

Arbeit zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Science

Suche nach dem Zerfall $J/\Psi \rightarrow e^\pm \mu^\mp$ bei LHCb

Normierung über den Kontrollkanal $J/\Psi \rightarrow \mu^\pm \mu^\mp$

Kevin Sedlaczek
geboren in Dortmund

2016

Lehrstuhl für Experimentelle Physik V
Fakultät Physik
Technische Universität Dortmund

Erstgutachter: Dr. Johannes Albrecht
Zweitgutachter: Prof. Dr. Zweitgutachter
Abgabedatum: 04. Juli 2016

Kurzfassung

Deutsch

Abstract

English

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Physikalischer Hintergrund	2
2.1	Das Standardmodell der Teilchenphysik	2
2.2	LFV und der Zerfall $J/\Psi \rightarrow e^\pm \mu^\mp$	3
3	Der Zerfall bei LHC	5
4	Analyse des Kontrollkanals	6
4.1	Datensatz	6
5	Ergebnisse der Analyse	7
A	Ein Anhangskapitel	8
	Literatur	9

1 Einleitung

Die Teilchenphysik beschäftigt sich mit dem Verständnis der Physik auf elementarster Ebene. Dazu gehört die Beschreibung und Vorhersage der Elementarteilchen sowie deren Wechselwirkungen untereinander. Über die letzten Jahrzehnte ist dabei das sogenannte Standardmodell der Teilchenphysik entstanden, welches bis heute die beste Beschreibung in dieser Hinsicht liefert. Dennoch existieren Phänomene, die sich durch das Standardmodell nicht beschreiben lassen: Dunkle Materie oder Neutrinooszillationen sind Beispiele. Die ständige Überprüfung der Vorhersagen also, sowie die Suche nach Physik, die über das Standardmodell hinaus geht sind Aufgaben von Physikern an Teilchenbeschleunigern wie dem LHC (Large Hadron Collider) am CERN.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Suche nach dem *lepton-flavor*-verletzenden (LFV) Zerfall $J/\Psi \rightarrow e^\pm \mu^\mp$, also Physik jenseits des Standardmodells. Dazu werden Daten von dem Experiment *LHCb* aus dem soundso run bei der Luminosität analysiert. Über einen kinetisch vergleichbaren Zerfall, nämlich $J/\Psi \rightarrow \mu^\pm \mu^\mp$ wird hierbei eine zum Signalkanal relative Normierungskonstante α bestimmt. Da der Kontrollkanal ein im SM erlaubter Prozess mit großer Zerfallsbreite ist, lassen sich hierfür deutlich größere Datenmengen nehmen, was zu einer Verringerung statistischer und messungsbedingter Ungenauigkeiten führt. Die Normierungskonstante dient in der Analyse des Signalkanals der Abschätzung eines oberen Limits für die Zerfallsbreite des LFV Zerfalls. Zur Bestimmung dieser Variable werden die Daten für $J/\Psi \rightarrow \mu^\pm \mu^\mp$ selektiert und analysiert [+ blabla].

2 Physikalischer Hintergrund

2.1 Das Standardmodell der Teilchenphysik

Das Standardmodell (SM) der Teilchenphysik beschreibt den Aufbau der Materie, sowie ihre Wechselwirkung auf elementarer Ebene. Sie stellt eine seit vielen Jahrzehnten bestehende und damit vielfältig getestete Theorie dar und unterliegt auch heute weiter regelmäßigen Tests. Allgemein werden zunächst zwei Arten von Teilchen unterschieden: Fermionen (halbzahliger Spin $s = \hbar/2$) (\hbar : reduziertes Plancksches Wirkungsquantum) und Bosonen (ganzzahliger Spin $s = \hbar$). Die Fermionen nach dem Standardmodell sind in drei Generationen von Quarks, sowie drei Generationen von Leptonen unterteilt, wie sie unten aufgeführt sind. Die Leptonengenerationen bestehen hierbei aus einem ganzzahlig (in Einheiten der Elementarladung) geladenen punktförmigen Lepton (e, μ, τ), sowie den dazugehörigen ungeladenen und masselosen Neutrinos ν_e, ν_μ, ν_τ . Auch die Quarks gliedern sich in drei Generationen.

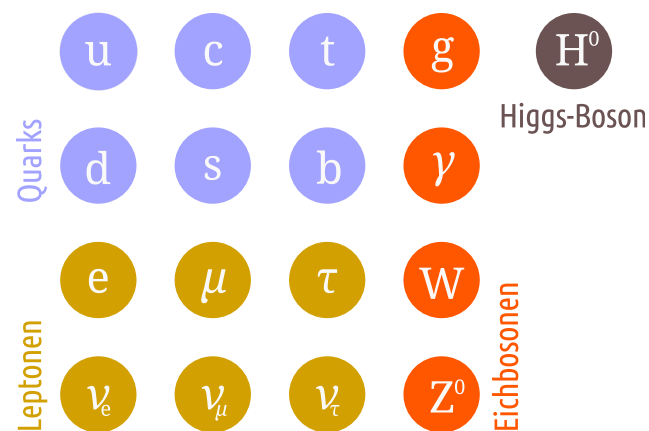


Abbildung 2.1: Die Elementarteilchen im Standardmodell der Teilchenphysik.

Diese erfolgt über die Eigenschaften der Teilchen: die Quarks lassen sich in *up-artige* Quarks mit Ladung $2/3$, sowie *down-artige* mit Ladung $-1/3$ einteilen. Es gilt für diese Darstellung dass die Teilchenmassen zwischen den Generationen von links nach rechts zunehmen.

Im Standardmodell unterscheidet man zwischen drei Wechselwirkungen der Elementarteilchen untereinander: die starke Wechselwirkung zwischen farbgeladenen Teilchen, die schwache Wechselwirkung an welcher alle Elementarteilchen teilnehmen, sowie die elektromagnetische Wechselwirkung, welcher nur elektrisch geladene Teilchen unterliegen. Die letzten beiden lassen sich im Rahmen des SM zur elektroschwachen Wechselwirkung vereinigen. Die Farbladung in der starken Wechselwirkung beschreibt das Konzept einer Quantenzahl deren Existenz zur theoretischen Umsetzung des sogenannten *confinement* dient. *confinement* meint hierbei die Tatsache, dass alle elementaren Teilnehmer der starken Wechselwirkung nur in "farbneutralen" (z.B. Farbe + Antifarbe) Zuständen frei existieren; freie Quarks lassen sich, da sie eine von null verschiedene Farbladung tragen also nicht beobachten.

Die Übertragung der Wechselwirkungen findet über die oben genannten Bosonen statt. Bei der starken Wechselwirkung sind dies die acht verschiedenen Gluonen (g). Sie tragen eine Farbladung und einen ganzzahligen Spin \hbar . Die Austauschteilchen der elektroschwachen Wechselwirkung sind die Photonen (γ) für den elektromagnetischen Teil, sowie für die schwache Wechselwirkung das neutrale Z-Boson und die geladenen W^\pm -Bosonen.

Aus den oben aufgeführten Quarks existieren über Kombination mehrere so genannte Hadronen - also über Resonanz aus Quarks zusammengesetzte Teilchen. Hierbei unterscheidet man die aus Quark und Antiquark bestehenden Mesonen und die aus drei Quarks (Antiquarks) bestehenden Baryonen. Zu den Mesonen zählt beispielsweise auch das J/Ψ mit einem Quarkinhalt von $(c\bar{c})$, während das Proton ein prominenter Vertreter der Baryonen ist. Die meisten der aus den sechs Quarks sowie deren Antiteilchen gebildeten Hadronen sind nicht stabil, sodass sie über eine der oben genannten Wechselwirkungen in andere Hadronen zerfallen. Ähnliches lässt sich auch durch Streuprozesse oder Kollisionen erzielen, wie sie beispielsweise am LHC stattfinden.

Im Standardmodell sind bei all solchen Zerfällen diverse Erhaltungsgrößen zu beachten. Neben den klassischen Größen, wie etwa Energie- oder Impulserhaltung sind für die verschiedenen Wechselwirkungen auch einige Quantenzahlen im Teilchenzerfall invariant. Eines der fundamentalen Konzepte ist die *lepton-flavor*-Erhaltung.

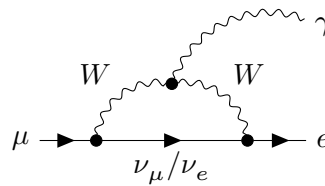
2.2 LFV und der Zerfall $J/\Psi \rightarrow e^\pm \mu^\mp$

Wie in der Einleitung bereits erwähnt, ist der Signalzerfall $J/\Psi \rightarrow e^\pm \mu^\mp$ ein im Standardmodell verbotener Zerfall, weil er die Erhaltung des *lepton-flavor* verletzt. Jedem Lepton wird hierbei gemäß der in Abbildung 2.1 aufgeführten Generationen eine Quantenzahl zugeordnet (der *lepton-flavor*). Elektronen oder Elektronenneutrinos besitzen beispielsweise die Quantenzahl $l_e = 1$, während Myonen $l_\mu = 1$ tragen.

2 Physikalischer Hintergrund

Antiteilchen wird der Wert -1 zugeordnet. So lassen sich Teilchenzerfälle auf die Erhaltung des *lepton-flavor* überprüfen; der Zerfall $J/\Psi \rightarrow e^\pm \mu^\mp$ verstößt hierbei offensichtlich gegen diese Erhaltung.

Es gibt einige theoretische Vorhersagen über Mechanismen und Möglichkeiten der LFV; die meisten davon beschreiben Physik jenseits des Standardmodells. Ein im Standardmodell über Neutrinooszillation möglicher Zerfall ist in der folgenden Abbildung dargestellt.



Da die Masse der Neutrinos nicht verschwindend ist, können so genannte Oszillationen in andere *flavors* stattfinden. Über diesen Mechanismus ist ein Zerfall möglich der an jedem Vertex *lepton-flavor*-erhaltend ist. Da die Massen der Neutrinos allerdings als sehr klein abgeschätzt werden können, sind die Beiträge dieses Zerfallskanals zu gering, als dass sie experimentell nachgewiesen werden können. Experimentelle Evidenz deutete daher auf Physik jenseits des Standardmodells hin. Andere theoretische Beschreibungen gehen etwa von Zerfällen über ein Z' -Boson aus.[2] Auch Prozesse über SUSY Teilchen sind nicht ausgeschlossen[1][3].

3 Der Zerfall bei LHC

4 Analyse des Kontrollkanals

4.1 Datensatz

5 Ergebnisse der Analyse

A Ein Anhangskapitel

Hier könnte ein Anhang stehen.

Literatur

- [1] S. Dimopoulos und H. Georgi. „-e conversion in nuclei and Z physics“. In: *Nuclear Physics B* B193 (1981), S. 150.
- [2] E. Nardi J. Bernabeu und D. Tomasini. „-e conversion in nuclei and Z physics“. In: *Nuclear Physics B* B409 (1993), S. 69.
- [3] N. Sakai. „Naturalnes in supersymmetric GUTS“. In: *Zeitschrift für Physik C Particles and Fields* 11 (1981), S. 153.

Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Abschlussarbeit mit dem Titel „Suche nach dem Zerfall $J/\Psi \rightarrow e^\pm \mu^\mp$ bei LHCb“ selbstständig und ohne unzulässige fremde Hilfe erbracht habe. Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, sowie wörtliche und sinngemäße Zitate kenntlich gemacht. Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Ort, Datum

Unterschrift

Belehrung

Wer vorsätzlich gegen eine die Täuschung über Prüfungsleistungen betreffende Regelung einer Hochschulprüfungsordnung verstößt, handelt ordnungswidrig. Die Ordnungswidrigkeit kann mit einer Geldbuße von bis zu 50 000 € geahndet werden. Zuständige Verwaltungsbehörde für die Verfolgung und Ahndung von Ordnungswidrigkeiten ist der Kanzler/die Kanzlerin der Technischen Universität Dortmund. Im Falle eines mehrfachen oder sonstigen schwerwiegenden Täuschungsversuches kann der Prüfling zudem exmatrikuliert werden (§ 63 Abs. 5 Hochschulgesetz –HG–).

Die Abgabe einer falschen Versicherung an Eides statt wird mit Freiheitsstrafe bis zu 3 Jahren oder mit Geldstrafe bestraft.

Die Technische Universität Dortmund wird ggf. elektronische Vergleichswerkzeuge (wie z. B. die Software „turnitin“) zur Überprüfung von Ordnungswidrigkeiten in Prüfungsverfahren nutzen.

Die oben stehende Belehrung habe ich zur Kenntnis genommen.

Ort, Datum

Unterschrift