

• Tief-inelastische Streuung

Beobachtung: Praktisch keine Q^2 -Abhangigkeit der Strukturfunktionen

- ⇒ Punktformige Konstituenten (Partonen) im Nukleon
- ⇒ Spin-1/2-Teilchen (Callan-Gross-Relation)

Parton-Modell

$$F_2(x) = x \sum z_i f_i(x) \quad f_i(x): \text{Wahrscheinlichkeit ein Parton der Sorte } i \text{ mit Impulsbruchteil } x \text{ im Nukleon zu finden (Ladung des Partons } z_i \cdot e\text{)}$$

Annahme von drittzahligen Ladungen der Quarks

(↔ **Quarkmodell: Partonen = Quarks**)

↔ Messen der Strukturfunktionen

- ⇒ Quarks haben drittzahlige Ladungen (u: +2/3e, d: -1/3e)

Tragen die Quarks den Gesamtimpuls des Protons?

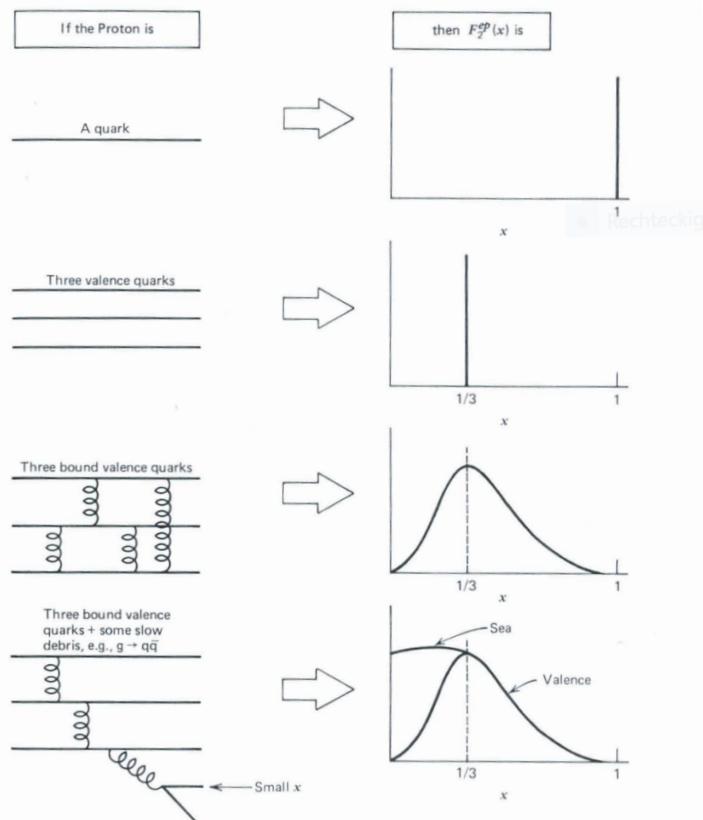
Messung von $\int_0^1 F_2^{ep}(x) dx, \int_0^1 F_2^{en}(x) dx$

- ⇒ nur ~ 50% des Nukleonimpulses wird von den Quarks getragen

- ⇒ Gluonen !

270

Tief-inelastische Streuung



$q(x) = \delta$ -Funktion bei $x=1$

Proton bestehend aus drei freien Quarks δ -Funktion bei $x=1/3$

Bindung → Verschmierung

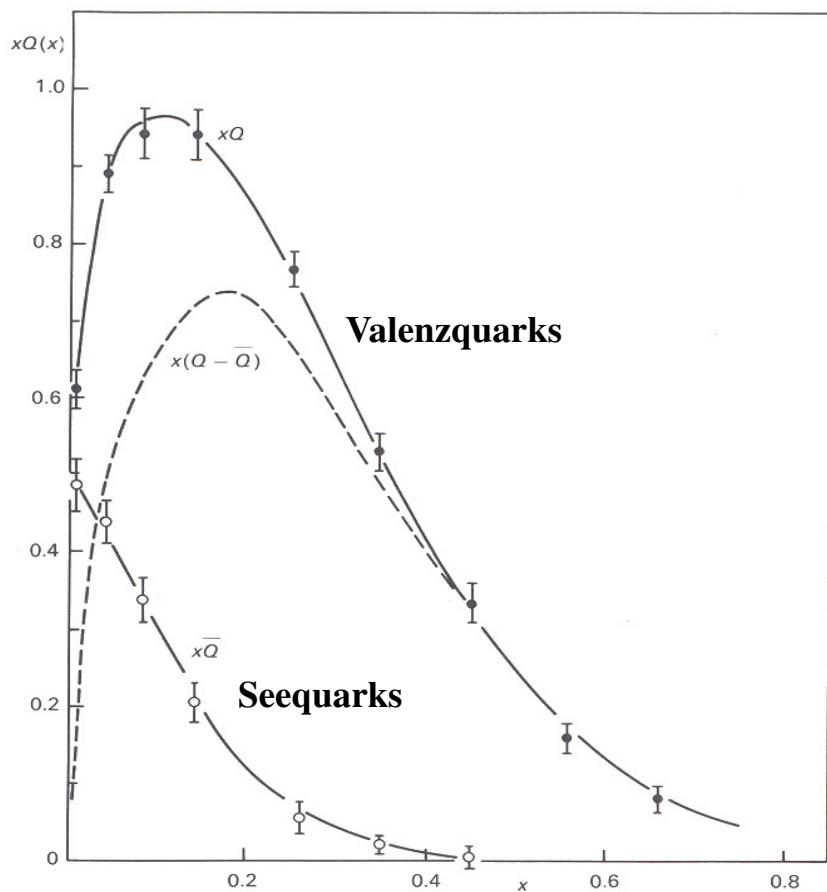
See-Quarks = Quark-Antiquark-Paare → Anwachsen der Strukturfunktion bei kleinen x

→ Tafel

Fig. 9.7 The structure function pictured corresponding to different compositions assumed for the proton.

Quark - Verteilungen

Aus Streuexperimenten (Elektronen, Neutrinos, Antineutrinos):

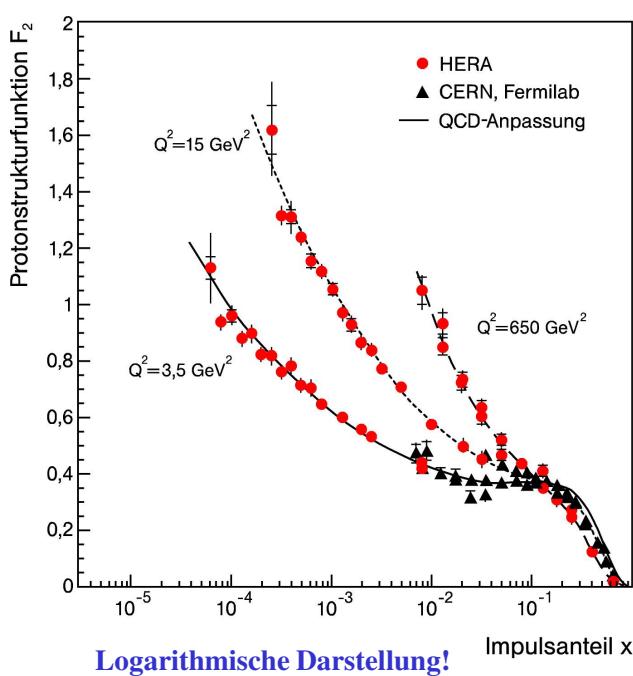


272

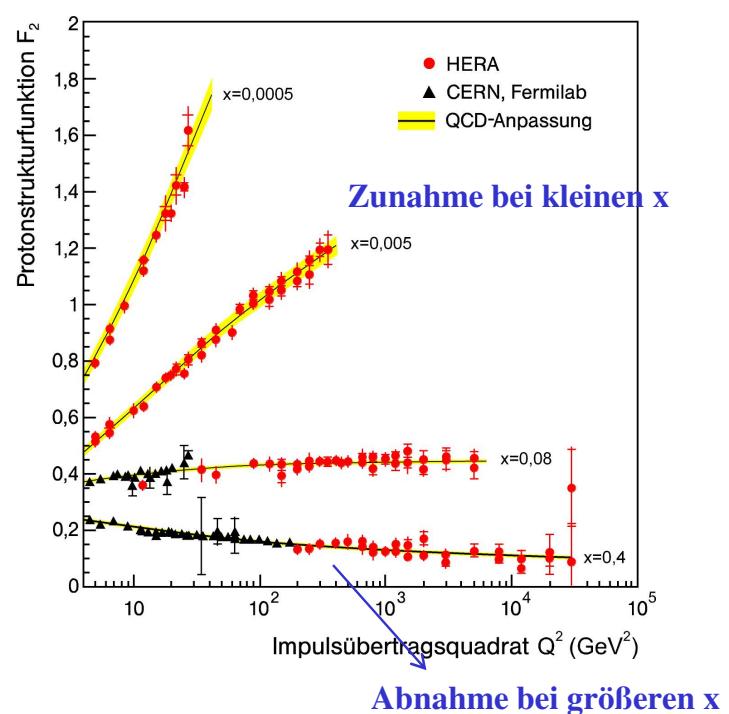
Bestimmung der Strukturfunktion $F_2(x, Q)$ in einem erweiterten kinemat. Bereich

ep-Streuung an HERA:

Bestimmung der Strukturfunktionen im Bereich kleiner Impulsanteile x :



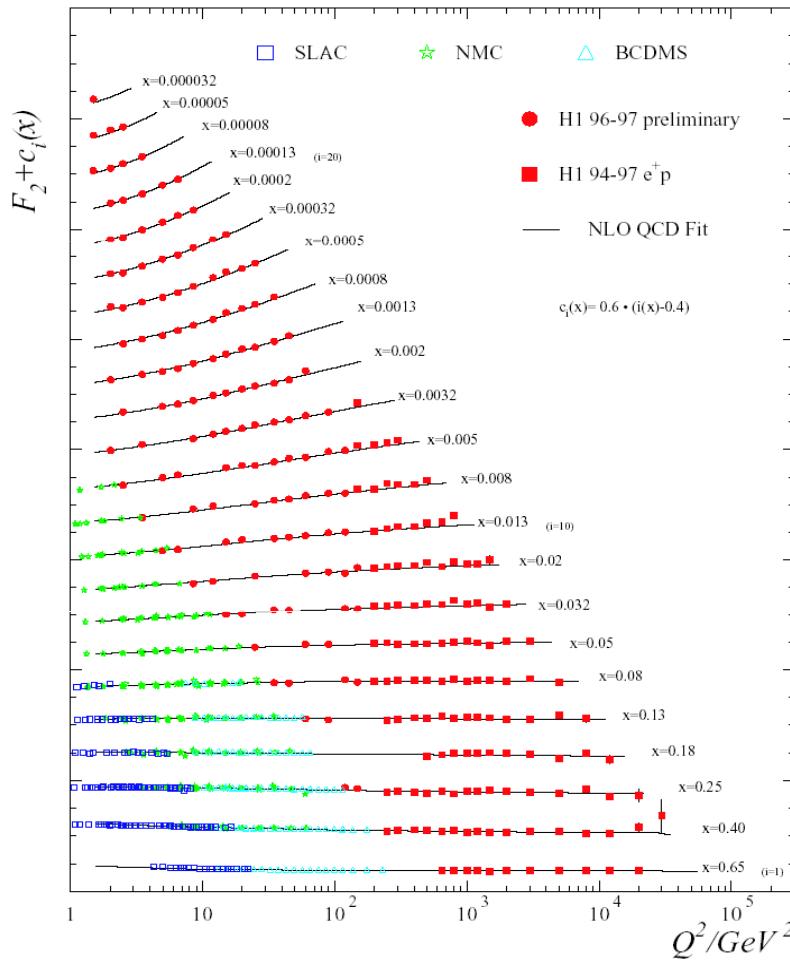
Logarithmische Darstellung!



Anschauliche Interpretation => Tafel

273

Skalenbrechung der Strukturfunktion $F_2(x, Q^2)$



- Insbesondere bei kleinen x Abweichungen vom Bjorken-Scaling \Leftrightarrow Abweichung von

$$F_2(x, Q^2) \approx F_2(x)$$

\Leftrightarrow mit wachsendem Q^2 gibt es immer mehr Quarks mit kleinem Impulsanteil x im Nukleon

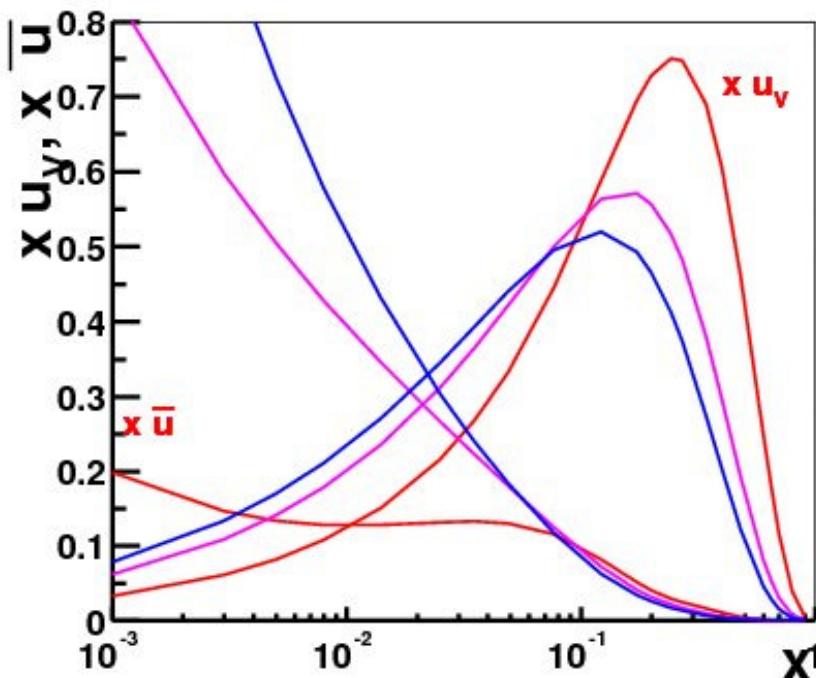
d.h., betrachtet man das Nukleon mit sehr großer Auflösung, so sieht man eine Vielzahl virtueller Quark-Antiquark Paare (und Gluonen)

Vorhersage der Q^2 -Abhängigkeit mittels QCD-Rechnungen möglich.

Partonenverteilungen selbst müssen experimentell bestimmt werden

274

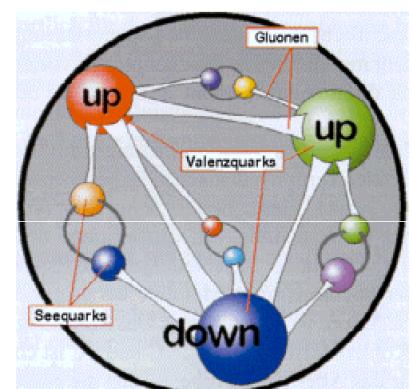
Partonenverteilung im Nukleon



$$Q^2 = 1 \text{ GeV}^2$$

$$Q^2 = 10 \text{ GeV}^2$$

$$Q^2 = 100 \text{ GeV}^2$$



275

Wieviele Quarks gibt es nun im Proton ??

Wieviele Quarks gibt es nun im Proton ?

- keine Zahl
- Abhängig von der Auflösung der Messung

..... Je besser die Auflösung desto mehr Quarks findet man....

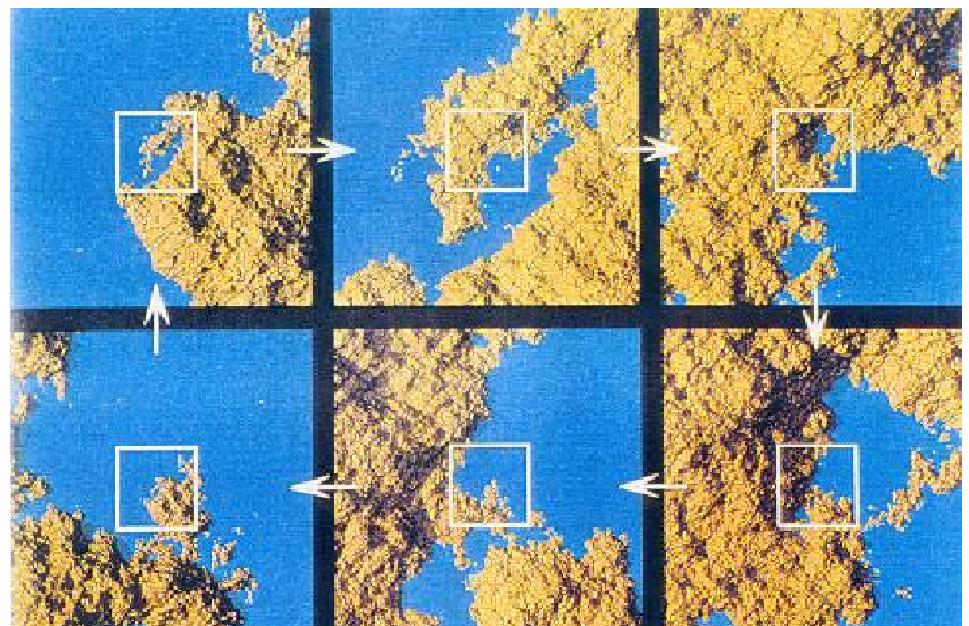
Kann man das verstehen ??

276

Analogie

Analogie : Die Länge einer Küste

- die Länge hängt von der Auflösung ab



277

.... mehr dazu: Master-Vorlesungen Hadronenphysik / Teilchenphysik
(z.B. Neutrino-Elektronstreuung...)

Weitere interessante Frage: Wer trägt den Spin des Protons?

- **Quarks?**
↔ nur einen Bruchteil des Protonenspins ($\sim 30\%$)
- **Gluonen?**
- **Drehimpulse?**

278

Kapitel 6 - Die Bindungszustände der starken Wechselwirkung

↔ **Mesonen und Baryonen**

- **Experimentelle Beobachtungen**
- **Leichte Hadronen (Mesonen und Baryonen)**
- **Hadronen mit Strangeness**
- **Erste Evidenz für Farbladung (QCD)**
- **Experimenteller Nachweis**
- **Schwere Hadronen**
-

279

QCD = Theorie der starken Wechselwirkung

Bindungszustände:

→ **Baryonen (qqq)**

Fermionen: halbzahliges Spin

→ **Mesonen (qq)**

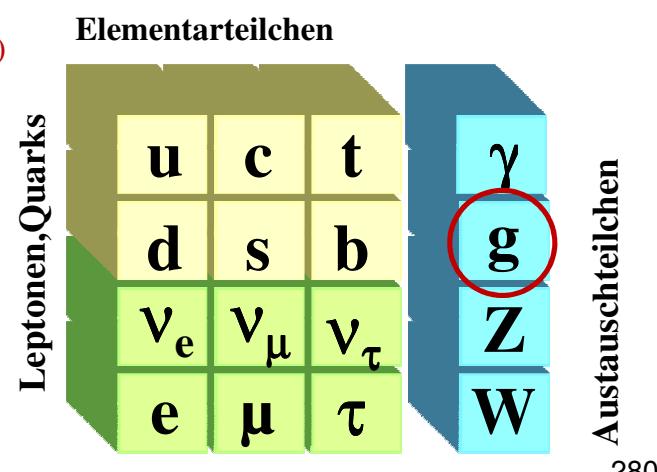
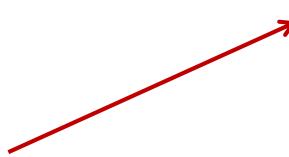
Bosonen: ganzzahliges Spin

Welche Bindungszustände mit welchen Eigenschaften existieren?

- Wie sieht die **Wechselwirkung** aus, die zwischen den Quarks wirkt, um daraus die bekannten Hadronen (Baryonen, Mesonen) und deren angeregte Zustände zu erklären ?

↔ **QCD: Farbladung** (woher wissen wir das?)

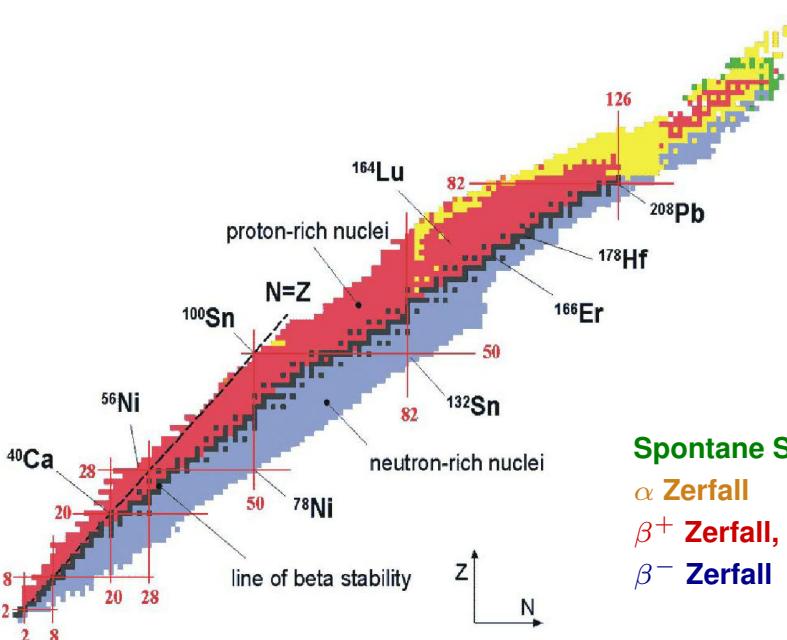
- es gibt noch weitere (schwerere) Quarks
(Produktion schwerer Quarks später)



Anfang/Mitte des letzten Jahrhunderts

- Proton, Neutron, Elektron, Photon ..

→ Anfang/Mitte des letzten Jahrhunderts hatte man das Gefühl die Welt garnicht so schlecht verstanden zu haben



Viel konnte erklärt werden:

- Chemische Elemente und ihre Eigenschaften (Periodensystem)
- Atomphysik
- Isotope
- α , β , γ -Zerfälle

Spontane Spaltung

α Zerfall

β^+ Zerfall, Elektroneneinfang

β^- Zerfall

.... aber: Entdeckung weiterer Teilchen

Entdeckung von Hadronen in der kosmischen Höhenstrahlung

Ballon (3km Höhe), 1947 C. F. Powell



↔ Spuren in einer Emulsion

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ \rightarrow e^+$$

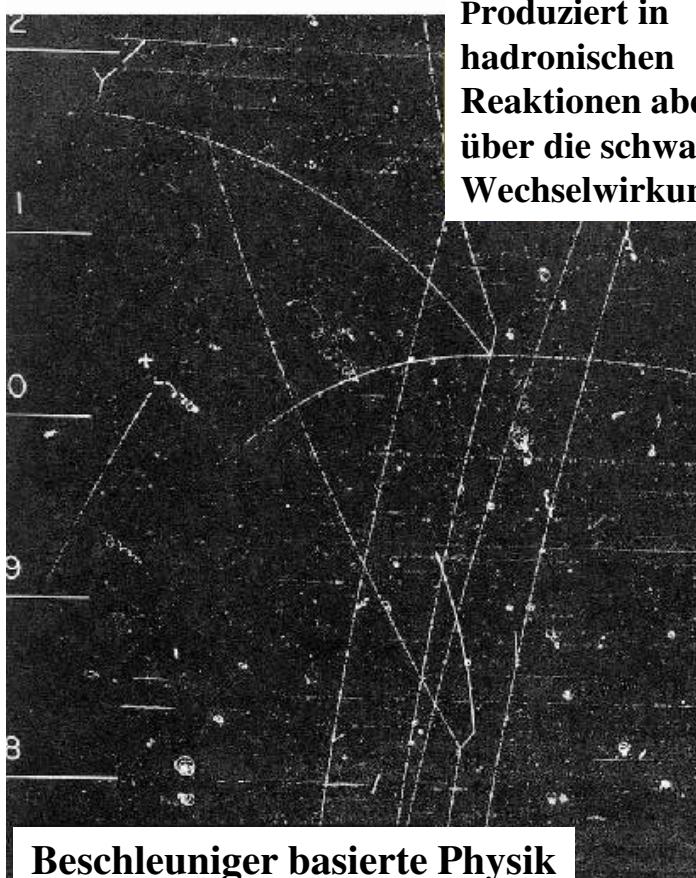
Konstante Reichweite der μ^+
⇒ 2-Teilchen-Zerfall $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$

Starke Ionization vor dem π^+ , μ^+ Zerfall,
kleiner Energieverlust dE/dx für schnelle e^-
(Coulomb-Streuung der μ^+)

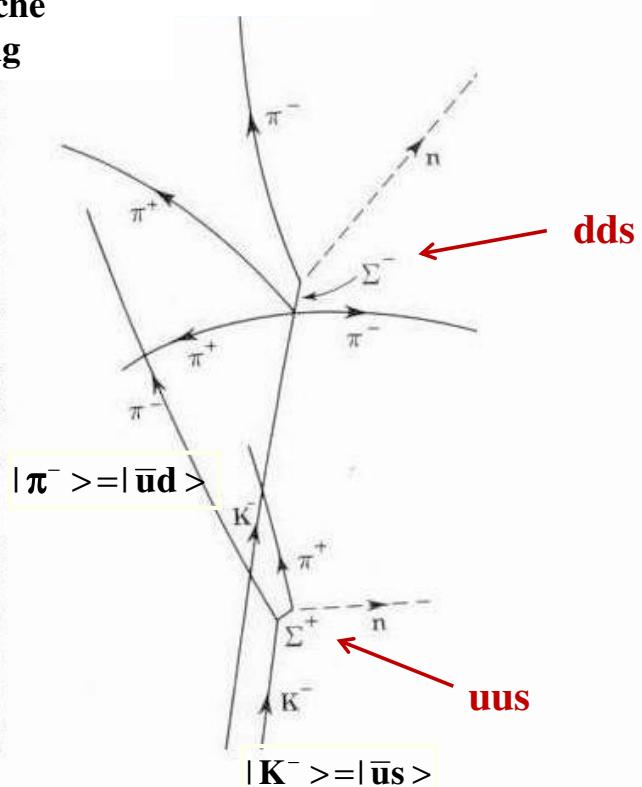
⇒ Erste Beobachtung von Teilchen
wie z.B. Pionen in der
kosmischen Höhenstrahlung

282

Teilchen mit Strangeness

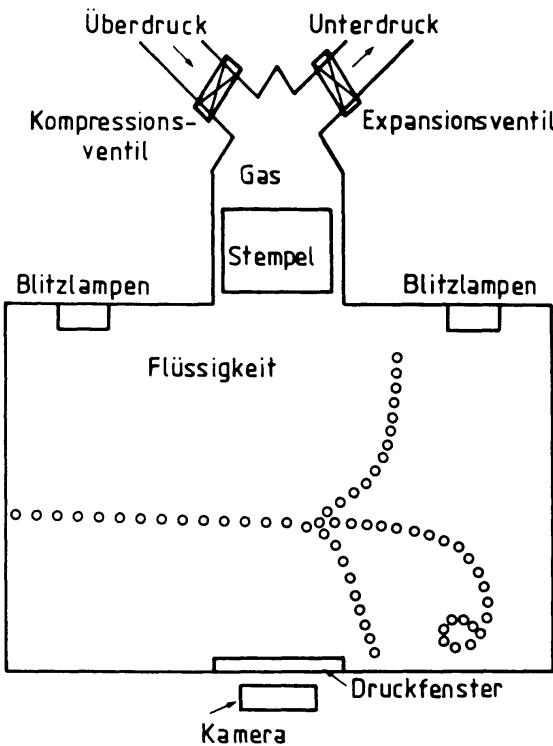


Beschleuniger basierte Physik



283

Blasenkammer



Basenkammer in einem Magnetfeld

→ gekrümmte Teilchentrajektorien

- Überhitzte Flüssigkeit (z.B. Wasserstoff)

- Ionisation entlang der Teilchentrajektorie

→ Kondensationspunkte ↔ Blasen

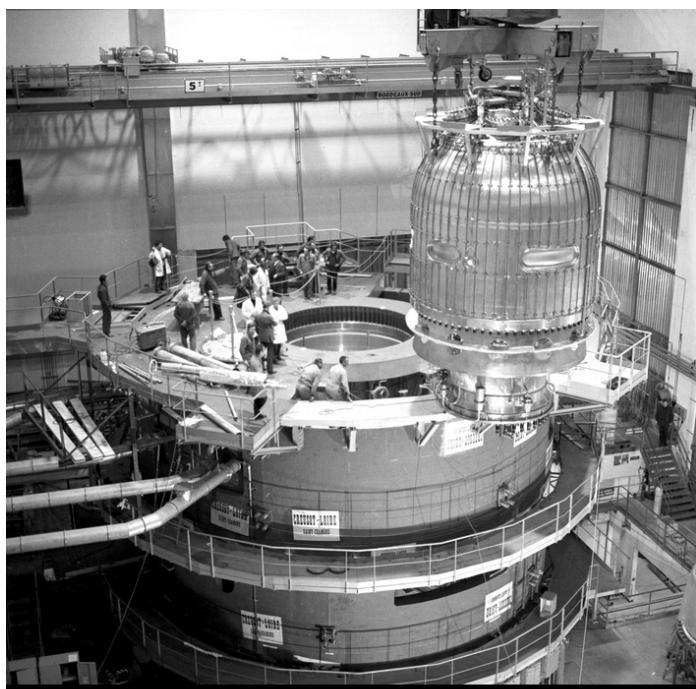
- Druck der Flüssigkeit erniedrigen

→ Photo

↔ Bestimmen der Krümmung,
Ionisationsdichte

284

Bubble chamber - BEBC @ CERN



© 1971-2024 CERN



285

Entdeckung weiterer Hadronen: $\bar{p}p \rightarrow \bar{\Lambda}\Lambda$

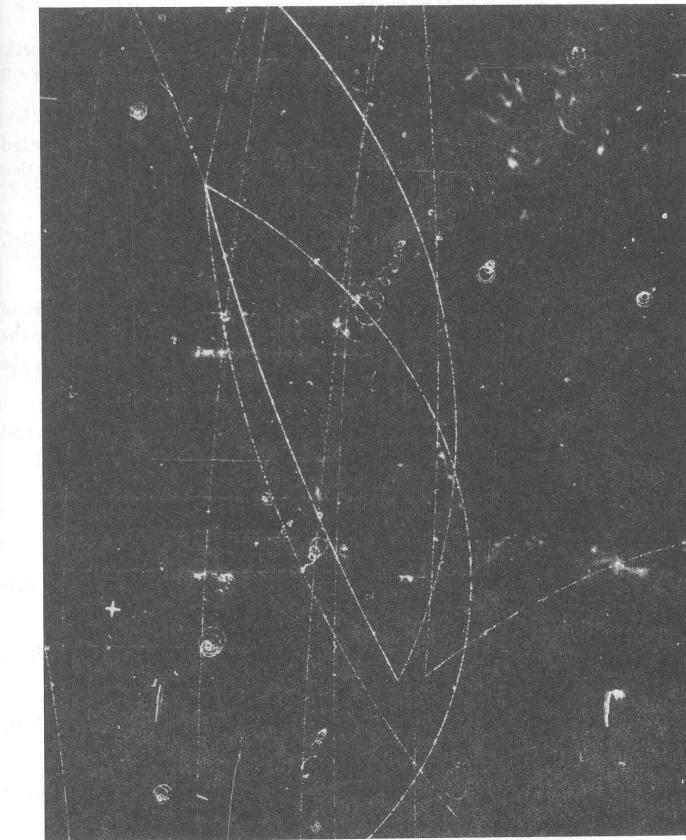


Figure 4.3: Production of a $\Lambda\bar{\Lambda}$ pair by an incident antiproton. The antiproton enters the chamber at the bottom and annihilates with a proton. The Λ and $\bar{\Lambda}$ decay nearby. The antiproton from the antilambda annihilates on the left-hand side of the picture and gives rise to a 4 prong star. The picture is from the 72-inch bubble chamber at the Bevatron. (Ref. 4.9)

286

Entdeckung weiterer Hadronen

