

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2007～2010

課題番号：19340074

研究課題名(和文) 元素合成に関わる中性子過剰核の β 崩壊の研究

研究課題名(英文) Decay Spectroscopy of neutron-rich nuclei relevant to astrophysical nucleosynthesis

研究代表者

西村 俊二(Nishimura Shunji)

独立行政法人理化学研究所・櫻井 R I 物理研究室・前任研究員

研究者番号：90272137

研究代表者の専門分野：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：元素合成、 β 崩壊、中性子過剰核、R-過程

1. 研究計画の概要

超新星爆発など中性子が多量に放出される環境において、急速な中性子捕獲過程(R-過程)が起こると考えられている。この爆発的要素合成において、軽い原子核からウラン領域までの多量の中性子過剰核が一挙に生成され、 β 崩壊により安定核へと降り積もった。一方、この過程における詳細なメカニズムは謎に包まれている。この問題を解く鍵として、広範囲に存在したと考えられる非常に中性子過剰な原子核の半減期、中性子放出確率、励起レベル、質量を精度良く測定する必要がある。

理化学研究所・RIBF 加速器施設が完成し、大強度ウランビームを用いた重い中性子過剰核の生成が可能となった。生成した中性子過剰核は、粒子識別を行い効率的に検出器に埋め込む手法を導入することにより、高精度 β 崩壊測定実験を行う。そこで、原子核の崩壊に伴い放出される β 線、 γ 線、中性子を効率的に測定する必要があり、検出効率を重視した測定装置の開発・製作を行う。最終的には、各測定装置群を組み合わせることにより、高精度 β スペクトロスコピー実験を行い、非常に中性子過剰な原子核の核構造および天体核物理に関する研究を推し進める。

2. 研究の進捗状況

(1) 半減期一括測定装置(CAITEN)：新同位体探索など高ビーム強度かつ多種類の中性子過剰核を同時に扱う条件下において、希少な中性子過剰核の半減期の効率的測定を両立させることは非常に難しい。そこで、革新的な測定手法に基づいた半減期一括測定装置 CAITEN を考案し完成させた。この装置の性能評価を行うために、まず比較的よ

く知られている不安定核(^{32}Mg , ^{33}Al)を毎秒千個の強度で埋め込むテスト実験を行った。(2) β スペクトロスコピー用半導体検出器(DSSSD)：10keV～6GeVの広いダイナミックレンジに対応した β 崩壊測定用の半導体検出器の開発に成功した。昨年度12月、RIBF 加速器施設において、大強度ウランビームを利用した最初の β スペクトロスコピー実験を行った。測定した領域は ^{110}Zr 近傍であり、この領域で想定されているR-過程経路上に世界で初めて届くことに成功した。この領域は、原子核の変型でも注目されている。また、元素存在比の第2ピーク直下と対応しており、理論計算で1桁の低い生成量を予測している。核構造のクエンチング効果との関連があると話題を呼んでいる。そこで、高純度ゲルマニウム検出器装置も組み合わせ、 $\beta \cdot \gamma$ 分光を可能とした。(3) ^3He 中性子検出器：今後のR-過程の研究を進める上で、中性子放出確率を精度良く測定する必要がある。そこで、高検出効率を特長とする中性子検出器の導入を行った。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。以下、参照。(1) CAITEN 装置を完成させ、位置・時間補正を行うためのデータ解析を開発した。昨年度12月に高レート打ち込み実験を行い、その解析を進めている。すでに、 ^{32}Mg , ^{33}Al の β 崩壊スペクトルを確認しており、これまで出来なかった高レートでの半減期測定が可能であることを確認した。また、大型LaBr3検出器を組み合わせることにより、 $\beta \gamma$ 核分光も可能であることが判った。(2) DSSSD 装置を利用した β スペクトロスコピー実験を実施した。2.5日間のビームタ

イムで中性子過剰な核(Kr, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tc)の不安定核を同時に DSSSD に埋め込み、一度に 40 種以上もの核種の β 崩壊スペクトルの測定に成功した。この実験により、新たに 14 種以上の半減期を決定できる見込みがたった。また、不安定核の変型に関しても研究を進めており、これまで知られていないアイソマー、励起レベルが見えてきた。

(3) ^3He 中性子検出器：高検出効率型の中性子検出器の導入を行った。 β 崩壊に伴い放出される中性子の放出確率を精度よく測定するべく、 $\phi 2.54\text{cm} \times 30\text{cm}$ (ガス圧 5atm)のプロポーショナル検出器 26 本を製作した。

4. 今後の研究の推進方策

(1)CAITEN：収集したデータ解析をすすめ、性能評価を行う。本年度は、Ca ビームを利用した半減期一括測定の本実験を行う。これにより、比較的軽い領域での中性子過剰核の高精度 β スペクトロスコピー実験を開始する。

(2) DSSSD: 収集したデータ解析を行い、半減期、 $\beta \cdot \gamma$ 分光の研究を進める。また、2重魔法数を持つ ^{78}Ni 領域の β 崩壊の本実験に備えて、20ms 以下の短寿命測定にも対応した装置のアップグレードを行う。

(3) ^3He 中性子検出器：中性子数 $N=82$ 領域での実験プロポーザルを検討している。ミシガン州立大学の大型 ^3He 中性子検出器(NERO)と組み合わせる方向で議論を進めている。これにより R-過程の元素合成スペクトル・第 2 ピークに関する直接的な研究を行う。

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 4 件)

S.Nishimura, et al., "Beta-counting systems for decay spectroscopy projects", RIEKN Accel. Prog. Rep. 42, 183 (2009), 査読有

T.Ohnishi, et al. (6 名, 20 番目) "Identification of 45 New Neutron-Rich Isotopes Produced by In-Flight Fission of a ^{238}U Beam at 345 MeV/nucleon", JPSJ submitted. 査読有

T.Murakami, et al., (13 名, 9 番目) " π^-/π^+ Ratio Observed in the Central Collisions of $^{115}\text{In}+^{132}\text{Xe}$ Reaction at 400A MeV", Nucl. Phys. A 834 593c-595c (2010), 査読有

H.Yamaguchi, et al., (15 名, 9 番目), "Low-lying non-normal parity states in ^8B measured by proton elastic scattering on ^7Be ", Phys. Lett. B 672, 230-234 (2009), 査読有

[学会発表] (計 5 件)

西村俊二(代表), "回転式シンチレーション検出器を用いた半減期測定装置の開発", 日本物理学会, 2008 年 3 月 24 日, 近畿大学

西村俊二(代表), "Decay spectroscopy experiments and spin-isospin", ICHOR - EFES International Symposium on New Facet of Spin-Isospin Responses (SIR2008), 2008 年 10 月 30 日, 埼玉県・和光市・理化学研究所

西村俊二(代表), "First results from RIBF and the scope", 3rd Joint Meeting of Nuclear Physics Divisions of the APS and the JPS, 2009 年 10 月 13 日, 米国・ハワイ島

西村俊二(代表) "First Decay Experiment at the RIBF", CHOR-EFES International Symposium on New Facet of Spin-Isospin Responses (SIR2010), 2010 年 2 月 19 日, 東京大学・本郷キャンパス

西村俊二(代表) "First Decay Experiment at RIBF", OMEG10, 2010 年 3 月 8 日大阪大学・吹田キャンパス

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)