

平成 21 年 12 月 2 日現在

研究種目：基盤研究 (C)
 研究期間：2007年度～2008年度
 課題番号：19540296
 研究課題名 (和文) 大質量星の過剰重元素合成と (n, γ) 反応実験
 研究課題名 (英文) Overproduction of heavy elements in massive stars and (n, γ) reaction
 研究代表者
 永井泰樹
 大阪大学・核物理研究センター・協同研究員
 研究者番号 80028240

研究成果の概要：

金属欠乏星での s-過程元素合成に重要な影響を与える ^{18}O の keV 中性子捕獲反応断面積の実験を通し、終核 ^{19}O の第一励起状態への部分捕獲断面積が理論予測値の 180 倍もある事を明らかにした。この結果は元素合成の計算に標的核及び終核の核構造、ドアウェイ状態の存在が大きく影響する事を示しており今後の元素合成研究に大きな影響を持つ。又超金属欠乏星で観測される様になった鉛は s-過程元素合成終端核に位置し一方で r-過程による元素合成成分も含む。s-過程の寄与を調べるべく ^{207}Pb 共鳴状態及び ^{208}Pb の keV 中性子捕獲断面積測定を行い、世界で初めて即発不連続ガンマ線観測に成功した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：大質量星、重元素、過剰生成、(n, γ) 反応、s-過程

1. 研究開始当初の背景

宇宙に存在する多様な元素をもとに銀河史を解明する上で、恒星内の「遅い中性子捕獲 (s-) 過程」による元素合成モデルは (特に質量数 90 以下の weak s-過程) 長年の研究により妥当なモデルがあるとされてきた。しかるに最

近、太陽系と同程度に進化した星 (太陽系と同じ金属度) で大質量を有する星中での s-過程による重元素合成の計算 (水素燃焼から始まり超新星爆発に至るまでの大規模計算) が Rauscher らにより行われた。それによると Ni 同位体 (特に ^{62}Ni) が計算上過剰に生成され大

きな問題点がある事が明らかになった。実はこの問題はこの種の計算における長年の問題でもあった。問題点は、元素合成模型そのものか、中性子捕獲断面積の不定性に由来するのかあるいは両者にあるのか不明であった。一方、最近高感度の地上望遠鏡「すばる」等により、初期宇宙の進化の解明に重要な情報を提供すると考えられている超金属欠乏星の重元素組成が初めて明らかになりつつある。本田、青木らは中性子捕獲重元素でBa(Z=58)より重い元素は太陽系r-過程元素の観測値でスケールして良く一致する事、しかしSr(Z=38)等の中重元素は大きく外れ過剰に生成されているとの興味深い結果を報告した。A<90の元素は上述した様にr-過程元素と同じく大質量星のweak s-過程の寄与がありその影響を適切に評価する事が初期宇宙の重元素合成と恒星進化の模型構築に極めて重要である。即ち、超金属欠乏星での中性子捕獲による重元素の起源を探る意味でもこのweak s-過程元素合成について妥当な模型構築は急務である。実際、我々はweak s-過程が抱える問題に対し核物理の観点から迫るべく⁶²NiのkeV中性子捕獲反応断面積の測定を行った。我々の結果は既に公表(Astrophysical Journal Lett.されている。我々の結果は、⁶²Niそのものの過剰生成は緩和した。一方⁶²Nの捕獲断面積が3倍大きくなった事は、質量数Aが63から90に至るs-過程元素が過剰に生成される結果をもたらした新たな大問題となっている。

2. 研究の目的

超金属欠乏星の重元素組成をもとに初期宇宙の進化、r-過程元素合成のメカニズムを解明する上で大質量恒星内でのs-過程重元素合成の妥当な模型構築が重要である。本研究は、上記重元素合成で中性子毒として作用する

可能性を持つ、¹⁸O及び鉛付近のs-過程元素の過剰合成に関して²⁰⁷Pb及び²⁰⁸PbのkeV中性子捕獲断面積を高精度で測定し上記s-過程元素合成の妥当な模型構築に寄与する事を目的とする。

3. 研究の方法

本研究は原子核の中性子捕獲反応断面積の測定を日本原子力研究開発機構の4MVペレトロン加速器及び東京工大のペレトロン加速器を用い⁷Li(p,n)⁷Be反応で生成されるパルスkeV中性子を用い行う。中性子捕獲反応により即発的に放出される不連続ガンマ線はアンチコンプトン型のNaI(Tl)検出器で高感度・高効率で検出する。ところでkeV中性子捕獲反応からのγ線測定では、試料で散乱される中性子(散乱断面積は捕獲反応断面積の10³~10⁶倍大)が検出器に入りNaI(Tl)中の特に127Iに捕獲されて即発ガンマ線及び128Iからのベータ線を放出し大きな連続エネルギーバックグラウンドになる。我々は、試行錯誤の後、⁶LiHを試料と検出器間に挿入する事で、γ線強度を殆ど減衰させる事無く散乱中性子の影響を激減する事に成功した。捕獲断面積の絶対値は誤差3%内で既知の¹⁹⁷Au(n,γ)¹⁹⁸Au反応からのγ線を検出し決定する。

4. 研究成果

¹⁸Oの熱中性子捕獲反応断面積の測定を行った。その結果、初めてこの反応の部分断面積を求める事に成功すると共に、¹⁸O基底状態の2粒子4孔状態(全状態の10%未満の成分)が反応に大きく寄与している事を明らかにすると共に、¹⁹Oの閾値近傍の3/2(-)状態が1粒子4孔状態である事を明らかにした。この状態は20年前に1粒子4孔状態と理論的に予言されていたのを初めて証明した。

又上記過程は今までに無かった初めての現象であり興味深い発見である。金属欠乏星での s -過程元素合成に重要な影響を与える ^{18}O の keV 中性子捕獲反応断面積の実験結果の解析を進めた。その結果、終核 ^{19}O の第一励起状態への部分捕獲断面積が理論予測値の 180 倍もある事を明らかにした。そしてその原因は ^{18}O 基底状態の 2 粒子 4 孔状態 (全状態の 10%未満の成分) が捕獲反応に大きく寄与している事を示した。即ち、 p -波中性子捕獲後に 1 粒子 4 孔状態の $3/2$ 中間状態を励起しこの状態から $5/2^+$ の 3 粒子状態へ強く E1 遷移する。これは不連続ガンマ線観測を通しドアウェイ状態を経由して中性子捕獲反応が進行する事を明確に見た初めての例である。この結果は元素合成の計算に標的核及び終核の構造そしてドアウェイ状態の存在が大きく影響する事を示しており今後の研究に大きな影響を持つ。超金属欠乏星で Pb の観測がなされる様になった。鉛は s -過程元素合成で終端核に相当する一方 r -過程による元素合成成分も含む。 s -過程の寄与を調べるべく ^{207}Pb 及び ^{208}Pb の中性子捕獲断面積を keV 中性子を即発ガンマ線検出法により測定した。測定は成功し解析中である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

- 1) Neutron capture cross sections of ^{186}Os , ^{187}Os , and ^{189}Os for the Re-Os chronology, M. Segawa, Y. Nagai, T. Shima, et al., Phys. Rev. C76, 2007, 022802(R)-1, 022802(R)-6
- 2) Neutron-induced reactions using a γ -ray detector in a $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ reaction study, H. Makii, Y. Nagai, K. Mishima, M. Segawa, T.

Shima, and M. Igashira, Phys. Rev. C76, 2007, 022801(R)-1, 022801(R)-5

3) Role of multiparticle-multihole states in $^{18,19}\text{O}$ in thermal neutron capture of ^{18}O , Y. Nagai, M. Segawa, et al., Phys. Rev. C76, 2007, 051301(R)-1, 051301(R)-6

4) Role of multiparticle-multihole states of $^{18,19}\text{O}$ in $^{18}\text{O}(n, \gamma)^{19}\text{O}$ reactions at keV energy, T. Ohsaki, M. Igashira, Y. Nagai, M. Segawa, and K. Muto, Phys. Rev. C77, 2008, 051303(R)-1 051303(R)-5.

5) Improvement of thickness and uniformity of isotopically enriched ^{12}C targets on backings by the HIVIPP method, I. Sugai, Y. Nagai, et al., Nucl. Instr. Meth. A590, 2008, 164, 170

6) New constraints on radiative decay of long-lived particles in big bang nucleosynthesis with new He4 photodisintegration data, M. Kusakabe, T. Kajino, T. Yoshida, T. Shima, Y. Nagai, and T. Kii, Phys. Rev. D79, (2009) 123513

[学会発表] (計 2 件)

1) Deuteron and ^4He Photodisintegrations at Low Energies, Y. Nagai, International Symposium on Soft Photons and Light Nuclei, June 16-20, 2008, Seattle, USA

2) Role of multi-particle multi-hole states of $^{18,19}\text{O}$ in $^{18}\text{O}(n, \gamma)^{19}\text{O}$ at stellar temperatures, Y. Nagai, SARAF workshop, Oct. 27-29, 2008, Israel

6. 研究組織

(1) 研究代表者

永井泰樹 (Yasuki Nagai)

大阪大学・核物理研究センター・協同研究員

研究者番号 : 80028240

(2) 研究分担者

嶋 達志 (Tatsushi Shima)
大阪大学・核物理研究センター・助教
研究者番号：10222035

(3) 連携研究者

大島真澄 (Mashumi Oshima)
日本原子力研究開発機構・原子力基礎工学研
究部門 研究主席
研究者番号：40354815

原田秀郎 (Hideo Harada)
日本原子力研究開発機構・原子力基礎工学研
究部門 研究主幹
研究者番号：80421460

瀬川麻里子 (Mariko Segawa)
日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用研
究部門 博士研究員
研究者番号：00435603

梶野敏貴 (Toshitaka Kajino)
東京国立天文台・理論研究部・准教授
研究者番号：20169444