The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	E1 and E2 cross section measurements of the 12C (α, γ) 16O reaction
Author(s)	牧井, 宏之
Citation	大阪大学, 2005, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/45582
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏　　名	牧　井　宏　之（まき い ひろ ゆき）
博士の専攻分野の名称	博　士（理　学）
学　位　記　番　号	第　19191　号
学位授与年月日	平成 17 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当 理学研究科物理学専攻
学　位　論　文　名	E1 and E2 cross section measurements of the $^{12}C(\alpha, \gamma)^{16}O$ reaction （$^{12}C(\alpha, \gamma)^{16}O$ 反応における E1 及び E2 断面積測定）
論　文　審　査　委　員	（主査） 教　授　永井　泰樹 （副査） 教　授　畑中　吉治　　教　授　下田　　正　　助教授　藤原　　守 甲南大学教授　宇都宮弘章

論　文　内　容　の　要　旨

恒星内ヘリウム燃焼期における $^{12}C(\alpha, \gamma)^{16}O$ 反応はヘリウム燃焼期後の炭素・酸素比、炭素から鉄近傍までの元素組成比および恒星進化の最終段階で生成される鉄コアの質量に大きく影響を与えることが知られており非常に重要な反応である。このため、恒星進化と元素の起源についての模型を構築する上で恒星内部の温度に相当する重心系エネルギー $E_{cm}=300$ keV での反応率を精度良く決定する必要がある。

過去に行われた研究から $E_{cm}=300$ keV で反応断面積は約 10^{-17} barn と予想され、現在の技術で測定可能な断面積（約 10^{-11} barn）と比較すると非常に小さく、直接測定することは極めて困難だと考えられている。そのため直接測定は $E_{cm}\geqq 1.0$ MeV の領域で行われ、$E_{cm}=300$ keV での反応断面積は理論による支援を得た外挿により求められている。$^{12}C(\alpha, \gamma)^{16}O$ 反応率は α 捕獲状態から ^{16}O 基底状態への E1・E2 遷移による寄与が支配的で、^{16}O の各準位への遷移による寄与はわずかであることが知られている。従来は α 捕獲状態から ^{16}O 基底状態への E1・E2 全断面積を用いた外挿が行われてきた。しかし、γ 線角度分布の解析から得られたこれらの全断面積に対する測定結果には相関があるため、信頼性の高い外挿は行われてきていない。このため、近年は α 捕獲状態から ^{16}O 基底状態への微分断面積を用いた外挿が行われてきているが、これまでの Ge 検出器を用いた γ 線角度分布の測定では精度の高い微分断面積を得ることは困難で、恒星の進化・元素合成を理解するのに十分な精度（10%）を達成できていない。精密な理論模型による計算に基づき、$E_{cm}=300$ keV での反応率の精度を向上させるためには、これまでにない高精度の γ 線角度分布の測定が望まれている。

このような現状を踏まえて本研究では $^{12}C(\alpha, \gamma)^{16}O$ 反応の微分断面積を精度良く決定するための新しい測定系の開発を行った。この反応を測定する際には、断面積が非常に小さい（$E_{cm}\geqq 1.0$ MeV で 10^{-11} から 10^{-9} barn）のに比べて、標的に微量含まれる ^{13}C による $^{13}C(\alpha, n)^{16}O$ 反応断面積が約 10^{7} 倍でこの反応により発生した中性子は大量のバックグランド源となること及び、強力なビーム照射により標的厚が変化するという問題を解決する必要がある。これらの問題を解決するために本研究では、大立体角・高効率 NaI（Tl）検出器、高強度パルス化 α ビーム、高強度の濃縮炭素標的、標的膜厚モニターを組み合わせた新しいシステムの構築を行い、$E_{cm}=1.4$ MeV および 1.6 MeV での測定を行った。高強度パルス化 α ビームと高効率 NaI（Tl）検出器を用いた新しい手法により $^{12}C(\alpha, \gamma)^{16}O$ 反応

により発生したγ線を $^{13}C(\alpha, n)^{16}O$ 反応により発生した中性子に起因したバックグランドから完全に分離できていることを確認し、$^{12}C(\alpha, \gamma)^{16}O$ 反応の微分断面積をこれまでにない精度で決定することに成功した。従来は E1 遷移のエネルギー依存性のみを考慮していたが、E1・E2 遷移のエネルギー依存性の違いに起因した系統誤差を排除するため、本研究では E2 遷移のエネルギー依存性も考慮した上で微分断面積の絶対値を決定した。γ線角度分布から得られた全断面積についても過去の測定を大幅に上回る精度で決定することに成功し、恒星内部での $^{12}C(\alpha, \gamma)^{16}O$ 反応率の決定に重要な理論計算に対する制限が加えられ、恒星内部での元素合成の理解を大きく前進させる結果を得た。

論文審査の結果の要旨

恒星内でヘリウム燃焼期に進行する $^{12}C(\alpha, \gamma)^{16}O$ 反応はヘリウム燃焼後の ^{12}C と ^{16}O の存在比、恒星進化及び超新星爆発時の鉄コア質量に大きな影響を与えるためその断面積の高精度測定は重要である。これまで 30 年余にわたり多くの詳細な実験が行われてきているが重心系エネルギー1.5 MeV 近傍でも E1 及び E2 の天体物理学 S 因子がそれぞれ 50%及び 100%程度の不確定性がある。本論文は、高強度パルス化ヘリウムビーム、高効率・高感度γ線検出器、耐高強度高濃縮標的、標的厚オンラインモニター系という独自の実験手法を開発し、上記反応からの即発γ線角度分布を重心系エネルギー1.6 MeV 及び 1.4 MeV で高い信号対雑音比で測定した結果を纏めたものである。本研究により E1 及び E2 断面積が両エネルギーで 10%の高精度で初めて決定され恒星内温度領域（300 keV）における天体物理学 S 因子を決定する上で重要な結果を得た。この結果は天体核物理及び原子核物理にとり重要な結果であり博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。