

## 自己評価報告書

平成23年 4月19日現在

機関番号：12601

研究種目：特別推進研究

研究期間：2008年度～2012年度

課題番号：20002003

研究課題名（和文）エキゾチック原子の分光による基礎物理量の精密測定

研究課題名（英文）Precision measurement of fundamental physical constants using exotic-atom spectroscopy

研究代表者

早野 龍五 (HAYANO RYUGO)

東京大学・大学院理学系研究科・教授

研究者番号：30126148

研究分野：原子核物理学実験

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理（4301）

キーワード：反陽子原子，K中間子原子，エキゾチック原子，CERN，J-PARC，レーザー分光，X線分光，基礎物理定数

## 1. 研究計画の概要

エキゾチック原子は、反陽子など、電子以外の負電荷の粒子が原子核のまわりを回っている、自然界には存在しない奇妙な原子であり、それらが放出・吸収する光の周波数を精密に測定することで、通常原子の分光では得られない基礎物理定数を精密に決めることができる。

本研究では、

(1) 反陽子ヘリウム原子と

(2) K中間子ヘリウム原子

の二種類のエキゾチック・ヘリウム原子を高精度で分光し、陽子・電子質量比などの基礎物理定数の精度を格段に高めることをめざす。前者の研究は CERN 研究所の反陽子減速器施設で、後者の研究は J-PARC 加速器のハドロン実験施設で推進する。

## 2. 研究の進捗状況

(1) CERN 研究所で行っている反陽子ヘリウム原子のレーザー分光については、a) レーザーを安定化するとともに線幅を減らす開発を行い、b) 標的ヘリウムガスの 1.8K 以下に冷却することでドップラー幅を減らし、c) 二光子分光法や飽和分光法などを用いてドップラー幅を打ち消した。これにより、レーザー遷移周波数決定精度を従来の一桁以上改善することに成功した。系統誤差も抑えられ、現在の周波数決定精度は統計精度で決まっている（反陽子強度ならびに測定時間の制約）。

我々の測定結果は、CODATA（科学技術委員会）による「基礎物理定数 CODATA internationally recommended values of the fundamental physical constants」の決定に

反映され、CODATA から 2008 年に発表された論文に「水素原子、重水素原子、反陽子ヘリウム原子の原子遷移周波数から、リュードベリ定数、陽子・重陽子の荷電半径、（原子質量単位での）電子質量が決定される」と明記された。これにより、研究開始時に掲げた「基礎物理定数決定への貢献」という目標は、達成されたと言える。

(2) J-PARC ではハドロン実験室の K1.8BR ビームラインにおいて「K 中間子ヘリウム-3 原子の X 線分光」を実施すべく、a) K1.8BR ビームラインの建設と、K 中間子ビームのチューニング、b) 液体ヘリウム-3 標的の建設、c) 液体ヘリウム-3 標的装置へのシリコンドリフト X 線検出器の組み込みと分解能の最適化、などを行い、J-PARC 加速器から十分な強度の陽子ビームが取り出されればすぐにも実験可能なところまで準備を完了させた。

## 3. 現在までの達成度

④遅れている。

(1) の CERN における反陽子ヘリウム原子精密分光は成果を上げ、当初掲げた「基礎物理定数への貢献」という目標もクリアしており、順調に進展している。しかし、

(2) の J-PARC における K 中間子ヘリウム-3 原子の X 線分光は、測定装置の準備は完了したものの、2011 年 3 月までには J-PARC の主リングからの「遅い取り出し」ビーム強度が実験開始に必要なレベルに達せず、データ収集が開始できなかった。

そこに、東日本大震災が起き、加速器も実験装置も被災した。本報告書作成時点では加速器復旧の見通しが示されておらず、また、

実験装置の被害の把握、復旧に必要な経費の積算なども出来ていないが、2012年度中に当初目標としたK中間子ヘリウム-3原子のX線分光実験を完了できる見通しは立っていない。

#### 4. 今後の研究の推進方策

(1) CERN 研究所で行っている反陽子ヘリウム原子のレーザー分光については、2011年度と2012年度に更にデータを収集し、(反)陽子・電子質量比など基礎物理定数の精度の更なる向上をはかる。

(2) J-PARC における K 中間子ヘリウム-3 原子の X 線分光については、東日本大震災被災のため、2012年度中の実験完了は極めて困難と考えられる。

しかし、本研究では J-PARC 実験で用いるシリコンドリフト検出器の試験等を兼ねて、イタリアのフラスカティ研究所の DAΦNE 加速器にて、K 中間子水素原子と K 中間子ヘリウム原子の X 線測定を行う SIDDHARTA と呼ばれる国際共同研究にも参加しており、(当初目標ほどの精度はでないものの) 成果が出つつある。2011-2012年度は、J-PARC における被災からの復旧に努めつつ、SIDDHARTA の成果をまとめることで、当初目標の一部は達成できるように努力したい。

#### 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 32 件)

1. M. Bazzi et al. (37人中14人目-アルファベット順), "First measurement of kaonic helium-3 X-rays", *Phys. Lett. B* 697 (2011) 199 - 202. (doi:10.1016/j.physletb.2011.02.001)
2. R. S. Hayano, "Spectroscopy of antiprotonic helium atoms and its contribution to the fundamental physical constants", *Proceedings of the Japan Academy, Series B* 86, (2010) 1 - 10. (doi:10.2183/pjab.86.1)
3. R. S. Hayano and T. Hatsuda, "Hadron properties in the nuclear medium", *Rev. Mod. Phys.*, 82 (2010), 2949 - 2990. (doi:10.1103/RevModPhys.82.2949)
4. T. Pask, et al. (12名中4番目), "Antiproton magnetic moment determined from the HFS of  $p\text{He}^+$ ", *Physics Letters B* 678, (2009) 55 - 59. (doi:10.1016/j.physletb.2009.05.038)
5. R. S. Hayano, "Solving the kaonic-helium puzzle", *Mod. Phys. Lett. A* 23 (2008) 2505 - 2511. (doi:10.1142/S021773230802968X)

##### [学会発表] (計 40 件)

1. R. S. Hayano, "Kaonic atoms and nuclei (招待)", 12th International Conference on Meson-Nucleon Physics and the Structure of the Nucleon, 2010/06/01, Williamsburg (アメリカ合衆国)
2. R. S. Hayano, "Kaonic-Helium X-Rays (招待講演)", 24th International Nuclear Physics Conference (INPC2010), 2010/7/5, Vancouver (カナダ)
3. R. S. Hayano, "Hadrons in Nuclear Medium, experimental studies (招待講演)", *New Frontiers in QCD*, 2010/02/25, YITP, Kyoto, Japan
4. R. S. Hayano, "Kaonic helium atoms (招待講演)", International Conference on Particles And Nuclei (PANIC08) 2008/11/13, Eilat (イスラエル)
5. R. S. Hayano, "Antiprotonic and kaonic Helium Atoms (招待講演)", *Precision Physics of Simple Atomic Systems (PSAS2008)* 2008/07/25 Windsor (カナダ)

##### [図書] (計 0 件)

##### [産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

##### [その他]

1. 原子番号マイナス1「反陽子の質量を高精度に計測する」東大理学部 HP および、ムック本リガクル掲載。  
<http://www.s.u-tokyo.ac.jp/story/rigakuru/world/04/01.html>
2. 物理学専攻早野龍五研究室原子核実験エキゾチック原子 (東大理学部 HP ビデオ)  
<http://www.s.u-tokyo.ac.jp/movie.html?name=hayano20110304>
3. 2008/7/5, 2009/7/4, 2010/7/3 に、東京大学小柴ホールにて「荒川区自然科学フォーラム」主催の中学生向け講演会を実施。