



Title	Measurement of the $\gamma$ -decay Probability of the Hoyle State Using the Combination of Si Detector and ROSPHERE
Author(s)	坂梨, 公亮
Citation	大阪大学, 2025, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/101906">https://doi.org/10.18910/101906</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論 文 内 容 の 要 旨

氏 名 （ 坂 梨 公 亮 ）	
論文題名	Measurement of the $\gamma$ -decay Probability of the Hoyle State Using the Combination of Si Detector and ROSPHERE (Si検出器とROSPHEREを組み合わせたホイル状態からのガンマ崩壊確率の測定)
論文内容の要旨	
<p>トリプルアルファ反応は、原子核に存在する質量数<math>A = 5, 8</math>の壁を回避し、更なる重元素へと原子核合成を進めることのできる唯一の反応である。この反応では、<math>{}^4\text{He}</math>の原子核であるアルファ粒子が<math>{}^8\text{Be}</math>の2アルファ共鳴に捕獲され、弱く結合したアルファ粒子の3アルファクラスター状態を形成する。3アルファ共鳴状態のほとんどは再び3つのアルファ粒子に崩壊するが、そのごく一部は放射線過程であるガンマ崩壊や電子-陽電子対生成を介して<math>{}^{12}\text{C}</math>の基底状態に崩壊し、<math>{}^{12}\text{C}</math>が生成される。したがって、ガンマ崩壊確率は、原子核合成における<math>{}^{12}\text{C}</math>の生成量を直接的に決定する重要なパラメータである。</p> <p>1976年までにいくつかのガンマ崩壊確率の測定が行われ、Hoyle状態からのガンマ崩壊確率 <math>\Gamma_\gamma/\Gamma = 4.09(10) \times 10^{-4}</math> が広く受け入れられてきた。しかし最近、Hoyle状態の放射性崩壊確率に関する驚くべき結果が、Hoyle状態のカスケード崩壊からの2つのガンマ線を測定する実験に基づいて報告された。この新しい値 <math>\Gamma_\gamma/\Gamma = 6.2(6) \times 10^{-4}</math> は、文献値[1]よりも50%高い。従来のデータの多くは、Hoyle状態の放射性崩壊後に生き残る<math>{}^{12}\text{C}</math>核を測定することで取得されており、[2]の著者らは、このような測定方法が適切ではない可能性があり、異なる実験手法が新旧の結果の不一致を引き起こしたと主張した。この問題を解決するためには、生き残った<math>{}^{12}\text{C}</math>核とガンマ線を同時に測定する必要がある。</p> <p>本研究の目的は、Hoyle状態のガンマ崩壊確率に関する最近報告された不一致を解決することである。本研究では、<math>{}^{12}\text{C}</math>検出法とガンマ検出法を組み合わせた初の実験を実施した。ルーマニアのHoria Hulubei物理・核工学国立研究開発所（IFIN-HH）のタンデム加速器施設において、25 MeVのアルファ粒子ビームを用いた<math>\alpha + {}^{12}\text{C}</math>散乱により<math>{}^{12}\text{C}</math>のHoyle状態を生成し、放出された荷電粒子をDSSDで、ガンマ線をROSPHERE検出器アレイ[3]で測定した。この測定手法により、<math>\alpha</math>粒子、<math>{}^{12}\text{C}</math>およびガンマ線の三重同時計測が可能となり、Hoyle状態のガンマ崩壊確率<math>\Gamma_\gamma/\Gamma = 4.05(24) \times 10^{-4}</math>を正確に決定した。</p> <p>Hoyle状態のガンマ崩壊確率に関する問題を解決するために様々な測定が行われてきたが、大多数の研究が文献値[1]と一致する結果を示し、Kibediら[2]の新しい値と矛盾した。また、本研究の新しい手法を用いた測定でも文献値を支持する結果が得られた。したがって、Hoyle状態のガンマ崩壊確率に関する問題は最終的に解決され、核合成の研究において従来の文献値が信頼できるものとして使用できると結論付けた。</p> <p>[1] J. Kelley, J. Purcell, and C. Sheu, Nucl. Phys. A <b>968</b>, 71 (2017). [2] T. Kibedi <i>et al.</i>, Phys. Rev. Lett. <b>125</b>, 182701 (2020). [3] D. Bucurescu <i>et al.</i>, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A, <b>837</b>, 1 (2016).</p>	

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 坂 梨 公 亮 )		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教授 川畑 貴裕
	副 査	准教授 小田原 厚子
	副 査	教授 青木 正治
	副 査	教授 民井 淳
	副 査	准教授 吉田 賢市

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、恒星内部での元素合成において極めて重要なトリプルアルファ反応に関する研究を行い、特にホイル状態の  $\gamma$  崩壊確率に関する実験的検証を通じて、これまで報告されていた測定結果の不一致を解決することを目的としている。ホイル状態とは、トリプルアルファ反応によって生成される炭素  $^{12}\text{C}$  の励起状態であり、その  $\gamma$  崩壊確率 ( $\Gamma_\gamma/\Gamma$ ) は、宇宙における炭素生成量を決定する上で極めて重要な物理量である。1976 年までに確立された従来の測定値は  $\Gamma_\gamma/\Gamma = 4.09(10) \times 10^{-4}$  であったが、近年、ホイル状態からのカスケード  $\gamma$  崩壊を同時計測した新たな実験により、 $\Gamma_\gamma/\Gamma = 6.2(6) \times 10^{-4}$  という 50% 高い値が報告され、両者の不一致が問題となっていた。本研究では、この矛盾を解決するために、 $^{12}\text{C}$  同時計測法と  $\gamma$  線同時計測法を組み合わせた新たな手法を実現し、ホイル状態の  $\gamma$  崩壊確率を再評価した。

本研究では、ルーマニアの IFIN-HH 研究所において、25 MeV の  $\alpha$  粒子ビームを用いた  $\alpha + ^{12}\text{C}$  散乱実験を実施した。荷電粒子を両面ストリップ Si 検出器、 $\gamma$  線を  $\text{LaBr}_3$  検出器アレイである ROSPHERE 検出器を用いて検出することで、 $\alpha + ^{12}\text{C} + \gamma$  の三重同時計測による高精度な  $\gamma$  崩壊確率の決定を可能にした。その結果、得られたホイル状態の  $\gamma$  崩壊確率は  $\Gamma_\gamma/\Gamma = 4.00(27) \times 10^{-4}$  であり、従来の広く受け入れられている値と一致し、新たな測定値とは矛盾することが明らかとなった。この結果は、近年のホイル状態の  $\gamma$  崩壊確率に関する議論を結論づけるものである。

審査においては、実験手法の新規性、データ解析の妥当性について詳細な議論が行われた。特に、本研究で採用された三重同時計測法は、従来手法に存在する可能性がある測定の不確実性を低減し、より直接的な  $\gamma$  崩壊確率の決定を可能にする手法として評価され、他の測定結果とも整合的であることが確認された。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として十分価値あるものと認める。