

DISS. ETH No. 21464

Analysis of the rare decay $B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ using the Compact Muon Solenoid experiment at CERN's Large Hadron Collider

A dissertation submitted to

ETH ZÜRICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

CHRISTOPH NÄGELI

MSc Physics, ETH Zürich

Date of birth

February 16, 1983

citizen of

Zürich (ZH)

accepted on the recommendation of

Roland Horisberger

Günther Dissertori

2013

Abstract

The first part of this thesis is concerned with the pixel detector readout of the CMS experiment at the LHC. It describes the development of the digital level translator (DLT) application specific integrated circuit (ASIC). The DLT was designed as a replacement for the analog level translator (ALT) ASIC needed to translate the voltage levels sent by the pixel detector modules to the levels required by the linear laser driver, used to drive the optical readout. After the phase I upgrade of CMS, the pixel detector readout chip will digitize the analog pulse height directly on chip. Because of this, the readout is fully digital, and makes different demands on the components used to transfer the signal from the detector to the data acquisition system. The DLT accommodates to these changed demands. This part closes with measurements characterizing the DLT's performance.

The second part of the thesis describes the search for $B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$ and $B^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$ at the CMS detector which have a standard model branching ratio of $(3.23 \pm 0.27) \times 10^{-9}$ and $(1.07 \pm 0.10) \times 10^{-10}$, respectively. Due to the high integrated luminosity the LHC delivered, it is possible to reconstruct and measure very rare decays. In new physics scenarios the branching ratio of these decays might be altered by a relatively large amount that could make it easier to differentiate between new physics and the standard model. This is why searches for rare decays are a corner stone in the search for new physics.

The third part investigates the connection between new physics searches and detector resolution. The capability of a given resolution scenario is investigated using a Monte Carlo simulation for the rare decay $B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$. The performance of each scenario is characterized by the expected upper limit on a hypothetical search for $B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$.

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit ist in drei Teile gegliedert, die sehr unterschiedliche Themenbereiche behandeln.

Der erste Teil beschreibt die Entwicklung des “Digital Level Translator” (DLT), einer anwendungsspezifischen integrierten Schaltung (ASIC), die für den Phase I Ausbau des CMS Pixel Detektors benötigt wird. Er ersetzt dort den bisherigen “Analog Level Translator” (ALT), der die vom Pixel Detektor empfangenen Spannungspegel, kompatibel für den “Linear Laser Driver”, umwandelt. In dieser Ausbaustufe wird der Auslesechip des Pixel Detektors die Pulshöhe direkt digitalisieren, so dass keine analoge Übertragung mehr nötig ist. Dies führt zu geänderten Anforderungen an die einzelnen Komponenten, die das Signal aus dem Detektor zum Daten-Erfassungssystem übermitteln. Der DLT wurde entwickelt um diesen geänderten Anforderungen Rechnung zu tragen. Der Teil schliesst mit Messungen, die zeigen, dass der DLT diese Anforderungen erfüllt.

Der zweite Teil beschreibt die Suche nach den seltenen Zerfällen $B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ und $B^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ am CMS Experiment. Für diese sagt das Standard Model der Teilchenphysik (SM) ein Verzweigungsverhältnis von $(3.23 \pm 0.27) \cdot 10^{-9}$ und $(1.07 \pm 0.10) \cdot 10^{-10}$ voraus. Aufgrund der hohen Luminosität des LHC ist es möglich diese seltenen Zerfälle zu rekonstruieren und zu messen. Erweiterungen des SM sagen für diese Verzweigungsverhältnisse abweichende Werte voraus, die, aufgrund der kleinen Verzweigungsverhältnisse im SM, gut zu erkennen sein sollten. Deswegen ist die Suche nach diesen seltenen Zerfällen ein wichtiger Teil der Suche nach neuer Physik.

Der dritte Teil der Arbeit untersucht den Einfluss der Auflösung des Spurdetektors auf die Sensibilität des Experiments bei der Suche nach neuer Physik. Dies geschieht anhand einer Monte Carlo Simulations-Studie für den seltenen Zerfall $B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$. Verschiedene Auflösungs-Szenarien werden analysiert und ihre Leistungsfähigkeit verglichen.