

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：32686

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25287061

研究課題名(和文)次世代時間反転対称性の破れ探索実験(TRIUMF-MTV実験)

研究課題名(英文)The Next Generation T-Violation Experiment (TRIUMF-MTV experiment)

研究代表者

村田 次郎(MURATA, Jiro)

立教大学・理学部・教授

研究者番号：50360649

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,600,000円

研究成果の概要(和文)：原子核のベータ崩壊における、時間反転対称性の破れを示す電子の横偏極度の有無を検証する、TRIUMF-MTV実験を遂行する実験研究を行った。特に、円筒型ドリフトチェンバーを用いた次世代検出器を建設し、性能評価を含めた試験を行うことで、物理計測における系統効果の理解と調査を行った。結果として系統効果の原因が特定され、その抑制と評価を含めた物理実験の実行へ進めることが出来た。

研究成果の概要(英文)：We execute an experimental attempt, TRIUMF-MTV experiment, to search T-Violating electron's transverse polarization in nuclear beta decay. Especially, we build the next generation experimental setup using cylindrical drift chamber. Then, systematic effects, which is expected in the physics data taking, are investigated. As a result, the origin of the systematics effect is identified. This result lead us to execute the real physics data taking by suppressing and estimating the systematic effects.

研究分野：原子核・素粒子物理学

キーワード：対称性 ベータ崩壊 時間反転

1. 研究開始当初の背景

原子核のベータ崩壊は、パリティ対称性の破れなど、素粒子物理学の重要な発見の舞台となってきた。その中で、時間反転対称性はその破れがパリティの破れと同様に提案されて以来、半世紀を経てもゼロでない効果が未発見となっている。

ベータ崩壊における時間反転対称性は、K 中間子、B 中間子の系での CP 対称性の破れの発見と共に、その位置づけは CPT 定理の下で CP の破れと等価と見なされ、宇宙における物質・反物質の大きな非対称性の原因として、未知の大きな CP 対称性の破れの探索という意味も持つようになった。

一方で、実験的には D 相関と R 相関という二種類の時間反転対称性を破る効果が提案されたものの、いずれも三重相関を組む必要があり、困難な状況が続いていた。

様々な種類の粒子の系で R 相関は検証されてきたものの、原子核の系以外では統計的に高精度の測定は難しい状況であった。また、原子核の系においては、偏極核の生成、電子の横偏極度の測定という技術的困難を克服する必要があり、検証実験はわずかに一例のみが報告されているのみという状況であった。しかしこの一例は、系統効果の評価が難しい、単純な検出器を用いたセットアップで実施されており、同精度での実施にしても、異なる系統性における再確認が重要であった。

2. 研究の目的

本研究は、偏極原子核を用いた時間反転対称性の破れの実験を、カナダの TRIUMF 研究所の偏極ビームラインで実施する事を目的として行われた。準備研究として、平面型ドリフトチェンバーを電子の横偏極度計として用いる MTV 実験 Run-II を実施しており、この解析と共に、Run-II における系統性を抑制する、円筒型ドリフトチェンバーの開発と導入を主たる目的とした。とりわけ、円筒型ドリフトチェンバーを用いた次世代実験における系統効果の徹底的な究明が重要な目的であった。

3. 研究の方法

本研究では、Run-II の物理データ解析に伴う系統効果の理解とその評価、そして円筒型ドリフトチェンバーを用いた次世代検出器セットアップの構築と系統効果の実験評価を二つの柱として行った。

平面型ドリフトチェンバー、円筒型ドリフトチェンバーいずれの場合でも、まずは TRIUMF 研究所のサイクロトロンにおいて、加速した陽子入射による標的核破砕反応で生成された Li 原子核をレーザーによる光ポンピング法により偏極させ、本研究で用いる検出器群の中心に設置した薄膜で停止させる。そこでベータ崩壊が起こり、放出された電子を金属薄膜により後方散乱させる。この後方散乱の左右の散乱非対称度が電子の横偏極度の指

標となる。

そこで、本研究では新たな円筒型ドリフトチェンバーを TRIUMF 研究所に設置して時間反転対称性の検証実験のセットアップを構築した。実際に偏極した Li-8 原子核のビームを用いた評価実験を繰り返し、系統効果の理解と調査を行った。

4. 研究成果

本研究で目標とした、円筒型ドリフトチェンバーを用いた実験セットアップは、FPGA を用いた高速データ収集システムの開発、構築を含めて TRIUMF 研究所に設置する形で完成した。図 1 は建設されたセットアップを用いて取得された、後方散乱飛跡の図である。

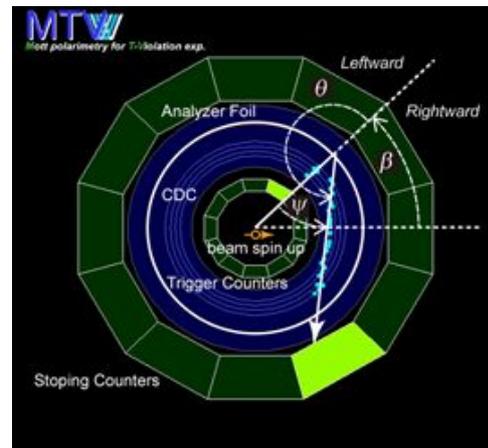


図 1 円筒型ドリフトチェンバーを用いた MTV 実験のセットアップ [5-1]

このセットアップを用いて、偏極 Li-8 核ビームを用いた系統効果評価実験、また、線源位置移動等による、ビームを用いない系統効果評価システムも構築し、電子線横偏極度測定における系統効果の調査を実行した。

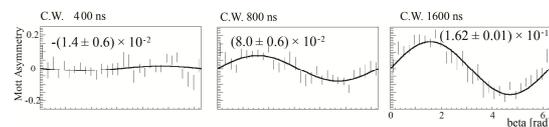


図 2 Run-II 実験における系統性を示す結果 [5-1]

図 2 は本研究で得られた系統効果の理解の代表的なもので、測定時の偶然同時計数に伴う、偽の非対称度が観測される事を示している。この成果により、時間反転対称性の検証を行う上で最も重要な系統効果が理解され、その抑制方法と評価方法の開発へと進めることが出来た。

これらの成果を受け、MTV 実験は系統効果を抑制、評価しつつ、未発見のゼロでない効果を観測しうる精度で物理実験を実行する段階へ発展した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

1. “A new measurement of electron transverse polarization in polarized nuclear β -decay”, H. Kawamura, T. Akiyama, M. Hata, Y. Hirayama, M. Ikeda, Y. Ikeda, T. Ishii, D. Kameda, S. Mitsuoka, H. Miyatake, D. Nagae, Y. Nakaya, K. Ninomiya, M. Nitta, N. Ogawa, J. Onishi, E. Seitaibashi, S. Tanaka, R. Tanuma, Y. Totsuka, T. Toyoda, Y. X. Watanabe and J. Murata, Modern Physics Letters A Vol. 32, No. 10 (2017) 1750058 (11 pages) (査読有)
DOI : 10.1142/S0217732317500584
2. “The MTV experiment: searching for T-violation in polarized Li-8 at TRIUMF”, J. Murata, H. Baba, J. A. Behr, F. Goto, S. Inaba, H. Kawamura, M. Kitaguchi, C. D. P. Levy, H. Masuda, Y. Nakaya, K. Ninomiya, J. Onishi, R. Openshaw, M. Pearson, Y. Sakamoto, H. Shimizu, Y. Shimizu, S. Tanaka, Y. Tanaka, R. Tanuma, Y. Totsuka, E. Watanabe, M. Yokohashi, Hyperfine Interact (2016) 237:125 (査読有)
DOI : 10.1007/s10751-016-1336-z
3. “Development of a novel scintillation-trigger detector for the MTV experiment using aluminum-metallized film tapes”, S. Tanaka, S. Ozaki, Y. Sakamoto, R. Tanuma, T. Yoshida, and J. Murata, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 752 (2014) 47-53 (査読有)
DOI : 10.1016/j.nima.2014.03.025
4. “Report of the next generation TRIUMF-MTV experiment Run-IV”, R. Tanuma, E. Seitaibashi, H. Baba, H. Kawamura, J.A. Behr, J. Onishi, K. Ninomiya, M. Pearson, M. Ikeda, P. Levy, R. Narikawa, R. Openshaw, S. Tanaka, S. Saiba, T. Iguri, Y. Totsuka, Y. Nakaya and J. Murata JPS Conf. Proc. 1, 013069 (2014) (査読有)
DOI : 10.7566/JPSCP.1.013069
5. “The MTV experiment: a test of time reversal symmetry using polarized ^8Li ”, J. Murata, H. Baba, J. A. Behr, Y. Hirayama, T. Iguri, M. Ikeda, T. Kato, H. Kawamura, R. Kishi, C. D. P. Levy, Y.

Nakaya, K. Ninomiya, N. Ogawa, J. Onishi, R. Openshaw, M. Pearson, E. Seitaibashi, S. Tanaka, R. Tanuma, Y. Totsuka, T. Toyoda

Hyperfine Interact (2014) 225:193-196 (査読有)

DOI : 10.1007/s10751-013-0897-3

〔学会発表〕(計11件)

<国際会議招待講演>

1. Jiro Murata, “The MTV T-Violation Experiment with ^8Li ”, Solvay Workshop on “Beta-Decay Weak Interaction Studies in the Era of the LHC”, Brussels, Belgium, 2014/9/3-5
2. Saki Tanaka, “Short range gravity and T-Violation”, Hawaii 2014 (Fourth Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the American Physical Society and The Physical Society of Japan), Hawaii, USA, 2014/10/7-11

<国際会議口頭発表>

3. Yuko Sakamoto, Jiro Murata, et. al. “Development of a novel scintillation-trigger detector for the MTV experiment using aluminum-metallized film tapes”, Hawaii 2014 (Fourth Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the American Physical Society and The Physical Society of Japan), Hawaii, USA, 2014/10/7-11
4. Jiro Murata, “The MTV experiment : Searching T-Violation in polarized ^8Li at TRIUMF”, the 6th International Symposium on Symmetries in Subatomic Physics (SSP 2015), Victoria, Canada, 2015/6/8-12
5. Jiro Murata, “THE MTV EXPERIMENT FROM T-VIOLATION TO LORENTZ-VIOLATION”, International Nuclear Physics Conference (INPC 2016), Sydney, Australia, 2016/9/11-16

<国際会議ポスター発表>(0件)

<国内学会口頭発表>(6件)

〔図書(一般雑誌)〕(0件)

〔産業財産権〕(0件)

〔その他〕(0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村田 次郎 (MURATA, Jiro)

立教大学・理学部・教授

研究者番号：50360649

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし

(4) 研究協力者

田中 佐季 (TANAKA, Saki)

田沼 良介 (TANUMA, Ryosuke)

尾崎 早智 (OZAKI, Sachi)

坂元 祐子 (SAKAMOTO, Yuko)

吉田 立 (YOSHIDA, Tatsuru),