

Vektorbosonen

Ulrich Bengs

05.06.2013

Übersicht

- 1 Theorie der Schwachen Wechselwirkung
 - Geschichte
 - Elektroschwache Vereinigung
- 2 Experimenteller Nachweis der Vektorbosonen
 - Stochastische Kühlung
 - Detektor UA1
 - Ergebnisse

Geschichte

- 1896: Entdeckung der Radioaktivität
- 1933: Erste Theorie durch Fermi
- 1938: Oskar Klein: Austauscheteilchen
- 1956/57: Paritätsverletzung
- 1958: $V - A$ -Theorie
- 1967: Elektroschwache Vereinigung

Nobelpreis 1979



Abbildung: S. L. Glashow, A. Salam, S. Weinberg

"...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."

Elektroschwache Vereinigung

- Vermittlung der WW durch W^\pm
- Reichweite $10^{-3} fm$
 $\Rightarrow m_W c^2 \approx \frac{\hbar c}{R} \approx 100 GeV$
- Außerdem: Austausch neutraler Ströme durch Z^0
- Feynmangraphen von Z^0 und γ sehen gleich aus
 \rightarrow Zusammenhang?

Elektroschwache Vereinigung

- Zuordnung neuer Quantenzahlen T, T_z und g
- $T = 1$ für
 - $|W^0\rangle, T_z = 0$
 - $|W^+\rangle, T_z = +1$
 - $|W^-\rangle, T_z = -1$
- $T = 0$ für $|B^0\rangle$ mit $T_z = 0$

Betrachte $|\gamma\rangle$ und $|Z^0\rangle$ als untersch. Linearkomb. von $|W^0\rangle$ und $|B^0\rangle$!

$$\begin{aligned} |\gamma\rangle &= A \left[g |B^0\rangle + g' |W^0\rangle \right] \\ |Z^0\rangle &= A \left[-g' |B^0\rangle + g |W^0\rangle \right] \end{aligned}$$

oder als Matrix

$$\begin{pmatrix} |\gamma\rangle \\ |Z^0\rangle \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_W & \sin \theta_W \\ -\sin \theta_W & \cos \theta_W \end{pmatrix} \begin{pmatrix} |B^0\rangle \\ |W^0\rangle \end{pmatrix}$$

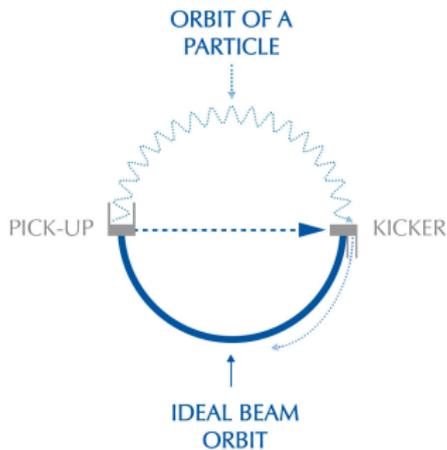
und

$$A = (g^2 + g'^2)^{-\frac{1}{2}}, \quad e = g \sin \theta_W, \quad \tan \theta_W = \frac{g'}{g} \approx 0.55$$

Wie beobachtet man die Austauschteilchen?

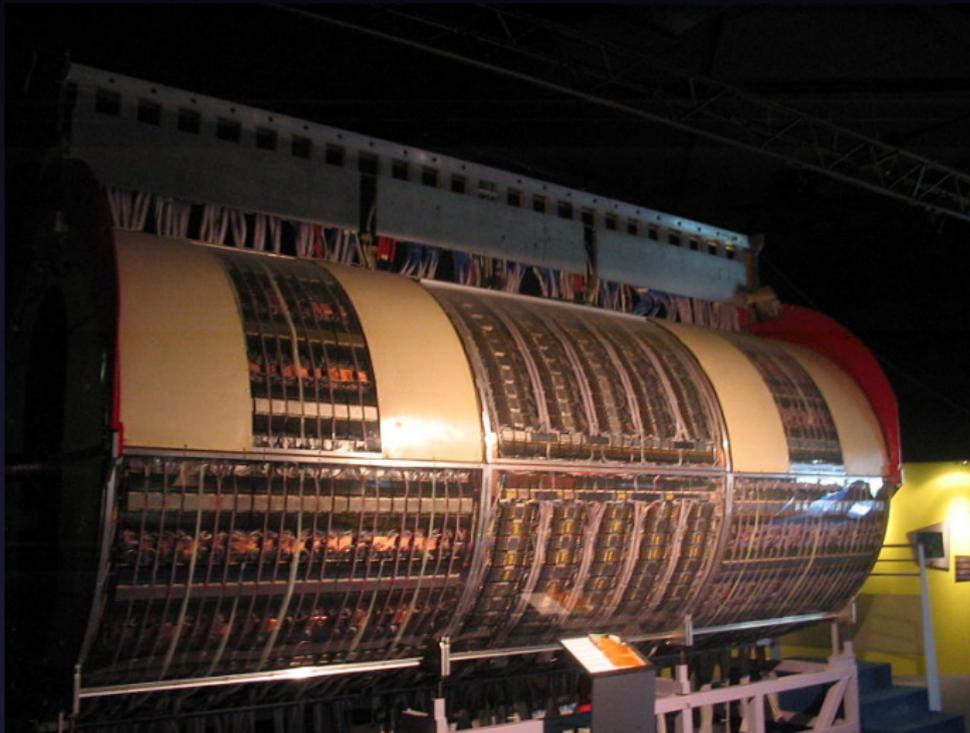
- nicht direkt sichtbar im β -Zerfall, *virtuelle Teilchen*
- Lebensdauer $\Delta t \approx 10^{-26} \text{ s}$
- \rightarrow Teilchenbeschleuniger
- am einfachsten: $e^+ e^-$ -Kollision
- Problem: LEP existierte damals noch nicht
- Alternative: $p\bar{p}$ -Kollision
- wie stellt man energiescharfe Antiprotonen her?

Stochastische Kühlung



[1]

UA1

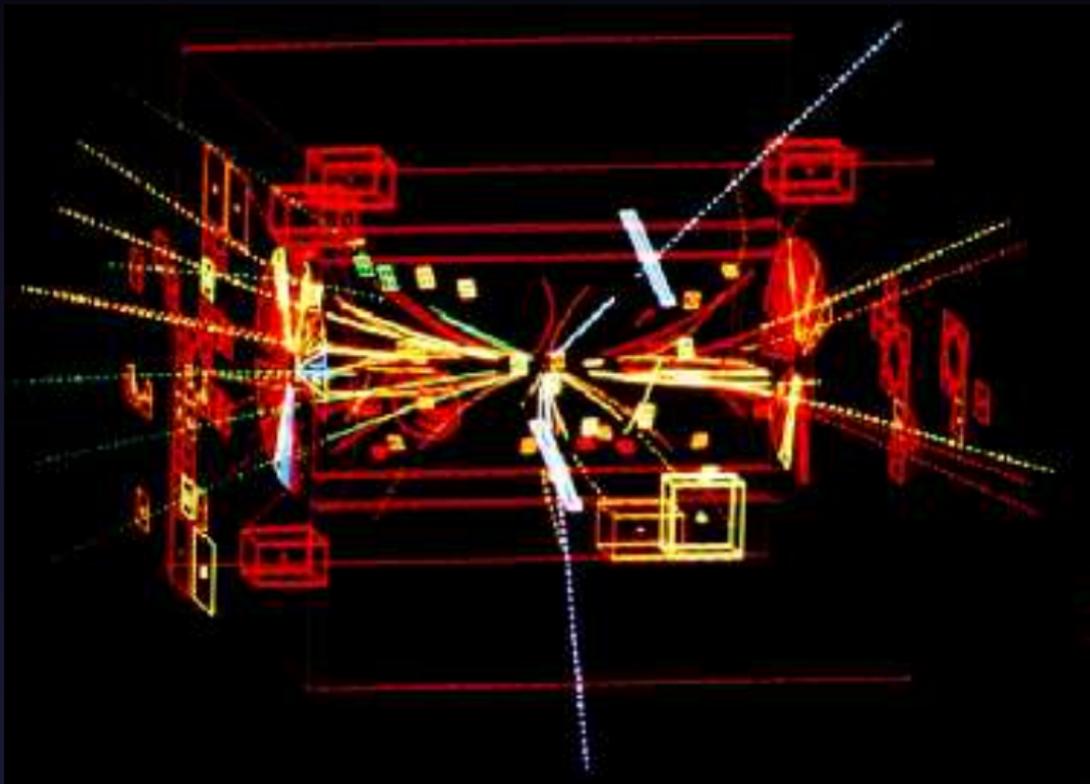


[2]

UA1

- 6.8m lang, 2.3m Durchmesser
- gefüllt mit Argon-Ethan-Gasgemisch
- Magnetfeld liegt an
- Kalorimeter speziell für Elektronen und Photonen gefolgt von Kalorimetern für Hadronen

UA1



SPS

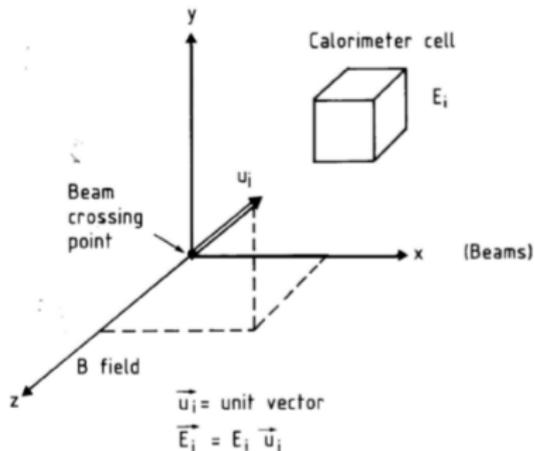


[5]

W-Detektion

- einfachster Zerfallskanal: $p + \bar{p} \rightarrow W^+ + X, W^+ \rightarrow e^+ \nu_e$
- Neutrino Detektion sehr unwahrscheinlich
- Positron mit Transversalimpuls messbar \rightarrow Gegenstück wegen Impulserhaltung nötig!
- Transversalimpuls ist höchstens $\frac{1}{2} m_{W^+} c$
- $M_{W^\pm} = 80.9 \pm 1.5 \text{ GeV}/c^2$

CONSTRUCTION OF ENERGY VECTORS



Momentum conservation $\rightarrow \sum_i \vec{E}_i = 0$
(ideal detector)

$$\Delta \vec{E}_m = \sum \vec{E}_i$$

$\sum |E_T| = \text{event "temperature"}$

258

Physics 1984

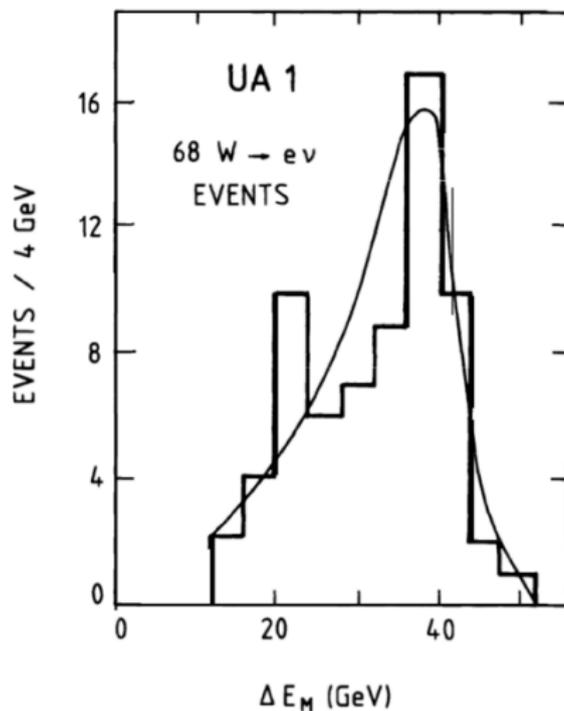


Fig. 14. The distribution of the missing transverse energy for those events in which there is a single electron with $E > 15$ GeV, and no coplanar jet activity. The curve represents the resolution function for no missing energy normalized to the three lowest missing-energy events.

[4]

Z^0 -Detektion

- Suche nach $p + \bar{p} \rightarrow Z^0 + X$, $Z^0 \rightarrow e^+e^-$ oder $\mu^-\mu^+$
- tritt sehr selten auf
- für $m_{e^-e^+}$: $m_{Z^0} = 95.6 \pm 1.4 \text{ GeV}/c^2$

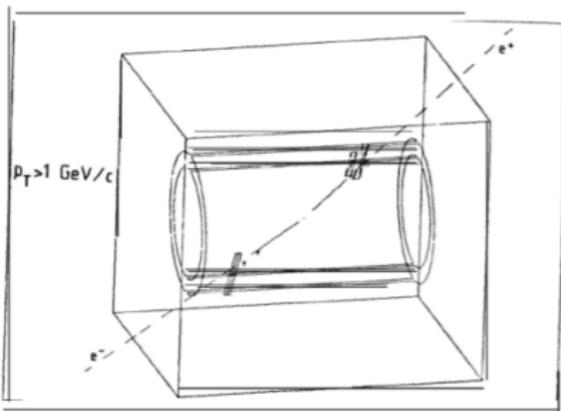


Fig. 26 The same as Fig. 25, but thresholds are raised to $p_T > 2 \text{ GeV}/c$ for charged tracks and $E_T > 2 \text{ GeV}$ for calorimeter hits. We remark that only the electron pair survives these mild cuts.

[4]

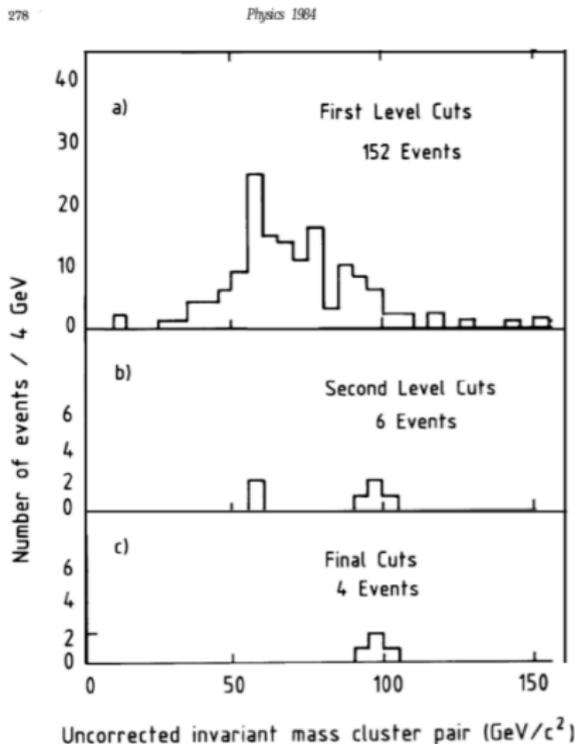


Fig. 2f. Invariant mass distribution (uncorrected) of two electromagnetic clusters: a) with $E_T > 25$ GeV; b) as above, and a track with $p_T > 7$ GeV/c and projection length of more than 1 cm pointing to the cluster. In addition, a small energy deposition in the hadron calorimeters immediately behind (< 0.8 GeV) ensures the electron signature. Isolation is required with $\Sigma p_T < 3$ GeV/c for all other tracks pointing to the cluster. c) The second cluster also has an isolated track.

Nobelpreis 1984



Abbildung: Carlo Rubbia, Simon van der Meer

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

Quellen

- [1] <http://home.web.cern.ch/about/engineering/stochastic-cooling>
- [2] <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:UA1.jpg>
- [3] <http://www.particlephysics.ac.uk/news/picture-of-the-week/picture-archive/the-first-z-particle.html>
- [4] http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1984/rubbia-lecture.pdf
- [5] <http://home.web.cern.ch/about/accelerators/super-proton-synchrotron>
 - <http://www.physik.uni-bielefeld.de/~yorks/pro13/v12.pdf>
 - <http://home.web.cern.ch/about/engineering/stochastic-cooling>
 - <http://home.web.cern.ch/about/experiments/ua1>