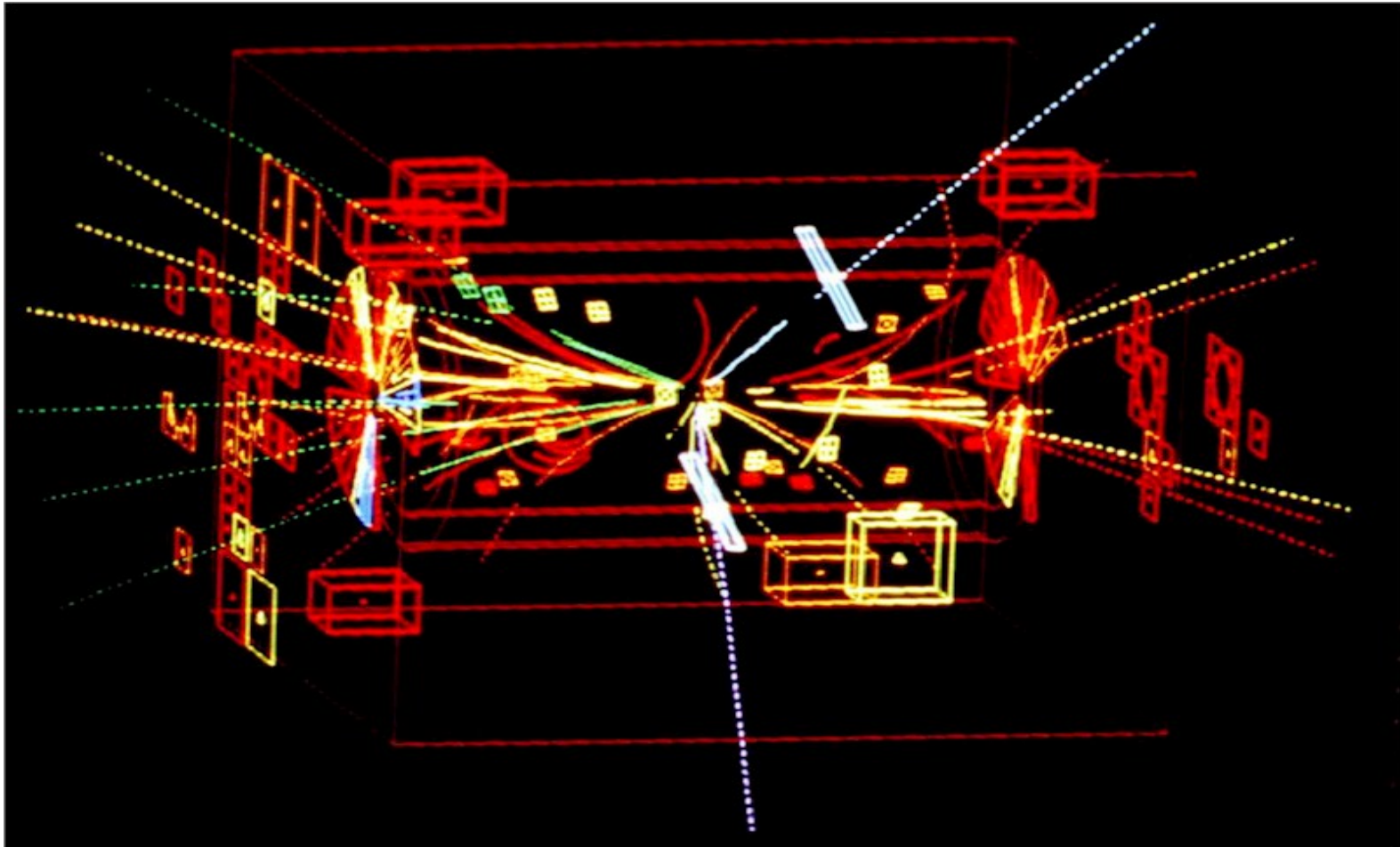


Nachweis von W und Z Boson



Christian Fischer



Inhalt

- Theorie



Inhalt

- Theorie
- Beschleuniger SPS



Inhalt

- Theorie
- Beschleuniger SPS
- Detektoren UA1 / UA2



Inhalt

- Theorie
- Beschleuniger SPS
- Detektoren UA1 / UA2
- Entdeckung des W Bosons
- Entdeckung des Z Bosons



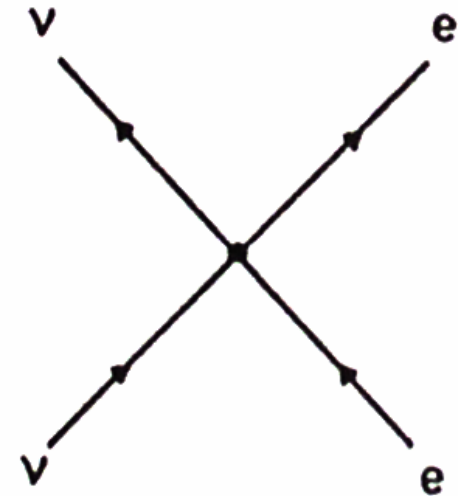
Inhalt

- Theorie
- Beschleuniger SPS
- Detektoren UA1 / UA2
- Entdeckung des W Bosons
- Entdeckung des Z Bosons

Schwache Wechselwirkung I

- 1934 Fermi`s Punktwechselwirkung
 $\Rightarrow G = 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}$

$$\frac{d\sigma(\nu_e e^-)}{d\Omega} = \frac{G^2 s}{4\pi^2}$$



Schwache Wechselwirkung I

- 1934 Fermi's Punktwechselwirkung

$$\Rightarrow G = 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}$$

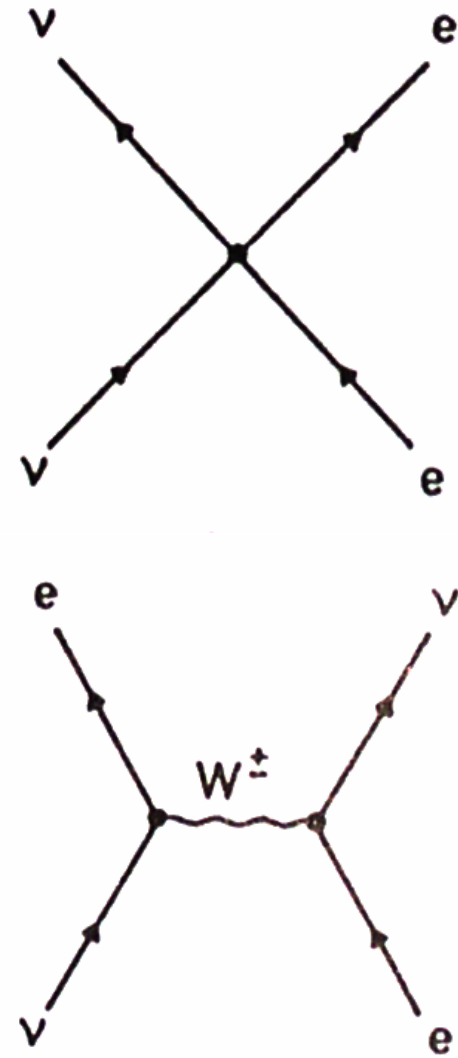
$$\frac{d\sigma(\nu_e e^-)}{d\Omega} = \frac{G^2 s}{4\pi^2}$$

- Einführung massiver, geladener Austauschbosonen $W^\pm$

$$\Rightarrow \text{Propagatorterm } (1 - q^2/M_W^2)^{-2}$$

$\Rightarrow$ begrenzte Reichweite

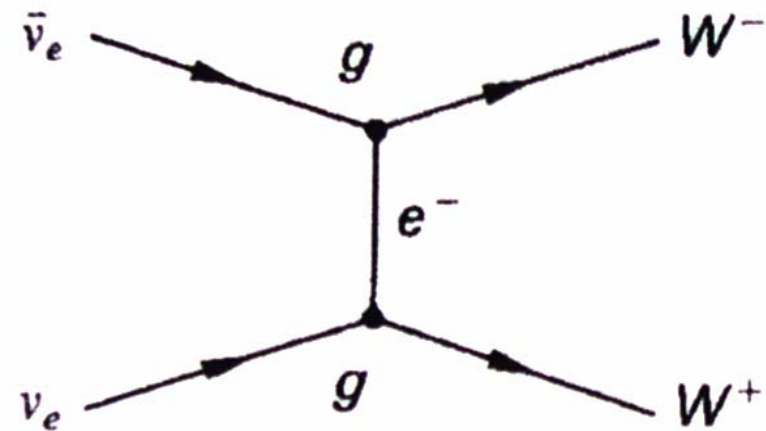
$$\sigma = \frac{G_F^2 s}{\pi} \left(\frac{1}{1 - s/M_W^2} \right)^2 \sim \frac{1}{s}$$



Schwache Wechselwirkung II

ABER:

- $\nu\nu \rightarrow WW$ noch divergent



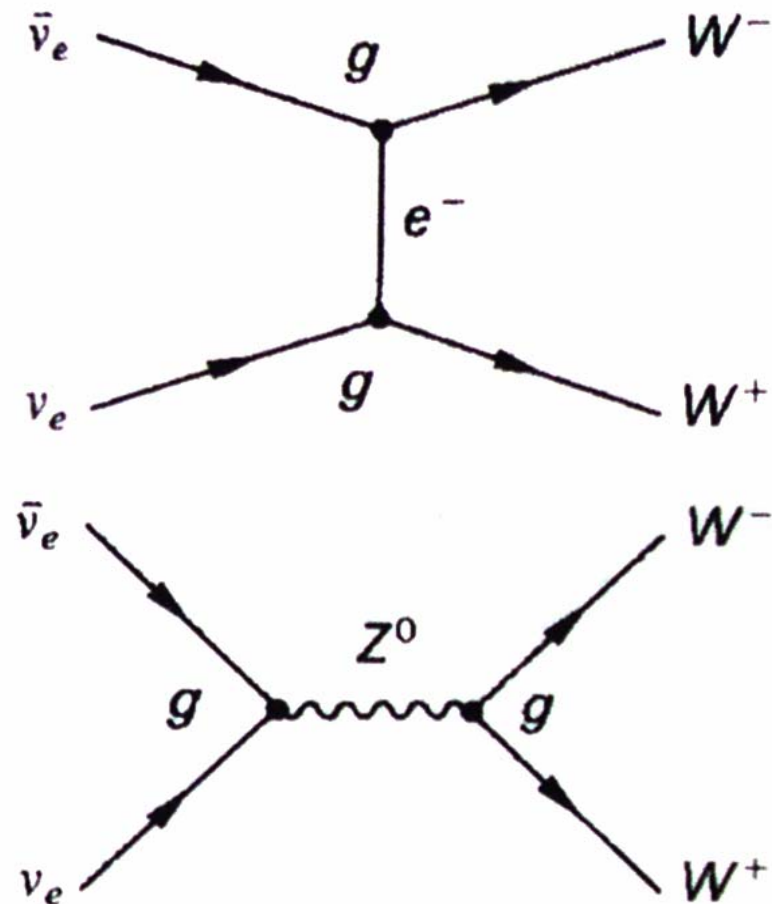
Schwache Wechselwirkung II

ABER:

- $\nu\nu \rightarrow WW$ noch divergent

eine Lösung:

- Einführung **neutrales Boson**
=> Interferenz





Schwache Wechselwirkung III

- Ende 60er Weinberg, Salam, Glashow und Ward:
 - => Vereinigung von Elektromagnet. und schwacher Wechselwirkung
 - => Vier Bosonen ($W^\pm$, Z^0 , γ)
 - => Symmetriebrechung (Masse durch Higgs Mechanismus)
- 1973 Entdeckung des neutralen Stroms am CERN
- 1979 Nobelpreis für Weinberg, Salam, Glashow



Auf der Suche nach den Bosonen...

aus dieser Theorie folgt:

$$M_{W,Z} \sim \frac{e}{\sqrt{G}} \sim \sqrt{\frac{4\pi\alpha}{G}} \sim 90 \text{ GeV}$$

Wie erzeugt man schwere Bosonen?

Entstehung der Bosonen

- Quark + Antiquark $\rightarrow$ Boson

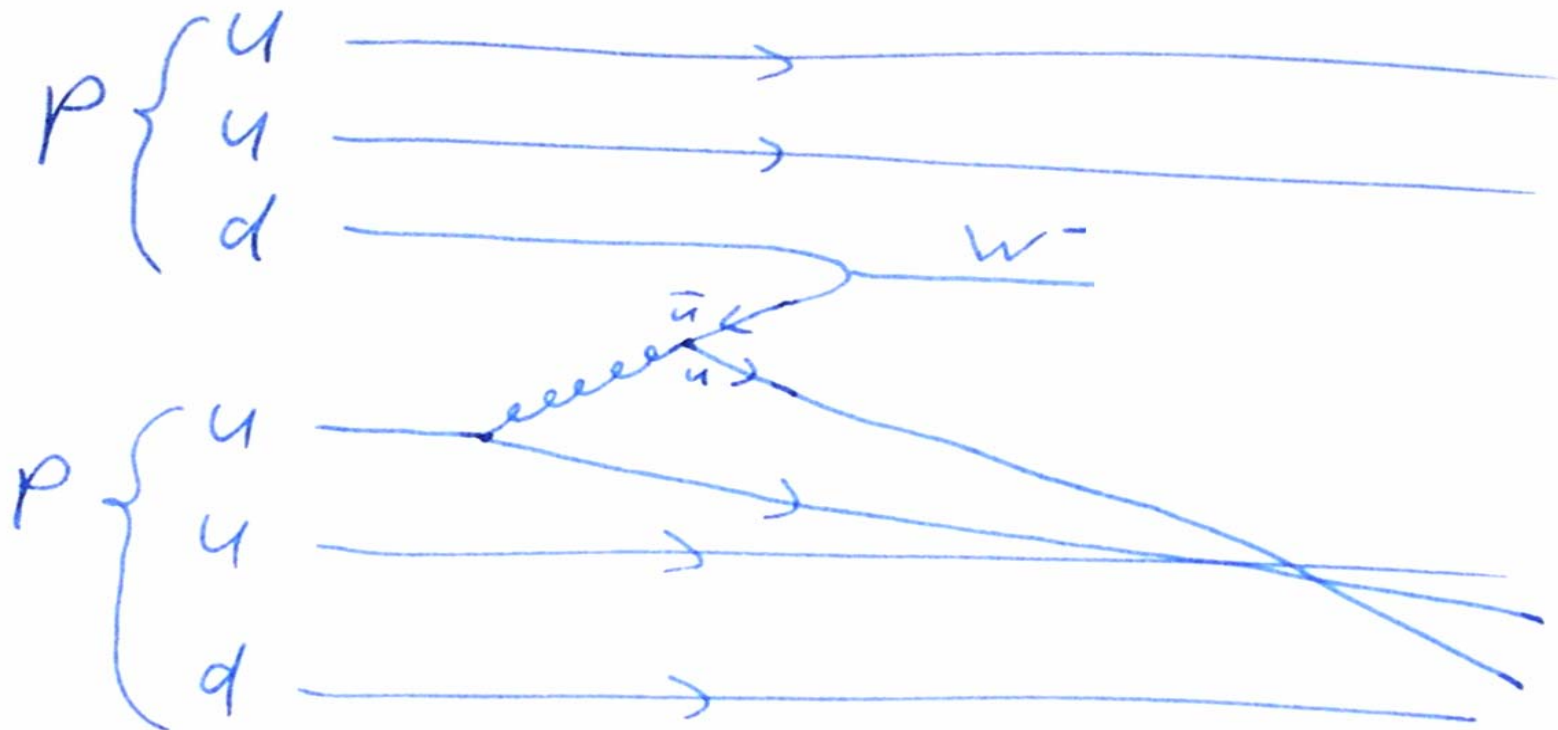
$$u + \bar{d} \rightarrow W^+$$

$$\bar{u} + d \rightarrow W^-$$

$$\left. \begin{array}{l} u + \bar{u} \\ d + \bar{d} \end{array} \right\} \rightarrow Z^0$$

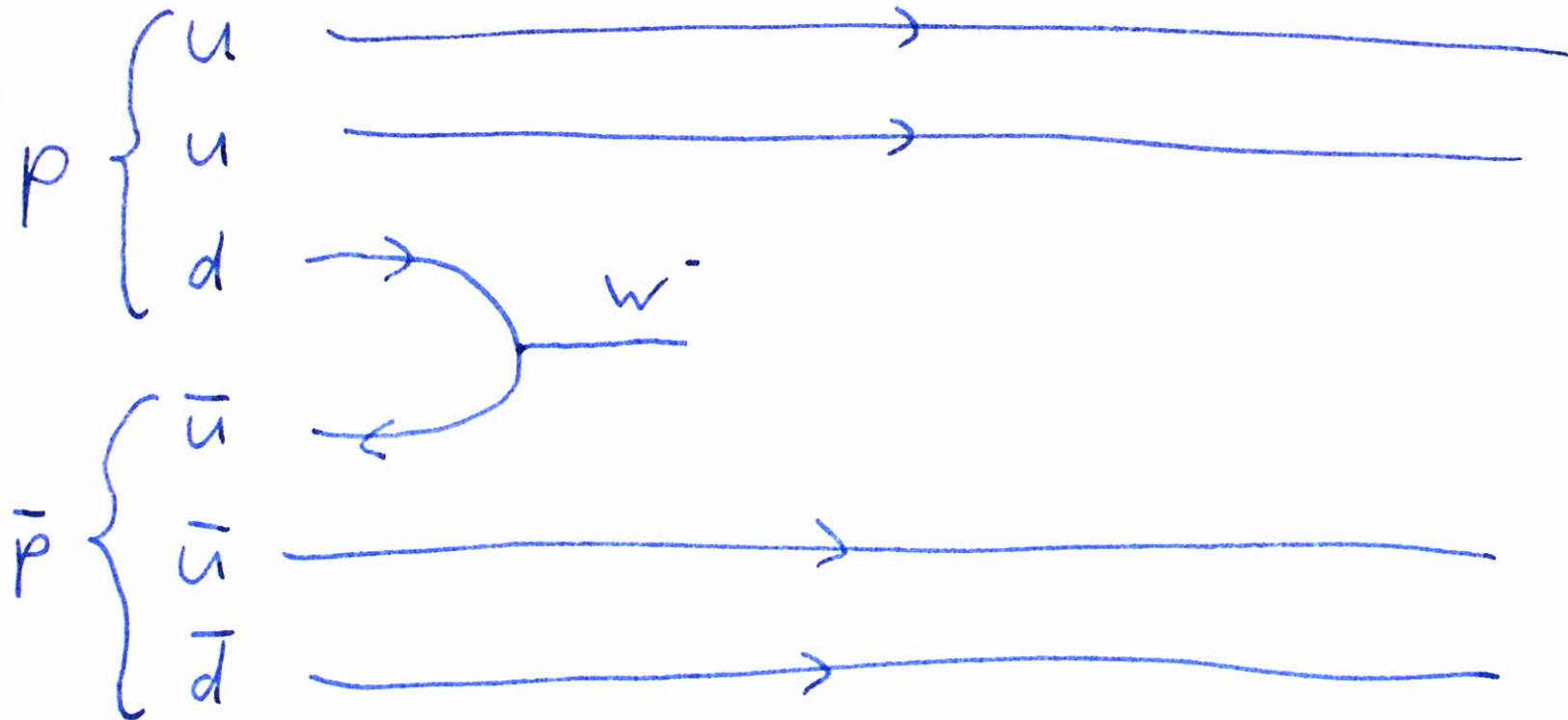
Entstehung der Bosonen

■ Protonen - Protonen



Entstehung der Bosonen

■ Protonen - Antiprotonen



Entstehung der Bosonen

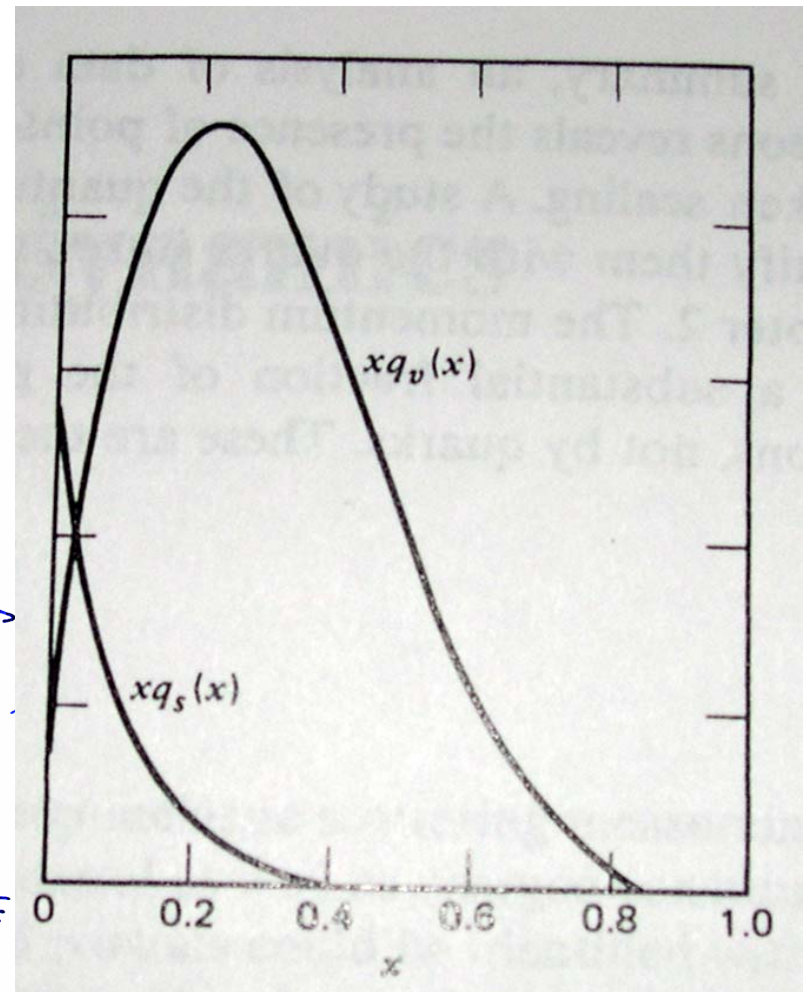
2-Teilchenzusammenstoß:

- $s = (p_1 + p_2)^2$
- $\sqrt{s} = 2 \cdot E \cdot (\langle x_k \rangle \cdot \langle x_l \rangle)^{0.5}$

$$\begin{aligned}
 s &= (p_1 + p_2)^2 & p_i &= x_i p_i \\
 &= (x_1 p_1 + x_2 p_2)^2 \\
 &= (x_1^2 p_1^2 + x_2^2 p_2^2 + 2 x_1 x_2 p_1 p_2) \\
 &= (x_1^2 m_1^2 + x_2^2 m_2^2 + 2 x_1 x_2 p_1 p_2)
 \end{aligned}$$

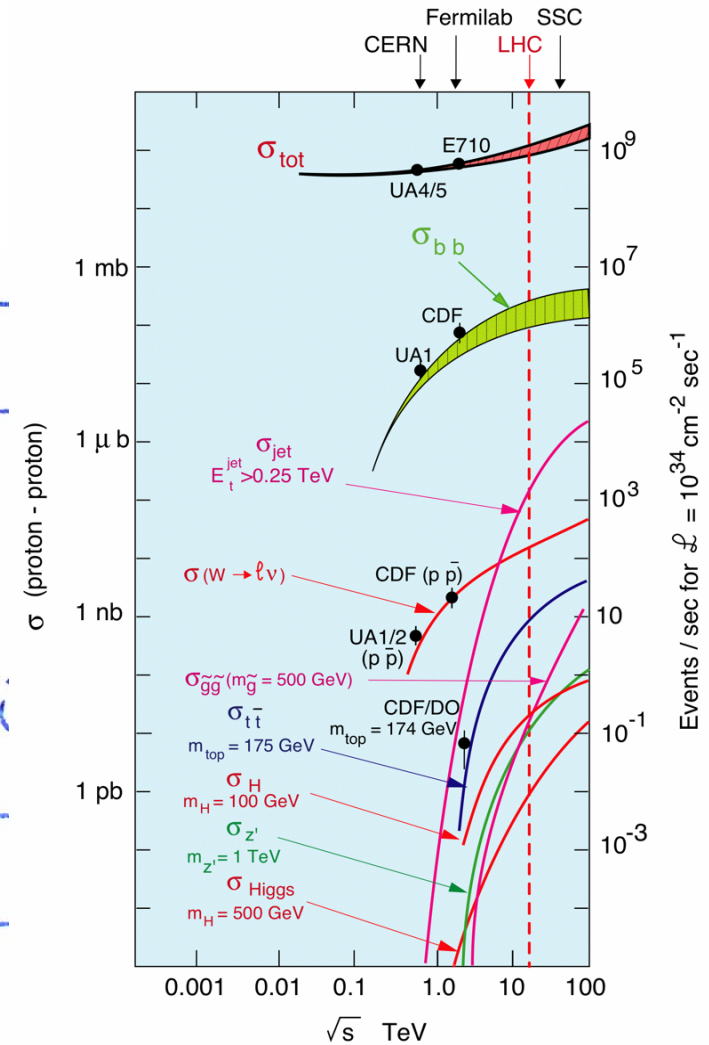
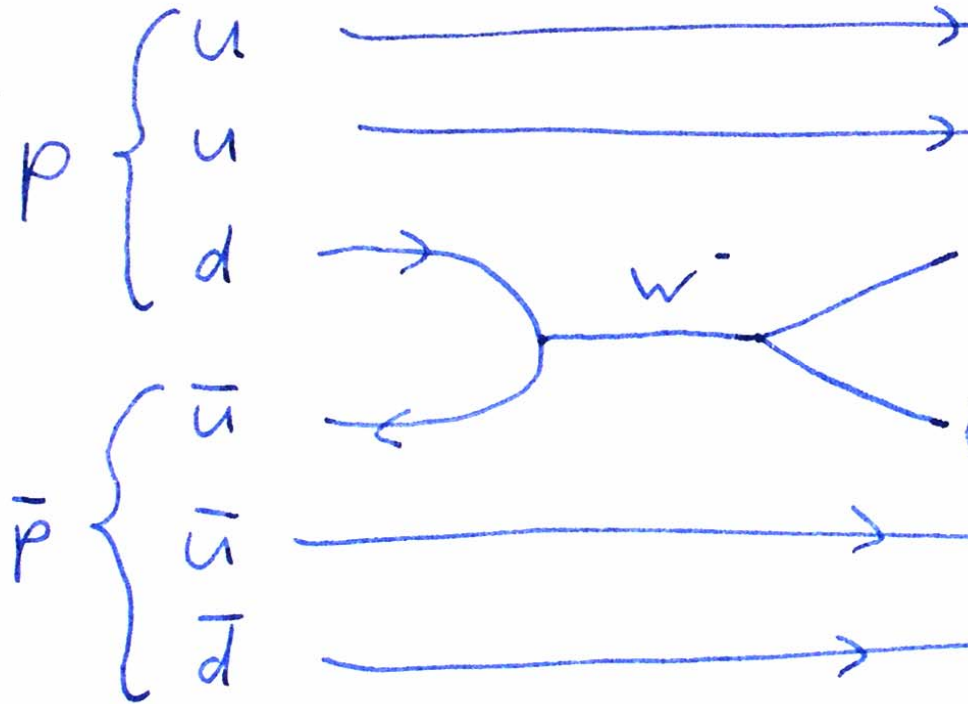
$$\begin{aligned}
 NR: p_1 p_2 &= E_1 E_2 - \vec{p}_1 \vec{p}_2 & \downarrow E_i > \\
 &\approx E_1 E_2 - E_1 E_2 \cos \theta & \downarrow \theta = 0 \\
 &= 2 E_1 E_2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Rightarrow s &= x_1^2 m_1^2 + x_2^2 m_2^2 + 4 x_1 x_2 E_1 E_2 \\
 \text{für } m_1 &= m_2 \text{ und } E_1 = E_2 \text{ sowie wieder } E \\
 s &= 4 x_1 x_2 E^2
 \end{aligned}$$



Zerfall der Bosonen

- Hadronisch $\approx 70\%$
aber Untergrund $\approx 100\times$ stärker





Inhalt

- Theorie
- Beschleuniger SPS
- Detektoren UA1 / UA2
- Entdeckung des W Bosons
- Entdeckung des Z Bosons

SPS

- Betrieb seit: 1976
- Durchmesser: 2.2 km
- Energie: 270 GeV
- Intensität: 10^{13} p

Umbau zu Proton-Antiprotonbeschleuniger

- erster Start: 1981
- Entdeck. W/ Z: 1983

Heute: Vorbeschleuniger für LHC (450 GeV)

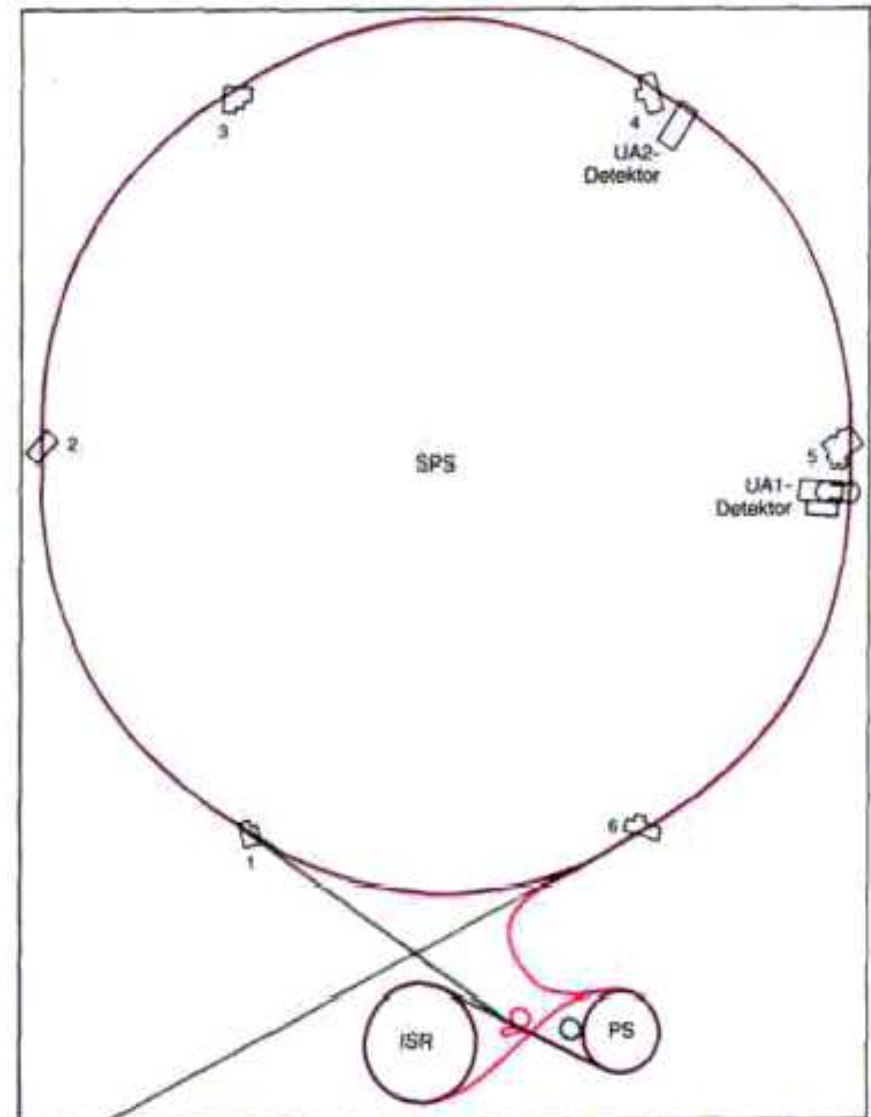
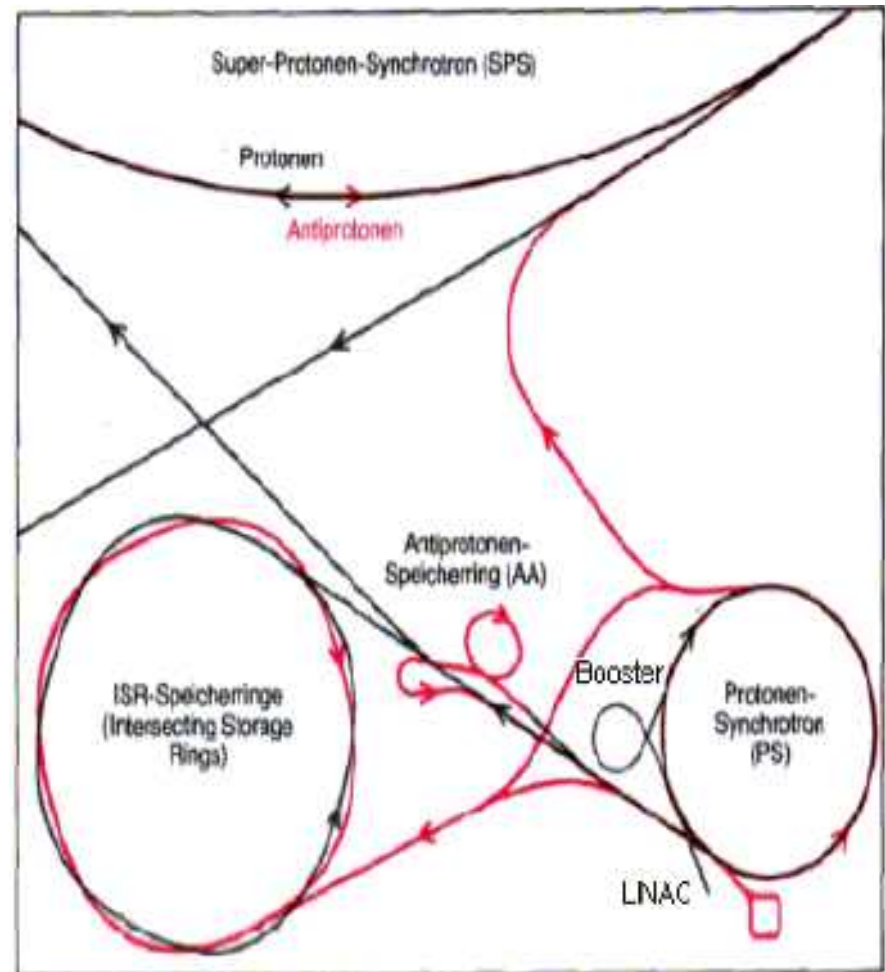




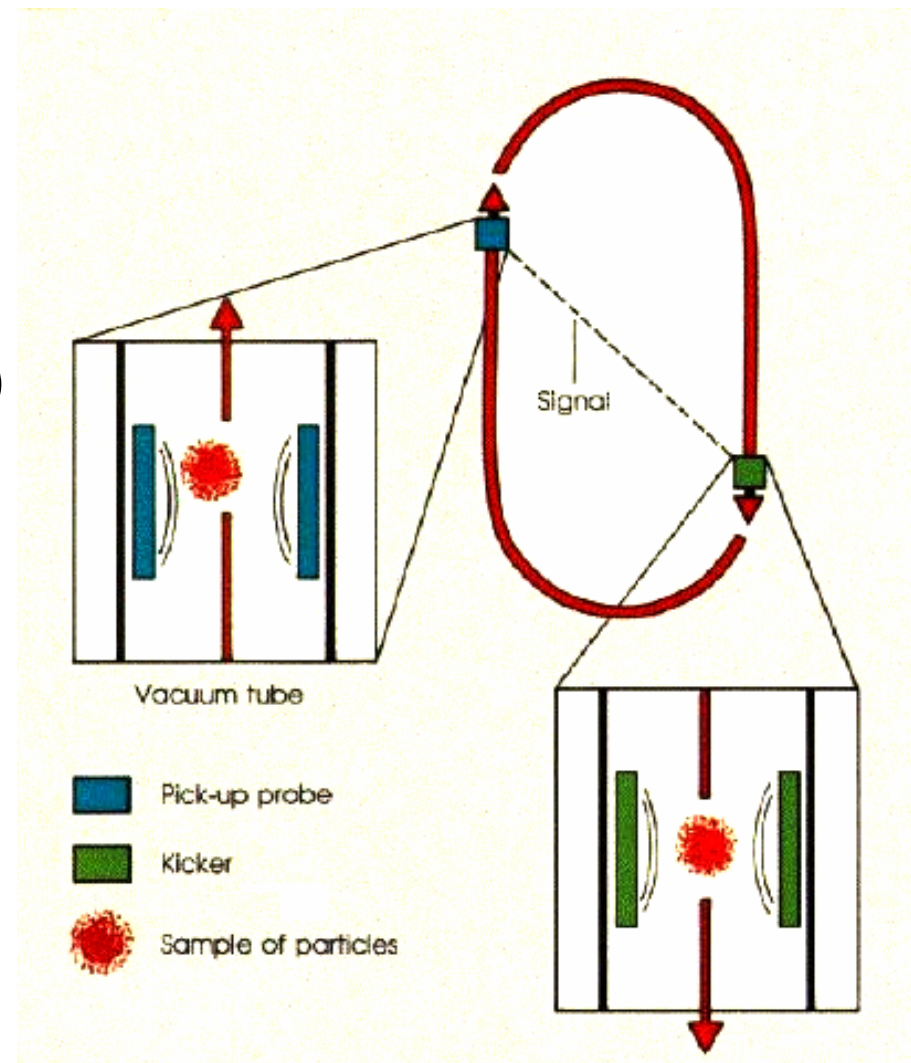
Fig. 8.33 The tunnel of the Super Proton Synchrotron, in the weeks before it accelerated its first protons in 1976. Since 1981 the machine has also operated as a proton-antiproton collider. The same bending magnets (red) and focusing magnets (blue) can guide protons and antiprotons, provided the two types of particle, which have opposite electric charge, are travelling in opposite directions.

- PS beschl. Proton (26 GeV)
- ein Bunch auf Target
=> 10^7 Antiprotonen, 3.5 GeV
- gespeichert in AA,
- dort **stochast. Kühlung**
- einige Tage später:
=> 10^{13} Antiprotonen



Stochastische Kühlung

- Antiprotonen haben hohe Impulsverteilung
 - brauchen Kühlung (Phasenraumverdichtung)
 - van der Meer erfand eigene Methode
-
- Prozess konvergiert





Inhalt

- Theorie
- Beschleuniger SPS
- Detektoren UA1 / UA2
- Entdeckung des W Bosons
- Entdeckung des Z Bosons

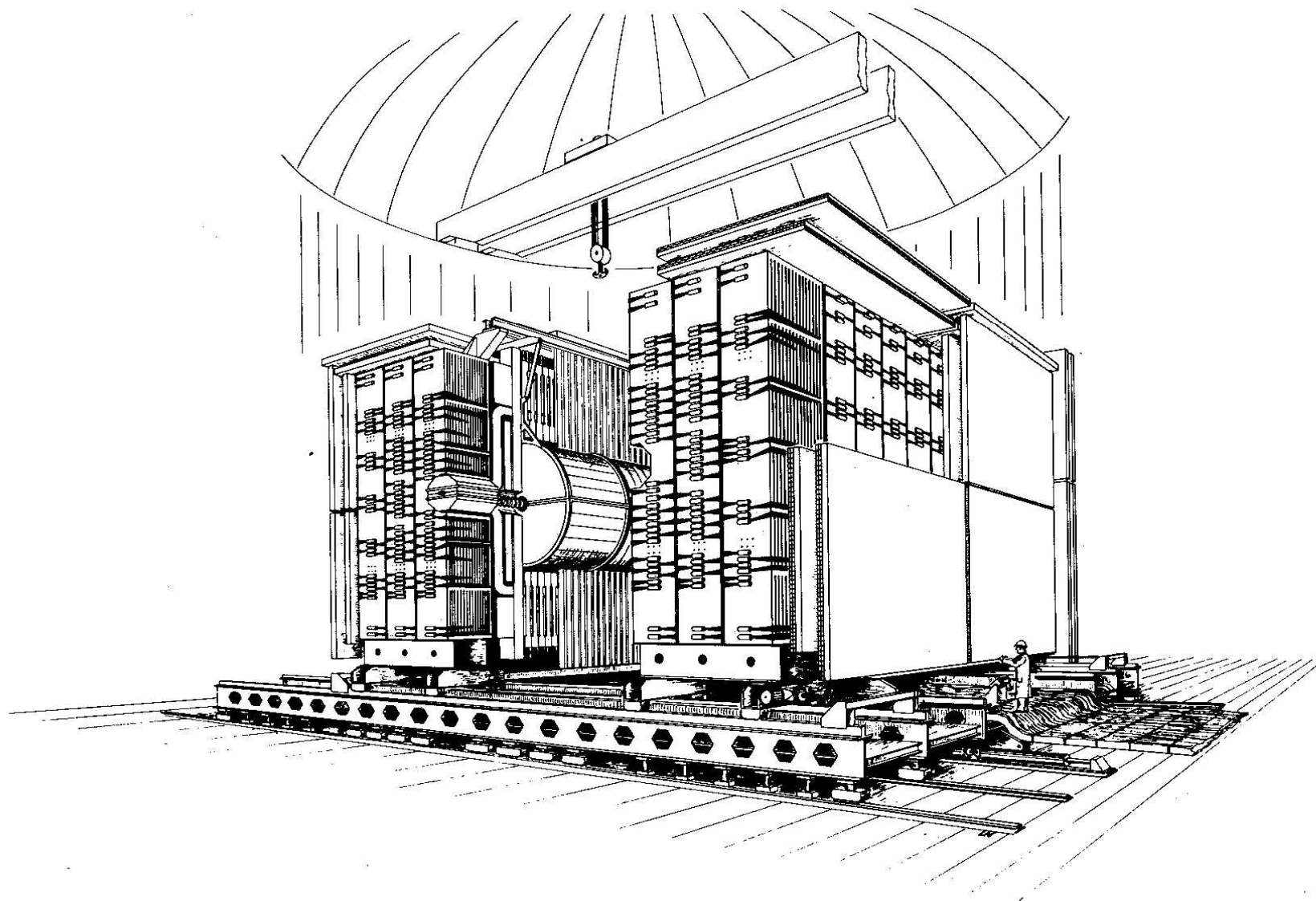
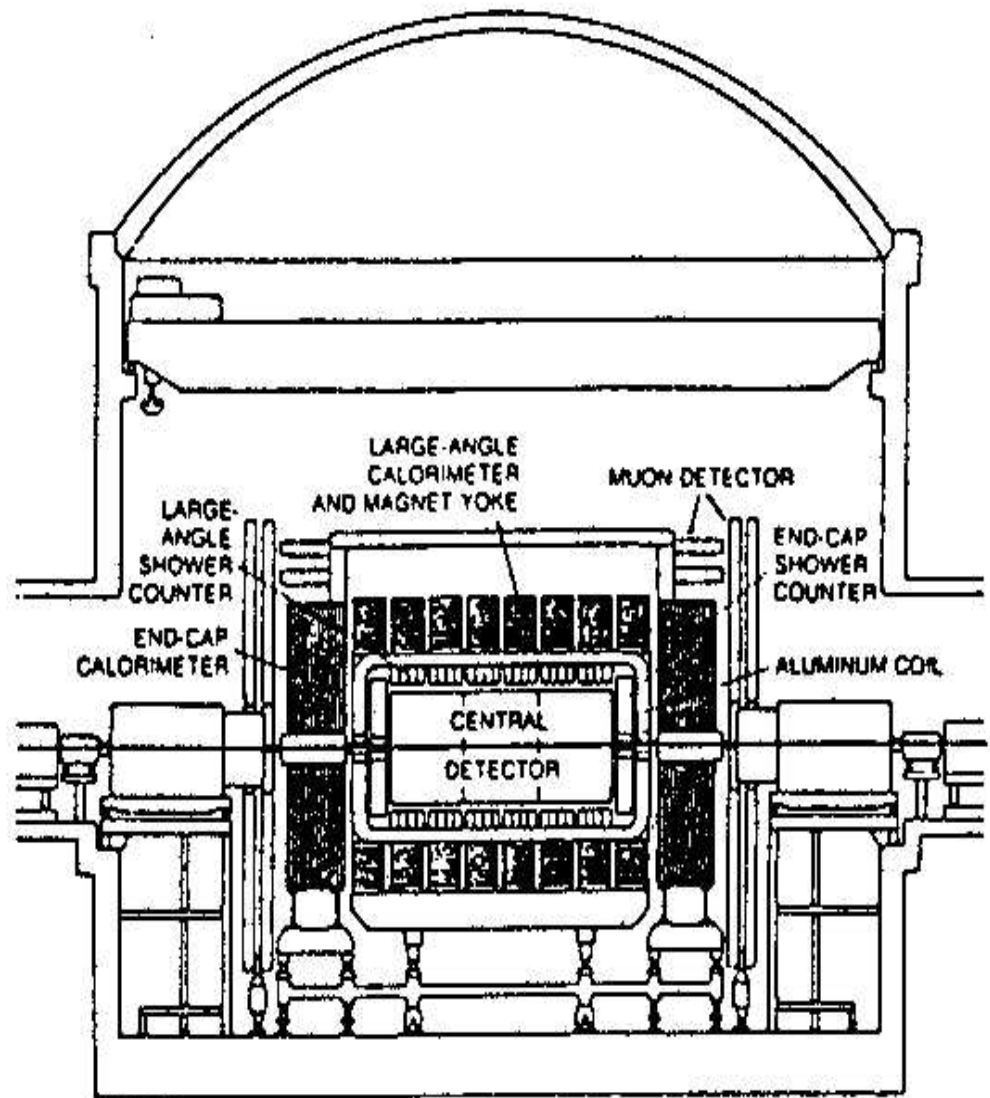


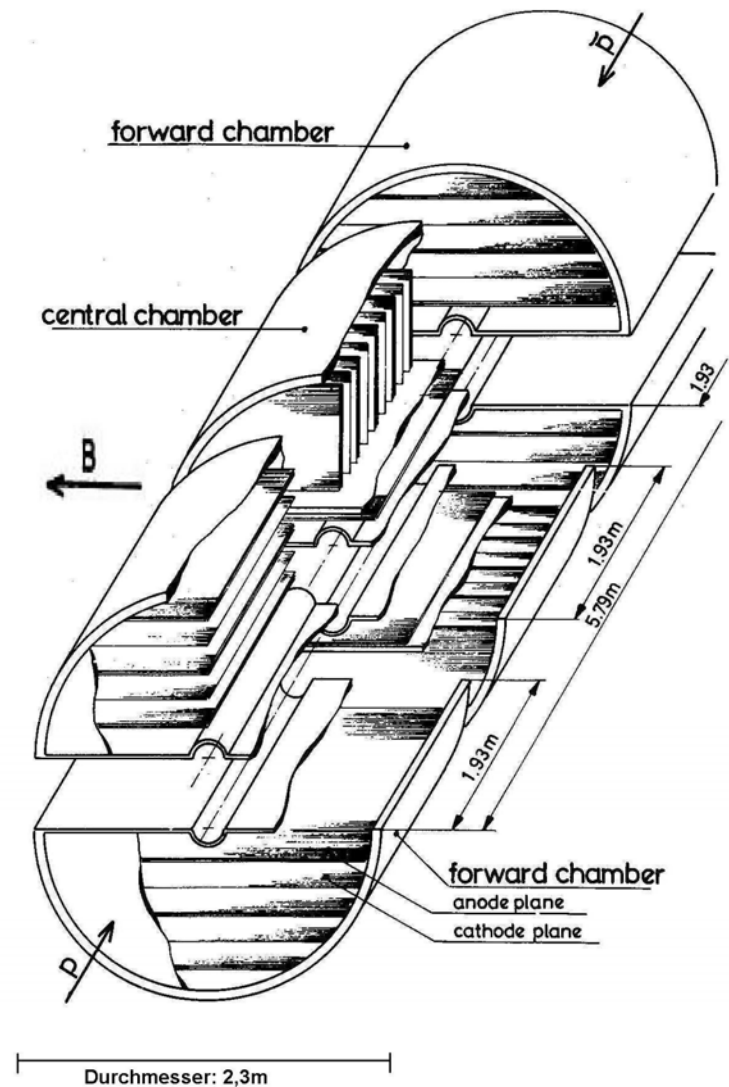
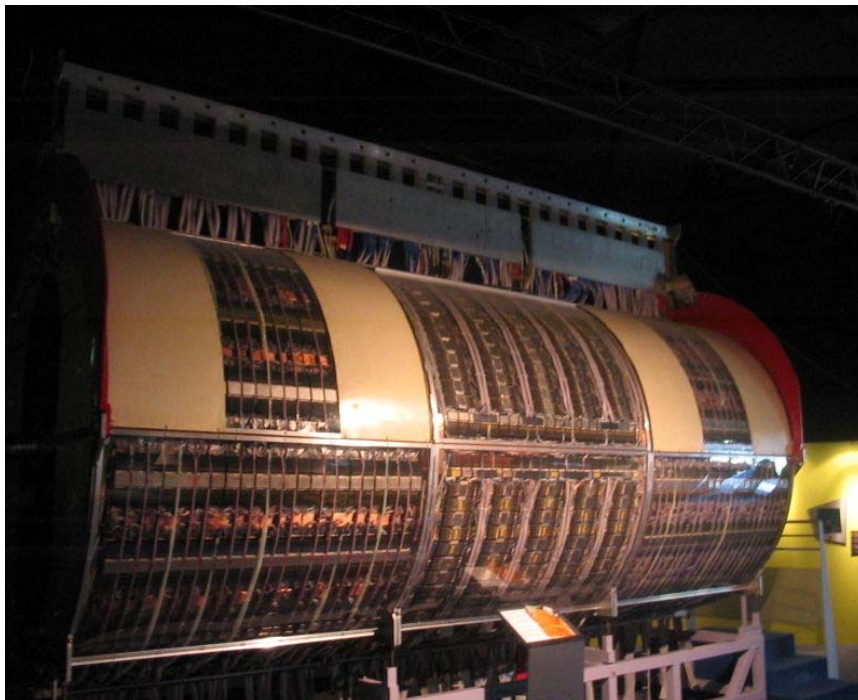
Fig. 1

- 10x6x6 m³
- konventioneller Aufbau (Spurdetektor, Kalorimeter, Myonenkammer)
- normalleitender Dipolmagnet (0.7 T)
- “hermeticity”

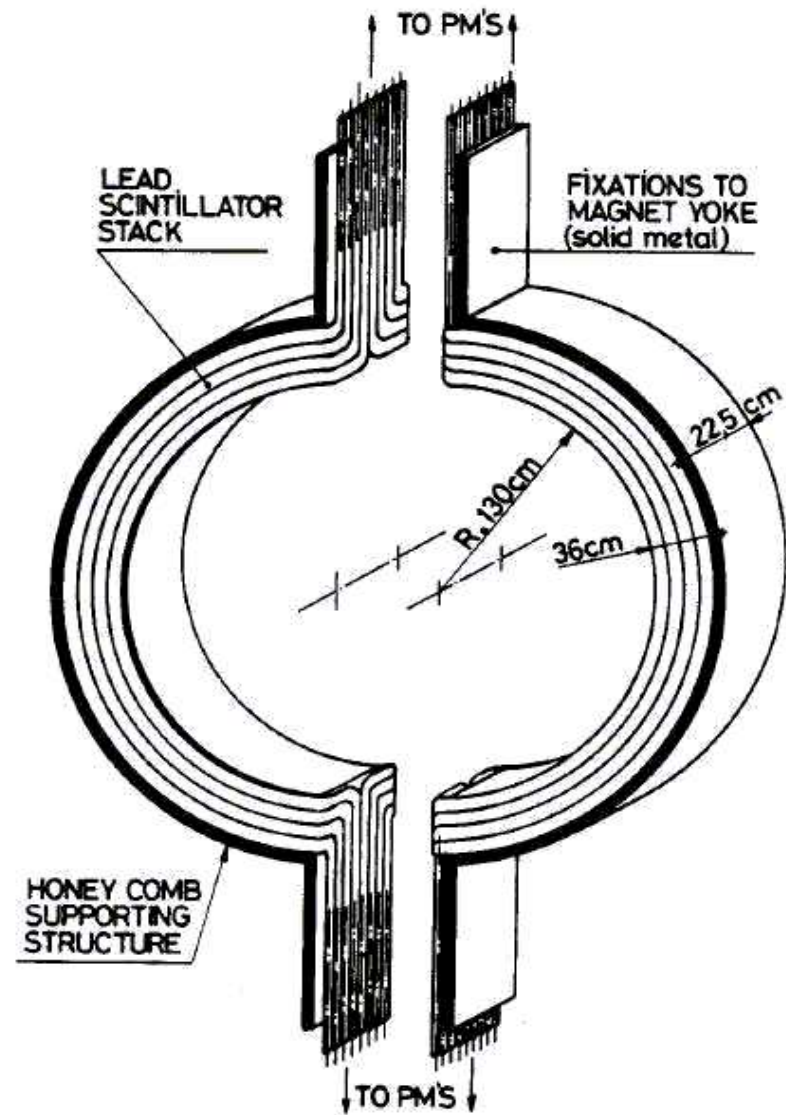
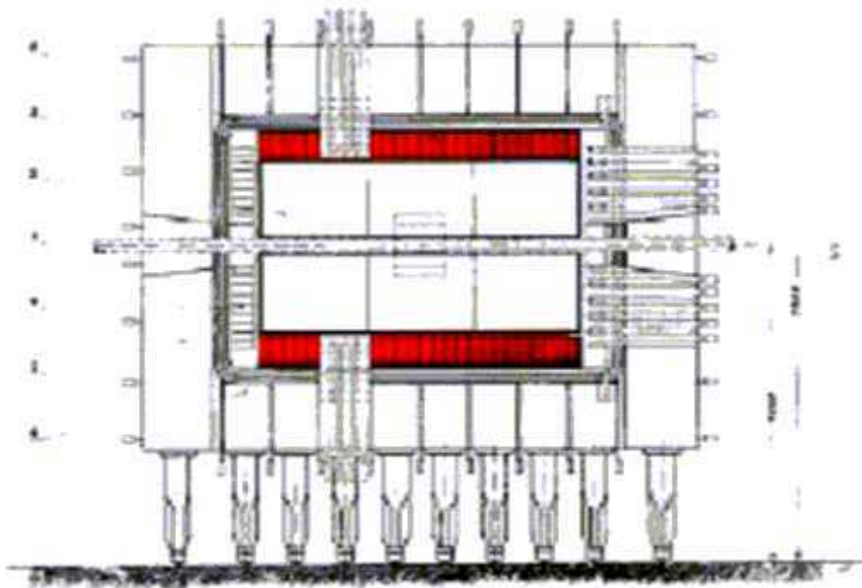


Central Detector

- “elektron.” Blasenkammer
- räumliche Auflösung $\leq 300 \mu\text{m}$
- Impuls- und Spurmessung



EM Kalorimeter



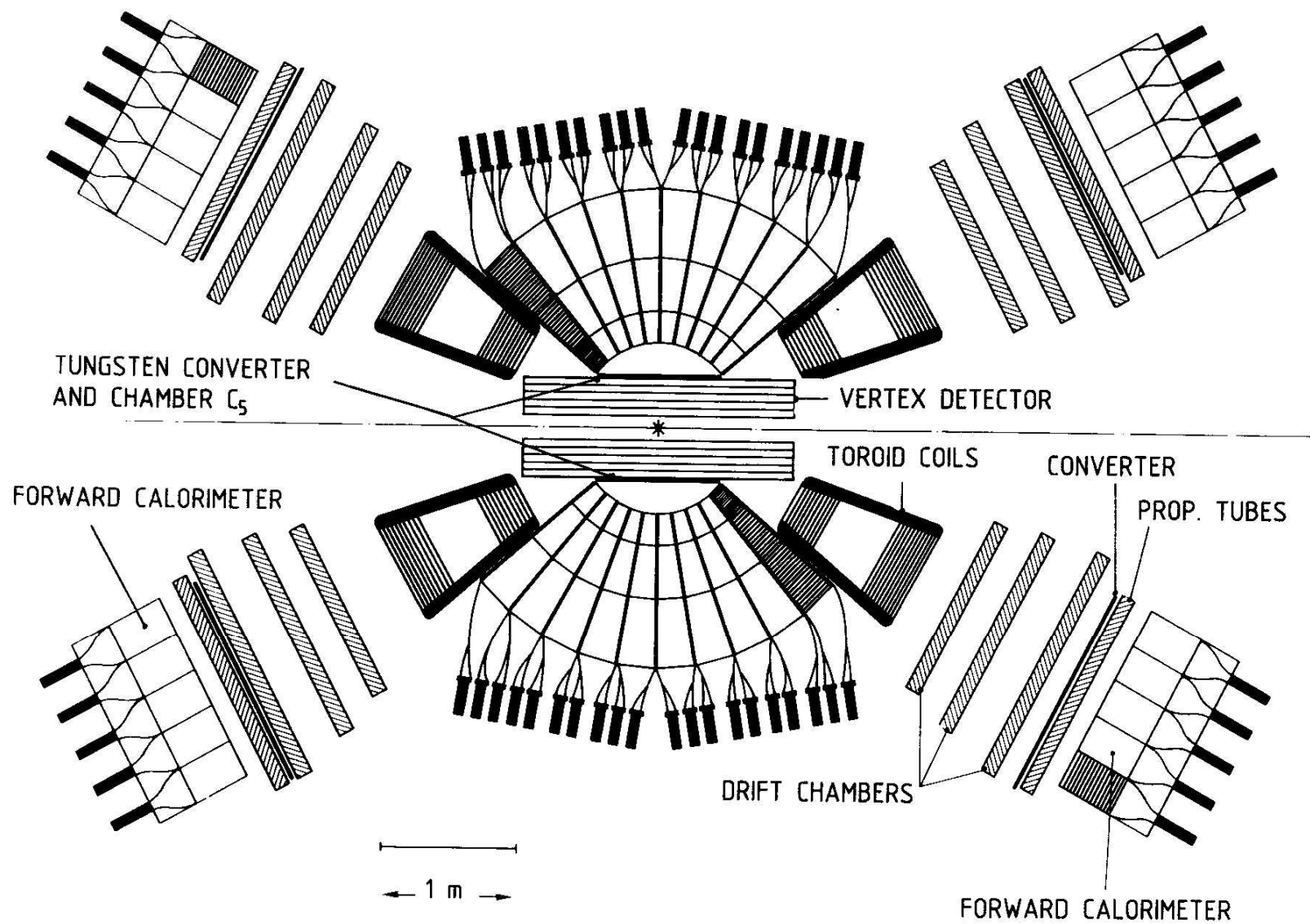


Fig. 1

- Optimiertes Design für Elektrondetektion
(kein μ -Detektor, kein Magnetfeld, wenig Eisenabsorber)
- über 500 Kalorimeterzellen ($10^\circ \times 15^\circ$)
- Vorschauerzähler
- Lücke von $\pm 20^\circ$ in θ

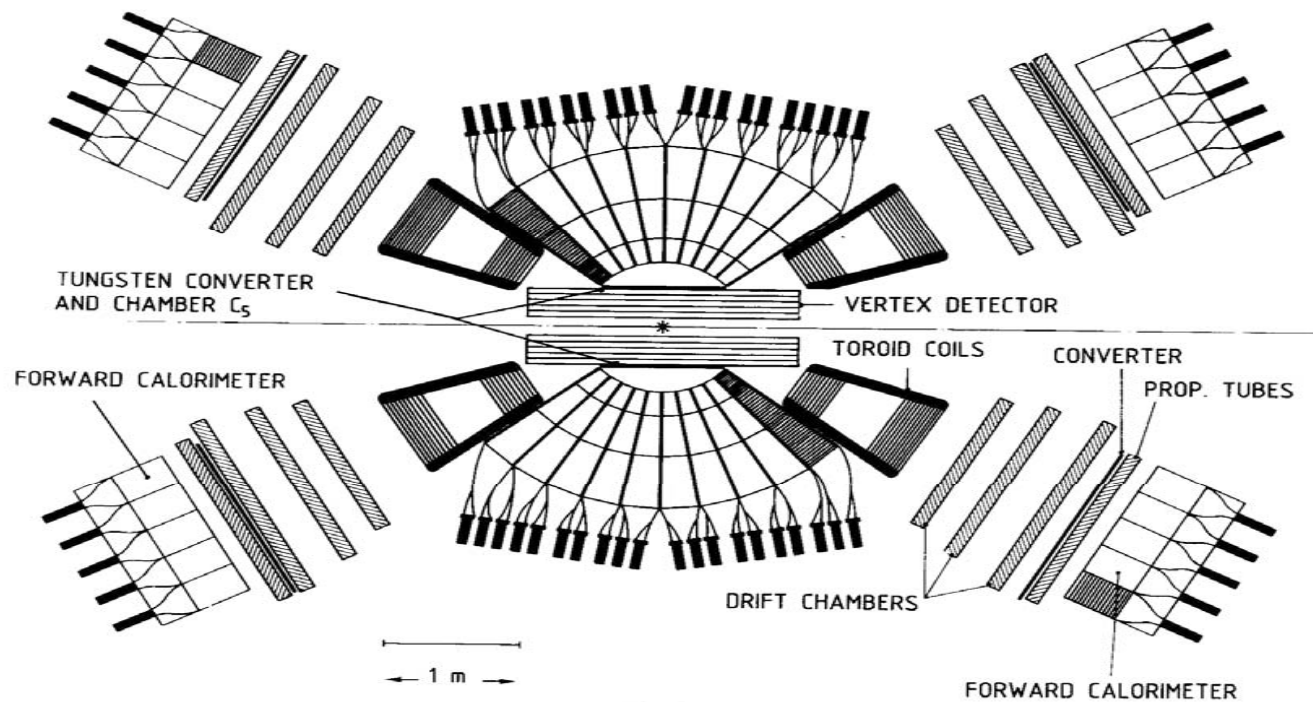


Fig. 1



Inhalt

- Theorie
- Beschleuniger SPS
- Detektoren UA1 / UA2
- Entdeckung des W Bosons
- Entdeckung des Z Bosons

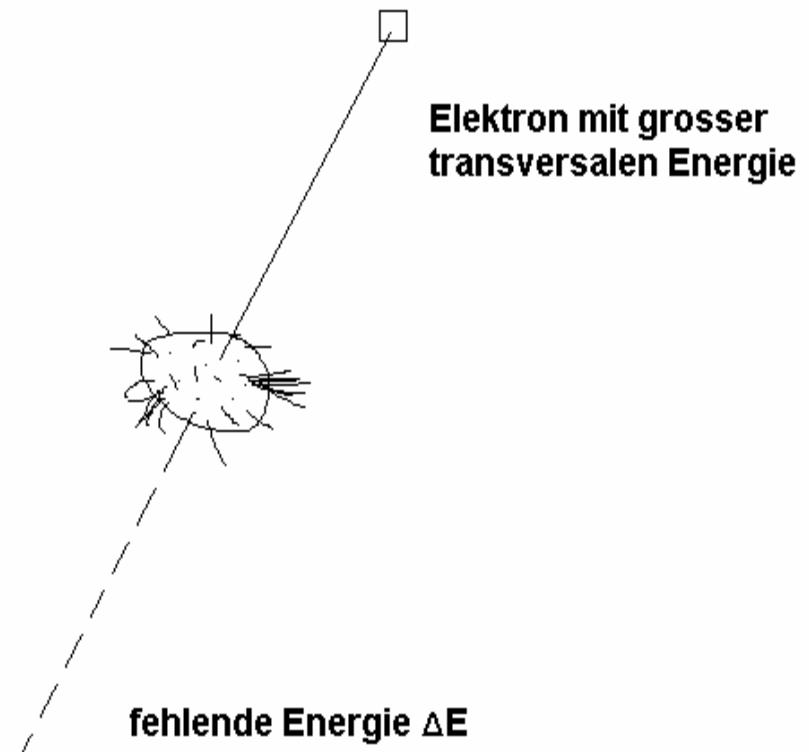
Identifikation der Zerfallsteilchen

Elektron:

- charakter. Kurve im CD
- geringes Eindringen ins Hadron. Kalorimeter

Neutrino:

- **nur** durch Ungleichgewicht der Energieverteilung
Definition von $\Delta E = \sum E_i - v_i$





Eventselektion 0

Allg. Cuts:

- $E_t > 15 \text{ GeV}$ in zwei Gondolas
 - globale $E_t > 40 \text{ GeV}$
 - Spur mit $p_t > 7 \text{ GeV}$
- => 2125 Events



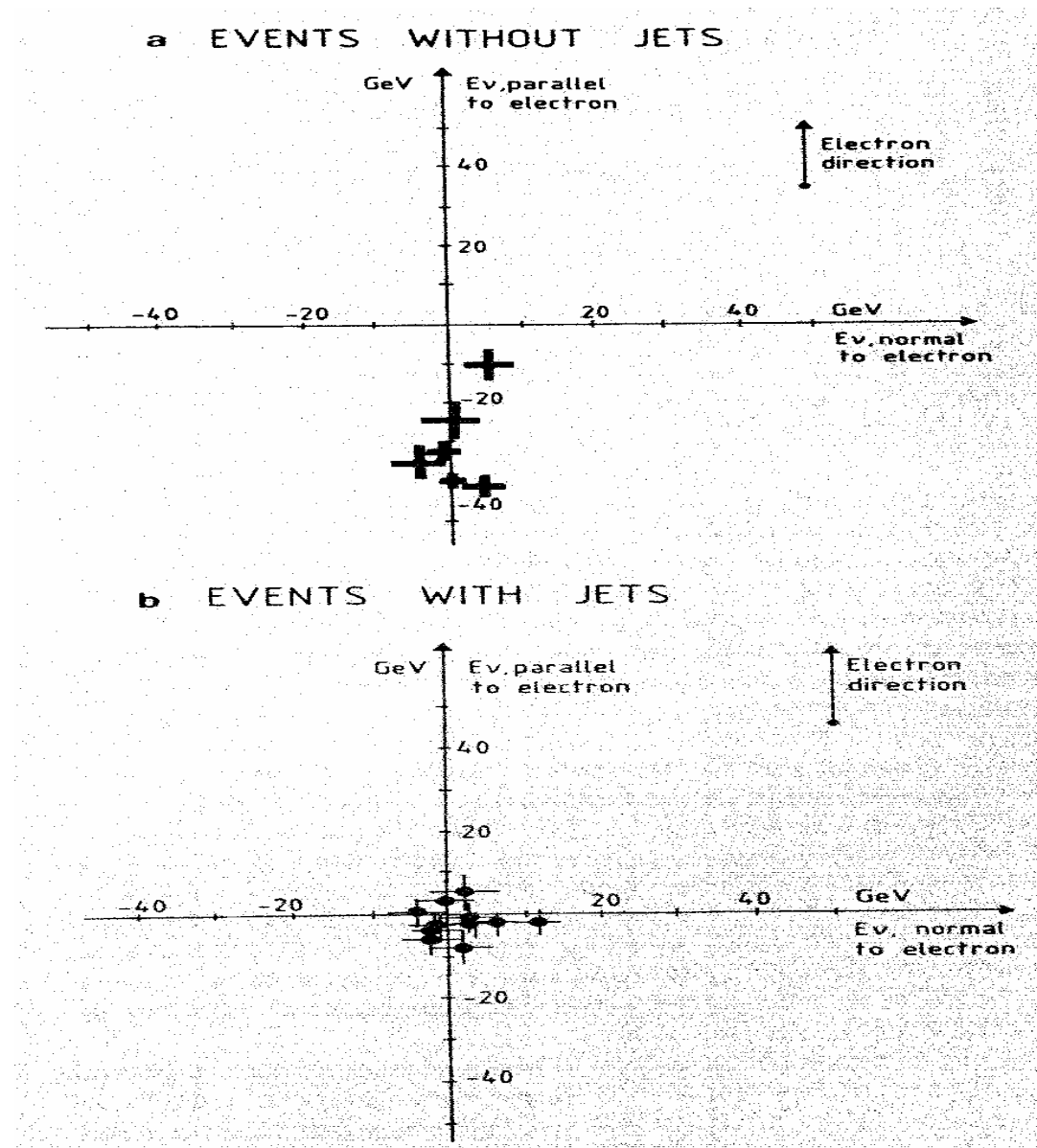
Eventselektion I

1. Elektronkandidaten:

- CD-Spur ($p_t \geq 7$ GeV) hinterlässt $E_t \geq 15$ GeV
 - Vergleich ϕ (PM) mit Einschlag
 - max. $p_t = 2$ GeV durch andere Spuren
 - max. $E = 600$ MeV im hadron. Kalorimeter
 - Vergleich p (CD) mit E (Gondolas)
- => 39 Events

Zwei Typen:

- ohne Jets $\Leftrightarrow$ fehlende Energie (selber Stärke und entgegengerichtet)
- mit Jets $\Leftrightarrow$ keine fehlende Energie





Eventselektion II

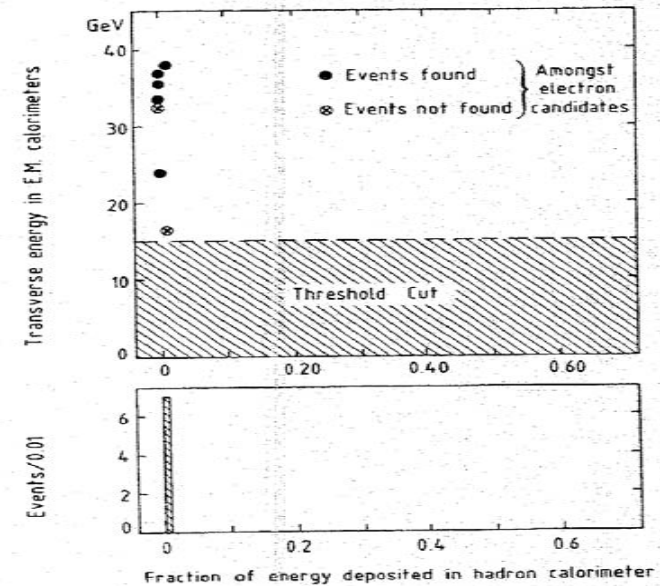
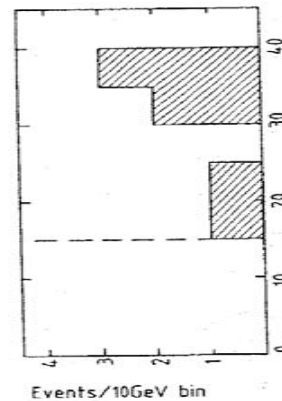
2. Neutrिनोकandidaten:

- *CD-Spur* zeigt zu 2 Gondolas mit $E_t \geq 15 \text{ GeV}$
- kein $p_t > 1.5 \text{ GeV}$ im 30° Kegel durch andere Spuren
- max. $E_t = 4 \text{ GeV}$ für Spurlose in Nachbargondolas mit selben φ
- $E_{\text{missing}} \geq 15 \text{ GeV}$

die selben Typen:

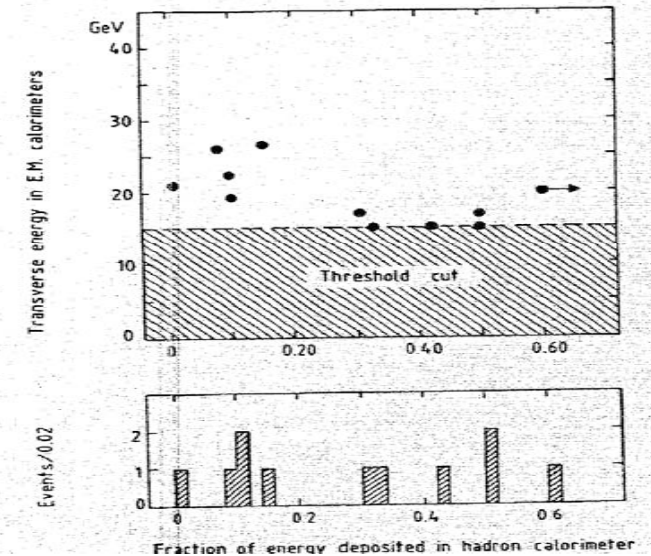
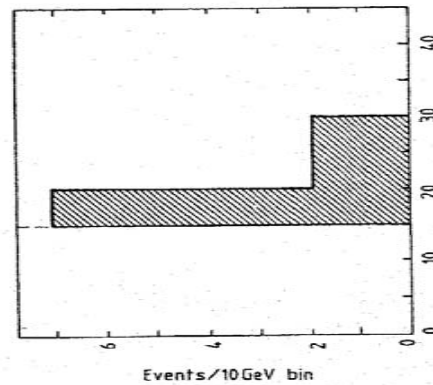
- ohne Jets $\Leftrightarrow$
 $E(\text{hadron}) \ll 1$

a EVENTS WITHOUT JETS

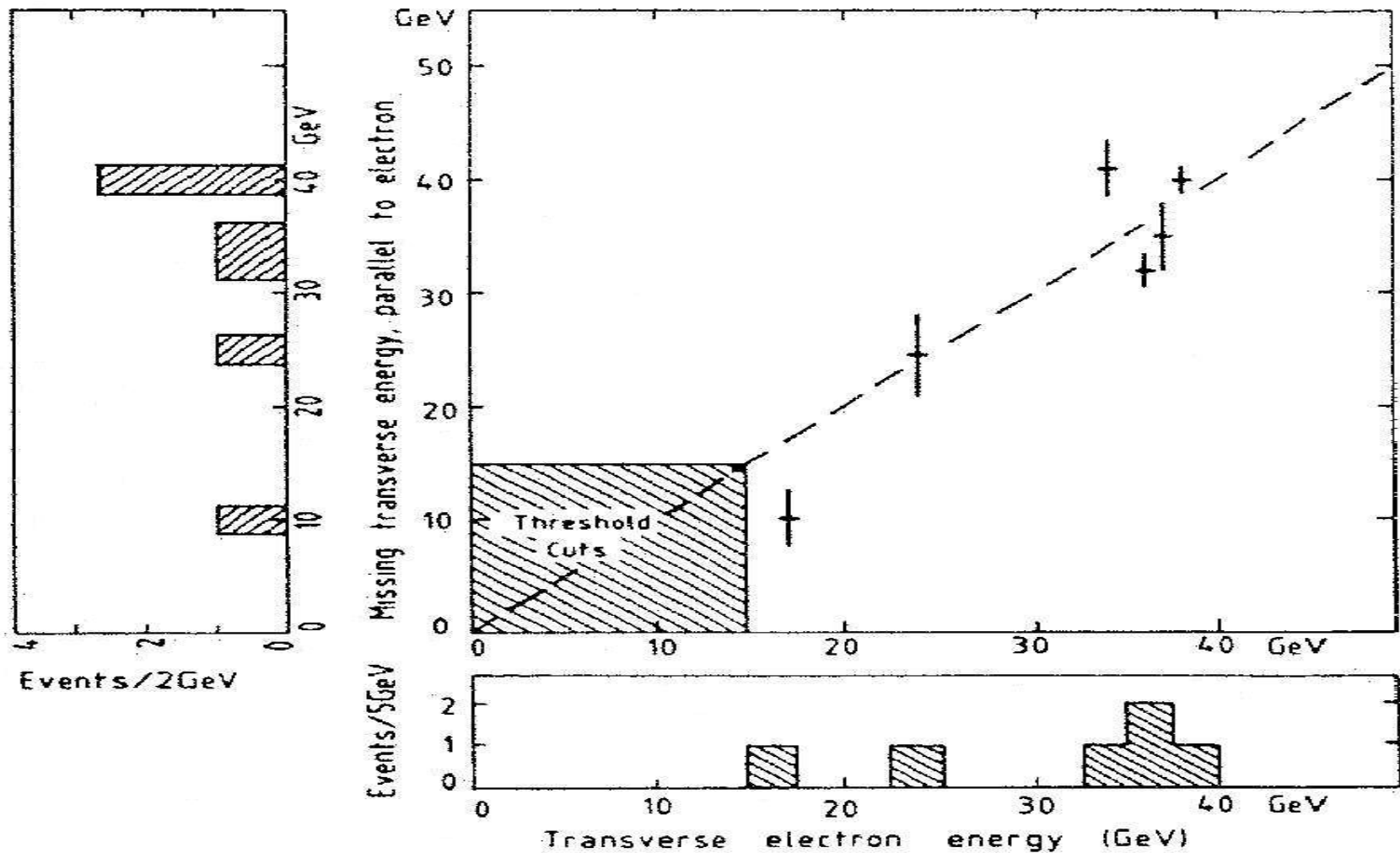


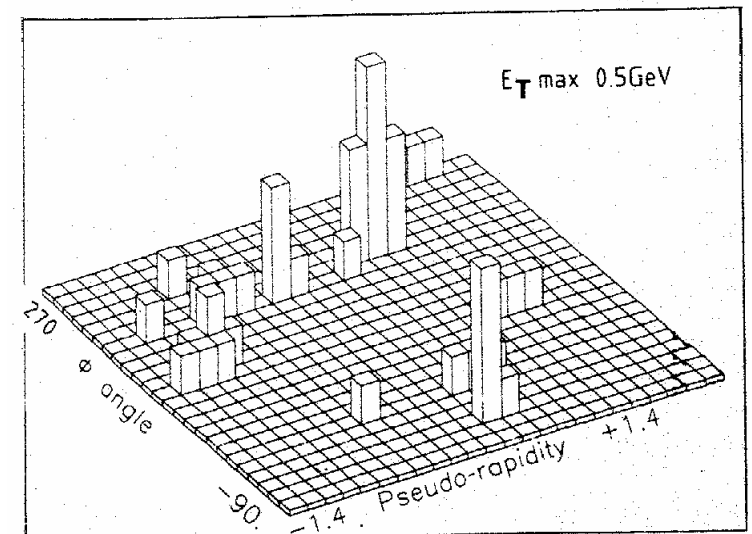
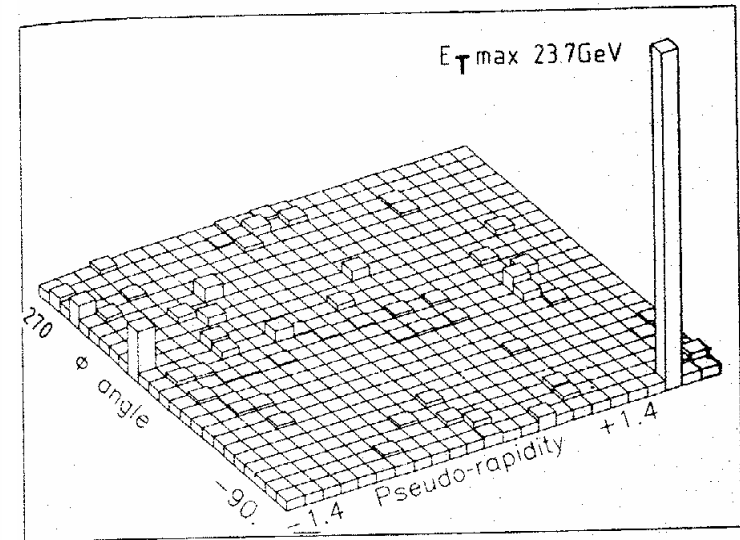
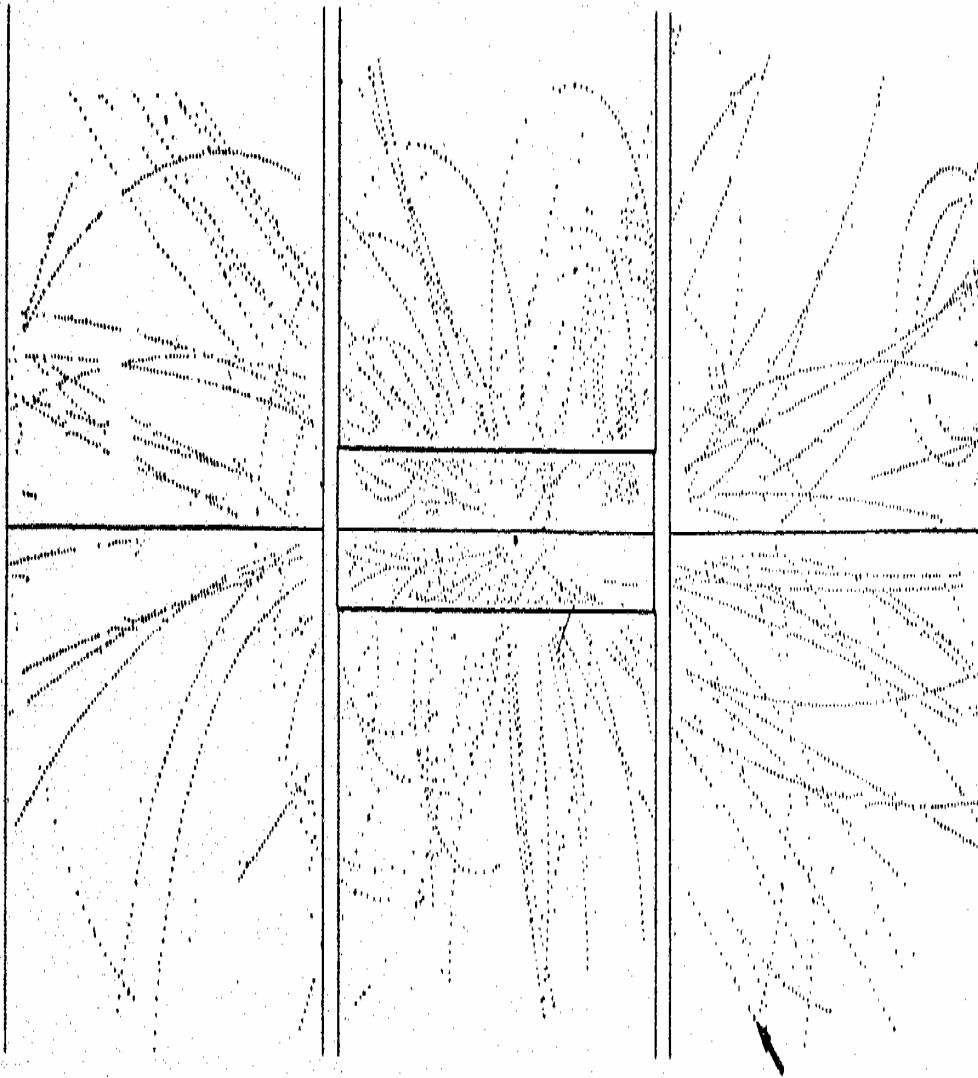
- mit Jets $\Leftrightarrow$
 $E(\text{hadron}) \geq 0$

b EVENTS WITH JETS



Vergleich der Kandidaten







Untergrund

Untergrund:

- (1) Fehlidentifizierte π^0 s
 - (2) zerfallene π^0 s/ η^0 s/ γ^0 s
 - (3) Zerfallsprodukte schwerer Quarks
-
- Simulationen und Testläufe
=> vernachlässigbar

Ergebnisse

- W macht 2-body Decay

$$\Rightarrow m_T^2 = 2p_T^{(e)} p_T^{(\nu)} (1 - \cos \phi_{\nu e})$$

- $M_W \geq m(\text{trans})$
- $M_W \geq 73 \text{ GeV}$ (90% CL)

- Korrektur- Rechnung:

$$M_W = (81 \pm 5) \text{ GeV}$$

- UA2 späteres Ergebnis:

$$M_W = (80 \pm 8) \text{ GeV}$$

Berechnung

- $m = (P_1 + P_2)^2$
 $= m_1^2 + m_2^2 + 2 P_1 P_2$
 $= 2 (E_1 E_2 - \mathbf{p}_1 \mathbf{p}_2)$
 $= 2 (p_1 p_2 - p_1 p_2 \cos \theta)$



Inhalt

- Theorie
- Beschleuniger SPS
- Detektoren UA1 / UA2
- Entdeckung des W Bosons
- Entdeckung des Z Bosons



Suche nach Zwei Elektronen

Allg. Anforderungen:

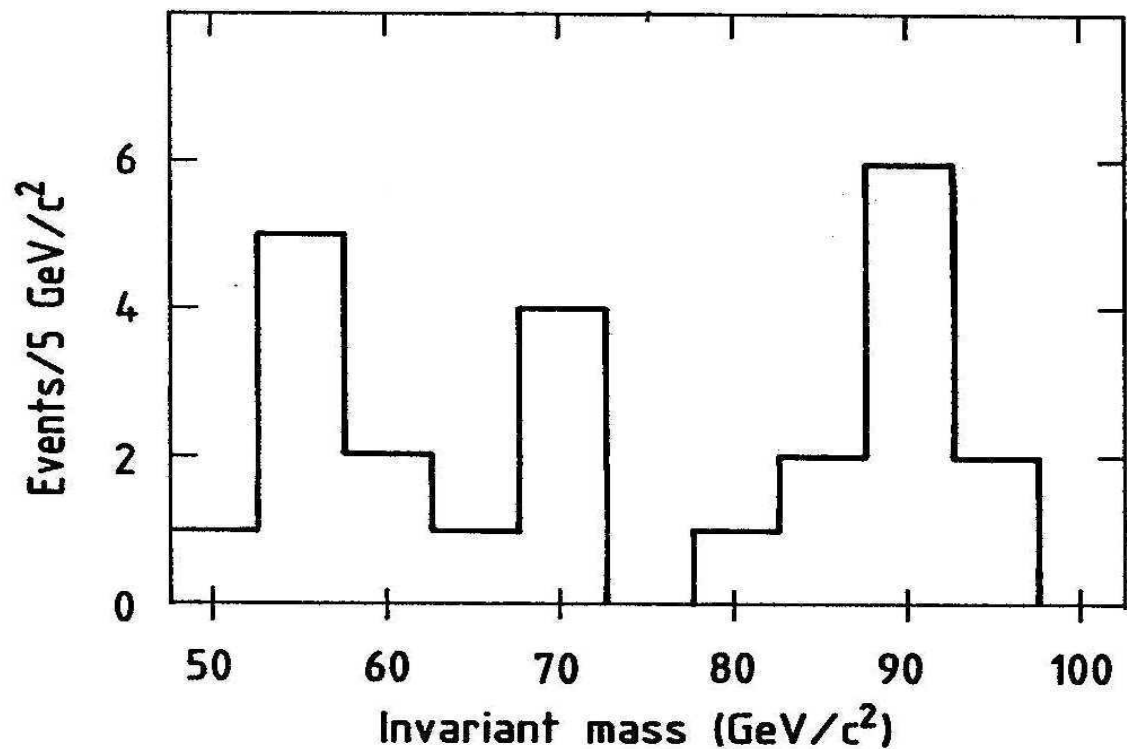
- eine Spur im Vertex Detector
 - deutliches Signal im Vorschauerzähler
 - globale em. $E_t \geq 30 \text{ GeV}$
 - zwei Cluster mit $m_{\text{invariant}} \geq 50 \text{ GeV}$
- => 7427 Events

Suche nach Zwei Elektronen

Cuts:

- Ereignisvertex in der Nähe der Mitte
- begrenzte Clustergrösse
- $E_{\text{Hadron.}} / E_{\text{EM}} \ll 1$

=> 24 Events

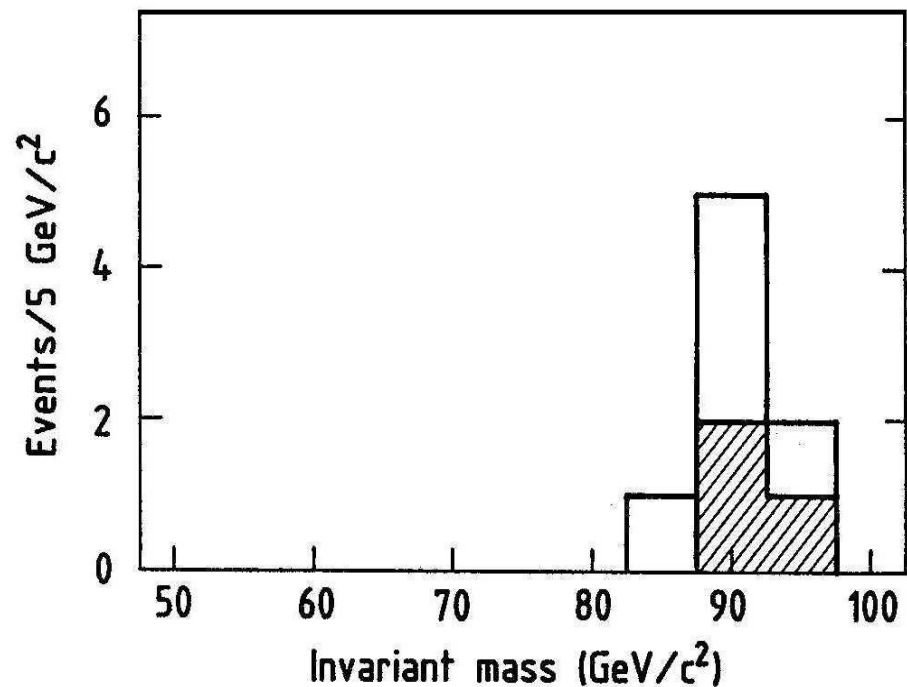


Genauigkeit

- Abweichung zw. Track und Vorschauer klein
- Abweichung zw. Track und Cluster klein
- Impulsabweichung klein (nur Vorwärtsrichtung)

=> 8 Events
(mind. ein Cluster)

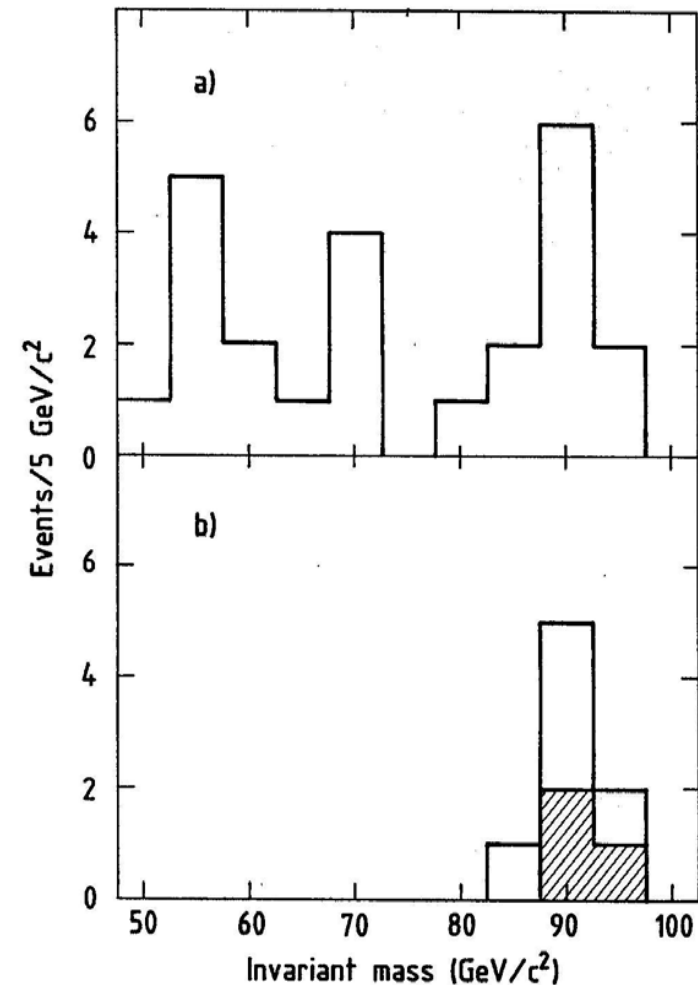
=> 3 Events
(beide Cluster)



Untergrund

Untergrund:

- (1) obere Grenze abgeschätzt durch Annahme gleichen Untergrunds in a) und b)
=> 0.32 Events
- (2) Weglassen des Hadronenenergie- und Clustergrössecuts für ein Cluster
=> 0.03 Events



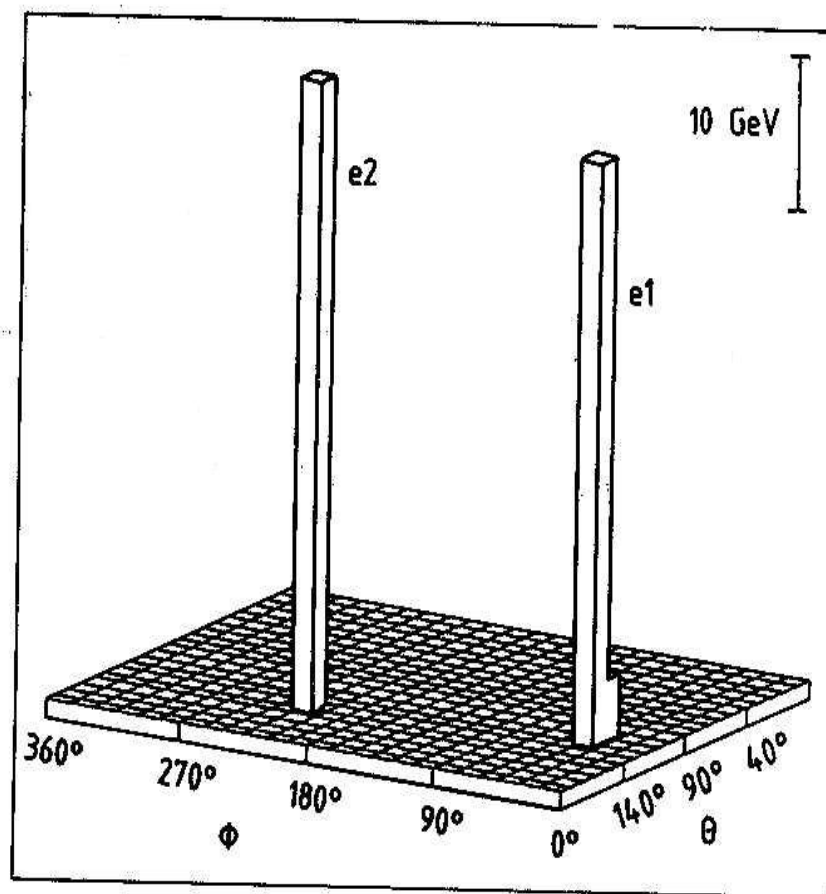
Ergebnisse

- Z macht 2-body Decay
 $\Rightarrow m^2 = 2 E_1 E_2 (1 - \cos \Theta_{12})$

$$M_Z = (91.9 \pm 1.3 \pm 1.4) \text{ GeV}$$

- UA1 früheres Ergebnis:

$$M_Z = (95.2 \pm 2.5) \text{ GeV}$$



Zusammenfassung

- Bosonen gefunden
=> Theorie bestätigt
- Rubbia`s UA1 schlug UA2
- Er und v. d. Meer
bekamen NP 1984

$$M_w = 80.403 \pm 0.029 \text{ GeV}$$

$$M_z = 91.1876 \pm 0.0021 \text{ GeV}$$

heutige Werte von PDG





Nachweis von W und Z Boson

- Christian Fischer

- Betreuer : Prof. H.C. Schultz-Coulon

- 06.07.2007

- Referenzen:

- Phys. Lett. 122B 103

- Phys. Lett. 126B 398

- Phys. Lett. 122B 476

- Phys. Lett. 129B 130

- CERN EP/88-02

- Perkins: Introduction to High Energy Physics