

氏 名	むら 村 上 晃 一
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2295 号
学位授与の日付	平成 13 年 3 月 23 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 Search for the Decay Mode $K_L \rightarrow \pi^0 \gamma e^+ e^-$ (崩壊過程 $K_L \rightarrow \pi^0 \gamma e^+ e^-$ の探索)

論文調査委員 (主 査) 教 授 笹 尾 登 教 授 西 川 公 一 郎 助 教 授 延 興 秀 人

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、 K_L 中間子の稀崩壊過程 $K_L \rightarrow \pi^0 \gamma e^+ e^-$ の探索実験について述べたものである。この崩壊過程は、以下に挙げる二つの点で興味深く、また重要であるといえる。1つは「カイラル摂動理論」の検証としての役割であり、他の1つは $K_L \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$ の探索実験との関連である。「カイラル摂動理論」を用い、 $K_L \rightarrow \pi^0 \gamma e^+ e^-$ 過程に対する理論計算が最近になり行われ、その分岐比は 2.3×10^{-8} と予想されている。

実験 (KEK-E162) は、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) にある 12 GeV 陽子加速器 (PS) を利用した中性ビームラインを用いて行われた。実験に用いられた測定器は、以下のような要素から構成される。電磁石を用いた運動量分析器では、荷電粒子の飛跡および運動量を測定する。また、CsI 結晶を用いた電磁カロリメータにおいて、電磁成分のエネルギー、位置の測定を行う。この他に、電子を特定するための閾値型のガスチェレンコフ測定器、トリガー用のシンチレーションカウンタから成る。本論文では、1996 年秋から 1997 年春までの間に採られたデータをもとに解析を行った。

データ解析は、二つの段階から成っている。最初の段階では、運動量、エネルギー、バーテックス位置、粒子の種類などの基本的な物理量の測定を行う。次の段階で、様々な事象の幾何学的特性や、運動学的制限を要求することで、 K_L 中間子の崩壊を特定していくことになる。本論文では、対象となるべき $K_L \rightarrow \pi^0 \gamma e^+ e^-$ の信号過程に加えて、 K_L 中間子の生成量を算出するための規格化過程として、 $K_L \rightarrow \pi^0 \pi_D^0 (\pi_D^0 \rightarrow \gamma e^+ e^-)$ 過程の解析も同時に行った。

$K_L \rightarrow \pi^0 \gamma e^+ e^-$ の信号を探すにあたり、主要なバックグラウンドは、規格化過程である $K_L \rightarrow \pi^0 \pi_D^0$ 、および $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi_D^0$ 過程となる。特に、前者は観測されるべき粒子の種類が信号過程と同じであるため、 $e^+ e^- \gamma$ の不変質量が π^0 となるような位相空間の領域では、原理的に区別できないことになる。しかし、逆に規格化過程として用いることで、 K_L 中間子の生成量の算出の際、多くの系統誤差が打ち消されることが期待される。

実際の解析では、信号過程と規格化過程の間の系統誤差を少なくするための注意が払われ、多くの部分において共通なカットが施された。また種々のバックグラウンド除去を行った後、規格化過程として、 $K_L \rightarrow \pi^0 \pi_D^0$ の事象を 49 個特定した。信号過程に関しては、信号領域に残った事象は存在しなかった。測定器のアクセプタンスや、バックグラウンド量の予測を、モンテカルロ・シミュレーションを用いて行い、最終的に、 $K_L \rightarrow \pi^0 \gamma e^+ e^-$ 過程の分岐比として、 $Br(K_L \rightarrow \pi^0 \gamma e^+ e^-) < 7.1 \times 10^{-7}$ (C.L. 90%) の上限値を得た。この結果は、本過程の実験的検証として世界で初めての結果である。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

申請者は中性 K 中間子の稀崩壊モードである $K_L \rightarrow \pi^0 \gamma e^+ e^-$ 過程についての実験を行い、この崩壊モードの分岐比 (上限) を測定した。

この実験の意義としては 2 つの側面が考えられる。一つ目は、「カイラル摂動理論」に関連したものである。カイラル摂動理論は、軽いクォーク間の強い相互作用の系を現象論的に記述するのに、非常に有効な理論であると考えられている。理論

の実験的検証という点で、 K_L の系は正に適した系であるといえる。その理論形成の過程において、非常に重要な役割を果たしてきた過程の一つとして、 $K_L \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$ 過程が挙げられる。この過程の理論予想には、実験によって決定されるべきパラメータが含まれるが、その値に関して実験的検証は、極最近まで与えられていなかった。 $K_L \rightarrow \pi^0 \gamma e^+ e^-$ 過程は $K_L \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$ を中間状態としているので、その実験的検証は、カイラル摂動理論の観点から相補的な役割を果たすものであるといえる。

本研究の意義の他の側面は $K_L \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$ 過程と関連する。 $K_L \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$ 過程は、「直接的なCP対称性の破れ」を観測できる過程として重要であり、その分岐比は、 10^{-12} 程度と予想されている。様々な実験的探索が試みられている中、 $K_L \rightarrow \pi^0 \gamma e^+ e^-$ 過程が、実験的バックグラウンドとなる可能性が指摘され、その実験的検証が求められるようになってきた。また、 $K_L \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$ には、「直接的なCP対称性の破れ」による寄与の他、 $K_L \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$ を中間状態に持つCPを保存する成分も存在する。この成分に対する正確な理解は、「直接的なCP対称性の破れ」の検証にとって重要であり、その意味でも、 $K_L \rightarrow \pi^0 \gamma e^+ e^-$ は、相補的な役割を果たす。

詳細な解析の後、規格化過程として、 $K_L \rightarrow \pi^0 \pi_D^0$ の事象を49個特定した。また、信号過程に関しては、信号領域に残った事象は存在しなかった。さらに測定器のアクセプタンスや、バックグラウンド量の評価をモンテカルロ・シミュレーションを用いて行い、 $K_L \rightarrow \pi^0 \gamma e^+ e^-$ 過程の分岐比として、 $Br(K_L \rightarrow \pi^0 \gamma e^+ e^-) < 7.1 \times 10^{-7}$ (C.L. 90%) の上限値を得た。この結果は、本過程の実験的検証として世界で初めての結果であり、この過程に対する実験的研究の端緒を与えた。

平成13年1月17日、主論文および参考論文に報告されている研究業績を中心として、これに関連した研究分野について口頭試問した結果、合格と認めた。