

会議のトピックス

日本原子力学会「2025 春の年会」

企画セッション (核データ部会主催・「シグマ」調査専門委員会共催)

三体核力研究と核データ応用への期待

2025年3月12日 13:00~14:30 オンライン開催

(1) 三体核力～原子核物理の新しい物質観～

京都大学大学院理学研究科
理研仁科加速器科学研究センター
関口 仁子

kimiko@ribf.riken.jp

物質のもととなる原子の中心には原子核が存在し、強い力である核力が働く。核力の成り立ちを理解し、核力から出発して原子核という量子多体系を理解する、これは原子核物理学の長年の重要課題となっている。この課題への挑戦がここ 20 年で大きく展開され、「三体核力」と呼ばれる核力が原子核の様々な現象を理解するためには不可欠である、という新しい視点が生まれた。三体核力とは、三つの核子が同時に作用することで引き起こされる核力の事を言う。

三体核力の存在そのものは長らく予想されていたが、実験的な検証が難しく、なかなか研究が進まなかった。我々は、三体核力の効果を探索し、その性質を調べるため、重陽子と陽子との散乱 (重陽子-陽子散乱) 実験を理化学研究所の加速器施設で行ってきた。三つの核子からなるこの散乱系では、実験値と厳密理論計算との比較から、直接定量的に三体核力の大きさ、運動量依存性、スピン量子数依存性といった諸性質を引き出すことができる。これまでに微分断面積の高精度測定によって三体核力の明らかな証拠を見つけ、重陽子-陽子散乱が三体核力研究に有効なプローブである事を示した。図 1 がその結果である。散乱角度($\theta=130$ 度)付近では二体核力のみ計算(青線)と三体核力を含む実験値との間に約 30%の明確な差が見られ、それは藤田・宮沢型の三体核力(赤線)で説明されること

がわかった[1]。

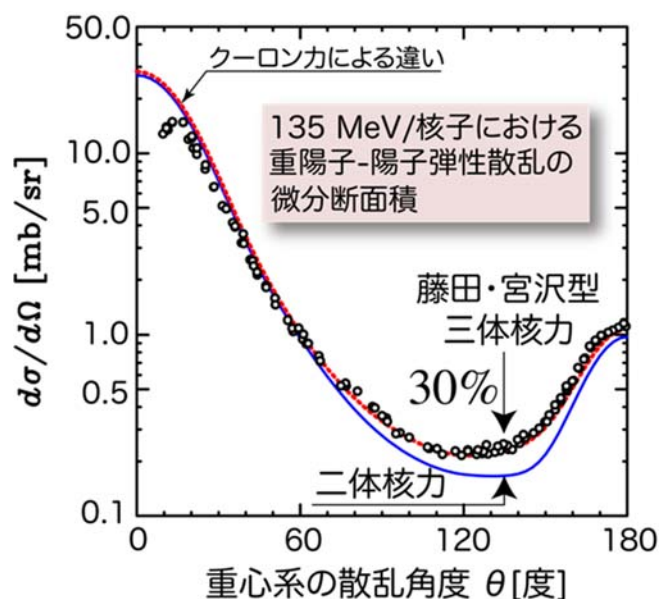


図1 135 MeV/核子における重陽子-陽子弾性散乱の微分断面積

我々の一連の実験をきっかけに、核力として二体核力だけではなく三体核力をも含めた理論の記述が進みつつある。さらに、核力をインプットとして原子核の様々な性質を記述する研究も進み、例えば原子核の結合エネルギーや、中性子星などに見られる高密度の核物質などにおいて三体核力は欠かすことの出来ない重要な力である事が指摘されている[2]。

その様な中「三体核力を精緻に決定し、極めて精度の高い核力をインプットとする原子核の精密計算が実現すれば、それは原子核の物性(半減期、質量、励起エネルギー、半径、変形など)や核反応に対し、予言力の高いシミュレーションツールとなるのではないかと」いうねらいのもと、我々はERATO 関口三体核力プロジェクト(通称 TOMOE プロジェクト)を開始した[3]。

本プロジェクトでは図2に示すように、三体核力の決定や理論計算の精度保証を行う実験分野と、原子核の構造・反応を記述するための理論分野が協同し、「三体核力を含む核力を完成する」ことを主軸として研究を遂行する。具体的には、少数核子系の高精度偏極実験とカイラル有効場(χ EFT)核力理論から三体核力の結合定数を決定し、核力を入力として原子核に第一原理的な記述を与える量子多体精密計算法を確立する。計算手法に対しては、冷却原子系による量子シミュレーションにより精度保証を与える。本プロジェクトによって創出される量子多体系精密計算から信頼度の高い核物性値や核反応断面積を求め、それを応用科学研究へと展開することをねらう。

現在、原子核の物性や核反応断面積を利用した研究が医学、工学、宇宙地球化学、人文科学において幅広く展開されているが、これらの応用展開の背後には核データ分野の重要な取り組みがある。その一方、核データの素となっている実験データは、網羅的に取得されたものではない。核データライブラリのユーザー利用拡大が見込まれる中、その適用限界も見えつつある。特に、実験が困難な場合、例えば、中性子過剰核(極めて寿命の短い原子核)を用いる実験、装置が大掛かりとなる実験、長半減期核種の半減期精密測定などは信頼できる実験データが極めて少ない。これらの実験データの中には、応用利用において重要なものもあり、信頼できるデータの供給が求められている。この様に、実データでは手に届きにくい原子核物性、反応断面積に対して、量子多体系精密計算の活用路があるのではないかと考えている。本プロジェクトでは、特に有用 RI 生成に焦点を充てた量子多体系精密計算のニーズの開拓を模索する。



図2 TOMOE プロジェクト構想図

参考文献

- [1] K. Sekiguchi et al., Phys. Rev. C 65, 034003(2002); Phys. Rev. Lett. 95, 162301 (2005).
- [2] S.C. Pieper et al., Phys. Rev. C 64, 014001 (2001); G. Hagen et al., Phys. Rev. Lett. 108, 242501 (2012).
- [3] ERATO TOMOE プロジェクト <https://www.jst.go.jp/erato/sekiguchi/>