

氏 名 全 恩 珠

学位（専攻分野） 博士(理学)

学 位 記 番 号 総研大甲第655号

学位授与の日付 平成15年3月24日

学位授与の要件 数物科学研究科 素粒子原子核専攻

学位規則第4条第1項該当

学 位 論 文 題 目 Study of neutrino-oxygen quasi-elastic scattering with the K2K fine-grain detector and determination of the axial vector mass M_p

| | | |
|-------------|--------|--------------|
| 論 文 審 査 委 員 | 主 査 教授 | 中村 健藏 |
| | 教授 | 赤石 義紀 |
| | 教授 | 今里 純 |
| | 助教授 | 作田 誠 |
| | 助教授 | 伊藤 好孝 (東京大学) |

Abstract

Study of neutrino-oxygen quasi-elastic scattering with the K2K fine-grain detector and determination of the axial vector mass M_A

K2K (KEK-to-Kamioka) experiment is the first accelerator-based neutrino oscillation experiment with hundreds of km neutrino path length. The aim of the K2K experiment is to confirm the neutrino oscillations discovered by Super-Kamiokande in 1998. The experiment consists of the neutrino beam line, a set of beamline monitors, a set of near neutrino detectors, and a far neutrino detector Super-Kamiokande (SK). The near detectors, located at approximately 300 meters away from the target, consists of a 1kton water Cherenkov detector, a scintillating fiber tracking (SciFi) detector, lead-glass counters and a muon range detector. The near detector at the KEK-site measures the properties of neutrino beam, such as the profile, flux, and energy spectrum, precisely just after production. The K2K experiment observed indications of neutrino oscillations using 56 events observed at SK: a reduction of neutrino flux together with a distortion of the energy spectrum; the probability that the observed spectrum at SK is explained by statistical fluctuation without neutrino oscillation is less than 1%.

In this thesis, we study the neutrino-oxygen quasi-elastic scattering with the K2K fine-grain detector and determine the axial vector mass (M_A) which describes the axial-vector form factor. We assume that the vector form factor is the same as that measured in the electron nucleon scattering (CVC hypothesis). We use water as target material for both near detectors and SK to minimize the systematic errors in the oscillation analysis. In addition, we use all neutrino-induced events at SK for the oscillation analysis including low q^2 region, where there are most of the events and the nuclear effect is expected to be significant. Thus, it is important to understand the neutrino-oxygen cross sections, both quasi-elastic and inelastic, down to the low q^2 region to obtain the neutrino spectrum for the oscillation analysis.

We collected more data of neutrino-nucleus interactions than many past experiments using the nuclear target. This is also the first study of the neutrino-oxygen interactions in the few GeV region which examined the nucleon form factor in the low q^2 region and estimated the axial vector mass (M_A). The axial vector mass (M_A) with oxygen target, thus estimated in this thesis, is essential to estimate the systematic errors in the neutrino oscillation analysis. It is important to note that the axial vector mass (M_A) has been determined in the same experiment as in the neutrino oscillation experiment.

We used two methods to estimate the axial vector mass (M_A), flux-dependent method and flux-independent method. The former method uses both the absolute cross section and shape of the quasi-elastic interaction, while the latter method does not rely on the cross section, but only the shape. We tested both methods and obtained the consistent results. We give the result with more conservative latter method. Further, we obtain M_A with q^2 cut and without q^2 cut. If we exclude the events with $q^2 < 0.2$ (GeV/c^2), then we can obtain M_A with smaller nuclear effects. Thus, we have determined

$M_A = 1.14 \pm 0.08$ (stat.) ± 0.10 (sys.) (GeV/c^2). This value is consistent with that estimated with other nuclear target within the error.

When we use all the events in the fit, including low q^2 region, we obtain

$M_A = 1.24 \pm 0.06$ (stat.) ± 0.16 (sys.) (GeV/c^2). This value is consistent with the value ($1.1 \text{ GeV}/c^2$) used in the oscillation analysis.

Further, we evaluated quantitatively Fermi momentum, a binding energy and the nuclear rescattering probability in oxygen used in our neutrino interaction model (NEUT), by referring to the past electron-oxygen and electron-carbon interaction data. The present study has given validation of input parameters to the Monte Carlo calculation and the oscillation analysis.

論文の審査結果の要旨

ニュートリノと核子の反応の研究には、通常、標的として原子核が用いられる。このため、素過程の反応断面積を得るためには原子核の効果を評価し、補正する必要がある。特に、ニュートリノのエネルギーが低く、原子核の束縛エネルギーが無視できない場合や、運動量移行が小さくパウリの排他律の効果が無視できない場合、原子核の効果は顕著である。

本博士論文のテーマは、GeV領域のミューニュートリノと酸素原子核との準弾性散乱 (quasi-elastic scattering) の研究であり、対応する素過程は $\nu_{\mu} + n \rightarrow \mu^{-} + p$ である。この研究は、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) の 12GeV 陽子加速器で発生させたニュートリノビームを 250km 離れた岐阜県神岡町にある東京大学宇宙線研究所の巨大水チェレンコフ検出器スーパーカミオカンデにむけて発射し、ニュートリノ振動を研究する

K2K(KEK-to-Kamioka) 長基線ニュートリノ振動実験の前置検出器を用いて行われたものである。標的としては水が用いられた。ミューニュートリノと酸素原子核との準弾性散乱のデータ取得には、測定器として20層の新地レーティングファイバー検出器と水標的の入ったアルミの水タンクを交互に配置したSciFi検出器、鉛ガラス検出器、及びドリフトチェンバー層と鉄板を交互に配置したミュー粒子飛程検出器が用いられた。この実験でGeV領域のニュートリノ・原子核反応としては、これまでで最も多量の、また、酸素を標的とする初めてのデータが得られた。

K2K実験では、ニュートリノ振動の解析にニュートリノ反応を記述するモンテカルロプログラムを使用しており、その中には原子核効果を取り入れられている。申請者はデータの解析に先立ち、まずこのニュートリノモンテカルロがフェルミ運動量、束縛エネルギー、終状態における陽子の rescattering を考慮した原子核効果を正しく記述しているかどうかを、lepton+p の終状態がニュートリノ・原子核反応と同じである。