

論文審査の結果の要旨

氏名 大能 直哉

本論文は、「反陽子ヘリウム原子のオージェ崩壊率の研究」を、5章からなる和文でまとめたものである。反陽子ヘリウム原子のレーザー分光によってオージェ崩壊率を高精度に測定し、3体系の理論計算と比較検証する実験を行い、その結果と解析および考察を述べている。第1章で、序論として、反陽子ヘリウム原子のこれまでの研究概要と本研究の目的を述べ、第2章で、研究の基礎事項として、ヘリウム原子による反陽子の捕捉過程、反陽子ヘリウム原子のエネルギー構造および放射遷移・オージェ遷移と準安定性、レーザー分光による遷移エネルギーおよびオージェ崩壊率の測定の手法について説明している。第3章で本実験に用いた実験設備および方法を述べ、第4章で実験の結果と考察を述べている。第5章で、結論をまとめている。

本研究の実験は、欧州素粒子原子核研究機構 (CERN) の反陽子減速器 (Antiproton Decelerator) を用いて行われた。すなわち、陽子シンクロトロンで加速された陽子ビームを用いて反陽子を生成し、それを反陽子減速器を用いて冷却・減速したのち実験領域へと引き出し、低温のヘリウム標的に入射した。それによって生成された反陽子ヘリウム原子に、波長可変レーザー光を照射し、吸収の共鳴曲線を測定した。光吸収の検出には、光を吸収して不安定状態に遷移したのち起こる反陽子の消滅を用い、消滅に伴って放出される荷電 π 中間子を、チェレンコフ検出器およびデジタルオシロスコープを用いて検出・抽出した。本研究では、連続波チタンサファイアおよび色素レーザーからの種光をパルスレーザー励起の色素媒質で増幅することで、線幅が約 50MHz、出力約 15mJ、パルス時間幅約 20ns の出力光を得た。先行研究では線幅が 10GHz 程度の市販のパルス色素レーザーが用いられていたが、本研究の光源はオージェ崩壊率の測定精度および限界を改善するために、著者が立上げにも参加し、整備・運転を行ったものである。これらの実験

装置を整備・運転し、限られたビームタイムの中で計画通り円滑に実験を遂行し、十分な統計量の実験データを取得したことは高く評価できる。

本研究では、 $p-4\text{He}^+$ の(37,34)→(38,33)に対応する 713.8nm の遷移、 $p-3\text{He}^+$ の(38,34) →(37,33)に対応する 710.6nm の遷移、 $p-4\text{He}^+$ の(36,34) →(37,33) に対応する 616.7nm の遷移について測定を行った。特に、ヘリウム標的密度や入射レーザー強度への依存性を詳細に調べ、共鳴幅に比べ十分広い波長範囲で測定波長点数を増やして測定するなど統計量の改善を加えて、実験を行った。

その結果、まず 616.7nm の遷移について、ヘリウム標的密度とともに共鳴の幅が線形に増大する明確な依存性を観測した。線形フィットのゼロ密度外挿値から、オージェ崩壊率として、 $44.8 \pm 2.6\text{GHz}$ という値を新たに得た。この値は Korobov や Kino らの理論計算の結果と良い一致を示した。先行研究である Yamaguchi らの実験結果が本研究の実験結果や理論計算結果と大きく食い違って大きな値を与えていたことも、有限のヘリウム標的密度での実験値であったことを考慮するとコンシステントに理解できた。713.8nm および 710.6nm の遷移については、ヘリウム標的密度依存性は観測されなかった。しかし、先行研究よりも、主に統計量が改善されたことにより誤差が小さくなり、その結果 Korobov の理論計算値により近い、 $363 \pm 7\text{GHz}$ および $837 \pm 77\text{GHz}$ というオージェ崩壊率の値を新たに得た。なお、上記3つの

いずれの遷移についても、本研究での測定範囲内では、吸収の飽和幅による効果の寄与は実験的に認められなかった。オージェ崩壊率として、これらの信頼性の高い新たな値を得たことは、本分野への大きな貢献として高く評価できる。

また、これらの結果に対する考察として、本論文では、ヘリウム標的密度依存性の有無について、その状態のエネルギーの近くに、反陽子ヘリウム原子中の電子励起状態のエネルギーが在るか否かが影響しているのではないかという仮説を述べ議論をしている。また、光学ブロッホ方程式によるモデル計算により、レーザー強度に対して飽和幅がどれだけ寄与するかについて数値計算を行って、考察を行っている。これらの考察は、今後の研究に対する有用な指針を与えている。

以上、本論文の内容は、博士論文として高い評価に値すると判断される。

なお、本論文の中核をなす研究内容は指導教官らとの共著論文として学術誌に公表予定であるが、測定装置の整備・運転、実験の計画と遂行、結果の解析など大部分は論文提出者が主体となって行ったものと判断される。

よって、論文審査委員会は全員一致で博士(理学)の学位を授与できると認めた。