

# 論文審査の結果の要旨

氏名 山口 英斉

本論文は、全6章、及び、appendix から成っている。第1章は、申請者が属しているグループが中心となってこれまで進めてきた反陽子ヘリウム原子の実験、及び、関連の理論に関わる簡単なサーベイとなっている。第2章は、本研究の目的、第3章は、実験で用いた各要素の説明、反陽子減速器 (AD: Antiproton Decelerator)、高周波四重極減速器 (RFQD: Radio Frequency Quadrupole Decelerator) などの加速器から、標的冷却系、レーザーシステム、データ収集系が、第4章は、反陽子ヘリウムの高分解能分光と、それから得られる CPT 対称性の上限値について記述している。第5章は、反陽子ヘリウムの高分解能分光研究への新たな視点として、準位幅を議論している。第6章は終章であって、全体のまとめとなっている。

反陽子ヘリウム原子は、反陽子、電子、ヘリウム原子核の三粒子から成り、密度の高いヘリウムガス、或いは、液体ヘリウム中であっても準安定性を保つ希少な反陽子原子である。本論文では、反陽子ヘリウム原子の基本的な二つの性質、すなわち準位のエネルギーと寿命（準位のエネルギー幅）を、レーザー分光の手法を用いて高精度かつ系統的に測定し、議論している。反陽子ヘリウム原子の束縛状態は、理論計算の精度が著しく向上している。そこで、精度良く知られている陽子の質量と電荷をそれぞれ反陽子の質量と電荷の大きさとして採用すると、理論的に得られる遷移エネルギーは実験結果を数十ppbの精度で再現できることが明らかとなった。この実験値と理論値の良い一致は、クーロン3体系の理論計算が信頼できると仮定することによって、陽子と反陽子の質量と電荷に関わるCPT不変性の最高精度の実験的な検証になっている。

実験は、低温に保たれたヘリウム気体 (5-6K, 20-200kPa) 標的中に、パルス化された反陽子ビームを打ち込み、多数の準安定反陽子ヘリウム原子を生成する事により進められた。反陽子ヘリウム原子をAuger 崩壊率が高く寿命の短い準位へ遷移させると、直ちに反陽子ヘリウムイオンとなり、これは、周囲に存在するヘリウム原子が誘導するStark 効果を介して極めて短時間内に原子核と接触し消滅する。従って、荷電パイ粒子強度をレーザー波長の関数として測定することにより、共鳴曲線が得られ、遷移波長が精密に決定できる。

ところで、測定される遷移エネルギーは、標的の気体密度に依存することが知られている。そこで、反陽子ヘリウム原子に固有の遷移エネルギーを得るため、本研究では、以前から行われていた標的密度の関数として遷移波長を求め、これを密度0に外挿する方法と、新たに導入されたRFQDからの100 keV程度にまで減速された反陽子と低密度 (10K, 10-300Pa) ヘリウム標的を組み合わせる方法、

の両者を採用した。その結果、1 3 の遷移に対する遷移エネルギーを50～200 ppb の精度で決定する事に成功し、これを理論値と比較することにより、陽子-反陽子の質量、電荷の大きさの差が、

$$\left| \frac{M_{\bar{p}} - M_p}{M_{\bar{p}}} \right| = \left| \frac{Q_{\bar{p}} + Q_p}{Q_{\bar{p}}} \right| < 10 \text{ ppb}$$

であることを結論した。これは、過去の実験における上限値、0.5 ppmを大きく上回るもので、本研究のハイライトとなっている。

さらに、レーザー遷移後の消滅スペクトル、あるいは、共鳴幅を用いて1 5 の準位についてその準位幅を決定し、ほぼ理論が予測する値と一致することを示した。特に、3つの準位については、エネルギー幅も10MHz 程度の精度で理論値と一致することを確認している。このように、本論文は、遷移エネルギーばかりでなく、準位のエネルギー幅についても理論値と実験値が高精度で一致することを報告した初めての例となっている。

本論文は多数の研究者との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験、分析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断できる。

従って、博士（理学）の学位を授与できると認める。