

**Aufgabe 15: Leptonischer Zerfall  $B_s \rightarrow l^+l^-$**

Der für  $B_s \rightarrow l^+l^-$  relevante effektive Lagrangian der elektroschwachen Wechselwirkung ist gegeben durch [1]

$$\mathcal{L} = NC_A(\mu_b) (\bar{b}\gamma_\alpha\gamma_5 s) (\bar{l}\gamma^\alpha\gamma_5 l), \quad (1)$$

mit der Normierung  $N = V_{tb}^*V_{ts}G_F^2M_W^2/\pi^2$ , der Skala  $\mu_b \sim m_b$  und dem Wilson-Koeffizienten  $C_A(\mu_b)$ . Letzterer ist zu NLO EW und NNLO QCD gegeben als [1]

$$C_A(\mu_b = 5 \text{ GeV}) = 0.4690R_t^{1.53}R_\alpha^{-0.09}, \quad (2)$$

mit  $R_\alpha = \alpha_s(M_Z)/0.1184$  und  $R_t = M_t/(173.1 \text{ GeV})$ . Der Zerfall  $B_s \rightarrow l^+l^-$  wurde durch die Experimente CMS und LHCb am CERN beobachtet [2].

- a) Zeichnen Sie die führenden Feynman-Diagramme an, die zu  $B_s \rightarrow l^+l^-$  beitragen. Arbeiten Sie dazu in unitärer Eichung.
- b) Berechnen Sie  $\mathcal{B}(B_s \rightarrow l^+l^-)$  und geben Sie einen numerischen Wert an. Verwenden Sie dazu

$$\langle 0|\bar{b}\gamma^\alpha\gamma_5 s|B_s(p)\rangle = ip^\alpha f_{B_s}. \quad (3)$$

Die Abhängigkeit von  $\mathcal{B}(B_s \rightarrow l^+l^-)$  von  $|\overline{\mathcal{M}}|^2$  ist gegeben durch

$$\mathcal{B}(B_s \rightarrow l^+l^-) = \frac{1}{16\pi M_{B_s}\Gamma_H^s} \sqrt{1 - \frac{4m_l^2}{M_{B_s}^2}} |\overline{\mathcal{M}}|^2. \quad (4)$$

Schauen Sie numerische Werte von Konstanten in Ref. [3] nach. Testen Sie das Standardmodell und vergleichen Sie Ihr Resultat mit dem experimentellen Ergebnis aus Ref. [2].

## Aufgabe 16: Leptonische Kaon-Zerfälle

Betrachten Sie leptonische  $P^\pm \rightarrow l^\pm \nu$ -Zerfälle ( $P_{l2}$ ), mit [4]

$$\Gamma^{\text{SM}}(P^\pm \rightarrow l^\pm \nu) = \frac{G_F^2 M_P M_l^2}{8\pi} \left(1 - \frac{M_l^2}{M_P^2}\right)^2 f_P^2 |V_{qq'}|^2. \quad (5)$$

Bilden Sie das Verhältnis

$$R_K \equiv \frac{\Gamma(K_{e2})}{\Gamma(K_{\mu2})}. \quad (6)$$

Was ist Ihre führende Standardmodell-Vorhersage für diese Observable? Welche besondere Eigenschaft besitzt  $R_K$ ? Setzen Sie aktuelle Messwerte aus Ref. [3] für die benötigten Größen ein. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem Resultat der 2-Loop-Rechnung in chiraler Störungstheorie in Ref. [5], das QED-Korrekturen berücksichtigt. Testen Sie das Standardmodell durch den Vergleich mit dem experimentellen Wert [4]

$$R_K^{\text{exp}} = (2.488 \pm 0.010) \times 10^{-5}. \quad (7)$$

## References

- [1] C. Bobeth, M. Gorbahn, T. Hermann, M. Misiak, E. Stamou and M. Steinhauser, Phys. Rev. Lett. **112**, 101801 (2014) doi:10.1103/PhysRevLett.112.101801 [arXiv:1311.0903 [hep-ph]].
- [2] V. Khachatryan *et al.* [CMS and LHCb Collaborations], Nature **522**, 68 (2015) doi:10.1038/nature14474 [arXiv:1411.4413 [hep-ex]].
- [3] K. A. Olive *et al.* [Particle Data Group Collaboration], Chin. Phys. C **38**, 090001 (2014). doi:10.1088/1674-1137/38/9/090001, online update at <http://pdg.lbl.gov/index.html>
- [4] C. Lazzeroni *et al.* [NA62 Collaboration], Phys. Lett. B **719**, 326 (2013) doi:10.1016/j.physletb.2013.01.037 [arXiv:1212.4012 [hep-ex]].
- [5] V. Cirigliano and I. Rosell, Phys. Rev. Lett. **99**, 231801 (2007) doi:10.1103/PhysRevLett.99.231801 [arXiv:0707.3439 [hep-ph]].