



Title	Measurement of the $\pi^+\rightarrow e^+\nu_e$ Branching Ratio
Author(s)	伊藤, 慎太郎
Citation	大阪大学, 2016, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/56048
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (伊藤 慎太郎)

論文題名

Measurement of the $\pi^+ \rightarrow e^+ \nu_e$ Branching Ratio
($\pi^+ \rightarrow e^+ \nu_e$ 崩壊分岐比の測定)

論文内容の要旨

荷電パイ中間子の崩壊分岐比の比 $R^e = \Gamma[\pi^+ \rightarrow e^+ \nu_e(\gamma)] / \Gamma[\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu(\gamma)]$ の精密測定は電子・ミューオン普遍性の破れに非常に感度がある。特に、標準理論を超えた擬スカラー作用が存在すると、 R^e が理論値から大きくずれ、0.1% の測定精度で1000 TeVの擬スカラーのマススケールにまで感度が上がる。標準理論では R^e の値は $(1.2352 \pm 0.0002) \times 10^{-4}$ と高精度で求められている。一方で、過去に行われた実験では R^e の値は $(1.230 \pm 0.004) \times 10^{-4}$ と、理論値と比べると精度が悪く、多くの改善点が見られた。そこで、過去の実験を改良し、測定精度の大幅な向上を目指したPIENU実験がカナダのTRIUMF国立研究所にて行われた。PIENU実験では R^e を0.1%よりも高い測定精度で測定することを目指しており、ビームタイムは2012年まで行われた。その結果、過去にTRIUMFで行われた実験と比較すると、約30倍の統計量が得られた。

本実験では、 $\pi^+ \rightarrow e^+ \nu_e$ の陽電子 ($E_e = 69.8$ MeV) 及び $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$ のミューオンから崩壊した陽電子 ($\pi^+ \rightarrow \mu^+ \rightarrow e^+$, $E_e = 0.5 \sim 52.8$ MeV) をカロリメータで計測することで、崩壊過程の識別を行った。陽電子のエネルギーをもとに、高エネルギー領域及び低エネルギー領域の陽電子の崩壊時間のスペクトラムを作成し、バックグラウンドを加味した関数でフィットを行うことで、補正前の分岐比の比を得る。そこに、いくつかの補正を掛けて、最終的な R^e を求める。

本実験で最も支配的な系統誤差として、カロリメータからの電磁シャワーの漏れにより、低エネルギー領域に引いた $\pi^+ \rightarrow e^+ \nu_e$ 低エネルギーテール の補正が挙げられる。また、 $\pi^+ \rightarrow e^+ \nu_e$ 過程と $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \rightarrow e^+$ 過程では、陽電子の立体角が異なるため、この違いも補正に加える必要がある。

私は、2010年及び2011年に得られたデータの解析を行い、上記を含めた全ての系統誤差を求めた。その結果、2010年のデータ解析において、 R^e は $[1.2344 \pm 0.0023(\text{stat}) \pm 0.0019(\text{syst})] \times 10^{-4}$ と求められた。さらに、2011年の解析結果を加えると、 R^e の誤差は $[\pm 0.0014(\text{stat}) \pm 0.0013(\text{syst})] \times 10^{-4}$ にまで改善されることが分かった。これは、過去に行われたTRIUMFでの実験の結果と比較すると、測定精度が3倍改善されたことになる。この測定結果をもとに、新物理への感度の理論的考察を行った。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (伊藤慎太郎)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	久野良孝
	副 査	教授	山中卓
	副 査	准教授	阪口篤志
	副 査	准教授	小田原厚子
	副 査	准教授	青木正治

論文審査の結果の要旨

本論文では、荷電パイ中間子の崩壊分岐比の比 $R^\pi = \Gamma[\pi^+ \rightarrow e^+ \nu_e(\gamma)] / \Gamma[\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu(\gamma)]$ の精密測定を行うことによって電子とミュオンとの間のレプトン普遍性の破れを探索する。 R^π は標準理論を超えた物理に探索感度があることが知られており、例えば、標準理論を超えた擬スカラー作用が存在すると R^π が理論値から大きくずれると予想されている。0.1%の測定精度で 1000 TeV の質量スケールの擬スカラー粒子にまで探索感度が上がる。標準理論では R^π の値は $(1.2352 \pm 0.0002) \times 10^{-4}$ と高精度で計算されている。一方、これまでの実験では R^π の値は $(1.230 \pm 0.004) \times 10^{-4}$ であり、理論値と比べると一桁以上決定精度が悪かった。そこで本論文の研究では、過去の実験を改良してカナダの TRIUMF 国立研究所にて測定精度の大幅な向上を目指した実験を行った。本実験(PIENU 実験)では、 R^π を 0.1% よりも高い測定精度で測定することを目指し、2012 年までデータ収集を行った。蓄積したデータ量は TRIUMF で行われた過去の実験の約 30 倍である。

PIENU 実験では、 $\pi^+ \rightarrow e^+ \nu_e$ の陽電子 ($E_e = 69.8$ MeV) 及び $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$ のミュオンから崩壊した陽電子 ($\pi^+ \rightarrow \mu^+ \rightarrow e^+$, $E_e = 0.5 \sim 52.8$ MeV) を電磁カロリメータで計測することで、崩壊過程の識別を行う。陽電子のエネルギーをもとに、高エネルギー領域及び低エネルギー領域の陽電子の崩壊時間のスペクトラムを作成し、バックグラウンドを加味した関数でフィットを行うことで、補正前の分岐比の比を得る。そこにいくつかの補正を行い、最終的な R^π を求める。系統誤差としては、電磁カロリメータからの電磁シャワーの漏れなどにより低エネルギー領域に存在する $\pi^+ \rightarrow e^+ \nu_e$ 低エネルギーテールの補正や、陽電子のアクセプタンス補正に起因する項目の影響が大きい。

本論文では、2010 年及び 2011 年に得られたデータの解析を行い、上記を含めた全ての系統誤差を徹底的に検討・評価している。アクシデンタルコインシデンスに起因する時間スペクトルの微妙な歪みや、陽電子と物質の相互作用に起因するエネルギースペクトルの変形などを徹底的に評価したことには圧倒される。2010 年のデータ解析から R^π を $[1.2344 \pm 0.0023(\text{stat}) \pm 0.0019(\text{syst})] \times 10^{-4}$ と求めており、この結果は既に Physical Review Letters に掲載されている。本論文では、2011 年の解析結果を加えると R^π の誤差は $[\pm 0.0014(\text{stat}) \pm 0.0013(\text{syst})] \times 10^{-4}$ にまで改善されると結論している。これは、過去の実験結果を 3 倍改善する成果である。本論文では、この結果をもとにした新物理への感度の理論的考察も行っている。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として十分価値あるものと認める。