

QCD-Studien mit Collider-Experimenten

Quanten-Chromo-Dynamik hat sich in den vorgestellten Studien als eine Theorie bewährt, die starke Wechselwirkungsprozesse beschreiben kann. In Studien die v.a. an e^+e^- -Collidern (LEP, SLC, ...) gemacht wurden, sind die charakteristischen Eigenschaften der QCD in starken Wechselwirkungsprozessen bestätigt worden:

- Existenz der Farbladung
- Existenz von Quarks und Gluonen
- (Energie-)Skalenabhängigkeit der (renormierten) Kopplungskonst.
- Gruppen-/Strukturkonstanten: Farbfaktoren
- Drei-Gluon-Kopplung
- (Energie-)Skalenabhängigkeit der (renormierten) Quarkmassen
- Quark-Gluon-Unterschiede
- Kohärenz der Gluonabstrahlung
- Energie-Evolutionsverhalten: DGLAP-Gleichung

...

QCD-Studien mit Collider-Experimenten

Nicht nur an e^+e^- -Collidern wurden QCD-Studien durchgeführt, sondern auch an ep- und p \bar{p} -Collidern. Bedingt durch den komplizierteren Anfangszustand (Protonstruktur) sind QCD-Studien an ep- und p \bar{p} -Collidern schwieriger und wurden deshalb in dieser Vorlesung nicht im Detail vorgestellt. Trotzdem bieten Experimente an diesen Beschleunigern einzigartige Möglichkeiten für QCD-Studien, da dort die höchsten Energien erreicht werden, Abweichungen vom Energieverhalten der Kopplung α_s also sichtbar werden könnten. Aber auch im Hinblick auf die noch offenen Fragen der QCD bieten diese Collider die Möglichkeiten, Antworten durch Experimente zu finden.

Offene Fragen zur QCD

eine (mehr als) unvollständige Liste:

- **Wie funktioniert Confinement?**

(Ein Ansatz vergleicht die Hadronphase mit einer supraleitenden Phase, dass also Hadronen analog zu Cooper-Paaren sind.)

- **Gibt es ein Quark-Gluon-Plasma?**

(, d.h. wird das Confinement bei sehr hohen Temperaturen aufgehoben, sodass Quarks und Gluonen ein Plasma bilden? Dazu werden z.Zt. im BNL-Labor in Brookhaven Gold auf Goldkerne geschossen, um die für den erwarteten Phasenübergang notwendige Temperatur von ca. 170 MeV zu erreichen.)

- **Wie funktioniert QCD im Bereich des Confinements?**

(Um QCD bei geringen Energien $Q \ll \Lambda$ zu studieren, benutzt man sog. Gitter-Eich-Rechnungen. Dabei wird die 3+1-dimensionale Raumzeit in einzelne Gitterpunkte diskretisiert. Entlang der Kanten zwischen den Gitterpunkten verlaufen die Gluonen, deren Wirkung unmittelbar aus der Lagrangedichte mit dem Pfadintegralformalismus berechnet werden kann. Auf solchen Gitter versucht man z.B. die Massenspektren von Mesonen auszurechnen)

Offene Fragen zur QCD

• Gibt es "Glueballs" ?

(Es ist möglich, im statischen Quarkmodell farbneutrale Objekte zu bilden, die aus zwei oder drei Gluonen aufgebaut sind. Diese "Glueballs" konnten bisher experimentell noch nicht nachgewiesen werden, da auch ihre Massen nicht genau bekannt sind. Gitter-Eich-Rechnungen geben Massenwerte von ca. $1.5 - 1.7 \text{ GeV}/c^2$ für den leichtesten Glueball vor. In diesem Massenbereich gibt es leider auch sehr viele $q\bar{q}$ -Zustände, sodass ein Glueball-Kandidat bisher noch nicht zweifelsfrei identifiziert werden könnte.)

• Wie kommt der Protonspin zustande ?

(Die innere Struktur eines Hadrons ist sehr kompliziert, wie am Beispiel des Protons gezeigt wurde. Bis heute ist noch nicht restlos geklärt wie beispielsweise der Protonspin von $\frac{1}{2}$ zustande kommt, welche Rolle dabei die vielen niederenergetischen Gluonen spielen und ob eventuell sogar eine kollektive Rotation der Valenzquarks vorliegt.)

• und viele weitere Fragen, die häufig mit der unvollständigen Störungsrechnung sowie der Vernachlässigung der endlichen Quarkmassen zu tun haben ...