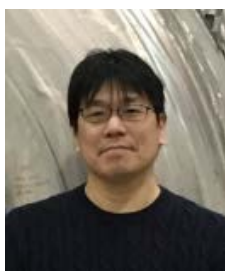


【特別推進研究】

理工系



研究課題名 ミュオン異常磁気能率・電気双極子能率の超精密測定

高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・准教授

みべ つとむ

三部 勉

研究課題番号： 20H05625 研究者番号： 80536938

キーワード： ミュオン、異常磁気能率、電気双極子能率、超精密測定

【研究の背景・目的】

多くの実験事実と、数学的な整合性を基盤に築き上げられた素粒子標準理論は、様々な素粒子現象を定量的に説明する極めて堅牢な理論である。しかしながら、近年の研究により必然的に素粒子標準理論を超える新しい物理法則（新物理）の存在が要請される。ミュオン異常磁気能率($g-2$ あるいは a_μ)は素粒子標準理論よりも大きな値を持つことが示唆されており、新しい測定が求められている。本研究ではJ-PARCの大強度陽子ビームの特徴を最大限に生かし、新しい実験技術と組み合わせることにより、従来とは異なる研究手法により $g-2$ および電気双極子能率(EDM)の超精密測定を行い、素粒子標準理論と比較することで新物理の存在に迫る。

ミュオン $g-2$ や EDM は未知粒子や相互作用の効果が顕著に現れ得る物理量である。ミュオン $g-2$ は、米国ブルックヘブン国立研究所(BNL)で540ppbの相対精度で測定され、標準理論の予想から誤差の3倍以上大きな値を持つと報告された(図1)。標準理論の計算はそれに用いる過去の膨大なデータによって与えられており、他のデータと無矛盾に標準理論の計算を疑うことはできない。一方、このような精度で $g-2$ を測定したのは唯一 BNLの先行実験のみであり、独立な検証が必要である。本研究では、ミュオンを冷却・加速することにより世界初の低エミッタンスビームを実現し、3次元らせん入射・コンパクト蓄積磁石・高安定度飛跡検出器を用いて従来と全く違う手法を用いた超精密測定を行う。これにより $g-2$ に新物理の効果が見えているのかに決着をつけるとともに、EDM を世界最高精度で探索することが目的である。

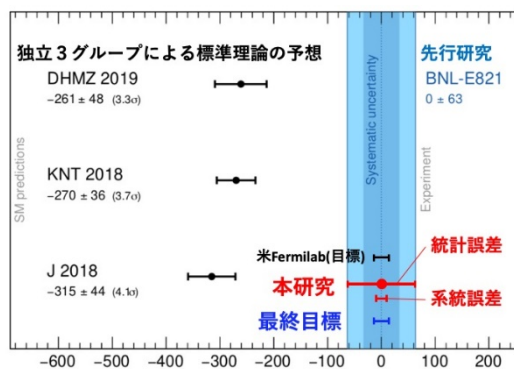


図1 ミュオン $g-2$ の理論予想と実験値の差

【研究の方法】

ミュオンビームは陽子加速器からのビームが標的に原子核反応を起こしてパイオンを生成し、その崩壊により生じるミュオンを捕獲・輸送することにより得られる。これらの過程でビームエミッタンス(位相空間体積)は大きく広がる(1,000 $\pi\text{mm} \cdot \text{mrad}$)ため、高輝度なビームを得ることができない。従来研究ではビームに起因する系統誤差が支配的であった。本研究では、ミュオンを冷却・加速することにより得られる低エミッタンス(1 $\pi\text{mm} \cdot \text{mrad}$)のビームを生成し、これを抜本的に解決する。すなわち、従来は不可能であった高効率入射・収束電場の排除・高い磁場一様性・陽電子飛跡の完全再構成を実現し、従来の系統誤差要因を完全に払拭する。

【期待される成果と意義】

研究期間内に、新しい測定手法を実証し、実験データの収集を開始する。実験装置の準備・調整の後、データ収集を行い、 $g-2$ を統計精度 450 ppb (先行実験と同程度)、系統誤差 70 ppb 以下(先行実験の1/4)で測定し $g-2$ のズレの有無に決着をつけるとともに、EDM を $1.5 \times 10^{-21} \text{e} \cdot \text{cm}$ の感度(先行実験の100倍)で探索する。

現在、BNLの実験機器をフェルミ国立研究所(Fermilab)に移設し、従来と同じ手法で統計精度を100 ppbに改善する実験が行われている。一方、異なる方法で検証できるのは本研究のみであり、研究の意義はFermilabの結果に左右されない。本研究で新手法による測定装置が完成し、目標精度が達成できれば、将来は従来手法の限界(100 ppb)を超えた世界最高精度の実験が可能となる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ M. Abe, et al., Prog. Theor. Exp. Phys. 2019, 053C02 (2019).
- ・ T. Aoyama, et al., arXiv:2006.04822 (KEK Preprint 2020-5) (2020).

【研究期間と研究経費】

令和2年度ー7年度 489,400千円

【ホームページ等】

<http://g-2.kek.jp>
tsutomu.mibe@kek.jp