

論文要旨

東邦大学 大学院 理学研究科 物理学専攻
基礎物理学教室
氏名 6413008 西村 秋哉

論文題目

タウ崩壊事象における π^- ビームを用いた高統計のためのハドロンバックグラウンドの研究

論文要旨

素粒子の一種であるニュートリノは、素粒子物理学の基礎理論である標準理論において質量がゼロだと仮定されてきた。1998年、スーパーカミオカンデ実験においてニュートリノの種類(フレーバー)が飛行中に別の種類へ変化してしまうニュートリノ振動($\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$)の発見はそれまで質量がゼロであると考えられてきたニュートリノに質量が存在することを示すこととなった。

長基線ニュートリノ振動実験 OPERA 実験は、スイスとフランスの国境にある欧州原子核研究機構 (CERN) から平均 17 GeV/c の ν_μ ビームを照射し、730 km 離れたイタリア国立グランサッソ研究所の地下 1000 m に設置された原子核乾板を主とした検出器にて、振動後の ν_τ から崩壊する τ 粒子を観測する。OPERA 実験は 2008 年から本格的な実験を開始し、計 5 年間ビーム照射が行われた。そして 2014 年 12 月 5 日までに 4 例の τ 崩壊事象候補を発表したが、これはニュートリノ振動したニュートリノの反応を出現型で直接的に示した、世界で初めての成果である。これまでの成果により、ニュートリノ振動の直接観測の有意度は目標である 4σ を達成した。一方で、 τ 崩壊事象のバックグラウンドを低下させることによって、有意度を高める研究も行なっており、そのなかでハドロン衝突バックグラウンドについて研究を行った。

ハドロン衝突現象は、荷電粒子であるハドロンが標的の原子核に衝突をする現象である。そしてこの現象がニュートリノ反応から生成されたハドロンで起こり、かつ 1, 3 本の荷電粒子を放出すると、 τ 崩壊のバックグラウンドになる。 τ 崩壊分岐比において上記への崩壊モードは約 65% になるため、このバックグラウンドの詳細解析と理解は重要である。ハドロンバックグラウンドとタウ崩壊の分離のひとつの指標として、横運動量というものが用いられている。粒子の崩壊事象と粒子の鉛原子核による散乱では、横運動量に差が出るため、OPERA 実験では運動量及び横運動量を用いてシグナル領域を設定し識別している。また、このハドロン衝突バックグラウンドは、シミュレーション (FLUKA) を用いて見積もられている。このシミュレーションの正当性を確かめるための実験を、本研究室で OPERA 実験とは別に運動量 2, 4, 10 GeV/c の π^- ビームが照射された原子核乾板の解析を行い、50% の誤差を計上していたものを 30% まで低減が可能となった。

一方で、使用した原子核乾板の枚数が少なかったために統計量はまだ十分とは言えない状態である。そのため、2012 年には CERN にて新たにビーム照射実験を行い、OPERA 実験において特に興味のある運動量領域 2, 3, 4, 5, 6 GeV/c のハドロン反応についてさらに統計量を増やすべく解析を行った。これまでのハドロンバックグラウンド解析との特に大きな違いはビーム上流側に運動量毎に CS (Cangeable Sheet) を使っていることである。これまでは運動量を分離するのにビーム角度を用いていたがこの方法ではビームの染み出しで角度が混ざり完全に分離することができなかった。しかし今回の方法ではそれぞれの運動量の CS を繋ぐことでビームの運動量を特定した状態で照射ビームを抽出することが可能となった。また照射ビームの efficiency を確保するために CS とは別に 4 枚の原子核乾板 (Special Sheet) を用いた。本研究では各運動量の照射ビームを抽出し、それぞれのビームを掘り下げて衝突反応点を探索し、衝突反応数、平均自由行程を求めた。また、それぞれの衝突反応点から二次粒子を探索し、二次粒子放出数、放出角、を現在求めており、その後運動量と横運動量の関係から、タウ崩壊のバックグラウンドとなる確率を求めていく。