

論文審査の結果の要旨

氏名 宮 崎 彬

本論文は、大強度ミリ波技術を用い、ポジトロニウム（電子と陽電子の束縛系：Ps）の超微細構造を世界で初めて直接測定した結果をまとめたものである。第1章では研究の背景と目的、第2章では実験の詳細、第3章では実験の解析が述べられている。第4章で得られた結果の妥当性と種々の系統誤差の検証がなされ、第5章に結論が示されている。

ポジトロニウムは、レプトンのみで構成されたクーロン束縛系であり、量子電磁力学（QED）を検証する上で重要な系である。その基底状態は、スピンによって二つに分裂しており、これを超微細構造と呼ぶ。エネルギーが上の準位（全スピンの1、寿命142nsで三光子崩壊）をオルソ・ポジトロニウム、下の準位（全スピンの0、寿命125psで二光子崩壊）をパラ・ポジトロニウムと呼ぶ。

ポジトロニウムの超微細構造の遷移周波数は203 GHz（波長約1.5 mm）であり、これをミリ波を用いて直接分光することは困難であった。そこで、従来はポジトロニウムに強磁場をかけ、ゼーマン分裂を測定することにより、超微細構造を間接的に決定する手法が用いられてきた。その最新の結果は、量子電磁力学の理論計算値よりも 3.9σ 小さい。これは標準模型を超える物理の存在を示唆するようにも見えるが、磁場の不均一性など、間接測定に伴う系統誤差などの可能性が指摘されている。

そこで、論文提出者は、ポジトロニウムの超微細構造の遷移周波数を直接測定することを目指した。論文提出者が属する研究グループの先行研究で、203 GHz近辺の一つの周波数において、オルソ・ポジトロニウム パラ・ポジトロニウムの誘導遷移は観測されていたが、論文提出者は、周波数を変化させて共鳴曲線を観測すべく、ミリ波源であるジャイロトロン、ミリ波の強度を増すためのファブリー・ペロー共振器、ポジトロニウム源とポジトロニウム崩壊検出器などを新たに開発し、実験を行った。

ポジトロニウムの短い寿命のうちに、十分な強度でオルソ パラの誘導遷移を起こさせるためには、 $\sim 10\text{kW}$ の大強度かつ可変周波数の、単色ミリ波源が必要である。そのために論文提出者らが開発したのが、100 W級の203 GHzジャイロトロンである。ジャイロトロンは、そのままでは周波数を変化させることができないところから、論文提出者は、ジャイロトロンの共振器を複数作製し、これを逐次交換することによって、201 GHzから206 GHzの範囲で測定を行った。

更に、ジャイロトロンだけではミリ波の出力が不十分であるため、論文提出者はファブリー・ペロー共振器を製作してミリ波のパワーを ~ 20 kW に増した。共振器内のミリ波のパワーは、共振器のミラーに開けた穴から漏れるミリ波のパワーを焦電型検出素子でモニターし、その値を種々の方法で校正することにより、各々の周波数で、 $< 20\%$ の精度で決定した。

ポジトロニウムは ^{22}Na 陽電子源から放出される陽電子が、ガス分子から電子を得ることによって、ファブリー・ペロー共振器内で生成される。先行研究では窒素とイソブタンの混合ガスが用いられていたが、論文提出者はミリ波を吸収しないネオペンタンが最適であることを見出し、これを用いてポジトロニウムを生成した。

ミリ波によってオルソ パラの誘導遷移が起きると、パラ・ポジトロニウムが 2 個のガンマ線を放出して崩壊する。これをランタンプロマイド $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ シンチレーターによって検出し、事象選別を行った上で、ミリ波が on の場合と off の場合との崩壊率の差を求めた。この値と、共振器内のミリ波のパワーから断面積を求め、これを 201-206GHz の間の 7 つの周波数で繰り返すことによって、共鳴曲線が得られた。その中心周波数は $203.39_{-0.14}^{+0.15}$ (stat.) ± 0.11 (syst.) GHz であった。得られた結果の精度は、理論と実験の 3.9σ のずれの有無を検証するには不十分なものであるが、ポジトロニウムの超微細構造遷移の直接測定の道を拓いた意義は大きい。

本論文は、大強度ミリ波技術を用い、ポジトロニウムの超微細構造を世界で初めて直接測定したものとして高く評価できる。実験は論文申請者を含む 10 名の共同で行われたが、実験装置の主要部分の開発・製作とデータ解析は論文提出者が主体となって行っており、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。