

Chapitre 4

Les électrons, protons et neutrons

La découverte des électrons

La première particule qui a été identifiée expérimentalement en tant que telle n'est pas l'atome, mais une particule plus petite: l'électron.

Vers la fin du XIX^{ème} siècle, de nombreux chercheurs étudient les rayons cathodiques. Il s'agit du rayonnement observé lorsqu'un gaz contenu dans un tube est soumis à une décharge électrique.

En 1858, Julius Plücker remarque que les rayons cathodiques sont déviés par un aimant.

En 1869, Johann Hittorf observe l'ombre nette d'un objet opaque projetée dans un tube à rayons cathodiques:



La nature de ce rayonnement était controversée: certains physiciens, comme Heinrich Hertz (1857-1894), pensaient qu'il s'agissait d'une onde et d'autres, comme Joseph John Thomson (1856-1950), pensaient qu'il s'agissait d'un flux de particules.

Ce fut en 1895 que Jean Perrin prouva, en envoyant les rayons cathodiques dans une cage de Faraday¹, qu'ils étaient formés de particules chargées d'électricité négative.

En 1897, J. J. Thomson réalisa des expériences dans lesquelles il envoya les rayons cathodiques dans un champ² magnétique³ et dans un champ électrique. En mesurant la déviation du faisceau, il put calculer, à partir des lois de la mécanique, la valeur numérique du rapport entre la charge électrique des particules et leur masse. De plus, il constata que cette valeur reste la même, quelle que soit la nature des décharges électriques et le gaz utilisés dans le tube à rayons cathodiques.

Ces expériences de Thomson indiquent que ces particules, appelées électrons, sont un constituant de toute substance, donc universel.

En 1911, Robert Millikan (1868-1953) détermina la valeur de la charge électrique d'un électron à partir de laquelle on put déduire la valeur de leur masse. Ces valeurs, arrondies, sont: $-1,602 \cdot 10^{-19}$ coulomb⁴ pour la charge électrique et $9,109 \cdot 10^{-31}$ kilogramme pour la masse d'un électron.

La découverte des rayons X et de la radioactivité

En 1895, le physicien allemand Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) découvrit un nouveau type de rayonnement capable de traverser des corps opaques à la lumière. On leur donna le nom de rayons X.

¹ Cage de Faraday: dispositif à paroi conductrice, permettant d'isoler électriquement les corps placés à l'intérieur.

² Champ: ensemble des valeurs que prend une grandeur physique en tous les points d'un espace déterminé.

³ Magnétique: doué des propriétés de l'aimant.

⁴ Coulomb: unité de quantité d'électricité et de charge électrique.

Ils furent rapidement utilisés en médecine pour les radiographies, même si leur nature n'était pas comprise: il fallut attendre 1910 pour que Max von Laue (1879-1960) les assimile à un rayonnement électromagnétique⁵ de même nature que la lumière.

En 1896, Henri Becquerel (1852-1908) observa par hasard la radiation émise spontanément par de l'uranium.

Deux ans plus tard, Pierre et Marie Curie isolent une substance qui est une source puissante de ce rayonnement: le radium. Ils baptisent ce phénomène "radioactivité".

En étudiant l'absorption de ces rayonnements par la matière, Ernest Rutherford (1871-1937) constata en 1898 que l'uranium émettait deux types de rayonnement différents qu'il appela α (alpha) et β (bêta).

Paul Villard (1860-1934) découvrit en 1900 un troisième type de rayonnement plus pénétrant appelé γ (gamma).

Par une expérience analogue à celle de Thomson, Becquerel établit expérimentalement en 1899 le rapport "charge électrique / masse" des rayons β , et découvre qu'il s'agit d'électrons.

Une telle expérience est plus difficile à effectuer pour les rayons α , car leur déviation est beaucoup plus petite. Rutherford effectua cette détermination en 1906 et le résultat obtenu lui suggéra que les rayons α pouvaient être des ions hélium, c'est-à-dire des atomes d'hélium chargés d'électricité positive. Cette interprétation fut confirmée expérimentalement en 1908.

Par des expériences de diffusion sur des cristaux, Rutherford montra en 1914 que les rayons γ sont, comme la lumière ou les rayons X, un rayonnement électromagnétique.

Parallèlement à l'identification des rayonnements émis par les corps radioactifs, il fallait aussi déterminer la cause du phénomène de la radioactivité. Les expériences que Rutherford effectua avec Frederick Soddy (1877-1956) les amènent à constater qu'au fur et à mesure qu'une substance radioactive émet son rayonnement, elle se transforme en une autre substance chimiquement différente.

Cette nouvelle de la transmutation des éléments fit l'effet d'une révolution car elle était en contradiction avec les principes de base de la chimie. De plus, Rutherford et Soddy remarquèrent que l'activité radioactive d'une substance diminuait avec le temps et ils établirent la loi correspondante.

Toutes ces observations confirment de façon convaincante l'hypothèse de la structure corpusculaire⁶ de la matière.

La découverte du noyau de l'atome et du proton

Suite à la découverte de la radioactivité, la réalité des atomes est admise. On sait qu'ils possèdent des électrons et que la matière, et par conséquent les atomes qui la composent, est électriquement neutre. L'atome doit donc posséder un constituant de charge positive pour compenser la charge négative des électrons.

On imagina différents modèles de répartitions des charges électriques dans la matière, mais ce fut Rutherford par une expérience célèbre qui permit de comprendre la structure de base de l'atome.

Sous la direction de Rutherford, Hans Wihlem Geiger (1882-1945) et Ernest Marsden (1889-1970) étudient la manière dont les particules α sont absorbées par la matière. En 1911, l'une de ces expériences consiste à bombarder une mince feuille d'or avec des particules α émises à grande vitesse par une source radioactive. On s'attendait à ce que ces particules de grande masse traversent la feuille d'or en n'étant quasiment pas déviées, ce qui était le cas pour la majorité d'entre elles. Toutefois, certaines subissaient de très grandes déviations et pouvaient même "rebondir" sur la feuille d'or.

⁵ Electromagnétique: relatif à la partie de la physique qui étudie les relations entre électricité et magnétisme, le magnétisme étant l'ensemble des phénomènes que présentent les matériaux aimantés.

⁶ Corpusculaire: relatif aux corpuscules, c'est-à-dire aux atomes.

Rutherford interpréta ces déviations par l'action d'une force électrique entre les particules α et les constituants de charge positive de la feuille d'or. Il en déduisit que les atomes sont constitués, en plus des électrons, d'une minuscule partie de charge électrique positive contenant quasiment toute la masse; il proposa un modèle d'atome où les électrons tournent autour d'un noyau central, chargé positivement et contenant l'essentiel de la masse. Ces travaux permettent aussi de calculer un ordre de grandeur de la taille du noyau des atomes: 10^{-14} mètres, soit 100'000 fois moins que la taille de l'atome.

En 1917, Rutherford reprend des expériences commencées par Marsden et met en évidence que le noyau d'hydrogène, auquel il donne le nom de proton, est présent dans les noyaux de tous les autres atomes.

Ce n'est qu'en 1932, avec la découverte du neutron, que l'on connaîtra tous les constituants du noyau des atomes.

La découverte du neutron

Des expériences sur la radioactivité révèlent que certains éléments chimiques, comme le carbone, présentent parfois un caractère radioactif et parfois non; les atomes de ces éléments existent donc en plusieurs "versions" différentes.

Ces "versions" d'un même élément chimique sont constituées d'atomes ayant des masses légèrement différentes.

L'explication de ces différences de masse fut donnée en 1932 lorsque James Chadwick (1891-1974) montra expérimentalement l'existence dans le noyau de particules neutres de masse à peu près égale à celle du proton: les neutrons.

Si tous les atomes d'un même élément chimique possèdent le même nombre de protons, caractéristique de chaque élément, ils peuvent se distinguer par un nombre différent de neutrons. Deux atomes qui ne diffèrent que par leur nombre de neutrons ont les mêmes propriétés chimiques; il s'agit donc du même élément chimique. On dit qu'il s'agit d'isotopes de cet élément.

Après la découverte du neutron, on considère que l'atome est constitué de trois sorte de particules: les protons et les neutrons dans un minuscule noyau entouré d'électrons très éloignés; la matière est en ce sens essentiellement constituée de vide.

La découverte de nouvelles particules

L'idée que défendent les physiciens du XXème siècle est que la matière est formée à partir d'un petit nombre de constituants: les particules élémentaires. Une particule est dite élémentaire si elle n'est pas, elle-même, formée de constituants plus petits. Ce n'est pas le cas de l'atome puisqu'il est formé de protons, de neutrons et d'électrons.

La question est de savoir si ces dernières particules sont élémentaires ou s'il en existe d'autres.

Durant la seconde moitié du XXème siècle, on découvrit de nombreuses particules nouvelles. L'histoire de leur découverte est un chassé-croisé permanent entre théorie et expériences: l'existence de certains d'entre elles fut d'abord prédite théoriquement, puis confirmée ultérieurement par des expériences adéquates, alors que d'autres ont d'abord été observées expérimentalement, puis incluses ensuite dans les théories.

Etant donné que leurs descriptions et leurs découvertes font appel à des notions qui dépassent largement le cadre de ce cours, nous n'allons pas en parler, la modèle atomique électron-proton-neutron étant suffisant pour la compréhension des différents points que nous allons aborder.

Citons simplement quelques noms de ces particules: les photons (particules de la lumière), les bosons, les mésons, les gluons, les fermions, les baryons, les quarks, les leptons, les muons, les taons, les neutrinos...