**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:** 100-2 (1919)

**Artikel:** La structure des atomes

**Autor:** Berthoud, A.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-90306

**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:** 05.07.2025

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

# La structure des atomes.

A. Berthoud (Neuchâtel).

Quoique les atomes se comportent dans tous les phénomènes chimiques comme s'ils étaient indivisibles, des phénomènes d'ordre divers ont depuis longtemps conduit à l'opinion qu'ils ne sont pas simples, mais représentent des systèmes plus ou moins complexes. Cependant, jusqu'à la fin du siècle passé, toute hypothèse précise sur la constitution de la matière est restée impossible, car une base expérimentale faisait défaut. C'est la découverte des rayons de Röntgen (1895), suivie bientôt de celle de la radioactivité qui a ouvert une ère nouvelle pour le problème de la constitution de la matière. L'étude des rayons X n'a pas tardé, en effet, à amener une découverte de la plus haute importance, celle de *l'électron*.

C'est le nom qui a été donné à une particule très petite, chargée d'électricité négative, que la matière émet dans certaines circonstances. Sa charge électrique est la plus faible qu'on rencontre jamais, c'est la charge élémentaire d'électricité. Les dimensions de l'électron sont incomparablement plus faibles que celles d'un atome. Son diamètre est environ 100 000 fois plus petit que celui de l'atome d'hydrogène, évalué à $10^{-8}$ cm.

La masse de l'électron est 1830 fois plus faible que celle de l'atome le plus léger, celui d'hydrogène, et il faut insister sur un caractère très important de cette masse.

C'est un fait bien connu que l'électricité possède une propriété souvent considérée comme un attribut caractéristique de la matière, à savoir l'inertie ou la masse. Or, il est à peu près certain que la masse entière de l'électron est due uniquement à sa charge électrique. L'électron se présente ainsi comme un corpuscule d'électricité sans support matériel au sens ordinaire du mot. C'est tout à la fois la particule élémentaire d'électricité négative et une particule élémentaire de matière.

Différents phénomènes optiques et magnétiques et le fait que toute matière est capable d'émettre des électrons dans des condi-

tions variées indiquent que l'électron est un élément constitutif de tous les corps. Et c'est ainsi qu'on a été conduit à la conception électrique de la matière, suivant laquelle toute substance est formée par une agglomération de particules d'électricité.

Il est clair que la matière électriquement neutre ne peut être constituée uniquement par des particules d'électricité négative. L'existence de l'électron négatif appelle celle de l'électronp ositif. Or, jamais l'électricité positive n'est apparue liée à une masse inférieure à celle d'un atome.

Chacun sait que la radioactivité résulte d'une instabilité de l'atome qui se transforme spontanément en projetant avec une grande violence un de ses fragments qui peut être soit un électron négatif ou particule $\beta$, soit une particule $\alpha$ qui consiste en un atome d'hélium portant deux charges élémentaires d'électricité positive.

La radioactivité nous apporte ainsi la preuve directe et tangible de la complexité atomique. Son étude a révélé l'existence de nombreux éléments que rien auparavant ne laissait prévoir, et le problème s'est naturellement posé de leur trouver une place dans le système périodique. Mais à mesure que leur nombre augmentait (on en connait aujourd'hui une quarantaine), il devint évident que sans élargir le cadre du système périodique, il serait impossible de les y faire entrer tous. Le nombre des places disponibles dans la région correspondant à leurs poids atomiques (206 à 238) est manifestement insuffisant.

Cependant les recherches dont les propriétés des éléments radioactifs ont été l'objet ont révélé un fait absolument inattendu. Malgré leurs poids atomiques différents, certains éléments présentent une concordance parfaite dans leurs propriétés chimiques, de sorte qu'il est impossible de les séparer chimiquement lorsqu'ils sont mélangés. C'est le phénomène de *l'isotopie.* Or, il est clair que les éléments chimiquement identiques doivent occuper la même place dans le système périodique. Le petit nombre des places disponibles cesse donc d'être un obstacle à les y faire entrer tous.

Actuellement tous les éléments radioactifs ont trouvé place dans la classification périodique. Presque chaque place, du thallium à l'uranium est occupée par un groupe de plusieurs isotopes qui forment une *pléiade.* Celle du plomb, par exemple, ne compte pas moins de sept éléments entre lesquels la différence des poids atomiques s'élève à 8 unités.

Le phénomène de l'isotopie n'est d'ailleurs pas limité aux éléments radioactifs. Il n'a pas été possible de constater la moindre différence dans les propriétés physiques ou chimiques[1] du plomb ordinaire et du radium-G, dernier terme de la désintégration radioactive de l'uranium, quoique la détermination des poids atomiques de ces deux isotopes accuse une différence très sensible (Pb = 207,2, Ra-G = 206,0).

Il est inutile d'insister sur l'importance de ces observations inattendues. Si parmi les principes qui sont à la base de la chimie théorique il en est un qui ne paraissait ne pas devoir être mis en doute, c'est bien celui de l'existence d'un rapport de dépendance entre les propriétés d'un élément et son poids atomique, et nous trouvous ce principe doublement en défaut. D'une part, le poids de l'atome varie, dans nombre de cas, sans que les propriétés en soient affectées, d'autre part, les éléments de même poids atomiques ont parfois des propriétés différentes.

Ce n'est donc pas le poids atomique qui détermine les propriétés de l'atome, comme on l'a longtemps admis; elles ne dépendent que de la place qu'il occupe dans le système périodique ou de son numéro d'ordre, *le nombre atomique.*

Cela serait incompréhensible si ce nombre n'était qu'un simple numéro d'ordre; on ne peut concevoir qu'il détermine les propriétés de l'atome que s'il correspond à quelque chose dans l'édifice atomique.

La plupart des propriétés des éléments sont des fonctions très complexes du nombre atomique. Il en est une cependant qui en dépend d'une manière simple et qui par là prend un certain intérêt.

Quand un élément est soumis à un bombardement par des rayons cathodiques d'une vitesse suffisante, il émet des rayons X de longueurs d'onde déterminées et caractéristiques de l'élément considéré. Ces rayons constituent un spectre, dit de *haute fréquence,* qu'on est parvenu à photographier et qui est formé de séries de lignes qui se distinguent par leur pouvoir pénétrant, et dont les plus importantes se désignent par les lettres K et L. Or, un physicien anglais Moseley[2] a constaté que les fréquences des lignes corres-

[1] Il s'agit ici des propriétés de l'atome. Ainsi le plomb et le radium-G n'a pas la même densité, mais bien le même volume atomique.

[2] Phil. Mag., t. *26,* p. 1024 (1913); t. *27,* p. 703 (1914).

pondantes d'une même série, des lignes L de la série K, par exemple, sont en première approximation, proportionnelles aux carrés des nombres atomiques.

Le spectre de haute fréquence est donc déterminé simplement par le nombre atomique, et inversement, connaissant ce spectre, on peut en déduire le nombre atomique.

On voit immédiatement l'importance de ce résultat au point de vue de la classification des éléments, mais pour le sujet qui nous occupe, l'intérêt de la loi de Moseley consiste en ce qu'elle met en lumière l'existence dans l'intérieur de l'atome d'une grandeur, exprimée par le nombre atomique, qui croît régulièrement quand on passe d'un élément au suivant.

Mais quelle est la nature de cette grandeur?

C'est l'étude du passage des rayons $\alpha$ ou $\beta$ à travers la matière qui est venue apporter une réponse à cette question.

Un fait essentiel est que les rayons $\alpha$ (du radium, par exemple), peuvent traverser sans subir une grande diffusion des pellicules métalliques de plusieurs centièmes de millimètre d'épaisseur ou des couches de gaz de plusieurs centimètres. Si on considère que ces pellicules, ou ces couches de gaz, sont formées de milliers d'atomes juxtaposés, il est absolument exclu que les particules $\alpha$ passent dans les interstices qu'ils laissent entre eux; il faut qu'elles traversent les atomes eux-mêmes.

Ce phénomème serait inconcevable si les atomes étaient massifs. Il met en évidence leur structure extrêmement lacunaire. L'atome doit être formé de particules très petites par rapport à ses propres dimensions et qui laissent entre elles des espaces relativement considérables et ces corpuscules ne peuvent être que des électrons.

Les particules $\alpha$ ou $\beta$ ne traversent cependant pas la matière sans aucune diffusion et les déviations qu'elles subissent donnent de précieux renseignements sur la répartition des charges positives ou négatives.

Une explication de ces déviations a été tentée par J.-J. Thomson sur la base d'un modèle d'atome dans lequel la charge positive est supposée répartie uniformément dans une sphère dont le volume correspond à celui de l'atome et dans laquelle les électrons négatifs sont disséminés régulièrement.[1] Mais la théorie de Thomson, s'est montrée inexacte. Elle suppose, en effet, qu'une particule $\alpha$, en

[1] Phil. Mag., t. 7, p. 237 (1904).

traversant un atome ne subit jamais qu'un faible changement de direction. Les fortes déviations qu'on observe toujours en petit nombre sont attribuées à des rencontres répétées. Or une analyse serrée des résultats expérimentaux de Geiger et Marsden a conduit Rutherford à la conclusion, confirmée dès lors par des observations directes, que la rencontre avec un seul atome peut provoquer une forte déviation dépassant parfois 90°.

Une telle déviation ne peut être produite que par un champ de force très intense, tel qu'il ne peut exister dans l'atome de Thomson. Pour obtenir un champ suffisamment puissant, il faut supposer avec Rutherford[1] que la charge positive est condensée vers le centre de l'atome, dans une région très petite, tandis que les électrons négatifs circulent autour de ce noyau dans un espace relativement grand. L'atome nous donne ainsi l'image d'un système solaire en miniature dans lequel le soleil est représenté par le noyau et les planètes par des électrons négatifs plus ou moins nombreux.

La manière dont elle permet de rendre compte de la dispersion des particules $\alpha$ qui traversent une couche de matière, constitue pour la théorie de Rutherford une confirmation expérimentale d'un très grand poids.

On conçoit qu'une particule $\alpha$ ou $\beta$ soit déviée d'autant plus fortement qu'elle passe plus près du noyau et, d'après sa déviation, il est possible de calculer la distance dont elle s'est approchée du centre de l'atome. C'est ainsi qu'on peut se faire une idée approximative des dimensions du noyau et en démontrer l'extrême petitesse. D'après les calculs de Rutherford, le diamètre du noyau positif de l'or ne dépasse pas $3.\ 10^{-12}$ cm; il est au moins 10 000 fois plus faible que celui de l'atome. Le noyau de l'hydrogène est encore beaucoup plus petit. Certaines observations indiquent que ses dimensions n'atteignent pas même celles de l'électron.[2]

Enfin la dispersion des particules $\alpha$ ou $\beta$ traversant la matière a permis d'évaluer la charge électrique du noyau et les résultats trouvés par Rutherford, justifient l'opinion que cette charge, si on prend comme unité celle de l'électron, est exprimée par le nombre atomique. La signification de ce dernier, dont nous avons déjà relevé toute l'importance nous est ainsi donnée. Il est d'ailleurs pos-

[1] Phil. Mag., t. *21*, p. 669 (1911); *28*, p. 438 (1914).
[2] Phil. Mag., t., *26*, p. 702 (1913); *27*, p. 488 (1914).

sible de concevoir comment la charge électrique du noyau peut être le facteur déterminant les propriétés de l'atome, mais avant d'aborder cette question quelques remarques sont nécessaires.

Le nombre des électrons négatifs qui circulent autour du noyau et qui compensent sa charge positive doit évidemment lui aussi être égal au nombre atomique, puisque l'atome pris dans son ensemble est électriquement neutre. Ces électrons extérieurs (dont le nombre ne dépasse jamais 92, valeur atteinte dans l'uranium) ne forment ainsi qu'une très minime partie de la masse de l'atome. Cette masse se trouve donc concentrée presque totalement dans le noyau, dont la densité s'il est permis d'employer ce terme, est extraordinairement élevée. Celle du noyau de l'or, par exemple, dépasse 600 milliards.

La charge positive du noyau ne représente pas simplement le nombre des électrons positifs qu'il contient. Il n'y a pas de doute que des électrons négatifs entrent dans sa constitution; ils sont nécessaires pour en assurer la stabilité. La charge apparente est déterminée par le nombre des électrons positifs en excès par rapport aux électrons négatifs. Il est cependant probable que le noyau atomique de l'hydrogène se réduit à un simple électron positif dont la masse serait ainsi presque égale à celle de l'atome et 1830 fois plus forte que celle de l'électron négatif.

S'il n'est pas possible d'en donner une preuve évidente, c'est l'hypothèse la plus simple qu'on puisse faire et elle n'est contredite par aucun fait d'expérience.

Pour expliquer la masse relativement élevée de l'électron positif, il n'est nullement nécessaire de supposer que l'électricité possède ici un support matériel. La théorie indique que la masse électromagnétique d'une charge électrique répartie sur une sphère est inversement proportionnelle au rayon de celle-ci. Pour que la masse de l'électron positif soit 1830 fois plus grande que celle de l'électron négatif, il suffit donc que son rayon soit 1830 fois plus faible. Il est suggestif que certains phénomènes indiquent, comme nous l'avons vu, que le noyau positif de l'hydrogène est effectivement plus petit que l'électron négatif.

L'électron positif se présente ainsi comme le plus petit corpuscule qui entre dans la constitution de la matière et en même temps celui qui forme la presque totalité de la masse des corps. Puisque sa masse est sensiblement égale à celle de l'atome d'hydrogène,

le nombre des électrons positifs contenus dans un atome est représenté par la valeur arrondie du poids atomique. Nous sommes ainsi ramenés, sous une forme rajeunie, à la vieille hypothèse de Prout, suivant laquelle tous les atomes sont formés par une agglomération d'atomes d'hydrogène. Cette hypothèse qui a été très discutée dans le cours du siècle passé a toujours conservé des partisans, car si les poids atomiques ne sont pas des multiples exacts de celui de l'hydrogène, ils s'en écartent très peu en général, surtout dans le cas des atomes légers, et cela ne peut être un simple hasard. Quant aux écarts entre les poids atomiques réels et les multiples exacts de celui de l'hydrogène, il ne semble pas impossible aujourd'hui d'en compte.

Les propriétés de l'atome, à l'exception de sa masse et de la radioactivité, dépendent directement des électrons extérieurs. Or, on conçoit que non seulement le nombre de ces électrons, mais aussi leurs positions relatives, les diamètres de leurs orbites, leurs vitesses, etc., sont déterminés par la charge du noyau et le champ de force qu'elle crée autour de lui. Il en résulte qu'en définitive, c'est cette charge qui détermine toutes les propriétés de l'atome. Ainsi nous comprenons enfin le rôle fondamental du nombre atomique et le phénomène de l'isotopie s'explique.

Les noyaux de deux isotopes ne sont pas identiques; ils ne renferment pas le même nombre d'électrons positifs ou négatifs; ils n'ont donc pas la même masse, ni la même stabilité (radioactivité), mais dans l'un et dans l'autre la charge positive est la même et cela suffit pour entraîner l'identité dans toutes leurs propriétés physiques ou chimiques.

La théorie de Rutherford nous permet donc de concevoir le rôle du nombre atomique et l'existence des isotopes. Il y a donc lieu de penser qu'elle nous donne une image adéquate de la structure atomique. Elle ne constitue cependant qu'une première étape et nous laisse encore bien loin du but, car elle soulève une grosse objection.

D'après les lois de l'électromagnétisme, un électron qui tourne autour du noyau devrait émettre de l'énergie rayonnante (lumière, rayons X, etc.). Perdant ainsi son énergie, sa vitesse devrait se ralentir et il devrait tomber sur le noyau en décrivant des cercles de plus en plus petits. L'atome imaginé par Rutherford ne peut donc exister; il apparaît comme un système instable.

Un savant danois Bohr[1] a cherché à éviter cette difficulté en complétant la théorie de Rutherford.

La physique du siècle passé, basée sur les équations de Maxwell, s'est montrée insuffisante pour rendre compte des lois du rayonnement du corps noir. Pour expliquer ces lois, Planck a imaginé la célèbre théorie des *quanta,* d'après laquelle l'énergie d'un oscillateur, tel qu'un électron, ne peut varier que d'une manière discontinue, en cédant un nombre entier de quanta d'énergie, chaque quantum étant non une quantité constante, mais le produit de la fréquence par une constante universelle.

C'est cette théorie que Bohr met à la base de ses conceptions sur les mouvements des électrons extérieurs.

Dans l'atome d'hydrogène, par exemple, l'électron unique qui gravite autour du noyau ne peut suivre, d'après Bohr, que certaines orbites circulaires de rayons déterminés et qu'on désigne par des numéros d'ordre. En parcourant un de ces cercles d'un mouvement uniforme, l'électron, contrairement à ce qu'enseigne la physique classique, n'émet pas d'énergie rayonnante, et il y a constamment égalité entre la force centrifuge et la force attractive exercée par le noyau. Mais l'électron ne peut être en équilibre en dehors de ces anneaux. Si, sous l'action d'une force étrangère, il sort de son orbite, c'est pour passer immédiatement sur un autre cercle de stabilité. C'est dans ce saut que l'électron émet de l'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques de fréquence déterminée et chaque fois l'émission est égale à un quantum d'énergie.

Tels sont les postulats essentiels sur lesquels Bohr fonde sa théorie. Ce qui fait l'intérêt de ces conceptions c'est qu'elles permettent de rendre compte avec une grande précision des séries de lignes qui constituent les spectres lumineux de certains éléments.

Le spectre de l'hydrogène comprend un série de lignes dont les fréquences peuvent être calculées en remplaçant dans la formule de Balmer:

$$\nu = 3{,}29.\ 10^{15} \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{m^2}\right)$$

la variable $m$ par la série des nombres entiers 3, 4, 5, etc. Or la théorie de Bohr conduit exactement à la formule de Balmer. Les lignes de cette série sont émises quand l'électron passe sur le cercle 2, à partir des cercles 3, 4, 5, etc.

[1] Phil. Mag., t. *26,* p. 1, 476, 857 (1913).

Le spectre de l'hydrogène renferme deux autres séries de lignes situées, l'une dans l'ultraviolet, l'autre dans l'infrarouge. La théorie de Bohr laisse également prévoir toutes ces lignes avec une précision qui ne laisse rien à désirer.

Avec l'atome d'hélium qui possède deux électrons extérieurs, le problème devient beaucoup plus difficile, mais si on considère, l'ion hélium (He*), formé d'un noyau avec deux charges positives autour duquel circule un seul électron, le calcul peut se faire comme dans le cas de l'hydrogène, et ici également la théorie à obtenu un brillant succès. Elle permet de calculer plusieurs séries de lignes correspondant exactement à celles qui ont été observées dans le spectre de l'hélium.

On est allé plus loin encore. Les lignes spectrales de l'hydrogène ou de l'hélium ne sont pas simples ; elles peuvent être séparées, au moyen d'instruments puissants, en plusieurs composantes. Or, Sommerfeld[1] a apporté à la théorie de Bohr d'intéressants perfectionnements, qui consistent à admettre d'abord que les orbites des électrons peuvent être non seulement des cercles, mais aussi des ellipses, et à tenir compte du fait que la masse de l'électron, qui dépend de sa vitesse, varie constamment dans son mouvement elliptique ensuite de sa vitesse variable. Sommerfeld parvient ainsi à rendre compte de la complexité des raies spectrales et la comparaison des résultats du calcul avec ceux de l'observation montre, tout spécialement pour l'hélium, une remarquable concordance.

Si on passe aux autres éléments les difficultés de calcul deviennent très grandes. Les électrons répartis sur plusieurs orbites s'influencent les uns les autres et forment des systèmes compliqués dont on n'est pas encore parvenu à préciser l'ordonnance. Il y a des raisons de penser qu'à mesure que le nombre des électrons extérieurs augmente, ils constituent de nouveaux anneaux, tandis que les premiers formés subsistent. On peut ainsi concevoir une apparition périodique de nouveaux anneaux correspondant à un changement périodique des propriétés qui dépendent de la surface de l'atome. Si une propriété est fonction non périodique du nombre atomique, il est à présumer qu'elle ne fait intervenir que les électrons les plus voisins du noyau. Tel est le cas du spectre de haute fréquence.

---

[1] Ann. de Physik, t. *51*, p. 125 (1916).

Au sujet de ce dernier, la théorie de Bohr donne d'intéressantes indications. Elle rend compte de la loi de Moseley, et nous apprend que les lignes $\alpha$ de la série K sont dues au passage d'un électron de l'anneau *2* à l'anneau *1*, tandis que les lignes $\alpha$ de la série L sont émises quand il saute du cercle *3* au cercle *2*.[1]

Tous ces résultats sont pleins de promesses; ils autorisent à penser que la théorie de Bohr, quels que soient les changements qu l'avenir y apportera, correspond à des realités et que les recherches sont orientées dans une bonne direction. Mais si les caractères généraux de la structure atomique peuvent être considérés comme connus, les détails ainsi que nous l'avons vu, nous échappent pour la plupart des éléments. On n'est pas encore parvenu à représenter chaque atome par un modèle qui traduise toutes les particularités de sa structure et qui rende compte de toutes ses propriétés, mais la voie est ouverte qui tôt ou tard, on peut l'espérer, conduira à ce but et permettra de ramener toutes les modalités de la matière à de simples différences dans l'arrangement et dans les mouvements des particules ultimes de deux éléments primordiaux, l'électricité positive et l'électricité négative.

---

[1] Moseley, *loc. cit.*