

# 論文審査の結果の要旨

氏名 陣内 修

本論文は5章からなり、第1章は導入説明、第2章はポジトロニウム崩壊率とその理論的記述および従来の実験の概観、第3章は実験装置の説明、第4章では実験データの解析と誤差の議論、第5章では最終結果が述べられている。

量子電磁力学(以後 QED と略す)は最も成功した量子理論といわれており、QED の摂動計算はかなり高次の項まで検証されている。また近年、非相対論的 QED という実効的な理論の枠組みが発展し、束縛系についても高次の項の計算が精力的に進められるようになった。

ポジトロニウムは電子と陽電子が束縛し合っている最も軽い原子であり、電磁相互作用以外の効果を受けない為、その崩壊率または寿命は非常に高い精度で計算が行える。そのためポジトロニウムの精密測定はこの実効的な理論の最適な検証の場になりうる。2種類あるポジトロニウムのうちのオルソポジトロニウムの寿命は約 142nsec と比較的長く、実験的に直接測定で QED の検証が行える数少ない例の一つである。その崩壊率(寿命の逆数)の計算は微細構造定数  $\alpha$  の1次の項までは 1980 年代初頭には得られていたが2次の項に関しては部分的な計算しか得られておらず、実験側からの2次の項の検証が待たれていた。

ミシガン大学を中心に過去25年に渡って行われてきたオルソポジトロニウムの崩壊率測定は 200ppm 程度の測定誤差で得られるようになったが、一貫して  $\alpha$  の1次の摂動計算よりも 1000ppm 近く食い違っており、「オルソポジトロニウムの寿命問題」と呼ばれてきた。

その理由としてポジトロニウムの熱化による系統的な問題があることが指摘されていた。オルソポジトロニウムの熱化とは、生成されたばかりのオルソポジトロニウムがターゲット分子との間で弾性散乱を繰り返すうちに、運動エネルギーを失いやがて室温で平衡状態になることを言う。一方、オルソポジトロニウムの崩壊率測定には、オルソポジトロニウムを構成する陽電子がターゲット分子中の電子と対消滅をする pick-off と呼ばれるバックグラウンド事象が必ず存在する。真空中での崩壊率を求めるにはこのバックグラウンド事象を取り除く必要がある。熱化の過程で pick-off 率は平衡になるまでの間、徐々に減少していくが、従来測定ではこの寄与をきちんと評価できていなかった可能性がある。

1995年に東京大学グループは、この熱化の効果を測定に直接取り込んで真空中での崩壊率を求める方法を考案し新しい結果を得た。この方法は、pick-off が2対の単色  $\gamma$  線に、オルソポジトロニウムが3体の連続  $\gamma$  線に崩壊することを利用し、非常

アクセプタンスの算出法と、モンテカルロ・シミュレーションによる予想値と実験データとの比較検討が行われている。第8章では断面積の導出方法について議論されている。各測定点のビンニング、分解能等の議論から、「仮想光子と陽子」の衝突による「 $J/\psi$ 粒子と陽子」生成断面積を導出する際の、輻射補正や系統的誤差の推定が詳細に述べられている。

第9章では、本論文の課題となっている「電子と陽子」の衝突による「 $J/\psi$ 粒子と陽子」の排他的生成反応に対する実験結果が示されている。さらに、この実験結果は、摂動論的QCDを基にする理論モデルと比較検討が行われており、第10章で本論文のまとめと結論が示されている。

本論文で議論されている研究は、1996年から2000年にかけて実験が行われ、そこで収集された大量のデータ( $90.3 \text{ pb}^{-1}$ )を新しい手法を用いて解析したものである。その結果、「仮想光子と陽子」衝突による「 $J/\psi$ 粒子と陽子」生成断面積を、 $W$ が150 GeVという高エネルギー領域で初めて高精度で決定することに成功した。この実験研究で得られた断面積の $Q^2$ 依存性は、摂動論的QCDを基礎とする理論模型でよく記述されることを示している。一方、断面積の $W$ 依存性は、現在の摂動論的QCDの理論模型の予言よりも、なだらかな $W$ 依存性を示すことが判明した。この点において、本論文が示す新しいデータの出現は、理論面でのさらなる理解が必要であることを提起している。審査の結果、本論文の物理的意義は大きく、博士論文として十分にふさわしいものであるとの結論に達した。

なお、本論文の第4章から第10章についてはZEUSグループメンバーとの共同研究であるが、論文提出者が主体となって、検出器の改良、実験データの解析、理論的考察を行ったもので、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。