

La double magie de l'étain 100

Thomas Faestermann

La structure particulière du noyau atomique de l'étain 100 en fait un candidat précieux pour tester la théorie nucléaire. Des expériences récentes ont permis de produire ce noyau et de mesurer certaines de ses propriétés.

Origine de l'Univers, structure de l'espace-temps, boson de Higgs... Les annonces médiatiques créent l'impression que les physiciens ne rêvent que de grandes questions portant sur les fondements de l'Univers, tandis que les domaines moins en vue seraient désormais bien connus et bien compris. S'agissant des atomes, on apprend ainsi dès le lycée que les noyaux atomiques sont formés de protons et de neutrons, lesquels sont eux-mêmes composés de quarks collés par des particules nommées gluons ; puis l'on entend que les chercheurs s'interrogent désormais sur la structure des quarks...

Tout cela n'est qu'apparence, car des questions de fond continuent à se poser dans les domaines moins médiatiques aussi ! Ainsi en est-il de l'étude des noyaux atomiques. Si l'on sait décrire aujourd'hui de façon détaillée les noyaux légers, nous sommes encore loin d'un modèle efficace pour la compréhension des noyaux lourds. Comme nous allons le voir, l'étude des noyaux dits magiques, voire doublement magiques, tel que l'étain 100 (voir la figure 1), est un passage obligé pour atteindre cet

L'ESSENTIEL

- Les physiciens cherchent à comprendre le noyau atomique à l'aide de modèles, en particulier le « modèle en couches ».
- Ce modèle décrit bien les noyaux légers, mais il est difficile à appliquer aux noyaux lourds en raison de leur complexité.
- Certains noyaux dits magiques font exception et sont donc intéressants à étudier expérimentalement.
- C'est le cas de l'étain 100, noyau magique à la fois par son nombre de protons et par son nombre de neutrons, et qui a fait l'objet de plusieurs expériences récentes.

objectif. Plusieurs résultats ont ainsi été obtenus sur l'étain 100 lors d'expériences récentes, menées en particulier à Darmstadt, en Allemagne.

En 1932, le Britannique James Chadwick découvrait qu'un troisième composant atomique s'ajoute à l'électron et au proton : le neutron. Depuis, la même question demeure : comment les nucléons, c'est-à-dire les protons et les neutrons, se répartissent-ils à l'intérieur du noyau ? Pour y répondre, le physicien russo-américain George Gamow développa à Léninegrad, dans les années 1930, l'idée de base du « modèle de la goutte liquide ». Le noyau atomique y est comparé à une goutte de liquide qui, comme une goutte d'eau, peut se déformer, mais en gardant un volume constant. De même que les molécules d'eau sont liées entre elles par des forces agissant localement et à l'échelle microscopique, chaque proton et chaque neutron exerce une très forte attraction sur ses voisins immédiats : c'est la force (ou interaction) nucléaire. La portée de cette force est si petite (de l'ordre du femtomètre, soit 10^{-15} mètre) qu'elle n'agit plus sur les nucléons plus lointains que les voisins immédiats.

Ce concept une fois posé, Gamow devait expliquer pourquoi le noyau ne se disloque pas sous l'effet de la répulsion électrostatique entre les protons, de charge positive. Cette répulsion est plus faible que la force nucléaire, mais sa portée est bien supérieure. Il détermina que pour un noyau contenant plus de 100 protons, la répulsion électrostatique devrait prendre le dessus sur la force nucléaire, et le noyau serait alors instable. Cela correspond à ce qui est observé dans la nature, où le noyau naturel le plus lourd, celui d'uranium, ne contient que 92 protons. Les atomes les plus massifs créés par les physiciens ont jusqu'à 118 protons, mais ils se désintègrent en une fraction de seconde.

Le modèle nucléaire de la goutte liquide prédit beaucoup de résultats de mesure,

mais n'explique pas tout. En particulier, il n'explique pas les nombres magiques.

Ces nombres ont été découverts dans les années 1940, quand on a remarqué que les noyaux de numéros atomiques $Z = 2, 8, 20, 28, 50$ et 82 (le numéro atomique Z désigne le nombre de protons du noyau) sont particulièrement stables. De même, les noyaux contenant les mêmes nombres de neutrons, ainsi que 126 neutrons, ont aussi une stabilité remarquable. Ces nombres, comme les noyaux qu'ils caractérisent, ont été qualifiés de magiques. Précisons que si les noyaux magiques sont stables vis-à-vis de l'interaction nucléaire (plus précisément, l'interaction fondamentale dite forte), ils peuvent néanmoins, dans nombre de cas, subir une désintégration

bêta (due à l'interaction fondamentale dite faible).

Les noyaux « doublement magiques » sont ceux qui possèdent à la fois un nombre magique de protons et un nombre magique de neutrons. C'est le cas, par exemple, du plomb 208 avec ses 82 protons et ses 126 neutrons, ou encore de l'étain 100 avec ses 50 protons et ses 50 neutrons.

Ces constatations ont rappelé aux physiciens qu'il existe un phénomène comparable au sein du cortège électronique de l'atome. Dans ce cas, ce sont les nombres d'électrons 2, 8, 18, 36, 54, et 86 qui rendent les nuages électroniques stables; les atomes correspondants sont très peu réactifs chimiquement. Dans ces atomes – ceux des gaz rares – les couches électroniques sont toutes

1. LES PROTONS ET NEUTRONS du noyau atomique se répartissent au sein de couches d'énergie (*demi-sphères*) qui sont complètement occupées dans le cas de l'étain 100.

L'énergie de liaison est d'autant plus faible que la distance au centre du noyau est grande.

