



Doctoral Thesis

Evaluation of particle yields in 30 GeV proton-carbon inelastic interactions for estimating the T2K neutrino flux

Author(s):

Strabel, Claudia

Publication Date:

2011

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-006511036> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 19538

**Evaluation of Particle Yields
in 30 GeV Proton–Carbon Inelastic Interactions
for Estimating the T2K Neutrino Flux**

A dissertation submitted to
ETH Zurich

for the degree of
Doctor of Sciences

by

Claudia Strabel

Dipl. Phys. Goethe University Frankfurt/M.

Born on 7th of July, 1982

Citizen of Germany

Accepted on recommendation of
Prof. André Rubbia, examiner
Prof. Günther Dissertori, co-examiner

2011

Abstract

The NA61/SHINE (SPS Heavy Ion and Neutrino Experiment) experiment at the CERN SPS combines a rich physics program in various fields. One of its main purposes is to perform hadron production measurements in proton–carbon interactions targeted for an accurate neutrino flux prediction of the T2K experiment in Japan.

T2K is a long baseline neutrino oscillation experiment at J-PARC, Japan, with the aim to precisely measure the $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ appearance and ν_μ disappearance. To generate neutrinos, a high intensity 30 GeV proton beam impinging on a 90 cm long carbon target is used, whereby hadrons (π , K , etc) are produced, which decay into neutrinos ($\nu_{\mu,e}$). The neutrino flux is then measured 2.5° off-axis, both, in a near detector, located 280 m behind the target, and in the 295 km far away Super-Kamiokande detector (SK). Neutrino oscillations can be probed by comparing the neutrino flux measured at SK to the one predicted at SK. In order to predict the flux at SK one uses the near detector measurements and extrapolates them with the help of Monte Carlo (MC) predictions to SK. Up to now, these MC predictions depend on hadron production models of deficient predictive power. For more precise predictions, measurements of the hadron production off the carbon target are essential to tune the available MC codes. The aim of the NA61/SHINE measurements for T2K is to provide these hadro-production measurements.

The NA61 detector is a large acceptance hadron spectrometer at the CERN SPS. Its main components represent four large volume time projection chambers (TPCs), which provide high momentum resolution and good particle identification (PID) via specific energy loss measurements. The PID capability of the TPCs is complemented through time-of-flight measurements of various detector arrays. Two carbon targets of different lengths are used, a 2 cm long target, the so called thin target, and a 90 cm long T2K replica target. The latter allows to study the full particle yield in the T2K target, including primary as well as higher order interactions, while the thin target allows to evaluate the primary particle production in proton–carbon collisions without distortions due to target reinteractions. The proton–carbon cross section measurements are not only important for determining the direct contribution—the largest one—to the neutrino flux in T2K, but are of great interest on their own right.

During the pilot run in October 2007 approximately 660k events with the thin target and 230k events with the T2K replica target were registered with a 30 GeV proton beam. Upon successful completion of the test run, efforts were joined for the calibration and analysis of the thin target data to extract first results on the inclusive particle cross sections and the mean

multiplicities in inelastic interactions.

For the determination of the inclusive hadron production and the mean multiplicities from the measured particle yields, various steps of normalization and corrections are indispensable. These steps followed to obtain the normalized spectra of the different particle types are the main subject of this thesis and will be described in detail. One of the main results is the determination of the total inelastic proton–carbon cross section.

Zusammenfassung

Das NA61/SHINE (SPS Heavy Ion and Neutrino Experiment) Experiment am CERN SPS umfasst ein umfangreiches Forschungsprogramm in verschiedenen Bereichen der Physik. Eines seiner Hauptziele stellt die Messung der Hadronenproduktion in Proton–Kohlenstoff Kollisionen für eine präzise Vorhersage des Neutrinoflusses des T2K Experiments in Japan dar.

T2K ist ein Neutrinooszillationsexperiment am J-PARC in Japan, welches das Ziel verfolgt die $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ und $\nu_\mu \rightarrow \nu_{x \neq \mu}$ Oszillation genau zu messen. Mit Hilfe eines hochenergetischen Protonenstrahls (30 GeV), der auf ein 90 cm langes Kohlenstofftarget gerichtet ist, werden Hadronen (π , K , etc) produziert, die in Neutrinos ($\nu_{\mu,e}$) zerfallen. Der somit erzeugte Neutrinofluss wird unter einem Winkel von 2.5° zur Strahlachse in einem nahe gelegenen Detektor, 280 m hinter der Hadronenproduktion, und einem weiteren, dem Super-Kamiokande Detektor (SK), 295 km entfernt, gemessen. Neutrinooszillationen werden untersucht, indem man den Neutrinofluss, den man in SK gemessen hat, mit Vorhersagen vergleicht. Letztere basieren auf den Messungen des nahgelegenen Detektors, welche mittels Monte Carlo (MC) Simulationen zum SK-Detektor extrapoliert werden. Bisher hängen diese Simulationen von Modellen zur Hadronenproduktion ab, welche unzulängliche Vorhersagekraft aufweisen. Um genauere Vorhersagen erreichen zu können, werden Messungen der Hadronenproduktion in Proton–Kohlenstoff Reaktionen benötigt. Solch Messungen könnten dann dazu verwendet werden, die MC Simulationen zu präzisieren. Das Ziel des NA61/SHINE Experiments in Bezug auf T2K besteht darin, die gefragten Hadronenproduktionsmessungen durchzuführen.

Der NA61 Detektor ist ein magnetisches Spektrometer am CERN SPS mit einer großen Akzeptanz für geladene Hadronen. Als Hauptbestandteile des Detektorsystems dienen vier großvolumige Spurendriftkammern (TPCs), die eine hohe Impulsauflösung und Identifizierung geladener Teilchen anhand ihres spezifischen Energieverlustes bieten. Die Teilchenidentifikation in den TPCs wird zugleich durch die Flugzeitinformationen einer Reihe von Szintillationsdetektoren unterstützt. Als Target dient ein 2 cm langes Kohlenstofftarget als auch ein 90 cm langes Kohlenstofftarget, das eine Nachbildung des T2K Targets ist. Mit Letzterem kann die gesamte Teilchenproduktion in dem T2K Target untersucht werden, die sich aus den primär und sekundär (oder höherer Ordnung) erzeugten Teilchen zusammensetzt. Mit dem kurzen Target lässt sich die primäre Teilchenproduktion in Proton–Kohlenstoff Kollisionen ohne Verzerrung durch Sekundärwechselwirkungen mit dem Target bestimmen. Die Messung des Proton–Kohlenstoff Wechselwirkungsquerschnitts ist nicht nur bedeutend für die Bestimmung des direkten Beitrags zum Neutrinofluss in T2K, welcher den größten Anteil ausmacht,

sondern ist auch als unabhängiges Resultat von Interesse.

Während der ersten Messzeit von NA61 im Oktober 2007 wurden ungefähr 660k Ereignisse mit dem kurzen Target und 230k mit der T2K Targetnachbildung mit einem 30 GeV Protonenstrahl aufgenommen. Daraufhin wurden die Daten kalibriert und analysiert um erste Ergebnisse für die inklusiven Wirkungsquerschnitte und die mittlere Multiplizität verschiedener Teilchensorten zu erhalten.

Um die inklusiven Wirkungsquerschnitte und die mittlere Multiplizität bestimmter Teilchen aus den gemessenen Teilchenspektren bestimmen zu können, müssen sie entsprechend normalisiert und bezüglich verschiedener Effekte korrigiert werden. Die einzelnen Schritte, die dazu notwendig sind, bilden den Hauptbestandteil dieser Arbeit und werden im Detail beschrieben. Eines der Hauptresultate ist die Messung des totalen inelastischen Proton-Kohlenstoff Wirkungsquerschnitts.