

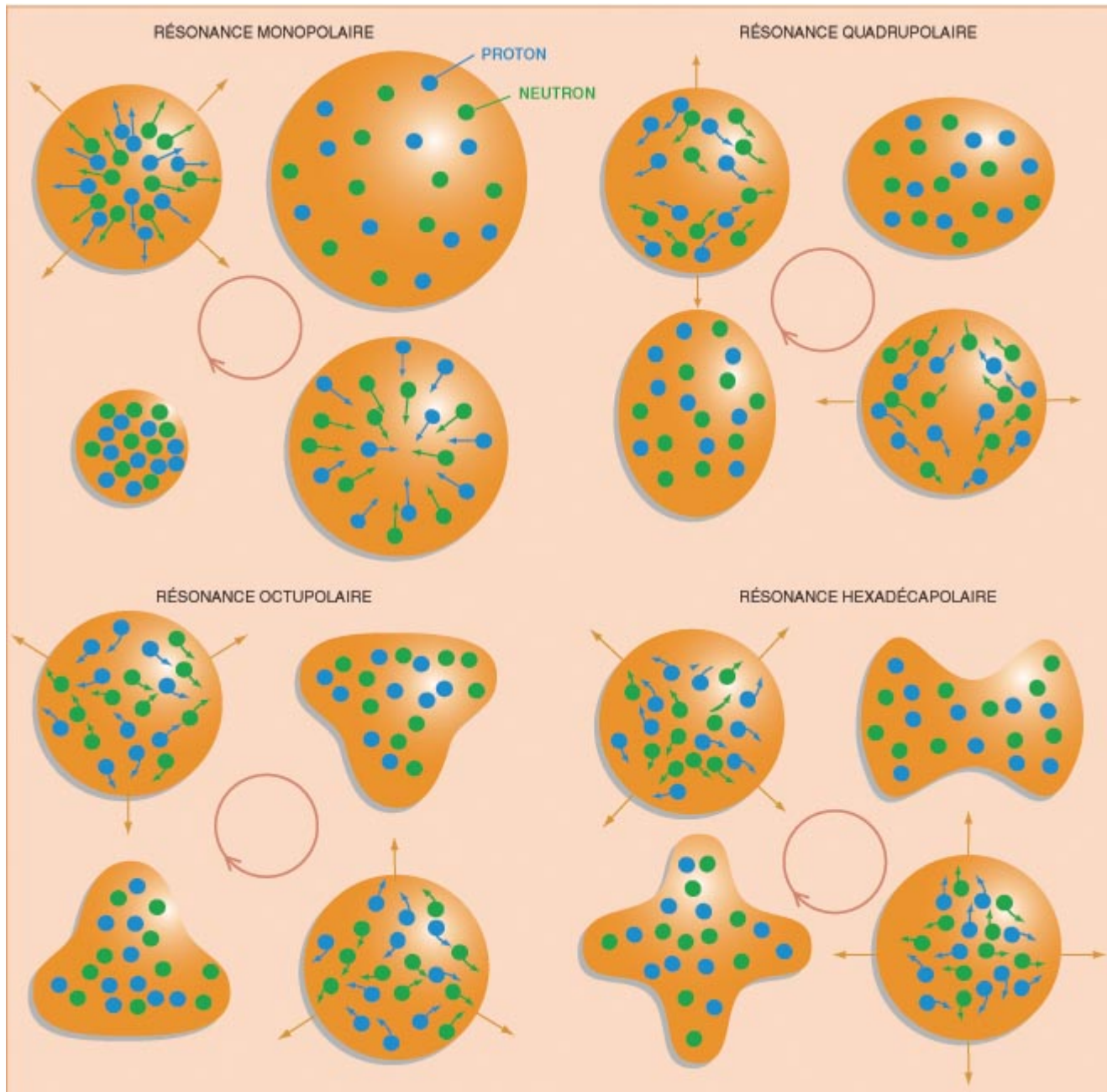
Les nucléons se croisent et oscillent en opposition de phase (voir la figure 1). Cette résonance, la première découverte, a été nommée «résonance dipolaire géante». Contrairement aux résonances découvertes depuis, elle ne déforme pas le noyau (voir la figure 2). La résonance monopolaire, celle qui ressemble à un cœur qui bat, comprime, puis gonfle le noyau. Lors de cette résonance, les nucléons se déplacent ensemble : ils convergent d'abord vers le centre du noyau, puis s'en éloignent, ce qui fait varier leur

densité. Résultat : le noyau semble respirer, la force de rappel étant ici la résistance de la matière à la compression et à la dilatation.

Dans d'autres modes, dits de surface, la répartition des nucléons change, mais pas leur densité. Le noyau se déforme comme la surface de l'eau plissée par les vagues. La plus simple oscillation de surface est le mode quadrupolaire : le noyau s'allonge vers le haut, puis s'aplatit. Dans ce mode, comme pour le mode monopolaire, les protons et les neutrons se déplacent de

conservation. Ici, ils se dirigent ensemble, non plus vers le centre, mais vers deux bords opposés du noyau, ce qui le rend ellipsoïdal.

Dans toutes les résonances géantes, les fréquences de résonance sont très élevées. En effet, le noyau ressemble à un minuscule ressort très dur, car la force qui lie les protons et les neutrons est considérable (plusieurs milliers de newtons). Or, plus un ressort est dur, plus sa force de rappel est élevée, plus il vibre à hautes fréquences. De même, plus il est petit, plus sa fréquence de



2. LES NOYAUX, sous l'influence des mouvements collectifs des nucléons, entrent en collision. Tous peuvent vibrer selon des modes de résonance variés. Parmi les plus caractéristiques : le mode monopolaire correspond à une série de compressions et d'expansion des protons

(en bleu) et des neutrons (en vert) ; en mode quadrupolaire, le noyau s'allonge et s'aplatit alternativement. Dans le mode octupolaire, le noyau prend une forme de poire et dans le mode hexadécapolaire par exemple, le noyau passe d'une forme de bobine à une forme d'étoile.

vibration est élevée. Ainsi, les fréquences des résonances géantes atteignent 10^{22} hertz, soit 64 octaves au-dessus du «la» du diapason. L'énergie minimale pour exciter une résonance est égale à cette fréquence multipliée par la constante de Planck, soit entre 10 et 20 millions d'électronvolts.

Mettre un noyau en vibration

Trois méthodes existent pour faire vibrer un noyau atomique (voir la figure 3). La première consiste à le plonger dans un champ électromagnétique externe oscillant. C'est ainsi qu'est excitée la résonance géante dipolaire. Dès que la fréquence du champ est égale à la pulsation de la résonance, les photons sont absorbés par le noyau, ce qui met les protons en mouvement et déclenche la vibration du noyau.

Dans la deuxième méthode, dite «de l'échange de charge», un faisceau incident, constitué de particules chargées, bombarde les noyaux que l'on étudie. Une particule du faisceau incident pénètre dans le noyau et y dépose une

charge positive, par exemple, qui transforme un des neutrons en un proton. Cette opération crée un déséquilibre des charges dans le noyau. Les protons et les neutrons se mettent alors en mouvement. Les résonances induites sont analogues à celles excitées par des champs électromagnétiques.

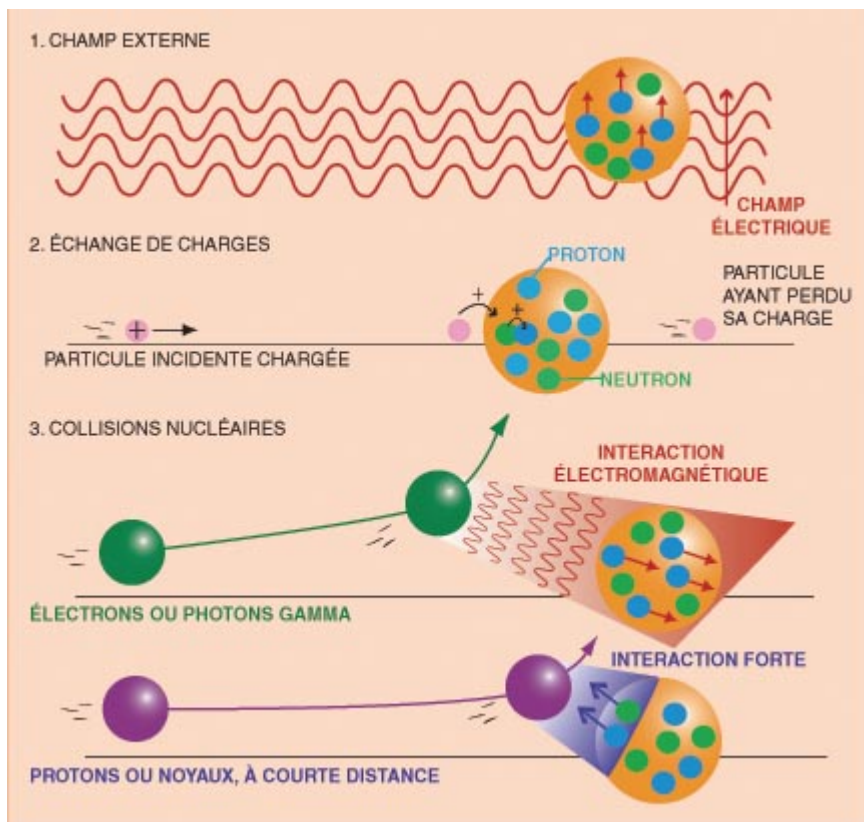
La dernière méthode, la plus employée, consiste à bombarder le noyau avec des projectiles, tels des électrons, des nucléons ou des noyaux, pour provoquer une collision. Cela revient à lancer des billes pour déclencher le mouvement d'un ressort ou la vibration d'une cloche : il faut viser juste. Si la collision est trop violente, le noyau se brise. Il ne peut plus vibrer. Plus question qu'il vibre. Le projectile doit seulement effleurer le noyau. Cela suffit à le faire vibrer, car les projectiles n'ont pas d'action mécanique, mais agissent par l'intermédiaire d'un champ électromagnétique ou de l'interaction forte. L'interaction électromagnétique agit à longue distance. L'interaction forte n'est possible qu'avec les protons, les particules alpha (noyaux d'hélium)

et autres noyaux. À courte distance, elle domine l'interaction coulombienne et agit indépendamment de la charge : elle s'applique de façon symétrique sur les protons et les neutrons, qui lui apparaissent comme des jumeaux quasi identiques. Dans ce cas, la «collision» nucléaire excite principalement les résonances où protons et neutrons vibrent ensemble, comme les résonances monopolaires et quadrupolaires. Ainsi, suivant sa vitesse et sa nature, le projectile provoque différentes résonances qui se superposent ; un peu comme lorsqu'on tape sur une cymbale, qui produit alors plusieurs sons. Après la collision, le projectile est dévié et il a perdu une partie de son énergie, qui a été transférée au noyau. En pratique, on mesure cette énergie pour déterminer l'énergie de la résonance (voir l'encadré de la page 37).

Si les électrons et les protons sont des projectiles considérés comme des billes, on bombarde aussi les noyaux avec des boules. Ces boules, ce sont des ions lourds dont l'utilisation a engendré des progrès notables à partir des années 1980. Les ions lourds sont des atomes lourds ionisés. Leur noyau est composé d'un grand nombre de protons et de neutrons. Par conséquent, les forces électromagnétiques et nucléaires qu'ils font subir au noyau cible sont plus élevées que celles qu'exerce un simple proton. La probabilité d'excitation des résonances géantes est donc beaucoup plus importante, ce qui facilite leur étude.

Système complexe auto-organisé

Que se passe-t-il lors d'une résonance géante? Dans le noyau à l'équilibre, les nucléons n'occupent pas, d'après le principe d'incertitude d'Heisenberg, une position précise. On calcule, d'après l'ordre de grandeur de l'interaction forte entre les nucléons (plusieurs millions d'électronvolts) et de leur masse, qu'un nucléon a une vitesse égale au tiers de celle de la lumière et que chaque proton et neutron occupe le noyau entier. Il interagit donc avec tous les autres nucléons et subit une force moyenne exercée par l'ensemble des particules. Ces forces moyennes sont à l'origine d'un champ, nommé potentiel nucléaire moyen.



3. COMMENT METTRE UN NOYAU EN VIBRATION? Le plonger dans un champ électromagnétique (1), lui donner ou lui retirer une charge (2), ou provoquer une collision nucléaire (3). Dans ce cas, les ions lourds utilisés comme projectiles sont les plus efficaces. Ils agissent à la fois par interaction électromagnétique et par l'interaction forte, selon leur nature et la distance avec le noyau cible.