



研究課題名 世界最高感度のミュオン粒子稀崩壊探索で迫る素粒子の大統一

東京大学・素粒子物理国際研究センター・准教授

おおたに わたる

大谷 航

研究課題番号： 21H04991

研究者番号： 30311335

研究期間： 令和3年度～令和7年度 研究経費（期間全体の直接経費）： 144,900千円

キーワード： 大統一理論、超対称性、ミュオン粒子稀崩壊、荷電レプトンフレーバーの破れ

【研究の背景・目的】

本研究はミュオン粒子が電子とガンマ線に崩壊する稀な現象 $\mu \rightarrow e\gamma$ の探索によって、宇宙誕生時に実現していたと考えられる素粒子の大統一の実験的検証をめざすものである。ミュオン粒子と電子は異なる「世代（フレーバー）」に属する粒子であり、フレーバーが変化する $\mu \rightarrow e\gamma$ は素粒子の標準理論では厳しく制限されている。一方、素粒子の大統一を仮定すると、 $\mu \rightarrow e\gamma$ が一千億から百兆回に一回というほんのわずかな確率ながらも起こり得るため、発見すれば大統一の動かし難い証拠となる。そこで本研究では、世界最大強度のミュオン粒子ビームを有するスイス・ポールシュエー研究所(PSI)において、独自に開発した革新的な高性能測定器を用いた最高感度の $\mu \rightarrow e\gamma$ 探索実験 MEG II を実施し、 $\mu \rightarrow e\gamma$ の発見をめざす。さらに、これまでとはまったく異なる巧みなアイデアにより $\mu \rightarrow e\gamma$ 発見後の精密測定をも可能にする究極の探索感度を持つ新たな $\mu \rightarrow e\gamma$ 探索実験のための研究開発を実施、実験計画立案、PSI への提案を行い、他の追随を許さない素粒子の大統一の徹底的な検証をめざす。

【研究の方法】

本研究の第一の目的である MEG II 実験では、巧みな設計で性能を大幅に改善した測定器(図1)と、強度を倍増したミュオン粒子ビームを使ってこれまでの約10倍の感度の $\mu \rightarrow e\gamma$ 探索を行う。MEG II 実験用測定器の開発・建設は完了し、世界最高感度の $\mu \rightarrow e\gamma$ 探索実験の準備はほぼ整っている。本研究では、MEG II 実験測定器のうち、特に本研究メンバーが中心となって開発・建設を行った液体キセノンガンマ線検出器・陽電子タイミングカウンターに注力し、精度の高い較正・高性能な解析アルゴリズムの開発を行い、測定器の設計性能達成をめざす。さらに、測定器の長期安定運用により高品質な物理データの取得を行い、十分なデータを貯めて目標感度での $\mu \rightarrow e\gamma$ 探索を行い、発見をめざす。

MEG II 実験を実施する PSI では、世界最高強度を誇るミュオン粒子ビームをさらに100以上増強する計画(HiMB計画)が進んでいる。本研究では、

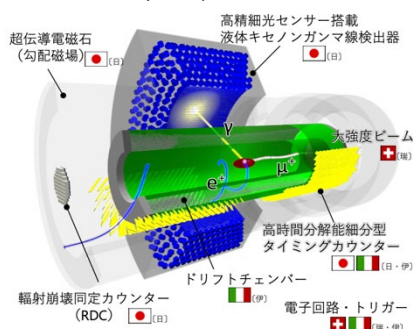


図1 MEG II 実験装置

この増強するミュオン粒子ビームと、アクティブコンバーター型ガンマ線ペアスペクトロメータ・超薄型シリコンセンサー陽電子スペクトロメータというこれまでにない性能を持った測定器を用いた新しいコンセプトの実験装置(図2)により、飛躍的に感度を改善した新実験の実現をめざす。

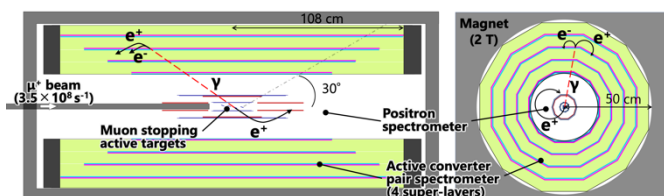


図2 新 $\mu \rightarrow e\gamma$ 探索実験の概念図

【期待される成果と意義】

本研究の第一の目標は、前実験である MEG 実験を約10倍上回る探索感度 5×10^{-14} で $\mu \rightarrow e\gamma$ を探索し、研究期間内に発見することである。測定器の設計性能が達成され、本格的なデータ取得を開始すれば、およそ数ヶ月で MEG 実験の探索感度を超える見込みである。それ以降はいつ $\mu \rightarrow e\gamma$ が発見されてもおかしくない未踏の領域となる。 $\mu \rightarrow e\gamma$ が発見された場合は、大統一理論の決定的な証拠を掴んだことになる。逆に、発見されなかった場合でも、これまで考えられてきた大統一理論の枠組みに大幅な修正を迫ることになり、いずれにしても今後の素粒子物理研究全体の方向性を大きく左右する重要な成果となる。

さらに本研究では、MEG II 実験実施と並行して $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊探索感度をさらに30倍以上引き上げた究極感度の新実験の実現をめざす。この圧倒的な探索感度により、 $\mu \rightarrow e\gamma$ 発見をより確実なものとし、さらに発見後は、崩壊分岐比や崩壊角度分布といった $\mu \rightarrow e\gamma$ の精密測定を行うことで超対称大統一理論の詳細を解明することが可能となる。また、この新装置を用いて別の稀崩壊現象 $\mu \rightarrow eee$ を同時に測定することも可能となり、さらに厳しく大統一理論に迫ることができる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・大谷航, 日本物理学会誌 2020年第75巻第9号 559-564
- ・“The design of the MEG II experiment”, T. Iwamoto, T. Mori, H. Nishiguchi, W. Ootani, et al., Eur. Phys. J., C78, 380 (2018)

【ホームページ等】

<http://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/research/meg.html>