

Name:

Gruppe:

## Aufgabenblatt 11 (TP) - Physik V - WS 2013/2014

Diskussion/Abgabe: 16./17. 1. 2014 in den Übungsgruppen

### Aufgabe 11.1: Farbfluß im $\Delta$ -Zerfall (1 Punkt)

Skizzieren Sie den Feynman-Graphen für den "starken Zerfall"  $\Delta^+ \rightarrow p + \pi^0$ . Betrachten Sie für eine gültige Farbkombination der beteiligten Quarks den Fluss der Farbladungen. Welche der in der Vorlesung diskutierten 8 Gluonen kommen hier als Austauscheteilchen in Frage?

### Aufgabe 11.2: Größenordnungen in der starken Wechselwirkung (1 Punkt)

- a) Die Untersuchung von Charmonium-Zuständen hat für das Quark-Antiquark-Potential die folgende Form ergeben:

$$V(r) = -\frac{4}{3} (\hbar c) \frac{\alpha_s(r)}{r} + kr.$$

Bemerkung: Der Vorfaktor  $\frac{4}{3}$  beim ersten Term ergibt sich theoretisch aus den möglichen Farbkombinationen der Quarks und wird als Farbfaktor bezeichnet.

Für das Charmonium findet man  $\alpha_s \approx 0.3$  und  $k \approx 1$  GeV/fm. Skizzieren Sie das Potential und bestimmen Sie den Quark-Antiquark-Abstand für den Nullpunkt des Potentials, also den Abstand, ab dem der lineare Potentialanstieg überwiegt.

- b) Die starke Kopplungskonstante  $\alpha_s$  wurde bei LEP bei  $Q^2 = M_Z^2 c^2 \approx (91 \text{ GeV}/c)^2$  zu  $\alpha_s^{M_Z} = 0.118$  bestimmt. Das "Laufen" der Kopplungskonstanten in Abhängigkeit von  $Q^2$  wird näherungsweise durch die folgende Funktion beschrieben:

$$\alpha_s(Q^2) = \frac{\alpha_s^{M_Z}}{1 + \frac{33-2n_q}{12\pi} \alpha_s^{M_Z} \ln\left(\frac{Q^2}{M_Z^2 c^2}\right)}$$

Hier bezeichnet  $n_q$  die Zahl verschiedener Quarkflavor, die zu den für das Laufen verantwortlichen Strahlungskorrekturen beitragen. Nehmen Sie an, dass nur u, d, s, c und b-Quarks beitragen, also  $n_q = 5$  gilt. Bestimmen Sie den Wert für  $Q^2$ , bei dem die starke Kopplungskonstante den Wert 1 annimmt. Vergleichen Sie diesen Wert mit dem Impuls, den Sie für Quarks innerhalb eines Protons aufgrund der Unschärferelation erwarten ( $\hbar c \approx 200$  MeV fm).

### Aufgabe 11.3: CKM-Matrix-Elemente (1 Punkt)

- a) Zeichnen Sie die Feynman-Diagramme für die folgenden Zerfälle des  $D^0(c\bar{u})$  Mesons. Berücksichtigen Sie nur Diagramme der ersten Ordnung, d.h. ohne interne Schleifen.

- i.  $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$
- ii.  $D^0 \rightarrow K^+ \pi^-$
- iii.  $D^0 \rightarrow K^- e^+ \nu_e$
- iv.  $D^0 \rightarrow \pi^- e^+ \nu_e$

- b) Die Cabibbo-Kobayashi-Maskawa Matrix  $V_{\text{CKM}}$  beschreibt die Kopplungsstärke von Quarkübergängen:

$$V_{\text{CKM}} = \begin{pmatrix} |V_{ud}| & |V_{us}| & |V_{ub}| \\ |V_{cd}| & |V_{cs}| & |V_{cb}| \\ |V_{td}| & |V_{ts}| & |V_{tb}| \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.974 & 0.225 & 0.003 \\ 0.225 & 0.973 & 0.041 \\ 0.007 & 0.040 & 0.999 \end{pmatrix}$$

Welche CKM-Matrix-Elemente beschreiben die Kopplungsstärken für die Quarkübergänge in den Diagrammen aus der Teilaufgabe a)? Schreiben Sie die entsprechenden CKM-Matrix-Elemente direkt an die Diagramme. Vergleichen Sie die Zerfälle i und ii. Welcher der Zerfälle kommt häufiger vor? Zu welchen Ergebnis kommen Sie bei einer entsprechenden Überlegung bei den Zerfällen iii und iv? Vernachlässigen Sie dabei, dass Kaonen und Pionen unterschiedliche Massen haben.

#### Aufgabe 11.4: Zerfälle des $\tau$ -Leptons (1 Punkt)

$\tau$ -Leptonen zerfallen aufgrund der schwachen Wechselwirkung sowohl in leichte Hadronen und ein Neutrino (im Folgenden *hadronische Endzustände* genannt) als auch in rein leptonische Endzustände.

- a) Zeichnen sie die Feynman-Graphen aller möglichen  $\tau$ -Zerfälle. Beschränken Sie sich bei den hadronischen Zerfällen auf das Quark-Niveau. Welche Quark-Antiquark-Kombinationen sind möglich? Betrachten Sie nur  $\tau^-$ -Zerfälle. Hinweis: Das leichteste Meson mit einem Charm-Quark hat eine Masse von  $1.865 \text{ GeV}/c^2$  und liegt oberhalb der  $\tau$ -Masse.
- b) Wie groß ist das Verzweigungsverhältnis  $R_{had} = \Gamma_{had}/\Gamma_{tot}$  in hadronische Endzustände?  $\Gamma_{had}$  bzw.  $\Gamma_{tot}$  ist die hadronische bzw. totale Zerfallsbreite des  $\tau$ -Leptons. Berücksichtigen Sie die Farbladung der Quarks. Benutzen Sie für die Behandlung der Produktion der verschiedenen Quark-Antiquark-Kombinationen, dass näherungsweise gilt:  $|V_{ud}|^2 + |V_{us}|^2 \approx 1$  ( $|V_{ub}| \approx 0$ )

#### Verständnisfragen / Fragen zur Diskussion

- Geben Sie ein Beispiel für die Evidenz von Farbladungen.
- Geben Sie zwei verschiedene Feynman-Graphen für die  $e^+e^-$ -Annihilation in 4 Hadron-Jets an.
- Warum werden keine freien Quarks oder Gluonen beobachtet?
- Warum beobachtet man im  $\beta$ -Zerfall für das entstehende Elektron ein kontinuierliches Energiespektrum? Wie kann man aus dem gemessenen Energiespektrum eine obere Grenze für die Neutrinomasse angeben?
- Benutzen Sie die CKM-Elemente, um anzugeben wieviel wahrscheinlicher der Übergang eines u-Quarks in ein d-Quark als der Übergang eines u-Quarks in ein s-Quark ist. Vernachlässigen Sie die Massen der Quarks.
- Skizzieren Sie die Feynman-Graphen der möglichen Wechselwirkungen eines hochenergetischen Myon-Neutrinos ( $E_\nu > m_\mu c^2$ ) mit Materie.