

学位審査報告書

(ふりがな) 氏名	もりい ひでき 森井 秀樹
学位(専攻分野)	博士(理学)
学位記番号	理博第 号
学位授与の日付	平成 年 月 日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	理学研究科 物理学・宇宙物理学 専攻
(学位論文題目) Experimental Study of the Decay $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ ($K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊に関する実験研究)	
論文調査委員	(主査) 中家 剛 教授 谷森 達 教授 植松 恒夫 教授

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	森井 秀樹
論文題目	Experimental Study of the Decay $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文では、中性 K 中間子 (K_L^0) が中性 π 中間子 (π^0) とニュートリノ対となる崩壊 ($K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊) を、世界最高感度で探索した結果について報告されている。$K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊では、粒子と反粒子間の対称性 (CP 対称性) が保存せず、その崩壊分岐比から CP 非保存の起源となるカビボ・小林・益川行列の複素成分が決定できる。また、この決定過程に含まれる理論的不定性が 1-2% と非常に小さい。一方、この崩壊は、フレーバーを変化させる中性カレント過程であり、素粒子の標準理論で予測される分岐比は 2.5×10^{-11} と非常に小さい。このため標準理論を超える新物理に対して高い感度を持ち、新物理探索の観点でも重要である。しかし、非常に稀な崩壊のため実験が難しく、いまだに観測例はない。本論文では、この崩壊分岐比の上限値を、実験において 2.6×10^{-8} (90%信頼度) と、世界最高の探索感度で結果を出すことに成功した。</p> <p>本研究は、茨城県つくば市の高エネルギー加速器研究機構 (KEK) で行われた E391a 実験からの結果である。E391a 実験は Run1、Run2、Run3 と 3 回に分けて実施された。データの質が悪い Run1 は使用せず、Run2 及び Run3 を統合して、E391a 実験としての最終結果を出した。E391a 実験に於ける $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊の検出は、π^0 起源の 2γ の他に、余剰粒子が存在しないことを保障することで行った。さらに再構成された π^0 に対し、運動力学的条件を課すことで、他の K 中間子崩壊を排除する。このため実験は、K 中間子崩壊領域全立体角を検出器で囲む設計になっている。K 中間子ビームを細く絞ることで、K 中間子崩壊点をビーム軸上に制限することができ、π^0 の運動量及び崩壊点を再構成できることが、この実験の大きな特徴である。実験では、KEK の 12GeV 陽子加速器を用いて生成された、中性 K 中間子を用いる。これを複数のコリメータからなるビームラインにより、細く絞り検出器に導く。この K 中間子の他、検出器領域には、僅かにハロー中性子と呼ばれる中性子が存在し、コリメータ内壁との散乱等により、この細く絞られた領域の周りに広がっている。本研究においては、このハロー中性子がビーム軸周りの検出器と相互作用し、π^0 や η 中間子が生成され、それらが 2γ に崩壊する事象が、主なバックグラウンドとなった。$K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊の信号選択に対する感度を向上させつつ、このバックグラウンドを削減することが、本論文の最大の課題であった。ハロー中性子バックグラウンドを統一的に取り扱える、新たなシミュレーションを作成し、データとの比較を行い、シミュレーションの信頼度を保障した。その上でシミュレーションを使ってバックグラウンドを見積もり、最終検出条件を決定した。この過程では、検出器の情報を最大限に生かし、信号とバックグラウンド比を最適化した。この検出条件をデータに適用したところ、事象は検出されず、2.6×10^{-8} の崩壊分岐比上限値 (90%信頼度) が決定した。本研究は、$K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊探索実験における、一つのアプローチ手法を確立し、その際克服すべき問題点を明確にし、今後の探索における大きな指針を与えるものとなっている。</p>			

注) 「論文内容の要旨」と「論文審査の結果の要旨」は、1 頁を 38 字 \times 36 行で作成し、合わせて、3,000 字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400 ~ 1,100 words で作成し、審査結果の要旨は日本語 500 ~ 2,000 字程度で作成すること。

(論文審査の結果の要旨)

本学位申請論文は、 $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊探索の世界最高感度の実験結果である。この崩壊は、分岐比から CP 非保存パラメータ導出する際の理論的不定性が 1-2%と小さく、また、新物理に対する感度も高い。この為、本崩壊探索は、素粒子・原子核物理で重要な、CP 非保存物理に於ける、最適なプローブの 1つと認識されている。しかし実験的な困難の為、検出例はない。本論文は、その中で世界最高感度を達成し、本崩壊の実験手法の確立に向け、大きな指針を与えており、素粒子物理学に対しても大きなインパクトを与えている。

本研究は、E391a 実験として行われた、国際共同研究であるが、森井氏は E391a 実験 Run3 の責任者の一人であった。実験を統括し、準備を進め、解析を主導した。Run2 については既に実験結果が公表されていたが、森井氏はさらに、E391a 実験解析最終責任者として、Run2 及び Run3 のデータを統合して、E391a 実験最終結果を出し、本論文となっている。

解析においては、中性子起源のバックグラウンドを定量する為、実験データを再現するシミュレーションが重要であった。森井氏は新たに FLUKA シミュレーションを導入し、実験データを再現するよう、調整した。この結果、数種類あるハロー中性子バックグラウンドを、本研究で初めて統一的に取り扱うことが出来た。これにより、信号検出条件の最適化も統一化され、系統的に詳細な研究を進める基礎となった。実際にバックグラウンドの理解を進め、定量している。森井氏自身、新たなバックグラウンド削減手法を導入し、信号検出条件を最適化した。ハロー中性子起源の η 中間子によるバックグラウンドは崩壊点を実際より上流に誤って再構成する傾向があり、 η バックグラウンドを削減する強力な測定量を発見した。この発見により、すでに公表されていた Run2 の結果に比べ、1.5 倍の感度向上を達成した。Run2 と Run3 を統合することで統計量も 1.7 倍となり、全体では信号感度を 2.6 倍向上させている。この随所に森井氏の独創性が見られ、森井氏の功績なくしては、本研究の成功はなかった。

論文にはこの K 中間子稀崩壊の物理が、CP 非保存及び新物理の寄与の観点から、大変わかりやすくまとめられている。実験に関して、K 中間子のビームライン、E391a 実験測定器についても、明確に記述されている。森井氏は、実験及び解析の責任者であり、検出器の準備から、シミュレーション開発、解析まで、実験全般に関わっており、実験に対する理解の深さが読み取れる。

以上より、本論文は博士(理学)の学位論文として、大変高い価値があることを認める。また、平成 22 年 4 月 26 日に、論文内容とそれに関連した事項について口頭試問を行った結果、申請者は多数の難問にも明確な解答をした。その結果、論文審査合格と認めた。

注 1) 「論文審査の結果の要旨」の結句には、学位論文の審査についての認定を明記すること。更に、試問の結果の要旨に(例えば「平成 年 月 日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った。その結果合格と認めた。」)を付け加えること。

注 2) 「論文内容の要旨」及び「論文審査の結果の要旨」は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公開する。
特許申請、雑誌掲載等の関係により、学位授与後、Web での即日公開を希望しない場合は、以下に公開可能とする日付を記入すること。
要旨公開可能日： 年 月 日以降