

原子核の微視的理論による理解に向けて

松本 萌未

東北大学大学院理学研究科物理学専攻

原子核は、多数の陽子と中性子（まとめて核子）が強い相互作用をすることにより形成される、量子多体系である。核子が強い相互作用をした結果、どのように原子核の構造や反応が発現するのか。これを理解することが、原子核物理学の一つの大きな目標である。その目標に向けて、私は全ての核子に動力学的自由度を与える「微視的理論」に着目し、2つのアプローチから研究を進めている。

1. 微視的に計算された波動関数からより多くの情報を引き出すための手法開発

一般に、理論計算で得られた量子多体系の波動関数は、非常に多くの多体相関の情報を含んでいる。しかし、原子核分野においては、多くの場合波動関数に含まれる情報のほとんどを積分消去した量の解析が行われてきた。一方で、近年、量子化学の分野において、全電子間の相関の情報を引き出し可視化する方法が開発され、分子系の構造の研究に応用されている。そこで我々は、このような方法を、原子核のクラスター構造の解析に応用した[1]。クラスター構造は、原子核を構成する核子の一部が集合体を形成する構造のことであり、典型的に軽い核で出現し、励起エネルギーとともにクラスター構造が変化することが知られている。

本研究では、多体相関の情報を「可視化」する新しい手法を開発し、この手法を原子核系の平均場理論の波動関数の解析に適用した。その結果、多くの場合において既存のクラスターモデルの仮定と矛盾しない結果が得られた[1]。将来の展望として、中性子と陽子の間の相関などのより多くの相関を取り込んだ波動関数に対して本手法を適用し、微視的理論による中重核領域を含んだクラスター構造の研究や、中性子過剰核の過剰中性子間相関の研究、核分裂の分裂片生成過程の研究などに取り組んでいきたいと考えている。

2. 原子核の集団運動を非経験的に記述できる理論計算手法の構築

原子核の励起状態には、原子核中のある1~数個の核子が励起して起きるような一粒子励起モードの他に、原子核中の多くの核子が寄与する集団励起モードが存在する。さらに、一粒子運動と集団運動が結合した複雑な現象も起こることが知られている。多様な励起モードを統一的に記述するために、集団運動を個々の核子の自由度から記述する微視的理論で記述することは重要であり、微視的理論から集団自由度を抽出した研究が広く行われている。しかし、従来のこの手法では、集団自由度の選択に経験的な部分が存在しており、最適かどうかは非自明である。そこで、本研究では、集団運動を微視的に記述する既存の理論を拡張し、非経験的に記述できるようにした[2]。現在、この手法を用いて原子核構造の計算を進めている。将来の展望として、非経験的に得られた集団運動の解析から、従来の集団運動の理論に対してフィードバックを与える研究をしていきたいと考えている。

[1] Moemi Matsumoto and Yusuke Tanimura, Phys. Rev. C 106, 014307 (2022).

[2] 松本萌未、谷村雄介、“変分原理に基づく生成座標法の基底の最適化”、日本物理学会秋季大会(2022)