

課題名（和文）陽子過剰な原子核と陽子放出をともなう放射性崩壊

課題名（英文）Proton-rich nuclei and proton-emitting radioactivity

代表者氏名 大石知広

所属 理化学研究所仁科加速器科学研究センター

1. 研究目的

本研究では陽子ペアの放出をともなう放射性崩壊に着目した。この放射壊変モードは 2000 年代初頭に発見された新種の放射能であり、陽子過剰な不安定原子核に特有の現象である。特に以下の 3 点を目的とする。

- 時間依存する量子多体系シミュレーションにより、放出される陽子ペアのエネルギーと寿命の関係、2 個の陽子の量子もつれ等を計算する。
- 実験データが存在しない系の理論計算を行い、陽子ペアの量子もつれを実験的に測定するためのアイデアを提出する。
- 得られた知見を中性子過剰な不安定核の壊変プロセスにも応用する。

2. 研究成果の内容

学術論文[2025Oishi_01]ではベリリウム 6 (${}^6\text{Be}$) 原子核の $2p$ 放出崩壊を計算した。時間依存の三体モデルを用いて ${}^6\text{Be}$ 核から放出される 2 つの陽子の結合スピン状態を計算した。スピン相関関数の計算結果は約 2.65 となり、局所的な隠れた変数理論の限界を超えるほどの強い量子もつれが示唆された。

学術論文[2025Oishi_02]では (${}^{102}\text{Sb}$) 原子核の $1p$ 放出崩壊を計算した。この原子核は実験的には未発見であり、崩壊寿命の予想が重要であった。時間依存シミュレーションから、崩壊寿命が陽子・中性子間の相互作用に強く依存することが示唆された。一方で、陽子同士の場合とは異なり、陽子・中性子間の量子もつれは、必ずしも強くはないことが予想されている。

学術論文[2025Oishi_03]ではネオン 16 原子核の $2p$ 放出崩壊を計算した。この核種は崩壊則が単純な指数関数的減衰ではないことが示唆されており、放射性崩壊に関する新しい知見獲得が期待されている。加えて、陽子ペアはベリリウム 6 核と同様、強い量子もつれを持つことも予想されている。

3. 学際共同利用プログラムが果たした役割と意義

本プログラムにより、代表者（大石知広）は時間依存シミュレーションを含む並列計算を高効率で実行可能な計算機を利用できた。本プログラムが提供した計算機資源は、数値計算的アプローチを採用した本研究において、重要な役割を果たした。

4. 今後の展望

後継プロジェクトでは時間依存する量子多体系シミュレーションをさらに発展させ、陽子放出崩壊とその際の量子もつれをより詳しく解明する。現在までに計算してきた核種の中には、現在の実験技術で量子もつれが測定可能なものは見当たらなかったが、他の核種ならば測定可能な場合が存在する可能性がある。多くの核種を統一的に計算できるフレームワークの確立が最大の課題である。

5. 成果発表

(1) 学術論文

[2025Oishi_03] T. Oishi and M. Kimura, Phys. Rev. C 111, 044319 (2025):

<https://doi.org/10.1103/PhysRevC.111.044319>

[2025Oishi_02] T. Oishi, M. Kimura, and L. Fortunato, Phys. Rev. C 111, 034307 (2025):

<https://doi.org/10.1103/PhysRevC.111.034307>

[2025Oishi_01] T. Oishi, Phys. Lett. B 862, 139361 (2025):

<https://doi.org/10.1016/j.physletb.2025.139361>

(2) 学会発表

- (Invited Talk) Tomohiro Oishi, “Nuclear spin degrees of freedom and related phenomena”, Workshop on advancing physics at next RI Beam Factory (ADRIB25), at Wako campus in RIKEN, Saitama, Japan [January 22-23rd, 2025]: <https://indico2.riken.jp/event/5005/>
- (Talk) Tomohiro Oishi, “Spin entanglement in time-dependent two-proton emission”, VIIth Topical Workshop on Modern Aspects in Nuclear Structure 2025, at Bormio, Italy [3-8th February 2025]. <https://agenda.infn.it/event/40436/>
- (国内、日本物理学会) 大石知広、「結合定数の解析接続法による2陽子放出崩壊」、日本物理学会・2024年度年次大会(秋)、北海道大学札幌キャンパス、札幌市【2024/09/19】。

使用計算機	使用計算機に ○	配分リソース※		
		当初配分	移行*	追加配分
Cygnus				
Pegasus				
Wisteria/BDEC-01	○	14,000		
※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。 *バジェット移行を行った場合、「+2000」「-1000」のように記入				