

令和 6 年 5 月 28 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H01926

研究課題名(和文) 極端に中性子が多い原子と原子核の構造解明～量子相転移現象の探索

研究課題名(英文) Structure of nuclei and atoms with high isospin - Study of quantum phase transition -

研究代表者

小田原 厚子 (Odahara, Atsuko)

大阪大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：30264013

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：中性子数・陽子数の増加により原子核の形が変化する量子相転移現象を解明するため、中性子の魔法数20消失現象で有名なMg-32核周辺の「逆転の島」の原子核の構造研究を行っている。不安定核をスピン偏極して核構造の精密な情報を引き出す我々独自の手法と、独自のレーザー技術により原子構造を解明する手法、を組み合わせた分野融合型で、カナダのTRIUMFで実施する国際共同研究である。アルカリ土類金属Mgやビーム量の少ないアルカリ金属Naのスピン偏極ビーム開発を行い、また、スピン偏極Mg-31核とMg-33核の崩壊によるAl-31核とAl-33核の構造解明実験を実施し、Al-31核の結果を投稿論文にまとめた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

原子核の変形の進化について、従来の中性子数に対してのみならず、今回は陽子数に対して実験的に解明しようとした。実験で得られた結果と大規模殻模型計算と比較したところ、中性子だけではなく陽子の魔法数の性質の変化も考慮する必要性を提案できた。これは宇宙での重元素を合成シミュレーションに影響する重要な情報である。

今回、アルカリ土類金属のMgのスピン偏極ビーム開発に成功した。TRIUMF側の環境磁場の影響を防ぐガイドコイルの設置に加え、スピン偏極保持のために我々のグループと日本の企業が共同で設計・製作した高磁場発生磁石が成功の要因の一つであり、TRIUMFの他分野の研究者から高い評価を受けている。

研究成果の概要(英文)：To understand the quantum phase transition where the nuclear shape changes with an increasing number of neutrons and protons, our study focused on the nuclear structure of nuclei in the "Island of Inversion" around Mg-32, which is known for the disappearance of the neutron magic number 20. This is an international collaboration between Osaka University group and TRIUMF, combining our unique method of extracting precise information on nuclear structure by spin-polarized nuclei with proprietary laser technology at TRIUMF to elucidate atomic structures. A spin-polarized beam of the alkaline earth metal Mg was developed, and a test experiment using the alkali metal Na with low beam intensity has been performed. We carried out experiments to reveal the nuclear structure of Al-31 and Al-33 isotopes through the β -decays of spin-polarized Mg-31 and Mg-33 nuclei. The result for the nuclear structure of Al-31 has been completed and summarized into a submitted paper.

研究分野：実験原子核物理学

キーワード：原子核構造 中性子過剰核 スピン偏極ビーム ベータ崩壊 原子核の量子相転移

1. 研究開始当初の背景

陽子と中性子から構成されるフェルミオン量子多体系である原子核はどのような構造をしているのだろうか。原子核の内部で核子がどのように運動し、原子核全体がどのような形状をし、全体としてどのように運動しているのか、という基本的描像は、安定な原子核およびその近傍の不安定な原子核を調べることによって確立してきた。その後の加速器技術と測定器技術の飛躍的な発展により、安定核から遠く離れた領域にある不安定な原子核の研究が可能となり、これまでの原子核模型では理解出来ない不思議な構造が見つかりつつある(例えば、極端に中性子が多い原子核における中性子ハロー、中性子スキン、魔法数の消失など)。これらは、中性子の増加に伴って核子間相互作用が変化し、平均場が影響を受け、様々な集団運動が発現することを示している。中性子の増加とともに原子核の基底状態の形が球形から変形へと変化する現象について、最近、量子相転移現象として盛んに議論されはじめた。原子核の場合、超電導から常伝導状態への相転移のような急激な相転移ではなく、中性子数の変化に対して比較的ゆるやかに生じる。球形から変形への中間(遷移)領域にあたる、相転移の転移点に位置する原子核では一体、何が起きているのだろうか? どのような原子核構造が出現するのだろうか?

核構造情報の測定限界の外側の中性子過剰核は、宇宙での元素合成過程(継続する中性子捕獲とベータ崩壊を繰り返しながら重い原子核が生成されたとする r 過程)の通り道であると考えられている。それらの核構造の多くは当然実験的に未知であり、従来の原子核模型の計算に基づいた情報を用いた元素合成過程シミュレーションを余儀なくされている。金などの元素の生成場所と言われている、中性子星同士の衝突が最近の重力波観測で明らかとなった今こそ、新たな実験手法を開発して、測定限界を拡張し、核構造の系統的研究を推し進めることが強く求められている。

2. 研究の目的

本研究は、中性子数が非常に多い原子核の形の量子相転移現象の転移点に位置する原子核の基底状態のみならず、励起状態(中性子非束縛状態も含む)の構造を実験的に精密に体系的に明らかにし、理論研究者と協力しながら、中性子変化に対する核子間相互作用の平均場への影響の解明を目的とする。この目的を達成するためには、以下に示す、我々の研究グループ独自の技術の融合により可能となる。

[I] 不安定核のスピンを偏極させ、そのベータ崩壊の空間的非対称度(パリティ非保存の結果)を、ベータ崩壊に続いて放出される中性子やガンマ線と同時に計測することによって、核構造の詳細な情報が得られるという我々日本グループ独自の手法(スピン偏極核 $\beta \cdot n \cdot \gamma$ 核分光法)

[II] 生成量が非常に少ない不安定核のスピンを偏極させるために必要な原子構造を探索する TRIUMF (カナダ) の新しいレーザー分光法

我々は中性子数・陽子数の増加により原子核の形が変化する量子相転移現象を解明するため、中性子の魔法数 20 消失現象で有名な Mg-32 核周辺の「逆転の島」の原子核(図 1)の構造研究を行っている。本研究開始までに、 ^{28}Mg 核、 ^{29}Mg 核、 ^{30}Mg 核、 ^{31}Mg 核の構造解明研究を行った。今回は中性子数だけではなく陽子数の変化にも注目し、問題の中性子数 20 であるにも関わらず、球形と変形の狭間である可能性が高い ^{33}Al 核や、比較のために球形だと思われる ^{31}Al 核の実験を実施し、原子核の形の量子相転移点に位置する原子核の構造解明を目指す。

17 18 19 20 21 22

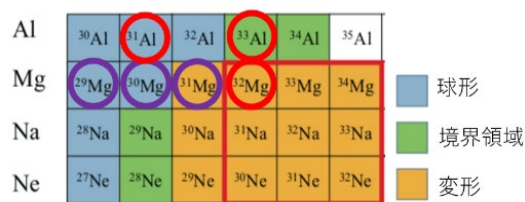


図 1 「逆転の島」周辺の核図表。

3. 研究の方法

目的を達成するために、以下の 2 段階で研究を進める。

(1) 収量が極めて少ない不安定核原子に対する高感度レーザー分光法実験: 原子構造(超微細構造)の解明による原子核の基底状態の構造解明

我々の構造解明研究には、高偏極度のスピン偏極不安定核ビームが不可欠である。TRIUMF では、超微細構造相互作用によって 2 つに分裂した原子の基底状態の準位差だけ波長の異なる 2 本のレーザーを高速で飛行する不安定核原子ビームに吸収させて生成するという独自の手法で高偏極度を達成している。高スピン偏極度ビームを生成するためには、超微細構造相互作用で分離した基底状態の準位差の情報があらかじめ必要であるが、 ^{32}Na 原子はまだ測定されていない。これは、ビーム強度が毎秒 1000 個以下と少ないため、どの実験施設でも測定することができない。そこで我々は TRIUMF の研究協力者とともにレーザー分光法開発を進め、まずは安定核 ^{23}Na 原子でのテスト実験から開始した。

(2) 不安定核の構造の完全解明: 中性子非束縛状態までも含む準位構造の構築とスピン・パリティの決定

① 高偏極度のスピン偏極した不安定核ビーム開発

アルカリ土類金属である ^{31}Mg 、 ^{33}Mg の高偏極度のスピン偏極ビームを開発する。

② ベータ線の空間的非等方性によるスピン・パリティの決定とベータ線・ガンマ線・中性子の同時測定による図2に示すようなベータ崩壊様式の構築

Mg 核のベータ崩壊より、 Al 娘核の構造研究を行う。親核がスピン偏極している場合、放出されるベータ線は図3のような非等方な角度分布 (θ は偏極方向とベータ線のなす角度、 P は親核の偏極度、 A は非対称度パラメータ)となる。 A は親核の基底状態のスピンと許容転移で遷移可能な3つのスピンの娘核の状態ごとに大きく異なる値を持つ。つまり、 A を実験的に得られれば、娘核の励起状態のスピン・パリティを高精度で求めることができる。

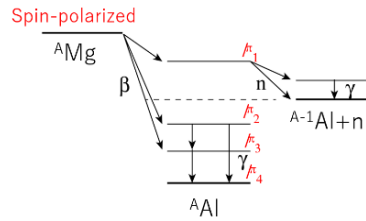


図2 AMg 核のベータ崩壊様式の模式図

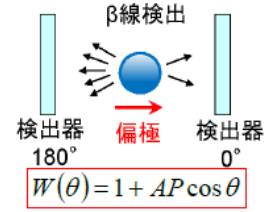


図3 ベータ線放出の非等方性

4. 研究成果

(1) 収量が極めて少ない不安定核原子に対する高感度レーザー分光法実験：原子構造（超微細構造）の解明による原子核の基底状態の構造解明

TRIUMF の5カ年計画の一部として、偏極ビームラインやレーザーシステムの改良が実施された。ちょうど新型コロナウイルスに伴う、TRIUMF の閉鎖や放射線施設管理の申請の遅れなどが重なり、計画が実施されるのにかなり時間がかかってしまった。2023年に一部の改良が完成し、ビーム供給が再開された。安定核 ^{23}Na ビームを用いた高感度レーザー分光のテスト実験は当初2022年度に実施予定であったが、前述の理由により実施が遅れた。2023年3月に日本のスタッフ1名と学生1名が TRIUMF の研究協力者とともに現地で準備を行い、2023年7月5日から10日にテスト実験を行った。

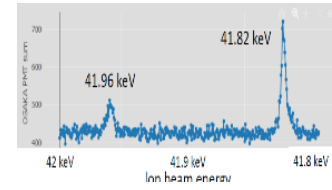


図4 レーザー共鳴スペクトル

ビームエネルギー42 keV の ^{23}Na ビームが偏極ビームラインに供給され、ビームの進行方向から590 nm のレーザーが照射された。ビームラインに設置された電極の電圧を変化させてビームの速度をかえ、ドップラー効果によりイオンが感じるレーザーの波長をかえることで共鳴ピークのスキャンを行った。図4に毎秒約46,000個のビーム強度の場合のスペクトルを示す。図5の ^{23}Na 原子のエネルギー準位に示されているエネルギーの2本の共鳴ピークを図4に見ることができる。下流にあるビームを検出するチャンネルトロンとの信号と同期をとることで、S/Nよいスペクトルを得ることができた。今回はビームタイムの制限により、残念ながら最終目標の毎秒100個程度のビーム量での測定を実施できなかった。しかし、測定のための検出器系の準備を整えることができた。今後、TRIUMF 側ではビームラインの真空を改善する計画が進められる予定であり、更なるS/Nよい測定が期待できる。

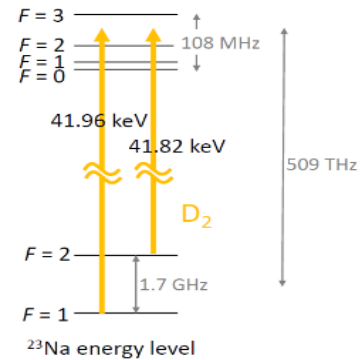


図5 ^{23}Na 原子のエネルギー準位。

(2) スピン偏極 ^{31}Mg 核のベータ崩壊と無偏極 ^{33}Mg 核のベータ崩壊による ^{31}Al 核と ^{33}Al 核の構造解明実験の実施

2019年9月に日本からスタッフ3名と学生1名が約2週間カナダ TRIUMF に滞在し、実験装置のセットアップなどの実験準備を行った。その後、本実験開始約2週間前から TRIUMF で最終の実験準備を行い、11月13日から18日まで実験を実施した。日本からスタッフ5名と学生5名、TRIUMF の研究協力者2名が実験に参加した。

加速器から ISOL 法で供給されたビームエネルギー 40 keV の $^{31}\text{Mg}^+$ ビームはオプティカルポンピング法でスピン偏極され、ヘリウムガスで電子を1個はぎとって $^{31}\text{Mg}^{2+}$ ビームとして、大阪ビームラインに輸送された。ビーム強度は毎秒6,000個であった。スピン偏極 ^{31}Mg 核はスピン保持のために約0.5 Tの高磁場が印加された0.5 mm厚の MgO 薄膜に捕獲された。

ベータ線とガンマ線は捕獲膜の周辺に設置した小型プラスチックシンチレーターと高純度ゲルマニウム検出器を組み合わせたテレスコープ検出器8台で測定した。検出効率はベータ線に対して32%、ガンマ線(1.3 MeV)に対して2.9%だった。中性子は中型(数十 keV から1 MeV の低エネルギー中性子用)6台と大型(数百 keV から数 MeV の高エネルギー中性子用)2台のプラスチックシンチレーターで測定し、中性子のエネルギーは飛行時間法で決定した。中性子(1 MeV)の検出効率は約0.2%だった。検出器のセットアップの概略図とセットアップの写真を図6に示す。35時間測定したデータが得られた。

この実験では残念ながら2.8%の低偏極度のスピン偏極 ^{31}Mg ビームしか得られなかった。目

的の結果を得るためには十分な統計量のデータを必要とするため、スピン偏極 ^{31}Mg 核のベータ崩壊実験に時間を割り振った。そこで、 ^{33}Mg 核のスピン偏極ビーム生成を行う時間がなくなり、無偏極の毎秒 11,000 個のビームで約 11 時間のベータ崩壊実験をテスト的に行った。

スピン偏極 ^{31}Mg 核のベータ崩壊による ^{31}Al 核の構造解明実験のデータ解析はほぼ終了した。新しい 36 本のガンマ線と 8 本のエネルギー準位を見つけた。また、7 本のエネルギー準位のスピン・パリティを決定することができ、ベータ崩壊様式を大きく更新した。研究協力者に ^{31}Al 核の大規模殻模型計算を行ってもらい、実験で得られた結果と理論計算を比較し、原子核構造を議論した。その結果、 ^{31}Al 核の基底状態では球形であるが、励起状態ではより複雑な集団運動（大規模な配位混合）が起きていることが分かった。また、中性子だけではなく、陽子数 20 の変化も考慮する必要があることを提案した。この一連の研究成果を投稿論文としてまとめた。結果は国際会議や日本物理学会でも発表し、また、学生 2 名が修士論文としてまとめた。

無偏極 ^{33}Mg 核のベータ崩壊による ^{33}Al 核の構造解明のためのテスト的な実験は、無偏極であったためにスピン・パリティを決定することはできなかったが、ベータ崩壊様式を大きく更新した。一連の結果を日本物理学会で発表し、学生 1 名が修士論文、2 名が卒業論文としてまとめた。

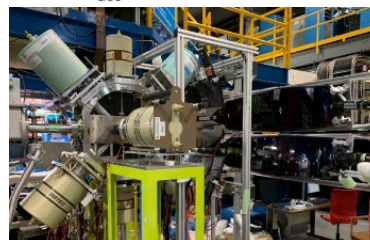
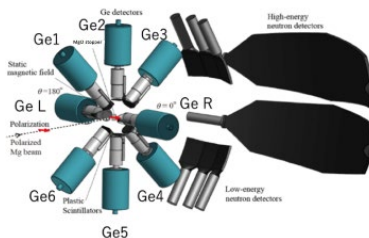


図 6 (上) 検出器の概略図。(下) 実験セットアップの写真。

(3) 高偏極度のスピン偏極 Mg ビームの開発

2019 年の実験では、低偏極度のスピン偏極 Mg ビームしか得られなかった。これは輸送中のスピン偏極保持のために Mg^{2+} ビームとしたときのヘリウムガスとの衝突によってスピン偏極緩和が生じたことが原因であると明らかになった。つまり、高偏極度を得るためにはこのプロセスを省けばよいが、 Mg^+ ビームで輸送すると環境磁場によってスピン偏極緩和が生じる。これを解決するため、TRIUMF 側で大阪ビームラインにガイド磁場 (10 Gauss) を発生させるコイルを新設することになった。この際、問題となるのは、捕獲膜中でのスピン偏極 Mg 核のスピン偏極保持のために設置している高磁場発生磁石の磁場と新設のコイル磁場との合成磁場であった。単につなぐだけでは磁場の向きが反転し、スピン偏極緩和が生じる。そこで、新たな高磁場発生磁石を設計・製作する必要が生じた。

これらの改良を 2020 年度からスタートしようとしたが、ちょうど新型コロナによる TRIUMF の閉鎖や活動時間の制限などの時期と重なった。そこで、Zoom で定期的に打ち合わせを行いながら、日本側と TRIUMF 側の双方で改良を進めた。TRIUMF の共同研究者がコイルをデザインし、設置を行った。図 7 (上) に大阪ビームラインの新設コイル設置図を示す。日本側では磁石を新たにデザインし、日本の業者と議論しながら開発を進めた。合成磁場が反転しない高磁場発生磁石の製作に成功した例は少なく、日本の企業の技術力の高さによって可能となり、TRIUMF の研究者から高い評価を受けている。図 7 (左下) に完成した磁石の写真を、図 7 (右下) に高磁場発生磁石で生じる磁場とコイル磁場の合成磁場の計算値を示す。捕獲位置で約 0.37 T の高磁場を発生でき、また、高磁場から 10 Gauss のガイドコイル磁場まで反転することなく、なめらかにつながる磁場分布を発生させる磁石を製作できた。

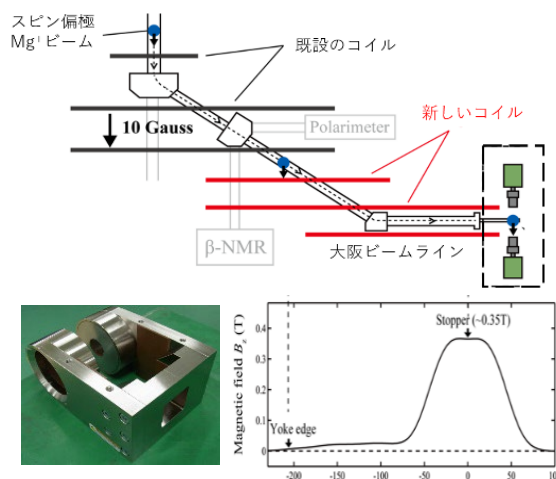


図 7 (上) 大阪ビームラインの新設コイル設置図。(左下) 新規の高磁場磁石。(右下) コイルと磁石の合成磁場計算。

2022 年に大阪ビームラインのコイルと高磁場発生磁石の設置が完了したが、前述のように TRIUMF 側の問題により、偏極ビームラインへのビーム供給が遅れたため、2023 年 11 月にスピン偏極 Mg ビーム開発実験を実施した。2019 年の実験では ^{31}Mg ビームのスピン偏極度は 2.8% であったが、今回の改良の結果、15% という前回より 5 倍以上の高偏極度のスピン偏極ビームを生成することができた。

(4) スピン偏極 ^{33}Mg 核のベータ崩壊による ^{33}Al 核の構造解明実験の実施

① 低エネルギー中性子検出器の開発

スピン偏極 ^{33}Mg 核ビーム開発と同時に、これまで問題となっていた低エネルギー中性子検出のための検出器開発も行った。従来使用してきた大型検出器の場合、一度に広い立体角をカバーできるという利点はあるが、シンチレーション光の位置依存性が大きく、特に低エネルギー中性子の検出効率の導出が問題となってきた。そこで、新型コロナウイルスによる大学入校規制や時間制限の期間中に図 8 (上) に示す六角形の小型検出器のデザイン・設計・製作を行い、研究室内でベータ線源を用いた性能テストを行った。その後、加速器運転が比較的通常に戻ったところで、量子医科学研究所の HIMAC 施設で新型検出器のテスト実験を行った。実際に中性子を用いた測定より、期待通りの性能を確認できた。

② TRIUMF でのスピン偏極 ^{33}Mg 核のベータ崩壊による ^{33}Al 核の構造解明実験の実施

TRIUMF では、実験のたびに装置や回路系・データ収集系を組み上げ、実験終了後は日本に持ち帰らなくてはならない。今回の実験のために、2023 年 9 月に日本からスタッフ 2 名と学生 2 名が TRIUMF にて検出器の設置や回路系・データ収集系の準備を行った。11 月のスピン開発実験の約 2 週間前から再び渡航し、最終準備を行った。11 月 29 日から 12 月 5 日に、スピン偏極 ^{33}Mg ビーム開発実験、それに引き続き、スピン偏極 ^{33}Mg 核のベータ崩壊による ^{33}Al 核の構造解明実験を実施した。日本からスタッフ 3 名、学生 5 名、TRIUMF の研究協力者 2 名で共同して実験を行った。ビームエネルギー 30 keV、ビーム強度は毎秒 7,600 個のスピン偏極 $^{33}\text{Mg}^+$ ビームは大阪ビームラインに輸送され、MgO 薄膜で捕獲された。

ベータ線とガンマ線は捕獲膜の周辺に設置した小型プラスチックシンチレーターと高純度ゲルマニウム検出器を組み合わせたテレスコープ検出器 7 台で測定した。中性子は新たに開発した 4 台の六角形の小型と、6 台の中型プラスチックシンチレーターで測定した (図 8 (上))。さらに、低エネルギー中性子測定を強化するために、リシウムガラスシンチレーター 1 台 (図 8 (下)) を今回使用した。中性子のエネルギーは飛行時間法で決定した。

現在、実験データを解析中であり、途中経過を国際会議でスタッフ 1 名が招待講演を行い、また、修士課程の学生 2 名がポスター発表を行った。また、リシウムガラスシンチレーターのデータ解析の途中経過を学部 4 年生が卒業論文にまとめた。今後、ベータ崩壊様式を構築し、理論計算と比較して原子核構造を議論し、投稿論文としてまとめる予定である。



図 8 中性子検出器。(上) プラスチックシンチレーターと(下)リシウムガラスシンチレーター。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

| | |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名 H. Nishibata, K. Tajiri, T. Shimoda, A. Odahara, S. Morimoto, S. Kanaya, A. Yagi, H. Kanaoka, M.R. Pearson, C.D.P. Levy, M. Kimura, N. Tsunoda, T. Otsuka | 4. 巻 102 |
| 2. 論文標題 Structure of the neutron-rich nucleus ^{30}Mg | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review C | 6. 最初と最後の頁 054327-1-14 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevC.102.054327 | 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 K. Hagino, H. Sagawa, S. Kanaya, A. Odahara | 4. 巻 2020 |
| 2. 論文標題 Resonance width for a particle-core coupling model with a square-well potential | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Prog. Theor. Exp. Phys. | 6. 最初と最後の頁 023D01 - 1 - 19 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/ptep/ptz163 | 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16件（うち招待講演 4件/うち国際学会 7件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 H. Nishibata |
| 2. 発表標題 Shape coexistence in ^{30}Mg and ^{31}Mg explored by α -spectroscopy with spin-polarized beams |
| 3. 学会等名 Shape Coexistence Workshop, May 1-5 (2023), Guelph, Canada (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 西畑 洸希 |
| 2. 発表標題 スピン偏極不安定核ビームによる中性子過剰核の特異な構造の解明 |
| 3. 学会等名 日本物理学会、2024年春季大会、2024年3月18-21日（招待講演） |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 H. Nishibata and the TRIUMF PDS collaboration |
| 2 . 発表標題 Spin-polarized β - spectroscopy exploring shape coexistence in neutron-rich nuclei |
| 3 . 学会等名 Frontier nuclear studies with gamma-ray spectrometer arrays (GAMMA24), Mar. 26-28 (2024), Osaka, Japan (招待講演) (国際学会) |
| 4 . 発表年 2024年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 R. Miyahara, Y. Yamamoto, N. Itakura, A. Odahara, H. Nishibata, T. Shimoda, J. Lassen, R. Li, Nurhafiza M. Nor, R. Yasuda, A. Hatakeyama, Y. Hirayama, S. Iimura, M. M. Rajabali |
| 2 . 発表標題 Study of the unbound states in ^{33}Al by β -delayed neutron decay of spin-polarized ^{33}Mg |
| 3 . 学会等名 Frontier nuclear studies with gamma-ray spectrometer arrays (GAMMA24), Mar. 26-28 (2024), Osaka, Japan (国際学会) |
| 4 . 発表年 2024年 |

| |
|---|
| 1 . 発表者名 Y. Yamamoto, H. Nishibata, A. Odahara, T. Shimoda, R. Miyahara, N. Itakura, R. Yasuda, Nurhafiza M. Nor, A. Hatakeyama, Y. Hirayama, S. Iimura, Y. Ichikawa, J. Lassen, R. Li, M. M. Rajabali |
| 2 . 発表標題 Level scheme of ^{33}Al by β -decay spectroscopy of ^{33}Mg |
| 3 . 学会等名 Frontier nuclear studies with gamma-ray spectrometer arrays (GAMMA24), Mar. 26-28 (2024), Osaka, Japan (国際学会) |
| 4 . 発表年 2024年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 H. Nishibata, A. Odahara, T. Shimoda, J. Lassen, C.D.P. Levy, R. Li, M.R. Pearson |
| 2 . 発表標題 Coexistence of various structures in a narrow excitation energy region in neutron-rich Mg nuclei |
| 3 . 学会等名 TRIUMF Advisory Committee on TRIUMF (ACOT), Vancouver, Canada. (招待講演) (国際学会) |
| 4 . 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 小田原厚子, 西畑洸希, 下田正, 前島大樹, 浜野友哉, 大上能弘, 大谷優里花, 金谷晋之介, 飯村俊, 関口直太, 浅川寛太, C.D.P. Levy, M.R. Pearson, J. Lassen, R. Li |
| 2. 発表標題 スピン偏極Mg-31ビームを用いたAl-31の構造研究 |
| 3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会、オンライン |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 大上能弘, 小田原厚子, 西畑洸希, 下田正, 大谷優里花, 飯村俊, Nurhafiza M. Nor, 前島大樹, 金谷晋之介, 浜野友哉, 関口直太, 浅川寛太, C.D.P. Levy, M.R. Pearson, J. Lassen, R. Li |
| 2. 発表標題 Mg-33の崩壊による中性子過剰核Al-33の束縛状態と中性子非束縛状態の研究 |
| 3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会、オンライン |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 A. Odahara |
| 2. 発表標題 hape coexistence and shell evolution in neutron-rich Mg and Al nuclei studied by β -decay spectroscopy with spin-polarized RI beams |
| 3. 学会等名 Symp. on ' Developments of Physics of Unstable Nuclei (YKIS2022b) ', Kyoto, (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 岸本侑己, 西畑洸希, 小田原厚子, 篠原悠介, 横田望海, 大上能弘 NurHafiza Mohamad Nor, 下田正, 市川雄一, 若狭智嗣, 北川淳志, 佐藤眞二 |
| 2. 発表標題 ベータ遅延中性子測定のための中性子検出器の開発と性能評価 |
| 3. 学会等名 日本物理学会 九州支部例会、熊本大学 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 吉岡篤志、小田原厚子、飯村俊、大上能弘、前島大樹、Nurhafiza M. Nor |
| 2. 発表標題 中性子過剰核の構造解明のための新たな 遅発中性子検出器開発 |
| 3. 学会等名 第76回年次大会、オンライン、2021年3月12日～15日 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 前島大樹、小田原厚子、西畑洸希、下田正、大上能弘、飯村俊、金谷晋之介、大谷優里花、浜野勇哉、関口直太、浅川寛太C, C.D.P Levy, M.R. Pearson, J. Lassen, R. Li |
| 2. 発表標題 スピン偏極 ^{31}Mg ビームを用いた ^{31}Al 核の構造研究 |
| 3. 学会等名 第76回年次大会、オンライン、2021年3月12日～15日 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 大上能弘、小田原厚子、西畑洸希、下田正、大谷優里花、前島大樹、金谷晋之介、飯村俊、吉岡篤志、浜野勇哉、関口直太、浅川寛太、C.D.P. Levy、M.R. Pearson、J. Lassen、R. Li |
| 2. 発表標題 ^{33}Mg の 遅発中性子崩壊による中性子過剰核 ^{33}Al の中性子非束縛状態の研究 |
| 3. 学会等名 第76回年次大会、オンライン、2021年3月12日～15日 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 濱野友哉、西畑洸希、小田原厚子、下田正、前島大樹、大上能弘、大谷優里花、飯村俊、金谷 晋之介、畠山温、浅川寛太、関口直太、平山賀一、若狭智嗣、C.D.P. Levy、M.R. Pearson、J. Lassen、R. Li |
| 2. 発表標題 スピン偏極 ^{24}Mg ビームを用いた中性子過剰 ^{24}Al の構造研究 |
| 3. 学会等名 日本物理学会 九州支部例会、佐賀大学、2019年11月 |
| 4. 発表年 2019年 |

| | |
|---------|--|
| 1. 発表者名 | Y. Hamano, H. Nishibata, T. Wakasa, A. Odahara, T. Shimoda, D. Maejima, Y. Okami, Y. Otani, S. Iimura, S. Kanaya, A. Hatakeyama, K. Asakawa, N. Sekiguchi, Y. Hirayama, C.D.P Levy, M.R. Pearson, J. Lassen, R. Li |
| 2. 発表標題 | Structure of neutron-rich Al investigated by spin-polarized Mg |
| 3. 学会等名 | the International symposium on Clustering as a Window on the Hierarchical Structure of Quantum Systems (CLUSHIQ2020), Beppu, Jan. 2020 (国際学会) |
| 4. 発表年 | 2020年 |

| | |
|---------|--|
| 1. 発表者名 | 西畑洸希, 浜野友哉, 小田原厚子, 下田正, 前島大樹, 大上能弘, 大谷優里花, 金谷晋之介, 飯村俊, 関口直太, 浅川寛太, 畠山温, 平山賀一, 若狭智嗣, C.D.P Levy, M.R. Pearson, J. Lassen, R. Li |
| 2. 発表標題 | スピン偏極Mgのベータ崩壊を用いた中性子過剰なAl同位体の構造研究 |
| 3. 学会等名 | 日本物理学会、第75回年次大会、名古屋大学、2020年 3月 |
| 4. 発表年 | 2020年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

| | |
|---|--|
| 大阪大学大学院 理学研究科物理学専攻 原子核実験研究室(川畑研究室) http://nucl.phys.sci.osaka-u.ac.jp/ | |
|---|--|

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 |
|-------|---|---|----|
| 研究分担者 | 下田 正 (Shimoda Tadashi) (70135656) | 大阪大学・その他部局等・名誉教授 (14401) | |

6. 研究組織（つづき）

| | 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 |
|-------|---|--|----|
| 研究協力者 | 西畑 洸希 (Nishibata Hiroki) (00782004) | 九州大学・理学研究院・助教 (17102) | |
| 研究協力者 | 畠山 淳 (Hatakeyama Atsushi) (70345073) | 東京農工大学・工学(系)研究科・教授 (12605) | |
| 研究協力者 | 平山 賀一 (Hirayama Yoshikazu) (30391733) | 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子 原子核研究所・准教授 (82118) | |
| 研究協力者 | 飯村 俊 (Iimura Shun) | 立教大学・理学部・助教 | |
| 研究協力者 | L a s s e n J e n s (Lassen Jens) | TRIUMF | |
| 研究協力者 | L i R u o h o n g (Li Ruohong) | TRIUMF | |
| 研究協力者 | P e a s o n M a t t (Peason Matt) | TRIUMF | |
| 研究協力者 | L e v y C . D . P h i l (Levy C.D. Phil) | TRIUMF | |

6. 研究組織（つづき）

| | 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 |
|-------|-----------------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 宮原 里菜 (Miyahara Rina) | 大阪大学・大学院理学研究科・大学院生 | |
| 研究協力者 | 板倉 菜美 (Itakura Nami) | 大阪大学・理学部・学部4年生 | |
| 研究協力者 | 大上 能弘 (Okami Yoshihiro) | 大阪大学・大学院理学研究科・大学院生 | |
| 研究協力者 | 前島 大樹 (Maejima Daiki) | 大阪大学・大学院理学研究科・大学院生 | |
| 研究協力者 | 大谷 優里花 (Ohtani Yurika) | 大阪大学・理学部・学部4年生 | |
| 研究協力者 | 金谷 晋之介 (Kanaya Shinnosuke) | 大阪大学・大学院理学研究科・大学院生 | |
| 研究協力者 | 山本 陽介 (Yamamoto Yosuke) | 九州大学・理学研究院・大学院生 | |
| 研究協力者 | 岸本 侃己 (Kishimoto Kanki) | 九州大学・理学研究院・大学院生 | |

6. 研究組織 (つづき)

| | 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 |
|-------|--|---|----|
| 研究協力者 | 濱野 友哉 (Hamano Tomoya) | 九州大学・理学研究院・大学院生 | |
| 研究協力者 | 安田 瑠奈 (Yasuda Runa) | 東京農工大学・工学(系)研究科・大学院生 | |
| 研究協力者 | 清水 則孝 (Shimizu Noritaka) | 筑波大学・数理物質科学研究科・准教授 | |
| 研究協力者 | 大塚 孝治 (Otsuka Takaharu) | 東京大学・大学院理学系研究科・名誉教授 | |
| 研究協力者 | 萩野 浩一 (Kouichi Hagino) | 京都大学・大学院理学研究科・教授 | |
| 研究協力者 | 佐川 弘幸 (Sagawa Hiroyuki) | 会津大学・名誉教授 | |
| 研究協力者 | Rajabali Mustafa (Rajabali Mustafa) | Tennessee Tech University・ Physics・Associate Professor | |
| 研究協力者 | Lee Pilsoo (Lee Pilsoo) | KAERI・Senior Researcher | |

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 | | | |
|---------|---------------------------|--|--|--|
| カナダ | TRIUMF | | | |
| 米国 | Tennessee Tech University | | | |
| 韓国 | KAERI | | | |