

殻模型計算による中重核領域における原子核集団運動状態の

微視的記述

Microscopic description of the collective motion of medium-heavy nuclei based on shell-model calculations

清水 則孝

東京大学大学院理学系研究科 附属原子核科学研究センター

1. 研究目的

大規模殻模型計算に基づいた原子核構造研究によって、中重核領域に現れるエキゾチックな原子核構造を奇核も含めて系統的に記述できる高精度な理論模型を構築する。この理論模型を用いて、原子核集団運動や元素合成過程の解明、さらには標準模型を超える物理探索実験に資する核データを得ることを目指す。プロジェクトの計算機資源は主にプロダクトランに使用されるが、量子多体問題としての原子核構造の数値解放の探求や、それに伴うコード開発も重要な要素である。

2. 研究成果の内容

HFB+GCM 法のコード開発をすすめ、これまで偶々核しか対応していなかった計算コードを拡張し、奇核、奇々核への対応を完了した。この手法を殻模型計算に適用し、厳密対角化計算による解と HFB+GCM 法による解を比較検証し、HFB+GCM 法の有用性を示した論文[1]を出版した。

HFB+GCM 法を用いて、質量数が 64 から 84 に至る中性子数(N)と陽子数(Z)が等しい陽子過剰の $N=Z$ 偶々核の系統的な核構造計算を行った。近年の実験結果から 68Se から 76Sr に向かい、急激に第 1 励起 $2+$ 、 $4+$ 状態のエネルギーが下がり、この $2+$ 状態から基底 $0+$ 状態への E2 電磁遷移確率が大きくなることが報告されている。この特異な現象を記述するため、PMMU 相互作用を用い HFB+GCM 計算を行った。従来の 1 主殻 ($28 < N, Z < 50$) のみを模型空間にとった殻模型計算では不十分であり、1 主殻には含まれていなかった $2d_{5/2}$ 一粒子軌道がこれらの記述に必要不可欠であることが明らかになった。更に、この $2d_{5/2}$ 軌道と $1g_{9/2}$ 軌道の間働く大きな四重極相互作用が急激な励起エネルギーの下がりや大きな E2 電磁遷移確率をもたらすことが明らかになった。 $2d_{5/2}$ 軌道は $1g_{9/2}$ 軌道と軌道角運動量の差が 2、全角運動量の差も 2 であり、これらの一粒子軌道対は、四重極集団励起を強く促進する。(このような機構を Quasi-SU(3) Coupling と呼ぶ。) また、HFB 計算により、 68Se はオブレート(みかん形)とプロレート(レモン形)の変形共存を示し、 76Sr になると強いプロレー

ト変形に遷移していくことが解明された。本研究では、この **Quasi-SU(3) Coupling** 機構が中重核の形の変化に重要な役割を果たすことを示し、これらの成果をまとめて学術論文[2]に発表した。

3. 学際共同利用が果たした役割と意義

原子核殻模型計算は、100 億次元を超えるようなハミルトニアン行列の固有値問題を解く大規模なものであり、その近似手法である **HFB+GCM** 法やモンテカルロ殻模型法、準粒子真空殻模型法を用いても、大きな計算機資源を要求する。**Oakforest-PACS** を活用することによって、偶核、奇核を含む中重核構造の系統的計算を可能としたものであり、学際共同利用は不可欠な役割を果たした。

4. 今後の展望

近年、 $N=70$ 近傍の **Xe, Ba** 偶々核同位体の実験が行われ、極めて興味ある実験結果が報告されている。特に、最近行われた米国の **Alexandra Gade** 教授を中心とする実験グループにより、キセノンの同位体である **^{126}Xe** および **^{128}Xe** について、励起エネルギーや **E2** 電磁遷移確率ばかりでなく四重極モーメントが複数の励起状態において観測された。四重極モーメントの情報は、理論的な側面から原子核の形を解釈する上で非常に重要である。この2つの原子核について **PMMU** 相互作用を用いた **HFB+GCM** 法による殻模型計算を行い、極めて良く実験結果を再現することがわかった。現在、米国の実験グループと共著で論文を執筆中である。今後、**Te, Xe, Ba** の偶々核同位体の核構造計算をおこない、**Quasi-SU(3) Coupling** の系統的な役割を調べていく。

5. 成果発表

(1) 学術論文

[1] N. Shimizu, T. Mizusaki, K. Kaneko, and Y. Tsunoda, Phys. Rev. C 103, 064302 (2021)

[2] K. Kaneko, N. Shimizu, T. Mizusaki, Y. Sun, Phys. Lett. B817, 136286 (2021)

(2) 学会発表

(3) その他

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	○	283,333	0