

W-Massenmessung

Julia Sobolewski

4. Juni 2019

Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

Einleitung

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

Tevatron

- Allgemeines
- Beschleuniger-Kette

Literatur

Inhaltsverzeichnis

Einleitung

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

Tevatron

- Allgemeines
- Beschleuniger-Kette

Literatur

Was sind W-Bosonen?

Drei Generationen
der Materie (Fermionen)

	I	II	III		
Masse →	2,3 MeV	1,275 GeV	173,07 GeV	0	125,09 GeV
Ladung →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
Spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
Name →	u up	c charm	t top	γ Photon	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 Z⁰ 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[±] W Boson	Eichbosonen
Leptonen					

- Das W-Boson ist ein Eichboson und damit ein Elementarteilchen
- Das W-Boson 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 [2]

Entdeckung des W-Bosons

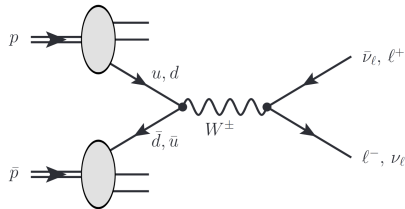


Abbildung: Feynman-Diagramm niedrigster Ordnung zur Erzeugung von W-Bosonen [4]

- W-Boson wurde 1983 kurze Zeit vor dem Z-Boson am Super Proton Synchrotron (SPS) nachgewiesen/entdeckt
- Im naiven Partonmodell wird das W-Boson in der Kollision eines Valenzquarks des Protons (u, d) mit einem Valenzantiquark des Antiprotons (\bar{u}, \bar{d}) erzeugt
- Das Valenzquark und -antiquark tragen je einen Impulsanteil von $x_{1,2} \approx 0,2$ des (Anti-)Protons

- Um ein W-Boson zu erzeugen, braucht man dann eine Parton-Parton-Schwerpunktsenergie von $\sqrt{\hat{s}} = 80 \text{ GeV}$ und somit eine p^*p^- -Schwerpunktsenergie von $\sqrt{s} = \sqrt{\frac{\hat{s}}{x_1 x_2}} \approx 400 \text{ GeV}$
- Solche Schwerpunktsenergien waren zuerst am SPS vorhanden ($\sqrt{s} = 540 \text{ GeV}$)

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

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

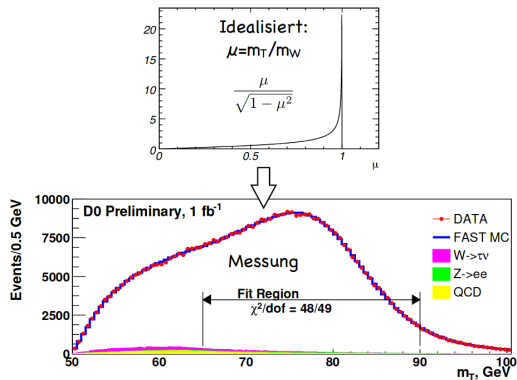
$p_T^\nu = \cancel{E}_T$, $\varphi^\ell - \varphi^\nu \hat{=}$ Öffnungswinkel zwischen den Transversalimpulsen des Leptons und des Neutrinos

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

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



- 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

Abbildung: Darstellung der Jacobi-Kante in idealisierter Form und im Experiment [3].

- 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

Inhaltsverzeichnis

Einleitung

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

Tevatron

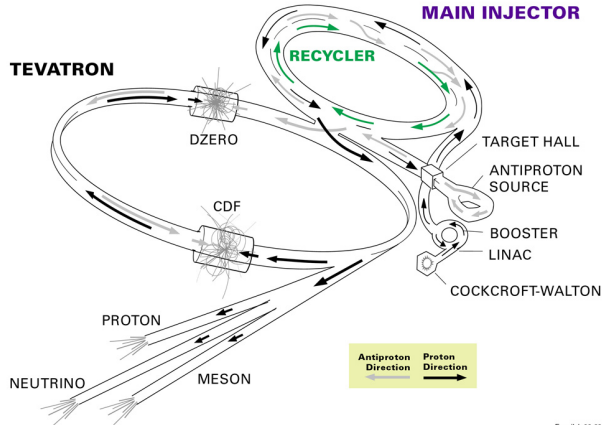
Allgemeines
Beschleuniger-Kette

Literatur

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
- stillgelegt seit **29.09.2011**

FERMILAB'S ACCELERATOR CHAIN



Fermilab 00-635

Abbildung: Beschleuniger-Kette am Fermilab [1].

Inhaltsverzeichnis

Einleitung

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

Tevatron

Allgemeines
Beschleuniger-Kette

Literatur

Literatur



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



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).