

# Farbladungsspiel

Nat.wiss. Kolleg der Studienstiftung des Deutschen Volkes  
AG 2 — Elementarteilchenphysik

29. September 2008

Zusammenfassung des Farbladungsspiels mit allen mir bekannten Regeln und Regelvorschlägen. Aufgeschrieben von Niels Benedikter, weshalb die Studienstiftung keine Schuld trifft.

## 1 Regeln

Die Regeln entsprechen im wesentlichen den Erkenntnissen der Elementarteilchenphysik, speziell der Quantenchromodynamik, sie lauten:

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{2}\text{Sp}(\mathbf{G}_{\lambda\rho}\mathbf{G}^{\lambda\rho}) + \sum_{j=1}^f \bar{q}^j (i\gamma^\lambda \mathbf{D}_\lambda - m_j) q^j.$$

Die Veranschaulichung im Rahmen des Spiels läuft folgendermaßen ab:

Es wird ein Tagungs-Präsentations-Mind-Map-Kit mit bunten Papierstücken benötigt. Jeder Mitspieler bekommt ein Papierstück der Farbe rot, grün oder blau. Dieses wird beschriftet mit einem Quark eigener Wahl: u, d, c, s, b oder einem Antiquark, gekennzeichnet durch einen Überstrich. (Wer nicht will muss kein bottom-Quark sein.) Das top-Quark ist zu schwer und spielt daher nicht mit. Im Falle eines Antiquarks kennzeichnet außerdem ein großes A die Farbe als Antifarbe. Beide Seiten des Papiers dürfen unterschiedlich bezeichnet werden, so dass mehr Wechselwirkungen möglich sind. Eine Selbstwechselwirkung von Vorder- mit Rückseite ist jedoch stark unterdrückt und wird daher vernachlässigt.

Auf Kommando eines Spielleiters laufen alle Quarks als freie, nicht wechselwirkende Felder durch den Ortsraum (i.A. wird das Experiment in einem endlichen Volumen durchgeführt, typischerweise in Tagungshotels) und versuchen eine Fermi-Dirac-Verteilung zu befolgen.

**ACHTUNG!** Auf Grund des Pauli-Prinzips können Felder nicht einfach durcheinander durch laufen!!! Entsprechende Streuexperimente sind ggf. gefährlich!

Wird nur im Modus „Mesonen und Baryonen“ gespielt, so kann der Flavour entfallen.

## 1.1 Mesonen und Baryonen

Die einfachste Spielvariante.

Mesonen sind farbneutrale Bindungszustände eines Quarks mit einem Antiquark, d.h. z.B. ein rotes Quark bindet mit einem antiroten Quark als Tensorproduktzustand. Die Quarkflavours spielen keine Rolle. Im Spiel müssen alle freien Quarks bei Spielleiter-Kommando „Meson“ einen Mesonenzustand bilden. Quarks, die ungebunden übrig bleiben machen 5 bis 10 Liegestützten o.ä. – das genaue Maß orientiert sich am körperlichen Zustand der Spieler und kann diskutiert werden. Auf Kommando des Spielleiters wird das Confinement wieder abgeschaltet und eine Fermi-Dirac-Verteilung versucht.

Das Kommando „Baryon“ läuft analog ab, nur werden hier Baryonen-Zustände gebildet, farbneutrale Zustände aus drei Quarks oder drei Antiquarks. (Evtl. kann auch nach „Baryon“ und „Antibaryon“ unterschieden werden.) Die Quarkflavours sind wieder egal, aber ein Zustand muss rot-grün-blau oder antirot-antigrün-antiblau einen Zustand bilden.

## 1.2 Hadronenzoo

Folgende Variante ist ergänzend oder unabhängig von der Baryonen/Mesonen-Variante möglich.

Hier lauten die Ansagen z.B. „Proton“, „Neutron“, „Pion“, „J/Ψ“ etc. und diese Hadronen müssen gebildet werden. Unter nicht-promovierten Spielern ist ggf. eine Tabelle der Teilchen mit Konstituenten auf Beamer oder Tafel nützlich. Beispiel: Proton  $p \sim uud$ , Neutron  $n \sim udd$ , Pion  $\pi^+ \sim u\bar{d}$ ,  $\pi^- \sim d\bar{u}$ ,  $\pi^0 \sim u\bar{u} + d\bar{d}$  (da das  $\pi^0$  ein Linearkombination mit insgesamt 4 Quarks ist, ist es i.A. eher schwer zu bilden) (zwischen den verschiedenen Pionen und analog bei anderen Teilchen (z.B.  $K^+$ ,  $K^-$ ,  $K^0$ ) wird meist nicht unterschieden). Die Farben sind bei diesem Spielmodus egal.

Die Strafen für Verletzung des Confinements sind wie gehabt. Evtl. können bei erfolgreicher Bildung farbneutraler Teilchen Zusatzleben gewährt werden.

## 2 Ergänzungen und Strahlungskorrekturen etc.

### 2.1 Flavourchanging Ströme

Bestimmte Regionen des Raumes werden als Flavourchanging gekennzeichnet. Dort liegen einige zusätzliche Ladungskärtchen aus. Vorbeilaufende Quarks wechselwirken mit diesem Strom mit einer Übergangswahrscheinlichkeit der Größenordnung  $10^{-1}$ , wobei sie ihre Farbladung gegen eine zufällige ausliegende austauschen.

### 2.2 Annihilationsprozesse

Ein solcher Prozess sei im Feynman-Diagramm Abb. 1 veranschaulicht (wir betrachten nur Diagramme niedriger Ordnung).

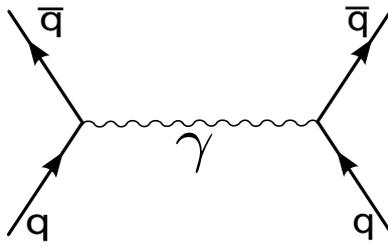


Abbildung 1: Annihilation von Teilchen und Antiteilchen.

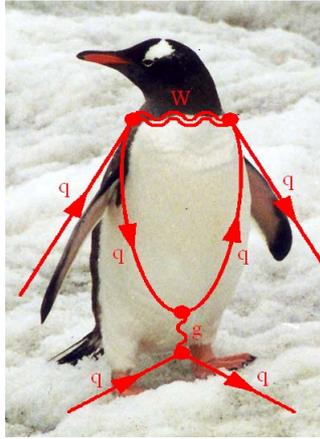


Abbildung 2: Pinguin-Diagramm.

Trifft ein Quark auf ein Antiquark mit passender Farbe, so können beide annihilieren zu einem virtuellen Photon und so dem Confinement ungestraft entgehen. Annihilierende Teilchen haken sich am Arm ein und laufen so einmal im Kreis bevor sie wieder Quarks erzeugen und als freie Teilchen herumlaufen. Zu beachten ist, dass hier ausnahmsweise sowohl Farbe als auch Flavour zusammenpassen müssen! Aus technischen Gründen werden nicht irgendwelche neuen Quarks erzeugt, sondern nur wieder die gleichen wie vorher.

### 2.3 Pinguindiagramme

Jetzt wird's kompliziert... diese Spielvariante (Abb. 2) inkl. aller Eichbosonen, Paritätsverletzung, Neutrinos, Händigkeiten etc. empfiehlt sich nur unter sehr vielen Teilchenphysik-Professoren, die das alles schon im Kopf haben. Außerdem ist fraglich, ob das Higgs-Boson mitspielen darf und wie sich das Vernichten von Teilchen moralisch rechtfertigen lässt. Antworten werden vom LHC erwartet, allerdings ist der Physikerverbrauch bei den inelastischen Hadronenkollisionen nur durch einen massiven Ausbau der Physikerausbildung zu decken (insbesondere durch mehr Geld für Hotels & Nachspeisen & geräucherte Forelle & Cocktails to go statt Jugendherbergen).

### 3 Literaturverzeichnis

#### Literatur

- [1] E. Übelacker: *WAS IST WAS Band 79 Moderne Physik* Tessloff, Nürnberg 1986.
- [2] O. Nachtmann: *Elementarteilchenphysik – Phänomene und Konzepte*. Vieweg, Braunschweig 1986.