

Chapitre I : les constituants de l'atome**I. Constitution de l'atome :**

Définition : Un atome est une particule électriquement neutre comprenant deux parties :

- + Un noyau constitué de protons chargés positivement et de neutrons sans charge électrique ;
- + Des électrons chargés négativement qui gravitent autour du noyau.

En 1808, Dalton introduit la 1^{ère} théorie atomique stipulant que l'atome est une petite particule indivisible.

Cette particule en fait est constituée d'un noyau renfermant les nucléons (Protons et Neutrons) et électrons gravitant

Noyau.

La mise en évidence des constitutions de l'atome passe par plusieurs expériences telles que :

- ⊗ Les expériences de **Crookes** : mise en évidence l'existence de la charge de l'électron.
- ⊗ L'expérience de **Joseph John Thomson** : évaluation du rapport de la charge massique de l'électron.
- ⊗ L'expérience de **Millikan** : mesure de la charge de l'électron et déduction de sa masse.
- ⊗ L'expérience de **Goldstein** : mise en évidence de la charge positive du noyau.
- ⊗ L'expérience de **Rutherford** : mise en évidence du proton existant dans le noyau.
- ⊗ L'expérience de **Chadwick** : mise en évidence du neutron existant dans le noyau.

I.1. L'électron : la première particule subatomique est l'électron qui, par sa charge négative, assure

la neutralité de l'atome.

II.1.a. Expérience de **William Crookes (1879)** : Crookes (physicien anglais) a travaillé sur un tube en verre de 40 cm environ, portant deux électrodes entre lesquelles on applique une différence de potentiel (ddp) d'environ de 15 000 Volts.

Dès qu'on vide le tube de l'air ou du gaz qu'il contient (la pression oscillant autour de 10^{-6} atm) et qu'on applique la ddp, on observe une décharge électrique qui se traduit par un éclairage du tube, qui devient fluorescent.

On dit que le tube est traversé par un rayonnement cathodique (constitué de particules chargées négativement) qui est responsable de fluorescence du verre.

Chapitre I : les constituants de l'atome

Première expérience de W Coorkes

Si on place un objet métallique (Croix) sur le trajet du rayonnement, son ombre se projette sur l'écran. Le verre reste fluorescent tout autour de l'objet, ce qui prouve que le rayonnement se propage en ligne droite.

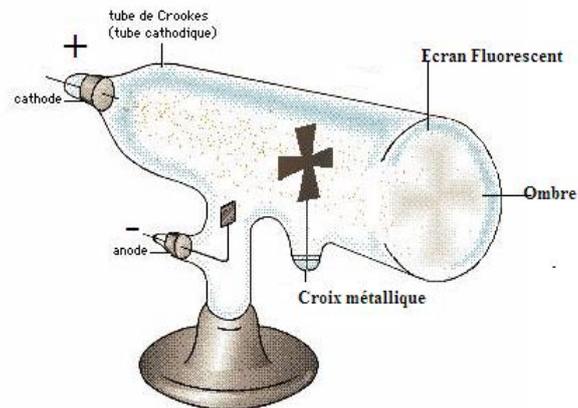


Schéma d'un tube de Crookes.

Deuxième expérience de W Coorkes

Si on place un tourniquet (un moulin très léger) sur le trajet du rayonnement, on constate que le tourniquet se déplace en fuyant

La cathode. Il acquiert ainsi une énergie cinétique $E_c = \frac{1}{2} mv^2$, qui ne peut lui être communiquée que par le choc des particules cathodiques qui viennent le frapper, et lui cèdent leur énergie, ce qui permet de dire que le rayonnement possède une masse.

Troisième expérience de W Coorkes

Si on place un condensateur chargé à l'extérieur du tube, on constate que le faisceau du rayonnement est attiré vers la plaque positive :

Ce rayonnement est donc constitué de particules chargées négativement.

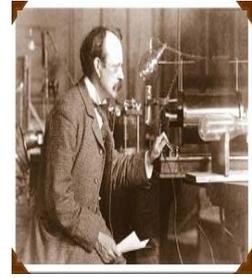
Il est extrêmement important de noter que les résultats quantitatifs des expériences de Crooks sont reproductibles et ce, quelque soit

Le gaz résiduel contenu dans le tube. Les particules chargées négativement sont identique pour tous les éléments.

Ces particules sont donc « un constituant universel » de la matière.

Le chimiste et physicien anglais **Stoney** proposa de les appeler « élec/trons »

Chapitre I : les constituants de l'atome



Expériences de JOSEPH JOHN THOMSON (1895) :

J.J. THOMSON
(1856 - 1940)

À la fin du XIX^e siècle, plusieurs savants dont Crookes, Perrin et le physicien anglais **Joseph John Thomson** pour suivent leurs expériences et étudient le comportement des **rayons cathodiques** en présence d'aimants et de champs électriques. Ils découvrent que ces rayons dévient en leur présence.

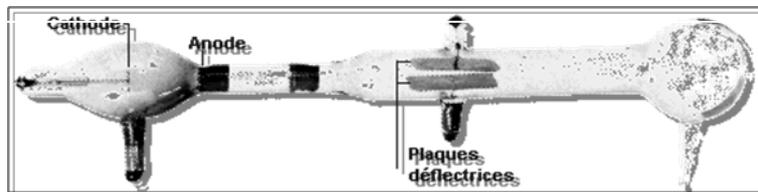
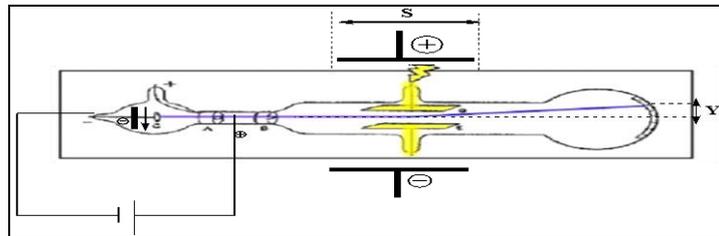


Schéma d'un tube de Crookes modifié par J.J. Thomson.

Note: J.J. Thomson utilise cet appareil dans ses expériences.

Le tube mesure environ un mètre de long et il est entièrement fait à la main.



Expérience de J.J. Thomson.

Schéma du tube cathodique utilisé par J. J. Thomson pour étudier la déflexion du faisceau d'électrons. Les électrons, chargés négativement, sont produits à la cathode par un filament chauffé, puis accélérés par l'anode (positive).

Ils sont ensuite déviés lors de leur passage entre les plaques électriques, tombent sur un écran phosphorescent et donnent naissance à une tache lumineuse.

Chapitre I : les constituants de l'atome

Lorsqu'un électron traverse un champ électrique, il est attiré vers la plaque positive du condensateur sous l'action de la force électrique $\vec{F}_e : \vec{F}_e = e \cdot \vec{E}$

e : charge de l'électron et E : champ électrique

de même lorsque l'électron traverse un champ magnétique, il est dévié sous l'action de la force développée par le champ magnétique $\vec{F}_m : \vec{F}_m = e \cdot \vec{B} \cdot \vec{v}$

e : charge de l'électron , B : induction magnétique et V : vitesse de l'électron

Les condition expérimentales permettent de développer à l'intérieur du condensateur S les forces \vec{F}_e et \vec{F}_m telles que $\vec{F}_e = \vec{F}_m$ ou $\vec{F}_e \neq \vec{F}_m$.

1^{er} cas

Si $\vec{F}_e = \vec{F}_m$ (l'électron sera dévie du cote de la force la plus élevée)

2^{ème} cas

Si $\vec{F}_e = \vec{F}_m$ (l'électron traversera l'espace S, ou règnent les champ électrique E et magnétique d'induction B, sans déviation puisque le bilan des forces s'annule), donc $\vec{F}_e = \vec{F}_m$ ou $e \cdot \vec{E} = e \cdot \vec{B} \cdot \vec{v}$

$$\Rightarrow v = \frac{E}{B} \dots\dots\dots (1)$$

V : vitesse de l'électron dans l'espace S.

Dans le cas ou on applique le champ électrique seul dans l'espace S, lorsque l'électron entrera dans le champ il sera soumis à la force électrique uniquement : $\vec{F}_e = e \cdot \vec{E} = m \cdot \vec{a}$

L'électron aura un mouvement uniformément accélère que nous pouvons décomposer selon les axes de coordonnées xx' et yy' d'un repère orthonormé.

Suivant l'axe des abscisses xx' :

$$\sum F_x = m \cdot \gamma_x \text{ or, } V \text{ est constante} \Rightarrow \gamma_x = 0 \Rightarrow \text{Le mouvement selon } xx' \text{ est monocinétique}$$

$$\gamma_x = 0 \Rightarrow \frac{dx}{dt} = \text{constante} \Rightarrow x = V_x t + x_0$$

à t = 0, x₀ = 0 et V = V_x , selon l'axe des abscisses, le mouvement est uniforme rectiligne, d'équation: x = V t (2)

Chapitre I : les constituants de l'atome

Suivant l'axe des ordonnées yy' :

$\sum F_y = m \cdot \gamma_y \Rightarrow \gamma_y \neq 0 \Rightarrow \sum F_y = m \cdot \gamma_y$ or, la seule force agissant est la force électrique

$$\vec{F}_e = q \cdot \vec{E} = m \cdot \vec{\gamma}_y$$

$$\Rightarrow q \cdot E = m \cdot \gamma_y$$

Selon l'axe des ordonnées, le mouvement est uniforme accélère : $y = \frac{1}{2} \gamma_y t^2 \dots(3)$

De la relation (3), on exprime le temps t et de la (1) la vitesse V ; en les reportant dans l'expression (4), on obtient l'expression de trajectoire y des électron de masse m et de charge $q = e$, en fonction de x . cette trajectoire est une parabole .

$$\left. \begin{array}{l} t = \frac{x}{v} \\ v = \frac{E}{B} \end{array} \right\} \Rightarrow y = \frac{e B^2}{2 m_e E} x^2 \dots\dots\dots(4)$$

La trajectoire parabolique du mouvement entre les plaques du condensateur, en fonction du temps sera de la forme (3) :

$$y = \frac{1}{2} \gamma_y t^2 \quad y : \text{déviation par rapport à l'axe du champ, } \gamma : \text{accélération de l'électron.}$$

J. J. Thomson, fin expérimentateur doué pour interpréter des résultats, conclut que ces rayons lumineux sont des particules négatives.

Détermination de e/m :

Si L représente le trajet parcouru par l'électron durant le temps t, on pourra écrire $x = L = V \cdot t$

$$t = \frac{L}{v} \quad , \quad v = \frac{E}{B} \quad \text{et par identification des relation (3) et (5)}$$

$$y = \frac{e E}{m_e} \dots\dots\dots(5)$$

En remplaçant toutes ces variables dans l'expression (4), on aboutira à :

$$\frac{e}{m_e} = \frac{2 y E}{L^2 B^2}$$

Chapitre I : les constituants de l'atome

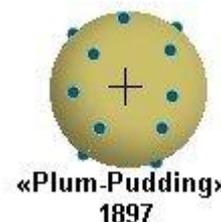
$$y = \frac{L^2 e B^2}{2 m_e E} \Rightarrow$$

le rapport entre la charge électrique (e) des particules et leur masse (m):

$$e/m = 1,76 \times 10^{11} \text{ C/kg.}$$

Cette valeur ne correspond au rapport d'aucun élément connu. L'électron constitue donc une particule à part entière, commune à tous les atomes.

En 1897, Thomson construit un modèle atomique fondé sur les résultats des expériences faites à partir du tube de Crookes. Il représente l'atome comme un «gâteau aux raisins»: les «raisins» sont les électrons, la «pâte» est chargée positivement et le «gâteau» est électriquement neutre. On donnera le nom de «Plum-Pudding» au modèle atomique de Thomson.



En résumé, la conception de la matière selon J.J.Thomson:

- L'atome est une sphère de densité uniforme.
- L'atome est fait de particules négatives et de particules positives.
- Le nombre de particules négatives et de particules positives est égal, donc l'atome est neutre.
- A évalué le rapport de la charge massique à : $e/m : 1,76.10^{11} \text{ Coulomb/Kg}$

Expériences de Robert Andrews Millikan (1911) :

Cette expérience a pour but la détermination de la charge élémentaire (e). une fois obtenue et avec le rapport de charge massique déterminée par J.J.Thomson, Millikan en déduira la masse élémentaire de l'électron.



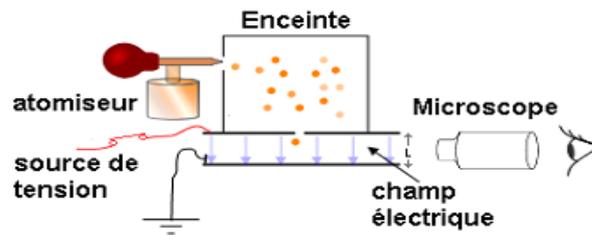
Robert Andrews Millikan
(1868-1953)

On pulvérise des gouttelettes d'huile dans une enceinte où règnent, une température et une pression toutes deux constantes.

L'appareil, muni d'un condensateur que l'on peut charger d'une source de rayon X (RX) et d'un microscope optique, permet de mesurer les distances parcourues par les gouttelettes.

On supposera que les gouttelettes sont de forme sphérique, le volume d'une sphère étant $V = \frac{4}{3} \pi r^3$ et r étant le rayon de la sphère.

Chapitre I : les constituants de l'atome



Le mouvement des gouttelettes sera étudié en présence et absence de champ électrique.

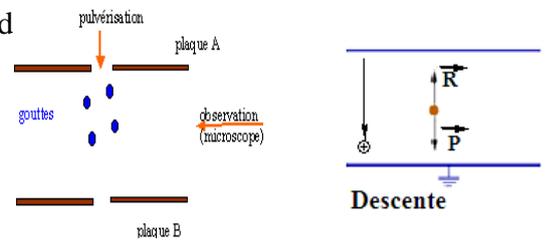
Cas ou il n'y a pas de rayonnement X et pas de champ électrique ($E = 0$) :

Cette gouttelette sera soumise à trois forces **P** (**Poids**), **P₀** (**Poussées d'Archimède**) et **R** (**Stokes « Frottement »**).

Isolons par « l'esprit » une goutte d'huile qui pénètre par l'orifice de la plaque supérieure du condensateur. En l'absence de champ électrique, la gouttelette subira une chute libre sous l'action de la pesanteur.

Cette gouttelette sera soumise à deux forces P (Poids) et R(force de Stokes) :

Note : la force de stocks (frottements) est toujours orientée d
opposé du mouvement.



R : (force de stocks) = $6 \pi \eta r V$

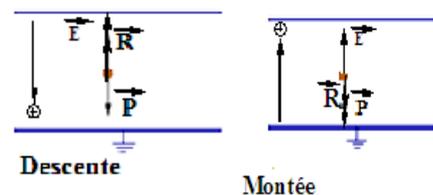
η : Indice de viscosité de l'air

r : rayon de la gouttelette d'huile

V : vitesse de la gouttelette d'huile

P : (Poids) = m g

m : masse de la gouttelette d'huile



Cas ou il ya présence du rayonnement X et du champ électrique : Donc ($E \neq 0$)

Chapitre I : les constituants de l'atome

Lorsqu'on envoie les rayons X, on ionise les molécules gazeuses contenues dans l'enceinte. Les électrons arrachés ou les ions positifs se fixent sur les gouttelettes d'huile qui se chargent alors positivement ou négativement selon le cas.

Si on applique un champ électrique E, les gouttelettes seront attirées par l'une des deux plaques du condensateur.

L'expérience montre que même en présence du champ électrique, les gouttelettes atteignent rapidement une vitesse limitée (ou constante).

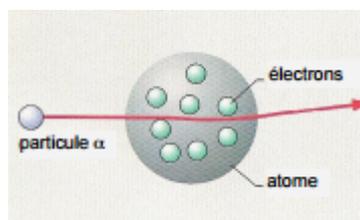
Millikan a trouvé que toutes les charges étaient des multiples de la charge q. il l'a nommée élémentaire (e), de valeur :

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ coulomb}$$

En combinant les résultats des expériences de J.J. Thomson (e/m) et de Millikan (e), la masse de l'électron a pu être évaluée à :

$$m_e = 9,108 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

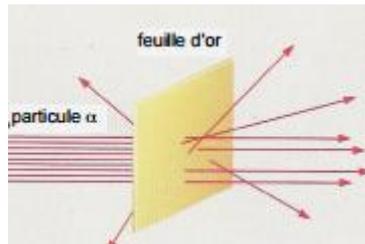
Joseph J. Thomson a découvert en 1897 pour la première fois que les rayons jusqu'alors inconnus qui sortent d'une cathode incandescente sont un flux de particules qui proviennent des atomes. Ces particules s'appellent électrons. On a dû abandonner l'idée de l'indivisibilité des atomes. Modèle atomique de Thomson une masse sphérique, chargée positivement, dans laquelle les charges négatives sont noyées. Le modèle est également appelé modèle "plum-pudding", parce que les charges négatives sont comme des raisins noyés dans une pâte de masse positive.

**Modèle atomique de Thomson**

Chapitre I : les constituants de l'atome

Noyau

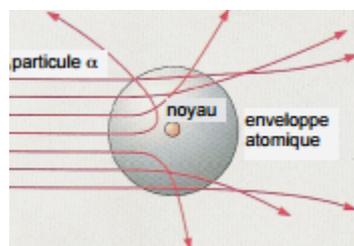
En 1911, Ernest Rutherford a découvert en propulsant un rayonnement radioactif de particules sur une feuille d'or (expérience de diffusion, fig. 2) que les atomes sont constitués en grande partie de vide et que la matière est concentrée dans le très petit noyau. La plupart des particules du rayonnement radioactif traversaient sans encombre la feuille d'or, très peu étaient déviées.



Expérience de diffusion de Rutherford

Modèle atomique de Rutherford

- L'atome (diamètre 10^{-8} cm) est constitué d'une enveloppe et d'un petit noyau massif (de manière idéalisée, ponctuel) (diamètre 10^{-13} cm), qui contient pratiquement toute la masse de l'atome.
- Autour du noyau chargé positivement, il existe un champ électrique puissant; les électrons chargés négativement forment l'enveloppe atomique.
- Le nombre de charges élémentaires positives dans le noyau (nombre atomique) est aussi grand que le nombre d'électrons de l'ensemble de l'atome, de sorte qu'il apparaît neutre vis-à-vis de l'extérieur.



Modèle atomique de Rutherford

Chapitre I : les constituants de l'atome

Noyau : Il est constitué de **nucléons**. Le nombre de nucléons se note (A) . (A) s'appelle « **nombre de masses** ».

Les nucléons sont de deux sortes :

 **les neutrons** : particules électriquement neutres (charge nulle)

masse d'un neutron $m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27}$ kg.

Le nombre de neutrons se note N.

 **les protons** : particules de charge positive.

q_p : charge d'un proton ; $q_p = e =$ charge élémentaire = $1,6 \cdot 10^{-19}$ C (Coulomb).

Masse d'un proton : $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27}$ kg.

Le nombre de protons se note Z. Z s'appelle « **numéro atomique** » ou « **nombre de charges** ».

Les nucléons représentant les protons et les neutrons : **$A = Z + N$**

Remarque : e est la charge élémentaire (la plus petite charge connue). Le proton et le neutron ont pratiquement la même masse qui est environ 1836 fois plus grande que celle de l'électron.

le neutron : désigné par la lettre n, est une particule non chargée, donc neutre découverte par **Chadwick** en 1930. La masse du neutron est égale à : $m_n = 1,6749543 \cdot 10^{-27}$ kg, soit une valeur légèrement supérieure à celle du proton. Le neutron est une particule instable qui peut se transformer en donnant deux autres particules, un proton et un électron, et en libérant de l'énergie. On représente cette transformation par une équation analogue à une équation chimique. **$n \rightarrow p + e + \text{énergie}$**

Les particules protons et neutrons sont encore appelées des nucléons Remarque : Les valeurs des masses des particules que nous indiquons ici sont celles des particules au repos, c'est à dire à vitesse nulle. Lorsque ces particules se déplacent, elles peuvent acquérir des vitesses très élevées : voir accélérateurs de particules. Dans ces conditions, leur masse en mouvement peut être très différente de leur masse au repos.

Représentation

Le noyau le plus simple est celui de l'atome d'hydrogène. Ce noyau ne contient qu'un seul proton. Les autres noyaux qui constituent les différents atomes sont formés de plusieurs protons et neutrons. Le nombre de protons et de neutrons caractérise un type d'atomes que l'on définit par les valeurs : - Z, appelé numéro atomique qui indique le nombre de protons. -A, appelé nombre de masse, avec $A = Z + N$ où N est le nombre de neutrons. Un tel atome aura un noyau de charge $+Zq$.

Chapitre I : les constituants de l'atome

Un nucléide caractérise l'ensemble des atomes dont le noyau contient le même nombre de protons et le même nombre de neutrons. Ainsi un nucléide de symbole chimique X sera représenté par la formule A_ZX .

Exemple : La formule ${}^{12}_6C$ définit le nucléide carbone dont le noyau est constitué de 6 protons et de $12 - 6 = 6$ neutrons.

Bibliographie**Ouvrages consultés :**

1. BANDZUCK, C., L. BÉLISLE et P. VALIQUETTE. Odyssée, Montréal, Éditions du Renouveau pédagogique inc., **1991**, 527 p.
2. BOUCHARD, REGENT, ET ROGER DIONNE. Découvertes - Manuel d'apprentissage, Montréal, Lidec inc., **1992**, 617 p.
3. GRENIER, Eva. En quête des propriétés et de la structure, Montréal, Les Éditions HRW ltée, **1991**, 150 p.
4. MASSAIN, R. Chimie et chimistes, Paris, Éditions Magnard, **1961**, 392 p.
5. «Sir J.J.THOMSON ». **1997**.
6. Jean Perrin, Les Atomes, **1913**, Éditions Félix Alcan, Paris, [détail des éditions]
7. Exposé de Millikan lors de son prix Nobel en **1923**.
8. R.OUAHES, B.DEVALLEZ, « *Chimie générale* » l'office des publications universitaires-édition :1.03.3043. **2003**.