

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年12月10日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21340053

研究課題名（和文） 天体核反応における α クラスター構造の研究

研究課題名（英文） Study of Alpha-Cluster Structure for Astrophysical Reactions

研究代表者

久保野 茂（KUBONO SHIGERU）

東京大学・大学院理学系研究科・教授

研究者番号：20126048

研究成果の概要（和文）：

主な内容は、（1）不安定核の(a, p)天体反応実験(11C, 18Ne, 30S, 22Mg 標的)研究、（2）MSTPCの開発製作、（3）44Ti beam 開発である。重要天体核反応における α クラスター構造の役割を調べるため、共鳴弾性散乱の測定も行った。(a, p)反応における α クラスター構造の重要性が初めて実験的に明らかにされた。また、爆発過程の(a, p)反応の本格的測定に世界で初めて成功した。また、標的を兼ねた多機能検出器 MSTPC を製作し、実験に供した。11C 標的のデータは、すでに博士論文として纏まった。他の核の実験でも先駆的で貴重なデータが得られ、現在その解析が進行中である。

研究成果の概要（英文）：

The main context of the research is (1) study of stellar (α, p) reactions on radioactive nuclei (11C, 18Ne, 30S, and 22Mg), (2) development of MSTPC time-projection active target chamber, (3) a beam development of 44Ti. Resonant α elastic scattering was also investigated to clarify the role of a cluster in the (α, p) reactions. The important role of α cluster resonances for the (α, p) reactions has been demonstrated for the first time. Successful, extensive measurements of the (α, p) reactions with RI beams were made for the first time. Some parts of the work have been summarized for Ph. D. thesis and also being prepared for publications.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|-----------|------------|
| 平成21年度 | 8,400,000 | 2,520,000 | 10,920,000 |
| 平成22年度 | 4,500,000 | 1,350,000 | 5,850,000 |
| 平成23年度 | 1,600,000 | 480,000 | 2,080,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 14,500,000 | 4,350,000 | 18,850,000 |

研究分野：数理系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙物理

キーワード：原子核（実験）

1. 研究開始当初の背景

宇宙の進化や諸現象の研究に原子核物理の役割は不可欠である。これまでの研究では、超新星などの水素の高温高密度下の爆発的

な過程が研究されてきたが、より高温状態では、同時に爆発的ヘリウム燃焼過程が働くことが予測されている。また、第一世代星の進化の理解にもこの燃焼過程が必要である。し

かし、ヘリウム燃焼過程の各反応の直接的研究は、ほとんどない。この過程は、主に、 α 粒子の共鳴準位を経由して起こるので、原子核の閾値から上の α クラスター構造が重要な働きをすると予想される。近年、進展の著しい原子核のクラスター構造研究を基本にして、この燃焼過程が研究できる可能性がある

2. 研究の目的

宇宙核物理で未開拓の爆発的ヘリウム燃焼過程を、関係する原子核の α クラスター構造を実験的に調べ、同過程を明らかにする。特に、第一世代星や、超新星の初期の段階で起こると考えられる (α, p) 反応を主とする αp -過程を調べる。これらの α 粒子の熱核反応は、 α の共鳴準位を経由して起こるので、原子核の閾値から上の α クラスター構造が重要な働きをする。対象は、 αp -過程は陽子過剰不安定核領域で作用することから、陽子過剰核である。本研究では特に、最重要課題の一つとなっている3つの天体核反応 $^{11}\text{C}(\alpha, p)$ 、 $^{14}\text{O}(\alpha, p)$ 、 $^{18}\text{Ne}(\alpha, p)$ 反応を取り上げる。

3. 研究の方法

本研究で用いた実験方法は、厚い標的を用いた共鳴散乱の測定法である。同法の問題であった反応エネルギーの測定を可能する方法を可能にして実験を行った。大強度陽子過剰核ビームは、同グループが開発した低エネルギーR I ビーム生成分離器 (C R I B) を用いて生成した。1つは、大きなヘリウムガス標的からの反応粒子 (陽子) を2つの位置検出器を駆使して、反応点を導出方法を標的の確立した。さらに、ヘリウムガスを含む位置検出器 (M S T P C) に陽子過剰核を入射させて測定するシステムの開発を成功させて、陽子過剰核の (α, p) 反応断面積の直接測定実験をおこなった。

4. 研究成果

当研究の主な内容は、(1) (α, p) 反応実験 (^{11}C , ^{18}Ne , ^{30}S , ^{22}Mg 標的)、(2) MSTPC 製作とビームテスト、(3) ^{44}Ti beam 開発である。(1)では、各R I ビームの生成テストなどを含む。厚い標的法を用いて、重要天体核反応における α クラスター構造の役割を調べるため、反応断面積の直接測定のほか、共鳴弾性散乱の測定も行った。 (α, p) 反応における α クラスター構造の重要性が初めて実験的に明らかにされた。また、その測定精度と効率を上げるために、標的を兼ねたTPC的な検出器MSTPCを製作し、実験に供した。 $^{11}\text{C}(\alpha, p)$ 天体核反応の実験研究は、すでに博士論文として纏まった。 ^{18}Ne , ^{30}S , $^{22}\text{Mg}(\alpha, p)$ 反応の実験も非常に先駆的な貴重なデータが得られ、現在解析が進行中である。

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 20 件)

- 1) Low-Lying Non-Normal Parity States in ^8B measured by Proton Elastic Scattering on ^7Be : Phys. Lett. B 672 (2009) 230 – 23
doi:10.1016/j.physletb.2009.01.033
H. Yamaguchi, S. Kubono, 他。
15名中3番目。 査読有。
- 2) Investigation of excited states in ^{22}Mg via resonant elastic scattering of $^{21}\text{Na}+p$ and its astrophysical implications : Phys. Rev. C 80 (2009) 015801-6
DOI: 10.1103/PhysRevC.80.015801
J. J. He, S. Kubono, 他。
17名中2番目。 査読有。
- 3) Experimental Approach to Explosive Nucleosynthesis with RI Beams. : J. Korean Phys. Soc. 54 (2009) 308-312.
doi: 10.3938/jkps.54.308
S. Kubono, H. Yamaguchi, 他。
19名中1番目。 査読有。
- 4) β decay of the proton-rich nucleus ^{24}Si and its mirror asymmetry : Phys. Rev. C 80 (2009) 044302-12
DOI: 10.1103/PhysRevC.80.044302
Y. Ichikawa, S. Kubono, 他。
23名中10番目。 査読有。
- 5) Direct Measurement of the $^{14}\text{O}(\alpha, p)^{14}\text{O}$ Cross Section for Astrophysically Important $^{14}\text{O} + \alpha$ Resonances : J. Korean Phys. Soc. 57 (2010) 40 – 43
DOI: 10.3938/jkps.57.40
A. Kim, I. S. Hahn, S. Kubono, 他。
22名中6番目。 査読有。
- 6) Spins and parities of astrophysically important ^{30}S states from $^{28}\text{Si}(^3\text{He}, n)^{30}\text{S}$: Phys. Rev. C 83 (2011) 018803-4
DOI: 10.1103/PhysRevC.83.018803
K. Setoodehnia, S. Kubono, 他。
18人中4番目。 査読有。
- 7) Uncertainties in the vp-Process: Supernova Dynamics versus Nuclear Physics : Astrophys. J. 729 (2011) 46 – 55
doi:10.1088/0004-637X/729/1/46
S. Wanajo, H.-T. Janka, and S. Kubono
査読有。
- 8) β -Decay Half-Lives of Very Neutron-Rich Kr to Tc Isotopes on the Boundary of the r-Process Path: An Indication of Fast r-Matter Flow : Phys. Rev. Lett. 106 (2011) 052502-5
DOI:10.1103/PhysRevLett.106.052502
S. Nishimura, S. Kubono, 他。
48人中31番目。 査読有。
- 9) α resonance structure in ^{11}B studied via resonant scattering of $^7\text{Li} + \alpha$: Phys. Rev. C 83 (2011) 034306-10
DOI: 10.1103/PhysRevC.83.034306
H. Yamaguchi, S. Kubono, 他。
9人中6番目。 査読有。
- 10) Simple, High-Sensitive, and Non-Destructive Beam Monitor for RI Beam Facilities : Nucl. Instr. Meth. A 633 (2011) 8 – 14
doi:10.1016/j.nima.2010.12.036
S. Watanabe, S. Kubono, 他。
7人中2番目。 査読有。

- 11) Structural Evolution in the Neutron-Rich Nuclei ^{106}Zr and ^{108}Zr
: Phys. Rev. Lett. 106 (2011) 202501
DOI: 10.1103/PhysRevLett.106.202501
T. Sumikama, S. Kubono, 他。
4 7 人中 2 8 番目。 査読有。
- 12) Low-lying level structure of the neutron-rich nucleus ^{109}Nb : A possible oblate-shape isomer
: Phys. Lett. B 696 (2011) 186 - 190
doi:10.1016/j.physletb.2010.12.028
H. Watanabe, S. Kubono, 他。
4 9 人中 2 7 番目。 査読有。
- 13) Resonance states in ^{27}P using Coulomb dissociation and their effect on the stellar reaction $^{26}\text{Si}(p,\gamma)^{27}\text{P}$
: Phys. Rev. C 84 (2011) 035808
DOI: 10.1103/PhysRevC.84.035808
Y. Togano, S. Kubono, 他。
4 5 人中 2 3 番目。 査読有。
- 14) Development of axial asymmetry in the neutron-rich nucleus ^{110}Mo
: Phys. Lett. B 704 (2011) 270–275
doi:10.1016/j.physletb.2011.09.050
H. Watanabe, S. Kubono, 他。
5 1 人中 3 1 番目。 査読有。
- 15) New measurement of the $^{11}\text{B}(p,\alpha_0)^8\text{Be}$ bare-nucleus $S(E)$ factor via the Trojan horse method
: J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 39 (2012) 015106
doi:10.1088/0954-3899/39/1/015106
L. Lamia, S. Kubono, 他。
32 人中 13 番目。 査読有。
- 16) Strong $^{25}\text{Al} + p$ resonances via elastic proton scattering with a radioactive ^{25}Al beam
: Phys. Rev. C 85 (2012) 015805
DOI: 10.1103/PhysRevC.85.015805
J. Chen, S. Kubono, 他。
2 4 人中 1 1 番目。 査読有。
- 17) Isobaric analog resonances of the $N=21$ nucleus ^{35}Si
: Phys. Rev. C 85 (2012) 034313
DOI: 10.1103/PhysRevC.85.034313
N. Imai, S. Kubono, 他。
1 6 人中 1 1 番目。 査読有。
- 18) Experimental study of resonant states in ^{27}P via elastic scattering of $^{26}\text{Si}+p$
: Phys. Rev. C 85 (2012) 045802
DOI: 10.1103/PhysRevC.85.045802
H. S. Jung, S. Kubono, 他。
2 6 人中 7 番目。 査読有。
- 19) Quasi-elastic scattering of the proton drip line nucleus ^{17}F on ^{12}C at 60 MeV
: Eur. Phys. J. A 48, 65 (2012)
DOI 10.1140/epja/i2012-12065-x
G.L. Zhang, S. Kubono, 他。
2 2 人中 1 3 番目。 査読有。
- 20) A new low-energy radioactive beam line for nuclear astrophysics studies in China
: Nucl. Instr. Meth. A680 (2012) 43 – 47.
Doi: 10.1016/j.nima.2012.03.040
J.J. He, S. Kubono, 他。
2 1 人中 1 2 番目。 査読有。

[学会発表] (計 0 件)

[図書] (計 1 件)

シリーズ現代の天文学第 12 巻天体物理の基礎
第 2 章「核反応・元素合成基礎論」 日本評論社
(2009) 135 – 178 ページ。
著者 久保野 茂、梶野 敏貴

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

久保野 茂 (KUBONO SHIGERU)
東京大学・大学院理学系研究科・教授
研究者番号: 20126048

(2) 研究分担者

山口 英斉 (YAMAGUCHI HIDETOSHI)
東京大学・大学院理学系研究科・講師
研究者番号: 30376529
若林 泰生 (WAKABAYASHI YASUO)
理化学研究所・仁科センター・基礎科学特別研究員
研究者番号: 80447359
橋本 尚志 (HASHIMOTO HISASHI)
大阪大学・核物理研究センター・特任助教
研究者番号: 90414581
寺西 高 (TERANISHI TAKASHI)
九州大学・大学院理学研究院・准教授
研究者番号: 10323495
岩佐 直仁 (IWASA NAOHITO)
東北大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号: 50322996
加藤 静吾 (KATO SEIGO)
山形大学・理学部・名誉教授
研究者番号: 70013422
西村 俊二 (NISHIMURA SHUNJI)
理化学研究所・仁科加速器センター・先任研究員
研究者番号: 90272137