Inv. n° 2960

Estratto dal *Nuovo Cimento*, Anno XIV, N. 9
Novembre 1937

CELEBRAZIONE DEL SECONDO CENTENARIO DELLA NASCITA DI LUIGI GALVANI

Bologna 18-21 Ottobre 1937-XV

Atti della XXIX Riunione della Società Italiana di Fisica e del Congresso di Fisica

Etat actuel de nos connaissances sur la structure de l'Electricité.

Prof. Louis de Broglie (Paris).

Depuis l'époque où les mémorables découvertes de Galvani et de Volta ont définitivement ouvert devant nous l'immense domaine de l'Electricité, le rôle qu'elle joue dans l'ensemble de la Nature n'a pas cessé de nous apparaître chaque jour plus grand. Il n'est pas exagéré de dire que toute la structure de la Matière nous semble aujourd'hui reposer sur l'existence et les propriétés de cette Electricité dont les travaux des deux illustres Savants Italiens ont contribué d'une manière si décisive à nous réveler l'importance. Il est même curieux de noter qu'à l'heure actuelle nous cherchons à déduire presque toutes les propriétés de la Matière à partir de celles d'une entité physique dont les savants antérieurs au XVIII^{e} siècle soupçonnaient à peine l'existence. Ceci nous montre combien il est imprudent d'affirmer le caractère définitif d'une théorie physique, puisque les conceptions des physiciens de demain reposeront peut-être sur des faits que nous ignorons totalement aujourd'hui.

Déclenchée par l'œuvre capitale de Galvani et de Volta, le développement de la science de l'Electricité s'est opéré d'abord par l'étude des phénomène électriques qui sont à notre échelle et mettent en jeu des quantités relativement importantes d'Electricité, tels par exemple que les courants électriques dans les conducteurs. Il n'en résultait qu'une connaissance globale des propriétés de l'électricité prise en masse, connaissance très importante assurément à beaucoup de points de vue, notamment à celui des applications pratiques et industrielles mais que ne nous faisait pas connaître de façon précise la structure de l'électricité pas plus que la connaissance des lois régissant les mouvements globaux des liquides ne nous renseigne sur la constitution intime de ces corps. Or, de même que l'hypothèse la plus simple sur la structure des liquides est de se les figurer comme des

fluides parfaitement continus, de même l'hypothèse la plus simple que l'étude des phénomènes électriques globaux pouvait suggérer sur la structure de l'Electricité était de l'assimiler à un fluide parfaitement continu. Mais tout de suite se présentait une certaine complication due au fait qu'il y a deux électricités, l'électricité positive et l'électricité négative, présentant l'une par rapport à l'autre une sorte de symétrie. L'idée la plus naturelle était alors d'admettre l'existence de deux fluides électriques distincts et cette théorie des deux fluides eut ses partisans décidés. Mais une telle conception ne s'imposait pas absolument: on pouvait trouver plus simple d'admettre l'existence d'un seul fluide électrique correspondant à l'électricité d'un certain signe, l'apparition de l'électricité de l'autre signe étant alors interprétée comme un « manque » de fluide électrique. Dans cette théorie du fluide unique qui eut aussi ses adeptes convaincus, un corps électriquement neutre contiendrait une certaine quantité de fluide électrique qui serait en quelque sorte la quantité normale et serait indécelable: un corps électrisé contiendrait, suivant le signe de sa charge, une quantité du fluide électrique supérieure ou inférieure à la quantité normale, un excès ou un défaut de fluide électrique. Nous allons voir que la découverte de corpuscules élémentaires d'électricité, tout en établissant la structure granulaire de l'électricité, a paru confirmer le point de vue de la théorie des deux fluides. Puis, par un mouvement d'oscillation qui s'observe fréquemment au cours de l'histoire des sciences, la récente théorie des « trous » de M. Dirac nous a ramené en un certain sens vers l'idée du fluide unique, mais il se peut que cette théorie se transforme un jour ou l'autre en se rapprochant de l'hypothèse dualiste. Ce qui paraît acquis, de quelque façon qu'on veuille l'exprimer, c'est la symétrie essentielle des deux électricités car même dans une théorie du type « fluide unique » on ne peut dire avec certitude laquelle des deux électricités est un « manque » de l'autre. Cette symétrie est sans doute une des réalités les plus fondamentales de toute la Physique.

De même que les progrès de nos connaissances sur la matière nous ont conduit à cesser de considérer les liquides comme des fluides continus et à leur attribuer une constitution atomique, de même les progrès réalisés dans l'étude de l'Electricité vers la fin du XIX^{e} siècle ont conduit à lui reconnaître une structure granulaire. Je ne veux pas rappeler ici, même sommairement, la suite des remarquables investigations expérimentales qui ont conduit à mettre hors de doute l'existence et les propriétés des grains d'électricité négative auxquels on a donné le nom d'électrons, ni de celles qui ont ensuite conduit à considérer le noyau du plus léger des atomes,

l'atome d'hydrogène, comme le grain d'électricité positive ou proton. Pendant assez longtemps, on a pu croire tenir là des éléments de la structure corpusculaire des deux fluides électriques. La symétrie des deux électricités était nettement marquée par le fait que l'électron et le proton ont des charges électriques égales et de signes contraires. Mais, en même temps, une dissymétrie assez inattendue, bien que déjà suggérée par divers phénomènes, se manifestait entre les deux électricités en ce qui concernait leurs rapports avec la masse. Le proton est en effet près de 1850 fois plus lourd que l'électron et, si l'on veut réduire la matière neutre à un immense ensemble de protons et d'électrons en nombre égal, ce sont les grains d'électricité positive qui apportent de beaucoup la plus importante contribution à la masse. De là, cette mobilité plus grande de l'électricité négative dont résultait par exemple dans le modèle d'atome bien connu dû à M. BOHR la position centrale et le caractère presque statique de l'électricite positive autour de laquelle tourbillonnent des électrons en mouvement rapide. Cette « affinité » particulière de l'électricité positive et de la masse a été un des faits les plus importants que la découverte et l'étude de la constitution granulaire de l'Electricité ait permis d'établir.

Après la mise en évidence de l'électron et du proton, le développement des théories de l'atome nous a appris à considérer chaque atome comme formé d'un noyau chargé positivement, entouré d'électrons négatifs en mouvement. Je n'ai pas à rappeler ici la prodigieuse fécondité de cette hypothèse, mais je dois souligner qu'elle semblait confirmer l'idée que toute la matière se réduit à des granules d'électricité. Déjà la théorie électromagnétique avait montré qu'on peut expliquer l'inertie d'un grain d'électricité par l'énergie emmagasinée dans le champ électromagnétique qui l'environne et de là à supposer que toute la matière est constituée par des corpuscules d'électricité dont l'inertie serait d'origine purement électromagnétique, il n'y avait qu'un pas qui fut facilement franchi. Le modèle d'atome de RUTHERFORD-BOHR nous ayant appris que presque toute la masse d'un atome réside dans son noyau, on supposa tout naturellement que le noyau est lui même un agrégat de protons et d'électrons, agrégat se réduisant d'ailleurs à un seul proton dans le cas de l'atome d'hydrogène. Cette hypothèse était aussi fortement suggérée par le résultat de la décomposition spontanée des noyaux telle qu'elle s'opère dans les corps radioactifs. Néammoins, il restait bien difficile de comprendre comment un groupement de protons et d'électrons pouvait subsister à l'état stable dans l'espace si réduit qu'occupe un noyau d'atome.

L'éclosion de la nouvelle Mécanique quantique et ondulatoire n'a pas apporté de grandes modifications en ce qui concerne nos conceptions sur la structure de l'Electricité. Assurément elle a profondément modifié les représentations que nous nous faisions d'un corpuscule et nous a appris à nous méfier des images trop simplistes qu'adoptait la Physique classique à la suite d'une extrapolation trop rapide et trop hardie des données macroscopiques. Mais elle ne met pas en doute la nature foncièrement granulaire de l'Electrité.

Plus importante pour le sujet qui nous occupe a été l'apparition, au cours du développement des théories quantiques de l'électron, de la notion de « Spin ». Pour expliquer un grand nombre de faits, il a été en effet nécessaire d'admettre que l'électron n'est pas entièrement caractérisé par sa charge et par sa masse, qu'il est encore doué d'une sorte de rotation quantifiée interne; on peut, de cette rotation donner une image grossière en assimilant l'électron à une sphère d'électricité négative en rotation autour d'un de ses diamètres. C'est là le spin qui joue aujourd'hui un rôle si important dans toutes les théories de la Physique quantique. La représentation du spin par une rotation de l'électron sur lui-même est naturellement une image qui, bien que parfois utile et suggestive, est certainement trop simpliste et fait partie des représentations indûment extrapolées des grandes échelles aux petites. Le spin est, en réalité, sûrement quelque chose de beaucoup plus fondamental qu'une simple rotation plus ou moins accidentelle de l'électron sur lui-même: il est bien plutôt l'expression d'une particularité de la structure même de l'espace et son existence est sans doute reliée à la constitution corpusculaire et à la dualité de signe de l'Electricité. C'est du moins l'impression que l'on éprouve en examinant de près la belle théorie de l'électron doué de spin due à M. DIRAC. A côté de bien d'autres succès, cette théorie a permis à son auteur de prévoir l'existence d'électrons positifs de même masse que l'électron négatif, mais de charge électrique égale et de signe contraire. Ces électrons positifs apparaissent, on le sait, dans la théorie de M. DIRAC comme constituant un « manque d'électrons » dans une distribution normalement saturée d'états inobservables, à énergie négative, de l'électron. Cette assimilation de l'électron positif à une absence d'électrons négatifs n'est pas, nous l'avons noté, sans présenter une analogie assez curieuse avec l'ancienne théorie du fluide unique. Or l'électron positif existe réellement; il a été découvert il y a 5 ans et sa découverte, avec celle presque simultanée du neu-

tron, a profondément modifié à plusieurs égards nos conceptions sur la structure de l'Electricité.

Le neutron est une particule de masse presque identique à celle du proton et de charge nulle (ou du moins si petite qu'on n'a pu la déceler). Son apparition en Physique a assurément marqué un recul assez net de l'idée que l'inertie est d'origine électromagnétique et est nécessairement liée à la charge électrique. D'autre part, la découverte du positon a rétabli une symétrie complète entre les deux électricités car si l'on considère l'électron et le positon comme étant les particules élémentaires fondamentales de deux électricités, ces deux particules forment un couple entièrement symétrique, ce qui n'était pas le cas du couple électron-proton envisagé auparavant (en raison de la différence des masses). En ne considérant que le neutron et les deux électrons, on peut dire qu'on a d'une part l'unité élémentaire de masse associée à une charge électrique nulle et d'autre part les deux unités parfaitement symétriques d'électricité positive et d'électricité négative associées à une très faible masse. Et l'on obtient ainsi une classification très attrayante par sa simplicité. Mais il y a le proton dont le rôle dans la structure de la Matière est essentiel! On peut admettre que le proton est une particule complexe formée par l'union d'un neutron et d'un électron positif; et en faveur de cette hypothèse, on pourrait invoquer les anomalies présentées par le spin du proton (en ce qui concerne le moment magnétique propre) et le rapport des masses du proton et du neutron. Mais l'hypothèse qui à l'heure actuelle paraît prévaloir consiste à considérer le proton et le neutron comme deux états d'une seule particule, le passage de l'état proton à l'état neutron s'opérant avec création et émission d'un électron positif tandis que le passage inverse de l'état neutron à l'état proton s'opérerait avec création et émission d'un électron négatif. Ainsi il existerait une particule de grande masse, le neutron-proton, susceptibile de deux états, l'un électriquement neutre et l'autre électrisé positivement. Cette hyphotèse utilisée dans les récentes théories du noyau de l'atome permet en particulier d'attribuer aux interactions entre les constituants le caractère d'interaction d'échange, ce qui paraît nécessaire pour expliquer la stabilité de l'édifice nucléaire. La même idée se retrouve d'ailleurs dans la belle et profonde théorie de l'émission des spectres continus β par les corps radioactifs qui est due à M. ENRICO FERMI. Quel que soit le sort final réservé à ces théories encore à leurs débuts, il y a un fait fondamental qui devra toujours être exprimé d'une manière ou d'une autre, c'est l'affinité particulière qui existe entre la masse et l'électricité positive, tout au moins

dans les conditions qui prévalent ordinairement autour de nous. Sans doute on peut concevoir avec certains physiciens, M. GAMOW en particulier, l'existence de protons négatifs où la masse s'allierait à l'électricité négative, mais il est certain que la stabilité de la matière, telle que nous la connaissons habituellement est liée à l'affinité de la masse et de l'électricité positive.

Symétrie des deux sortes d'électrons, existence de particules relativement lourdes et non électrisées, conception nouvelle de la nature du proton, telles sont les idées essentielles que les découvertes récentes nous ont fournies sur la structure ultime de la Matière et de l'Electricité. Déjà l'étude des phénomènes nucléaires commencent à nous donner des indications sur les formes d'interaction entre neutrons et protons, neutrons et neutrons, protons et protons à l'intérieur du domaine inimaginablement petit du noyau des atomes. Nous ne sommes encore qu'au début de ces recherches, mais il est certains qu'elles nous apporteront d'ici peu des connaissances nouvelles sur le rôle fondamental que jouent les grains élémentaires d'Electricité dans l'architecture de la Matière. Et cette conclusion ne fait que rehausser la gloire de ceux qui, comme LUIGI GALVANI, ont par leurs immortelles découvertes rendu possibles les merveilleux progrès de l'Atomistique contemporaine.