

Komplexe Lernleistung

Thema: Auswertung von $Z(0)$ -Zerfällen

Fach: Physik

Fachlehrer: Frau Dr. Koch

Abgabetermin: 12. April 2010

Schule: Gymnasium Dresden Klotzsche

Klasse: 10b

Name : Friederike Krüger

Gliederung

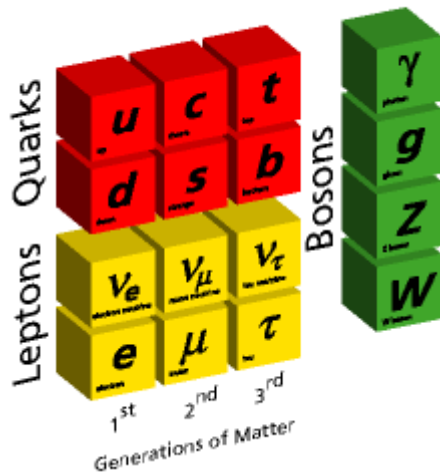
1 Einleitung	3
2 Standardmodell	4
3 Experimente am Cern	6
4 $Z(0)$ -Zerfälle	8
5 Auswerten der Bilder	10
6 Ergebnisse des LEP	14
7 Quellen	15
8 Selbstreflexion	16

1 Einleitung

Meine Arbeit behandelt ein Thema, das den Aufbau unserer Materie beschreibt. Es geht um die kleinsten Teilchen, das Unteilbare. Dieser Bereich ist für den Durchschnittsbürger schwer zu erfassen, nahezu unvorstellbar. Gerade das hat mich an der Quantenphysik schon immer fasziniert. Mein Vater ist von Beruf Physiker und durch ihn entdeckte ich diesen Bereich der Physik. Im Frühjahr 2009 bewarb ich mich um ein Praktikum an der Technischen-Universität Dresden im Bereich Kern- und Teilchenphysik und durfte zwei Wochen lang echten Physikern bei der Arbeit zusehen und selbst einige Dinge ausprobieren, zum Beispiel ein Experiment durchführen. Dort wurde mein Interesse an der Quantenphysik umso mehr geweckt und ich beschloss mich weiter mit dem Thema zu beschäftigen. Daher habe ich mir für meine komplexe Lernleistung ein Thema ausgesucht, das mit Quantenphysik zu tun hat. Hilfreiche Informationen darüber bekam ich von einer CD-ROM, die mir meine Praktikumsbeauftragte gegeben hatte. Auf dieser CD-ROM sind Daten gespeichert, die direkt vom LEP stammen. Das Ziel meiner komplexen Lernleistung ist es, diese Daten auszuwerten und zu erklären, welche Bilder auf welche Ereignisse hindeuten. Bei den Daten handelt es sich um $Z(0)$ -Zerfälle. Weiterhin möchte ich auf die Forschungsarbeit am Cern in der Zeit des LEPs eingehen, auch in Hinblick auf den LHC und schreiben, zu welchen Ergebnissen man für die Teilchenphysik am LEP gekommen ist.

2 Standardmodell

Elementary Particles



/1/

Das Standardmodell der Teilchenphysik fasst die Elementarteilchen und ihre Wechselwirkungen zusammen. Unterteilt werden diese in Materie- und Kraftteilchen, wobei letztere für die Wechselwirkungen verantwortlich sind. Ein weiteres Elementarteilchen ist das Higgsteilchen, das laut dem Standardmodell den Teilchen ihre Masse verleiht. Dieses wurde allerdings noch nicht gefunden.

Insgesamt gibt es 12 Materieteilchen: 6 Quarks und 6 Leptonen./1/

Sowohl Quarks als auch Leptonen sind Spin-1/2 (eine Art eigener Drehimpuls), sie sind also Fermionen. Zusammen bilden sie die Grundbausteine der Materie.

Materieteilchen

Quarks

Quarks sind die Bestandteile von Hadronen. Sie unterliegen allen 4 fundamentalen Kräften der Physik. Sie besitzen eine sogenannte Farbladung. Insgesamt existieren 6 verschiedene Quark-Arten:

Das Up-Quark hat eine Ladung von $+2/3 e$. Sein Antiteilchen ist das Down-Quark mit einer Ladung von $-1/3 e$. Die restlich sind: Strange- und Charm-Quark, Top- und Bottom-Quark. Zu jedem Quark existiert noch ein Anti-Teilchen, das jeweils die entgegengesetzte Ladung besitzt. /2/

Leptonen

. Es existieren sechs Arten:

- das Elektron (Ladung -1)
- das Elektronenneutrino (Ladung 0)
- Myon (Ladung -1)
- Myon-Neutrino (Ladung 0)
- Tauon (Ladung -1)
- Tauon-Neutrino (Ladung 0)

Leptonen unterliegen nur der schwachen Kraft, der Gravitation und, sofern sie eine Ladung besitzen, der elektromagnetischen Kraft. Zu jedem Lepton existiert jeweils ein Antiteilchen.

Die 12 Materieteilchen werden im Standardmodell in 3 Familien unterteilt Die Einteilung in die Familien hängt mit der Masse der Teilchen zusammen:

1. Familie

Sie besteht aus Elektron, Elektronen-Neutrino, Up-Quark und Down-Quark. Aus diesen 4 Elementarteilchen besteht die gesamte sichtbare Materie, da diese Teilchen stabil sind und nicht weiter zerfallen.

2.Familie:

Hierzu gehören Myon, Myon-Neutrino, Strange- und Charm-Quark.

3.Familie:

Hierzu gehören Tauon, Tauon-Neutrino, Top- und Bottom-Quark.

Die Teilchen der 2. und 3. Familie haben nur eine sehr kurze Lebensdauer. Sie sind schwer und instabil und zerfallen innerhalb kürzester Zeit in die leichteren Teilchen der 1.Familie. In Teilchenbeschleunigern können sie künstlich erzeugt werden. /3/

Kraftteilchen und die vier fundamentalen Kräfte der Physik

Alle Kraftwirkungen im Kosmos lassen sich auf die vier fundamentalen Kräfte zurückführen:

Die starke Wechselwirkung

Sie ist verantwortlich für die Bindungen zwischen Protonen und Neutronen im Atomkern und zwischen Quarks in den Hadronen, verbindet also Quarks. Dabei wird die Teilcheneigenschaft „Farbladung“ geändert. Die Eichbosonen zur Übertragung sind die Gluonen. Diese sind elektrisch neutral und besitzen jeweils eine Farbladung, die sich aus „Farbe“ und „Antifarbe“ zusammensetzt. Es existieren 8 verschiedene Arten./4/

Die schwache Wechselwirkung

Diese Kraft kann Energie und Impulse zur Umwandlung von Teilchen geben, wirkt aber auch bei Zerfällen. Sie wirkt nur auf sehr kleinen Abständen. Sie ist um 10^{13} mal schwächer als die starke Wechselwirkung. Austauschteilchen sind hier das Z-Boson und die W-Bosonen.

Bosonen sind Teilchen, die einen ganzzahligen Spin besitzen. Das Z-Boson ist elektrisch neutral während die W-Bosonen je nach Ladung in W^{+} und W^{-} -Bosonen unterteilt werden.

/5/

Die elektromagnetische Wechselwirkung

Diese Kraft wirkt auf alle Teilchen, die eine elektrische Ladung besitzen. Sie hat eine unendliche Reichweite. Das Austauschteilchen ist das Photon (Lichtteilchen). Es ist elektrisch neutral und masselos, und bewegt sich mit Lichtgeschwindigkeit fort. Durch den Austausch von Photonen kommt es zur Anziehung bzw. Abstoßung geladener Teilchen. Außerdem spielt die elektromagnetische Kraft bei dem Zerfall von Teilchen und anti-Teilchen in ein Photon und bei der Produktion von Teilchen und Antiteilchen aus einem Photon eine Rolle. /6/

Die Gravitation

Sie wirkt auch auf Quarks und Leptonen ein, spielt im Mikrokosmos aber keine Rolle.

Deshalb wird sie im Standardmodell nicht berücksichtigt./1/

3 Experimente am Cern

Das Cern ist eine Forschungseinrichtung, die die Zusammensetzung der Materie und die fundamentalen Kräfte der Physik erforscht. Dies geschieht mit Hilfe von Teilchenbeschleuniger und Detektoren. Dabei geht es vor allem darum, Elementarteilchen nachzuweisen und zu erforschen. Das Cern wurde 1954 gegründet und ist ein Verbund vieler Länder zur gemeinsamen Forschungsarbeit./7/

Der Large Electron-Positron Collider (LEP)

Dieser Teilchenbeschleuniger wurde gebaut, um das Standardmodell nachzuweisen. Außerdem sollte die schwache Wechselwirkung erforscht werden, vor allem durch die Erzeugung von Z- und W-Bosonen. Die Hauptfragen, die man durch den LEP beantworten wollte, waren, wie viele Leptonenfamilien existieren, ob es ein Top-Quark gibt, was seine Masse ist und ob das Higgs-Boson existiert. Seit 1976 arbeitete man an der Idee des LEPs, 1980 wurde der Bau des neuen Beschleunigers am Cern beschlossen. Am 14. Juli 1989 fand die erste Beschleunigung von Teilchen in dem gesamten Ring statt. Bis 2000 war der LEP in Betrieb. Er hatte einen Umfang von 27 km und lag zwischen 50 und 175 m unter der Erdoberfläche in einem Tunnel an der Grenze der Schweiz zu Frankreich. Um die Kollisionen zu beobachten hatte der LEP 4 Detektoren:/8/

ALEPH:

Er wies Teilchen nach, die bei der Zerstrahlung von Elektronen und Positronen entstehen.

DELPHI:

Er identifizierte Hadronen, Photonen und Leptonen und konnte dreidimensionale Teilchenspuren erkennen.

L3:

Er wies Elektronen und Photonen nach und war der größte Detektor. /7/

OPAL:

Er registrierte die Ereignisse von Elektron-/Positron-Kollisionen und maß die Reaktionsprodukte. /9/

Der Large Hadron Collider (LHC)

Seit 1994 plante man einen neuen Beschleuniger, der mit neuester Technik höhere Energien als der LEP erreichen könnte. Dieser war der Large Hadron Collider, der am 20. November 2009 (nach anfänglichen Schwierigkeiten) in Betrieb genommen wurde. Ziel des LHC ist es, das Higgs-Boson zu entdecken. Dies soll die Herkunft der Masse erklären. Am LHC gibt es sechs verschiedene Experimente:/10/

ALICE:

Bei diesem Experiment sollen Zustände, die direkt nach dem Urknall vorhanden waren, wieder hergestellt werden. Es handelt sich dabei um das Quark-Gluonen-Plasma, ein Zustand, bei dem die Quarks einzeln existierten, ohne sich zu anderen Teilchen verbunden zu haben. Um dies zu erreichen werden große, schwere Atomkerne (Blei) aufeinander geschossen. Die Kernmaterie soll dabei zusammengedrückt, zerquetscht und erhitzt werden. /11/

ATLAS:

Ein Experiment am ATLAS-Detektor ist der Versuch, das Higgs-Boson nachzuweisen, in dem man Proton-Proton-Kollisionen untersucht. Außerdem will man herausfinden, ob Leptonen und Quarks eine Substruktur besitzen. Der ATLAS-Detektor soll auch nach supersymmetrischen Teilchen suchen, um die vier Grundkräfte zu vereinheitlichen./12/

CMS:

Auch dieser Detektor dient für den Nachweis des Higgs-Bosons durch Proton-Photon-Kollisionen und für die Suche nach Hinweisen auf die Supersymmetrie. Außerdem will man mit ihm die Kollision schwerer Ionen erforschen./13/

LHCb:

Das Ziel dieses Detektors ist die Untersuchung von CP-Verletzungen in den Zerfällen von B-Mesonen. /14/

TOTEM:

Dieser Detektor soll die genaue Größe eines Protons untersuchen. Außerdem soll er die Qualität der beschleunigten Teilchenstrahler untersuchen./15/

LHCf:

Bei diesem Detektor sollen kosmische Teilchen unter Laborbedingungen simuliert werden. /16/

4 Z(0)-Zerfälle

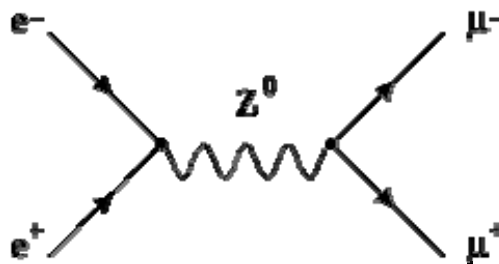
Das Z-Boson ist ein Austauschteilchen der schwachen Wechselwirkung. Es ist elektrisch neutral. Im Teilchenbeschleuniger LEP wurde es dadurch erzeugt, dass man Elementarteilchen kollidieren ließ. Dabei ist es wichtig, dass ein Teilchen Materie und das andere Antimaterie ist. Diese beiden Teilchen vernichten sich gegenseitig zu einem Z-Boson, das nach etwa 3×10^{-25} sek (/Sekunden in ein neues Teilchenpaar, bestehen aus Materie und Antimaterie, zerfällt. Die entstandenen Teilchenpaare sind dabei:

Myon und Antimyon

Elektron und Positron

Tau und Antitau

Quark und Antiquark /18/



/2/ Beispiel Vernichtung von Elektron und Positron in ein Z-Boson und anschließender Z-Zerfall in ein Myon und Antimyon

Wenn ein Z-Boson in zwei neue Teilchen zerfällt können diese im Detektor nachgewiesen und bestimmt werden. Dies geschieht anhand der verschiedenen Spuren, die die neuen Teilchen in den verschiedenen Schichten des Detektors hinterlassen. Eine Rolle spielt dabei auch die Energie der Teilchen, die durch verschiedene Farben gekennzeichnet ist. Diese Energie wird in Giga-Elektronen-Volt (GeV) angegeben. Um die vier möglichen Ereignisse messen zu können, muss der Detektor aus mehreren Schichten aufgebaut sein. Drei Lagen sind für die Identifikation besonders wichtig:

Spurkammer

Die Spurkammer ist gasgefüllt. Geladene Teilchen hinterlassen hier kleine Ionisationswölkchen. Dadurch kann ihre Flugbahn gemessen werden. „Sie bewegen sich in einem Magnetfeld auf einer Kreisbahn. Aus der Krümmung und Richtung der Kreisbahn kann der Impuls und die Ladung des Teilchens bestimmt werden.“ Neutrale Teilchen können in der Spurkammer nicht nachgewiesen werden./19/

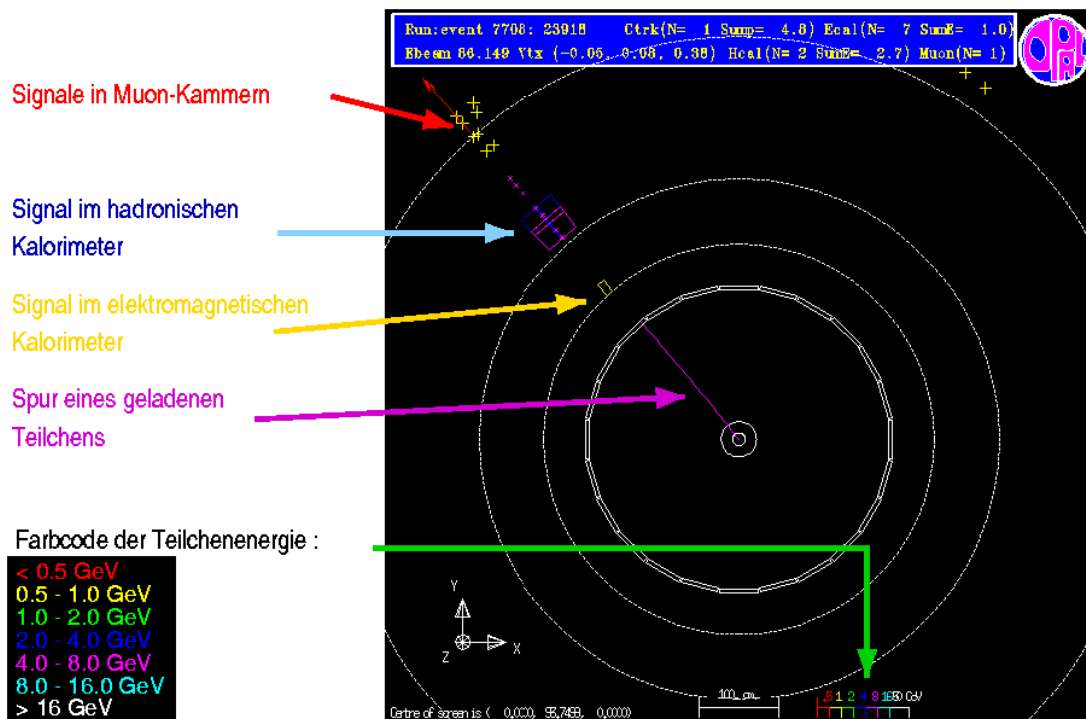
Kalorimeter

Durch das Kalorimeter kann die Energie der Teilchen bestimmt werden. Die Teilchen kollidieren mit dem sehr dichten Material dieser Lage (meist Bleiglas) und strahlen dabei Licht ab. Durch die Menge des Lichts kann die Geschwindigkeit und somit auch die Energie

der Teilchen bestimmt werden. Die Ladung der Teilchen spielt dabei keine Rolle. Das Kalorimeter wird in zwei weitere Schichten unterteilt:
 In dem elektromagnetischen Kalorimeter werden Teilchen nachgewiesen, die hauptsächlich über die elektromagnetische Kraft wechselwirken.
 In dem hadronischen Kalorimeter lassen sich Teilchen nachweisen, die hauptsächlich über die starke Kraft wechselwirken.
 Einige Teilchen werden im Kalorimeter nicht absorbiert. Sie geben sich erst in der dritten Lage zu erkennen. /20/

Myon-Kammer

Die Myon-Kammer ist die äußerste Schicht des Detektors. Sie besteht aus Spurkammern, in denen elektrisch geladene Teilchen, die im Kalorimeter nicht absorbiert wurden, nachgewiesen werden. /19/



/3/

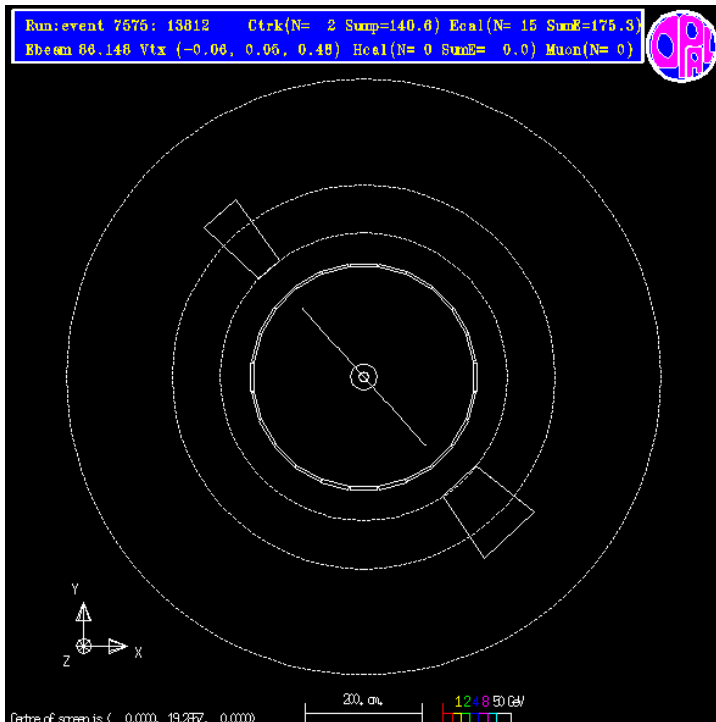
Unberücksichtigt bleibt bei diesem Experiment der Zerfall des Z-Bosons in Teilchen, die mit dem Detektor nicht nachgewiesen werden können. Zum Beispiel kann das Z-Boson auch in zwei Neutrinos zerfallen, die aber aufgrund ihrer geringen Masse und Neutralität keine Spur im Detektor hinterlassen. /21/

5 Auswerten der Bilder

Die möglichen Ereignisse:

Das Z-Boson zerfällt in ein Elektron-Positronpaar

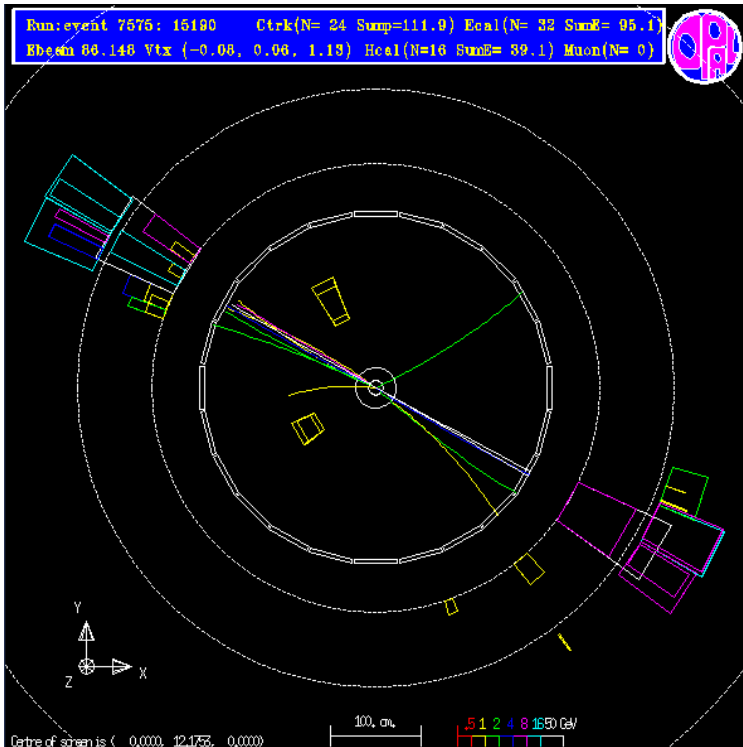
Nach der Kollision fliegen die beiden Teilchen in zwei entgegengesetzte Richtungen. In der Spurkammer hinterlassen beide Teilchen ein Signal, da sie elektrisch geladen sind. Dabei haben sie meist eine sehr hohe Energie (über 16 GeV). Sie hinterlassen einen Großteil dieser Energie im Kalorimeter. Weiter als bis zum elektromagnetischen Kalorimeter dringt dieses Teilchenpaar nicht vor. Sie haben in der Spurkammer die gleiche Energiemenge wie im Kalorimeter. /21/



Z-Zerfall in ein Elektron-Positronpaar /4/

Das Z-Boson zerfällt in ein Quark-Antiquarkpaar

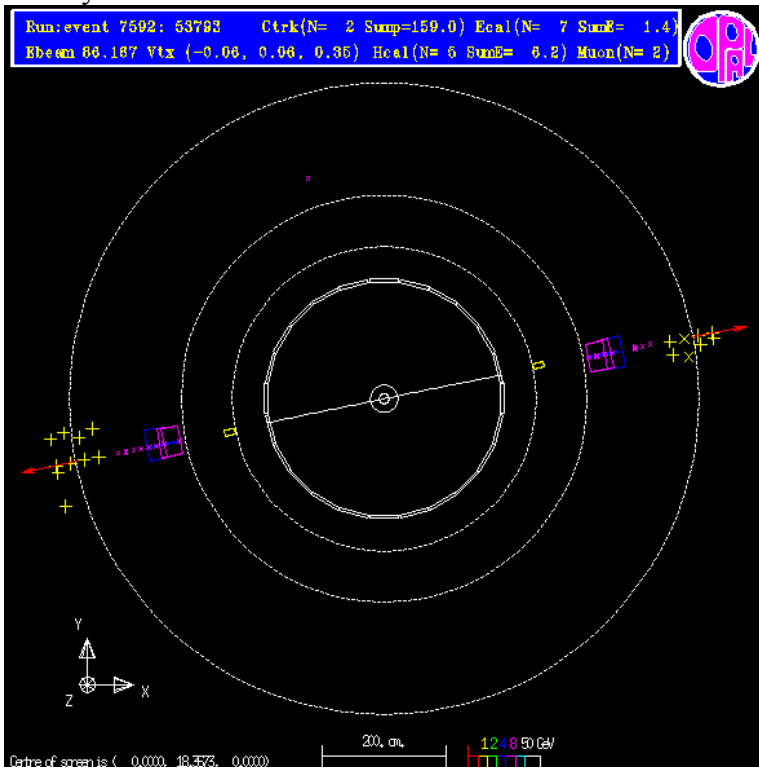
Quarks können in unserer Materie nicht allein existieren. Sie sind immer mit mindestens einem weiteren Quark verbunden. Daher sieht man bei diesem Ereignis nicht direkt das Quark und Antiquark, sondern man weist diese nach, da die entstandenen Teilchen durch ihre hohe Energie weitere Teilchen erzeugen. Diese Teilchen fliegen in dieselbe Richtung wie das ursprüngliche Quark. In der Spurkammer hinterlassen sie einen Jet (eine Vielzahl von Spuren). Die Energie der hinterlassenen Spuren ist von Spur zu Spur unterschiedlich. Sie reicht von 1 bis zu über 50 GeV. Die Spuren mit der höchsten Energie befinden sich im Zentrum des Jets. Nach außen hin werden die Teilchen immer energieärmer. Einzelne Teilchen mit niedrigerer Energie können auch in eine dritte Richtung, abseits vom Jet, fliegen. Die Spuren der Teilchen kann man sowohl im elektromagnetischen als auch im hadronischen Kalorimeter beobachten, wo sie einen Großteil ihrer Energie hinterlassen. Bei den entstandenen Teilchen handelt es sich meist um Hadronen. Es können aber auch Leptonen entstehen. Deshalb können sich bei diesem Zerfallsereignis auch Spuren in der Myon-Kammer befinden. /22/



Z-Zerfall in ein Quark-Antiquarkpaar/5/

Das Z-Boson zerfällt in ein Myon und Antimyon

Nach der Kollision fliegen die beiden Teilchen in entgegengesetzte Richtungen Dabei hinterlassen sie in allen Schichten des Detektors ein Signal. In der Spurkammer haben sie dabei eine sehr hohe Energie (über 50 GeV).Die Signale in der Myon-Kammer werden als gelbe Kreuze und rote Pfeile dargestellt. Myonen sind die einzigen Teilchen, die ein Signal in der Myon-Kammer hinterlassen./23/



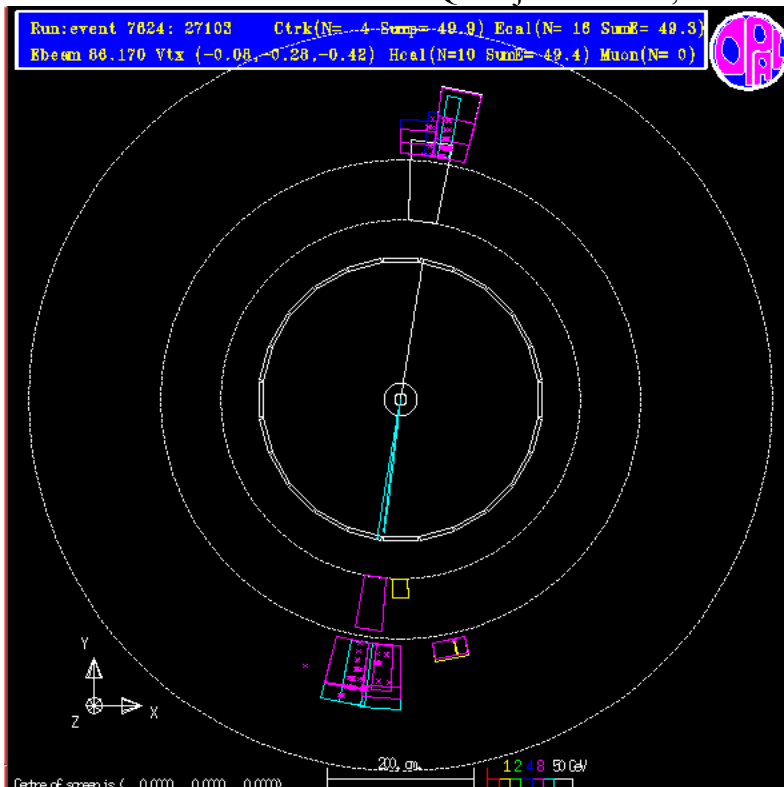
Z-Zerfall in ein Myon-Antimyonpaar/6/

Das Z-Boson zerfällt in ein Tau und Antitau

Die entstandenen Taus existieren aufgrund ihrer großen Masse nur für einen sehr kleinen Zeitraum. Danach zerfallen sie in andere, leichtere Elementarteilchen. Diese werden dann im Detektor nachgewiesen. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, in welche Teilchen das Tau und Antitau unabhängig voneinander zerfallen können.

1. $\tau^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\tau$ das Tau oder Antitau wird zu einem Elektron und 2 Neutrinos
2. $\tau^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu + \nu_\tau$ das Tau oder Antitau wird zu einem Myon und 2 Neutrinos
3. $\tau^- \rightarrow h^- + \gamma's + \nu_\tau$ das Tau oder Antitau zerfällt in ein Hadron, ein Photon und ein Neutrino
4. $\tau^- \rightarrow h^- h^- h^- + \gamma's + \nu_\tau$ das Tau oder Antitau zerfällt in 3 Hadronen, ein Photon und ein Neutrino

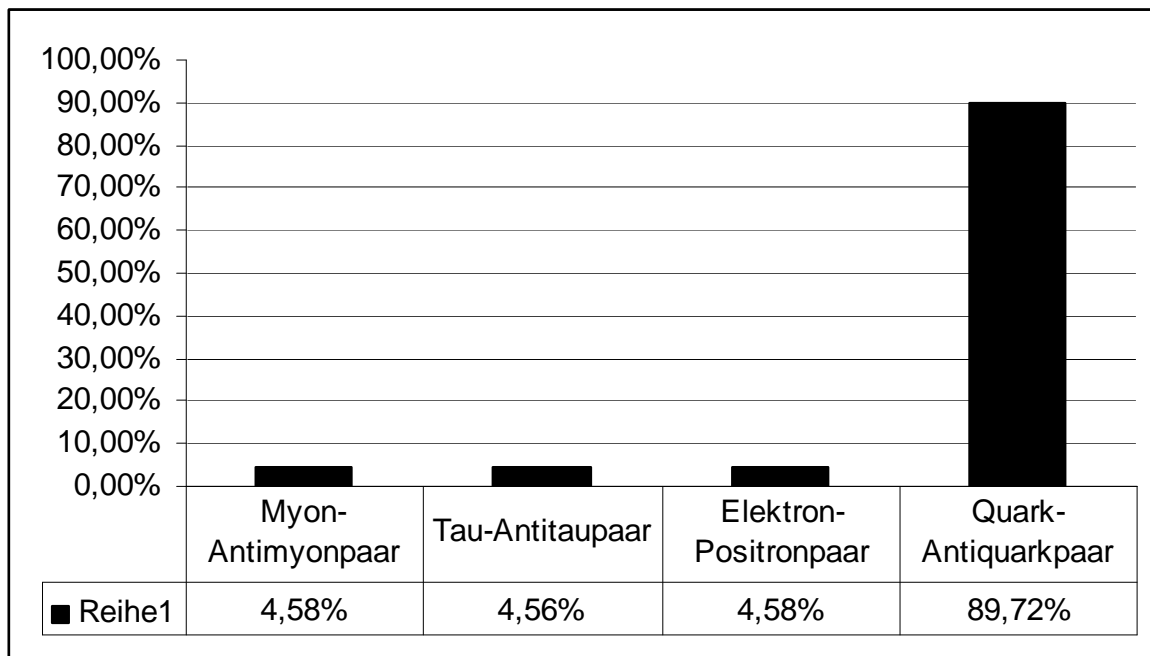
Die Neutrinos ν und das Photon γ sind dabei unwichtig, da sie für die Identifikation keine Rolle spielen. Diese vier Ereignisse können in allen möglichen Kombinationen auftreten. Dabei kann es auch vorkommen, dass zwei Myonen oder zwei Elektronen entstehen. Diese Ereignisse sind von den direkten Zerfällen von Z-Bosonen in zwei Myonen oder zwei Elektronen nur durch ihre Energie in der Spurkammer zu unterscheiden. Bei dem Tauzerfall besitzen die erstandenen Neutrinos soviel Energie, dass die zwei Myonen beziehungsweise Elektronen in der Spurkammer wesentlich energieärmer sind als bei einem direkten Zerfall. Bei einem Tauereignis können auch mehrer Spuren in der Spurkammer vorhanden sein. Zu unterscheiden sind diese von den Quarkjets dadurch, dass es maximal 3 Spuren sind./24/



Z-Zerfall in ein Tau-Antitau paar/7/

Bei der Auswertung von 1000 Bildern von Z-Zerfällen, die von OPAL-Detektor am LEP aufgenommen wurden, kam dieses Ergebnis heraus (die Anzahl der Elektron-Positronpaare musste mit dem Korrekturfaktor 1,6 multipliziert werden, da einige Ereignisse weggelassen wurden):

Prozentuale Häufigkeit der Z-Zerfälle in die möglichen Ereignisse



Die Theorie zu diesem Experiment sagte voraus, dass die prozentuale Häufigkeit des Zerfalls in Elektron-Positron-, Myon-Antimyon- und Tau-Antitau paar gleich und die prozentuale Häufigkeit des Zerfalls in Quark-Antiquark paar ungefähr zwanzigmal so groß ist. Diese Theorie wurde am LEP bestätigt. Auch das Diagramm stimmt mit ihr in etwa überein, es ist aber sehr ungenau, da nur sehr wenige Bilder ausgewertet wurden. Die Werte aus der Tabelle stimmen mit einer Abweichung von weniger als 0,4% mit den Werten der Theorie überein.

/25/

6 Ergebnisse des LEP

Die Masse des Z-Bosons wurde erforscht. Es ist so schwer wie ein mittelschwerer Atomkern, was eine überraschend große Masse für ein Elementarteilchen ist. Weiter wurde erforscht, in welche Teilchen es zerfallen kann. Auch die Masse der W-Bosonen konnte bestimmt werden. Die Lepton-Universalität wurde bestätigt, die besagt, dass sich Myon, Tauon und Elektron nur durch ihre Massen, aber nicht durch ihre Kopplungsstärke voneinander unterscheiden.

Am LEP wurde außerdem herausgefunden, dass genau 3 Arten von Neutrinos existieren. Weiter kann daran die Anzahl der Leptonenfamilien festgelegt werden, die auch genau 3 ist, da jedem Lepton genau ein Neutrino zugeordnet ist. Falls es noch andere Teilchen gibt, müssen sie schwerer als das Z-Boson sein./26/

Durch Experimente am LEP konnte die Masse des Top-Quarks bestimmt werden, obwohl dieses zu schwer war, um an diesem Beschleuniger erzeugt zu werden.

Das Standardmodell wurde mehrfach bestätigt.

Es konnte eine untere Grenze für die Masse des Higg-Bosons gegeben werden./27/

Durch verschiedene Tests wurde die Quantenchromodynamik bestätigt, die die starke Kraft beschreibt und besagt, dass die Gluonen durch Farbladungen mit den Quarks in Wechselwirkung treten.

Die Lebensdauer und Eigenschaften des Tau-Leptons wurden erforscht und durch die Untersuchung des Neutrinos, welches bei jedem Tau-zerfall entsteht, konnte eine obere Grenze für seine Masse gegeben werden. Ebenfalls wurden Eigenschaften von B-Hadronen (Hadronen, die ein Bottom-Quark enthalten) erforscht. Aus den Ergebnissen kann die Wahrscheinlichkeit für die Umwandlung der verschiedenen Quarksorten ineinander beim W-Boson-Austausch bestimmt werden./28/

7 Quellen

Textquellen

- /1/ http://www.weltmaschine.de/physik/standardmodell_der_teilchenphysik/
- /2/ <http://de.wikipedia.org/wiki/Elementarteilchen#Leptonen>
- /3/ <http://www.uni-magdeburg.de/exph/biologie/Standardmodell.pdf>
- /4/ <http://de.wikipedia.org/wiki/Gluon>
- /5/ <http://de.wikipedia.org/wiki/W-Boson>
- /6/ http://www.physicsmasterclasses.org/exercises/bonn1/de/ww_elektromag.htm
- /7/ <http://de.wikipedia.org/wiki/CERN>
- /8/ Herwig Schopper, LEP-The Lord of the Collider Rings at CERN 1980-2000, Springer, 2009, S. 9+32
- /9/ <http://www.physicsmasterclasses.org/unischule/exp/opal-det.htm>
- /10/ http://de.wikipedia.org/wiki/Large_Hadron_Collider
- /11/ www.weltderphysik.de/de/5053.php
- /12/ [http://de.wikipedia.org/wiki/ATLAS_\(Detektor\)](http://de.wikipedia.org/wiki/ATLAS_(Detektor))
- /13/ http://de.wikipedia.org/wiki/Compact_Muon_Solenoid
- /14/ lhcb.physik.uzh.ch/
- /15/ http://www.desy.de/forschung/teilchenphysik/large_hadron_collider_lhc/index_ger.html
- /16/ http://www.desy.de/forschung/teilchenphysik/large_hadron_collider_lhc/index_ger.html
- /17/ <http://jumk.de/teilchenzoo/z-boson.php>
- /18/ EPPOG Masterclasses CD-ROM E:\exercices\manchester\de\events1ff.html
- /19/ E:\exercices\manchester\de\detector1.html
- /20/ [http://de.wikipedia.org/wiki/Kalorimeter_\(Teilchenphysik\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Kalorimeter_(Teilchenphysik))
- /21/ Herwig Schopper, LEP-The Lord of the Collider Rings at CERN 1980-2000, Springer, 2009, S.127
- /22/ EPPOG Masterclasses CD-ROM E:\exercices\manchester\de\ee.html
- /23/ EPPOG Masterclasses CD-ROM E:\exercices\manchester\de\qq.html
- /24/ EPPOG Masterclasses CD-ROM E:\exercices\manchester\de\mumu.html
- /25/ EPPOG Masterclasses CD-ROM E:\exercices\manchester\de\tautau.html
- /26/ EPPOG Masterclasses CD-ROM E:\exercices\manchester\de\challengez.html
- /27/ Herwig Schopper, LEP-The Lord of the Collider Rings at CERN 1980-2000, Springer, 2009, S.127/128
- /28/ Herwig Schopper, LEP-The Lord of the Collider Rings at CERN 1980-2000, Springer, 2009, S.140/141
- /29/ www.eep.physik.hu-berlin.de/teaching/lab/z0resonance/leppbl.pdf

Bildquellen

- /1/ http://www2.uni-wuppertal.de/FB8/groups/Teilchenphysik/oeffentlichkeit/images/1_standard_model_blocks.gif
- /2/ E:\exercices\manchester\de\detector1.html
- /3/ http://www.physicsmasterclasses.org/exercises/manchester/de/feynman_Zmupair.gif
- /4/ EPPOG Masterclasses CD-ROM E:\exercices\manchester\de\ee.html
- /5/ EPPOG Masterclasses CD-ROM E:\exercices\manchester\de\qq.html
- /6/ EPPOG Masterclasses CD-ROM E:\exercices\manchester\de\mumu.html
- /7/ EPPOG Masterclasses CD-ROM E:\exercices\manchester\de\tautau.html

8 Selbstreflexion

Das Schreiben meiner komplexen Lernleistung hat mir Spaß gemacht, da mich dieses Thema interessiert. Natürlich gab es auch Schwierigkeiten. Über viele Dinge stand nichts im Internet und die Bücher, die ich mir aus der SLUB geholt habe, waren fast alle auf Englisch. Beim Übersetzen half mir das Internet. Das Auswerten der 1000 Bilder war nicht so anstrengend, wie ich am Anfang befürchtet hatte. Als ich mich eingearbeitet hatte schaffte ich 100 Bilder in weniger als 10 Minuten und ich teilte mir die Arbeit so ein, dass sich Texte schreiben und Bilder auswerten abwechselten. Ich erstellte ein Diagramm über die prozentuale Häufigkeit der Z-Zerfälle in die möglichen Ereignisse und konnte die Theorie darüber bestätigen. Ich habe auch viele neue Dinge über die Quantenphysik gelernt, die nicht direkt etwas mit meinem Thema zu tun hatten.

Die Quantenphysik ist im letzten Jahrhundert zu einer bedeutenden Wissenschaft geworden und spielt inzwischen auch für andere Naturwissenschaften eine wichtige Rolle. Sie ist eine junge Wissenschaft, in der es noch viel zu erforschen gibt. Ich könnte mir vorstellen später einmal in diesem Bereich zu arbeiten.