

博士論文公聴会の公示 (物理学専攻)

学位申請者：白石諒太

論文題目：Search for the $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ Decay

with 3.3×10^{19} Protons on Target at the J-PARC KOTO Experiment

(J-PARC KOTO 実験における 3.3×10^{19} 標的衝突陽子を用いた $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊の探索)

日時：2025 年 5 月 14 日 (水) 13:30 – 15:00

場所：理学研究科 H 棟 7 階セミナー室 (H701 号室)

オンラインでの聴講も可能。主査：南條 (nanjo[at]champ.hep.sci.osaka-u.ac.jp [at]=@) に問い合わせること。

主査：南條 創

副査：青木 正治、佐藤 亮介、増渕 達也、吉田 斉

論文要旨

本論文では、中性 K 中間子の稀崩壊 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ を探索した。 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊は CP 対称性を破る崩壊で標準模型では強く抑制されている。標準模型での崩壊分岐比の予測値は 3×10^{-11} で、分岐比の予測に対する理論的な不定性も 2% 程度と小さい。そのため、 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ の分岐比を実験で測ることで、測定値と標準模型の予測値とのずれから、標準模型を超えた新たな物理の寄与を調べることができる。

大強度陽子加速器施設 J-PARC で行われている KOTO 実験は、現在 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊を探索している世界で唯一の実験である。先行研究である 2016–2018 年に取得したデータの解析では、 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 信号の観測が期待される物理量の領域（信号領域）内に 3 事象が観測された。観測された事象数は、背景事象の予測値 1.22 ± 0.26 と統計的に無矛盾であると結論づけられた。先行研究では、 $K^\pm$ 背景事象とビームハロー $K_L \rightarrow 2\gamma$ 背景事象という新たな背景事象源の存在が明らかにされた。これらの背景事象を削減することが、以降のデータ解析で $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊を探索するための最重要課題となった。

本博士論文の研究では、まず $K^\pm$ 背景事象削減のために新たな荷電粒子検出器、Upstream Charged Veto (UCV) を開発した。2021 年に KOTO 検出器最上流部に UCV を設置し、標的照射陽子数 3.3×10^{19} のデータを取得した。本論文ではこのデータを用いて $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊を探索した。本データ取得では、 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 信号のサンプルと同時に $K^\pm$ 事象サンプルを収集した。 $K^\pm$ 事象サンプルを用いて UCV の不感率を $(7.8^{+0.6}_{-5.2}) \times 10^{-2}$ と見積もり、 $K^\pm$ 背景事象を約 1/13 に削減した。また、ビームハロー $K_L \rightarrow 2\gamma$ 背景事象についても、新たに開発された解析手法を用いて背景事象を約 1/8 に削減した。これらの改善により、単一信号事象感度 $(9.31 \pm 0.06_{\text{stat}} \pm 0.83_{\text{syst}}) \times 10^{-10}$ で信号領域内に予測される背景事象数を合計で $0.252 \pm 0.055|_{\text{stat}}^{+0.52}_{-0.67}|_{\text{syst}}$ と見積もった。 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 信号の事象選別条件を決定し信号領域内を開示した結果、事象は観測されなかった。この結果から、 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊の分岐比に対する上限値 2.2×10^{-9} を 90% 信頼水準で得た。これは、それまでの上限値を約 1.4 倍更新し、現在最も厳しい制限となった。