

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 5 月 26 日現在

機関番号：32686

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04001

研究課題名(和文)電子散乱実験高精度化による不安定核物理の展開

研究課題名(英文) High-precision electron scattering experiments for the advancement of the physics of unstable nuclei

研究代表者

栗田 和好 (KURITA, KAZUYOSHI)

立教大学・理学部・教授

研究者番号：90234559

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)：現在我々は不安定核理解の基盤となる大きさおよび形状をSCRIT電子散乱実験で測定している。その精度向上のためにトラップされた標的イオンと電子ビームの相互作用の時間発展を追うためのイオン分析器のアップグレードが本研究課題の主たる目標である。MCPに分割電極読み出しを組み合わせることで2mmの位置精度でイオン検出が可能なプロトタイプ検出器の組立てまでこぎつけた。一方、イオン価数の時間発展については、現行のイオン分析器の調節により+1価から+17価までのXeイオンの分離に成功しており、MCP分割電極読み出しを組み込むことにより、より高精度なデータが得られる予定である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで原子核研究は安定原子核を主たる研究対象としてきた。その研究の礎となる原子核の大きさ、形といった測定は主として電子散乱実験に依存している。しかし、研究対象が世界的に不安定原子核に移行した現在、電子散乱手法を世界に先駆けて実現した我々のSCRIT実験のみが測定を行える優位な立場にある。一方、イオンを電子ビームのクーロンポテンシャルでトラップする我々の手法では、ルミノシティの決定が最大の誤差要因となっている。本研究課題はその欠点を補強して不安定核物理の新たな展開を実現させるもので、全世界の原子核コミュニティーにとって大きなインパクトを与えるのは確実であろう。

研究成果の概要(英文)：We are currently measuring the basic information of unstable nuclei such as their sizes and shapes by SCRIT electron scattering experiment. To improve the precision of the measurements we planned to upgrade the ion analyzer which determine the distribution of multiply charged ions. MCP ion detector with 2mm wide strip readout was fabricated and under commissioning for that purpose. On the other hand, ion distribution measurement was performed with the current ion analyzer setup. It proved that +1 to +17 charged ions could be separated and the further precise measurement will be done with our MCP upgrade of the ion analyzer.

研究分野：実験核物理

キーワード：電子散乱 イオントラッピング EXB イオンフィルター MCP ストリップ読み出し 価数分布 ルミノシティ

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

原子核反応によって生成されて短寿命で崩壊してしまう不安定原子核は今や世界中の原子核実験家がそのエキゾチックさに強い興味を持って取り組むトッププライオリティーの課題になっている。また、超新星爆発や中性子星連星合体の時に起こると考えられている元素合成に不安定核が重要な役割を果たす点で学際的重要性も世界の注目を集めている。原子核ルネッサンスの到来といわれているゆえんである。その中で電子散乱データは原子核の最も基本となる大きさや形状を精度よく与えるため、世界中の研究者が待ち望んでいる状況にある。

2. 研究の目的

これまで重要な電子散乱実験が実現できていなかったのはひとえにその実験に必要な不安定原子核固体標的が製作不可能なためである。我々は発想の転換をはかり、不安定原子核イオンを蓄積電子ビームにトラップできる浮遊標的 (Self-Confining RI Ion Target, 以下 SCRIT) を作製し(PRL 100, 164801, 2008)、そこへ生成直後の不安定原子核を導き崩壊前に電子散乱を起こすことが可能であることを実証したのである(PRL 102, 102501, 2009)。我々が提供する原子核の基本量は原子核理解の飛躍的進展につながると期待される。

従って、できるだけ多くの不安定核の大きさ・形状を世界に先駆けて独占的に測定しきることが本研究の目的である。

3. 研究の方法

我々はこれからまさに不安定核の測定に移行するところであるが、現状の BG レベルおよびルミノシティ精度では、スペクトル形状を正確に測定するには、最低でも $10^{26}/\text{cm}^2/\text{s}$ のルミノシティが得られるよう、毎秒 10^7 個のイオンを入射する必要がある。より不安定で生成率の小さな不安定核には対応できない。そこで、トラップ中の残留ガスと標的イオンの存在比を高い精度で定量できる装置を開発することで、より不安定で小さな生成率の不安定核についても十分な測定精度を実現する。

精度向上が明白なのは ExB イオン分析装置のアップグレードである。トラップ領域から排出されてくるイオンの内訳を詳細に追う事を目標にする。上方から導かれてトラップ領域に一時とどまったイオンは、出射時は 17° deg. deflector によって下方へ導かれる。標的イオンのトラップ中にはまわりの残留ガスもイオン化されて取り込まれ、出射時はそれらが混合したイオン流になる。その出射イオン流に電場 E と磁場 B をかけることによりイオン種の分析を行う。電荷質量比による曲げ角度の違いから、最下流に位置感度のあるイオン検出器を敷き詰めておけば、その検出場所からイオン種の区別を行うことができる。そのイオン検出器には現在位置分解能 10mm 程度のチャンネルトロンを使用しているが、読み出し電極分割型の MCP で 2~3 mm の位置分解能にするとともに磁場の増強をしてイオンの分析能の飛躍的改善をはかる。このアップグレードによりトラップされたイオン数を 5%以内の誤差で測定できると推定している

4. 研究成果

現在我々は不安定核理解の基盤となる大きさおよび形状を SCRIT 電子散乱実験で測定している。その精度向上のためにトラップされた標的イオンと電子ビームの相互作用の時間発展を追うためのイオン分析器のアップグレードが本研究課題の主たる目標である。MCP に分割電極読み出しを組み合わせることで 2mm の位置精度でイオン検出が可能なプロトタイプ検出器の組立てまでこぎつけた。

なお、2mm ピッチの読み出しストリップで隣り合うストリップ間でのクロストークの解析は現在も進行中であるが、シングルストリップヒットとダブルストリップヒットがほぼ拮抗しており、解釈が決着していない。当初ストリップ間の浮遊容量による誘導電荷がクロストークの原因と考えていたが、その場合はダブルストリップヒットが必ず起こり波高の比も固定しているはずである。しかし、シングルとダブルが混在するという事はテストセットアップで使用している α 線源からの α 線が MCP 表面で複数の 2 次電子を放出し、ある確率で隣り合ったストリップを同時にヒットしている等、他の原因を突き止める必要がある。

一方、イオン価数の時間発展については、現行のイオン分析器の調節により +1 価から +17 価までの Xe イオンの分離に成功しており、MCP 分割電極読み出しを組み込むことにより、現行の 6mm の位置精度から 2 mm へと高精度なデータが得られることが明らかになった。

これまで原子核研究は安定原子核を主たる研究対象としてきた。その研究の礎となる原子核の大きさ、形といった測定は主として電子散乱実験に依存している。しかし、研究対象が世界的

に不安定原子核に移行した現在、電子散乱手法を世界に先駆けて実現した我々の SCRIT 実験のみが測定を行える優位な立場にある。一方、イオンを電子ビームのクーロンポテンシャルでトラップする我々の手法では、ルミノシティの決定が最大の誤差要因となっている。本研究課題はその欠点を補強して不安定核物理の新たな展開を実現させるもので、全世界の原子核コミュニティーにとって大きなインパクトを与えるのは確実であろう。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 0件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ohnishi Tetsuya, Adachi Kousuke, Enokizono Akitomo, Fujita Takahiro, Hara Masahiro, Hori Mitsuki, Hori Toshitada, Ichikawa Shin-ichi, Kurita Kazuyoshi, Suda Toshimi, Tamae Tadaaki, Tsukada Kyo, Togasaki Mamoru, Uchida Nobuaki, Wakasugi Masanori, Watanabe Masamitsu, Yamada Kouhei	4. 巻 35
2. 論文標題 The SCRIT Electron Scattering Facility at RIKEN RI Beam Factory	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 JPS Conf.Proc.	6. 最初と最後の頁 11027
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.35.011027	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 Wakasugi Masanori, Togasaki Mamoru, Ohnishi Tetsuya, Kurita Kazuyoshi, Toba Ryota, Watanabe Masamitsu, Yamada Kohei	4. 巻 35
2. 論文標題 Fringing-RF-Field-Activated DC-to-Pulse Converter at the SCRIT Electron Scattering Facility	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 JPS Conf.Proc.	6. 最初と最後の頁 11028
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.35.011028	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 Tsukada Kyo, Adachi Kousuke, Enokizono Akitomo, Fujita Toshihiro, Hara Masahiro, Hori Mitsuki, Hori Toshitada, Ichikawa Sinnichi, Kasama Keita, Kurita Kazuyoshi et al	4. 巻 35
2. 論文標題 First Result from the SCRIT Electron Scattering Facility with ¹³² Xe Target	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 JPS Conf.Proc.	6. 最初と最後の頁 11008
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.35.011008	査読の有無 無
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 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Kazu Kurita's Home Page
<http://150.93.21.252/~kurita/>

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
---------	---------