

1 Relation entre la matière et l'électricité

Faraday (1833) a montré que la masse (m) qui apparaît à une électrode (anode ou cathode) lors de l'expérience de l'électrolyse est proportionnelle à la quantité d'électricité Q mise en jeu.

$$Q = i \cdot t \quad \text{avec } i : \text{intensité du courant et } t : \text{temps (durée) d'électrolyse.}$$

Il a conclu que l'électricité se décompose en particules élémentaires et que les atomes contiennent de telles particules.

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

2.1 Electron

Expérience de Crookes (1879) mise en évidence des rayonnements cathodiques, indépendants du métal de la cathode. Ces rayonnements sont des particules identiques pour tous les atomes et sont un constituant de la matière (atome). On les appela électrons.

Expérience de J. J. Thomson (1895) détermination du rapport ($\frac{e}{m_e}$)

$$\frac{e}{m_e} = 1,759 \cdot 10^{11} \text{ C/kg} \quad \text{avec } e : \text{charge en coulomb et } m_e : \text{masse en kg.}$$

Expérience de Millikan détermination de la charge élémentaire $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ et déduction de la masse de l'électron $m_e = 9,101 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$. La charge de l'électron est négative $q_e = -e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

2.2 Proton

Expérience de Goldstein (1909) mise en évidence de la charge positive du noyau.

Expérience de Rutherford (1918) mise en évidence du proton.

– La charge du proton est positive, elle est égale en valeur absolue à la charge de l'électron

$$q_p = +e = +1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}.$$

– La masse du proton vaut 1836 fois la masse de l'électron $m_p = 1,67252 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

2.3 Neutron

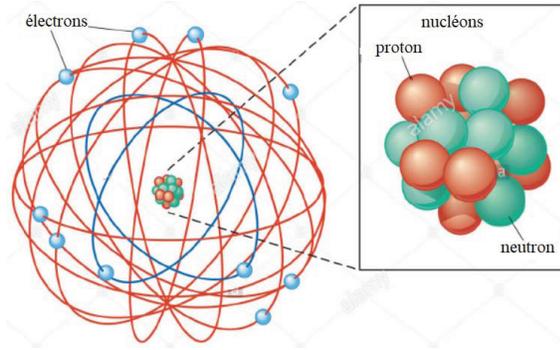
Expérience de Chadwick (1930) mise en évidence du neutron existant dans le noyau.

– La charge du neutron est nulle $q_n = 0$.

– La masse du neutron est légèrement supérieure à celle du proton, elle vaut 1839 fois la masse de l'électron $m_n = 1,67482 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

3 Modèle planétaire de Rutherford

L'atome électriquement neutre est décrit tel un noyau dense et chargé positivement autour duquel gravitent des électrons, comme des planètes autour du soleil. Le diamètre de l'atome est de l'ordre de $10^{-10} m$, soit 10000 fois le diamètre du noyau.



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

L'atome est caractérisé par Z , N et A .

- Z nombre de protons dans le noyau, c'est aussi le nombre d'électrons dans l'atome. Il est appelé numéro atomique ou nombre de charge.
- N nombre de neutrons dans le noyau.
- $A = Z + N$ nombre de nucléons (protons+neutrons) dans le noyau. Il est appelé nombre de masse.
- **Élément chimique** X est représenté par une ou deux lettres, il est caractérisé par le numéro atomique Z . Le noyau d'un atome X est désigné par ${}^A_Z X$.

5 Isotopie, abondance relative et masse atomique moyenne

- Les isotopes d'un élément chimique X ont le même nombre de charge Z et un nombre de neutron N différent, donc n nombre de masse A différent. L'isotope est désigné par ${}^A X$.
- La masse atomique moyenne pour un mélange isotopique de n isotopes :

$$M_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (x_i \cdot M_i)}{100}$$

avec x_i : l'abondance relative de l'isotope "i" (pourcentage molaire de "i" dans le mélange).

M_i : la masse atomique de l'isotope "i".

- **Exemple** Le carbone est un mélange de 98,9% de ${}^{12}C$ et 1,1% de ${}^{13}C$.

$$M_{moy} = \frac{98,9 \times 12 + 1,1 \times 13}{100} = 12,011 \text{ g/mol.}$$

7 Énergie de liaison et de cohésion des noyaux

7.1 Énergie de cohésion du noyau

C'est l'énergie de formation d'un noyau à partir de ses constituants. Elle est fournie par ces derniers sous forme d'une faible fraction de leur masse.

Loi d'Einstein : $\Delta E = \Delta m \cdot C^2$ avec ΔE en Joules, Δm en kg et $C = 3 \cdot 10^8$ m/s : célérité ou vitesse de la lumière dans le vide.

Question Quelle est l'énergie de cohésion du noyau d'hélium (${}^4_2\text{He}$) sachant que :

$$m({}^4_2\text{He}) = 4,0026 \text{ uma}; \quad m({}^1_1\text{p}) = 1,007542 \text{ uma}; \quad m({}^1_0\text{n}) = 1,0089627 \text{ uma}.$$

Réponse L'équation de formation de ce noyau est : $2 {}^1_1\text{p} + 2 {}^1_0\text{n} \xrightarrow{\Delta E} {}^4_2\text{He}$

$$\text{On calcule le défaut de masse : } \Delta m = m({}^4_2\text{He}) - [2 m({}^1_1\text{p}) + 2 m({}^1_0\text{n})]$$

$$\Delta m = -0,030339 \text{ uma}$$

$$\Delta m = -0,030339 \times 1,66 \cdot 10^{-27} = -0,05036 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Cette perte de masse se retrouve sous forme d'énergie : $\Delta E = \Delta m \cdot C^2$

$$\Delta E = -0,45326 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

La formation d'une mole de noyaux dégage : $\Delta E = 0,45326 \cdot 10^{-11} \times 6,022 \cdot 10^{23} = 2,72956 \cdot 10^{12} \text{ J/mol}$.

Sachant que 1 calorie = 4,18 Joules, on trouve : $\Delta E = \frac{2,72956 \cdot 10^{12}}{4,18} = 6,53 \cdot 10^{11} \text{ cal/mol}$

$\Delta E = 6,53 \cdot 10^8 \text{ kcal/mol}$: c'est une très grande énergie, c'est l'équivalent de l'énergie de combustion de 83 tonnes de charbon : $\text{C} + \text{O}_2 \xrightarrow{94,1 \text{ kcal/mol}} \text{CO}_2$

7.2 Énergie de liaison du noyau

C'est l'énergie que doit fournir le milieu extérieur pour séparer ce noyau au repos en ses constituants

libres au repos : ${}_Z^AX \xrightarrow{E_l} Z {}^1_1\text{p} + N {}^1_0\text{n}$

$$\Delta m = [Z \cdot m({}^1_1\text{p}) + N \cdot m({}^1_0\text{n})] - m({}_Z^AX) > 0$$

$$E_l = \Delta m \cdot C^2 > 0$$

$$|E_{\text{cohésion}}| = E_l = |\Delta m| \cdot C^2$$

7.3 Equivalent énergétique de l'uma en Joule et MeV

Rappelons que : $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ et $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$.

$$\Delta E(\text{J}) = \Delta m(\text{kg}) \times C^2(\text{m}^2/\text{s}^2)$$

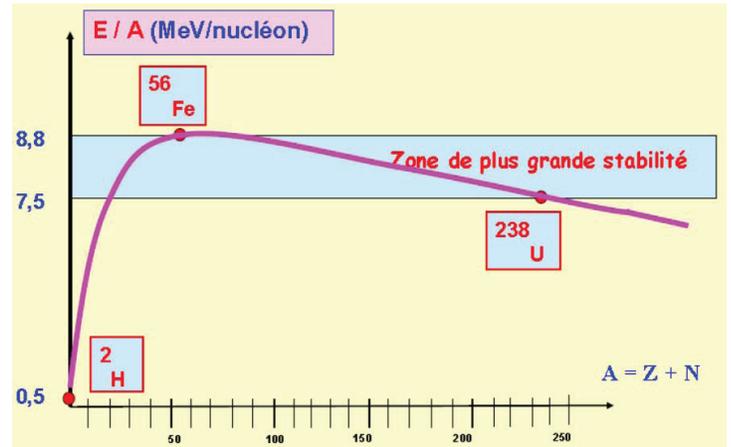
$$\Delta E(\text{J}) = \Delta m(\text{uma}) \times 1,66 \cdot 10^{-27} \times (3 \cdot 10^8)^2$$

$$\Delta E(\text{J}) = \Delta m(\text{uma}) \times 1,492 \cdot 10^{-10} \quad \text{et} \quad \Delta E(\text{MeV}) = \Delta m(\text{uma}) \times 934.$$

8 Stabilité des noyaux

8.1 Détermination de l'énergie de liaison par nucléon : courbe d'Aston

Parmi les 331 nucléides naturels, 284 sont stables, les autres se décomposent spontanément, on dit qu'ils sont radioactifs. La stabilité est d'autant plus grande que l'énergie de liaison par nucléon est plus élevée. La courbe montre que pour les noyaux naturels, il faut dépenser environ 8 MeV pour arracher un nucléon et que $\frac{E_l}{A} = f(A)$ passe par un maximum de $8,8 \text{ MeV}$ pour le fer 56 et diminue ensuite lentement pour atteindre $7,5 \text{ MeV}$ pour l'uranium 238



8.2 Stabilité et nombre de nucléons : courbe nombre de neutrons=f(nombre de protons)

Parmi la centaine d'éléments connus seul les 83 premiers (à l'exception du Technétium ($Z = 43$) et du Prométhium ($Z = 61$) possèdent au moins un isotope stable. A partir du Polonium ($Z = 84$) il n'existe plus de nucléides stables, ils sont tous radioactifs.

Pour les premiers éléments de $Z < 30$ on constate que les isotopes stables contiennent un nombre de neutrons sensiblement égal à celui des protons ($Z = N$). Au-delà de $Z = 30$ les isotopes stables contiennent un nombre de neutrons plus élevé que celui des protons ($N > Z$).

On peut expliquer simplement ce fait en considérant que les protons chargés positivement se repoussent, l'ajout de neutrons stabilise les nucléides par un effet de "dilution" des charges positives qui en étant plus éloignées les unes des autres auront tendance à moins se repousser. Plus le nombre de protons augmente et plus le nombre de neutrons devra augmenter pour que le nucléide soit stable. Si le nombre de protons devient trop élevé ($Z > 84$) cet effet de "dilution des charges" devient inefficace et il n'existe plus de noyaux stables.

