

Premiers calculs microscopiques pour l'évaluation de données nucléaires

G. BLANCHON - M. DUPUIS / CEA – DAM Île-de-France
H. F. ARELLANO / Université du Chili, Santiago, Chili

La production de données nucléaires de qualité pour les applications passe par une bonne modélisation du processus de diffusion élastique de nucléon (neutron ou proton) sur le noyau. Le potentiel représentant l'interaction entre le nucléon incident et le noyau cible est obtenu de manière phénoménologique quand les données expérimentales sont disponibles. Dans le cas contraire, le potentiel pourrait être déterminé de manière microscopique à partir de l'interaction effective nucléon-nucléon. Dans cet article, l'étude de la diffusion de nucléon avec le noyau cible sphérique de calcium 40 est envisagée en utilisant l'interaction effective de Gogny [1].

La production de données nucléaires pour les applications repose principalement sur le dialogue entre les modèles théoriques de réaction nucléaire et les résultats provenant de l'expérience. Ces modèles nécessitent des ingrédients, le plus souvent phénoménologiques, c'est-à-dire paramétrés afin de reproduire les données expérimentales le plus finement possible. Le potentiel nucléon-noyau, caractérisant l'interaction d'un nucléon avec un noyau cible lors du processus de diffusion élastique, est l'un de ces ingrédients. On parle de diffusion élastique lorsque le projectile, ici un nucléon, est de même nature et a la même énergie cinétique avant et après avoir interagi avec le noyau cible.

Si les potentiels phénoménologiques ont permis de nombreux succès pour l'évaluation de données nucléaires, leur capacité prédictive dans des domaines encore inexplorés expérimentalement reste cependant discutable. La stratégie adoptée pour pallier ce manque de données est de faire appel à des modèles plus microscopiques. Le pari de la microscopie est le suivant : ajouter de la physique dans la détermination des ingrédients des modèles de réaction afin de gagner en capacité prédictive.

La production de potentiels nucléon-noyau dans leur version microscopique est rendue possible grâce à l'expérience accumulée au CEA – DAM dans la description de la structure des noyaux. Ces approches sont basées sur l'utilisation de l'interaction effective nucléon-nucléon dite de Gogny. Couplés aux progrès des calcula-

teurs modernes, ces modèles ont permis l'étude de la structure de la quasi-totalité des noyaux connus. Ils permettent ainsi des prédictions sur l'état fondamental et les états excités de ces noyaux qui sont ensuite utilisées afin de construire le potentiel nucléon-noyau microscopique. En effet, dans les processus de diffusion de basse énergie, le nucléon incident est particulièrement sensible à la structure du noyau cible et à son spectre d'excitation.

Au premier ordre du processus de diffusion élastique, le noyau cible reste dans son état fondamental et le nucléon projectile ressent l'effet moyen de l'intégralité des nucléons de la cible du fait de l'interaction nucléaire à laquelle s'ajoute l'interaction coulombienne dans le cas de la diffusion de proton. Une fois le potentiel généré, il s'agit de résoudre l'équation de Schrödinger pour la diffusion afin d'obtenir les observables de réaction directement comparables avec l'expérience, notamment la probabilité d'interaction, dite section efficace. Cette description de la diffusion élastique n'est cependant pas suffisante pour bien reproduire les sections efficaces expérimentales. En effet, à ce niveau d'approximation, le modèle surestime systématiquement les sections efficaces expérimentales. Il faut donc prendre en compte des processus modifiant l'énergie du nucléon incident, le soustrayant ainsi au canal de la diffusion élastique.

Pour ce faire, il faut aller à l'ordre suivant des perturbations en prenant en compte les excitations du noyau cible du fait de son interaction

avec le nucléon incident. Le nucléon incident peut ainsi convertir une partie de son énergie cinétique en énergie d'excitation du noyau cible. Le nucléon peut conserver cette énergie modifiée, il est alors perdu pour le canal élastique et va nourrir un canal inélastique. Il a également une probabilité

non nulle d'interagir de nouveau avec le noyau cible; le noyau cible retournant dans son état fondamental, le nucléon récupérera son énergie et reviendra dans le canal élastique.

La prise en compte de ces excitations intermédiaires du noyau cible, nourrissant les canaux inélastiques, permet de décrire la diminution de flux entre les nucléons en voie d'entrée et ceux en voie de sortie dans le canal élastique. Cela se traduit donc par une diminution de la section efficace élastique calculée qui permet de fait une meilleure reproduction des données expérimentales.

Dans un premier temps, ce modèle a été appliqué aux noyaux-cibles sphériques tels que le calcium 40. Il s'agit d'une première étape pour valider le principe de l'approche; ce travail a fait l'objet d'une publication [1]. Les sections efficaces obtenues pour la diffusion élastique de nucléon par une cible de calcium 40 sont présentées sur la figure 1. Ces résultats sont très encourageants: un bon accord entre le calcul et l'expérience est obtenu pour des énergies incidentes inférieures à 30 MeV. La diffusion élastique de proton est également bien décrite.

Ces résultats démontrent la faisabilité de calculs de réaction avec l'interaction nucléon-nucléon de Gogny comme seul ingrédient. L'interaction nucléon-nucléon est maintenant reliée à des observables de réaction. Ceci permet d'envisager de nouvelles contraintes pour la paramétrisation des interactions effectives futures. L'enjeu à terme est d'élargir ce type d'étude à la diffusion élastique de nucléon sur des noyaux déformés.

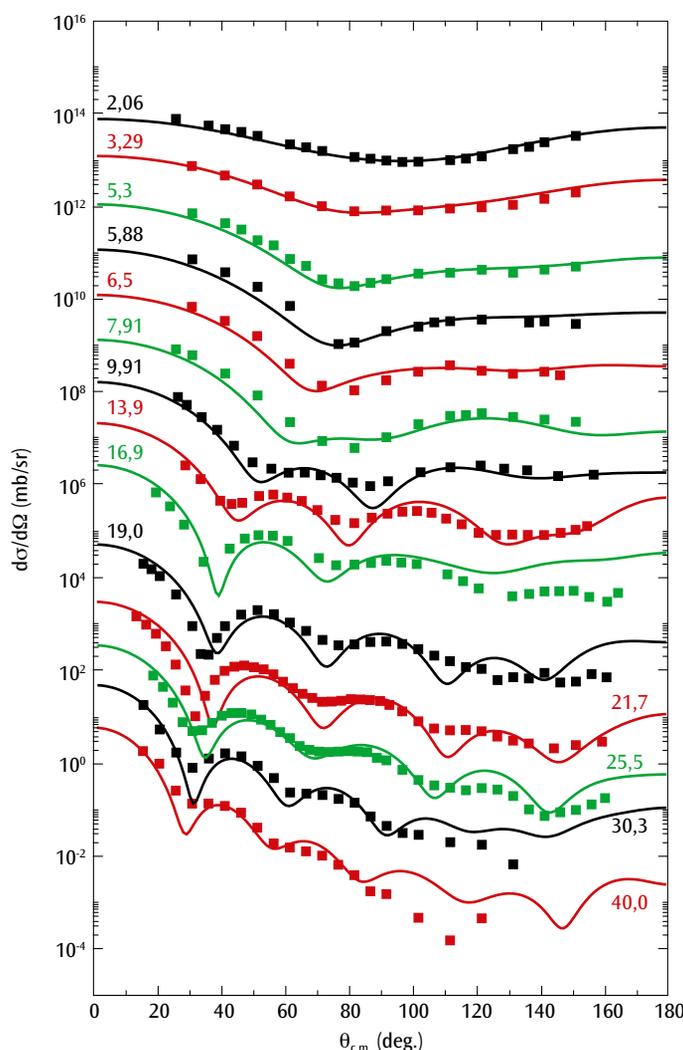


Figure 1.

Section efficace (ou probabilité d'interaction) différentielle $d\sigma/d\Omega$ pour la diffusion de neutrons sur des noyaux de ^{40}Ca en fonction de l'angle d'émission $\theta_{\text{c.m.}}$ du neutron, pour des énergies neutron allant de 2,06 MeV à 40 MeV. Les points expérimentaux sont représentés par des carrés; les calculs, reposant sur le potentiel nucléon-noyau microscopique basé sur l'interaction effective de Gogny, par des traits continus de même couleur que les points expérimentaux. Le bon accord jusqu'à 30 MeV démontre la faisabilité de calculs de réaction avec l'interaction nucléon-nucléon de Gogny comme seul ingrédient, ouvrant une nouvelle ère pour la production de données nucléaires.

Références

- [1] G. BLANCHON, M. DUPUIS, H. F. ARELLANO, N. VINH MAU, "Microscopic positive-energy potential based on the Gogny interaction", *Phys. Rev. C*, **91**, 014612 (2015).