

Excitations nucléaires β et γ dans la même boîte

S. PÉRU - S. HILAIRE - E. BAUGE / CEA – DAM Île-de-France
M. MARTINI / Université de Gand, Belgique

Un formalisme unique a été utilisé pour décrire aussi bien les états excités d'un noyau que les probabilités de décroissance par radioactivité β . Ainsi un seul et même cadre théorique et numérique permet d'alimenter avec succès les modèles de réactions nucléaires et les modèles astrophysiques gourmands en données nucléaires telles que les temps de vie β et les fonctions de force γ .

Lorsque l'on excite le noyau, ses constituants participent à l'excitation en changeant d'orbites quantiques : s'ils sont nombreux à contribuer cette excitation est collective, sinon elle est individuelle. Quelle que soit la nature de ces excitations, les modèles tentent de les décrire microscopiquement.

Parmi les approches disponibles, le 5DCH (*Five-Dimension Collective Hamiltonian*) a montré un grand pouvoir prédictif sur l'ensemble de la carte des noyaux [1], mais se limite aux états collectifs pour les modes quadripolaires de basse énergie. L'approche QRPA (*Quasi-particle Random Phase Approximation*) quant à elle, décrit sur un pied d'égalité états collectifs et individuels qu'elles que soient leur multipolarité et leur parité. Une étude [2] a montré la complémentarité de ces deux approches. Si dans certains cas, approches 5DCH et QRPA donnent des résultats comparables, souvent une seule d'entre elles permet de reproduire l'expérience : cela se produit par exemple pour les premiers états 2_+ des isotopes de l'étain (figure 1). De plus, la QRPA n'étant pas limitée aux basses énergies, elle est l'approche maîtresse pour l'étude des résonances géantes. La plus ancienne et la plus étudiée de toutes est la résonance géante dipolaire, une oscillation cohérente des protons et des neutrons en opposition de phase. Elle contribue majoritairement aux sections efficaces d'absorption (ou d'émission) de γ dans lesquelles l'apparition de double pic a été interprétée comme la signature d'une déformation intrinsèque du noyau. Une section efficace de photo-absorption à double bosse pour un noyau déformé est fournie pour exemple (figure 2a), et comparée à nos prédictions. Ce résultat fait partie d'une étude systématique des excitations dipolaires utilisant de façon intensive les supercalculateurs [3], une étude soutenue par l'infrastructure européenne PRACE (*Partnership for advanced computing in Europe*).

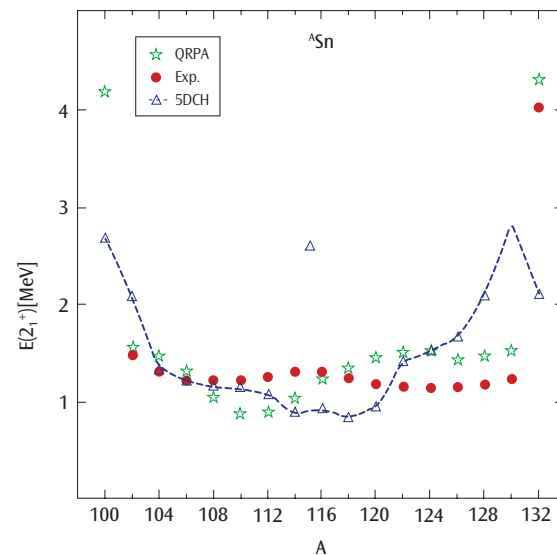


Figure 1. Énergies des 2_+ des isotopes de l'étain : comparaison des approches théoriques QRPA et 5DCH et de l'expérience.

Depuis la découverte des modes collectifs dipolaires, d'autres résonances géantes de multipolarités différentes ont été cherchées, observées et étudiées. Les résultats QRPA jusqu'au mode octupolaire pour l'uranium 238, noyau lourd et déformé, ont été déjà discutés [4] et utilisés dans le domaine des applications [5].

Au-delà des excitations électromagnétiques qui conservent la charge et donc la nature chimique de l'élément, d'autres excitations peuvent se produire dans le noyau, comme la radioactivité β (processus électrofaible le plus connu). Ce phénomène peut lui aussi être décrit par la QRPA en incluant des excitations élémentaires qui transforment un neutron en proton ou vice-versa. Notre outil numérique

original [4] a donc été généralisé pour traiter aussi bien les excitations électromagnétiques γ qu'électrofaibles β [6]. Comme illustré sur la partie droite de la **figure 2**, un accord satisfaisant entre la théorie et l'expérience est obtenu pour l'excitation Gamow-Teller, responsable majeur de la radioactivité β , faisant intervenir un échange de spin et d'isospin.

Comme l'intégrale de cette fonction β jusqu'à l'énergie dégagée par la désintégration du radio-nucléide donne sa probabilité de décroître, notre modèle microscopique permet de prédire les temps de vie de tous les noyaux, déformés ou sphériques. La **figure 3** illustre son pouvoir prédictif en comparant à l'expérience les résultats obtenus pour des chaînes isotopiques de noyaux déformés. Un tel succès positionne le modèle parmi les meilleurs disponibles actuellement en structure nucléaire.

Le CEA – DAM dispose donc d'un outil théorique très puissant qui permet de décrire dans un cadre unique la majorité des excitations nucléaires. Il est compétitif avec les autres modèles microscopiques de structure nucléaire et est en même temps un des seuls capable de fournir des valeurs

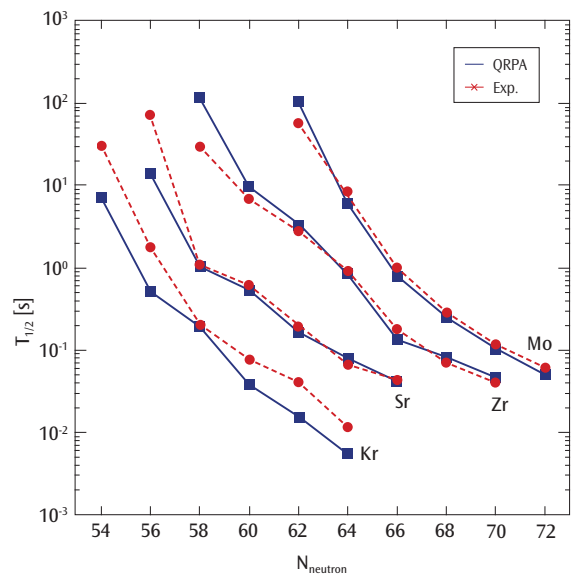


Figure 3.

Demi-vie de désintégration β pour les isotopes déformés Kr, Sr, Zr et Mo.

pour l'ensemble de la carte de noyaux. Sa particularité à pouvoir traiter les noyaux connus aussi bien qu'inaccessibles expérimentalement est un atout pour la physique des étoiles et des réacteurs. Il alimente les simulations des processus de nucléosynthèse primordiale caractérisés par une compétition entre la capture radiative de neutrons (gouvernée par la photo-émission γ) et la désintégration β . Il peut être également utilisé dans les calculs des flux d'antineutrinos provenant des réacteurs, une quantité cruciale dans la physique fondamentale des neutrinos ainsi que dans les études de non-prolifération.

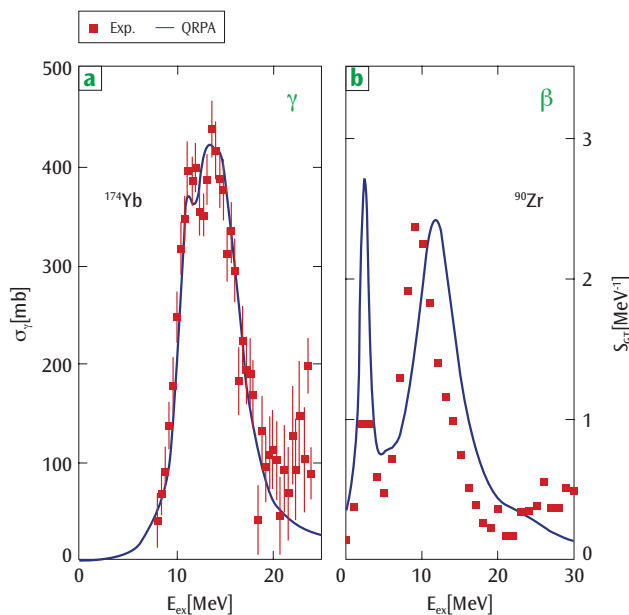


Figure 2.
 Comparaison de l'approche QRPA et de l'expérience.
 (a) : section efficace de photoabsorption (γ);
 (b) : distribution Gamow-Teller (β).

Références

- [1] J.-P. DELAROCHE *et al.*, « Collectivité nucléaire avec l'interaction de Gogny pour 1 700 noyaux », *CHOCs avancées 2010*.
- [2] S. PÉRU, M. MARTINI, "Mean field based calculations with the Gogny force: Some theoretical tools to explore the nuclear structure", *Eur. Phys. J. A*, **50**, p. 88 (2014).
- [3] M. MARTINI *et al.*, "Improved nuclear inputs for nuclear model codes based on the Gogny interaction", *Nucl. Data Sheets*, **118**, p. 273 (2014).
- [4] S. PÉRU *et al.*, « Des multiprocesseurs pour des réponses multipolaires », *CHOCs avancées 2011*.
- [5] E. BAUGE *et al.*, "Connecting the dots, or nuclear data in the age of supercomputing", *Nucl. Data Sheets*, **118**, 32 (2014).
- [6] M. MARTINI, S. PÉRU, S. GORIELY, "Gamow-Teller strength in deformed nuclei within selfconsistent charge exchange quasiparticle random-phase approximation with the Gogny force", *Phys. Rev. C*, **89**, 044306 (2014).