

論文要旨

基礎物理学教室

6412017 牧野 隆起

論文題目

OPERA 型エマルジョン検出器を用いたニュートリノ反応の基礎研究

論文要旨

近年、ニュートリノ物理は大きく進展した。1998年のスーパーカミオカンデによる大気ミューニュートリノ欠損の発見に端を発したニュートリノ振動の研究は加速器ニュートリノを用いた検証を経て、3種のニュートリノには混合があること、そして異なった質量をもつことが明らかになった。そのうち2つの混合角 θ_{12} と θ_{23} はそれぞれ太陽ニュートリノ振動と大気ニュートリノ振動から決定できた。さらに世界中で様々なニュートリノ振動実験が行われ、2012年、T2K実験と原子炉実験により、第3の混合角 θ_{13} も発見された。この値が予想以上に大きかったことから、レプトンセクターにおけるCP対称性の破れ検証に向けて実験準備を始める機運が高まっている。それには1 GeV前後の低エネルギーニュートリノを用いた実験が最適である。しかし、低エネルギー領域でのニュートリノ反応は、高エネルギー領域の深部非弾性散乱のように単純ではなく、準弾性散乱や共鳴反応などを含み、それぞれの反応断面積も正確には測定できていない。標準的な3つのフレーバーのニュートリノ振動の枠組みを越えた別種のニュートリノの存在を示唆する現象も報告されている。したがって、これらの問題を解決し、放出粒子を全て精密測定できる実験が強く望まれている。

長基線ニュートリノ振動実験 OPERA は、ミューニュートリノからタウニュートリノへのニュートリノ振動を出現モードで観測することを目的としている。欧州原子核研究機構 CERN から平均 17 GeV のミューニュートリノビームを 730 km 離れたグランサッソ研究所内に建設された OPERA 検出器に照射し、ニュートリノ振動により出現するタウニュートリノの反応で生成されたタウ粒子飛跡の折れ曲がりや原子核乾板で直接検出する。現在までに3例のタウニュートリノ反応候補が検出された。この実験の解析で新たなタウニュートリノ反応事象検出を目指すとともにニュートリノ反応事象の基礎データを蓄積することは将来計画の低エネルギー実験の参考となる。我々はニュートリノ反応由来の飛跡を下流からエマルジョン検出器(ECC)中を逆追跡する仕事を272事象担当した。この272事象の逆追跡作業の経過を事象ごとに調査し、ニュートリノ反応を検出できる割合やできない原因を考察した。181事象は検出器中で飛跡が止まり、反応点探索を行った130事象の内、21事象はデータ取得範囲外に反応点があり、再度飛跡データを取得することになった。86事象に対してはタウ崩壊探索を行った。飛跡の角度変化を分析し、電磁散乱で説明できない角度・位置変化がある飛跡はカットし、ニュートリノ反応点との最近接距離が 500 μm 以内の飛跡を選別して目視確認を行った。荷電カレント反応から放出されるミューオンの源が不明な事象は、タウまたはチャーム崩壊の可能性があるので、大角度飛跡読取装置(FTS)で特別な探索を行い、4事象中2個のミューオンの源を突き止めることができた。

さらに、ECC構造での低エネルギー電子の振る舞いの研究も進めた。将来計画のニュートリノ実験では振動後の電子ニュートリノ反応により生成される電子をECC中で捉える必要があるが、制動放射、電子対生成、多重電磁散乱が複雑に絡み合い、低エネルギー電子の同定は困難な課題である。そこで、大型放射光施設(SPring-8)のレーザー電子光実験施設(LEPS)において、2GeV/c、1GeV/c、0.5GeV/c、0.25GeV/cの電子ビームを照射した原子核乾板を用いて分析した。まず、各ビームの照射位置を中心に1.6cm×1.2cmの範囲の飛跡を高速自動飛跡読取装置(UTS)で測定した。過去の経験から90%以上の効率で認識できる5枚のデータを用いて再構成した飛跡について、FTSで特別探索を実施し、その飛跡を目視で確認した。その結果、大角度電子を含めて再構成した場合、角度範囲を広げるにつれて検出率が上がることが確認できた。