

Collectivité nucléaire avec l'interaction de Gogny pour 1 700 noyaux

L'étude des propriétés des noyaux dans le cadre de théories microscopiques a été menée avec succès au cours des trente dernières années au CEA - DAM Île-de-France. Forte de ces acquis, une étude systématique a été conduite pour les états de vibration et de rotation pour environ 1 700 noyaux liés possédant un nombre pair de protons (Z) et de neutrons (N) couvrant la table des éléments depuis le néon ($Z = 10$) jusqu'aux actinides et transactinides ($Z > 90$). Ces travaux de grande ampleur ont pu être menés grâce aux moyens de calcul du CCRT.

J.-P. Delaroche • M. Girod • H. Goutte • S. Hilaire • S. Péru • N. Pillet CEA - DAM Île-de-France

J. Libert Institut de Physique Nucléaire, IN2P3-CNRS, Orsay

G. Bertsch Institute of Nuclear Theory, University of Washington, Seattle, USA

La structure des noyaux est étudiée à l'aide de modèles microscopiques utilisant la force de Gogny. C'est dire que ces modèles n'impliquent aucun paramètre libre (sauf ceux entrant dans la spécification de cette force). Parmi ces modèles décrivant au-delà du champ moyen Hartree-Fock-Bogoliubov (HFB) les propriétés du noyau, il en est un, basé sur la méthode dite de la Coordonnée Génératrice, qui est à même de décrire les états collectifs (vibration et rotation) de basse énergie dans les noyaux pair-pair dont le nombre de protons (Z) et de neutrons (N) diffèrent des nombres magiques $Z(N) = 8, 20, 28, 50, 82, 126...$

Ce modèle collectif repose sur un Hamiltonien où cinq degrés de liberté associés aux excitations collectives de basse énergie et de parité positive sont inclus. Dans ce Hamiltonien, les composantes d'énergie cinétique et potentielle sont déterminées à partir de calculs de champ moyen HFB - sous contraintes.

Les enjeux

Cette description des états excités des noyaux, initiée il y a de nombreuses années, s'est révélée pertinente dans l'interprétation d'une variété d'expériences menées sur la diffusion d'électrons (Saclay), la coexistence de formes (SPIRAL au GANIL), la spectroscopie gamma de noyaux exotiques (SPIRAL et Michigan State University, USA), les états superdéformés, le processus de fission, les isomères de forme dans les actinides, etc. Puisque cette approche bâtie sur un modèle collectif semble être très prometteuse, pourquoi ne

pas en tester les performances pour les quelques centaines de noyaux ayant des propriétés collectives connues expérimentalement ? Pourquoi ne pas étendre l'étude bien au-delà pour prédire

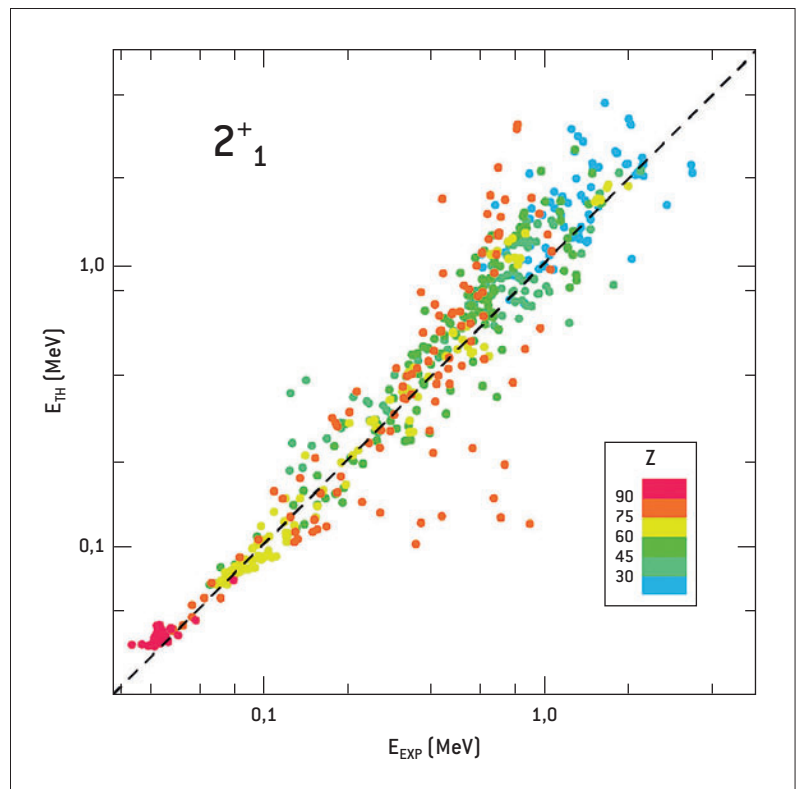


Figure 1. Énergies des premiers états 2^+ . Comparaison entre valeurs expérimentales pour 537 noyaux et les prédictions du modèle.

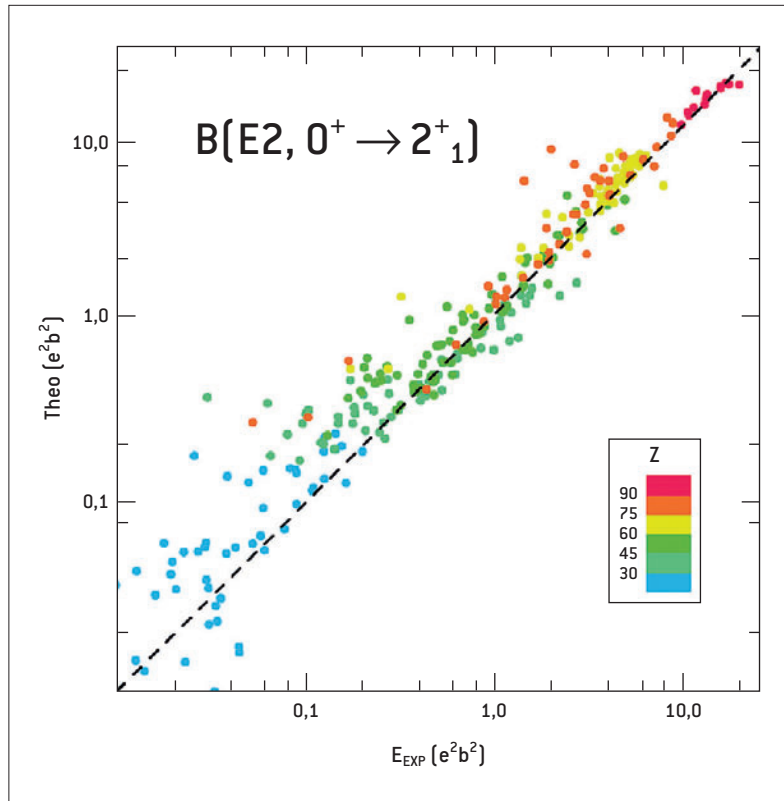


Figure 2.
 Probabilités de transition réduite $B(E2)$.
 Comparaison entre valeurs expérimentales pour 320 noyaux et les prédictions du modèle.

quelles sont les propriétés spectroscopiques de noyaux exotiques qui seront accessibles à l'expérience auprès de SPIRAL2 au GANIL, et pour prédire aussi les limites en Z et N au-delà desquelles les noyaux ne sont plus liés, une information utile aux scénarios de nucléosynthèse stellaire? Ce pari a été mené à bien grâce aux grands moyens de calcul disponibles au CEA.

L'étude

La comparaison entre de nombreux résultats expérimentaux et les calculs a permis d'évaluer la figure de mérite du modèle. Cette comparaison ne peut être décrite en détail ici, mais elle est disponible dans une publication récente [1]. En particulier, nous pouvons conclure que les vibrations harmoniques sont extrêmement rares dans les noyaux et que les prédictions du modèle sont d'autant meilleures que les noyaux sont éloignés des nombres magiques. L'accord entre calculs et mesures est bon pour les noyaux déformés, aussi bien dans la région définie par $30 < Z < 40$ que dans les terres rares ($60 < Z < 76$), les actinides et transactinides ($Z > 90$). Des illustrations sont données sur la **figure 1** pour l'énergie du premier état excité 2^+ des noyaux connus, et sur la **figure 2** pour les probabilités réduites $B(E2)$ de

transition quadrupolaires électriques de cet état excité vers l'état fondamental, sachant que la valeur de $B(E2)$ est inversement proportionnelle à la durée de vie du niveau excité.

Conclusion

L'étude systématique et à grande échelle qui a été menée permet de conclure que le modèle microscopique utilisé pour décrire les propriétés collectives d'environ 1 700 noyaux est globalement satisfaisant et qu'il permet une certaine confiance dans les prédictions. Cette étude a également montré que les transitions sans transfert de moment angulaire devraient impliquer des degrés de liberté supplémentaires. D'ores et déjà, nous pouvons dire que de nombreuses prédictions se révéleront précieuses pour l'interprétation de mesures faites dans le futur à SPIRAL2 (GANIL), et pour enrichir les modèles de réaction nucléaire servant à l'évaluation de données utiles au programme Simulation de la DAM.

RÉFÉRENCES

- [1] J.-P. DELAROCHE *et al.*, "Structure of even-even nuclei using a mapped collective Hamiltonian and the D1S Gogny interaction", *Phys. Rev. C*, **81**, 014303 (2010).