

論文内容の要旨

Limits on $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_{sterile}$ Oscillations by the π^0/μ Measurement in the Water Cherenkov Detectors

(水チェレンコフ型検出器での π^0/μ 測定による $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_{sterile}$ 振動への制限)

中山 祥英

1998年、スーパーカミオカンデグループにより、大気ミューオンニュートリノの振動の証拠が報告された。しかしその結果では、ミューオンニュートリノが、タウニュートリノとステライルニュートリノのどちらへ振動しているかを区別することはできなかった。この2つの振動モードを区別するために、スーパーカミオカンデグループは、中性カレントおよび物質効果によって生じる、天頂角分布の差についての研究を行った。この差がよく見えるような3種類のデータを用いて解析を行った結果、ステライルニュートリノへの振動の可能性は、99%信頼水準で棄却された。

2つの振動モードを区別する別の方法として、我々は、中性パイオン事象の数とミューオン事象の数の比である $R_{\pi^0} = (\pi^0/\mu)_{\text{Data}} / (\pi^0/\mu)_{\text{MC}}$ をスーパーカミオカンデで測定した。単一の中性パイオンのみが検出されるような事象は、その多くが中性カレント反応による事象であるため、ステライルニュートリノへの振動がおこっている場合には、タウニュートリノへの振動の場合にくらべて、 R_{π^0} の値が小さくなる。 R_{π^0} 測定の不定性は約20%と見積もられた。この不定性は、おもにパイオンの反応断面積と酸素原子核内での核内効果から来ている。20%という値は、ステライルニュートリノへの振動があった場合の中性カレント反応の減少率と同程度であるため、これまでは2つの振動モードを区別することができなかった。

我々のシミュレーションの正しさを確かめ、 R_{π^0} 測定の不定性を減らすために、我々は、K2K実験の前置検出器である1kt水チェレンコフ型検出器で R_{π^0} を測定した。その結果は、

$$R_{\pi^0}^{1\text{kt}} = \frac{(\pi^0/\mu)_{\text{Data}}}{(\pi^0/\mu)_{\text{MC}}} = 1.00 \pm 0.02 \text{ (data stat.)} \pm 0.09 \text{ (sys.)} \quad (1)$$

となり、我々のシミュレーションによる予測は、測定の結果と非常によく一致していることを確かめた。さらに、この測定の不定性は約9%と見積もられた。

我々は、この9%の不定性という結果を、ニュートリノエネルギーが500 MeV から 2500 MeV の範囲で、スーパーカミオカンデでの R_{π^0} に適用した。この範囲でのみ適用したのは、1kt が検出した中性パイオン事象のほとんどが、そのエネルギー領域のニュートリノの反応によって生じているからである。これにより、スーパーカミオカンデでの R_{π^0} 測定に対する不定性は、20%から14%にまで減らすことができた。この不定性を用いると、スーパーカミオカンデで有効日数 1489.2 日の間に観測されたデータによる結果は、

$$R_{\pi^0}^{\text{SK}} = \frac{(\pi^0/\mu)_{\text{Data}}}{(\pi^0/\mu)_{\text{MCno osc}}} = 1.47 \pm 0.07 \text{ (data stat.)} \pm 0.21 \text{ (sys.)} \quad (2)$$

となり、我々のデータがニュートリノ振動がない場合の予測とは一致していないことを示している。一方、2つの振動モードそれぞれの場合の予測値は、

$$R_{\pi^0}^{\text{MC}} = 1.44 \quad \text{for } \nu_\mu \leftrightarrow \nu_\tau \text{ 振動} \quad (3)$$

$$R_{\pi^0}^{\text{MC}} = 1.19 \quad \text{for } \nu_\mu \leftrightarrow \nu_s \text{ 振動} \quad (4)$$

となり、先程の我々の測定結果は、タウニュートリノへの振動の場合の予測とより良く一致していることがわかった。

我々の解析は、物質効果の影響を受けないエネルギー領域のニュートリノによる事象についておこなわれたが、その結論は、物質効果による2つの振動モードの差を利用するためにより高いエネルギー領域のニュートリノによる事象を用いた解析の結果と一致するものである。