Zeitschrift: Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 95 (1912)

Artikel: Atomes et molécules à la lumière de recherches magnétiques récentes

Autor: Weiss, Pierre

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-90200

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.10.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Atomes et molécules
à la lumière de recherches magnétiques récentes

par

Pierre Weiss

Que la philosophie naturelle s'essaye, ambitieuse, à construire un système du monde et à comprendre tout l'univers dans une explication d'ensemble ou que, plus modeste, elle cherche seulement à dominer les faits par la connaissance des lois, il y a des questions fondamentales auxquelles elles ne saurait se dérober.

Aussi bien que l'architecte des cathédrales gothiques, épris d'idéal, que l'ingénieur utilitaire, le philosophe ne peut se dispenser de connaître la matière avec laquelle il construit.

Les idées sur la constitution de la matière sont aussi vieilles que la science elle-même. Les Grecs déjà eurent recours dans leurs explications à deux conceptions opposées : la continuité et la discontinuité de la matière. Ce sont eux qui ont inventé l'*atome,* c'est-à-dire l'indivisible. Mais en réalité pour eux l'atome n'est qu'une limite pratique de la divisibilité ; l'atome lui-même est, dans leur esprit, formé d'une matière au sens usuel du mot. Et ainsi la continuité qui paraissait évincée réapparaît subrepticement.

On montrerait facilement que la science moderne travaille tantôt avec la notion de continuité, tantôt avec la représentation atomique. Si grandes sont les difficultés du problème, si âpre est la lutte contre l'inconnu que toutes les armes sont bonnes. Même des succès retentissants, obtenus avec l'une des

conceptions, ne suffisent pas à discréditer l'autre. Les phénomènes électriques ont été l'objet de remarquables théories fondées sur des mouvements tourbillonnaires dans des fluides continus. L'éther, cette matière hypothétique, plus subtile que la matière ordinaire, qui a été imaginée pour représenter les phénomènes lumineux est douée de propriétés continues. Mais, incontestablement, c'est l'atomisme qui au cours des dernières années a enregistré les plus grands succès.

Notre point de vue est très différent de celui des Grecs. Nous distinguons de nos jours deux étapes dans la divisibilité de la matière. La première va jusqu'aux atomes des corps simples de la chimie dont nous connaissons actuellement une centaine environ, et jusqu'aux molécules formées par la combinaison des atomes. La seconde a pour objet une investigation bien plus approfondie de la matière, elle en est encore à ses débuts et ne comprend jusqu'à présent que des connaissances très fragmentaires sur certains matériaux qui à leur tour composent tous les atomes chimiques. Cette physique nouvelle s'occupe donc d'objets plus petits que l'atome parmi lesquels le plus connu est l'électron. Mais elle ne se les représente pas comme étant formés d'une matière semblable à celle qui nous est familière par l'expérience journalière. Car tout serait à recommencer à une plus petite échelle. Si l'on considère que dans les descriptions nous procédons habituellement par des images empruntées aux objets qui nous tombent sous les sens on conçoit que pour le « plus petit que l'atome » les moyens d'expression puissent nous faire défaut. Tant que l'on n'allait pas plus loin que l'atome ou la molécule on a en général travaillé avec deux images : la première qui suffisait pour une certaine approximation est le solide invariable de la mécanique, la seconde, la loi de force liée à un centre, empruntée à notre système solaire qui permettait d'aller plus loin dans la représentation des phénomènes. Mais déjà certains symptômes, et en particulier les mystérieuses propriétés des Quanta qui ont fait l'objet de la conférence de M. de Kowalski, montrent que ces images ne suffisent pas. C'est donc au milieu des plus grandes difficultés d'expression et de représentation que croît lentement cette science

nouvelle. Elle ne peut que noter attentivement les quelques traits qu'elle devine de l'image voilée. Je voudrais, dans cette causerie, marquer ces deux étapes de l'atomisme et indiquer plus particulièrement en quoi les études magnétiques ont contribué à la connaissance du plus petit que l'atome.

Les phénomènes chimiques, et notamment cette circonstance que les rapports pondéraux dans lesquels les corps se combinent peuvent s'exprimer par les multiples entiers d'une quantité déterminée de chaque corps simple, ont le plus contribué à faire accepter la discontinuité de la matière. On voit en effet immédiatement que si le chlore et le fer sont composés d'atomes identiques entre eux et si les chlorures de fer résultent de la réunion de ces atomes en nombres différents il en résulte que les quantités de chlore qui entrent en combinaison avec une même quantité de fer dans les divers chlorures sont entre elles comme certains nombres entiers. Par contre, sans le secours des atomes, il est extrêmement difficile de se représenter comment il se fait que, dans les deux chlorures, les quantités de chlore combinées à une même quantité de fer sont dans le rapport de 2 à 3 et pourquoi le chlore ne se mélange pas au fer en toutes proportions comme le sucre à l'eau. L'absence de toute autre explication plausible de la rationalité des rapports pondéraux dans les combinaisons chimiques est l'un des appuis les plus anciens et les plus importants de l'atomisme.

La chimie exige donc que la divisibilité de la matière soit limitée mais elle ne montre pas où se trouve la limite. Si, ayant choisi les masses atomiques on les remplaçait ensuite toutes par leur centième partie, rien ne serait changé dans les formules chimiques. En d'autres termes, jusqu'à présent ce ne sont que les rapports qui interviennent. Cela est tellement vrai que l'on a posé arbitrairement une masse atomique, celle de l'hydrogène, égale à l'unité et qu'on en a déduit toutes les autres. Si l'on suppose en outre que les nombres ainsi obtenus représentent des grammes de matière ils forment la série des atomes-grammes.

Mais cette manière de procéder pose immédiatement le pro-

blème de la détermination du nombre d'atomes vrais dans l'atome-gramme.

Ce nombre — le nombre d'Avogadro — est extrêmement grand $0{,}685 \times 10^{24}$; il est probablement connu à 1 % près. Mentionnons brièvement les phénomènes extrêmement divers qui permettent de le déterminer. Ce sont la compressibilité des gaz, leurs constantes dielectiques. C'est aussi l'agitation incessante de très petites particules solides en suspension, connue depuis longtemps sous le nom de mouvement brownien par les microscopistes et qui est une preuve directe de la structure atomique. Ce mouvement montre en effet le mouvement des molécules à peu près comme le roulis et le tangage d'un navire révèle l'agitation de la mer. Une autre détermination de ce nombre a été faite par J. J. Thomson au moyen de la vitesse de chute d'un brouillard formé de gouttelettes d'eau égales et électrisées. Une autre encore résulte de la mesure de l'énergie rayonnée par un corps incandescent et de sa répartition spectrale.

Il est incontestablement très remarquable que des méthodes de mesure aussi différentes, mettant à contribution des phénomènes aussi divers, conduisent à des résultats concordants. Rien n'est plus propre à fortifier la confiance dans la réalité des atomes. Il n'est plus possible à présent de compter l'atomisme parmi ces doctrines provisoires pour lesquelles on a inventé l'expression très heureuse d'hypothèse de travail. Ce n'est pas une théorie qui représente les phénomènes jusqu'à un certain point seulement et qui exige un nouveau contrôle à chaque nouvelle application. On peut dire qu'elle domine la science tout entière.

C'est intentionnellement que j'ai omis dans l'énumération précédente un dernier groupe de déterminations concordantes du nombre d'Avogadro, à savoir celles qui se rattachent aux phénomènes offerts par les substances radioactives. Elles méritent d'être mentionnées à part comme marquant une étape nouvelle dans la certitude. Les rayons α, émis par les substances radioactives, sont des atomes d'hélium chargé d'électricité et projeté avec une très grande vitesse. Si l'on expose un écran

de sulfure de zinc hexagonal à ce rayonnement, chaque projectile provoque, à l'endroit où il porte, une émission momentanée de lumière. Sous la loupe, l'écran ressemble à un ciel étoilé dont les étoiles s'allumeraient instantanément pour s'éteindre aussitôt. Ce phénomène, découvert par Crookes, est le premier dans lequel nos sens ont pu apercevoir l'effet produit par un atome isolé. On détermine le nombre d'Avogadro en comptant, directement ou indirectement, le nombre des atomes d'hélium projetés par une quantité connue de substance radioactive.

L'atomistique du deuxième degré qui s'occupe des matériaux constituant l'atome a son origine dans la structure atomique de l'électricité énoncée d'abord par Helmholtz. L'électricité, on le sait, en traversant une solution d'un sel métallique, la décompose et dépose le métal au pôle négatif, le reste de la molécule au pôle positif. Nous pouvons déterminer d'une part le nombre d'atomes déposés et la quantité d'électricité qui a traversé la solution et nous constatons que chaque atome en arrivant a déposé la même quantité d'électricité, ou tout au plus deux ou trois fois, exactement, cette quantité. Supposons que nous ayons à effectuer le transport d'une denrée (de farine, par exemple) à travers un désert et que nous recrutions à cet effet des bêtes de somme d'espèces variées, aussi prodigieusement différentes les unes des autres que l'est par exemple l'atome d'hydrogène de l'atome de mercure, 200 fois plus lourd. Supposons qu'examinant les charges portées par chaque animal nous les trouvions rigoureusement égales entre elles et cela quelles que soient les conditions au départ, la vitesse du transport, etc. La conclusion qui s'imposera est qu'il ne dépendait pas des porteurs de choisir des charges conformes à leurs aptitudes ou à leurs préférences ; ce n'étaient pas eux qui faisaient les paquets mais ceux-ci leur étaient donnés tout faits.

La même conclusion s'impose pour le transport de l'électricité dans l'électrolyse : chaque atome transporte une charge élémentaire indivisible ou un petit nombre de ces charges. Cet atome d'électricité est très petit il est de $1{,}4 \times 10^{-19}$ coulombs, il a reçu le nom d'*électron*.

Cette conception a été très féconde. J. J. Thomson et son école qui, au cours des dernières années du siècle passé se sont proposé d'étudier les propriétés peu connues des gaz conduisant l'électricité, ont trouvé que cette conduction est liée à l'existence de molécules dans le gaz dont les unes portent une charge positive, les autres une charge négative, qui sont précisément égales à l'atome d'électricité de Helmholtz. C'est là le phénomène important et de nos jours bien connu des gaz ionisés.

Un nouveau progrès vint de l'étude de la décharge électrique dans les gaz très raréfiés. Nous répétons ici une expérience de Crookes dans laquelle un agent se propageant en ligne droite est émis par la cathode d'un tube dans lequel on a fait un vide très avancé. Cet agent, invisible par lui-même, provoque une belle traînée bleue sur un écran phosphorescent qu'il rencontre. Crookes appelait ce phénomène : la matière radiante. Il pensait qu'il était produit par un quatrième état de la matière plus subtil que l'état gazeux. Cette image imparfaite n'était pas tout à fait inexacte. On sait de nos jours que ces rayons — les rayons cathodiques — sont formés de petites particules égales entre elles, dont chacune a une masse 1830 fois plus petite que celle du plus léger des atomes, de l'hydrogène. Chacune de ces particules porte une charge d'électricité négative qui est précisément égale à un électron. On désigne souvent, avec J. J. Thomson, l'ensemble de la charge et de la petite masse qui la porte sous le nom de *corpuscule.* Ces corpuscules animés d'une vitesse très grande ont les propriétés d'un courant d'électricité négative. La trace sur l'écran est déviée par l'aimant comme le serait un tel courant.

Des théoriciens, parmi lesquels il faut nommer surtout H.-A. Lorentz et Drude, ont montré que si l'on admet que des corpuscules possédant la charge et la masse trouvées par l'observation des rayons cathodiques existent à l'intérieur des atomes, on peut, avec leur secours, édifier une théorie satisfaisante des phénomènes optiques, électriques et caloriques les plus importants dont la matière est le siège. Cela suffirait pour admettre, d'une part, des corpuscules décrivant dans l'intérieur

des atomes des mouvements planétaires et, de l'autre, une nuée d'électrons libres errant d'un atome à l'autre dans l'intérieur du solide. Mais ces hypothèses sont considérablement fortifiées par l'existence, en dehors des rayons cathodiques déjà mentionnés, d'une série de phénomènes où ces électrons sortent des métaux et où leur charge et leur masse devient mesurable. Si l'on fait tomber un rayon de lumière sur la surface polie d'un métal fortement électropositif tel que le zinc, le sodium, le rubidium, les ondes lumineuses détachent du métal des électrons qui sont projetés avec des vitesses caractéristiques. Une élévation suffisante de la température provoque le même phénomène : au rouge-blanc une surface de platine émet de nombreux électrons, phénomène dont Richardson a fait une étude détaillée. Enfin, l'an dernier Haber a montré qu'une réaction chimique, par exemple l'action du gaz phosgène sur un métal alcalin peut libérer des électrons.

L'étude des substances radioactives fournit des données nouvelles sur les rapports de l'électron avec la matière. L'uranium ou le radium sont composés d'atomes dont la durée est limitée. Pendant chaque seconde une certaine proportion de ces atomes est atteinte par le destin ; ils s'anéantissent dans une explosion. Cette proportion est très faible pour l'uranium, elle est relativement plus forte pour le radium, mais la nature du phénomène est la même. Le résultat est la formation d'un atome de poids atomique moindre ; la matière correspondant à cette diminution du poids atomique est projetée avec une grande vitesse et constitue les rayons α et β.

Le plus souvent ce nouvel atome plus léger est lui-même instable ; il fait explosion à son tour avec émission de particules α ou β, ou des deux à la fois, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'un état stable soit atteint. Les atomes du radium deviennent, après explosion, ceux de l'émanation qui n'est autre chose qu'un gaz radioactif. Les atomes de l'émanation ne vivent en moyenne que quatre jours et donnent naissance aux atomes du radium A qui sont encore moins stables. Ainsi sont franchis successivement tous les degrés d'une échelle de substances instables, le radium B, le radium C, jusqu'au radium G. Ce

dernier est identique avec le polonium qui a été découvert d'une manière indépendante et qui, lui aussi, n'a qu'une existence passagère. Il est probable qu'après explosion les atomes du polonium donnent du plomb.

Tous les projectiles des rayons α, émis par des atomes très divers, sont identiques entre eux et consistent en atome, d'hélium dont chacun a perdu deux corpuscules. Il semble donc qu'ils soient l'un des éléments constitutifs primordiaux des atomes. Cette particule α qui se produit avec prédilection dans les catastrophes atomiques a cela de particulier qu'elle est un porteur d'électricité positive comme l'électron porte l'électricité négative. Et le moindre renseignement sur l'électricité positive est intéressant parce que jusqu'à présent son siège dans l'atome est tout à fait énigmatique. Il est probable cependant que si la particule α est un constituant important, ce n'est pas un constituant indivisible. On connaît en effet dans l'atome d'hydrogène qui est ionisé par la perte d'un corpuscule, un porteur qui n'a, pour la même quantité d'électricité positive, qu'une masse moitié moindre. Peut-être l'atome d'hydrogène est-il la plus petite quantité de matière qui puisse être liée à la charge élémentaire positive? On possède à ce sujet une indication précieuse par les expériences de J.-J. Thomson sur les rayons canaux. Ceux-ci sont des masses formées des atomes les plus divers, hydrogène, azote, carbone, mercure, etc., projetés avec de très grandes vitesses. La plupart de ces atomes ont été observés dans des conditions où ils possédaient une, deux ou trois charges élémentaires positives, par suite de la perte de un, deux ou trois corpuscules. Seul l'hydrogène n'a été trouvé porteur que d'une seule charge élémentaire. On peut donc dire, très provisoirement sans doute et jusqu'à plus ample information, que l'atome d'hydrogène est la plus petite masse qui porte une charge élémentaire positive. Il est remarquable que cette masse ne se rencontre pas parmi les produits de désintégration des atomes radioactifs.

Les rayons β sont des électrons. Puisqu'il y a, indépendamment des phénomènes radioactifs, de fortes raisons pour supposer, à l'intérieur de l'atome, l'existence de l'électron dont

rien ne fait suspecter l'indivisibilité, son caractère de constituant universel est certainement beaucoup mieux fondé que pour la particule α.

Après ce coup d'œil rapide sur l'histoire de l'état actuel des représentations de la matière, nons allons montrer ce que l'on peut déduire d'un groupe de phénomènes restreint, mais particulièrement fécond en suggestions nouvelles. Je veux parler des phénomènes magnétiques.

Chaque aimant possède un pôle nord et un pôle sud. La force d'un aimant ne dépend pas seulement de la grandeur des pôles, mais aussi de leur distance. Des pôles mêmes très puissants, situés dans le voisinage immédiat l'un de l'autre, ne produiraient aucune action sensible à distance car leurs effets se détruiraient mutuellement. Le *moment magnétique d'un aimant,* c'est-à-dire le produit de la grandeur des pôles par leur distance est une mesure très rationnelle de la valeur d'un aimant. Quand on brise un aimant la somme des moments magnétiques des parties est égale au moment de l'aimant entier. Le moment par unité de volume a donc aussi un sens bien défini; on l'a appelé intensité d'aimantation. Si, continuant à briser l'aimant en des fragments de plus en plus petits on arrive jusqu'à la molécule, on obtient le *moment moléculaire.*

L'étude des phénomènes montre qu'il y a non seulement des aimants permanents mais encore des corps qui deviennent des aimants sous l'influence d'un aimant placé dans le voisinage ou, comme on dit, sous l'influence du champ magnétique de cet aimant, tout comme les corps prennent des propriétés électriques dans un champ électrostatique. L'idée qui se présenta naturellement fut de transporter au magnétisme les idées qui avaient fait leurs preuves en électricité. Poisson a admis que l'aimantation par influence consiste dans la séparation de fluides magnétiques contraires. Mais cette hypothèse qui peut être développée avec succès jusqu'à un certain point, n'explique pas tous les faits. Tandis que la polarisation électrique croit proportionnellement au champ quel que soit son intensité, le moment magnétique tend vers une limite qui ne peut être

dépassée même par l'application des champs les plus intenses. On dit alors que la substance est aimantée à saturation.

W. Weber imagina une hypothèse nouvelle qui rend compte

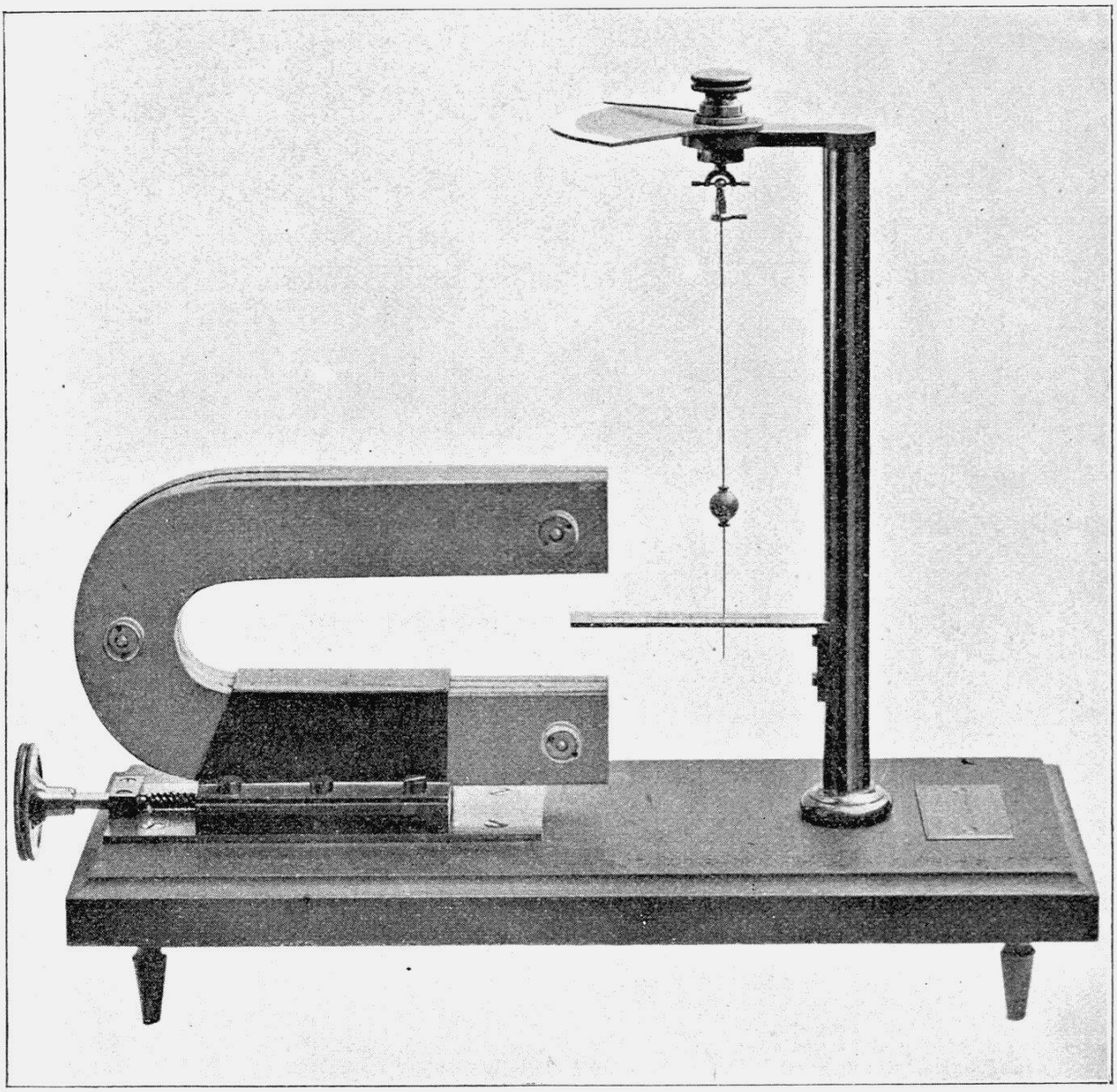

Fig. 1

d'une manière intuitive de cette saturation inexpliquée dans la conception de Poisson. Il admit que chaque molécule est un petit aimant invariable. Dans le fer à l'état naturel ces petits aimants sont disposés sans aucun ordre et l'action à distance des pôles voisins de nom contraire s'annule. Mais, si l'on fait

agir un champ magnétique croissant, les aimants moléculaires s'approchent progressivement du parallélisme et quand le parallélisme est complet un accroissement ultérieur du champ ne peut plus produire aucun effet ; c'est la saturation.

L'idée de W. Weber a pu être développée et rend compte de l'ensemble des phénomènes du magnétisme ; je ne vais décrire ici qu'un cas particulier qui peut être illustré par une expérience. Si l'on se représente que ces aimants moléculaires puissent tourner autour d'axes et que ces axes soient tous parallèles on pourra donner à ces aimants les directions contenues dans le plan perpendiculaire à ces axes, mais il sera impossible de les en faire sortir. Cette description s'applique exactement au cristal de pyrite magnétique ou pyrrhotine. Les aimants moléculaires ne peuvent prendre que des directions contenues dans le plan de base du prisme hexagonal dans lequel cette substance cristallise. Ce plan que l'on peut appeler « plan magnétique » est donc le siège de toutes les propriétés magnétiques. Si l'on approche du cristal un pôle d'aimant dans une position telle qu'il provoque l'orientation des aimants moléculaires, la substance est attirée. Si au contraire on l'approche dans une position telle que son champ soit perpendiculaire au plan magnétique la substance reste aussi indifférente magnétiquement que le serait un morceau de cuivre. Dans l'appareil reproduit fig. 1 une petite sphère de pyrrhotine est suspendue à un genou de Cardan. Il permet de la présenter à l'aimant, son plan magnétique étant soit perpendiculaire soit parallèle au champ. Dans le premier cas il ne se passe rien, dans le second, elle est attirée par le pôle d'une distance de plusieurs centimètres.

On se rend compte que les moments des molécules ou des atomes sont des constantes caractéristiques qu'il est nécessaire de déterminer pour pouvoir donner à la théorie tout son développement. Cependant, il y a quelques années, on ne possédait encore aucune valeur certaine de ces quantités et cela surtout parce que les conditions qui permettent de les atteindre n'avaient pas été clairement aperçues faute d'une théorie suffisante.

Nous allons d'abord décrire un cas où les moments atomiques peuvent être déterminés avec un minimum d'hypothèses qui ne dépasse pas l'idée fondamentale de Weber et les notions de la mécanique usuelle. Le fait que, en général, l'on peut dans un corps quelconque donner n'importe quelle direction à l'aimantation montre que les forces magnétiques à l'intérieur de la substance n'opposent pas d'obstacle insurmontable à l'orientation des aimants élémentaires. En d'autres termes, les énergies potentielles d'orientation n'empêchent pas leur parallélisme, c'est-à-dire la saturation. Mesurons maintenant le moment de l'atome-gramme de la substance d'après les méthodes classiques. La valeur que nous trouvons sera influencée par le fait que les aimants élémentaires oscillent par suite de l'agitation thermique. Ils ne seront donc orientés qu'exceptionnellement dans la direction du champ et se présenteront en général avec un certain raccourci. On trouve donc un moment magnétique trop faible. Mais l'erreur commise sera d'autant plus faible que l'agitation thermique sera moins intense. Elle disparaîtra donc avec elle au zéro absolu. C'est là que réside l'intérêt des mesures que Kamerlingh Onnes et moi avons effectuées à la température de l'hydrogène liquide à 20° seulement au-dessus du zéro absolu et par conséquent à —253° de l'échelle ordinaire. Nous avons trouvé pour les moments de l'atome-gramme de

fer	12.360
nickel	3.370

Ces valeurs sont exactement entre elles comme 11 à 3. En effet :

$$12.360 : 11 = 1123{,}6$$
$$3.370 : 3 = 1123{,}3$$

Anticipant sur les développements qui vont suivre nous dirons de suite que cette propriété rencontrée ici pour la première fois est générale : tous les moments atomiques ont une commune mesure : 1123,5. Plus tard le moment de l'atome de cobalt qui ne peut être atteint qu'en surmontant des difficultés particulières à ce corps fut déterminé par M. O. Bloch. Il trouva

8,94 fois la valeur ci-dessus, c'est-à-dire au degré de précision des expériences, le nombre entier 9.

On peut interpréter cette commune mesure comme la manifestation de l'existence d'un même aimant élémentaire qui existe 11 fois dans l'atome de fer, 3 fois dans l'atome de nickel, 9 fois dans l'atome de cobalt. J'ai appelé le moment de cet aimant élémentaire le « magnéton ». Le nombre 1123,5 se rapportant à l'atome-gramme est le magnéton-gramme. Pour obtenir le magnéton lui-même il faut diviser par le nombre

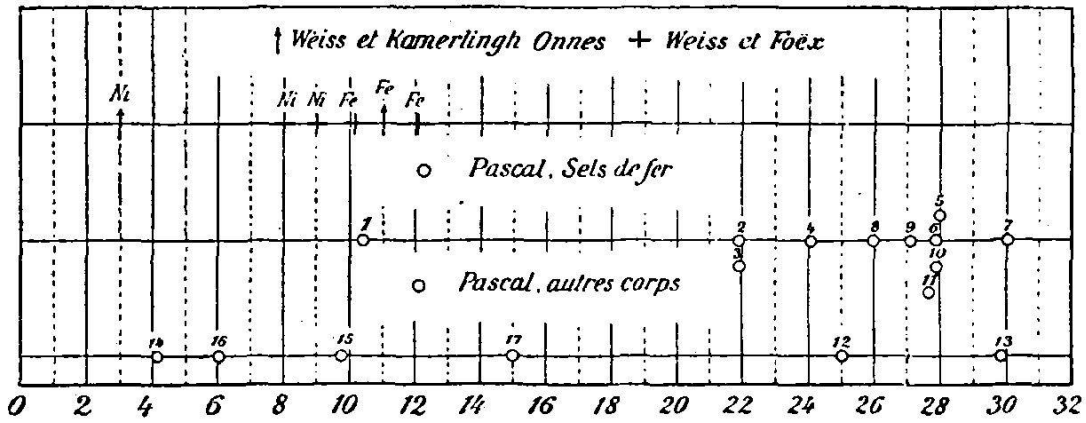

Fig. 2. — 1. Ferricyanure de K et amm. — 2. Pyrophosphate de fer et d'ammonium. — 3. Citrate de fer et d'ammonium. — 4. Ferripyrophosphate de sodium. — 5. Ferrimétaphosphate de sodium. — 6. Chlorure ferrique. — 7. Sulfate ferrique. — 8. Ferrométaphosphate de potassium. — 9. Ferrooxalate de sodium. — 10. Ferropyrophosphate de sodium. — 11. Sulfate ferreux. — 12. Chlorure de cobalt. — 13. Sulfate de manganèse. — 14. Permenganate de potassium. — 15. Sulfate de cuivre. — 16. Sulfate de cuivre ammoniacal. — 17. Sulfate uraneux.

d'atomes vrais dans l'atome-gramme, le nombre d'Avogadro : $0{,}685 \times 10^{24}$. On trouve ainsi :

$$1{,}64 \times 10^{-21}$$

Pour obtenir d'autres déterminations des moments atomiques il est nécessaire de faire appel à une théorie cinétique des phénomènes paramagnétiques. Il existe en effet, à côté des métaux fortement magnétiques, un nombre beaucoup plus considérable de substances dont les atomes possèdent des moments magnétiques mais où, pour des raisons dans le détail desquelles nous ne saurions entrer ici, l'agitation thermique ne permet

pas d'obtenir, même approximativement, le parallélisme des aimants élémentaires. Ces moments ne peuvent donc être déduits qu'indirectement des observations sur le magnétisme faible que prennent ces substances. Langevin a le premier développé la théorie nécessaire en ayant en vue surtout l'oxygène, gaz paramagnétique. J'ai appliqué cette théorie aux solutions des sels paramagnétiques et j'ai trouvé ainsi un assez grand nombre de moments atomiques.

La fig. 2, ci-dessus, résume les résultats. Elle comprend une échelle de lignes verticales équidistantes, numérotées de 0 à 32, qui représentent les nombres entiers de magnétons. Les lignes en traits pleins correspondent aux nombres pairs, les lignes pointillées aux nombres impairs. Cette échelle a été tracée au moyen de la valeur du magnéton que nous avons déduite de l'aimantation à saturation du fer et du nickel aux très basses températures. Les valeurs marquées par des flèches sur la première ligne horizontale sont par définition sur les traits. Cette même horizontale porte en outre une série de moments atomiques de substances ferromagnétiques aux températures élevées, déterminées suivant une méthode qui sera décrite plus loin. Sur la deuxième et la troisième horizontale sont marqués les moments atomiques déduits d'une série très complète de mesures faites par Pascal sur les solutions des sels paramagnétiques. C'est à ces solutions que se rapporte la légende au-dessous de la figure.

De l'examen de cette figure, comme aussi de la discussion des résultats, pour lesquels je renvoie au mémoire détaillé [1], il résulte une propriété très curieuse de ces moments atomiques. Un même atome n'a pas toujours le même moment. Les points 2, 4, 8, 6, 7, par exemple, représentent des valeurs du moment de l'atome de fer dans des combinaisons chimiques différentes. Disons en passant que les moments atomiques les plus grands sont fournis par les corps dans lesquels le fer a les réactions chimiques les plus intenses. Mais ces moments ne sont pas distribués au hasard ; on voit en effet du premier coup d'œil que

[1] *Arch. des sc. phys. et nat.*, mai 1911.

ces cinq points sont équidistants et que leurs distances sont égales à deux fois la valeur indiquée ci-dessus pour le magnéton. La figure montre donc que les nouveaux moments magnétiques satisfont aussi à la règle que nous avons indiquée : ils sont des multiples entiers du magnéton. Nous sommes donc amenés à modifier l'énoncé de Weber : Un atome n'a pas un moment magnétique unique, bien déterminé, il peut suivant les circonstances prendre des moments divers. Mais ceux-ci sont toujours des multiples entiers du magnéton.

Il ne semble pas possible, à première vue, d'étendre la théorie cinétique du magnétisme aux substances paramagnétiques solides. Il est difficile de se représenter que dans les corps solides la mobilité des molécules puisse être suffisante pour permettre d'appliquer sans grandes complications les lois de la mécanique statistique sur lesquelles repose la théorie cinétique. Mais si l'on fait le calcul comme si la théorie simple s'appliquait on trouve encore avec une approximation remarquable des multiples entiers du magnéton. On démontre ainsi du même coup que l'on s'était exagéré les difficultés qui s'opposent à l'application de la théorie cinétique et que les moments atomiques dans les corps solides sont des multiples entiers du magnéton.

Il est nécessaire pour déterminer les moments atomiques des substances ferromagnétiques aux températures autres que le voisinage du zéro absolu de faire usage d'une théorie plus explicite du ferromagnétisme. C'est la *théorie du champ moléculaire* qui permet d'atteindre ce résultat. Nous ne pouvons l'exposer ici et devons nous contenter d'en indiquer quelques résultats. Un groupe de ces résultats se traduit dans la fig. 3, où ont été représentés suivant une méthode indiquée dans le mémoire détaillé les expériences faites sur la magnétite aux températures élevées. Les points marqués sur le tracé inférieur sont placés d'une manière remarquable sur quatre droites qui sont juxtaposées ou reliées l'une à l'autre par une région de transition cd. La manière dont la transition se fait est secondaire, ce qui est essentiel c'est que la théorie montre qu'une substance dans un état déterminé doit fournir une seule et

même droite. On avait donc rencontré dans la magnétite une substance qui, dans les limites représentées dans la figure se présente dans quatre états différents. On peut y joindre un cinquième état existant en dehors des limites de la figure entre

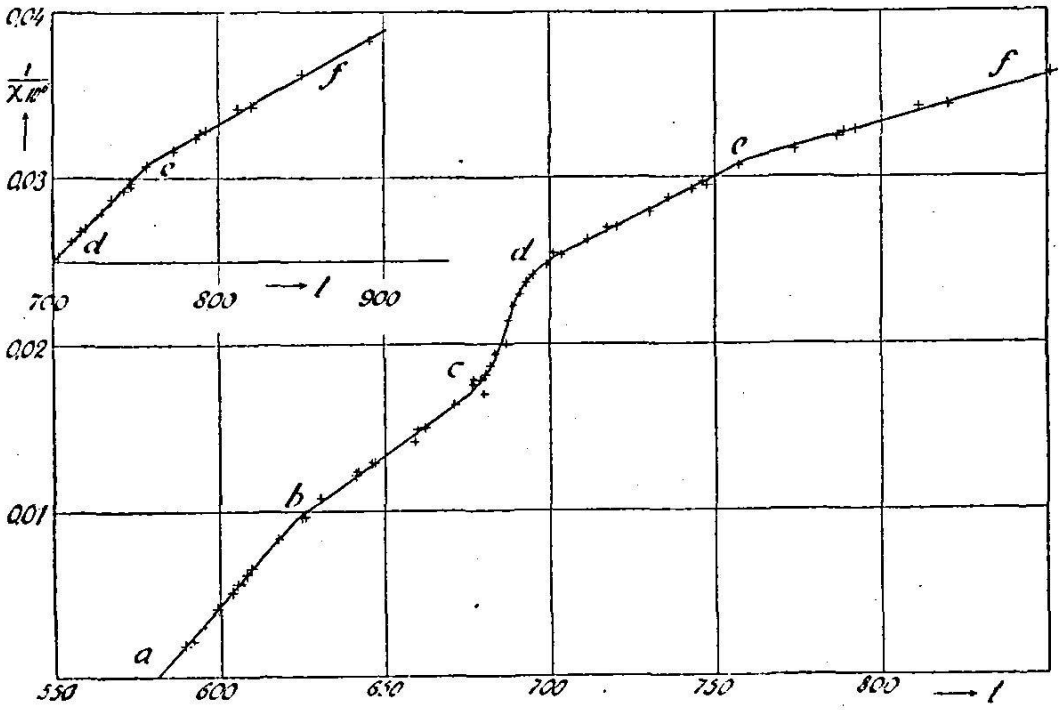

Fig. 3

900° et 1200°. Si l'on calcule pour ces divers états les moments magnétiques, on trouve qu'ils sont entre eux comme

4 : 5 : 6 : 8 : 10

Le moment de la molécule de magnétite augmente donc à quatre reprises quand la température s'élève et l'accroissement est soit une fois, soit deux fois le quart de la plus petite valeur qu'il possède dans cette série d'expériences. La ligne tracée dans la figure 3 correspond aux rapports exacts exprimés par les nombres entiers. Les observations marquées sur ce trait ne manifestent aucun écart systématique.

C'était la première fois que l'on rencontrait une même molécule pouvant prendre divers moments magnétiques ayant entre eux des rapports exprimables par des nombres entiers. Les métaux aux températures élevées présentent des propriétés ana-

logues. Une première étude, faite par M. G. Foëx sous ma direction, a donné :

Nickel a	8,03	magnétons
Nickel b	9,03	»
Fer β_1	12,08	»
Fer β_2.....	10,04	»
Fer γ	19,95	»

Ce sont des nombres entiers avec toute l'exactitude désirable.

Une deuxième série d'expériences, par M. O. Bloch, a confirmé les valeurs ci-dessus pour le nickel et a fourni les deux nouvelles valeurs suivantes :

Cobalt première détermination	15,01	magnétons
» deuxième »	14,92	»

donc de nouveau des nombres entiers au degré de précision des expériences.

Si nous réunissons encore, pour terminer, différents moments atomiques trouvés pour une même substance, le nickel, nous obtenons le tableau suivant :

Nickel dans le voisinage du zéro absolu	3	magnétons
» au-dessus de 400°	8	»
» » » 900°	9	»
» dans les sels dissous	16	»

J'ai donc déterminé par l'application de la théorie cinétique du magnétisme aux corps paramagnétiques dissous et aux corps paramagnétiques solides un nombre relativement grand de moments atomiques, quantités qui, à première vue, paraissaient peu accessibles. Il s'est manifesté cette propriété très curieuse que le même atome, suivant les conditions de température et de liaison chimique peut prendre des moments magnétiques très différents. Mais on peut trouver, entre les moments d'un même atome d'abord, une commune mesure. On peut ensuite s'assurer que toutes les communes mesures trouvées ainsi pour les divers atomes sont une seule et même quantité. Elle a reçu le nom de *magnéton.*

Si l'on admet, ce qui est extrêmement probable, que ce moment magnétique réside dans un substratum matériel, on peut dire que le magnéton est un élément constituant d'un grand

nombre d'atomes magnétiques et probablement de tous. Jusqu'à présent la démonstration est faite pour Fe, Ni, Co, Cr, Mn, V, Cu, U.

Cette propriété appartient-elle aux seuls atomes magnétiques? Le cas du cuivre et de l'oxygène qui, suivant qu'ils sont libres ou combinés, sont magnétiques ou diamagnétiques, celui de l'iodure de mercure et de potassium, où la combinaison de trois atomes diamagnétiques donne une molécule paramagnétique, montre qu'on ne saurait tracer une frontière infranchissable.

Quelles vont être les conséquences de l'acquisition de cette donnée nouvelle sur la constitution intime de la matière ? En première ligne elle fournit un nouveau moyen d'action dans les recherches magnétiques. Les propriétés des ferromagnétiques dont la complexité paraissait auparavant déroutante redeviennent abordables et, dans cet ordre d'idées, quelques résultats nouveaux ont déjà montré combien la notion nouvelle est féconde.

Le parallélisme déjà signalé entre l'intensité des propriétés chimiques et les nombres de magnétons soulève de nouvelles questions. Quel rôle les phénomènes magnétiques jouent-ils dans la combinaison chimique ? Les forces chimiques sont-elles dans certains cas des attractions d'aimants élémentaires ? Les valences sont-elles en relations avec les magnétons ?

La nature de la transformation qu'un corps subit quand son nombre de magnétons change est encore très obscure et demande à être examinée pour elle-même. Elle n'est pas une modification allotropique au sens ordinaire du mot ; le cas de la magnétite montre qu'une molécule peut conserver à travers ces transformations sa masse et son architecture générale. Cette transformation coûte-t-elle de l'énergie? Y a-t-il d'autres signes extérieurs qui l'accompagnent ? Il n'est possible, jusqu'à présent, de répondre à cette dernière question que sur un point : le champ moléculaire qui exprime les actions mutuelles d'orientation entre les molécules d'un corps ferromagnétique subit un changement en même temps que le nombre de magnétons.

Si l'on se représente pour un instant comme étant donnée à priori l'existence de ces petits aimants égaux entre eux et se

rencontrant dans les atomes en nombres grands et variables suivant les conditions de l'expérience, leur démonstration expérimentale paraîtra entourée des plus grandes difficultés. On s'attendrait à ce que les moments magnétiques différemment dirigés eussent des résultantes sans rapport simple avec leur grandeur propre. Il semblerait que pour les saisir on dut attendre une occasion exceptionnelle comme celles qui font jaillir l'électron de l'atome.

La facilité avec laquelle les magnétons se manifestent, le caractère exceptionnel des cas où ils échappent à l'observation sont l'expression de propriétés importantes. Il est en effet très remarquable que ces aimants élémentaires soient toujours placés de façon que leurs moments magnétiques s'ajoutent algébriquement, c'est-à-dire qu'ils soient parallèles ou même disposés suivant une ligne droite. Il est peut être tout aussi curieux que, parmi les mesures existantes, si peu suggèrent l'idée de mélanges de molécules de nombres de magnétons différents. On peut se demander si l'égalisation du nombre des magnétons ne serait pas une des conditions de l'équilibre des molécules de même espèce entre elles.

Après l'électron symbolisant les idées nouvelles sur la structure discontinue de l'électricité, le magnéton marque une évolution analogue dans la représentation des phénomènes magnétiques.

Le magnéton est un troisième constituant de la matière qui, comme l'électron et la particule α, appartient à un grand nombre d'atomes. L'Antiquité croyait à l'unité de la matière. Les alchimistes, en cherchant à faire de l'or, tentaient de transformer cette croyance en réalité tangible. Les fondateurs de la chimie moderne, à la fin du 18^{me} et au commencement du 19^{me} siècle, en élevant à la hauteur d'un principe l'invariabilité des corps simples, reculèrent à l'arrière-plan, loin des lois bien établies et des faits accessibles, l'hypothèse d'une substance première. Et maintenant, la découverte d'éléments constituants communs à tous les atomes, nous rapproche à nouveau de la conception des Grecs et de l'Unité de la Matière.

Leere Seite
Blank page
Page vide