

# Experimentelle Elementarteilchenphysik 2: Hausaufgaben

Humboldt-Universität zu Berlin, Sommersemester 2017

Prof. Dr. H. Lacker

## Übungsblatt 10 (Besprechung: 11.07.2017)

### Aufgabe 1: Konjugierte chirale Zustände

- Zeigen Sie mit Hilfe der Eigenschaften von  $\gamma^\mu$ ,  $\gamma^5$ , dass mit  $C = i\gamma^2\gamma^0$  gilt:  $C(\gamma^5)^T C^{-1} = \gamma^5$ .
- Zeigen Sie damit, dass  $(\psi_R)^C$  linkschiral ist (Tipp: also, nicht rechtschiral ist).

### Aufgabe 2: SHiP: Jagd nach rechtshändigen GeV-Majorana-Neutrinos

Im SHiP-Experimentvorschlag am CERN SPS-Beschleuniger soll ab 2026 unter anderem nach (bisher hypothetischen) rechtshändigen Majorana-Neutrinos mit Massen zwischen einigen hundert MeV bis etwa 5 GeV gesucht werden. Dazu sollen  $2 \times 10^{20}$  400 GeV-Protonen auf ein Festkörpertarget geschossen werden, das so dick ist, dass jedes Proton absorbiert wird ("Beamdump-Experiment"). Die meisten solcher Neutrinos würden in Zerfällen von produzierten  $D_{(s)}$ -Mesonen entstehen. Der Anteil der  $c\bar{c}$ -Produktion betrage etwa  $2 \times 10^{-3}$ . Die Wahrscheinlichkeit, dass aus einem produzierten  $c$ -Quark ein  $D^+$ -( $D_s$ )-Meson entsteht, beträgt 23 % (10 %). Im folgenden gehen Sie vereinfachend davon aus, dass es genau ein rechtshändiges Majorana-Neutrino gibt, so dass über den See-Saw-Mechanismus genau ein leichtes Neutrino generiert werden kann.

- Zeigen Sie, dass für  $M_L = 0$ ,  $M_R \gg m_D$  die beiden Masseneigenzustände gegeben werden durch  $|n_R \rangle \approx (1 - \frac{m_D^2}{2M_R^2})|\nu_R^c \rangle - \frac{m_D}{M_R}|\nu_R \rangle$  und  $|N_R \rangle = (1 - \frac{m_D^2}{2M_R^2})|\nu_R \rangle + \frac{m_D}{M_R}|\nu_R^c \rangle$  bzw. durch  $|n_L \rangle \approx (1 - \frac{m_D^2}{2M_R^2})|\nu_L \rangle - \frac{m_D}{M_R}|\nu_L^c \rangle$  und  $|N_L \rangle = (1 - \frac{m_D^2}{2M_R^2})|\nu_L^c \rangle + \frac{m_D}{M_R}|\nu_L \rangle$ .  
Damit enthält das schwere Neutrino  $N$  einen Anteil  $U = m_D/M_R$ , der in der schwachen Wechselwirkung koppeln kann und ist damit nicht mehr steril. Nehmen Sie an, dass die Werte in der Massenmatrix reell sind. Als unitäre Matrix nehmen Sie daher eine orthogonale  $2 \times 2$ -Drehmatrix mit Drehwinkel  $\theta$ .
- Wie groß ist das Mischungsmatrixelement  $U$ , wenn die  $N$ -Masse 1 GeV und die  $n$ -Masse des entsprechenden leichten aktiven Neutrinos 50 meV beträgt?
- Wieviele  $N$  werden in der Gesamtlaufzeit von SHiP produziert, wenn  $N$  nur mit dem Myonsektor mischt und ausschliesslich aus  $D \rightarrow \mu N$  bzw.  $D_s \rightarrow \mu N$ ?  
Verwenden Sie dafür Übungsblatt 6, wobei Sie nur  $m_N$  berücksichtigen und  $m_\mu$  vernachlässigen. ( $f_{D_s} = 249$  MeV. Alle anderen benötigten Werte entnehmen Sie dem PDG).
- Schätzen Sie die  $N$ -Lebensdauer ab, in dem Sie das  $\tau$ -Lepton als Analogon betrachten. Dabei vernachlässigen Sie, dass  $N$  auch über flavourverändernde neutrale Ströme zerfallen kann.
- Wieviele  $N \rightarrow \mu\pi$ -Zerfälle finden in einem Zerfallsvolumen statt, das 50 m vom  $N$ -Produktionsort beginnt und 50 m lang ist, wenn der mittlere  $N$ -Impuls 10 GeV beträgt?  
Schätzen Sie  $BF(N \rightarrow \mu\pi)$  über  $\tau$ -Zerfälle ab, indem Sie  $m_\mu$  wieder vernachlässigen.

Abgabe: 09.07.2017 up to 14:45 in box in front of room 1'415