Corpuscules intervenant dans l'architecture de l'atome

par Albert GLODEN

professeur à l'Athénée de Luxembourg

Corpuscules intervenant dans l'architecture de l'atome

par le professeur Albert GLODEN.

Dans cet article je me propose de donner un aperçu sur les corpuscules qu'on considère ou qu'on a considérés comme des constituants fondamentaux de l'atome. Mon but principal est d'individualiser ces corpuscules, de rappeler un certain nombre d'expériences dans lesquelles ils se manifestent et d'indiquer leurs propriétés essentielles.

Ions.

On appelle ion un atome ou un groupe d'atomes (fragment de molécule) portant une charge électrique, positive ou négative. Je considérerai la production d'ions dans les liquides et dans les gaz.

Ions dans les liquides.

Les faits de l'électrolyse s'expliquent aisément en admettant l'existence d'ions, c'est-à-dire, de fragments de molécule de l'électrolyte portant les uns des charges positives, les autres des charges négatives.

On sait qu'il faut 96 490 coulombs (quantité désignée sous le nom de faraday) pour libérer 1 atome-gramme d'hydrogène. Or, un atome-gramme d'hydrogène renferme $60{,}6 \cdot 10^{22}$ atomes. Si l'on suppose que tous les atomes de H portent des charges égales, on trouve pour la charge d'un ion de H le nombre

$$e = \frac{96\,490}{60{,}6 \cdot 10^{22}} = 1{,}59 \cdot 10^{-19} \text{ coulombs.}$$

Comme 1 coulomb $= 3 \cdot 10^{9}$ u. E. S. c. g. s, on a encore

$$e = 4{,}77 \cdot 10^{-10} \text{ u. E. S. c. g. s.}$$

C'est ce qu'on appelle la charge élémentaire. On n'a jamais réussi à mettre en évidence des quantités d'électricité inférieures à celle-ci.

Ions dans les gaz.

Sous l'influence d'un rayonnement électromagnétique tel que la lumière, les rayons ultraviolets, les rayons X, les rayons γ, les rayons cosmiques, les gaz deviennent plus ou

moins conducteurs. Certains atomes prennent une charge positive, d'autres une charge négative, ce sont des ions gazeux. Il est possible d'individualiser ces ions. Alors que des milliards de molécules neutres peuvent passer inaperçues, on a des méthodes permettant de déceler un seul ion. Dans un air chargé d'humidité et dépourvu de poussières, la condensation se produit toujours autour des ions, chaque gouttelette révèle un ion. La valeur de la charge élémentaire donnée par l'expérience de MILLIKAN (1868) est

$$e = 4{,}774 \cdot 10^{-10} \text{ u. E. S. c. g. s.,}$$

donc légèrement supérieure à celle que nous avons donnée plus haut.

Je reviendrai sur l'ionisation après avoir donné les propriétés du négaton.

Electrons négatifs ou négatons.

Le terme d'électron est employé souvent pour désigner l'électron négatif. Il a été employé pour la première fois par Johnstone STONEY. Il convient de mentionner la découverte des rayons cathodiques par HITTORF en 1869. Les rayons cathodiques sont constitués par des grains d'électricité négative tous identiques entre eux, se sont des négatons. A leur découverte restent attachés les noms de CROOKES, J. J. THOMSON, LENARD, VILLARD, Jean PERRIN. Voici quelques expériences dans lesquelles sont produits des négatons:

1° production de rayons cathodiques dans des tubes de CROOKES;

2° projection de négatons par des substances radioactives;

3° effet photoélectrique découvert par HERTZ en 1887: projection de négatons par un corps éclairé par certaines radiations de fréquence suffisamment élevée;

4° effet thermoionique: des négatons s'échappent d'une matière incandescente.

Dans toutes ces expériences on constate la présence de particules électrisées toutes identiques entre elles, tous ces granules ont même charge et même masse.

$$e = 4{,}774 \cdot 10^{-10} \text{ u. E. S. c. g. s.}$$

$$m = 0{,}9 \cdot 10^{-27} \text{ g.}$$

Je rappelle que le calcul de m se fait d'après les déterminations réalisées expérimentalement de $\frac{e}{m}$ et de e. La masse du négaton est $\frac{1}{1840}$ de celle de l'atome d'hydrogène. Elle est d'origine purement électromagnétique, c'est-à-dire, elle carac-

térise le coefficient d'inertie, la résistance au mouvement du négaton. Cette masse n'est d'ailleurs pas constante, mais fonction de la vitesse, comme l'indique la formule

$$m(v) = \frac{m}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

m désigne ici la masse du négaton au repos, m(v) celle du négaton animé d'une vitesse v; c est la vitesse de la lumière. A des négatons animés de très grandes vitesses il faut appliquer cette formule de la mécanique relativiste.

Quant au rayon de l'électron, on peut s'en faire une idée d'après la formule

$$m = \frac{2e^2}{3r}$$

qui donne la masse d'une charge e répartie uniformément sur une sphère de rayon r placée dans le vide. Retenons que le rayon du négaton est 10^{-5} de celui de l'atome; si donc l'on se représente l'atome comme une sphère de 100^m de rayon, l'électron est figuré par une sphère de 1^{mm} de rayon.

Les négatons sont des atomes d'électricité négative. La structure discontinue de l'électricité négative est établie d'une façon qui exclut le doute.

(On sait que l'électricité positive a aussi une structure discontinue, mais il y a dissymétrie entre les deux espèces d'électricité.)

La facilité avec laquelle on avait pu extraire de la matière des flots de négatons conduisit les physiciens à admettre que le négaton est une pièce essentielle de l'architecture atomique. On admet que les négatons de l'atome sont répartis en plusieurs couches, que d'autre part ils se déplacent sur des orbites circulaires situées dans un même plan avec la partie centrale de l'atome à la manière des planètes gravitant autour du soleil. L'expérience conduit à penser que les négatons sont dans la partie extérieure de l'atome. On les a appelés électrons périphériques ou encore électrons planétaires.

Explication de l'ionisation. Etant donné qu'il y a des négatons dans les couches extérieures de l'atome, on peut donner l'explication suivante de l'ionisation des gaz. Sous l'influence d'un rayonnement électromagnétique un ou plusieurs négatons sont arrachés à l'atome. Celui-ci étant neutre à l'état normal, perdant une charge négative, manifestera à l'extérieur une charge positive. Les négatons libérés seront captés par d'autres atomes primitivement neutres, ces atomes prendront des

charges négatives. Ainsi s'explique la présence dans le gaz d'ions positifs et d'ions négatifs.

Un atome ionisé capte aussitôt qu'il le peut les négatons perdus. Une étincelle très violente et chaude chasse de l'atome tous les négatons de la ceinture périphérique. Un atome ainsi privé de sa couche d'électrons périphériques a été désigné par MILLIKAN sous le nom d'«atome épluché».

Remarque sur la structure de l'atome.

Pour expliquer que l'atome est électriquement neutre à l'état normal il faut admettre, puisqu'on a reconnu expérimentalement l'existennce de négatons dans les couches extérieures de l'atome, qu'il existe à l'intérieur de l'atome une charge positive égale à la charge totale des électrons périphériques. J. J. THOMSON avait admis d'abord que la charge positive était répartie dans tout le volume de l'atome. Mais à la suite des expériences de RUTHERFORD et de ses collaborateurs sur la déviation des rayons alpha cette conception dut être abandonnée. En effet, la rencontre avec un seul atome déterminait parfois une déviation très forte dépassant même 90°. Il faut admettre pour expliquer ces déviations qu'il existe au centre de l'atome un noyau positivement chargé et de très petites dimensions par rapport à l'ensemble de l'édifice atomique.

Protons.

L'atome d'hydrogène, le plus simple de tous, n'a qu'un négaton périphérique. S'il le perd, il devient un atome épluché. L'atome d'hydrogène privé de son unique négaton s'appelle proton.

Voici les caractéristiques du proton:

$$e = 4{,}774 \cdot 10^{-10} \text{u. E. S. c. g. s.}$$

$$m = 1840 \text{ fois celle du négaton.}$$

Quelles sont les preuves expérimentales de l'existence individuelle du proton? Elles remontent aux expériences mémorables effectuées par Lord RUTHERFORD en 1919. Un certain nombre d'éléments, parmi lesquels le bore, le fluor, le sodium, l'aluminium, le phosphore frappés par les rayons alpha des corps radioactifs émettent des corpuscules de masse égale à celle de l'atome d'hydrogène et ayant une charge positive équivalente à celle du négaton. On les a appelés protons.

Le proton a été considéré longtemps comme la plus simple particule chargée d'électricité positive pouvant exister individuellement. La découverte des positons a infirmé cette façon de voir.

Eu égard à la formule

$$m = \frac{2e^2}{3r}$$

puisque le proton à charge équivalente à celle du négaton a une masse 1840 fois plus grande, son rayon devrait être 1840 fois plus petit que celui du négaton. Mais les expériences sur la déviation des rayons alpha dans leur passage à travers la matière conduisent à admettre que le proton a des dimensions à peu près négligeables par rapport à celles de l'électron.

Jusque vers 1930 le négaton et le proton étaient considérés comme les constituants primordiaux de la matière.

Particules alpha (α) ou hélions.

Les rayons alpha projetés par les substances radioactives sont des atomes chargés d'électricité positive. Les physiciens anglais RAMSAY et SODDY établirent en 1902 qu'ils étaient constitués d'atomes d'hélium privés de leurs deux négatons périphériques; en effet, par capture de deux négatons une particule alpha donnait de l'hélium. La particule alpha est à regarder comme un atome d'hélium épluché. On pouvait donc obtenir de l'hélium à partir du radium; c'était le premier exemple d'une transmutation spontanée fournie par l'étude de la radioactivité.

Neutrons.

En 1930 BOTHE et BECKER signalent que le bombardement de certains éléments légers, notamment du glucinium, par un faisceau de rayons alpha provenant d'un fragment de polonium donne naissance à un rayonnement très pénétrant. On croyait d'abord qu'il s'agissait d'un rayonnement gamma, mais les recherches effectuées ultérieurement et notamment par Irène CURIE et Frédéric JOLIOT montrèrent d'une part que ce rayonnement ne produit pas d'ionisation sensible comme les électrons ou les ions en mouvement rapide, d'autre part que son pouvoir de pénétration était supérieur à celui des rayons gamma. Le nouveau rayonnement peut lancer les noyaux des atomes avec une grande vitesse (noyaux de recul). CHADWICK a proposé d'admettre qu'il était composé de particules de même masse que le proton, mais électriquement neutres. Ces particules sont les neutrons.

Une importante propriété des neutrons est leur grande efficacité comme agents de désintégration. Ceci s'explique aisément. Le neutron ne manifestant aucune charge électrique peut s'approcher du noyau de l'atome chargé positivement bien plus qu'une particule électrisée telle qu'une particule α.

Electron positif ou Positon.

Le positon a été découvert en 1932 par les physiciens américains ANDERSON, BLACKETT et OCCHIALINI. Etudiant au cours de recherches sur les rayons cosmiques dans un champ magnétique intense l'émission d'une lame de plomb soumise à l'action des rayons cosmiques, ils ont constaté la présence de négatons, de protons et de corpuscules de même masse que le négaton et de même charge en valeur absolue mais positive. Il convient de rappeler qu'avant sa découverte expérimentale DIRAC avait admis l'existence de ce corpuscule.

Du proton et du neutron, lequel des deux est le corpuscule élémentaire?

Rappelons que ce sont des corpuscules de même masse, le proton ayant en plus une charge élémentaire positive. On a d'abord considéré le neutron comme une combinaison d'un proton et d'un négaton.

neutron = proton + négaton. (1)

Mais Irène CURIE et JOLIOT ont constaté que l'émission de protons par les atomes de bore et d'aluminium soumis à un bombardement de rayons alpha s'accompagne d'une émission simultanée de neutrons et de positons. On a donc des raisons d'admettre que le neutron est le corpuscule élémentaire et que le proton résulte de l'union intime d'un neutron et d'un positon.

proton = neutron + positon. (2)

Les égalités (1) et (2) s'écrivent souvent

$$ {}^{1}_{0}\omega = {}^{1}_{1}H + \varepsilon^{-} $$

$$ {}^{1}_{1}H = {}^{1}_{0}\omega + \varepsilon^{+}, $$

le chiffre placé à gauche du symbole en haut indiquant la masse atomique, celui placé à gauche en bas renseignant la charge positive du noyau.

Ajoutons que les corpuscules élémentaires pour édifier les atomes admis actuellement sont:

le négaton, le proton et le neutron.

Les hélions sont formés par l'union intime de 2 protons et de 2 neutrons.

Je donnerai encore la définition des corpuscules suivants: deuton, mésoton, neutrino et anti-neutrino.

Deutons ou demi-hélions.

Le deuton est le noyau du deutérium ou hydrogène lourd découvert par l'Américain UREY de l'Université de COLOMBIA en 1932. Ses propriétés ont été étudiées aussi par BRICKWEDDE et MURPHY. L'hydrogène lourd a été découvert grâce à la spectroscopie et est à considérer comme un isotope de l'hydrogène ordinaire. La masse du deuton est voisine de 2. Le deuton est à considérer comme formé par l'association étroite d'un proton et d'un neutron. Ceci explique l'appellation de demi-hélion.

Mésotons ou mésons.

Les mésotons sont les électrons lourds, à charge positive ou négative. Leur charge égale toujours celle d'un positon ou d'un négaton, mais leur masse est environ 200 fois plus grande. En 1935 le physicien japonais YUKAWA a postulé l'existence des mésotons; ils ont été découverts plus tard dans les rayons cosmiques.

Neutrinos et anti-neutrinos.

Les neutrinos sont des particules légères et non chargées, dont l'existence a été postulée par le physicien PAULI. Le rayonnement bêta d'un élément radioactif comporte des électrons doués d'énergies très différentes. Pour expliquer ces différences, Pauli admet que l'émission d'un électron dans une désintégration radioactive s'accompagne toujours de la projection d'une particule légère et sans charge qu'il a désignée sous le nom de neutrino. Cette particule n'étant pas chargée ne laisserait aucune trace de son passage à travers la matière. L'énergie disponible se partage entre l'électron et le neutrino. S'il y a des différences entre les énergies des électrons expulsés lors d'un rayonnement radioactif, les différences sont dues à l'énergie emportée par les neutrinos. Le neutrino a échappé jusqu'ici à toute investigation directe.

Lorsqu'un neutron se transforme en proton, l'émission d'un négaton s'accompagnerait de celle d'un neutrino; lors de la transformation inverse, donc d'un proton en un neutron, il y aurait émission non seulement d'un positon, mais d'un corpuscule appelé anti-neutrino, également dépourvu de charge électrique.

Les neutrinos et anti-neutrinos servent à sauver le principe de conservation de l'énergie dans l'émission d'électrons par les éléments radioactifs.

Voici la liste des corpuscules que j'ai étudiés dans cet article avec leurs caractéristiques massiques et électriques. J'y ai omis les ions qui montrent une plus grande diversité; toutes les particules de même nom figurant sur cette liste sont identiques entre elles, quelle que soit l'expérience dans laquelle on les décèle. Comme on le voit sur le tableau ci-dessous je considère ici comme unité de masse et comme unité de charge électrique celles du négaton.

Liste des corpuscules.

Nom du corpuscule	Masse comparée à celle du négaton	Charge électrique comparée à celle du négaton
Négaton	1	1 —
Proton	1840	1 +
Hélion	4 • 1840	2 +
Positon	1	1 +
Neutron	1	0
Deuton	2 • 1840	1 +
Méson	200	1 + ou 1 —
Neutrino	masse très faible	0
Anti-neutrino	masse très faible	0

Je terminerai par une remarque sur la notion de corpuscule. Elle n'est pas tellement claire qu'on le croit communément. En effet, si on dit corpuscule, on suppose que la matière ou l'énergie du corpuscule sont localisées dans ce qu'on appelle son volume. Or, on a des raisons de poser la question: Qu'est-ce qu'un corpuscule? Le négaton p. ex. n'est pas un simple corpuscule, il a à la fois un aspect corpusculaire et un aspect ondulatoire. Suivant les cas il faut l'envisager comme un corpuscule ou comme une onde. D'une manière générale, ce que nous appelons matière peut manifester des propriétés ondulatoires. Inversement l'énergie peut manifester des propriétés matérielles. La lumière qui agit dans beaucoup de phénomènes comme une onde, intervient dans l'effet photoélectrique comme corpuscule. Les grains de lumière transportant une quantité déterminée d'énergie sont désignés sous le nom de photons.

Ainsi il faut considérer l'électron ou le photon, et, en général, la matière et l'énergie comme une entité ayant un aspect atomique ou discontinu et un aspect ondulatoire ou continu. Suivant les conditions de l'expérience, cette entité se manifeste sous l'un ou l'autre de ces aspects.