

Name:

Gruppe:

Aufgabenblatt 6 - Physik V - WS 2011/2012

Abgabetermin: 24/25.11.2011 in den Übungsgruppen

Aufgabe 6.1: Charmonium und die starke Kopplungskonstante α_s (25 Punkte)

Das schwere Meson mit Namen J/Ψ ist ein gebundener Zustand aus einem Charm- und einem Anti-Charm-Quark: $|c\bar{c}\rangle$. Die Spins der beiden Quarks sind parallel zueinander. Das J/Ψ zerfällt zu 87.7% in hadronische Endzustände.

Nehmen Sie an, dass der hadronische Zerfall über einen virtuellen Zwischenzustand aus drei masselosen Gluonen verläuft: $J/\Psi \rightarrow 3G$. Aufgrund der C-Parität des J/Ψ von $C = -1$ ist ein Zerfall in zwei Gluonen nicht möglich. Warum ist ein Zerfall in ein Gluon auch nicht möglich?

Der Zerfall $J/\Psi \rightarrow 3G$ läuft analog zum Zerfall des Ortho-Positroniums in drei Photonen ab, dessen Breite sich wie folgt berechnet:

$$\Gamma(3\gamma) = \frac{2(\pi^2 - 9)}{9\pi} \alpha^6 m,$$

wobei m die Masse des Positroniums ist.

Während beim Positronium die elektromagnetische Kopplungskonstante α die Stärke der Kopplung zwischen elektrischer Ladung und Photon bestimmt, ist es bei der Kopplung zwischen Farbladung und Gluon die starke Kopplungskonstante α_s .

Entnehmen Sie die totale Zerfallbreite des J/Ψ und seine Masse der PDG (<http://pdg.lbl.gov>) und ersetzen Sie die entsprechenden Größen in der obigen Formel. Ersetzen Sie ferner α durch $4/3 \alpha_s$, die starke Kopplungskonstante, multipliziert mit einem Farbfaktor. Welchen Wert für α_s gewinnen Sie aus dem Zerfall des J/Ψ ?

Aufgabe 6.2: Erzeugung von b-Quarks in e^+e^- - Annihilationen (25 Punkte)

In e^+e^- -Annihilationen werden neben Lepton-Antilepton-Paaren auch Quark-Antiquark-Paare erzeugt, die als Hadronjets mit Teilchendetektoren nachweisbar sind. Experimentell können Hadronjets aus b-Quarkpaaren von Jets aus leichteren Quarkpaaren getrennt werden, was die Messung der $b\bar{b}$ -Produktion erlaubt. Welchen Anteil $R_{b\bar{b}} = \frac{\sigma_{b\bar{b}}}{\sigma_{had}}$ an den in e^+e^- -Annihilation produzierten hadronischen Ereignissen haben Ereignisse, in denen $b\bar{b}$ -Paare produziert wurden, wenn die e^+e^- -Schwerpunktsenergie etwas oberhalb der $b\bar{b}$ -Produktionsschwelle liegt?

Hinweis: Berücksichtigen Sie nur Prozesse der elektromagnetischen Wechselwirkung.

Aufgabe 6.3: CKM-Matrix-Elemente (25 Punkte)

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

- 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_{CKM} beschreibt die Kopplungsstärke von Quarkübergängen:

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

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

Aufgabe 6.4: Universalität der schwachen Wechselwirkung (25 Punkte)

Geben Sie die möglichen Zerfallskanäle für das μ - und das τ -Lepton an. Skizzieren Sie jeweils die Feynman-Diagramme (auf dem Parton-Level).

Hinweis:

Masse des μ -Leptons: $m_\mu = 105.7 \text{ MeV}/c^2$

Masse des τ -Leptons: $m_\tau = 1.78 \text{ GeV}/c^2$

Zusatzaufgabe (20 Zusatzpunkte):

Die Theorie der schwachen Wechselwirkung besagt, dass alle Arten von Quarks und Leptonen die gleiche schwache Ladung tragen, d.h. W- und Z-Bosonen koppeln an alle Quarks und Leptonen gleichermaßen. Eine Folge ist, dass, wenn ein Teilchen auf mehrere Arten schwach zerfallen kann, die Häufigkeit der verschiedenen Kanäle sich nur durch den Beitrag der CKM-Matrix-Elemente unterscheidet, sofern Unterschiede in den Phasenraumfaktoren für die verschiedenen Zerfälle vernachlässigt werden. Vernachlässigen Sie im Folgenden diese Unterschiede.

Die Zerfallsbreite des Myons ergibt sich zu

$$\Gamma(\mu^- \rightarrow e^- \nu_\mu \bar{\nu}_e) = \frac{G_F^2 m_\mu^5}{192\pi^3}.$$

a) Drücken Sie unter Ausnutzung der Universalität der schwachen Wechselwirkung die leptoniche Zerfallsbreite des τ -Leptons durch $\Gamma(\mu^- \rightarrow e^- \nu_\mu \bar{\nu}_e)$ aus. Denken Sie daran, in welche leptoniche Endzustände das τ -Lepton zerfallen kann.

b) Drücken Sie ebenfalls die hadronische Zerfallsbreite des τ -Leptons durch $\Gamma(\mu^- \rightarrow e^- \nu_\mu \bar{\nu}_e)$ aus. Dabei können Sie den Zerfallskanal $\tau^- \rightarrow (\bar{u}s) \nu_\tau$ vernachlässigen. Dieser ist durch den Beitrag des CKM-Matrix-Elements V_{us} stark unterdrückt. Denken Sie daran, dass Quarks Farbe tragen.

c) Wie hängt nun die Gesamtzerfallsbreite des τ -Leptons mit $\Gamma(\mu^- \rightarrow e^- \nu_\mu \bar{\nu}_e)$ zusammen? Berechnen Sie damit die Lebensdauer des τ -Leptons τ_τ . Überlegen Sie dazu, wie die Gesamtzerfallsbreite eines Teilchens mit der Lebensdauer zusammenhängt. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis für τ_τ mit dem experimentellen Wert (<http://pdg.lbl.gov>).

Hinweis: Lebensdauer des Myons: $\tau_\mu = 2.197 \times 10^{-6} \text{ s}$