

Matière à penser

ROLAND LEHOUCQ • MICHEL CASSÉ

Grâce à une enquête longue et minutieuse, les physiciens savent que les éléments viennent des étoiles et que leur répartition traduit des mécanismes de physique nucléaire.

En 1610, lorsqu'il pointe sa lunette vers la Lune, Galilée voit des montagnes et l'astronome en déduit que la Lune est «terreuse». Aujourd'hui, nous serions plutôt enclins à dire que la Terre est céleste, car les éléments qui la composent viennent du ciel. De l'hydrogène à l'uranium, les sources des éléments chimiques sont maintenant bien connues.

Les noyaux sont constitués de protons, chargés positivement, et de neutrons, de masse analogue à celle du proton, mais sans charge. Quelles sont, parmi les combinaisons de ces nucléons, celles qui forment des noyaux stables au regard de l'âge de l'Univers? Dans un diagramme où l'on représente le nombre de neutrons N en fonction du nombre de protons Z , les 270 noyaux stables que dénombre la physique nucléaire sont au fond d'une sorte de vallée, la «vallée de stabilité» (plus l'énergie de liaison du noyau est grande, plus sa position dans la vallée est profonde); les noyaux instables occupent les flancs des «collines» qui la bordent. Les isotopes d'un élément sont les noyaux qui ont le même nombre de protons, mais un nombre différent de neutrons (leurs propriétés chimiques sont identiques, mais leurs propriétés nucléaires diffèrent). Ils sont situés sur une même verticale.

Porteurs d'une charge positive, les protons se repoussent. Pourquoi sont-ils liés dans le noyau? Parce qu'ils subissent une force attractive, d'intensité supérieure à courte distance à celle de la force électrostatique. Cette force est indépendante de la charge électrique et son rayon d'action est très faible, de l'ordre de 10^{-15} mètre. En raison de cette attraction, la masse d'un noyau est toujours inférieure à la somme des

masses de ses $N+Z$ nucléons : la différence entre la somme des masses des constituants isolés et la masse du noyau est son énergie de liaison; c'est l'énergie qu'il faut lui fournir pour en libérer les nucléons.

La force nucléaire entre un proton et un neutron est

plus intense qu'entre nucléons du même type, deux neutrons par exemple. Pour cette raison, un noyau qui comporte autant de protons que de neutrons est plus stable.

C'est ce que l'on observe pour les noyaux plus légers, comme le calcium (20 protons et 20 neutrons). Cependant, la taille du noyau est finie, de sorte que les nucléons situés près de la surface extérieure sont moins entourés, et donc moins liés, que ceux de l'intérieur. La résultante des forces d'interaction sur les nucléons superficiels, dirigée vers l'intérieur du noyau, crée une tension superficielle analogue à celle qui existe à la surface d'une goutte de liquide. L'énergie de liaison s'en trouve diminuée d'une quantité pro-

portionnelle à l'aire de la surface externe du noyau. Dans ce modèle, dit de la goutte liquide, plus un noyau est gros, plus son énergie de liaison est diminuée.

D'autres facteurs diminuent l'énergie de liaison. Bien que liés par la force nucléaire, les protons se repoussent sous l'effet de la force électrostatique. Les noyaux stables les plus lourds doivent avoir un excès de neutrons afin de compenser la répulsion entre les protons. Par exemple, le noyau de plomb possède 82 protons et 126 neutrons. Pour les noyaux les plus lourds, la répulsion électrostatique entre protons devient si forte qu'aucun noyau n'est stable au-delà du bismuth (83 protons). C'est dans cette région que l'on trouve la plupart des noyaux radioactifs naturels.

L'examen détaillé de la vallée de stabilité met aussi en lumière d'autres traits de la structure nucléaire. Ainsi, les noyaux qui ont un nombre pair de protons et de neutrons, ainsi que ceux qui contiennent un nombre entier de noyaux d'hélium (deux protons et deux neutrons) ont une énergie de liaison plus élevée que leurs voisins. Selon la mécanique quantique, les nucléons occupent des états déterminés, regroupés en couches. Un noyau est plus stable lorsqu'il possède suffisamment de protons ou de neutrons pour remplir une couche. C'est le cas de ces noyaux.

Au total, la cohésion des noyaux résulte d'un jeu subtil entre la répulsion

