquelle un courant d'intensité I passe, pendant un temps t , Faraday relie les résultats obtenus par la loi suivante :

$$m = \frac{M \times Q}{n \times F} = \frac{M \times I \times t}{n \times F}$$

Avec :

m : masse libérée (g)

M : Masse atomique de l'espèce déposée (libérée)

Q : Quantité d'électricité ($Q = I \times t$)

n : Valence ou nombre de charge

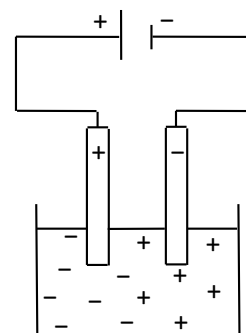
F : Constante de Faraday : c'est la quantité de charge portée par mole d'ions. $F = 96500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$

Exemple

Electrolyse de ZnCl_2 :

$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \leftrightarrow \text{Zn} \downarrow$ à la cathode (-) : réduction

$2\text{Cl}^- \leftrightarrow \text{Cl}_2 \uparrow + 2\text{e}^-$ à l'anode (+) : oxydation



Les constituants de l'atome ont été découverts par :

→ CROOKES : Découverte de l'électron

→ GOLDSTEIN : Découverte du proton

→ CHADWICK : Découverte du neutron

2. Modèle planétaire de Rutherford

Cette expérience consiste à bombarder une feuille d'or très fine par des particules α positives.

Un écran fluoresçant entoure la feuille d'or afin de suivre la trajectoire des particules.

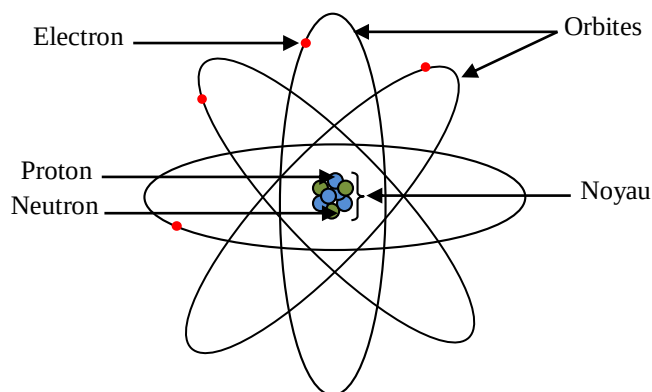
Rutherford constata que la grande majorité d'entre elles traversent la feuille d'or sans être déviée.

Cependant, quelques-unes sont déviées et d'autres semblaient être renvoyées vers l'arrière.

Il en déduit que l'atome est constitué d'un noyau chargé positivement, autour duquel des éléments chargés 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.

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 positivement. Les électrons de l'atome se déplacent autour de ce noyau tel 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 planétaire.



Modèle de Rutherford

3. Présentation et caractéristiques de l'atome

Un élément A_ZX est caractérisé par :

Z : le nombre de charge ou numéro atomique : il désigne le nombre de protons ou d'électrons. Pour un élément quelconque, la charge du noyau est $+Ze$ et la charge des électrons est $-Ze$. Donc, $Z = \text{nombre de protons} = \text{nombre d'électrons}$.

A : le nombre de masse : il désigne le nombre de nucléons (protons + neutrons) avec $A = Z + N$ où Z : nombre de protons et N : nombre de neutrons.

$$1\text{uma} = 1,66 \times 10^{-27} \text{Kg}$$

$$m_e = 9,109 \times 10^{-31} \text{Kg} = 5,48 \times 10^{-4} \text{uma}$$

$$\left. \begin{array}{l} m_p = 1,672 \times 10^{-27} \text{Kg} = 1,0072 \text{uma} \\ m_N = 1,675 \times 10^{-27} \text{Kg} = 1,0090 \text{uma} \end{array} \right\} m_p \approx m_N \approx 1\text{uma}$$

4. Isotopes et abondances relatives des différents isotopes

Les isotopes sont des atomes ou nucléides d'un même élément chimique. Ils possèdent le même nombre de protons (Z) mais diffèrent dans le nombre de masse (A) : A_ZX , ${}^{A'}_ZX$, ${}^{A''}_ZX$, ...

Naturellement, tous les éléments sont des mélanges isotopiques. Le calcul de la masse atomique d'un élément dépend de l'abondance de chacun des isotopes (pourcentage de présence dans la nature %).

La masse molaire moyenne est calculée par la relation suivante :

$$M_{moy} = \frac{\sum M_i x_i}{100}$$

Où : M_{moy} : masse moyenne de l'élément

M_i : masse de chaque isotope

x_i : abonde de l'isotope

Remarque

Les isotopes possèdent les mêmes propriétés chimiques mais des propriétés physiques différentes.

5. Séparation des isotopes et détermination de la masse atomique et de la masse moyenne d'un atome

Spectromètre de masse : Spectrographe de Bainbridge

Pour mesurer la masse d'un atome, il est nécessaire de mesurer le rapport $\frac{q}{m}$, c'est-à-dire, la charge de l'ion divisée par sa masse. Les appareils employés sont appelés spectromètres et nous développons dans ce qui suit le principe du spectromètre de Bainbridge.

Ce spectromètre est composé de quatre parties :

- La source d'ions : Un jet d'électrons émis par un filament chauffé ionise positivement les atomes d'un gaz.
- Le filtre de vitesse : Reçoit les ions animés de vitesses différentes. Ces ions sont soumis à l'action simultanée d'un champ électrique et d'un champ magnétique orthogonaux entre eux et suivent la direction f_1 , f_2 et f_3 .

Si v est la vitesse d'un ion et q sa charge, les forces appliquées sont :

$$\vec{F}_E = q\vec{E} : \text{force électrique}$$

$$\vec{F}_m = q\vec{v}\vec{B} : \text{force magnétique}$$

E et B sont, respectivement, le champ électrique et l'induction du champ magnétique. $\vec{F}_E$ et $\vec{F}_m$ ont des directions parallèles mais des sens opposés.

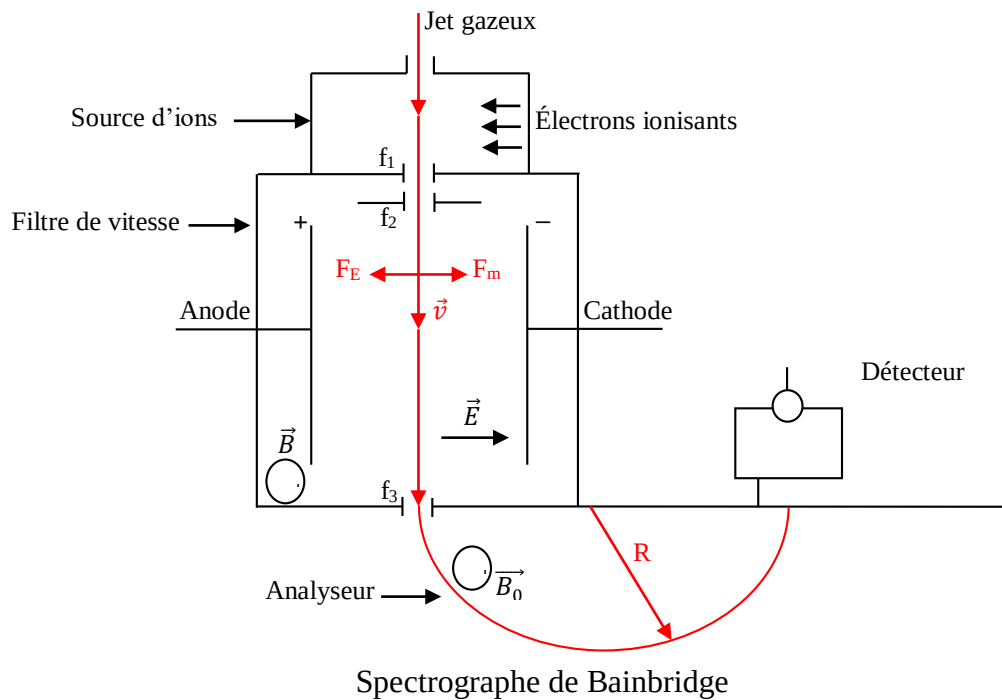
L'ion franchira l'analyseur si : $|\vec{F}_E| = |\vec{F}_m| \Rightarrow qE = qvB \Rightarrow v = \frac{E}{B}$

Les ions qui sortent du filtre de vitesse ont la même vitesse.

- L'analyseur : Dans cette partie, l'ion de masse m est soumis à un champ magnétique B_0 perpendiculaire à sa direction. L'ion sera donc dévié suivant un cercle de rayon R .

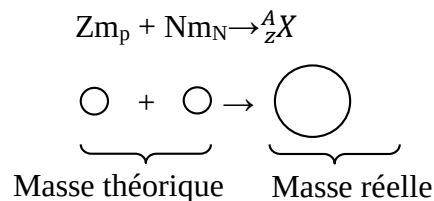
$$F_m = m\gamma \Rightarrow qvB_0 = m\frac{v^2}{R} \Rightarrow \frac{q}{m} = \frac{v}{B_0 R}$$

- Détecteur d'ions : l'ion ainsi dévié impressionne la plaque photographique où est détecté par une électrode qui joue le rôle de collecteurs d'ions.



6. Energie de liaison (de cohésion) des noyaux

La réaction de formation d'un noyau à partir de ses nucléons est donnée comme suit :



La masse réelle de l'atome A_ZX est toujours inférieure à la masse de ses nucléons ($Zm_p + Nm_N$)
 $\Rightarrow$ masse réelle < masse théorique.

La réaction nucléaire de formation d'un atome s'accompagne d'une perte de masse, appelée « défaut de masse Δm ».

$$\Delta m = m_{\text{produits}} - m_{\text{réactifs}} = m_{\text{réelle}} - m_{\text{théorique}} = m_{{}^A_ZX} - (Zm_p + Nm_N)$$

$$\Delta m < 0 \text{ (car la masse réelle est inférieure à la masse théorique)}$$

Cette perte de masse se transforme en énergie ΔE telle que : $\Delta E = \Delta m \cdot C^2$: Relation d'Einstein.

ΔE : variation d'énergie. Pour la réaction précédente, ΔE correspond à l'énergie de formation d'un noyau (J ou eV).

Δm : défaut de masse (uma ou Kg).

C : célérité de la lumière ($C = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$).

De ce fait, la formation d'un noyau s'accompagne d'une perte de masse et donc perte d'énergie ($\Delta E < 0$).

Inversement, si on veut scinder le noyau en protons et neutrons suivant la réaction :



$$\Delta m = m_{\text{produits}} - m_{\text{réactifs}} = m_{\text{théorique}} - m_{\text{réelle}} = (Zm_p + Nm_n) - m_{{}^A_ZX}$$

$$\Delta m > 0 \text{ (car la masse réelle est inférieure à la masse théorique)}$$

$$\text{Vu que } \Delta E = \Delta m \cdot C^2 \Rightarrow \Delta E > 0$$

ΔE est l'énergie à fournir (positive) pour détruire le noyau : elle mesure la ténacité avec laquelle les nucléons adhèrent les uns aux autres.

$\Delta E < 0$: énergie de formation du noyau

$\Delta E > 0$: énergie de destruction du noyau

❖ Unité de l'énergie

L'énergie est exprimée en Joule ou en électron-volt. Les valeurs de l'énergie des réactions nucléaires sont très élevées en Joules, donc, il est préférable d'utiliser une unité plus petite qui est l'électron-volt.

Rappelons que l'électron-volt est l'énergie d'un électron soumis à une différence de potentiel de 1 volt (ddp = 1 V).

$$1 \text{ eV} = \text{charge de l'électron} \times \text{ddp} = 1,6 \times 10^{-19} \times 1 \Rightarrow \boxed{1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}}$$

On utilise généralement le Méga-électron-volt sachant que $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$.

Remarque

En utilisant la loi d'Einstein ($\Delta E = \Delta m \cdot C^2$), le défaut de masse Δm est calculé d'abord en uma en prenant les masses du proton et du neutron en uma. Par la suite, il est nécessaire de convertir le résultat trouvé en Kg afin d'avoir une valeur d'énergie en Joule.

$$[\Delta E] \equiv [\Delta m] \cdot [C^2] \equiv [\text{Joule}] \equiv [\text{Kg}] [\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}]$$

$$\text{Sachant que } 1 \text{ uma} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ Kg}$$

$$\text{Donc } E = 1,66 \times 10^{-27} \times 9 \times 10^{16} = 14,94 \times 10^{-11} \text{ J}$$

$$\text{Rappelons que } 1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{De ce fait, } E = \frac{14,94 \times 10^{-11}}{1,6 \times 10^{-19}} = 933 \times 10^6 \text{ eV} = 933 \text{ MeV}$$

$$\text{D'où : } \boxed{1 \text{ uma} = 933 \text{ MeV}}$$

8. Stabilité des noyaux

a. Détermination de l'énergie de cohésion par nucléon : Courbe d'Aston

L'énergie de cohésion par nucléon est donnée par le rapport $\frac{\Delta E}{A}$, avec :

ΔE : l'énergie à fournir pour dissocier le noyau en protons et neutrons

A : nombre de nucléons

$\frac{\Delta E}{A}$ permet de mesurer la stabilité des noyaux. Ils sont d'autant plus stables que le rapport $\frac{\Delta E}{A}$ est plus élevé.

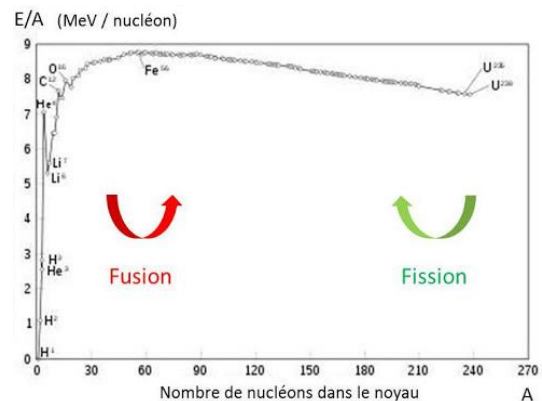
Sur 331 nucléides, 284 sont stables. Les autres sont instables (radioactifs).

La courbe d'Aston représente la variation de $\frac{\Delta E_{\text{coh}}}{A}$ en fonction de A . Les noyaux les plus stables, qui ont les plus grandes valeurs de $\frac{\Delta E}{A}$, apparaissent dans la partie la plus haute de la courbe.

Cette courbe représente un maximum pour le fer (noyau le plus stable).

La pente de la courbe d'Aston est très importante pour la zone des atomes légers ($A < 15$). Du côté des atomes lourds, cette pente est beaucoup plus douce.

Les atomes dont l'énergie moyenne est faible ($\frac{\Delta E}{A} < 7,5 \text{ MeV/nucléon}$) vont chercher à se stabiliser et à se rapprocher de la zone de stabilité maximale. Deux différents processus sont possibles : fusion pour les atomes légers et fission pour les atomes lourds.



b. Stabilité et nombre de nucléons : Courbe nombre de neutron = f (nombre de protons)

Le tracé de la courbe donnant $N=f(Z)$ est appelée Vallée de stabilité. Elle désigne l'endroit où se situent les isotopes stables. Lorsqu'on reporte sur ce repère graphique $N=f(Z)$, tous les isotopes connus, on constate qu'ils sont regroupés autour de la Vallée de stabilité. Elle est située sensiblement sur la bissectrice pour les noyaux dont $Z \leq 30$. Au-delà, elle est globalement située au-dessus de la droite $N=Z$. Pour ces isotopes, il y a plus de neutrons que de protons. En d'autres termes, un isotope sera d'autant plus radioactif (instable) qu'il sera éloigné de cette Vallée de stabilité.

