

令和元年6月7日現在

機関番号：17102

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2017～2018

課題番号：17H07360

研究課題名（和文）遅発中性子飛行時間測定法による二重魔法核 $^{78}\text{Ni}$ の研究研究課題名（英文）Gamow-Teller decay of  $^{78}\text{Ni}$  using neutron TOF method

研究代表者

郷 慎太郎（Go, Shintaro）

九州大学・理学研究院・助教

研究者番号：70802693

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000円

研究成果の概要（和文）：不安定核領域にありながらも二重魔法数をもつ $^{78}\text{Ni}$ 核を対象にベータ線核分光及び遅発中性子飛行時間測定を行い、ベータ線遷移強度分布の測定を行った。実験は理化学研究所RIビームファクトリーで行った。 $^{238}\text{U}$ の核破砕反応から生成された $^{78}\text{Ni}$ を飛行時間-エネルギー損失測定法で粒子ごとに識別し、無機シンチレータを用いたインプランテーション検出器に入射し、ベータ崩壊の測定を行った。遅発中性子の飛行時間をプラスチック検出器アレイVANDLEを用いて測定し、 $^{78}\text{Ni}$ におけるベータ線強度分布の導出が可能となった。得られたベータ線強度分布を殻模型計算と比較し、 $^{78}\text{Ni}$ における核構造を議論することが可能になった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年の不安定核生成技術の進歩によって、陽子と中性子がアンバランスな不安定核の生成が可能となってきた。不安定核領域において、原子核が安定となる魔法数が必ずしも成立するわけではないことが明らかになってきている。本研究では不安定核領域にありながらも二重魔法数を持つ $^{78}\text{Ni}$ においてベータ線核分光測定、遅発中性子飛行時間測定を行い、得られたベータ遷移強度分布を元に魔法性を議論することが可能になった。 $^{78}\text{Ni}$ の原子核構造を明らかにすることによって、陽子と中性子がアンバランスな系で成り立つ秩序を明らかにすることが可能である。

研究成果の概要（英文）：The beta-decay strength distribution of  $^{78}\text{Ni}$ , which has magic numbers 28 and 50 for neutrons and protons, was measured during this program. The experiment was conducted at the RI beam factory at RIKEN.  $^{78}\text{Ni}$  was produced by the fragmentation reaction of  $^{238}\text{U}$ . The measurement of the beta-decay strength distribution above the neutron separation energy was accomplished by adopting noble implantation detector and neutron time-of-flight detector array VANDLE. The comparison between the obtained experimental results and shell model calculations enable us to discuss about the nuclear shell structure of  $^{78}\text{Ni}$ .

研究分野：原子核実験

キーワード：原子核

1. 研究開始当初の背景

近年の不安定核生成技術の発展によって、陽子数と中性子数がアンバランスな不安定核の生成が可能となってきた。原子核は特定の陽子数・中性子数においては特異的な安定性を示す(魔法数を持つ)ことが知られているが、不安定核領域の原子核においてその秩序が成立するかは必ずしも自明ではない。ニッケルの同位体のうち、中性子魔法数 50 を持つ  $^{78}\text{Ni}$  は不安定核領域中にある二重魔法数を持つ核とされる。 $^{78}\text{Ni}$  のもつ原子核構造を明らかにすることは安定核で成立してきた殻模型が不安定核中でも成立するのか、あるいは異なった秩序が現れているのかを明らかにする上で象徴的な原子核である。その核構造はベータ崩壊強度とも密接に関連し、超新星爆発時に起こると考えられている重元素合成過程(r 過程)の理解を進展させる上で重要な役割を果たす。さらに昨今、不安定核原子核の研究はより中性子過剰核側へと進んでおり、ベータ崩壊に伴う遅発中性子放出確率が増加していく。このため、従来の核分光測定に加え中性子の飛行時間を測定することにより、中性子分離エネルギーより高いエネルギーへと遷移したベータ遷移強度を導出することができる(図 1)。また、理化学研究所 RI ビームファクトリーは世界最高強度で不安定核を供給することのできる施設であり、高い強度のビームと

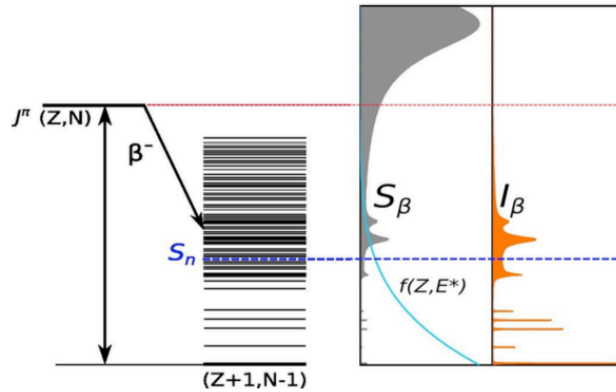


図 1. 原子核のベータ崩壊における概略図。

申請者がアメリカで開発に携わっていた遅発中性子飛行時間測定検出器を組み合わせることによって、二重魔法数核を持つとされる  $^{78}\text{Ni}$  のベータ崩壊強度分布を導出でき、その核構造について迫ることができると考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は不安定核領域にありながらも二重魔法数を持つとされる  $^{78}\text{Ni}$  を対象にベータ線核分光研究、及び遅発中性子飛行時間測定を行い、ベータ遷移強度分布を実験的に導出することである。得られたベータ遷移強度分布は様々な模型空間、および相互作用を仮定した殻模型計算と比較することにより、核中で成立している原子核の様子を明らかにすることができる。安定核中で成り立つ魔法数という秩序が、不安定核領域でも保持されるのか、あるいは新たな秩序が現れているのかを明らかにすることを目的としている。不安定核では安定核で成立していた魔法数が成り立たない事例が報告されており、 $^{78}\text{Ni}$  においてその謎に迫ることは重要である。

3. 研究の方法

本研究を遂行するため、不安定核を世界最高強度で供給できる理化学研究所 RI ビームファクトリーにおいて実験を行った。光速の 70%程度に加速した  $^{238}\text{U}$  ビームをベリリウム標的に照射し、核破砕反応によって  $^{78}\text{Ni}$  を生成する。核破砕反応では多くの原子核が生成するため、それらの原子核をビームライン中の飛行時間・および半導体検出器中のエネルギー損失の相関を用いてイベントごとに粒子識別を行った。識別された粒子は最終焦点面まで輸送され、インプラントレーション検出器中で停止させた(図 2)。用いたインプラントレーション検出器は無機シンチレータと位置感度をもつ光電子増倍管を組み合わせたもので早い時間応答性を持ち、ベータ崩壊の時間情報(遅発中性子飛行時間測定におけるスタート時間)を提供する。ベータ崩壊に伴って放出された遅発中性子はインプラントレーション検出器を覆うように設置したプラスチック検出器アレイ VANDLE を用いて時間情報(飛行時間測定におけるストップ信号)を提供する。その飛行時間から中性子の持つエネルギーを導出することができ、ベータ崩壊に伴うガンマ線放出の情報と組み合わせることによって、 $^{78}\text{Ni}$  のベータ遷移強度分布を導出することができる。ベ

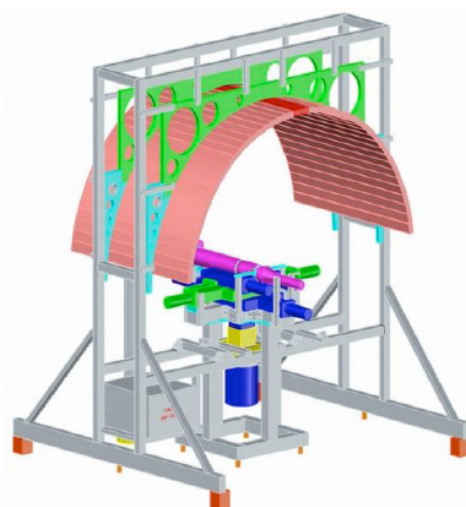


図 2. 実験セットアップの概念図。

一タ遷移強度分布はその原子核の核構造を敏感に反映するものであり、様々な相互作用と模型空間を適用した殻模型計算と比較することによって、 $^{78}\text{Ni}$  核中で実現していると推定される核構造を推定することができる。この比較により、 $^{78}\text{Ni}$  に二重魔法数の性質が存在するかを議論することが可能となる。

#### 4. 研究成果

理化学研究所 RI ビームファクトリーにおいて  $^{78}\text{Ni}$  のベータ崩壊・および遅発中性子の飛行時間測定を 2018 年 11 月に行った。特に本予算を用いて実験遂行に必須となる遅発中性子検出器アレイの支持架台を購入し、理化学研究所 RI ビームファクトリーに設営した(図 3)。得られた実験データは現在解析を進めている。 $^{78}\text{Ni}$  を入射したインプラメンテーション検出器とそのベータ崩壊のタイミング、および中性子検出器アレイで検出された遅発中性子との時間差を取ることで中性子のもつエネルギーを導出し、得られた脱励起ガンマ線の同時計数との情報から、 $^{78}\text{Ni}$  のベータ遷移し  $^{78}\text{Cu}$  に変化したときのベータ線遷移強度分布を導出することが可能となった。現在実験データの解析を進めており、得られた強度分布を様々な模型空間と相互作用を用いた殻模型計算と比較し  $^{78}\text{Ni}$  における二重魔法性を明らかにする。得られた成果は国際論文誌に公表予定である。

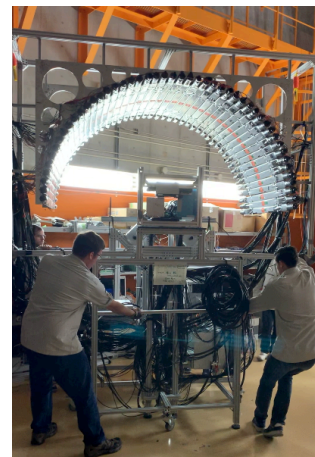


図 3. RIBF におけるセットアップ。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 0 件)

〔学会発表〕 (計 0 件)

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年：

国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

#### 6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名： 該当なし

ローマ字氏名：

※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、研究者個人に帰属されます。