

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名	渡辺 みのり
学位	博士 (理学)
学位記番号	新大博 (理) 第 65 号
学位授与の日付	平成 27 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
博士論文名	Rare Decay Study at Belle and Detector Development for Future Experiment (Belle 実験における稀崩壊過程と将来実験のための検出器の研究)
論文審査委員	主査 教授・宮田 等 副査 教授・大原 謙一 副査 准教授・浅賀 岳彦 副査 准教授・大坪 隆 副査 准教授・川崎 健夫

博士論文の要旨

本申請論文の研究内容は、現在素粒子物理学における最大の懸案である、標準理論を越えた物理の探索を、非常に稀な素粒子の崩壊事象を通じて行うことを目的としている。この過程では、未知の粒子による物理現象が仮想的に働き、得られる結果が標準理論で予想される値からずれることが期待される。しかし、このような稀な事象を通じて研究を行うためには、膨大な統計量の実験データを蓄積する必要がある。2000-2010 年に行われた B ファクトリー実験(Belle)では、世界で最も大量の B 中間子崩壊に関するデータを蓄積している。

申請者は、Belle 実験のデータを用いて $B^+ \rightarrow \rho^+ \omega$ という崩壊モードの分岐比の測定を行った。このモードの分岐比は、 1.5×10^{-5} 程度と非常に小さいため、信号事象を有意な統計量で観測するためには、高い検出効率を実現する必要がある。また、 ρ^+ は比較的広い崩壊幅 (~150MeV)を持つこと、終状態に複数の π^0 からの γ が存在することなどから、雑音事象の除去が非常に困難である。申請者は実験データの解析において、通常の中間状態の粒子の質量再構成以外に、Likelihood (尤度)を用いた雑音除去手法を導入した。また、4つのパラメータを同時にフィッティングすることにより、厳しい選別による検出効率の低下を防いだ。結果として信号事象に対する効率は 3.4%であった。実際の実験データを用いて解析を行ったところ、最終的に 201 ± 35 イベント程度が信号事象として得られ、信号/雑音事象比は 1/15程度となった。ここから計算される崩壊分岐比は、 $(10.9 \pm 1.9) \times 10^{-6}$ (統計エラーのみ)となり、これは過去に他実験グループで得られた結果 (Babar 実験グループ PhysicalReview,D79,05200 : $(15.9 \pm 2.1) \times 10^{-6}$)と矛盾しない。しかし、測定精度を大きく改善することはできず、また CP 非対称性を精度よく測定するためにも事象数は不足している。さらなる精度改善のためには数倍以上の実験データ量が必要であると結論している。

現在、Belle 実験の 50 倍以上の統計量の取得を目指した SuperB ファクトリー実験の準備が、2017 年の実験開始を目指して進められている。SuperB ファクトリーでは、加速器の性能・統計量の改善だけでなく、測定器の飛躍的な性能向上も目指して開発・建設が進められている。

Belle 検出器では粒子識別装置の物質が多いため、終状態に光子が多い $B^+ \rightarrow \rho^+ \omega$ の崩壊モードに対して、検出効率が大きく下がってしまっていることが判っている。このような全方向型測定器においては、測定器の物質や形状による不感領域などの、検出効率に対する影響は大きい。新しい測定器の開発により、将来的に検出効率を改善することは解析手法の改良と並行して進められるべき必要がある。

申請者は、将来の素粒子実験での使用を想定して、頻繁に使用されるプラスチックシンチレータの改良についての研究も行っている。これは、荷電粒子に対して優れた応答性を示し、タイミングやエネルギー損失を精度よく測定できる。材料は安価なプラスチックであるが、加熱・融解を伴う複雑な製作工程のため生産コストが上がっている。申請者は、企業との共同研究により新しい製作方法を提案し、安価で自由な形状のプラスチックシンチレータの生産方法を試みた。また、この手法は高温の加熱を伴わないため、各種物質の添加も可能である。例えば原子炉からの低エネルギーニュートリノの測定を目的としてガドリニウムを含有させることができる。

この新しい手法の製作により、測定器の不感領域を減らすような形状のシンチレータを安価に作成することが可能となる。これは、将来の加速器実験（例えばリニアコライダー）において、有用な技術となる。申請者は、試作したプラスチックシンチレータに対して、詳細な性能評価を行った。特に、エネルギー測定および透明度などの特性について測定を行い、1m 程度のサイズの検出器であれば、荷電粒子の測定に十分に使用可能な性能を示すことを確認した。

審査結果の要旨

このように申請論文の研究内容は、素粒子物理学の最先端のトピックを扱うとともに、将来的な研究の発展も視野に入れたものとなっており、学術的にも価値の高い内容である。前半の Belle 実験データの解析においては、背景事象を効率的に除去する手法を用い、多数のパラメータの同時フィットを行うことにより、使用できる実験データを最大限に活かした結果を得ることに成功している。

また、後半の検出器開発では、高いオリジナリティを持ちながら、将来広範囲の分野で応用されることを目指した基礎技術の開発を行っている。どちらも、今後の素粒子物理学の研究に対して、有意義な研究成果であるといえる。

よって、本申請論文は博士（理学）の学位論文として十分値すると判定した。