Nouvelles recherches sur la structure de la matière

par E. SCHEUER

Professeur au Lycée de jeunes filles
de Luxembourg

Nouvelles recherches sur la structure de la matière

par E. SCHEUER
professeur de physique au Lycée de jeunes filles à Luxembourg

Conférence avec projections lumineuses faite à la société des Naturalistes Luxembourgeois le 19 novembre 1945

L'Univers matériel qui nous entoure a causé bien des soucis intellectuels aux hommes qui en voulaient saisir l'origine, l'évolution dans le passé et dans l'avenir, enfin les lois des phénomènes et finalement la constitution intime de toute cette matière.

Les nouvelles recherches sur l'atome en particulier ont causé des progrès bouleversants dans la science moderne et nous nous proposons dans cette conférence d'exposer les découvertes récentes dans le domaine atomique.

Rappelons d'abord quelques notions préliminaires et toujours intéressantes sur la composition générale de la matière.

Les divisions par moyens mécaniques et physiques nous conduisent à la notion de molécules.

Il en faudrait 3 à 4 millions pour les aligner sur la longueur d'un mm. Dans l'Univers il existe autant de sortes de molécules que de substances différentes, environ 500.000. L'aspect extérieur des différentes molécules est inconnu. On n'a pas le droit de parler d'une forme extérieure de la molécule. Pour constituer la matière, les molécules ne s'entassent pas l'une sur l'autre comme les pierres d'un monument. Se disposant en réseau elles laissent entre elles de petits espaces dûs aux forces de répulsion de nature électrique. Chaque molécule est en vibration rapide autour de sa position normale. Ces vibrations se chiffrent par des milliards de milliards par seconde.

Chauffons le corps solide. Les vibrations des molécules s'amplifient. Bientôt elles quittent leurs places, entraînant en partie leurs voisines, s'entrechoquant, s'attirant, se repoussant, voyageant à l'intérieur du corps devenu liquide et se roulant autour d'elles-mêmes. Cette agitation interne se produit cons-

tamment au sein d'une masse liquide que nos yeux jugeraient en repos.

Chauffons le liquide. Les vitesses augmentent. Tout à coup les molécules s'élancent librement et rapidement comme des boulets d'armes à feu, se choquant au hasard, rebondissant contre les parois du vase qui contiendra le corps devenu gazeux.

A la température 0° C et sous pression normale les molécules d'air ont une vitesse moyenne de 500 m/sec ce qui fait 1800 km/heure. Chaque mm^3 de gaz renferme 27 millions de milliards de molécules en grande vitesse. On a 9 méthodes différentes pour les compter et chaque fois on retrouve le même nombre: 1) la théorie cinétique des gaz; 2) le mouvement brownien; 3) la tension superficielle de solutions diluées; 4) les lois du rayonnement noir; 5) la charge électrique des gouttelettes d'huile; 6) la diffusion resp. l'affaiblissement de la lumière du ciel; 7) la grandeur du cube élémentaire des cristaux; 8) les procès radioactifs; 9) la structure fine des lignes spectrales.

Jean Perrin, un physicien français, a reçu en 1926 le prix Nobel pour ses travaux sur les molécules.

Examinons de plus près une de ces molécules. Sa forme n'est pas remplie de matière. Elle est composée à son tour par des particules plus petites, les atomes. Les forces de répulsion entre les atomes laissent à l'intérieur de la molécule un certain vide. Des forces d'attraction en forment cependant un élément bien cimenté que seules les affinités chimiques peuvent rompre. Les molécules des corps simples sont formées d'une seule espèce d'atomes. Les molécules composées se forment de plusieurs espèces d'atomes, ce qui constitue l'étude de la chimie inorganique et organique. Pour composer les 500 000 espèces de molécules dans l'Univers, nous connaissons 92 atomes différents groupés dans le fameux tableau de Mendeléeff, qui range les éléments suivant le poids atomique croissant.

Pour nous représenter l'extrême légèreté d'un atome d'hydrogène imaginons le nombre d'atomes nécessaires pour peser ensemble 1 mg. Il en faudrait environ 500 millions de trillions. Un atome d'hydrogène pèse $\frac{1{,}662}{10^{21}}$ mg. Le plus lourd des atomes est l'uranium; 238 × plus lourd que l'hydrogène.

Le nom d'atomes provient de Démocrite, Lucrèce et Epicure, mais il n'y avait que le nom désignant les derniers constituants de la matière. Aucune preuve de leur existence n'était donnée. Dalton et Ampère, dès 1810, ont défini les atomes

tels que nous les connaissons actuellement, comme suites de mesures chimiques quantitatives, de la décomposition des molécules par le courant électrique et des phénomènes optiques liés à la distribution et aux mouvements de ces atomes.

Jusqu'au XX^{e} siècle cet atome paraissait être le dernier élément dans la constitution de la matière.

Vers 1900 on s'avisa de l'erreur commise en admettant l'indivisibilité des atomes.

Des influences plus puissantes que les affinités chimiques tels les chocs par des projectiles particuliers, les tensions électriques élevées ou encore l'excitation par des radiations parvinrent à morceler les atomes à leur tour. On en retira plusieurs corpuscules: l'électron, le proton, l'hélion, le positon et le neutron.

Lorsque comme dans les lampes de T. S. F. on chauffe des filaments jusqu'à l'incandescence un flux de corpuscules jaillit des atomes de ce filament. Ces corpuscules sont chargés négativement. Ce sont les électrons. Ils sont si petits qu'il en faudrait 1 million de milliards pour remplir le volume de l'atome seul. La lumière ordinaire ou mieux encore les rayons U. V. et les R. X extraient également les électrons de ces atomes.

Le radium et d'autres corps radio-actifs ayant des atomes instables se désintègrent spontanément, en émettant avec d'autres produits des flux d'électrons appelés R. β. L'émission β est un des problèmes fondamentaux de la physique nucléaire actuelle non encore expliquée jusqu'ici.

L'électron est connu depuis la 1re moitié du XIX^{e} siècle. C'est J. J. Thomson qui en 1906 a reçu le prix Nobel et qui le premier a déterminé la charge de l'électron. Le courant électrique n'est pas un fluide ni le déplacement d'un champ de forces sans support, mais un flux d'électrons.

Lorsqu'une lampe moyenne de 60 W brûle dans nos appartements, chaque section du fil est traversée dans une seconde par 2 millions de trillions d'électrons, dont la vitesse est pourtant faible.

La vitesse des électrons devient très grande dans les rayons cathodiques. Elle peut alors être 60 000 à 300 000 km/sec suivant que la tension électrique est 10.000 V ou quelques millions de V.

Tous les électrons se ressemblent. Ils ont tous la même charge négative et la même masse si leur vitesse est la même. Car leur masse augmente avec la vitesse. Au repos l'électron pèse 1849 × moins que le plus léger des atomes matériels, l'hydrogène.

L'électron occupe un petit volume dans l'espace, mais nous ignorons comment la charge est répartie dans ce volume.

Il possède un moment de rotation et un moment magnétique, propriété double qu'on appelle «spin». Les électrons rapides sont doués d'une certaine énergie. En traversant un gaz, ils frappent les atomes de ce gaz et peuvent en expulser d'autres électrons. Il restera sur l'atome frappé autant de charges positives que d'électrons en auront été expulsés. Les fragments des atomes provenant des chocs sont chargés et s'appellent les ions, ils sont positifs ou négatifs. Les électrons rapides créent donc des ions là où ils ont passé. L'ionisation produite est à la base d'un appareil célèbre, qui a conduit à toutes les grandes découvertes récentes, la chambre de Wilson (1911). Elle fonctionne de la façon suivante:

Des électrons rapides qui ionisent les molécules du gaz de la chambre, dessineront leur trajet par la production de ces ions. Ces derniers étant invisibles, on les rend visibles par la détente du gaz provoquée par un piston mobile. Le gaz se refroidit et la vapeur d'eau saturante se condense en gouttelettes de brouillard autour des ions. Un éclairement violent instantané juste après la détente illumine spécialement les gouttelettes de brouillard qu'on pourra photographier.

Si on applique un champ magnétique perpendiculairement au plan de la photographie, les trajectoires des électrons sont recourbées en cercle. Plus la courbure est grande, plus la vitesse de l'électron est petite. L'allure sinueuse indique des déviations de l'électron par choc contre les molécules.

La ligne presque droite est le chemin suivi par un électron à très grande vitesse, ne se laissant presque pas courber par le champ magnétique.

Depuis 1923 on a fait des expériences particulièrement intéressantes d'interférence avec les électrons.

Traversant un réseau cristallin de distribution régulière il y a diffraction des électrons.

Des expériences analogues ont été réalisées avec des atomes, des corpuscules non chargés. Il y avait encore des maxima et minima indiquant quelque part une périodicité.

Les avis des physiciens sont divergents au sujet de l'explication de ce phénomène. Schrödinger prétend qu'il n'existe que des ondes et que le corpuscule n'est qu'une manière grossière de traduire la réalité. Le corpuscule ne serait également qu'un groupe d'ondes ou une singularité dans un phénomène ondulatoire.

Louis de Broglie admet que le corpuscule existe et qu'autour du corpuscule une onde-pilote se déplace avec lui. La longueur d'onde λ étant reliée à la constante de Plank h par la relation $\lambda = \frac{h}{mv}$ Les opinions de Heisenberg et de Bohr ont eu plus de succès que les précédentes. Ils admettent aussi des corpuscules, mais pour eux l'onde n'existe pas réellement. On ne peut pas déterminer exactement la position et la vitesse d'un corpuscule à un certain instant. On ne peut déterminer que les positions plus ou moins probables du corpuscule et cette probabilité se représente par une description mathématique pareille à la description mathématique des ondes.

Si les électrons sont extraits des atomes, il ne reste plus que les noyaux porteurs de charge positive. Le noyau d'hydrogène, le plus simple, s'appelle proton. Sa masse est 1,0076, sa charge est + 1 unité électrique ou $1{,}062.10^{-19}$ coulombs.

Le noyau d'hélium ou hélion ou particule α est muni de 2 charges positives. Des flux d'hélions avaient été remarqués dans le rayonnement radioactif et y avaient reçu le nom de Rα.

Les autres noyaux d'atomes sont chargés de 3, 4 . . . . charges + etc. jusqu'à 92 pour l'uranium.

Les Rα des corps radioactifs ou noyaux d'hélium portant 2 charges électriques positives ont joué un rôle important dans les explorations atomiques. Leur trajectoire dans la chambre de Wilson est épaisse. Car les particules α sont 8000 × plus lourdes que l'électron. Leur vitesse peut être 20 000 km/sec alors elles emportent une des plus grandes concentrations d'énergie avec elles. Elles briseront beaucoup de molécules sur leur passage et pour chaque cm de parcours dans l'air elles formeront 20 000 à 60 000 ions, donc autant de gouttelettes de brouillard.

En 1913 Rutherford dirigea un faisceau de particules α sur une feuille compacte, de sorte que les atomes de la feuille étaient collés les uns aux autres. La feuille traversée épaisse de $\frac{1}{1000}$ mm ne dévia pas les Rα. c.-à-d. 100 000 atomes traversés sans apparence de déviation firent conclure que l'atome est presque vide.

Depuis on se représente les atomes comme de véritables *systèmes planétaires*. Dans l'atome d'hydrogène un seul électron tourne à la vitesse 2000 km/sec autour du noyau plus petit que l'électron. Le noyau, appelé proton, est 1840 × plus lourd que l'électron. Il concentre dans son petit volume presque toute la masse de l'atome.

La distance entre les 2 particules est de l'ordre du 10 millionnième de mm,, c.-à-d. une distance 100 000 × plus grande

que le diamètre de l'électron. On compare cet atome souvent à l'ensemble soleil-terre Les autres atomes sont également constitués de plusieurs électrons circulant sur différentes orbites autour du noyau. Ces modèles planétaires expliquent de nombreux faits: les électrons extérieurs se détachent facilement pour circuler entre les atomes comme courant électrique. Suivant le physicien danois Bohr les électrons peuvent sauter d'une orbite à l''autre, en émettant de la lumière ou des rayons Röntgen.

Pénétrons à présent au cœur même du noyau.

Il est si petit que tous les noyaux du corps humain mis ensemble ne formeraient qu'un grain de poussière.

Un des problèmes les plus passionnants pour la science était d'atteindre le noyau de l'atome et il n'y a qu'une chance sur 10 000 millions de l'atteindre en raison de sa petitesse. De plus, ce noyau étant chargé positivement, il repoussera les projectiles α ou les protons accélérés.

En 1919 Rutherford commença malgré ces difficultés à bombarder ce petit noyau perdu dans le vide à l'aide de Rα. Le miracle s'est produit. Il y a eu des collisions. Le noyau d'azote bombardé par la particule α l'avala et ne pouvant en faire la digestion exacte, il expulsa un noyau d'hydrogène et se transforma en une espèce d'oxygène.

Aujourd'hui les résultats du bombardement des atomes se laissent grouper en 2 catégories: la transmutation des éléments et la production des radioéléments artificiels.

La transmutation des éléments se produit dans la fabrication d'oxygène à partir de l'azote par bombardement α, la transformation du bore en hélium par bombardement avec des protons. Le noyau du bore porte 5 charges positives. Le proton qui le heurte est muni d'une charge. L'ensemble se transforme en 3 noyaux d'hélium chacun de 2 charges positives. Les 3 particules α sortent de l'endroit où les protons accélérés dans le tube à décharge ont frappé un film mince de borax situé à l'extrémité inférieure. Changer un atome dans un autre, c'est au fond la clef pour la transformation de substances ordinaires en de l'or, la réalisation du rêve des alchimistes. Malheureusement le rendement de cette opération n'est pas suffisant. Pour obtenir des ruptures isolées des noyaux on a dû accélérer parfois les projectiles avec des millions de volts.

Dans les transmutations provoquées on a obtenu des noyaux stables et des noyaux radioactifs, ces derniers constituant le phénomène important de la radioactivité artificielle (1934, Joliot-Crie).

Ainsi on a créé du radio-azote, du radio-phosphore, c.-à-d. de nombreux radioéléments ont été ainsi produits qui étaient instables et qui se désintégraient spontanément.

Parmi les corpuscules émis par les noyaux bombardés on peut considérer deux nouveaux corpuscules: le positon et le neutron.

Le positon est le symétrique de l'électron, donc le corpuscule élémentaire de charge positive. Sa masse est 1847 × plus petite que celle du noyau d'hydrogène. Le trajet du positon dans la chambre de Wilson est pareil à celui de l'électron, mais puisqu'il est chargé positivement, la courbure est en sens inverse de celle de l'électron.

En 1933 Anderson a découvert le positon dans le rayonnement cosmique, rayonnement étrange qui traverse l'atmosphère terrestre nuit et jour et qui nous vient de quelque part des espaces interstellaires.

Le neutron fut découvert en 1932 comme particule du noyau atomique par Chadwick.

Le neutron n'a pas de charge. Sa masse est environ celle du proton (exactement 1,0090). Il constitue un projectile important pour bombarder le noyau atomique.

Car celui-ci est comme entouré d'un champ électrique intense qui repousse les protons et qui est facilement vaincu par les neutrons.

Le bombardement des noyaux par les neutrons a conduit en 1939 à un résultat important.

L'uranium, qui est un élément radioactif naturel, bombardé par des neutrons, sera brisé en fragments avec une violente libération d'énergie interatomique. Cependant il faut faire une distinction: l'uranium ordinaire de poids atomique 238 utilise une grande dépense pour être rompu par des neutrons rapides, tandis qu'il digère facilement les neutrons lents sans se rompre. Un isotope 235 de l'uranium est rompu avec des neutrons lents qui lui sont envoyés. Il se produit une indigestion violente, accompagnée d'une cassure d'atomes et d'une expulsion de neutrons très accélérés. Cette explosion se partage d'atome en atome et provoque une chaîne de réactions et une libération énorme d'énergie.

Car dans la destruction de ces noyaux une grande fraction de masse disparaît pour se transformer en quantité d'énergie formidable.

Cette rupture de l'uranium fut provoquée d'abord à Berlin par Otto Hahn et Straßmann et expliquée par Lise Meitner. La découverte fut bouleversante. Le simple fait de l'accaparement

d'un neutron provoqua une libération d'énergie inconnue jusque-là et supérieure à celle des particules α, énergie de 100 000 000 V. Et les morceaux provenant de la rupture sont lancés avec ces énergies formidables. Le désavantage fut que Ur 235 est difficile à séparer de Ur 238, parce que les propriétés chimiques sont les mêmes. Comme il y a une légère différence de masse entre les 2 atomes, le professeur Nier de l'Université de Minnesota a réussi à les séparer en les accélérant dans un champ électrique et les déviant par un champ magnétique, mais il a fallu 10 jours d'efforts continuels pour obtenir une petite fraction de gramme. Remarquons que le thorium et d'autres substances présentent également la rupture et que la fracture se fait aussi par d'autres projectiles que les neutrons lents. Ce sont surtout les éléments plus lourds qui sont moins stables et qui présentent ce phénomène.

Pour comprendre que la matière peut se transformer en énergie et inversément, disons-en quelques mots.

Les deux masses les plus petites, le positon et le négaton, peuvent s'anéantir complètement et donner naissance à du rayonnement. Inversément du rayonnement peut se matérialiser et produire une paire positon-électron. La dématérialisation des neutrons est une des causes à laquelle on attribue l'origine du rayonnement des étoiles. Une masse de 1,1 mg correspond à une quantité d'énergie équivalente de 1 million e. V. $m = \frac{E}{c^2}$ est la fameuse relation einsteinienne, multipliant la masse par le carré de la vitesse de la lumière, elle donne l'énergie résultant de la dématérialisation ou de l'anéantissement de la matière:

$$E = mc^2.$$

Les recherches récentes dans les différents pays nous ont fait pénétrer dans le mystère atomique et nous ont permis d'intervenir dans l'essence même de la nature des atomes, c.-à-d. de changer les substances et d'en produire de nouvelles.

De tous ces travaux résultera l'industrie de demain. Nous nous sommes finalement trouvés en présence de la destruction de la matière et de sa transformation simultanée en énergie, grâce au principe fondamental régnant dans notre Univers que l'énergie se conserve et que la masse n'est qu'un autre aspect de l'énergie, une autre forme d'énergie. Et à ces transformations de masse en énergie nous assistons actuellement tout émerveillés par les réalisations formidables qui vont bientôt bouleverser notre physique et notre industrie et qui nous viennent de notre grande libératrice, l'Amérique.