

W-Massenmessung

Julia Sobolewski

9. Juni 2019

Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis I

Einleitung

- Was sind W-Bosonen?
- Entdeckung des W-Bosons
- Motivation
- Theoretische Grundlagen

Tevatron

- Allgemeines
- Beschleuniger-Kette
- Detektoren
 - CDF
 - D0

Messstrategie

- Event Generation
- Track Momentum Calibration
- Calorimeter Energy Calibration
- Hadronic Recoil Measurement and Simulation
- Backgrounds
- Mass Fit and Systematics

Inhaltsverzeichnis II

Literatur

Was sind W-Bosonen?

Drei Generationen
der Materie (Fermionen)

	I	II	III	
Masse →	2,3 MeV	1,275 GeV	173,07 GeV	0
Ladung →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
Spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Name →	u up	c charm	t top	Y Photon
				125,09 GeV H Higgs Boson
Quarks	4,8 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d down	95 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s strange	4,18 GeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b bottom	0 0 1 g Gluon
	<2 eV 0 $\frac{1}{2}$ ν_e Elektron-Neutrino	<0,19 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ Myon-Neutrino	<18,2 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ Tau-Neutrino	91,2 GeV 0 1 Z^0 Z Boson
	0,511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ e Elektron	105,7 MeV -1 $\frac{1}{2}$ μ Myon	1,777 GeV -1 $\frac{1}{2}$ τ Tau	80,4 GeV ± 1 1 W^\pm W Boson
Leptonen				Eichbosonen

- Eichboson → Elementarteilchen
- vermittelt in der elektroschwachen Theorie die geladenen Ströme
- Ladung: $q = \pm e$
- Spin: $s = 1$
- mittlere Lebensdauer: $3 \cdot 10^{-25} \text{ s}$
- Masse: $m_W = (80,379 \pm 0,012) \text{ GeV}$

Abbildung: Standardmodell der Teilchenphysik [4]

Entdeckung des W-Bosons

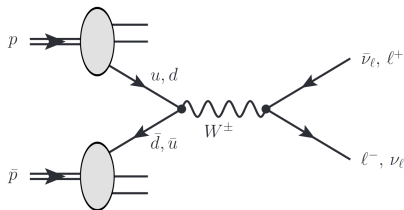


Abbildung: Feynman-Diagramm niedrigster Ordnung zur Erzeugung von W-Bosonen [6]

- 1983 am Super Proton Synchrotron (SPS)
- Im naiven Partonmodell entsteht das W-Boson bei Kollision eines Valenzquarks des Protons (u, d) mit einem Valenzantiquark des Antiprotons (\bar{u}, \bar{d})

- Valenzquark und -antiquark tragen je einen Impulsanteil von $x_{1,2} \approx 0,2$ des (Anti-)Protons
- Um ein W-Boson zu erzeugen, wird eine Parton-Parton-Schwerpunktsenergie von $\sqrt{\hat{s}} = 80 \text{ GeV}$ und somit eine $p\bar{p}$ -Schwerpunktsenergie von $\sqrt{s} = \sqrt{\frac{\hat{s}}{x_1 x_2}} \approx 400 \text{ GeV}$ benötigt
- Solche Schwerpunktsenergien waren zuerst am SPS vorhanden ($\sqrt{s} = 540 \text{ GeV}$)

Motivation

- W- und Z-Masse bestimmen zusammen den schwachen Mischungswinkel
- durch genaue Kenntnis der W- und t-Masse lässt sich die Masse des Higgs-Bosons eingrenzen

Theoretische Grundlagen

- Im Gegensatz zum Z-Nachweis im Zerfall $Z \rightarrow \ell^+ \ell^-$ über die invariante Masse des Leptonpaares kann man hier die Vierervektoren der Zerfallsprodukte nicht vollständig bestimmen
- longitudinaler Impuls p_z des Schwerpunktsystems der Kollision ist, weil das System geboostet ist, nicht bekannt

→ Lösung: Verwendung transversaler Größen

- im Zerfall $W \rightarrow \ell \nu$ insbesondere die Transversalimpulse des Leptons \vec{p}_T^ℓ und des Neutrinos \vec{p}_T^ν von besonderem Interesse
- Der Transversalimpuls des Neutrinos kann nur indirekt über "fehlende transversale Energie" \cancel{E}_T bestimmt werden
- Wenn man annimmt, dass das Neutrino das einzige Teilchen ist, das undetektiert dem Detektor entkommt, kann man über die Erhaltung des Transversalimpulses $\sum \vec{p}_T$ die transversale Flugrichtung und Energie des Neutrinos bestimmen.

- eine weitere Observable ist die "transversale Masse" m_T

$$m_T = 2p_T^\ell p_T^\nu (1 - \cos(\varphi^\ell - \varphi^\nu))$$

$p_T^\nu = \cancel{E}_T$, $\varphi^\ell - \varphi^\nu \hat{=}$ Öffnungswinkel zwischen den Transversalimpulsen des Leptons und des Neutrinos

- Im Ruhesystem des W-Bosons und unter Annahme einer verschwindenden Zerfallsbreite Γ_W ist $p_T = \frac{m_W}{2} \sin(\theta)$, und somit

$$m_T = m_W \sin(\theta)$$

- Der differentieller Wirkungsquerschnitt als Funktion von m_T wird durch eine Variablentransformation $\mu = \frac{m_T}{m_W} = \sin(\theta)$ im Wirkungsquerschnitt gewonnen

$$\frac{d\sigma}{d\mu} = \frac{d\sigma}{d\cos\theta} \left| \frac{d\cos(\theta)}{d\mu} \right|$$

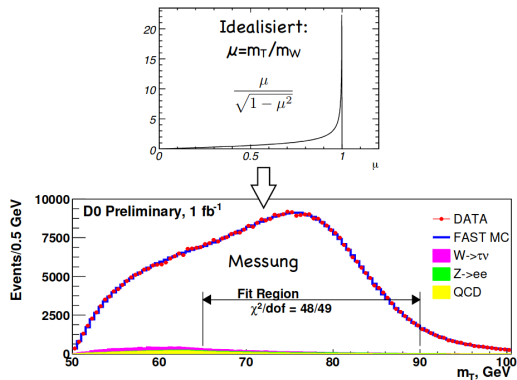


Abbildung: Darstellung der Jacobi-Kante in idealisierter Form und im Experiment [5].

- Man erhält für die Jacobi-Determinante dieser Variablentransformation

$$\frac{d \cos(\theta)}{d\mu} = \frac{d}{d\mu} \sqrt{1 - \mu^2} = -\frac{\mu}{\sqrt{1 - \mu^2}}$$

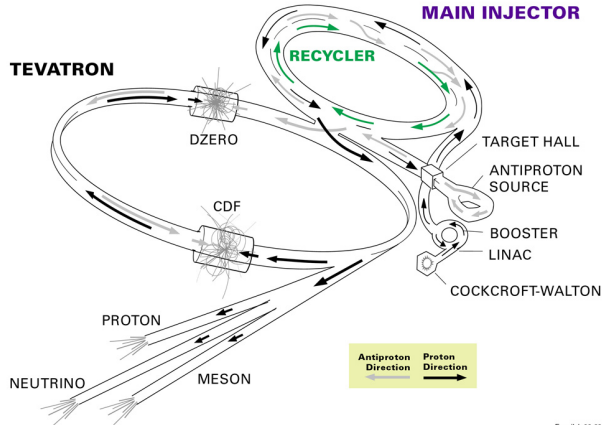
- Der differentielle Wirkungsquerschnitt als Funktion von m_T besitzt damit einen scharfen Knick bei $m_T = m_W$, den man als "Jacobi-Kante" bezeichnet

- Eine Jacobi-Kante tritt analog auch im differentiellen Wirkungsquerschnitt $\frac{d\sigma}{dp_T}$ bei einem Transversalimpuls von $p_T = m_w/2$ auf
- Im Experiment ist Jacobi-Kante verschmiert
 - W-Boson wird i.A. nicht in Ruhe erzeugt
 - W-Boson besitzt endliche Zerfallsbreite
 - Detektorauflösung
 - Unsicherheiten in der Rekonstruktion

Allgemeines

- Betrieb durch das Fermilab (Batavia, Illinois)
- Proton-Antiproton-Beschleuniger
- der stärkste Beschleuniger nach dem LHC am CERN
- Umfang: 6 km
- Schwerpunktsenergie: 1,96 TeV
- 1994-1995: integrierte Luminosität von 100 pb^{-1}
- stillgelegt seit **29.09.2011**

FERMILAB'S ACCELERATOR CHAIN



Fermilab 00-635

Abbildung: Beschleuniger-Kette am Fermilab [1].

CDF

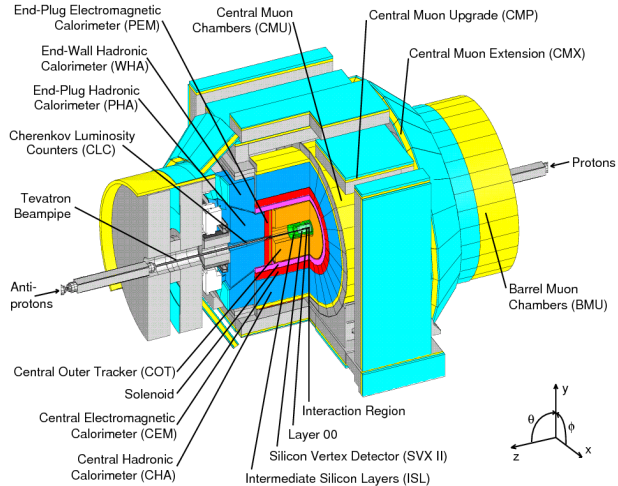


Abbildung: Schematischer Aufbau des CDF-Detektors [2]

D0

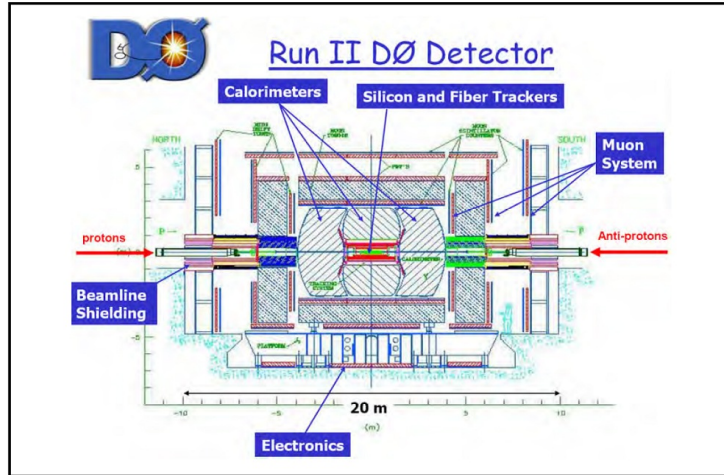


Abbildung: Schematischer Aufbau des D0-Detektors [3]

Zusammenfassung

Sytematic Uncertainty	Electrons (Run 1B ⁹)	Muons (Run 1B ⁹)
Production and Decay Model	30 (30)	30 (30)
Lepton E Scale and Resolution	70 (80)	30 (87)
Recoil Scale and Resolution	50 (37)	50 (35)
Backgrounds	20 (5)	20 (25)
Statistics	45 (65)	50 (100)
Total	105 (110)	85 (140)

Abbildung: Unsicherheiten der W -Massenmessung in $\frac{\text{MeV}}{c^2}$ bei der Nutzung von $0,2 \text{ fb}^{-1}$ von CDF Run 2 Daten. In Klammern sind die Unsicherheiten aus CDF Run 1B.

Literatur



URL: https://mu2e.fnal.gov/images_v2/00-0635D.jpg (besucht am 19.05.2019).



CDF Collaboration. Operational Experience, Improvements, and Performance of the CDF Run II Silicon Vertex Detector. URL: <http://inspirehep.net/record/1211048> (besucht am 05.06.2019).



High Energy Physics Division. URL: <http://hepd.pnpi.spb.ru/hepd/images/d0.jpg> (besucht am 05.06.2019).



Dr. Gebhard Greiter. Das Standardmodell der Elementarteilchen. URL: <http://greiterweb.de/spw/Standardmodell-Elementarteilchen.htm> (besucht am 03.06.2019).



Dr. Ulrich Husemann. Experimentelle Elementarteilchenphysik (P23.1.1). URL: https://www-zeuthen.desy.de/~husemann/teaching/2009_ss/exp_teilchenphysik/skript/exp_teilchenphysik_folien.pdf (besucht am 04.06.2019).



Dr. Ulrich Husemann. Physik der W-Bosonen. URL: https://www-zeuthen.desy.de/~husemann/teaching/2009_ss/exp_teilchenphysik/skript/skript_04.pdf (besucht am 04.06.2019).