

令和 4 年 6 月 29 日現在

機関番号：32678

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K14299

研究課題名（和文）超許容純フェルミ型ベータ崩壊分岐比の精密測定システム開発

研究課題名（英文）Development of Measurement system for Branching Ratios of Superaligned Pure Fermi-Type Beta Decays

研究代表者

西村 太樹 (Daiki, Nishimura)

東京都市大学・理工学部・准教授

研究者番号：30612147

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：超許容純フェルミ型ベータ崩壊のベータ崩壊強度に対応する ft 値を精密に決定することで、カビボ・小林・益川(CKM)行列のユニタリー性や弱い相互作用への右巻き混入の検証が盛んに行われている。ところが、これまでに ^{18}Ne と ^{30}S の ft 値が、他の核種の平均 ft 値から精度が悪いながらも原子核構造の異常では説明できない方向にずれる結果となっている。この食い違いを解明するために、本研究では、汎用的にベータ崩壊分岐比を0.3%の高精度で測定できるシステムを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究が完成すれば、これまでに測定が困難とされていた基底状態への崩壊を含むベータ崩壊核種の「分岐比」を絶対測定できるようになり、不安定原子核における魔法数の消失や新魔法数の発現といった原子核構造の解明、またその起原が明らかになっていない速い中性子捕獲過程（ r -process）などの宇宙元素合成にとって重要な原子核のベータ崩壊の研究に対しての道が開けると期待される。

研究成果の概要（英文）：The unitarity of the Cabibbo-Kobayashi-Maskawa (CKM) matrix and the inclusion of right-handedness into the weak interaction have been actively verified by precisely determining the ft value corresponding to the beta decay strength of the super-allowed pure Fermi type beta decay. However, the ft values of ^{18}Ne and ^{30}S have so far deviated from the average ft values of other nuclides, albeit with poor precision, in a direction that cannot be explained by anomalies in the nuclear structure. In order to elucidate this discrepancy, we have developed a general system to measure β -decay branching ratios with a high precision of 0.3%.

研究分野：原子核実験

キーワード：ベータ崩壊

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

本研究の目的はカビボ・小林・益川(CKM)行列のユニタリー性や弱い相互作用への右巻きの混入の有無を検証するために、原子核の超許容純フェルミ型ベータ崩壊の崩壊強度を決定することである。図1にこれまでにある程度の精度で値が求まっている超許容純フェルミ型ベータ崩壊の崩壊強度を意味する Ft 値を娘核の原子番号を関数として示す。多くの原子核の崩壊では崩壊強度が精度良く求まっているが、現状において、 ^{18}Ne と ^{30}S については測定精度が悪くかつ、その値が他の原子核の崩壊強度よりも大きくずれていた。この原因は ^{18}Ne と ^{30}S のベータ崩壊分岐比の精度が悪いことに起因している。特定のガンマ線を放出する状態へのベータ崩壊の「分岐比」を精度良く決定するためには、ベータ線やガンマ線を計数するのみならず、それらの絶対検出効率を精度良く決定する必要がある。他の研究機関では低エネルギー不安定核ビームを薄いマイラーテープに埋め込み、その周りに配置したベータ線及びガンマ線検出器で計測している。この方法では、測定後にテープを輸送することで長寿命の娘核由来のベータ線を排除できる利点はある。一方で、ベータ線の検出効率に立体角とテープ中でのエネルギー損失による大きな不定性が生じるという欠点が存在する。さらに、Ne 等のガス元素に対しては薄いテープからの拡散のため測定そのものが出来ないという致命的な欠点を持っている。

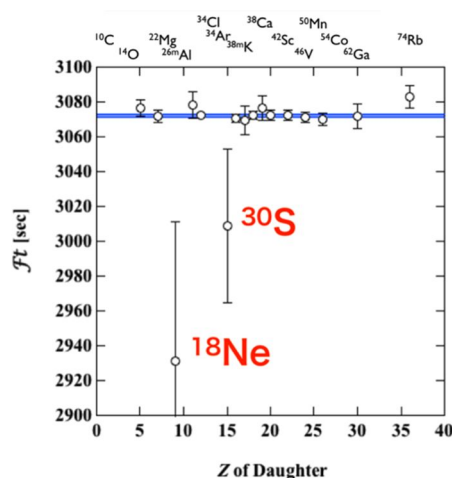


図1: 申請時の超許容純フェルミ型ベータ崩壊の強度を表す Ft 値。

2. 研究の目的

不安定原子核自身を埋め込むストッパーをベータ線検出器が兼ねるといったアクティブストッパーを開発し、そのアクティブストッパーの有効性を検証する。また、1つのアクティブストッパーでは長寿命の娘核のベータ崩壊が背景事象となってしまう測定精度を下げてしまうため、スライド式に複数個のアクティブストッパーを用意し、原子核を埋め込むストッパーを次々に入れ替えながら測定するシステムを開発する。

3. 研究の方法

研究方法は、以下のとおりであった。実験では千葉県にある放射線医学総合研究所のシンクロトン加速器によって核子当たり 400MeV に加速された一次ビームから入射核破砕反応により、高エネルギーの ^{18}Ne や ^{30}S の不安定核ビームを生成する。このビームをベータ線検出器を兼ね備えた厚さ 6mm の高密度ガドリニウム酸化ケイ素 (GSO) シンチレータのアクティブストッパーの深い位置に埋め込み、ベータ線を検出する。また、周りに配置されたゲルマニウム検出器でガンマ線を検出する。図2のように、長寿命ベータ崩壊娘核種の影響を減らすために、複数のアクティブストッパーをスライド式で移動させる仕組みを持つシステムを開発する。

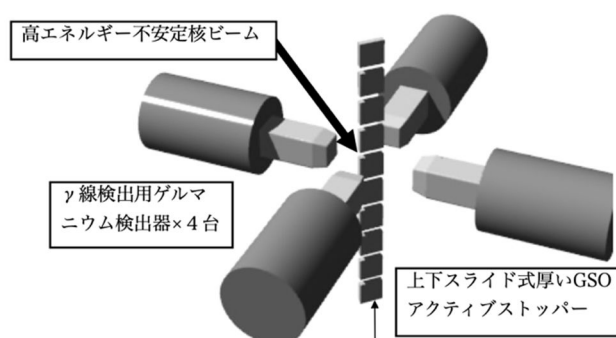


図2: 測定システム概念図。ストッパー自身がβ線検出器なので、β線検出効率を100%にできる。また、測定後にスライドさせて測定しない位置で長寿命β崩壊娘核を崩壊させることにより、精度良く全β崩壊数を測定できる。

4. 研究成果

アクティブストッパーとして用いたGSOシンチレータのベータ線に対する応答を加速器実験により得られた。図3にGSOシンチレータのベータ線エネルギースペクトルを示す。エネルギー閾値を左右のシンチレータでの同時計測をすることで 100keV まで下げることができた。これにより絶対ベータ線検出効率を 100%に近い 99.8%、核種によるそのずれを 0.1%以下にすることができた。また、ベータ線絶対検出効率の不定性を十分に減らしてベータ崩壊分岐比を測定で

きるようになった。
この GSO シンチレータを用いて ^{18}Ne と ^{30}S のベータ崩壊分岐を測定する予定であったが、高検出効率のガンマ線検出用ゲルマニウム検出器を借用する手配が困難になってしまったことと、コロナ禍で開発が遅れてしまったことにより ^{18}Ne と ^{30}S のベータ崩壊分岐比測定の本測定実験達成までには至らなかった。しかし、これまでの開発の予備実験で得られた結果から汎用的なベータ崩壊分岐比測定システムを開発することには成功しており、今後の継続により様々な核種のベータ崩壊分岐比を測定できると期待される。

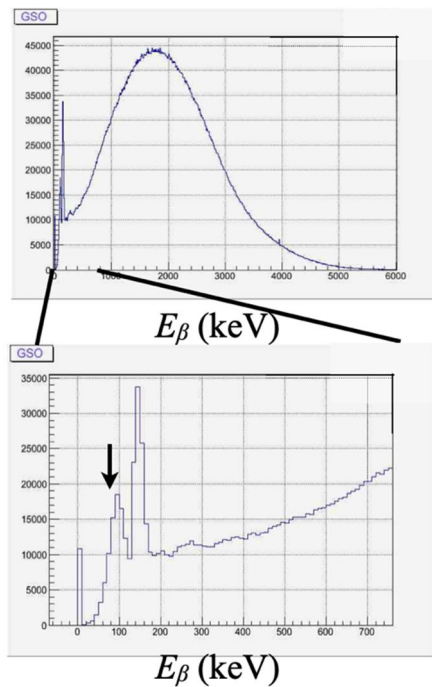


図 3: GSO シンチレータアクティブストップ
パーでのベータ線エネルギースペクトル。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Daiki Nishimura
2. 発表標題 Branching-Ratio Measurements for Superallowed Emitters at NIRS-HIMAC
3. 学会等名 5th Joint Meeting of the APS Division of Nuclear Physics and the Physical Society of Japan (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西村太樹
2. 発表標題 精密ベータ崩壊測定で探る新物理
3. 学会等名 第10回停止・低速RIビームを用いた核分光研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西村太樹
2. 発表標題 GSO(Ce)シンチレータを用いた重イオンビームのためのアクティブストッパーの開発
3. 学会等名 Scintillator for Medical, Astroparticle and environmental Radiation Technologies(SMART2019)
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
---------	---------