

Title	Measurement of the E1 and E2 partial cross sections of the $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ reaction at $E_{\text{c.m.}}=1.2$ and 1.5 MeV
Author(s)	上田, 仁
Citation	大阪大学, 2007, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/47643
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、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について <a>〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏 名	上 田 仁 うえ だ ひとし
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	第 20847 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 19 年 3 月 23 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	Measurement of the E1 and E2 partial cross sections of the $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ reaction at $E_{\text{c.m.}}=1.2$ and 1.5 MeV ($E_{\text{c.m.}}=1.2$ 及び 1.5 MeV における $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ 反応の E1 及び E2 部分断面積の測定)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 永井 泰樹 (副査) 教 授 下田 正 教 授 畑中 吉治 助教授 藤原 守 甲南大学教授 宇都宮弘章

論 文 内 容 の 要 旨

恒星内における元素合成を理解するにあたって、He 燃焼期の元素合成について詳しく知ることは重要な役割を果たす。

He 燃焼期の反応は $^4\text{He}(\alpha, \gamma)^8\text{Be}(\alpha, \gamma)^{12}\text{C}$ 反応 (3α 反応) 及びそれに続く $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ 反応が挙げられるが、その内 3α 反応速度については実験的に良く知られている。一方、 $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ 反応速度についてはガモフエネルギー ($E_{\text{c.m.}} \sim 0.3$ MeV) 下において良く分かっていないのが現状である。ガモフエネルギー下においては $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ 反応断面積は 10^{-17} b のオーダーであり、その為高エネルギー側における反応断面積をガモフエネルギー側に外挿する形で推定する。しかし、閾値下における $J_i^\pi=2^+$ と $J_i^\pi=1^-$ 共鳴状態の存在により低エネルギー下の反応断面積で重要な E1 及び E2 成分が異なったエネルギー依存性を示し反応断面積の外挿を困難にしている。 $E_{\text{c.m.}} \sim 0.3$ MeV において精度良く推定する為には E1 及び E2 成分を $E_{\text{c.m.}}=1$ MeV において 10% 以内で求める必要があり、過去 30 年間複数のグループによる研究にも関わらず、未だに目標達成には遠いのが現状である。

我々のグループは上記 $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ 反応断面積 $\sigma_{\text{E1}}(E)$ 及び $\sigma_{\text{E2}}(E)$ の導出に向けて東工大ペレットロン加速器を使用して実験を行っている。 γ 線検出器として高い検出効率を持つ NaI(Tl) 検出器を用い、上記反応において大きなバックグラウンドとなる $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$ 反応対策として ^{12}C 濃縮炭素標的を用い、NaI(Tl) 周辺に鉛遮蔽を設置し、パルス α ビームを用い TOF で中性子起因の γ 線バックグラウンドを分離している。

この実験では、更なる低エネルギー下での $\sigma_{\text{E1}}(E)$ 及び $\sigma_{\text{E2}}(E)$ の精度良い測定の為に統計量向上を図り NaI(Tl) 検出器を 1 台増設して、 40° 、 90° 方向に 1 台、 130° 方向に 2 台、その為の鉛遮蔽、ターゲット管の設計を行った。この新検出器系で 2006 年 3 月及び 7 月に $E_{\text{c.m.}}=1.467$ MeV 及び $E_{\text{c.m.}}=1.225$ MeV で実験を行い、従来に無い高い信号対雑音比の測定に成功した。この結果は恒星の進化模型構築に重要な意義を持つ。

論文審査の結果の要旨

銀河宇宙の歴史を解き明かす上で恒星内における元素合成を理解し妥当な「恒星の進化と元素の起源」についてのモデルを構築する事は重要である。そのモデル構築にあたって、He 燃焼期の元素合成特に $^{12}\text{C}(^4\text{He}, \gamma)^{16}\text{O}$ 反応について詳しく知ることは重要である。ところで He 燃焼期の反応は $^4\text{He}(^4\text{He}, \gamma)^8\text{Be}(^4\text{He}, \gamma)^{12}\text{C}$ 反応（トリプル ^4He 反応）及びそれに続く $^{12}\text{C}(^4\text{He}, \gamma)^{16}\text{O}$ 反応が挙げられるが、その内トリプル ^4He 反応速度については実験的に良く知られている。一方、 $^{12}\text{C}(^4\text{He}, \gamma)^{16}\text{O}$ 反応速度については、30 年余りの研究にも関わらずガモフエネルギー ($E_{\text{c.m.}} \sim 0.3 \text{ MeV}$) 下において良く分かっていないのが現状である。それはガモフエネルギー下で $^{12}\text{C}(^4\text{He}, \gamma)^{16}\text{O}$ 反応断面積は 10^{-17} バーンと極めて小さく現状では地上実験室で測定できない。その為高エネルギー側における反応断面積を実験的に求め、ガモフエネルギー側に外挿して推定している。しかし、閾値下においては ^{16}O 核の $J_i^\pi = 2^+$ 及び $J_i^\pi = 1^-$ 共鳴状態のため低エネルギーにおける反応断面積は E1 及び E2 成分の競合になり、しかもそれらのエネルギー依存性が異なっているため反応断面積の外挿を困難にしている。 $E_{\text{c.m.}} \sim 0.3 \text{ MeV}$ において精度良く断面積を推定する為には E1 及び E2 成分を $E_{\text{c.m.}} = 1 \text{ MeV}$ において 10% 以内で求める必要があるが、未だに目標達成には遠いのが現状である。上田氏は上記 $^{12}\text{C}(^4\text{He}, \gamma)^{16}\text{O}$ 反応断面積 $\sigma_{E1}(E)$ 及び $\sigma_{E2}(E)$ の導出に向けて世界的に見て優れた方法で実験を行った。 γ 線検出器として高い検出効率を持つ NaI(Tl) 検出器 4 台を用いた。更に、大きなバックグラウンドとなる $^{13}\text{C}(^4\text{He}, n)^{16}\text{O}$ 反応対策として ^{12}C 濃縮炭素標的を用い、バックグラウンドを生じる可能性の少ない材質によるターゲット管を設計製作、NaI(Tl) 周辺に鉛遮蔽を設置し、パルス α ビームを用い TOF で中性子起因の γ 線バックグラウンドの分離に成功した。この新検出器系で $E_{\text{c.m.}} = 1.467 \text{ MeV}$ 及び $E_{\text{c.m.}} = 1.225 \text{ MeV}$ で実験を行い、従来に無い高い信号対雑音比の測定に成功した。この結果は恒星の進化モデル構築に重要な意義を持つ。よって、本論文は博士（理学）学位論文として十分価値あるものと認める。