

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6月6日現在

機関番号：82110

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21340068

研究課題名（和文） ルテチウム核宇宙時計の半減期問題の解決

研究課題名（英文） Answer to a question for the Half-life of Lu nuclear cosmochronometer

研究代表者

早川 岳人 (HAYAKAWA TAKEHITO)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用研究部門・研究主幹

研究者番号：70343944

研究成果の概要（和文）：

ルテチウム 176 の半減期を解明するために、検出器の開発とレーザーの導入を行った。タンタル 180 は希少な同位体であり、その天体起源は長らく不明であった。我々は超新星のような爆発的な環境下で、約 8 時間でベータ崩壊する基底状態と準安定なアイソマーの間の遷移の時間変化を時、タンタル 180 が超新星ニュートリノ起源で説明できることを明らかにした。スズ 115 の天体起源は不明であったが、カドミニウム 112 のアイソマーを経由する s 過程で生成されたのではないかと仮説を立て、中性子捕獲反応断面積を計測した。

研究成果の概要（英文）：

For the problem of the Lu-176 half-life, we developed a detector system and introduced a laser system to generate laser Compton scattering gamma-ray beam. Ta-180 is a rare isotope and its astrophysical origin is unresolved question. We made a model to calculate the unstable ground state and meta-stable isomer. We concluded that the origin of Ta-180 can be explained by the supernova neutrino process. The origin of Sn-115 is also unknown. We have proposed Sn-115 has been produced by the s-process via a Cd-112 isomer and measured the neutron capture cross section.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	7,600,000	2,280,000	9,880,000
2010年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2011年度	2,300,000	690,000	2,990,000
年度			
年度			
総計	13,600,000	4,080,000	17,680,000

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：半減期、s 過程、アイソマー

1. 研究開始当初の背景

核宇宙時計とは、超寿命放射性同位体の親核と娘核の量から、親核が生成された年代、親核の量が確定した（例えば、岩石が形成された）年代を測定する手法である。核宇宙時計の一つ、Lu-176(ルテチウム)は s 過程と呼ばれる遅い中性子捕獲反応過程で生成された核種である。しかし、隕石と岩石から求め

た半減期不一致であり、半減期が不確定という問題があった。その理由の一つとして、宇宙環境において基底状態とアイソマーの間の遷移が不明という問題があった。

2. 研究の目的

Lu-176 の他にも基底状態とアイソマーが存在する核種として Ta-180 がある。これら

の宇宙における生成過程と半減期を研究する。

3. 研究の方法

従来とは異なる方法で半減期を計測すると同時に、基底状態とアイソマーの間の遷移をモデル化して計算する。また、ガンマ線で遷移した可能態があるので、レーザー逆コンプトン散乱ガンマ線を開発する。

4. 研究成果

半減期を計測するシンチレーターの内部バックグラウンドが重要な問題の一つであり、LSO、GSO、GSOZ、LGSO、BGO、LaBr（これは比較のため）のサンプル等を用意して低バックグラウンド環境で計測した。なお、LSO と LGSO は内部に Lu を含むため試料を別途用意する必要がないという長所がある。また、基底状態とアイソマーの遷移のレーザーコンプトン散乱ガンマ線のエネルギーはレーザーの波長に反比例するため、通常の $1\mu\text{m}$ より長い $1.5\mu\text{m}$ の波長のファイバーレーザーを用意し、まず産業技術総合研究所の蓄積リングでコンプトン散乱ガンマ線の発生テストを行った後に、ニュースバルに移設した。

Ta-180 の基底状態とアイソマーの間の遷移を解明するために、基底状態とアイソマーが独立した核種であるとするモデルを提案し、その計算方法を解析的に求めた。Ta-180 の天体起源が超新星ニュートリノ過程で説明できることを明らかにした。

Sn-115 の天体起源として、Cd-112m を経由した s 過程を提案した。鍵を握るのは Cd-112g と Cd-112m への中性子捕獲反応断面積の比であることを理論的に明らかにすると同時に、研究原子炉 JRR-3 で計測した。s 過程の寄与が小さいとの結論を得た。

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 19 件)

1. T.Hayakawa, T.Kajino, S.Chiba, G.J.Mathews, New estimate for the time-dependent thermal nucleosynthesis of $^{180}\text{Ta}^m$, Phys. Rev. C 81, 052801 (2010). 査読有
2. T.Hayakawa, P.Mohr, T.Kajino, S.Chiba, G.J.Mathews, Reanalysis of the (J=5) state at 592 keV in ^{180}Ta and its role in the γ -process nucleosynthesis of ^{180}Ta in supernovae, Phys. Rev. C 82, 058801 (2010).

査読有

3. T.Hayakawa, N.Kikuzawa, R.Hajima, T.Shizuma, N.Nishimori, M.Fujiwara, M.Seya, Nondestructive assay of plutonium and minor actinide in spent fuel using nuclear resonance fluorescence with laser Compton scattering gamma-rays, Nucl. Instr. Method, Phys. Res. A 621, 695 (2010). 査読有
4. T.Hayakawa, H.Ohgaki, T.Shizuma, R.Hajima, N.Kikuzawa, E.Minehara, T.Kii, H.Toyokawa, Nondestructive detection of hidden chemical compounds with laser Compton-scattering gamma rays, Review of Scientific Instruments, 80, 045110 (2009). 査読有
5. T.Hayakawa, T.Shizuma, T.Kajino, K.Ogawa, H. Nakada, Reply to “Comment to ‘ ^{138}La - ^{138}Ce - ^{136}Ce nuclear Cosmochronometer for supernova neutrino process’”, Physical Review C, 79, 059802 (2009). 査読有
6. T. Hayakawa, T. Shizuma, S. Chiba, T. Kajino, Y. Hatsukawa, N. Iwamoto, N. Shinohara, H. Harada, NEUTRON CAPTURE CROSS SECTION TO Cd-113 ISOMER AND s-PROCESS CONTRIBUTION TO RARE p-NUCLIDE Sn-115, Astrophysical Journal, 707, 859-865 (2009). 査読有

[学会発表] (計 5 件)

- ① 早川岳人、中村航、梶野敏貴、千葉敏、Cheoun, M.-K、Mathews, G.、岩本信之、超新星ニュートリノ過程による奇奇核生成、日本物理学会第67回年次大会、2012年3月、西宮市
- ② T.Hayakawa, 招待講演、Neutrino-induced nucleosynthesis in supernovae、11th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies、2011年11月、和

光市

- ③ T.Hayakawa, 招待講演、Applications of high-brightness gamma-rays from ERLs、50st Advanced ICFA Beam Dynamics Workshop on Energy Recovery Linacs、2011年10月、つくば市
- ④ T.Hayakawa, Supernova neutrino nucleosynthesis of a radioactivity ^{92}Nb , Astronomy with Radioactivities VII, 2011年3月、Victoria
- ⑤ 早川岳人、千葉敏、梶野敏貴、G. Mathews, P. Mohr, 180Ta の励起状態とガンマ線遷移確率の超新星ニュートリノ過程及び s 過程に対する影響、日本物理学会 2010 年秋季大会、2010 年 9 月、北九州市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

早川 岳人 (HAYAKAWA TAKEHITO)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用研究部門・研究主幹

研究者番号：70343944

(2) 研究分担者

静岡 俊行 (SHIZUMA TOSHIYUKI)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用研究部門・研究主幹

研究者番号：50282299

宮本 修治 (MIYAMOTO SHUJI)

兵庫県立大学・高度産業科学技術研究所・教授

研究者番号：90135757

(3) 連携研究者

川瀬 啓悟 (KAWASE KEIGO)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用研究部門・研究員

研究者番号：60455277

梶野 俊貴 (KAJINO TOSHITAKA)

国立天文台・理論研究部・准教授

研究者番号：20169444

藤原 守 (FUJIWARA MAMORU)

大阪大学・核物理研究センター・准教授

研究者番号：00030031

山下 勝行 (YAMASHITA KATSUYUKI)

岡山大学・地球物質科学研究センター・准教授

研究者番号：50322201