

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

W^+ und Z^0

Vermittler der Schwachen Wechselwirkung

Martin-Lukas Wörner

19. Juni 2009

Einordnung und Nomenklatur

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- W und Z Bosonen: Vermittler der schwachen Wechselwirkung, u.a. für beta Zerfall verantwortlich
- Das W^+ Boson ist nach der „Weak Interaction“ benannt. PLUS bzw. MINUS stehen für zwei mögliche Ladungszustände
- Z steht für „zero“ (bezogen auf die Ladung) oder letzte zu entdeckendes Teilchen

allgemeine Eigenschaften

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- schwer:
 - $M_W \approx 80 \text{ GeV}$
 - $M_Z \approx 91 \text{ GeV}$
 - also ca. die hundertfache Protonenmasse!
- zwei W Bosonen: W^+ und W^- mit entgegengesetzter Ladung
- Z^0 elektrisch neutral
- besitzen einen Spin von 1 \rightarrow Vektorbosonen

Lebensdauer und Reichweite

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- sehr hohe Masse von W und Z sorgt für geringe Reichweite der schwachen Wechselwirkung von ca. $2,5 \cdot 10^{-18}$ m
- Lebensdauer der Teilchen gerade einmal $3 \cdot 10^{-25}$ s.

die Schwache Wechselwirkung

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- Entdeckung u. erste Theorien basieren auf Phänomenologie des β -Zerfalls
- durch schwache WW gebundene Zustände nicht bekannt
- schwache WW verantwortlich für Zerfall von Quarks und Leptonen
- in Streuexperimenten von em und starker Wechselwirkung überlagert
- → Großteil der Information aus Teilchenzerfällen

Der β -Zerfall

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- Um 1930 stellte man fest: Elektronenenergie beim β -Zerfall variiert
- zuvor dachte man: β -Zerfall sei zwei Teilchen Zerfall \rightarrow Energien im Schwepunktsystem festgelegt \rightarrow Widerspruch
- Pauli vermutete: weiteres Teilchen erzeugt, trägt Energie, ist elektrisch neutral

Fermis Theorie des beta Zerfalls

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

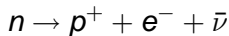
Zerfall und Detektion

Die Detektoren

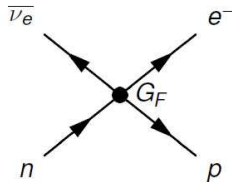
Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- aufbauend auf Idee Paulis entwickelte Fermi sehr erfolgreiche Theorie des beta Zerfalls
- Neutron zerfällt in Proton plus Elektron plus Antineutrino



- Pauli: punktförmigen Wechselwirkung
- G_F beschreibt Kopplungsstärke



Weiterentwicklung von Fermis Theorie

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- Fermis Theorie versagt bei hohen Energien
- Wirkungsquerschnitt divergiert aufgrund der Punktförmigkeit der Wechselwirkung

$$\sigma \propto G_F^2 \cdot s$$

- allgemein akzeptiert: schweres Austauscheteilchen der schwachen WW muss existieren

intermediäre Vektorbosonen

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- Einführung massiver Vektorbosonen löst das Problem
- Wirkungsquerschnitt

$$\sigma \propto \frac{G_F^2 M_W^2}{s + M_W^2} s$$

konvergiert für große s und geht für kleine s in Fermis
Theorie über

neue Kopplungskonstante

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- Die WW findet nun an zwei Punkten statt: neue Kopplungskonstante g

$$G_F = \frac{\sqrt{2}}{8} \frac{g^2}{M_W^2}$$

Elektroschwache Vereinheitlichung

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- Sheldon Lee Glashow, Abdus Salam und Steven Weinberg
- publizieren 1967 elektroschwache Vereinheitlichung
- 4 masselose Bosonen als Ausgangszustand: W^+ , W^- , W^0 und B^0
- Aus einer spontanen Symmetriebrechung resultieren dann 4 Bosonen: Photon und Z: Mischung bzw. Linearkombination aus W^0 und B^0

Weinberg-Winkel

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- der Weinberg Winkel θ_W beschreibt diese Mischung
- mit seiner Hilfe waren die absolute Masse von W und Z vorhersagbar

$$M_W^2 = \frac{\pi\alpha}{\sqrt{2} \sin^2 \theta_W G_F}$$

- und

$$M_Z^2 = \frac{M_W^2}{\cos^2 \theta_W}$$

- θ_W bestimmbar, z.B. aus ν -e-Streuung
- $\rightarrow M_W \approx 80 \text{ GeV}, M_Z \approx 92 \text{ GeV}$

Elektroschwache Vereinheitlichung

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- Symmetriebrechung wird durch den Higgs-Mechanismus erklärt
- Photon, Z^0 , W^+ sowie W^- . Das Photon ist als einziges Teilchen masselos.
- Vorhersage hat nun auf solider Grundlage

Nobelpreis 1979

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen



The Nobel Prize in Physics 1979

"For their contributions to the theory of the unified weak and electromagnetic interaction between elementary particles, including, inter alia, the prediction of the weak neutral current"



**Sheldon Lee
Glashow**

🏆 1/3 of the prize

USA



Abdus Salam

🏆 1/3 of the prize

Pakistan



Steven Weinberg

🏆 1/3 of the prize

USA

neutrale Ströme: Gargamelle 1973

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

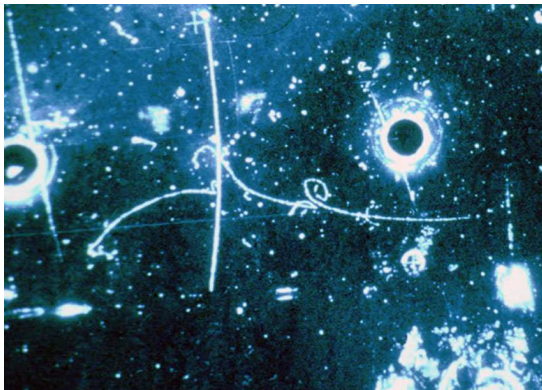
Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- 1973 fotografiert die Gargamelle Blasenkammer im CERN Elektronen, die eine plötzliche Richtungsänderung erfahren.
- interpretiert als Neutrino-Elektron Interaktion unter Austausch eines Z^0



W^\pm und Z^0 Erzeugung theoretisch

W^\pm und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- Lepton und ein Antilepton oder ein Quark und ein Antiquark müssen miteinander reagieren
- notwendige Energie im Schwerpunktsystem beträgt

$$\sqrt{s} = M_{W,Z}c^2$$

- erreicht man am günstigsten mit kollidierenden Teilchenstrahlen

e^+e^- -Kollider

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- Bei e^+e^- -Kollidern Erzeugung von Z^0 -Teilchen gemäß

$$e^+ + e^- \rightarrow Z^0$$

- Schwerpunktsenergie erforderlich von:

$$\sqrt{s} = 2E_e = M_Z c^2$$

Alternative Varianten der Erzeugung

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

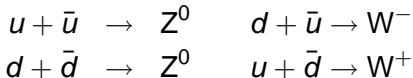
Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- Solche Energien standen erst 1989 mit Inbetriebnahme des
 - SLC (Stanford Linear Collider) und des
 - LEP (Large Electron-Positron Collider)zur Verfügung
- Viele Jahre einzige Möglichkeit der Erzeugung: Ausnutzung der Quarks in Protonen



Alternative Varianten der Erzeugung

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- halbe Ruheenergie der Vektorbosonen für ein Proton genügt nicht
- Schwerpunktsenergie $\sqrt{\hat{s}}$ der **beteiligten Quarks** muss zur Erzeugung der Bosonen ausreichen
- In einem schnellbewegten System tragen Quarks nur einen Bruchteil xP_p des Protonenimpulses P_p
- W^\pm -Boson durch die frontale Kollision zweier Protonen: Energie der Protonenstrahlen muss ungefähr $E_p \approx 600$ betragen.

Proton-Antiproton Kollision

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- Günstiger ist es, Protonen auf Antiprotonen zu schießen
- hier sind die Valenzantiquarks nutzbar
- benötigt nur etwa die Hälfte der Energie
- entgegengesetzten Ladung von p und \bar{p} erfordert nur einen Beschleunigerring

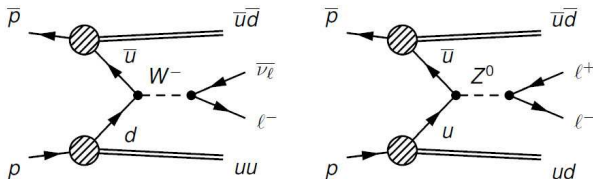


Abbildung: Proton-Antiproton-Kollision

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- Im CERN war seit bereits seit 1976 das SPS (Super Proton Synchrotron) in Betrieb
- Protonen Energien bis 400 GeV möglich
- arbeitete jedoch mit festem Target
- Schwerpunktsenergie \sqrt{s} somit zu gering, um W^\pm - oder Z^0 -Bosonen zu erzeugen

Rubbia forciert den Umbau

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- Carlo Rubbia fordert den Umbau zum Sp̄S
- Umbau noch im gleichen Jahr



Umsetzung des $Sp\bar{p}S$

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- Umsetzung kompliziert, da keine natürlichen Antiprotonen
- Antiprotonenerzeugung notwendig
- man schießt Protonen auf ein Kupfer-Target, Ausbeute jedoch gering: 1 Antiproton pro 10^6 eingesetzter Protonen
- Zwischenspeicher benötigt

Stochastische Kühlung

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

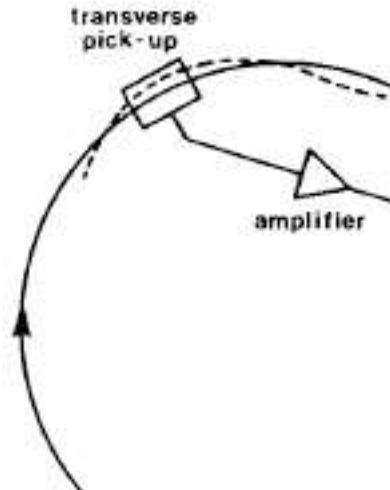
Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- weiters Problem in den starken Impuls- und Richtungsunterschieden der erzeugten Antiprotonen
- Kühlverfahren notwendig
- Lösung durch stochastische Kühlung
- Sensor misst Abweichungen von der idealen Umlaufbahn, kommuniziert mit E-Feld, welches Korrekturen vornimmt



Simon van der Meer

Für die stochastische Kühlung zeichnete sich Simon van der Meer verantwortlich

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen



große Mengen von Antiprotonen benötigt

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- geringer Wirkungsquerschnitt der Vektorbosonerzeugung
- lediglich 1 bis 10 nano barn von insgesamt $4 \cdot 10^7$ nano barn
- einige 100 Milliarden Antiprotonen benötigt, deren Erzeugung jeweils ca. 24 h in Anspruch nahm

die Zwischenstufen der Beschleunigung

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- Beschleunigung über mehrere Zwischenstufen:
 - Protonen mit ca 750 keV erzeugt
 - im Linearbeschleuniger auf ca. 50 MeV
 - im PSB auf 1,4 GeV
 - im PS auf 26 GeV

finale Beschleunigung und Kollision

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- erst jetzt Einflößung in das $Sp\bar{p}S$
- dort auf ihre finale Energie von ca. 270 GeV beschleunigt und
- zur **Kollision** gebracht. Somit

$$E = 540 \text{ GeV}$$

das SppS in der Übersicht

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

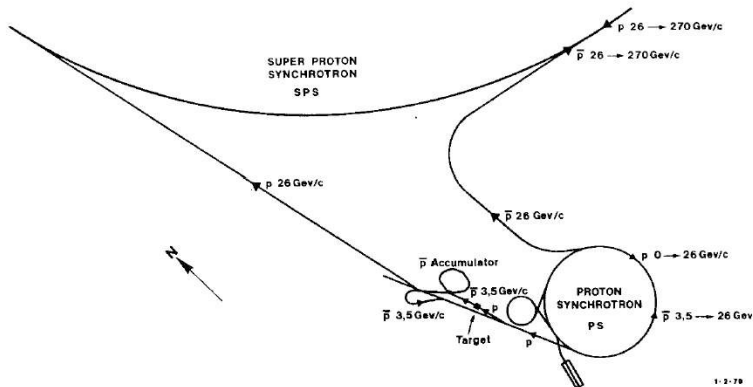


Abbildung: SPPS Schema

Zerfallskanäle von W^\pm und Z^0

W^\pm und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- bei allgemeiner Gültigkeit Zerfall der W -Bosonen in alle Fermionen-Antifermionen-Paare mit gleicher Häufigkeit
- Für die Quark-Antiquark Paare kommt ein zusätzlicher Faktor 3 für die drei möglichen Farbladungen hinzu.
- Aufgrund der Hadronisierung oft nicht eindeutig, in welches Quark-Antiquark-Paar ein W -Boson zerfallen ist
- Identifizierung der leptonischen Zerfallskanäle ist wesentlich einfacher

Die Detektoren

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- Detektoren nach den “underground areas” 1 und 2 benannt, in denen sie standen.
- Suchten unabhängig voneinander nach W und Z.
- “freundschaftliche Konkurrenz”, UA2 der “kleine Bruder”

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- Allzweckdetektor
- 2000 t
- 3 zentrale Driftkammern
- Elektromagnetisches Kalorimeter
- Hadronisches Kalorimeter
- Myonen Driftkammern im äußeren Bereich

Foto des UA1 Detektors

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

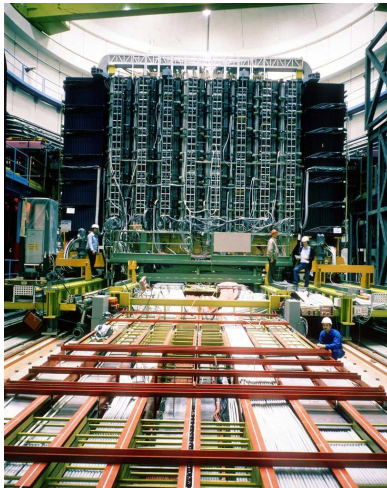


Abbildung: Fotografie des UA1

Schema des UA1 Detektors

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

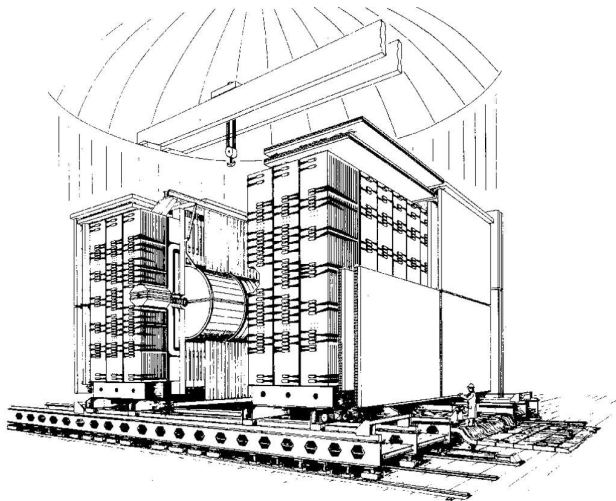


Abbildung: Schema des UA1

Schalenaufbau des UA1 Detektors

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

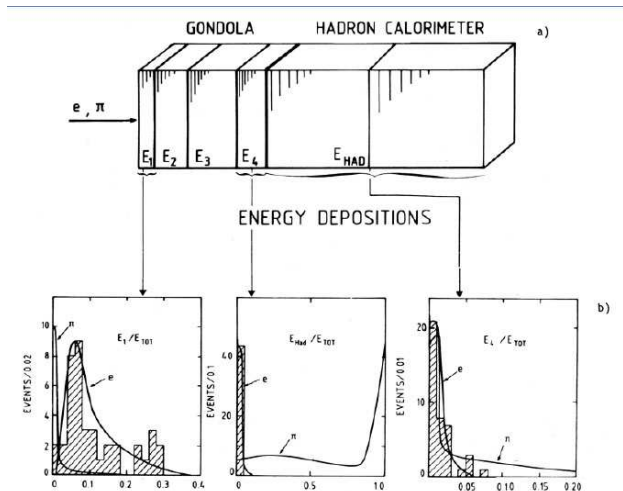


Abbildung: Schalenprogression im UA1 Detektor

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- simpler aufgebaut als UA1
- lediglich 1/3 der Kosten von UA1
- 1/10 des Gewichts von UA1 also 200 t
- Hauptaufgabe in der Kalorimetermessung
- viel Physik konnte aufgrund des einfacheren Aufbaus ignoriert werden

Foto des UA2

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

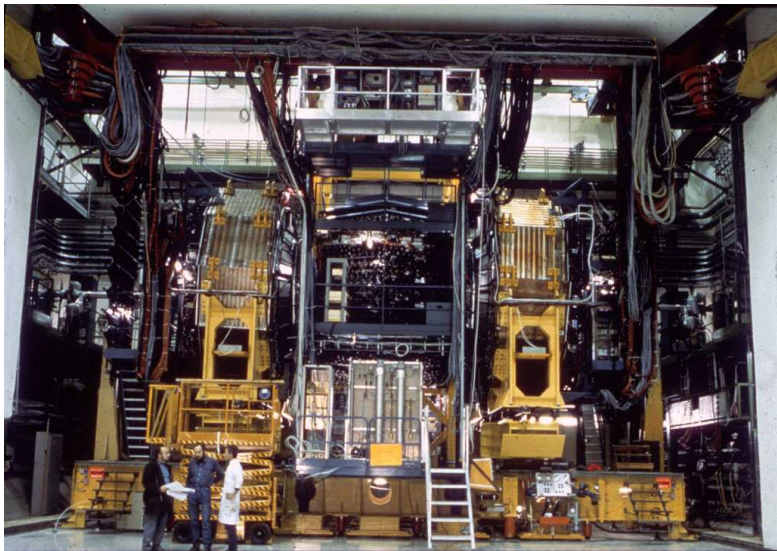
Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen



Charakterisierung der gesuchten Events

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- betrachtet wurde der Transversalimpuls, da eher detektierbar
- denn gesuchte Events $W^\pm \rightarrow$ Leptonen haben deutlich größeren Transversalimpuls als bei Hadronischem Ausgangsteilchen
- Suche nach Leptonen mit fehlendem Neutrino
- untersucht wurde der Prozess

$$W^\pm \rightarrow e^\pm + \nu$$

Selektion der Events

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- Etliche computergesteuerte Filter und Trigger gewährleisten eine Vorauswahl der infrage kommenden Events.
- Nur noch wenige Events manuell zu untersuchen
- dafür verschiedene Trigger:
 - Elektronen-Trigger, energiegesteuert
 - Myonen-Trigger, winkelgesteuert
 - weitere

Beobachtete und infrage kommende Events

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- Ende 1982 ca. eine Milliarde Proton-Antiproton Kollisionen
- davon ca. eine Million aufgezeichnet
- **5 Events, die also W Bosonen Zerfall identifiziert wurden**
- Vorläufige Bestimmung der Masse liefert $M_W = (81 \pm 5) \text{ GeV}$

Aufzeichnung eines der ersten W Events

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

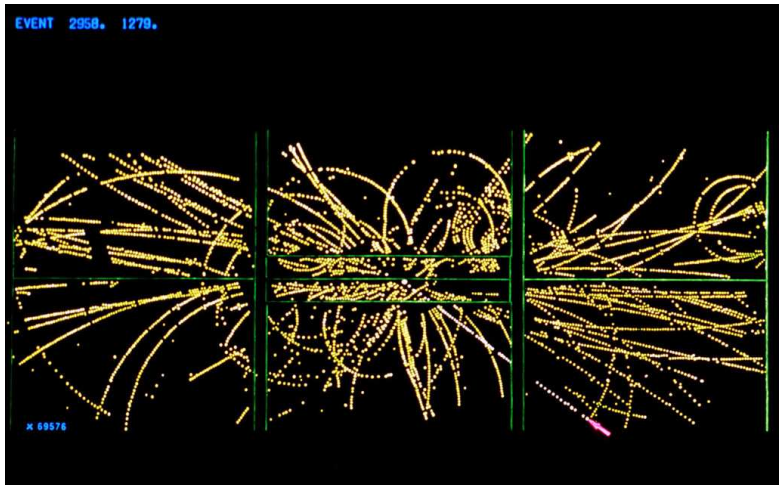


Abbildung: W Event 1982

Entdeckung des Z Bosons

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- im Frühjahr 1983 folgte die Entdeckung des Z Bosons, ebenfalls durch UA1
- die Auswahl der Ereignisse gestaltete sich als wesentlich einfacher, als beim W Boson. Man untersuchte

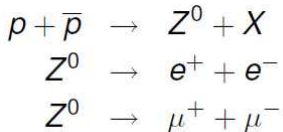


Abbildung: Z Zerfallskanäle

Entdeckung des Z Bosons

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

- Kriterien waren somit zwei Spuren geladener Leptonen mit hohem gleich großem und entgegengesetztem Transversalimpuls
- man beobachtete 4 Elektronen- und 1 Myonen-Event
- vorläufige Massebestimmung ergab $M_Z = (95,5 \pm 2,5) \text{ GeV}$

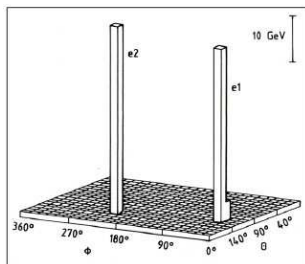


Abbildung: Plot eines der ersten Z Events

Veröffentlichung und Nobelpreis

- Im Januar 1983 publizierte das UA1 seine Ergebnisse. Das UA2 einen Monat später.
- Die Entdeckung wurde allgemein als Sieg Europas im Wettrennen mit den USA gefeiert und der Nobelpreis folgte prompt.



W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

Nobelpreis für Rubbia und van der Meer bereits 1984

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen



The Nobel Prize in Physics 1984

"for their decisive contributions to the large project, which led to the discovery of the field particles W and Z , communicators of weak interaction"



Carlo Rubbia

🏆 1/2 of the prize

Italy

CERN
Geneva, Switzerland

b. 1934



Simon van der Meer

🏆 1/2 of the prize

the Netherlands

CERN
Geneva, Switzerland

b. 1925

aktueller Stand der experimentellen Ergebnisse

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

W-Boson Mass [GeV]

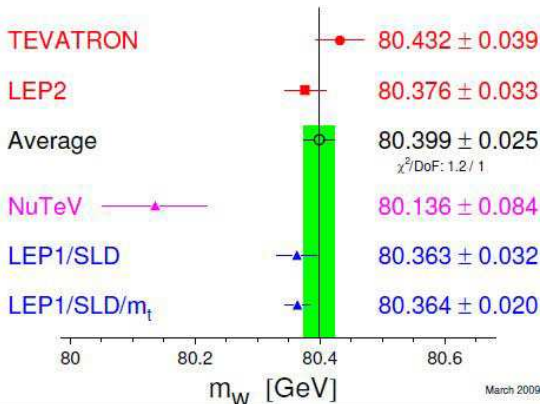


Abbildung: Masse des W aus aktuellen Daten

Folgerungen und Abschätzung der Higgs-Masse

W^\pm und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

$$M_W = \left(\frac{\pi \alpha (M_Z)}{\sqrt{2} G_F} \right)^{1/2} \frac{1}{\sin \theta_W} \frac{1}{\sqrt{1 - \Delta r}}$$

■ **Abbildung:** Formel für die Masse des W

- die Fermi Kopplungskonstante sowie Feinstukturkonstante sind hinreichend bekannt, θ_W ist der Weinbergwinkel, er ergibt sich unter anderem aus dem Verhältnis von M_W und M_Z .

Folgerungen und Abschätzung der Higgs-Masse

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

■

$$\Delta r \propto \text{---} \circ \begin{array}{c} t \\ \curvearrowright \\ \bar{b} \end{array} \circ \text{---} + \text{---} \circ \begin{array}{c} H \\ \curvearrowright \\ W \end{array} \circ \text{---} + \dots$$

Abbildung: Strahlungskorrekturen

- Die Higgs-Masse bewirkt also Fluktuationen in der W und Z Masse. Präzisionsmessungen lassen somit Schlussfolgerungen bzgl. der Higgs Masse zu.

Wahrscheinlichkeitsplot der Higgs-Masse

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

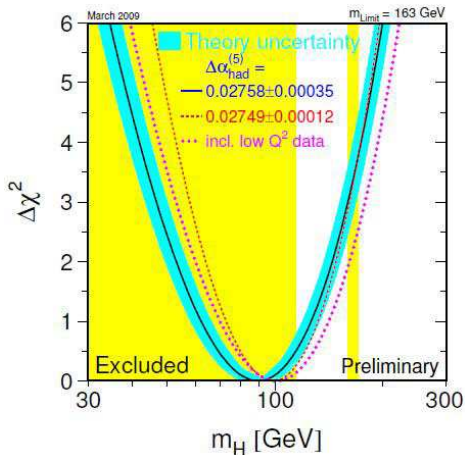


Abbildung: Sicherheit über Higgsmasse

Übersicht des Kenntnisstandes bzgl. der Higgs Masse

W^+ und Z^0

Martin-Lukas
Wörner

Einleitung

Einordnung und
Nomenklatur

Vorhersage in
der Theorie

Experimentelle
Bestätigung

Erzeugung und
Beschleunigung im
CERN der 1970er
und 1980er

Zerfall und Detektion

Die Detektoren

Die Entdeckung
1983

Stand der
Dinge und
Folgerungen

Search for the Higgs Particle

Status as of March 2009

90% confidence level

95% confidence level

Excluded by
LEP Experiments
95% confidence level

Excluded by
Tevatron
Experiments

Excluded by
Indirect Measurements
95% confidence level

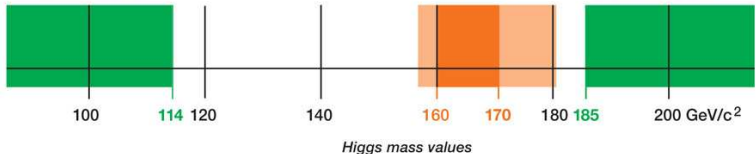


Abbildung: Higgsmasse infrage kommende Intervalle