Fortgeschrittene Teilchenphysik

Markus Schumacher

Übung XIII

Matthew Beckingham und Markus Warsinsky

6.2.2009

Anwesenheitsaufgaben

Aufgabe 69 *Bestimmung von α_s aus τ-Zerfällen*

In der Vorlesung wurde gezeigt, dass das Verhältnis R_τ der hadronischen zur leptonischen Zerfallsbreite für Zerfälle von τ-Leptonen auf die Existenz der Farbladung hindeutet.

(i) Welcher naive Wert für $R_\tau = \frac{\mathrm{BR}(\tau\to\mathrm{Hadronen})}{\mathrm{BR}(\tau\to e\,\nu_e\,\nu_\tau)}$ ergibt sich auf Born-Niveau, wenn man die Cabbibo-Mischung im Quarksektor sowie die Massendifferenzen der Endzustandsteilchen vernachlässigt?

(ii) Experimentell wurde ein Wert für R_τ bestimmt, der 20 % größer ist als die naive Vorhersage aus (i). Erklären Sie diesen Unterschied qualitativ mit Korrekturen höherer Ordnung.

(iii) Die gemessene Abweichung von der Vorhersage auf Born-Niveau kann benutzt werden, um die Kopplungskonstante $\alpha_s(M_\tau^2)$ der starken Wechselwirkung zu bestimmen. Zeigen Sie, dass R_τ allein aus dem Verzweigungsverhältnis $\mathrm{BR}(\tau \to e\,\nu_e\,\nu_\tau)$ berechnet werden kann. Nutzen Sie $\mathrm{BR}(\tau \to \mu\,\nu_\mu\,\nu_\tau) = 0{,}97\,\mathrm{BR}(\tau \to e\,\nu_e\,\nu_\tau)$. Der Faktor 0,97 berücksichtigt die Massendifferenz zwischen Elektron und Myon.

(iv) Berücksichtigt man Korrekturen höherer Ordnung, so ergibt sich für R_τ:

$$R_\tau = 3\cdot(1+\delta_{\mathrm{ew.}\,1})(1+\delta_{\mathrm{ew.}\,2}+\delta_{\mathrm{QCD}}^{\mathrm{pert.}}+\delta_{\mathrm{QCD}}^{\mathrm{nichtpert.}}).$$

Dabei wurden die elektroschwachen Korrekturen als $\delta_{\mathrm{ew.}\,1} = 0{,}0194$ und $\delta_{\mathrm{ew.}\,2} = 0{,}0010$ berechnet und die nichtperturbative Korrektur zu $\delta_{\mathrm{QCD}}^{\mathrm{nichtpert.}} = -0{,}007 \pm 0{,}004$ bestimmt. Die perturbativen Korrekturen sind bis zum Drei-Schleifen-Niveau gegeben durch:

$$\delta_{\mathrm{QCD}}^{\mathrm{pert.}} = \frac{\alpha_s}{\pi} + 5{,}2\left(\frac{\alpha_s}{\pi}\right)^2 + 26{,}4\left(\frac{\alpha_s}{\pi}\right)^3.$$

Das Verzweigungsverhältnis $\mathrm{BR}(\tau \to e\,\nu_e\,\nu_\tau)$ wurde experimentell zu $(17{,}84 \pm 0{,}06)\,\%$ bestimmt. Bestimmen Sie daraus α_s auf Zwei-Schleifen-Niveau.

Aufgabe 70 HIGGS-*Feld und dunkle Energie*

Betrachten Sie die LAGRANGE-Dichte für ein komplexes skalares Feld $\phi = \frac{1}{\sqrt{2}}(\phi_1 + i\phi_2)$

$$\mathcal{L} = \partial_\mu \phi^* \partial^\mu \phi - V(\phi,\phi^*)$$

mit dem Potential

$$V = -\mu^2 \phi^* \phi + \lambda(\phi^* \phi)^2, \qquad \mu^2,\lambda > 0.$$

(i) Bestimmen Sie den Zustand niedrigster Energie ϕ_0.

(ii) Definieren Sie diesen zu $\phi_0 = \frac{v}{\sqrt{2}}$ und leiten Sie eine Beziehung zwischen v, λ und μ her.

(iii) Betrachten Sie nun eine Anregung des Feldes von der Form $\phi = \frac{1}{\sqrt{2}}(v + h)$.
In der Vorlesung wird gezeigt, dass eine Anregung entlang der degenerierten Vaua im Falle lokaler Eichinvarianz ein unphysikalischer Freiheitsgrad ist. Setzen Sie $\phi = \frac{1}{\sqrt{2}}(v + h)$ in $\mathcal{L}$ ein und interpretieren Sie die einzelnen Terme.

(iv) Bestimmen Sie die Masse des Teilchens h als Funktion a) von λ und v bzw. b) von μ.

(v) Die kritische Energiedichte des Universums beträgt etwa 5 Protonen pro Kubikmeter. Das Universum ist flach, seine Energiedichte entspricht dem kritischen Wert. 70 % davon werden von der dunklen Energie (DE) getragen. Bestimmen Sie ρ_{DE} in natürlichen Einheiten.

(vi) Nach spontaner Symmetriebrechung trägt das skalare Potential zur Vakuumenergie bzw. dunklen Energie bei. Berechnen Sie diesen Beitrag für $v = 247\,\mathrm{GeV}$ und eine Masse des Teilchens h von $120\,\mathrm{GeV}$. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem Ergebnis aus (iv).

Keine Hausaufgaben ;-)