

学位申請論文公開講演会

日時：2023年08月22日(火) 13:00~

申請者：福村 省三 (Φ研)

場所：B4 講義室 (B428) およびオンライン

題目：Spectroscopy of Muonic Helium Hyperfine Structure at J-PARC

(J-PARCでのミュオニックヘリウム超微細構造の分光)

主論文の要旨

CPT定理は現代物理学の前提となる仮定であり、これによって粒子と反粒子の対称性が示唆される。したがって正負ミュオンの質量や異常磁気能率を比較することでCPT定理を検証可能である。しかし現在、負ミュオンの質量 m_{μ^-} や磁気モーメント μ_{μ^-} の決定精度は正ミュオンに1桁劣る。

ミュオニックヘリウム原子はヘリウム原子の2つの電子のうちの一つを負ミュオンに置換したエキゾチック原子である。三体系でありながら、実験的には純レプトン二体系のミュオニウムと同様の取り扱いが可能であり、高磁場の下で超微細構造(Hyperfine Structure: HFS)を分光することで理論的な曖昧さなく m_{μ^-} 、 μ_{μ^-} を決定可能である。我々は現在より高い精度でのCPT定理の検証のため、ミュオニックヘリウム原子の超微細構造精密分光によって m_{μ^-} 、 μ_{μ^-} を現在の100倍の $O(10)$ ppbで決定することを目指して研究に取り組んでいる。

ミュオニックヘリウム原子のHFS精密分光のためには測定手法と解析手法の確立、大強度ミュオンビームの利用に加え、ミュオニックヘリウム原子の生成に伴って失われる負ミュオンのスピン偏極の回復手法の確立が必要となる。このうち大強度ミュオンビームについては、茨城県東海村に所在する加速器施設J-PARCの物質生命科学実験施設が提供する大強度ミュオンビームラインMUSE H-Lineを利用する予定である。また解析手法についてはJ-PARCでミュオニウムの精密分光に取り組んでいるMuSEUMコラボレーションが開発した手法を使用する。

本論文は残る2つの要件を検証し、確立するものである。第一に、マイクロ波による状態遷移を利用した手法によってゼロ磁場でミュオニックヘリウム原子のHFSを分光した。その結果世界最高精度でミュオニックヘリウム原子のHFSを決定し、J-PARCでのHFS分光手法を確立した。第二に、J-PARCでレーザー装置を開発し、レーザーを利用した手法による負ミュオンのスピン偏極の回復を実証した。

MCシミュレーションに基づき負ミュオンのスピン偏極の回復がHFS分光に与える影響を評価した結果から、H-Lineの利用と負ミュオンのスピン偏極の回復を組み込んだHFS分光では100日間の測定により m_{μ^-} 、 μ_{μ^-} を70 ppbの統計精度で決定可能と推定される。すなわち本研究により、正負ミュオンの質量や磁気モーメントの比較によるCPT定理の検証の精度は $O(10)$ ppbまで向上可能となった。