Analyse von Teilchenspuren

Teil 1: Das Teilchen

Der Hauptdarsteller heute: Das Z-Boson

Mit ihrer Hilfe werden wir den Aufbau von
Protonen erforschen...

...und erfahren, wie Physiker nach dem Higgs-
Boson suchen.

Z-BOSON	
NACHWEIS: 1983

AUSTAUSCHTEILCHEN	
Masse:	91 200 MeV/c ²
Elektrische Ladung:	0
Starke Ladung:	-
Schwache Ladung:	0
Mittlere Lebensdauer:	3 · 10 ⁻²⁵ s
Reichweite:	10 ⁻¹⁸ m

Z-Bosonen...

- sind Austauschteilchen der Schwachen Wechselwirkung
- sind elektrisch neutral: Z^0
- gehören zu den massereichsten Teilchen des Standardmodells ($\approx 91 \text{ GeV}$!)
- wandeln sich nach ca. 10^{-25} s in leichtere Teilchen um
 - geringe Reichweite

Daher können wir sie nicht direkt im Detektor beobachten, sondern erkennen sie anhand ihrer Zerfallsprodukte!

Wie zerfallen Z-Bosonen?

- Das Ergebnis eines bestimmten Zerfalls ist nicht vorhersagbar
 - Man kann vorhersagen, welche Teilchenkombinationen möglich sind und wie oft sie bei vielen Zerfällen jeweils auftreten werden
 - Bei allen Zerfällen gelten Impuls-, Energie- und **Ladungserhaltung** (Ladung des Teilchens vor dem Zerfall = Summe der Ladungen danach)
- In welche Teilchenkombinationen kann sich ein Z^0 -Boson umwandeln?

Wie zerfallen Z-Bosonen?

- Kann sich ein Z^0 -Boson in die folgenden Teilchen umwandeln?
 - Positron und Elektron
 - Myon und Antineutrino
 - Zwei Positronen
 - Strange-Quark und Charm-Antiquark

Wie erkennt man Z-Bosonen?

Man sucht nach ihren Zerfallsprodukten.

Z-Bosonen zerfallen so:

- $Z^0 \rightarrow$ Quark + Antiquark
- $Z^0 \rightarrow$ Lepton (e^- , μ^- , τ^-) + Antilepton
- $Z^0 \rightarrow$ Neutrino + Antineutrino

Art der Zerfallsprodukte	Lepton(e, μ , τ) + Antilepton	Neutrino + Antineutrino	Quark + Antiquark
Wahrscheinlichkeit	10%	20%	70%
Möglichkeiten	3	3	18

Wie erkennt man Z-Bosonen?

- Ihr sucht heute nach folgenden Zerfallsprodukten:

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

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

- Das sind **Signalereignisse**.
Alle anderen Ergebnisse von Kollisionen sind "Untergrund".

Teil 2: Die Software

Teilchenrekonstruktion

- Impulsmessung
 - Energiemessung
 - Ladungsbestimmung
- Grafische Darstellung der Teilchenspuren und Energieeinträge in einem „Event-Display“

Das Event-Display

Querschnitt des
ATLAS-Detektors

Energieeinträge im
Kalorimeter

Seitenansicht

Die Software HYPATHIA

The screenshot displays the HYPATHIA software interface, which is used for analyzing particle interactions in ATLAS. The main window is titled "HYbrid Pupils' Analysis Tool for Interactions in ATLAS - version 7.3 - Invariant Mass Window". It features a menu bar (File, View, Histograms, Preferences, Help) and a toolbar with various analysis tools. The central area is divided into several panels:

- Canvas Window:** Shows a top-down view of the ATLAS detector with particle tracks overlaid. The tracks are color-coded (red, green, blue) and originate from a central vertex. A 3D grid is visible in the bottom right of this panel.
- HYPATHIA - Track Momenta Window:** Displays a table of track data. The table has columns for Track, +/-, P [GeV], Pt [GeV], ϕ , and θ . The data is as follows:

Track	+/-	P [GeV]	Pt [GeV]	ϕ	θ
Tracks 0	-	11,68	4,28	-1,319	0,375
Tracks 1	+	126,06	39,41	-2,413	0,318
Tracks 2	+	4,57	4,56	-2,783	1,649
Tracks 3	-	167,90	53,01	0,906	0,321
Tracks 4	-	1,34	1,33	-2,949	1,475
Tracks 5	-	1,75	1,74	-3,090	1,645
Tracks 6	+	18,61	3,94	-1,818	0,214
- HYPATHIA - Control Window:** Contains various control panels for interaction and window management, including "Parameter Control" and "Data" sections. The "Data" section shows a list of parameters with checkboxes, such as "Status", "InDet", and "Calo".

Anzeige
der
Teilchen-
spuren

Informationen
zu
Teilchenspuren

Einstellungen

Werkzeuge,
Navigation

Teilchenspuren: Elektron oder Positron

- Spur im inneren Detektor
- Vollständige Energieabgabe im elektromagnetischen Kalorimeter
- Keine Energieabgabe im hadronischen Kalorimeter
- Photon:
Wie Elektron, aber ohne Spur im inneren Detektor

Teilchenspuren: Myon oder Antimyon

- Spur im inneren Detektor und in den Myonenkammern
- Wenig Energieabgabe in Kalorimetern
- Spuren in den Myonenkammern sind teils schwierig erkennbar
 - Beide Ansichten nutzen!

Teilchenspuren: Quarks

- Quarks erzeugen Bündel aus Hadronen (z.B. Pionen, Protonen, Neutronen): **Jets**
- Nachweis:
 - Spurbündel
 - Energieabgabe in beiden Kalorimetern

Neutrinos

- Neutrinos hinterlassen keine Spur und keine Energie in den Kalorimetern.
 - Woran kann man sie trotzdem erkennen?
- Wenn ein Neutrino durch den Detektor fliegt, „fehlt“ in dieser Richtung Impuls bzw. Energie: „Missing ET“
- Die Richtung des fehlenden Impulses wird durch eine gestrichelte Linie dargestellt.

So
erkenntst
du
Z-Zerfälle!

Praxistipp: Cut einstellen

Oft sind sehr viele Spuren im Spurdetektor zu sehen.
Du kannst **Spuren mit niedrigem Impuls ausblenden**:

- Gib in der Registerkarte „Cuts“
im Feld **IPtI** einen Wert ein.
- Spuren mit kleinerem PT werden ausgeblendet.

Gib danach wieder einen niedrigen Impuls ein!
Sonst kannst du keine Jets identifizieren.

... und das Higgs?

Entdecke das Higgs-Boson!

Das Higgs-Boson muss massereich und elektrisch neutral sein.

➤ In welche Teilchen könnte es zerfallen?

Diese Teilchen
zerfallen wiederum...

Viel Erfolg beim Finden !!!