ETH zürich

ETH Library

Analysis of the prototype synchrotron radiation detector data from shuttle flight STS-108

Doctoral Thesis

Author(s):
Zimmermann, Barbara

Publication date:
2004

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-004817132

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.

Dissertation ETH No. 15512

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Analysis of the Prototype Synchrotron Radiation Detector Data from Shuttle Flight STS-108

A dissertation submitted to the

Swiss Federal Institute of Technology, Zürich

for the degree of

Doctor of Natural Sciences

presented by

Barbara Zimmermann
Dipl. Phys., ETH Zürich
born June 1st, 1973
from
Mitlödi (Glarus), Vilters - Wangs (St. Gallen)

Accepted on the recommendation of
Prof. F. Pauss, examiner
Prof. G. Dissertori, co-examiner

2004

Abstract

The Synchrotron Radiation Detector (SRD) is designed to discriminate high energy cosmic ray electrons from positrons using the synchrotron radiation these particles emit in the Earth's magnetic field. In combination with an electromagnetic calorimeter it represents a powerful tool for the measurement of the cosmic ray electron and positron spectra for energies above some hundreds of GeV. An important feature of the SRD is its efficient rejection of protons which are largely abundant in cosmic rays, being their main component. Since the number and the energy of photons emitted by protons are much lower than for electrons and positrons, protons can be discriminated against. Two or three synchrotron photons with energies in the keV region are expected to be detected by an SRD of a few square metres area when the photons are released by an electron (or positron) of 1 TeV energy. The fact that synchrotron photons are emitted tangentially to the particle's trajectory with a very small spread provides a distinct signature for a synchrotron event, since the emitted photons impinge on the detector along a straight line. The relative position of the primary particle and the related synchrotron photons indicates the sign of the charge.

Though the time and spatial correlation between synchrotron photons and primary particle favours the background suppression to a certain extent, the feasibility of the SRD is still strongly dependent on the background consisting of electrons and photons in the keV energy range. The lack of precise measurements with respect to the electron contribution to the background rendered it necessary to fly a small experiment, called Prototype Synchrotron Radiation Detector (PSRD), as a precursor on board of a space shuttle. During the twelve days lasting mission in December 2001, a total of 110 hours of background measurements were acquired.

The main component of the PSRD used to perform the background measurement consists of twelve scintillation detectors (YAP) with an energy range from 1 keV to 100 keV for photons. The range for the energy deposited by electrons reaches up to 2 MeV. The discrimination between photons and electrons was not foreseen and is thus very limited. In addition to the main detector, a second array of scintillation detectors was installed in the PSRD to measure photon rates including higher energies not accessible by the main component. By means of these detectors a certain possibility to discriminate between charged particles and photons was possible.

The position dependent strength of the Earth's magnetic field, the influence of the sun due to its high activity, and different shuttle attitudes led to a variety of measuring conditions. The related spectra and rates are presented and compared. They show that the contribution of solar X-rays is dominant in the energy range below 25 keV and evokes an increase of this rate in the equatorial region of more than three orders of magnitude. In the energy window proposed for the SRD, ranging from 2.5 keV to 100 keV, the integral background rate measured in the equatorial plane under the exclusion of solar X-rays is within a factor of three compatible with the diffuse photon background. This allows for an operation of the SRD in this region with a proton rejection of at least $2 \cdot 10^{-5}$ (respecting the power of the SRD, solely) when the detector is not exposed to solar X-rays. The different magnetic field conditions outside the equatorial region entail an increase of the rate of one to two orders of magnitude or even more and make a proper data taking of the SRD impossible.

Zusammenfassung

Mit dem Synchrotron Radiation Detector (SRD) können hochenergetische Elektronen und Positronen der kosmischen Strahlung anhand der Synchrotronphotonen, die sie im Erdmagnetfeld emittieren, unterschieden werden. In Kombination mit einem elektromagnetischen Kalorimeter stellt der SRD einen leistungsstarken Detektor für die Messung von Spektren kosmischer Elektronen und Positronen dar. Ein erheblicher Vorteil ist dabei die effiziente Unterdrückung von Protonen, die in grosser Menge in der kosmischen Strahlung vorhanden sind und ihre Hauptkomponente ausmachen. Denn sowohl die Anzahl wie auch der Energiebereich der abgestrahlten Synchrotronphotonen sind viel tiefer als bei Elektronen und Positronen. Mit einer Detektorfläche von einigen Quadratmetern sind pro TeV Elektron (Positron) durchschnittlich zwei oder drei Synchrotronphotonen mit Energien im keV - Bereich zu erwarten.

Ein Synchrotronereignis zeichnet sich durch eine klare Signatur aus, da die Photonen tangential zur Bahn des Primärteilchens und mit kleinem Öffnungswinkel emittiert werden und daher entlang einer Linie auf den Detektor auftreffen. Aus der relativen Position von Photonen und Primärteilchen kann man Rückschlüsse auf das Vorzeichen der Teilchenladung ziehen.

Auch wenn die starke zeitliche und räumliche Korrelation, die zwischen Synchrotronphotonen und den emittierenden Primärteilchen besteht, genutzt werden kann, um Zufallskoinzidenzen von hochenergetischen Teilchen und nicht korrelierten, niederenergetischen Ereignissen zu unterdrücken, so hängt die Machbarkeit des SRDs doch stark vom Untergrund ab. Weil im Gegensatz zum diffusen Photonuntergrund nur ungenaue Kenntnisse des Elektronuntergrunds existieren, wurde ein Vorexperiment, der Prototype Synchrotron Radiation Detector (PSRD), an Bord eines Shuttles geflogen. Im Verlaufe der zwölftägigen Mission im Dezember 2001 wurden während 110 Stunden Untergrundmessungen durchgeführt. Die Hauptkomponente des PSRD besteht aus zwölf (YAP -) Detektoren, welche für Photonen einen Energiebereich von 1 keV bis 100 keV abdecken. Der Messbereich für Elektronen ist grösser und erstreckt sich bis auf 2 MeV. Die Unterscheidung zwischen geladenen Teilchen und Photonen ist nicht vorgesehen und ist daher ziemlich beschränkt. Der Energiebereich wird durch vier zusätzliche Detektoren erweitert, welche eine gewisse Unterscheidung zwischen geladenen Teilchen und Photonen ermöglichen.

Die Positionsabhängigkeit des Erdmagnetfeldes, die variierende Sonneneinstrahlung und die verschiedenen Shuttleorientierungen haben zu unterschiedlichen Messbedingungen geführt. Die dadurch entstandenen Spektren und Raten werden in der Arbeit präsentiert und miteinander verglichen. Sie zeigen, dass der Beitrag der Röntgenstrahlung der Sonne bis zu Energien von 25 keV dominiert und in der Äquatorregion einen Anstieg dieser Raten um mehr als drei Grössenordnungen hervorruft.

Im Energiefenster, das für den SRD vorgesehen ist und sich von 2.5 keV bis zu 100 keV erstreckt, werden Raten gemessen, die innerhalb eines Faktors 3 mit dem diffusen Photonuntergrund übereinstimmen, unter der Bedingung, dass der Detektor nicht der Sonne ausgesetzt war und in der Äquatorregion gemessen wurde. Diese Rate ist tief genug, um den SRD mit einer Protonunterdrückung von mindestens $2 \cdot 10^{-5}$ zu betreiben, wobei nur die Möglichkeiten des SRD selbst in Betracht gezogen wurden. Ausserhalb der Äquatorregion verunmöglicht der starke Anstieg der Rate um etwa zwei Grössenordnungen, hervorgerufen durch veränderte Magnetfeldbedingungen, eine korrekte Datennahme.