

論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名： 田中香津生

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、これらの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。そうした中で、素粒子を含む原子の精密分光は、素粒子の基本的な性質を原子物理の手法を応用して精密に測定するための手法として改めて注目されている。本研究において論文提出者はミュオンと電子からなる水素様原子であるミュオニウム原子の基底状態の超微細構造周波数を精密に分光するための実験を提案し、測定装置を制作するとともに、提案された測定実験にともなう系統的な不確かさを詳細にわたって検討した。

具体的には本論文は6章と付録からなり、第1章は序論、第2章はミュオニウム原子の分光に関する理論と過去の実験手法の概説にあてられている。第3章には本論文で提案されている実験手法とその原理が記述され、第4章では作成したRFキャビティやガスハンドリング装置、磁気シールド、ビームモニタ等について、実データをもとに基本性能の評価が行われている。第5章では実験データの解析方法と測定に伴う系統的な不確かさを求める手法について詳説したのちに第4章で述べられた実験装置の性能を元にして具体的に系統的な不確かさの値を見積り、第6章で全体のまとめをしている。

論文審査では、まず第2章、第3章の内容である、論文提出者の提案するミュオニウム原子の基底状態の超微細構造の精密測定実験について、過去に行われた測定実験との比較を交えながら説明が行われた。実験が提案されているJ-PARC MLF施設から高い強度のミュオンビームが供給されることの有利さと、供給されるビームの時間構造が先行実験と異なりパルス状になっていることによる困難を克服するための手法が説明され、一般には素粒子実験に適さないとされるパルス状大強度ビームを用いて、世界記録を更新しうる実験計画を立案したことが評価された。

続いて第4章、第5章の内容として、設計・作成された装置とその基本性能の測定結果と、その測定結果を踏まえた系統的な不確かさの評価、実験データの解析方法について説明があった。まず、分光を行うために用いるチューニング機構付きのマイクロ波キャビティについては、電磁場計算ソフトを用いてシミュレーションを行い、その計算結果が実際に制作したキャビティを測定した特性と一致していることが示された。このことから、印加したマイクロ波周波数に応じた異なる電磁場分布を用いてミュオニウム原子の遷移確率を計算できるようになり、全ての周波数に対して同一の理想的な電磁場分布を仮定していた先行研究が無視していた系統的な不確かさが存在することと、その値は充分小さくすることが出来ることが示さ

れた。また、大型の超伝導磁石あるいは磁気シールドを用いることによって、強磁場下における測定条件においてもゼロ磁場下における測定条件においても、均一条件下であると見なすことができる空間体積を先行研究と比較して増大させ、磁場の強度分布による不確かさを軽減するとともに、より低いガス圧下での測定を含む複数条件における測定を行うことを可能にし、ガス分子との衝突による周波数のシフトをより高い精度で見積ることができることが示された。さらに、得られる実験データの解析にあたっては、ビームがパルス状の時間構造を持つことを積極的に利用し、超微細構造構造のそれぞれの準位に存在するミュオニウム原子の数をマイクロ波の照射時間の関数として捉えることで、先行研究で採用されていた、マイクロ波を長く照射された原子だけを観測する **old muonium** 法に比べて統計的な不確かさを小さくできることを示した。これらの成果は、論文提出者が提案する **J-PARC** におけるミュオニウム原子の超微細構造分光実験が、先行研究を上回り世界記録を樹立するための条件を満たしていることを証明しているものとして、高く評価される。

以上のように、本研究は、大強度パルスミュオンビームを用いたミュオニウム原子の超微細構造分光を提案し、そのための実験装置群を開発し、それらの性能評価をもとに実験の系統的な不確かさを厳密に見積ることによって、ミュオニウム原子の超微細構造測定実験を行う基盤を確立したものである。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設計・制作と性能評価、系統的な不確かさの評価、実験データの解析手法の開発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。