

論文審査の結果の要旨

氏名 DAM Nguyen Binh

本論文は 5 章からなる。第 1 章は、イントロダクションであり、本研究の動機や目的が述べられている。本研究の目的は、宇宙における元素生成に関する実験的知見を与えることで、特に、 ^{22}Na の生成に関わる基礎的な反応過程である $^{21}\text{Na}(\alpha,p)^{24}\text{Mg}$ 反応の起こる確率を実験的に測定することを目的としている。 ^{22}Na は宇宙における元素合成プロセスにより一定量が生成されると期待されているが、この ^{22}Na の原子核 γ 崩壊による γ 線が観測されていないことが、元素合成プロセスの解明にあたって大きな謎となっている。本研究が研究対象としている $^{21}\text{Na}(\alpha,p)^{24}\text{Mg}$ 反応は、特に高温となる環境において ^{22}Na の生成量を減少させる反応として寄与し、その反応確率の定量的な研究は元素合成における基礎的なデータとして非常に重要なものである。これまでの研究では、逆反応を用いた測定を基とした推定と統計的な手法を基にした推計が行われているのみで直接的な実験データは存在していなかった。本研究は、そこに初めての直接的な実験的知見を与えるもので、大変意義のある研究である。

第 2 章は、実験手法と実験内容に関して記述してある。本研究の特徴は、 α 粒子 (He 原子) を標的として用い、 ^{21}Na の不安定核ビームを理研 RIBF 施設に設置されている東大 CNS の CRIB 装置を用いて生成し、従来に無い逆運動学と厚い標的法を用いた実験を遂行したところにある、これにより従来、直接測定の難しかった $^{21}\text{Na}(\alpha,p)^{24}\text{Mg}$ 反応の測定に成功している。また、逆運動学と厚い標的法を用いた場合に発生する反応地点によるビームエネルギーの変化という問題に対して、検出器側に位置測定精度とエネルギー測定精度に優れるシリコン検出器を用いることで解決している。

第 3 章は、実験によって得られたデータの解析内容を述べている。本研究においては、散乱された α 粒子と反応による陽子の測定が可能であり、それらの粒子の識別も明確に行われていることが示されている。 α 粒子の測定においては、 $^{21}\text{Na}(\alpha,p)^{24}\text{Mg}$ 反応における生成可能な ^{25}Al の共鳴状態を測定することが可能であり、 α 粒子散乱のエネルギー・角度依存性の測定により 5 つの共鳴状態が存在することを発見した。次に、陽子の測定においては、 $^{21}\text{Na}(\alpha,p)^{24}\text{Mg}$ 反応の反応確率を直接的に測定することが可能である。これによりある角度範囲における反応確率を世界で初めて測定することに成功した。また、大きな不定性を伴うが、全角度での反応確率を推定することに成功した。このデータ解析の中で、終状態が ^{24}Mg の基底状態へと遷移する過程のみを取りだした解析を行い、従来の逆反応での推定と一致することを示した。

第 4 章は、実験によって得られた結果を元素合成へ適用し評価した結果を述べている。

まず、 α 散乱の結果によって得られた共鳴状態の解析を行い、**R-Matrix** 法を用いて $^{21}\text{Na}(\alpha,p)^{24}\text{Mg}$ 反応の全反応確率を推定している。これにより、従来の逆反応実験からの推定は十分でないことを示している。さらに、陽子直接測定の結果を用いて、同様の推定を行い大きな誤差の範囲ではあるが、比較的大きな全反応確率が存在することを示している。さらに、それらの結果からモデル計算を行い、X 線 burst の環境では、低温で主要な反応となる $^{21}\text{Na}(\beta^+)$ や $^{21}\text{Na}(p,\gamma)$ 反応と比較して、 $^{21}\text{Na}(\alpha,p)^{24}\text{Mg}$ が主要な反応となる可能性が示された。これらは、既存の研究には存在しない新たな知見である。

第 5 章は、論文全体のまとめであり、本研究の動機・目的・実験手法・結果などについてのがまとめが述べられている。

また、本論文の題目は、申請時には、**Direct Measurement of the $^{21}\text{Na}(\alpha,p)^{24}\text{Mg}$ Stellar Reaction Using a ^{21}Na RI-Beam** との題名であったが、上記のように本研究には陽子による直接測定と散乱 α 粒子による共鳴状態測定の両方の結果が述べられており、審査委員会の判断で題名を **Study of the $^{21}\text{Na}(\alpha,p)^{24}\text{Mg}$ Stellar Reaction by α -scattering and (α,p) Measurements in Inverse Kinematics** と変更した。

なお、本論文第 2 章・第 3 章は、久保野 茂・山口 英斉・岩佐 直仁・寺西 高・加藤 静吾・KAHL David Miles・橋本 尚志・早川 勢也・Le Hong Khien・若林 泰生・Nguyen Tran Tho との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験・解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。