

P4. ^{96}Zr のニュートリノを放出する二重ベータ崩壊実験に向けた 検出器の性能評価

科研費
KAKENHI

23K22514
24H02243
25H02166

加藤聡 (e-mail: s2240114@ems.u-toyama.ac.jp),
中野佑樹 (e-mail: ynakano@sci.u-toyama.ac.jp),
福田善之^A, 森山茂栄^B, 平出克樹^B, 小川泉^C, 郡司天博^D, 黒澤俊介^E
富山大理, 宮城教育大^A, 東京大学宇宙線研^B, 福井大^C, 東京理科大学^D, 東京大学工^E
2026年3月6日(金) 第2回 学術変革「地下稀事象」若手研究会



1. 本研究の背景

ニュートリノの性質を解明する
“ $0\nu\beta\beta$ の観測”

- マヨラナ性 $\nu = \bar{\nu}$ の検証を目指す
- 質量階層性 m_1, m_2, m_3 を判別できる
- 最軽質量 m_{lightest} が確定する

ZICOS実験

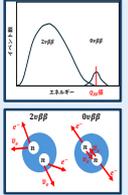
~ ^{96}Zr の $0\nu\beta\beta$ 探索を目指す~

- $Q_{\beta\beta}$ 値 (3.35 MeV) が3番目に高い
→ $0\nu\beta\beta$ が環境BGに埋もれにくい
- 観測データがNEMO-3の1件のみ
→ 世界最高感度である
 $T_{1/2}^{0\nu} > 10^{27}$ 年での探索を目指す!

2ν -ZICOS実験

~ ^{96}Zr の $2\nu\beta\beta$ と $0\nu\beta\beta$ の分離~

- エネルギー分解能による
スペクトルの分離
- チェレンコフ光を用いた
電子の放出方向による分離

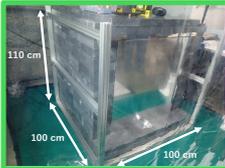


2. 本研究内容

目的 ^{96}Zr の $2\nu\beta\beta$ の測定に向けた検出器の性能評価を実施し、 $Q_{\beta\beta}$ 値に対応するADC値とエネルギー分解能を確認する。

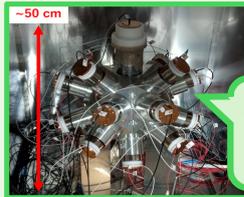
①実験準備

- 測定に用いる
20本のPMTの性能評価を実施。
- 環境BGの遮蔽のため、
厚さ15 cmの鉛遮蔽体を構築。



②検出器の構築

- 性能評価済みの20本のPMTと
 Zr-LS を充填したフラスコを用いて
検出器を構築。



Zr-LS : 723.5 ml
 ^{96}Zr : 0.27 g
($\sim 1.7 \times 10^{21}$ 個)

③検出器の性能評価

- セットアップを構築。
- 2025年11月、神岡施設Lab-Aにて
検出器の性能評価を実施。



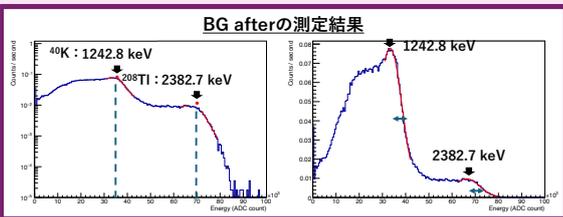
3. 検出器のキャリブレーション測定

ガンマ線源として、
 ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{22}Na , ^{40}K , ^{208}Tl の
計5点を測定した。

測定はbeforeとafterの
2回実施した。

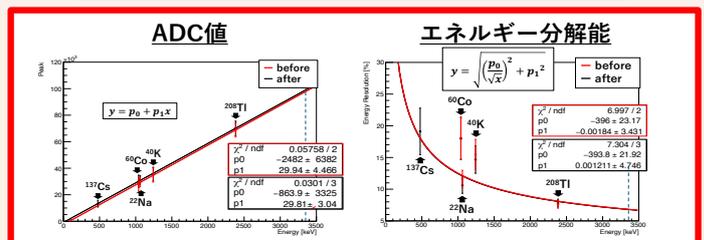
この間、
検出器は54時間稼働していた。

ガンマ線源	コンプトンエッジ E_{edge} [keV]
^{137}Cs (密封線源)	477.3
^{60}Co (密封線源)	1040.4
^{22}Na (密封線源)	1061.0
^{40}K (BG)	1242.8
^{208}Tl (BG)	2382.7



スペクトルのピーク位置はコンプトンエッジに相当している。
各エネルギーに対応するピークの位置と幅を決定した。

4. 検出器のキャリブレーション結果



- ^{96}Zr の $Q_{\beta\beta}$ 値 3.35 MeVは97,757.1~98,940.0(ADC値)、
エネルギー分解能は~6.84%と推定した。
- 稼働時間の変化より、
 ^{96}Zr の $Q_{\beta\beta}$ 値 3.35 MeVのADC値は~1200上昇し、
 $0\nu\beta\beta$ のピーク幅の相対誤差は約0.55%と推定した。
- 正確なエネルギー分解能の評価のため、
より広いエネルギー領域で測定点を増やす必要がある。

5. まとめ

- ニュートリノの性質を解明する手段が“ $0\nu\beta\beta$ の観測”。ZICOS実験は ^{96}Zr の $0\nu\beta\beta$ の観測を目指す計画。
- 現在、 ^{96}Zr の $2\nu\beta\beta$ の測定を目標としている。本研究では、検出器の構築と性能評価を実施した。
- キャリブレーション結果より、
 ^{96}Zr の $Q_{\beta\beta}$ 値 3.35 MeVは97,757.1~98,940.0(ADC値)、エネルギー分解能は約6.84%に相当すると推定した。
稼働時間の変化により、数千(ADC値)程のゲインの上昇が見られたが、エネルギー分解能の変化はほぼ無視できる。
- 2026年度から、より大きい検出器と極低バックグラウンド環境を用いて、
高い信号出力と高いエネルギー分解能による長期間にわたるデータ取得を目指す。