

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2006～2009

課題番号：18540270

研究課題名(和文) ニュートリノ元素合成をつかさどるガモフテラー遷移の研究

研究課題名(英文) Study of Gamow-Teller Transitions Playing Important Roles
In the Neutrino Nucleosynthesis

研究代表者

藤田 佳孝 (FUJITA YOSHITAKA)

大阪大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：60093457

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：核物理 弱い相互作用 ガモフテラー遷移 荷電交換反応 元素合成 高分解能測定 荷電スピン 荷電スピン対称性

1. 研究計画の概要

宇宙のマイクロで動的な側面である元素合成に目を向けると、ベータ崩壊やニュートリノ反応による弱い相互作用の働きが大きい。特に超新星爆発時のような過激な状態での、数10億度に達する恒星内部では、対生成過程によりニュートリノ、反ニュートリノが大量に作られ、ニュートリノ起源の元素合成が起こる。ニュートリノは弱い相互作用でのみ原子核と反応する。この状況で重要な役割を果たすのが、巨星の中心核を形成する pf-殻核からガモフテラー遷移である。ニュートリノの相互作用の弱さゆえに、直接測定が出来ないガモフテラー遷移の強度を、強い相互作用を使う(3He, t)荷電交換反応による実験で調べる。加速器を使うこの実験では、磁気分析器を用いた測定により、従来からの荷電交換反応測定に比べ、一桁高い分解能を達成できている。今まで知り得なかった pf-殻核からのガモフテラー遷移の詳細と、全体像をつかむ事を目的としている。

2. 研究の進捗状況

我々は、核子当たり 140 MeV の(3He, t)荷電交換反応において、世界最高分解能を達成した。本研究では、このメリットを生かし、カルシウムからニッケルまでの pf-殻核、及びより重い原子核に対して、超新星爆発に伴うニュートリノ起源の元素合成に関与する原子核の個別のガモフテラー遷移を実験的に調べている。これらの原子核では、状態の密度が高くなり、それらを分離するため、より

良い分解能が必要となる。その為に標的の準備、より高分解能の得るため磁気分析器システム、加速器システムの開発を行ってきた。その結果最高エネルギー分解能を更新し、25 keV (1/20,000) を達成した。

pf-殻核での GT 遷移の強度分布は、原子核毎の構造に大きく依存する為、互いに様子が異なり、類推が利かない。そこで各原子核の標的に対し、地道な研究を進めている。これまで量子数「荷電スピン」の値が T=1 である pf-殻核の標的 42Ca, 46Ti, 50Cr, 54Fe 及び 58Ni に対しての実験を終えた。データを解析し、一部の原子核については、論文にまとめた。

それと平行し、フランス・GANIL 研究所の核破砕反応施設を使い、陽子過剰不安定核を生成し、上記の原子核と荷電スピンの対称な関係にある不安定原子核からのガモフテラー遷移の研究を行なっている。2008 年秋に最初の実験として、58Zn の β 崩壊におけるガモフテラー遷移を測定した。この遷移は上記 58Ni 標的に対する(3He, t)荷電交換反応から得られたガモフテラー遷移に対する知見と、対称関係が理論的に予想される。スペイン・バレンシアでのデータ解析に、こちらの知見を持ち寄り、 β 崩壊測定、(3He, t)荷電交換反応測定それぞれ単独では得られない高度な研究成果を目指す。この実験はバレンシアの研究者に加え、GANIL、イギリス・サリー大学、トルコ・イスタンブール及びフランス・ボルドーの研究者との共同研究である。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

(理由)

研究の推進の為には、まず加速器を用いた荷電交換反応による実験を行う必要がある。実験計画を申請して得られる、加速器の使用を許可される時間(ビームタイム)は限られている。またデータ解析に要する時間、データの解析中に見つかる研究上の予想外の知見、新たな発見などの処理に、多くの時間を要する。これらを考慮すると、ほぼ予想の範囲内の進捗状況であると考えられる。

4. 今後の研究の推進方策

ニュートリノによる元素合成プロセスには、多くの pf-殻核が関与する。またガモフテラー遷移の強度分布は、原子核毎に大きく異なる。さらに広い範囲の pf-殻核、特に荷電スピンの値が $T=2$ の核について GT 遷移の強度分布を得ようと、更なる $(3\text{He}, t)$ 荷電交換反応実験を進める。 $T=2$ 核の代表として 56Fe が上げられるが、それと荷電スピン対称な関係にある不安定原子核 56Zn の β 崩壊におけるガモフテラー遷移の測定を、フランス・GANIL 研究所の核破砕反応施設を使い行う予定である。プログラム認可委員会の承認を得て、ビームタイムの割り当てを待っている。このように荷電スピン対称性に基づき、不安定原子核におけるガモフテラー遷移の強度分布の研究に発展させる。

5. 代表的な研究成果

(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 10 件)

(1) H. Fujita, G.P.A. Berg, Y. Fujita, J. Rapaport, T. Adachi, N.T. Botha, H. Fujimura, F.D. Smit 他16名、High resolution study of isovector negative parity states in the $160(3\text{He}, t)16\text{F}$ reaction at 140 MeV/nucleon, Physical Review C 79, 024314 1-7 (2009), 査読有.

(2) R. G. T. Zegers, R. Meharchand, T. Adachi, Y. Fujita, Y. Shimbara, Y. Shimizu, C. Scholl, A. Signoracci, A. Tamii 他14名、Spectroscopy of 24Al and Extraction of Gamow-Teller Strengths with the $24\text{Mg}(3\text{He}, t)$ Reaction at 420 MeV, Physical Review C 78, 014314 1-9 (2008), 査読有.

(3) Y. Fujita, Detailed Study of Gamow-Teller Transitions: the impact on astro and

nuclear-structure physics, Nuclear Physics A805, 408c-415c (2008), INPC招待講演論文、査読無.

[学会発表] (計 8 件)

(1) Y. Fujita

Nuclear Weak Response from the Combined Study of beta-decay and Charge-Exchange Reaction, Franco-Japanese Symposium, New Paradigms in Nuclear Physics, September 29-October 02, 2008, Institut Henri Poincare, Paris, France.

(2) Y. Fujita

Gamow-Teller transitions starting from stable & unstable pf-shell nuclei, Nuclei in the Cosmos 10, July 27-August 01, 2008, Mackinac Island, Michigan, USA.

(3) Y. Fujita, B. Rubio, and W. Gelletly, Gamow-Teller transitions in stable & unstable pf-shell nuclei, Nuclear Physics and Astrophysics: from stable beams to exotic nuclei, June 25-30, 2008, Cappadocia, Turkey.

[その他]

ホームページ

<http://www.rcnp.osaka-u.ac.jp/~fujita>