

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 乙 第 号
------	---------

氏 名 早川 友博

論 文 題 目 OPERA 実験における原子核乾板広域スキャンを
用いたステライルニュートリノ探索

論文審査担当者

主 査	名古屋大学 未来材料・システム研究所	教授	理学博士	中村 光廣
委 員	名古屋大学大学院理学研究科	教授	博士(理学)	清水 裕彦
委 員	名古屋大学大学院理学研究科	教授	博士(理学)	棚橋 誠治
委 員	名古屋大学 素粒子宇宙起源研究所	准教授	博士(理学)	中澤 知洋

論文審査の結果の要旨

別紙 1-2

この世界の物質は 12 種の素粒子からなり、その振る舞いは素粒子の標準理論で精緻に記述できるとされている。12 種の素粒子は、世代あたり 2 種のクォークと 2 種のレプトンからなり、これまでに 3 世代の存在が確認されている。

ニュートリノは電荷をもたないレプトンである。ニュートリノ振動現象の発見により質量を持つことが確定し、質量をゼロとしていた標準理論の修正がなされた。現在、ニュートリノ振動の研究は、3 世代間のニュートリノ混合の枠組みで理解が進み、振動パラメータの精密測定段階にある。しかし、いくつかの短基線ニュートリノ振動実験 (LSND、MiniBooNE など) が、3 世代では説明できない電子ニュートリノ (ν_e) 事象の超過を報告しており、弱い相互作用をしないステライルニュートリノ (ν_s) を加えた 3+1 ニュートリノ混合の可能性を示唆している。一方で、ニュートリノ消失を検出する複数の実験の統合解析は、これら先行実験の許容領域を否定しており、これらの実験とは異なる手法での ν_s の存否の検証が、ニュートリノ物理学の重要課題となっている。

OPERA 実験は、タウニュートリノ (ν_τ) 同定に必要な位置分解能を有する原子核乾板検出器 (ECC) を主検出器とし、 ν_τ の出現を捉えて 3 世代間のニュートリノ混合の確立に貢献した長基線ニュートリノ振動実験である。申請者は、OPERA 実験の ν_e 事象の検出能力を改善できれば、先行の短基線ニュートリノ振動実験の結果を直接検証できることに着目し、 ν_e 検出能力の向上を軸とした研究を行った。

まず従来の解析法では、ニュートリノ振動の感度に大きく寄与する低エネルギー ν_e 事象の検出効率が著しく低いことを指摘し、検出効率の向上に取り組んだ。従来比で約 70 倍高速の飛跡読取装置を用いることで、反応点の下流を従来比 50 倍の体積領域にわたって読み取り、電磁シャワーを高効率で検出する手法を考案した。

また、検出効率向上に伴い増加する π^0 粒子由来のガンマ線による背景事象を、放出角、運動量、エネルギー損失などの特徴量の複合利用により、 ν_e 由来の一次電子と分別する手法を考案した。この手法は、背景事象の 98% を除去しつつ、低エネルギー領域での ν_e 検出効率を、従来比で 1.25 倍から 1.7 倍向上させた。また従来比で約 50 倍以上に増えた飛跡データを効率的に解析するために、目視確認のための飛跡データビューワーならびに原子核乾板の目視観察のためのシステムを開発・実用化した。

これら手法を、振動解析の感度向上への寄与が大きい ECC 上流部分の 99 事象に適用し、48 事象から電磁シャワーを検出、その内の 1 事象を ν_e と同定した。またそれ以外の検出された電磁シャワーの事象数および特徴が、 π^0 粒子由来のガンマ線事象の期待値と良く一致していることから、 ν_e 検出効率推定の妥当性を示した。さらに従来の観測データに今回の観測結果を加えて、3+1 ニュートリノ混合モデルでの解析を行い、先行実験の許容領域において従来比で 17% の改善となる $\sin^2 2\theta_{\mu e} > 0.016$ の領域を排除した。

この研究結果は、LSND、MiniBooNE の結果が 1 種類のステライルニュートリノの存在によって説明される可能性をより強く制限した学術的価値のあるものであり高く評価できる。また参考論文は、OPERA 実験のニュートリノ振動解析の物理結果に関する学術的価値の高いものである。以上の理由により、申請者は博士(理学)の学位を授与される十分な資格があるものと認められる。