

---

# Übungen zur Vorlesung Physik IV

## – Kern- und Teilchenphysik –

Frank Ellinghaus

Sommersemester 2019

Universität Wuppertal

---

### BLATT XI

ABGABE BIS DONNERSTAG, DEN 4. JULI UM 18:00  
(IN DAS POSTFACH VON F. ELLINGHAUS IN GEBÄUDE D, EBENE 9)

#### 1. Parität und Ladungskonjugation (6 Punkte)

Das  $K^+$  Meson hat Spin 0 und zerfällt hauptsächlich ( $\approx 64\%$ ) durch die Reaktion  $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$ .

- (a) Zeichnen Sie den Feynman Graphen des Zerfalls.
- (b) Skizzieren Sie die Richtung der Impulse und der Spins von Myon und Neutrino im Ruhesystem des Kaons. Wenden Sie nun den Paritätsoperator P, den C-Paritätsoperator C (Operator der Ladungskonjugation) sowie die Kombination der beiden Operatoren (CP) an und skizzieren Sie die daraus resultierenden Impuls- und Spinkonfigurationen. Welche dieser drei treten nicht auf und warum?
- (c) Der Zerfall  $K^+ \rightarrow e^+ \nu_e$  wird nur extrem selten beobachtet. Wieso ist das so ?

#### 2. Parität und Drehimpuls (6 Punkte)

Die Reaktion  $\pi^+ p \rightarrow \pi^+ p$  verläuft bei einer Schwerpunktsenergie von 1232 MeV praktisch vollständig über die Bildung eines resonanten Zwischenzustandes, der Deltaresonanz  $\Delta^{++}(1232)$  (Spin 3/2, Parität +1, Zerfallsbreite 120 MeV).

- (a) Zeichnen Sie den Feynman-Graph für den Zerfall der  $\Delta^{++}$  Resonanz in ein Proton und ein Pion.
- (b) Bei welchem Impuls des einlaufenden Pions liegt das Maximum der Resonanz, wenn das Proton im Laborsystem ruht ?
- (c) Welche Lebensdauer hat die Deltaresonanz ? Auf welche Wechselwirkung deutet der errechnete Wert hin ?
- (d) Bei welchem Bahndrehimpuls des  $\pi^+ p$ -Systems tritt die Resonanz auf ? Hinweis: Die Parität ist bei der hier betrachteten Wechselwirkung erhalten. Das Proton hat eine Parität von +1 und das Pion von -1.
- (e) Wieso hat die  $\Delta^{++}$  Resonanz zur Postulierung eines neuen Freiheitsgrades (der Quantenzahl "Farbe") geführt?

### 3. Laufende Kopplungskonstante der QCD

( 3 Punkte)

- (a) Die (laufende) Kopplungskonstante der QCD ist in führender Ordnung gegeben durch:

$$\alpha_s(Q^2) = \frac{12 \pi}{(11 n_c - 2 n_f) \ln(Q^2/\Lambda^2)} \quad (1)$$

Hierbei stellt  $n_c$  die Zahl der Farbfreiheitsgrade und  $n_f$  die Anzahl der beteiligten Quarksorten dar. Setzen Sie  $\Lambda = 250$  MeV und nehmen Sie an, dass alle Quarksorten mit  $m_q < Q$  an dem Prozess beteiligt sind, wobei  $m_{u,d,s} < 200$  MeV,  $m_c \approx 1.3$  GeV,  $m_b \approx 4.2$  GeV und  $m_t \approx 173$  GeV. Berechnen Sie die Werte von  $\alpha_s(Q^2)$  für  $Q = 1$  GeV, 100 GeV und 1 TeV.

- (b) Zum Vergleich gilt für die QED Kopplungskonstante:

$$\alpha_{em}(Q^2) = \frac{\alpha(\mu^2)}{1 - \frac{n_f}{3\pi} \alpha(\mu^2) \ln(Q^2/\mu^2)} \quad (2)$$

Berechnen Sie  $\alpha_{em}(Q^2)$  für  $Q = 1$  GeV, 100 GeV und 1 TeV unter der Annahme, dass alle 3 Leptontypen immer beitragen (also  $n_f = 3$ ). Hierbei sei  $\mu = 1$  MeV und  $\alpha(1 \text{ MeV}^2) = 1/137$ . Hier sollte Ihnen nun im Vergleich zu a) ein fundamental anderes Verhalten auffallen...