

## 2 Elementarteilchentheorie: Stößt das Konzept des Quark-Gluon-Plasmas auf fundamentale Probleme?

D. Mithani: Quark-gluon plasma paradox,  
 Proceedings of Science (CP0007) 020 (2007)

### 2.1 Zur QCD

#### 2.1.1 Notwendigkeit und Eigenschaften der starken WW

- Symmetrieargument:

- Alle Hadronen, die sich finden lassen, lassen sich nach Darstellungen von  $SU(3)$  sortieren, aber ausgerechnet die beiden einfachsten nichttrivialen Darstellungen werden dafür nicht benötigt.

- Postulat der Quarks als Eigenzustände der beiden Fundamentaldarstellungen  $3$  und  $\bar{3}$  der  $SU(3)$

→ daraus  $3 \otimes \bar{3} = 1 \oplus 8$  → Mesonen bestehen aus 1 Quark und 1 Antiquark

$$3 \otimes 3 \otimes 3 = 1 \oplus 8 \oplus 8 \oplus 1$$

→ Baryonen bestehen aus 3 Quarks

- Argument aus dem Pauli-Verbot:

- Experimentell gefunden:  $\Delta^{++}$ -Resonanz

→ 3 up-Quarks (uuu)

→ hat Spin  $3/2$  → d.h.  $m_s \text{ Quark} = +\frac{1}{2}$

- > alle Quantenzahlen sind identisch
- > Widerspruch für Fermionen
- > weitere Quantenzahl ist notwendig -> Farbfreiheitsgrad

• Für  $\Delta^{++}$ -Resonanz: mindestens 3 „Farben“ (neue Quantenzahl) sind notwendig: rot, grün, blau

•  $SU(3)$  hat 8 Generatoren: in der zugehörigen Wichttheorie sind 8 Eichfelder = 8 Austauschteilchen notwendig. Diese vertauschen gerade die 3 Farben.

• zugehörige Feldtheorie: Quantenchromodynamik  $E_{G_4} \otimes C_3$   
Dirac-Spinor  $\downarrow$  Farbe  
 $\downarrow$

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{16\pi} G_{\mu\nu}^a G^{a\mu\nu} + \sum_f \bar{\psi}_f (i\gamma^\mu D_\mu + m_f) \psi_f$$

$$D_\mu = \partial_\mu - i q_c G_\mu$$

$SU(3)$ -Generatoren.  $G_\mu = \frac{1}{2} \lambda_a G_\mu^a$ ,  $a = 1, \dots, 8$

$$G_{\mu\nu} = \partial_\mu G_\nu - \partial_\nu G_\mu - i g [G_\mu, G_\nu]$$

### 2.1.2 Confinement und asymptotische Freiheit

• Experimentelle Tatsache: Es werden nur Farbsingulettts = farbneutrale Teilchen realisiert.

• freie Gluonen kommen nicht vor.

• Nimmt man eine Schwache WW an, kann man

eine Störungstheorie für die WW durchführen und findet

- Sie ist bei kleinen Längen oder hohen Energien gültig  $\rightarrow$  ausreichend geringe WW
- Für große Längen oder niedrige Energien steigt die Kopplungsstärke

- Effektives Potential:

$$V(r) \sim r$$

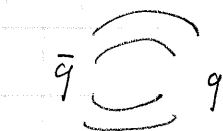
↳ Quark-Antiquark-Verhalten bei großen Längen.  
 $\rightarrow$  steigt mit  $r$ !

• Konsequenz, die mit der Beobachtung übereinstimmt

$\rightarrow$  Es gibt keine freien Quarks bei niedrigen Energien (verglichen mit Kernkräften), nur noch unbenutzte farbneutrale Zustände

$\rightarrow$  Bei hohen Energien oder hohen Dichten (=kleiner Abstand zwischen einzelnen Quarks) können die Quarks sich frei bewegen  $\rightarrow$  asymptotische Freiheit

• Vorstellung für das Auseinanderreißen eines Quark-Antiquark-Paares:



Energie steigt wegen  $V \sim r$



$\rightarrow$  neue Quark-Antiquark-Paare bilden sich, da ausreichend Energie vorhanden ist.



### 2.1.3 Quark-Gluon-Plasma

- Das Quark-Gluon-Plasma ist ein Zustand der Materie bei hohen Dichten und Energien, bei denen sich Quarks im Plasma frei bewegen können.
- Wird vermutet in der Entstehung des Universums bis nur  $t \approx 1 \mu\text{s}$   $\rightarrow$  Dann zu wenig Energie  $\rightarrow$  Protonen
- Künstliche Erzeugung in der Kollision von Nucleonen prinzipiell möglich, aber Identifikation schwierig, restlos überzeugende Nachweise liegen nicht vor.
- Zusätzliche Schwierigkeit: Theorie ist ebenfalls nicht eindeutig, da zu wenig unbekannt ist.  $\rightarrow$  Vergleich mit Experiment schwierig

### 2.2 Fragestellung im Artikel

- Gibt es prinzipielle Schwierigkeiten des Quark-Gluon-Plasmas?
- Ansatz: Verletzung des Confinements in einer Niedrig-Energie-Situation nach einer Hadronisierung des Quark-Gluon-Plasmas.
- Aussage: Prinzipiell möglich, aber werfen neue Fragen / Probleme auf.  $\rightarrow$  Kausalität, Entwicklungsgeschichte des Universums