

論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名： 長濱弘季

素粒子物理学実験は素粒子の持つ基本的な性質や素粒子間に働く相互作用を精密に調べることによって、自然界における根本的な法則を解き明かそうとする研究分野である。2012年のヒッグス粒子の発見はその最大のハイライトの一つだが、こうした華々しい成果の反面で、個々の実験が大規模化し、長い年月と巨額の費用を掛けなくては成果を挙げるのが難しくなりつつあることが大きな課題となっている。本研究において論文提出者は、素粒子の一つである反陽子を荷電粒子トラップに閉じ込め、その運動を精密に観測することで、反陽子の基本的な性質を調べるという新しい実験手法を提案し、その実験を実現するための装置を開発・制作し、反陽子と陽子の電荷質量比の世界最高精度での比較実験、ならびに反陽子の磁気モーメントの世界最高精度での測定に成功した。

具体的には本論文は 12 章からなり、第 1 章では序論として研究の背景が記述され、第 2 章から第 4 章では提案された実験手法とその原理が記述されている。第 5 章、第 6 章では荷電粒子トラップとそこでの荷電粒子の運動を測定するために開発された装置の説明と性能評価を行い、続く、第 7 章と第 8 章において、反陽子と陽子の電荷質量比の測定実験の結果、第 9 章から第 11 章において、反陽子の磁気モーメントの測定実験の結果が記述され、第 12 章で全体のまとめをしている。

論文審査では、まず、第 2 章から第 6 章の内容である、提案された実験手法とその原理、実験のために開発された装置の性能評価についての説明が行われた。多重電極を用いたペニングトラップ中の荷電粒子の運動は 3 つの周期運動の重ね合わせであることが示され、その運動は電極に誘起される微小な誘導電流を検出することによって測定することができることが説明されたのち、論文提出者が開発にとりくんだ電流測定器の原理と性能が説明された。超伝導コイルを用いた共振器と超低ノイズアンプを組み合わせることで世界最高性能の検出器の制作に成功したことが評価された。

続いて第 7 章、第 8 章に記述された反陽子と陽子の電荷質量比の測定実験についての説明があった。論文提出者は、まず反陽子の蓄積トラップから測定トラップまで反陽子を 1 つだけ取り出して輸送するスキームを開発し、論文提出者が開発した電流検出器を用いてその動作を検証した。次に、この検出器を用いて、同一磁場内での反陽子と陽子のサイクロトロン周波数を測定、比較し、両者が 10^{-12} の不確かさの範囲内で一致していることを示した。この成果はハドロン系における CPT 不変性の検証として世界で最も厳密なものであり、高く評価される。

続いて第 9 章から第 11 章に記述された反陽子の磁気モーメントの測定実験についての説明があった。ペニングトラップ中に調和振動子型の不均一磁場が存在するとき、軸方向運動の周波数が磁気モーメントの向きによって、わずかながらではあるが変化することが示され、

これを実現するために精密加工された強磁性体からなる電極を持つ特殊なトラップを開発したことが説明された。論文提出者は、この僅か 0.00003% の周波数の違いを観測するために、多数のコンポーネントからなる実験装置を信頼性高く構築し、反陽子の磁気モーメントの値を 100 万分の 1 以下の相対的不確かさで測定することに成功した。これは従来の記録を 6 倍以上回る世界最高精度の測定であり、高く評価される。

以上のように、本研究は、反陽子と陽子の質量電荷比の比較測定、ならびに、反陽子の磁気モーメントの測定を行い、ともに従来の世界記録を大きく上回る成果を得たものである。また、この測定のために開発された、素粒子の基本的な性質を荷電粒子トラップを用いて精密に測定するという新たな実験手法は、反陽子のみならず、他の荷電粒子の基本的な性質を測定するためにも応用可能なものであり、精密測定による素粒子物理学研究の新しい分野を拓くものである。本研究は 10 数名の共同研究者を含む共同研究であるが、本論文に記載された実験装置の制作・設計と性能評価、実験データの解析と不確かさの評価については論文提出者が主体的に進めたものと認められる。

したがって、本審査委員会は博士（学術）の学位を授与するにふさわしいものと認定する。