

氏 名	みぞ うち けん た ろ う 溝 内 健 太 郎
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2992 号
学位授与の日付	平 成 18 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 $\pi^0 \rightarrow \nu\bar{\nu}$ (中性 π 中間子の $\pi^0 \rightarrow \nu\bar{\nu}$ 崩壊現象の探索)

論文調査委員	(主 査) 教 授 笹 尾 登 助 教授 中 家 剛 教 授 今 井 憲 一
--------	---

論 文 内 容 の 要 旨

中性パイ中間子 (π^0) の稀崩壊過程 $\pi^0 \rightarrow \nu\bar{\nu}$ はニュートリノ (ν) の質量が 0 でありヘリシティが純粋に -1 である場合、角運動量保存側によって禁止される。しかし、近年のニュートリノ振動実験の成果により、ニュートリノに有限の質量が確認された結果、この崩壊が観測される可能性が生まれて来た。本研究は米国ブルックヘブン国立研究所にて行われた BNL-E949 実験のデータを使用して $\pi^0 \rightarrow \nu\bar{\nu}$ 崩壊の探索を通して行ない、もってニュートリノのヘリシティと質量に対する知見を得ようとする試みである。

BNL-E949 実験は 1.8×10^{12} 個の K^+ 崩壊事象を観測する事に成功している。本解析では、その中でも $K^+ \rightarrow \pi^+ + \nu + \bar{\nu}$ 事象の探索用に作られたトリガーによって取得されたデータを使用した。解析はまず K^+ と π^+ の運動力学的変数によって $K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^0$ 崩壊を選択的に取り出し、次に立体角にして 4π を覆う光子検出器を用いて、 π^0 崩壊からの終状態粒子が一切観測されなかったイベントを探索する事により行なわれた。この過程で選択された $K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^0$ 事象の数、即ち π^0 粒子の個数は 3×10^9 個であり、この際に混入したバックグランド事象の個数は約 3 個と見積もられる。これは不純度にして 10^{-9} に相当する極めて純粋な π^0 サンプルを意味している。このサンプルのうち、 π^0 による崩壊粒子が検出器中に観測されなかった候補事象が 99 個見つかった。これらは $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$ 崩壊が検出器の光子不感率が原因となり、残ったバックグランド事象によると考えられる。解析においては、保守的な立場を取り、全てが $\pi^0 \rightarrow \nu\bar{\nu}$ 崩壊事象であっても矛盾しない様に崩壊分岐比 (以降、 $\text{Br}(\pi^0 \rightarrow \nu\bar{\nu})$ と記す) の上限値を求めた。その結果、 $\text{Br}(\pi^0 \rightarrow \nu\bar{\nu}) < 2.7 \times 10^{-7} (90\% \text{ C.L.})$ という値が得られた。これは過去における最高感度の実験で得られた値を約 3 倍向上するものである。また、この上限値は、 π^0 から未知の粒子 (但し、検出器では捕らえられない弱い相互作用のみの粒子) へ崩壊するモードに対しても適用可能である。また以上の結果より、観測された候補が全て光子不感率によるものであったとした場合、検出器全体の $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$ 背景事象に対する棄却能力としては 3.5×10^6 (アクセプタンスの影響を補正した後の値) が得られた事となる。

さらに本研究では、候補として残った事象を光子検出器の不感率の観点から定量的に理解するため、特殊なデータを使用した光子不感率測定手法を開発した。この結果、本研究で開発された光子不感率測定手法とバックグランド事象の予測手法の有効性を証明する事に成功した。また、この解析の過程で得られた光子不感率は光子検出器の性能をシミュレーションに頼らず実際の実験データから確定したものであり、より信頼性の高い光子不感率値を提供することに成功した。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

申請者の論文は、中性パイ中間子が、ニュートリノと反ニュートリノ対に崩壊する分岐比の上限値を決定した実験について詳細に報告したものである。中性パイ中間子 (π^0) の稀崩壊過程 $\pi^0 \rightarrow \nu\bar{\nu}$ はニュートリノ (ν) の質量が 0 でありヘリシティが純粋に -1 である場合、角運動量保存側によって禁止される。しかし、近年のニュートリノ振動実験の成果により、ニュートリノに有限の質量が確認された結果、この崩壊が観測される可能性が生まれて来た。本研究は米国ブルックヘブン

国立研究所にて行われた BNL-E949 実験のデータを使用して $\pi^0 \rightarrow \nu\bar{\nu}$ 崩壊の探索を通して行ない、もってニュートリノのヘリシティと質量に対する知見を得ようとする試みである。

申請者が参加する BNL-E949 実験においては 1.8×10^{12} 個の K^+ 崩壊事象を観測する事に成功している。本解析では、その中でも $K^+ \rightarrow \pi^+ + \nu + \bar{\nu}$ 事象の探索用に作られたトリガーによって取得されたデータを使用した。解析はまず K^+ と π^+ の運動力学的変数によって $K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^0$ 崩壊を選択的に取り出し、次に立体角にして 4π を覆う光子検出器を用いて、 π^0 崩壊からの終状態粒子が一切観測されなかったイベントを探索する事により行なわれた。申請者は、不純度にして 10^{-9} に相当する極めて純粋な π^0 サンプルを作り出す解析方法を開発し、非常にクリーンな π^0 サンプルを大量 (3×10^9 個) に選び出すことに成功した。最終的には、 π^0 による崩壊粒子が検出器中に観測されなかった候補事象を 99 個同定している。申請者は、これらの 99 事象が、検出器の光子不感性が原因となり残存した $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$ 崩壊起因のバックグラウンド事象である可能性が高いことを解析により明らかにしている。この結果より、全てが $\pi^0 \rightarrow \nu\bar{\nu}$ 崩壊事象であっても矛盾しない様にするという保守的で安全な立場から、崩壊分岐比（以降、 $\text{Br}(\pi^0 \rightarrow \nu\bar{\nu})$ と記す）の上限値を決定した。最終的に発表した上限値は $\text{Br}(\pi^0 \rightarrow \nu\bar{\nu}) < 2.7 \times 10^{-7} (90\% \text{ C. L.})$ という値である。これは過去における最高感度の実験で得られた値を約 3 倍向上するものである。また、この上限値は、 π^0 から未知の粒子（但し、弱い相互作用のみしか行わず、従って検出器には観測できない粒子）へ崩壊するモードに対しても適用可能である。また以上の結果より、観測された候補が全て光子不感率によるものであったとした場合、 $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$ 背景事象に対する検出器の棄却能力としては 3.5×10^6 が得られた事となる。申請者は、さらに候補として残った事象を光子検出器の不感率の観点から定量的に理解するため、特殊なデータを使用した光子不感率測定手法を開発し、光子不感率測定手法とバックグラウンド事象の予測手法の有効性を証明する事に成功した。この解析で得られた光子不感率は光子検出器の性能をシミュレーションに頼らず実際の実験データから測定されたものであり、より信頼性の高い値を提供することに成功したといえる。

これらの研究成果は今後の素粒子物理学、また大強度陽子加速器を使った中性 K 中間子の実験技術の前進にとり価値あるものであり、学位論文に値すると認められる。また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。