

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K03901

研究課題名(和文) Elucidation of the r-process second peak from key nuclear mass measurements at N=82 with the Rare-RI Ring at RIKEN/RIBF

研究課題名(英文) Elucidation of the r-process second peak from key nuclear mass measurements at N=82 with the Rare-RI Ring at RIKEN/RIBF

研究代表者

Naimi Sarah (NAIMI, SARAH)

国立研究開発法人理化学研究所・開拓研究本部・研究員

研究者番号：40747135

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：RIBF/理化学研究所で製造された希少同位体 ^{123}Pd の質量測定をRare-RIリングを用いて実施した。この同位体の質量を用いて天体物理計算を行い、質量 $A=122$ と質量 $A=123$ のr過程存在比を推定した。その結果、 ^{123}Pd の新しい質量を計算に用いると、これら二つの質量の存在比を再現できることがわかった。

また、Rare-RIリングのための新しい位置検出器の開発を最終的に完了した。この検出器の位置分解能はRIBF標準検出器と同等であり、Rare-RIリングの高真空条件下で動作可能であるという利点がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Mass measurements of ^{123}Pd was performed to investigate its influence in the r-process synthesis of chemical elements tin and antimony. Such measurement is only possible only at RIBF/RIKEN. The results of this experiment was published in international journal and a press release was prepared.

研究成果の概要(英文)：Mass measurement of rare isotope ^{123}Pd produced at RIBF/RIKEN was performed with the Rare-RI Ring. The mass of this isotope was used to perform astrophysical calculation to estimate the r-process abundances of mass $A=122$ and $A=123$. We find that the abundance ratio of these two masses can be reproduced when using the new mass of ^{123}Pd in the calculation.

We have also finalized the development of a new position-sensitive detector for the Rare-RI Ring. The detector position resolution is similar to that of the RIBF standard detector, with the advantage of being operable under the high-vacuum condition in the Rare-RI Ring.

研究分野：Nuclear astrophysics

キーワード：nuclear mass storage ring r-process position detector

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

Background of the study at its inception

The origin of half of chemical elements, heavier than iron, is still a mystery. It is because it involves nuclear properties of nuclei very difficult to produce in the lab and exist briefly in extreme stellar condition, such as neutron stars mergers or supernovae explosion. The process responsible for synthesizing these elements is called rapid neutron capture (or r-process). This process relies on a fragile energy balance between beta-decay and neutron capture defined by nuclear masses since they reflect the energy available to the system. Therefore, nuclear masses are very important to describe the abundances of the chemical elements produced in the r-process.

2. 研究の目的

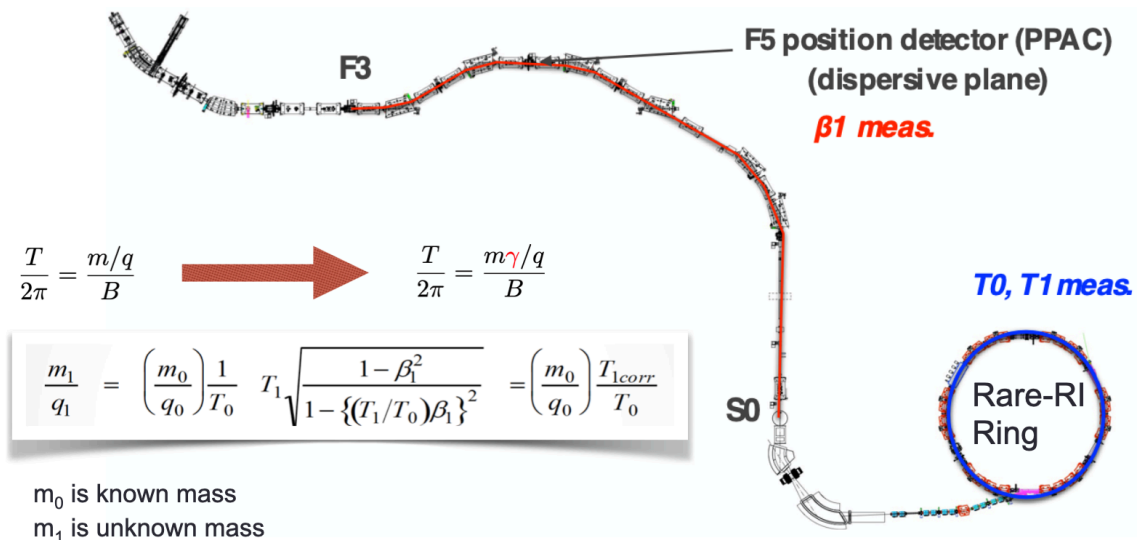
Purpose of the research

By measuring nuclear masses of rare isotopes of neutron-rich nuclei produced at RIBF and combining these measurements with astrophysical calculation, one can clarify the abundances of elements that were produced by r-process. In this research, we measured the mass of a rare isotope of palladium ^{123}Pd and investigated its impact in the r-process abundances of elements with mass number $A=122$ and $A=123$.

3. 研究の方法

Research Methods

To measure the mass of a short lived isotope of ^{123}Pd , we used the newly developed mass spectrometer at RIBF, the so-called the Rare-RI Ring. To measure the mass, two kind of measurements are required. On one hand, we measure the revolution time of the particle inside the Rare-RI Ring (T_0, T_1) and on the other hand we measure the velocity of the particle on the beam line (β_1). By combining these two measurements and by using reference particles, the mass of ^{123}Pd could be determined as illustrated below.

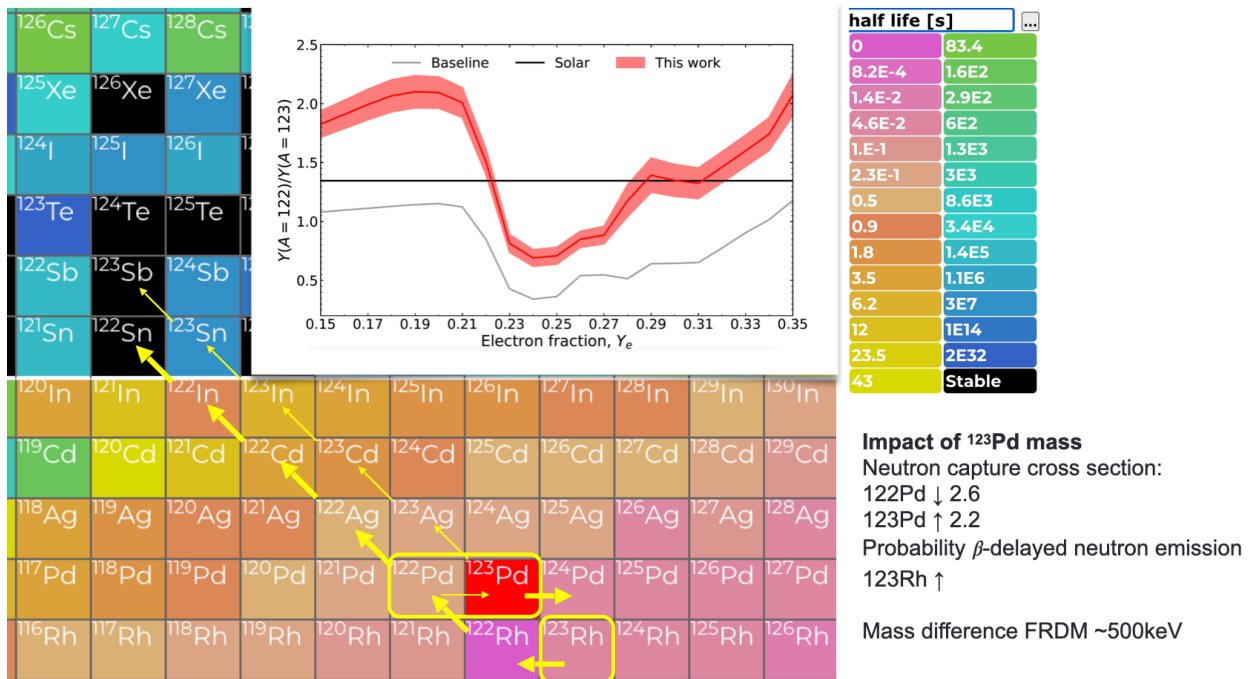


For the astrophysical calculation we used the Portable Routines for Integrated nucleoSynthesis Modeling reaction network to estimate the impact of the new mass of ^{123}Pd . With such calculation, we could estimate that changes to the mass propagate to cross sections and branching ratios in neighboring nuclei. We simulate nucleosynthesis for a set of 20 parameterized r-process conditions or trajectories (entropy of 40kB/baryon, time scale of 20ms and electron fraction Y_e varying between 0.15 and 0.35 in 0.01 intervals).

4. 研究成果 Research Results

We determined the mass of ^{123}Pd with an uncertainty of 265keV, resulting in a mass precision of 2×10^{-6} . The new mass is 3 times more precise than literature value, which lead to more precise astrophysical calculation and estimation of the r-process abundances. The astrophysical calculation shows that the impact of ^{123}Pd mass is significant for elements with mass number $A=123$ (Sb) and $A=122$ (Sn). As shown in the figure below, the observed solar abundance ratio (straight line) is better reproduced when taken into account our new ^{123}Pd masses (red line) as compared with baseline ratio that takes into account mass from FRDM mass model (grey line) with only 500keV mass difference compared to our experimental mass.

In the figure below, I summarize the flow of matter by showing thinner and thicker arrows for smaller and larger matter flow, respectively. In the figure, only the flow of matter influenced by our new mass is shown.



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 H. F. Li, S. Naimi et al.	4. 巻 128
2. 論文標題 First Application of Mass Measurements with the Rare-RI Ring Reveals the Solar r-Process Abundance Trend at A=22 and A=123	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 152701-1
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevLett.128.152701	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 G. Hudson-Chang, S. Naimi et al.	4. 巻 54
2. 論文標題 Improved position resolution of the beam diagnostics detector for the Rare-RI Ring	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 RIKEN Accelerator Progress Report	6. 最初と最後の頁 101
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 S. Naimi et al.	4. 巻 1643
2. 論文標題 Experimental Challenges of the First Mass Measurement Campaign at the Rare-RI Ring	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 12058
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1742-6596/1643/1/012058	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 D. Nagae et al.	4. 巻 986
2. 論文標題 Development and operation of a time-of-flight detector to confirm particle storage at the Rare-RI Ring	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A	6. 最初と最後の頁 164713
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.nima.2020.164713	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 R. Crane, S. Naimi et al.	4. 巻 53
2. 論文標題 Performance of a none-isochronous position-sensitive detector for the Rare-RI Ring	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 RIKEN Accelerator Progress Report	6. 最初と最後の頁 177
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 S. Omika, T. Yamaguchi, N. Tadano, Y. Abe, M. Amano, Z. Ge, D. Kamioka, T. Moriguchi, D. Nagae, S. Naimi, A. Ozawa, F. Suzuki, S. Suzuki, T. Suzuki, T. Uesaka, M. Wakasugi, K. Wakayama, Y. Yamaguchi	4. 巻 463
2. 論文標題 Development of a new in-ring beam monitor in the Rare-RI Ring	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms	6. 最初と最後の頁 241-243
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nimb.2019.05.029	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 S. Suzuki, A. Ozawa, D. Kamioka, Y. Abe, M. Amano, H. Arakawa, Z. Ge, K. Hiraishi, Y. Ichikawa, K. Inomata, A. Kitagawa, T. Kobayashi, Hg. Li, T. Matsumoto, T. Moriguchi, M. Mukai, D. Nagae, S. Naimi, S. Omika, S. Sato, Y. Tajiri, K. Wakayama, T. Yamaguchi	4. 巻 965
2. 論文標題 Efficiency and timing performance of time-of-flight detector utilizing thin foils and crossed static electric and magnetic fields for mass measurements with Rare-RI Ring facility	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 163807
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2020.163807	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 S. Naimi et al.	4. 巻 52
2. 論文標題 Mass Measurements with the Rare-RI Ring for the A=130 r-process Abundance Peak	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Riken Acceleration Progress Report	6. 最初と最後の頁 102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 H.F. Li, S. Naimi et al.	4. 巻 52
2. 論文標題 Preliminary analysis of mass measurement experiment in the south-western region of ^{132}Sn with Rare RI Ring	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Riken Acceleration Progress Report	6. 最初と最後の頁 52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 S. Naimi
2. 発表標題 Mass measurement with the Rare-RI Ring at RIBF/Riken elucidates r-process abundances of heavy elements at $A=122,123$
3. 学会等名 TCHoU Workshop (Online) (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Naimi
2. 発表標題 Development of a large-area position-sensitive detector for the Rare-RI Ring at Riken
3. 学会等名 TCHoU workshop, Online, March 29th, 2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Naimi
2. 発表標題 Status of R3 and new in-ring detectors
3. 学会等名 NucAR workshop, Online, Dec-7 and Dec-10, 2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 G. Hudson-Chang
2. 発表標題 Position Sensitive Detector Development for use in the Rare Radio-Isotope Ring
3. 学会等名 CNS summer school, Online, 17-21 August 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sarah Naimi
2. 発表標題 First Mass Measurements with the Rare-RI Ring at RIBF/RIKEN for Nuclear Astrophysics
3. 学会等名 27th International Nuclear Physics Conference 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hongfu Li
2. 発表標題 Mass measurement of neutron-rich ^{122}Rh , $^{123,124}\text{Pd}$ and ^{125}Ag nuclides with Rare-RI Ring at RIBF in RIKEN
3. 学会等名 27th International Nuclear Physics Conference 2019
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------