

Doctoral Thesis ETH No. 16290

Search for TeV-Antiprotons in Space from the
Shadowing of Cosmic Rays by the Moon
with the L3+C Detector

A dissertation submitted to the
Swiss Federal Institute of Technology Zürich

for the degree of
Dr. Sc. ETH Zürich

presented by
Yupeng Xu
Master, IHEP Beijing
born April 10th, 1971
citizen of China

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Felicitas Pauss	examiner
Prof. Dr. Jan Olof Stenflo	co-examiner
Dr. Pierre Le Coultre	co-examiner

Abstract

A search for antiprotons in the primary cosmic ray flux has been performed by observing the Moon shadow with the muon data collected by the L3+C experiment at CERN during 1999 and 2000.

The angular resolution of the detector and its dependences on the muon energy and zenith angle are obtained at the event level with a Monte Carlo simulation and the analysis of real double muon data using a maximum likelihood method.

The Moon shadow effect is observed in three muon momentum bands $> 100 \text{ GeV}/c$, $65 - 100 \text{ GeV}/c$ and $30 - 65 \text{ GeV}/c$ with a significance of 7.0σ , 5.8σ and 5.2σ respectively. Two dimensional maximum likelihood analyses are performed, both with binned data and unbinned data. The unbinned method gives a smaller uncertainty on the measurement of the antiproton to proton ratio. For a muon momentum cut at $70 \text{ GeV}/c$, the antiproton to proton ratio is measured to be -0.12 ± 0.11 and an upper limit of this ratio is estimated to be 0.08 (at 90% confidence level) for primary energies in the range 0.8 TeV to 2.4 TeV.

In addition, the above mentioned angular resolution is confirmed by the Moon shadow observation and the pointing precision of the detector is determined to be better than 0.1° .

Zusammenfassung

Im kosmischen Primärstrahlungsfluss wurde nach Antiprotonen gesucht, indem anhand der im L3+C-Experiment am CERN in den Jahren 1999 und 2000 gesammelten Myonendaten der Mondschatten beobachtet wurde.

Die Winkelauflösung des Detektors und ihre Abhängigkeit von Myonenenergie und Zenitwinkel werden auf Ereignisebene durch eine Monte-Carlo-Simulation sowie durch die Analyse realer Daten von Myonen-Doppelereignissen unter Verwendung einer Maximum-Likelihood-Methode bestimmt.

Der Mondschatteneffekt wird in drei Myonenimpulsbändern beobachtet: $> 100 \text{ GeV}/c$, $65 - 100 \text{ GeV}/c$ und $30 - 65 \text{ GeV}/c$. Die Signifikanz beträgt 7.0σ , 5.8σ bzw. 5.2σ . Zwei dimensionsbehaftete Maximum-Likelihood-Analysen werden ausgeführt, sowohl mit Histogrammbildung als auch ohne. Das Verfahren ohne Histogrammbildung liefert für das Antiproton/Proton-Verhältnis eine geringere Messunsicherheit. Das Antiproton/Proton-Verhältnis wird für einen Myonen-Impulsschnitt bei $70 \text{ GeV}/c$ gemessen und beträgt -0.12 ± 0.11 . Für Primärenergien im Bereich von 0.8 TeV bis 2.4 TeV wird für dieses Verhältnis eine obere Schranke von 0.08 angesetzt (Konfidenzniveau: 90%).

Außerdem wird die obengenannte Winkelauflösung von der Beobachtung des Mondschattens bestätigt und die Richtungsgenauigkeit des Detektors zu besser als 0.1° bestimmt.