

氏 名 Mikhail Yur'evich DOROSHENKO

学位（専攻分野） 博士（理学）

学位記番号 総研大甲第 853 号

学位授与の日付 平成 17 年 3 月 24 日

学位授与の要件 高エネルギー加速器科学研究科 素粒子原子核専攻
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 A measurement of the branching ratio of the
 $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ decay

論文審査員 主査 教授 今里 純
教授 中村 健蔵
教授 萩原 薫
教授 幅 淳二
教授 稲垣 隆雄
教授 杉本 章二郎（高エネルギー
加速器研究機構）

論文内容の要旨

The $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ decay is a golden channel to study the origin of CP violation. The branching ratio is proportional to the parameter η , which measures the magnitude of the CP violation in the CKM matrix; the theoretical uncertainties are so small that the measurement allows us to make a precise test of the Standard Model of CP violation.

Experiment E391a was designed to measure $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ decay with a goal of $3 \cdot 10^{-10}$ single-event sensitivity. A $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ decay is searched for by a signal of $K_L^0 \rightarrow \pi^0 (\pi^0 \rightarrow \gamma \gamma) + \text{nothing}$. The energies and positions of the gammas were measured with a CsI calorimeter. The “nothing” was confirmed by no additional signals in the veto system, which covered the whole decay region. Several unique techniques were developed for E391a, such as a well-collimated “pencil” beam, differential pumping, a double-decay chamber and highly sensitive veto detectors to cover almost the whole 4π geometry.

During the beam time in February-June 2004, we collected about 6Tb of data, equivalent to a full 60 days of operation. As the first step, we performed an analysis of one day of data, which is a main topic of the present thesis. Good quality and stability of the data were confirmed by this analysis. All detectors were calibrated by using punch-through and/or cosmic muons. In addition, the CsI calorimeter was calibrated more precisely by using γ 's from the π^0 's produced with an aluminum target. The reconstruction of neutral decays ($K_L^0 \rightarrow 3\pi^0, 2\pi^0, \gamma\gamma$) showed good agreement with MC simulations and in the number of the K_L^0 yield. The pure signal and background samples of $K_L^0 \rightarrow 3\pi^0, 2\pi^0, \gamma\gamma$ were used for a veto study, and showed good agreement of the acceptance loss due to the veto cuts.

In the 2γ sample, which contains candidates for $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ decays, we observed various sources of background events surrounding the signal box. They were from the other K_L^0 decays and from halo neutron interactions; in addition, we found a clear effect due to the interactions of the beam-core neutrons with the membrane separating the two vacuum chambers, which fell down into the beam axis, accidentally.

Finally, we opened the signal box and observed no event inside. The single-event sensitivity for $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ decay was estimated to be 8.3×10^{-7} . This led to an upper limit of the branching ratio of $1.9 \cdot 10^{-6}$ at the 90% confidence level.

We conclude that the analysis of the one-day data was very valuable to understand the performance of the experiment and to develop new software techniques for the analysis. The results of this study were reflected in an upgrade of the experimental setup for the next run, RUN II, which started in the middle of January, 2005.

論文の審査結果の要旨

去る1月18日、委員全員の出席による審査委員会において、論文審査を行った。まず、出願者から約1時間半に亘り論文の内容についての発表があり、それに引き続いて質疑応答及び試問を約30分かけて行った。本論文の対象研究は、KEK-PSで実施されている共同利用実験 E391a 「 $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊の測定」に関わるものである。昨年の夏前のビームタイムで取得されたデータの一部が申請者により解析され、得られた結果がまとめられた。

$K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊は CP を破る稀崩壊で、標準模型においては直接過程による CP の破れであることと理論的不定性が少ないことで、現在最も重要な K 中間子崩壊の実験であると考えられている。E391a 実験はこの崩壊の分岐比の上限値を標準模型の予言値に向かって押し下げるべく、ペンシルビーム等の新しい実験手法を取り入れて実験を開始した。出願者はこの重要な実験の測定器の準備、データ収集等で大きい役割を果たしてきた。

論文では、これまでに取得された60日分のデータの内の1日分のデータを使って解析手法の開発とその評価が行われ、その詳細と結果とが記述された。この1日データの解析は実験グループの初めての解析として、新しい手法による実験の解析方法を確立するとともに、早期にデータの品質をチェックし、今後の解析さらには実験条件の方針を定めるために大変重要なプロセスである。解析では測定器の各要素の較正、バックグラウンドの徹底的な理解とそれに基づく $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ チャンネルのアクセプタンスの決定、そして、Veto カウンター等による Veto 特性のスタディと残留バックグラウンドの評価が、申請者の創意工夫に基づいて非常に信頼性高く、しかも Blind Analysis の手法で実施された。

分岐比の結果として 1.9×10^{-6} の上限値 (90% C.L.) が得られた。これは僅か1日分のデータであるにも拘らず、これまで最も感度の高かった、米フェルミ研究所での実験 (KTeV) の報告する上限値 5.9×10^{-7} に迫るものである。論文では、今後の解析に向けて解析過程で可能なアクセプタンス改善の可能性が議論され、またバックグラウンドのレベルが評価された。これらは今後の解析にとって大変重要な知見となっており、さらに高い感度へ向けての道筋をつけるものとなっている。論文は解析の他、この K 中間子稀崩壊の理論的背景、特に標準模型での CP の破れ及び標準模型を越える物理の可能性に関して明解なイントロダクションを行い、また実験装置の設計概念や各要素を詳細に記述しており、実験グループの最初の学位論文として参照されるに十分足る内容の充実したものとなっている。

以上の事柄、殊に重要な実験の最初の物理解析が出願者の創意工夫と弛まぬ努力で完結したこと、さらに新たな解析手法を確立する等の1日データ解析の目的が達成されたことを高く評価し、1月18日の審査会において委員会は本論文を学位論文に値するものと認めた。この時点ではしかし、論文としての構成・体裁、細かい点での内容、英文等で不備な点が多く見受けられた。委員会からの指摘に従った論文の手直しが2月4日までに行われた。公開発表会は2月8日に開かれ、出願者は1時間のセミナー講演と質疑応答を見事

に行った。改訂された論文と公開發表会の確認をもって、審査委員会は2月8日に全員一致で本論文を学位論文として合格と判定した。