

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。

2022 年度は、特に次の 2 点を明らかにすべく研究を進めた。

- ・対相関が変形した原子核の回転エネルギーに与える影響について。
- ・中性子欠乏 Sn 原子核の変形の可能性、及び変形を引き起こし得る要因について。

2. 研究成果の内容

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、重く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り、その成果をまとめた論文を出版した。他方、対相関が効き始めると上述の描像が大きく崩れる。これが核内の核子間の平均距離と密接に関連していることを突き止めた。

中性子欠乏 Sn 原子核に対しては、HFB+QRPA と角運動量射影を併用し、これらの核の形状が殻構造に敏感であり、従来の球形という描像では理解が困難で、殻構造故に四重極変形し易く、測定された電磁遷移確率からもその第一励起状態は弱く変形していると解釈されることを明らかにした (論文投稿中)。

3. 学際共同利用プログラム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, QRPA 計算及び角運動量射影計算の cost は高く, 並列計算によつてのみ現実的に実行可能である。QRPA 計算では ScaLAPACK を利用した MPI での高速化が非常に有効である。角運動量射影では, OpenMP+MPI により, 個々の回転角での計算を共有 memory 型で実行しながら, 回転角毎の計算を分散 memory で行う hybrid 並列化を行っている。他方, 相互作用行列要素を扱うため, 個々の node において保持すべき memory も相当量である。学際共同利用はこれらの条件を満たす計算資源を提供してくれ, 本研究 project の遂行に本質的である。

4. 今後の展望

単極巨大共鳴 (GMR) の中性子過剰度依存性から, 核物質状態方程式, 特に非圧縮率の isospin 依存項が抽出できると期待されているが, 実験 data からは核種によって整合した結果が得られていない等, 混沌とした状況にある。2023 年度は, Sn 領域での HFB+QRPA 計算の実績を活かし, 半微視的相互作用を用いてこの問題に access したい。特に, Sn の低励起状態において予想を超えて大きな影響をもたらした殻構造や, その基ともなる非中心力の影響に注目する。

5. 成果発表

(1) 学術論文

- ・ K. Abe and H. Nakada, “Analysis of the Peierls-Yoccoz rotational energy of nuclei with a semi-realistic interaction”, Phys. Rev. C 106, 054317 (2022).
- ・ Y. Omura, H. Nakada, K. Abe and M. Takahashi, “Low-energy quadrupole collectivity of Sn nuclei in self-consistent calculations with semi-realistic interaction”, submitted to Phys. Rev. C (e-Print archive arXiv:2303.16483).

(2) 学会発表

- ・ K. Abe, “Microscopic study on the origin of the rotational band of nuclei”, YITP Long-term Workshop “Mean-field and Cluster Dynamics in Nuclear Systems 2022” (May 9–Jun. 17, 2022, 京都大学基礎物理学研究所, 口頭発表)
- ・ 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Ⅲ”, 日本物理学会 2022 年秋季大会 (Sep. 6–8, 2022, 岡山理科大学, 口頭発表)
- ・ K. Abe, H. Nakada, “Analysis of rotational energy of nuclei with semi-realistic interaction”, The 30th Anniversary Symposium of the Center for Computational Sciences at the University of Tsukuba (Oct. 13–14, 2022, つくば国際会議場, ポスター発表)
- ・ 阿部光平, 中田仁, “キュムラント展開による Peierls-Yoccoz 公式の一般化”, 日

本物理学会 2023 年春季大会 (Mar. 22-25, 2023, online, 口頭発表)

(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			
Wisteria/BDEC-01	○	36,000	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。			