

自己無撞着平均場理論に基づく原子核の低励起モード及びその核子間

相互作用との関係の研究

Study on low-excitation modes of nuclei and their linkage to nucleonic interaction based on self-consistent mean-field theory

中田 仁

千葉大学大学院理学研究院

1. 研究目的

自己無撞着平均場理論及び RPA (QRPA を含む) は、量子多体系の基底状態及び低励起状態を記述する上で標準的な理論であり、核子間相互作用に基づく微視的立場から原子核の基底状態及び低励起状態を総合的に理解するのにも適している。しかし、その input である核子間有効相互作用には大いに検討の余地があり、しばしば核構造理解の妨げとなっている。我々は今まで、微視的相互作用に最小限の現象論的修正を加えた半微視的相互作用を用いた平均場計算により、原子核の基底状態の性質に対するテンソル力や 3 体 LS 力の影響等を調べ、一定の成果を挙げてきた。本 project は、これを低励起モードに拡張し、核構造論の精密化に繋げることを目的としている。

原子核は回転対称性を持つべき系であるが、原子核の質量数や安定・不安定によらず変形した基底状態が数多く見られ、平均場 level での「自発的対称性の破れ」として捉えられる。南部・Goldstone モードである集団回転により角運動量保存則が回復し、複数のエネルギー固有状態から成る回転バンドが実験的に観測される。変形核の第 1 励起状態は通常このような回転状態に対応する。この集団回転運動は、微視的立場からは変形平均場解に対する角運動量射影によって実現され、核子間相互作用の強い影響を受けるはずである。不安定核の励起には核子間相互作用の一面が強く現れる可能性があり、核子間相互作用に基づいて集団回転運動を理解することが望まれる。2021 年度は、専ら角運動量射影による原子核の回転エネルギーの微視的起源の解明を目指して研究を進めた。

2. 研究成果の内容

Mg, Zr, Nd-Sm 核を対象として角運動量射影により変形 Hartree-Fock 解における回転

エネルギーを調べた結果、十分重く十分変形していれば運動エネルギーや相互作用がほぼ一定の割合で寄与すること、しかし軽い核や変形が弱い場合には個々の解の個性が強く現れることが明らかになった。原子核の個性の現れ方を *cumulant* 展開を用いて分析した結果と併せ、成果をまとめた論文を投稿中である。しかし、変形 *Hartree-Fock-Bogolyubov* 解に対する角運動量射影計算により、対相関が効き始めると上述の描像が大きく崩れることも分かり、その様相の分析を進めている。

3. 学際共同利用が果たした役割と意義

本研究では有限レンジ、特に湯川型を持つ半微視的有効相互作用を用いているため、角運動量射影計算の *cost* は高く、並列計算によってのみ現実的に実行可能となる。回転角毎の並列化が極めて有効で分散 *memory* 型並列計算との相性が良いが、個々の回転角での計算の高速化も重要なため、共有 *memory* 型を併用し *OpenMP+MPI* による *hybrid* 並列化を行っている。

学際共同利用の下での *Oakforest-PACS* 利用は、計算 *code* の *hybrid* 並列化を効率良く進める上で非常に有効であった。但し、角運動量射影された状態のエネルギーの計算は、計算時間の制限のため *Zr* 以上の領域では実行困難で、結果的に *Oakforest-PACS* 上での数値計算の実行は核半径、*E2* 遷移強度、四重極 *moment* の計算に限定することとなった。エネルギーの計算には他のシステムを利用した。

4. 今後の展望

2020 年度に *Sn* 核を対象として *HFB+QRPA* 計算を進めたが、これと角運動量射影を併用して原子核の低励起状態の性質を幅広く調べる基盤を整えたい。中性子欠乏 *Sn* 領域や *Zr* 領域をその端緒とする予定である。また、2021 年度の研究を継続し、対相関の強度による様相の変化を調べることにより、その回転エネルギーに対する影響を詳しく理解する。

5. 成果発表

(1) 学術論文

・ K. Abe and H. Nakada, "Microscopic study on the origin of the rotational band of nuclei", submitted to *Phys. Rev. C* (e-Print archive arXiv:2203.00954)

(2) 学会発表

・ H. Nakada, "Self-consistent nuclear structure calculations with Gaussian basis-functions", 13th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences (Oct. 8, 2021, online, invited)

・ 阿部光平, 中田仁, "微視的立場による原子核の回転バンドの起源の研究 II", 日本物理学会 2021 年秋季大会 (Sep. 14-17, 2021, online)

・ K. Abe, "Microscopic study on the origin of the rotational band of nuclei",
13th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by
Multidisciplinary Computational Sciences (Oct. 8, 2021, online)

・ 阿部光平, "微視的立場による原子核の回転バンドの起源の研究", 基研研究会
「核力に基づいた原子核の構造と反応」(Dec. 7-10, 2021, 京都大学基礎物理学研
究所)

(3) その他

なし

使用計算機	使用計算機 に○	配分リソース*	
		当初配分	追加配分
Cygnus			
Oakforest-PACS	○	45,000	0
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。			