

Experimentelle Elementarteilchenphysik 2: Hausaufgaben

Humboldt-Universität zu Berlin, Sommersemester 2017

Prof. Dr. H. Lacker

Übungsblatt 10 (Besprechung: 12.07.2017)

Aufgabe 1: Leptonflavourzahlverletzung

In der Vorlesung wurde der Zerfall $\mu \rightarrow e\gamma$ für drei Fermiongenerationen diskutiert. Nehmen Sie an, es gäbe eine vierte Fermiongeneration mit einem Dirac-Neutrino mit mindestens 50 GeV Masse. Wie groß kann dann die PMNS-Matrixelementkombination $|U_{e4}U_{\mu 4}^*|$ höchstens sein, wenn man bei einem Vertrauensniveau von 90 % $BF(\mu \rightarrow e\gamma) < 5,7 \times 10^{-13}$ gemessen hat?

Aufgabe 2: Konjugierte chirale Zustände

- Zeigen Sie mit Hilfe der Eigenschaften der γ -Matrizen und γ^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: Zeigen Sie, dass dieser Zustand nicht rechtschiral ist.)

Aufgabe 3: 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 2,5 GeV gesucht werden. Dazu sollen 2×10^{20} Protonen einer Energie von 400 GeV auf ein Festkörpertarget geschossen werden, das so dick ist, das jedes Proton absorbiert wird ("Beamdump-Experiment"). Die meisten solcher Neutrinos würden in Zerfällen von produzierten D - oder D_s -Mesonen entstehen. Der Anteil der $c\bar{c}$ -Produktion betrage etwa 2×10^{-3} . Die Wahrscheinlichkeit, dass aus einem produzierten c -Quark ein D^+ - bzw. D_s -Meson entsteht, beträgt 23 % bzw. 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 2×2 -Drehmatrix mit Drehwinkel θ .

- b) Wie groß ist das Mischungsmatrixelement U , wenn die N -Masse 1 GeV und die n -Masse des entsprechenden leichten aktiven Neutrinos 50 meV beträgt?
- c) Nehmen Sie nun an, dass dieses N ausschliesslich mit dem Myonsektor mischt, und betrachten Sie ausschliesslich die N -Produktion aus $D \rightarrow \mu N$ bzw. $D_s \rightarrow \mu N$.
Wieviele N werden auf diese Weise in der Gesamtlaufzeit von SHiP produziert?
Verwenden Sie dafür Übungsblatt 6, wobei Sie nur die N -Masse berücksichtigen und die μ -Masse vernachlässigen. Die D_s -Zerfallskonstante hat den Wert 249 MeV. Alle anderen benötigten Werte entnehmen Sie dem PDG.
- d) Schätzen Sie die N -Lebensdauer ab, in dem Sie das τ -Lepton als Analogon betrachten. Dabei vernachlässigen Sie, dass das N auch über flavourverändernde neutrale Ströme zerfallen kann.
- e) 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 $BF(N \rightarrow \mu\pi)$ mit Hilfe der Vorlesung wieder über τ -Zerfälle ab, indem Sie die Myonmasse wieder vernachlässigen.

Abgabe: 10.07.2017 up to 13:15 in box in front of room 1'415