

学位申請論文公開講演会

日時：2023年2月22日(水) 10:00~

申請者：早川 友博 (F研)

場所：物理会議室 (C207)

コロナ感染拡大で急遽オンラインに切り替わる可能性があります。公聴会への参加を希望される方は主査に事前にご連絡ください。

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

主論文の要旨

ニュートリノに質量があることを示すニュートリノ振動現象の研究は、その存在の検証、主要パラメータの測定の段階を経て、現在 CP 対称性の破れを検証する段階に入っている。一方で 2001 年に LSND 実験、2010 年代には MiniBooNE 実験が通常のニュートリノ振動では説明の出来ない電子ニュートリノ (ν_e) 事象の超過を報告しており、未発見のステライルニュートリノを介した振動の可能性が議論されている。

申請者はタウニュートリノの出現をとらえてニュートリノ振動の最終検証を行った OPERA 実験の持つ電子ニュートリノ検出能力に着目し、LSND や MiniBooNE の検証を行った。

OPERA 実験のニュートリノ検出器である Emulsion Cloud Chamber (ECC) は原子核乾板と鉛板からなる構造を持っているが、従来の解析手法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 事象について、特に ECC 上流で発生した場合に検出効率が著しく低下するという問題があった。この改善のために、申請者は従来比で約 70 倍高速化された読み取り装置 Hyper Track Selector (HTS) を用いて、反応点下流を原子核乾板 20 枚の領域にわたって読み取り、その中に記録された全飛跡の中から電子シャワーを検出する手法を開発、OPERA 実験のデータに適用した。

ECC 中にはニュートリノ反応と無関係な宇宙線や自然放射線由来のコンプトン散乱などで生じた電子などのノイズ飛跡が高密度に記録されている。申請者はモンテカルロシミュレーションによって ECC 中の低エネルギー電磁シャワーの振る舞いを検証し、円錐様に発達するシャワーの飛跡毎の位置、角度情報を用いてノイズを除去しつつ高効率に電磁シャワーを検出する手法を考案した。また反応点から発生する π^0 由来のガンマ線による物理的背景事象を処理するために、飛跡の運動量など複数の特徴量の複合利用による ν_e との識別手法を確立し、これらの背景事象の 98% を除去した。さらにこの手法は 3D 飛跡ビューアと顕微鏡を用いたニュートリノ反応の目視確認によるノイズ飛跡や背景事象の除去を必要とする。しかし従来のツールは 50 倍に拡大したスキャン面積での膨大な飛跡情報に対応できなかったため、より大規模な運用に堪えるものを新たに開発した。

この手法を、特に感度への寄与の大きい ECC 上流側で発生した 99 事象に限定して適用し、48 事象から電磁シャワーを検出、うち 1 事象を新規 ν_e 候補と判定した。検出された電磁シャワーの特徴はシミュレーションから予測される π^0 由来のガンマ線事象と一致しており、 ν_e 検出効率推定の妥当性に根拠を与えている。

最後にこの結果を用いて質量差 Δm_{41}^2 と混合角 $\sin^2 2\theta_{\mu e}$ のパラメータ空間での上限を、シミュレーションと観測のエネルギースペクトル比較に基づく尤度法を用いて求め、LSND、MiniBooNE 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。これにより LSND、MiniBooNE の結果が 1 種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はより強く否定されることとなった。