

Experimentelle Elementarteilchenphysik I: Hausaufgaben

Humboldt-Universität zu Berlin, Sommersemester 2019

Prof. Dr. H. Lacker

Übungsblatt 6 (Besprechung: 22.05.2019)

Aufgabe 1: Abschätzung von CKM-Elementen aus hadronischen bzw. leptonischen Zerfällen

- a) D^0 -Mesonen können u. a. nach $K^-\pi^+$ oder nach $K^+\pi^-$ zerfallen. Berechnen Sie aus den gemessenen Verzweigungsverhältnissen das CKM-Elementverhältnis $\frac{|V_{cd}||V_{us}|}{|V_{cs}||V_{ud}|}$ inklusive Fehlerabschätzung unter der Annahme ab, dass man das Matrixelement \mathcal{A} für beide Zerfälle mittels naiver Faktorisierung als Produkt von zwei hadronischen Strömen berechnen kann. Verwenden Sie dafür folgende mit Hilfe der Gitter-QCD berechneten Größen: Verhältnis von Kaon- und Pionzerfallskonstante $f_K/f_\pi = 1.195 \pm 0.003$, Formfaktoren: $F_{D \rightarrow K} = 0.747 \pm 0.036$, $F_{D \rightarrow \pi} = 0.666 \pm 0.052$. Die benötigten experimentellen Daten entnehmen Sie dem PDG Booklet.

(Hinweis: Die Zerfallsrate berechnet sich über Fermi's Goldene Regel in diesem einfachen Fall eines Zweikörperzerfalls eines Spin-0-Mesons in zwei Spin-0-Mesonen wie folgt: $\Gamma_{D \rightarrow K\pi} = \frac{1}{8\pi} |\mathcal{A}_{D \rightarrow K\pi}|^2 \frac{|\vec{p}_K|}{M_D^2}$. Das Verhältnis der Matrixelementbeträge bestimmen Sie mit Hilfe der entsprechenden Feynmandiagramme.)

- b) Um ein Verzweigungsverhältnis in einen bestimmten Endzustand z. B. für D^+ -Mesonen zu messen, muss die Zahl aller im Experiment produzierten D^+ -Mesonen bekannt sein. Eine elegante Möglichkeit dies zu tun, besteht in der e^+e^- -Annihilation in eine $c\bar{c}$ -Resonanz, die mit großer Wahrscheinlichkeit in ein D^+D^- -Paar zerfallen kann. Für jedes Ereignis mit einem eindeutig rekonstruierten D^- -Zerfall ("Tag") aus dem Zerfall dieser Resonanz weiß man dann automatisch, dass in diesem Ereignis auch ein D^+ produziert wurde.

- (a) Suchen Sie im PDG-Book(let), welche Resonanz diese Eigenschaft hat und in welche Endzustände sie hauptsächlich noch zerfallen kann.

- (b) Sagen Sie voraus, wieviele $D^+ \rightarrow \mu^+\nu_\mu$ -Zerfälle man erwartet für folgende Annahmen: die $c\bar{c}$ -Resonanz zerfällt zu 41 % in D^+D^- , der e^+e^- -Produktionsquerschnitt für diese Resonanz beträgt 6,4 nb, die integrierte Luminosität des Beschleunigers beträgt 3 fb^{-1} , als D^- -Tag verwendet man den Zerfall $D^- \rightarrow K^+\pi^-\pi^-$.

Nehmen Sie $f_{D^+} = 210 \text{ MeV}$ für die D^+ -Zerfallskonstante und $|V_{cd}| = 0,2256$ an. Die weiteren benötigten experimentellen Daten entnehmen Sie dem PDG Booklet und vergleichen dann mit dem gemessenen Verzweigungsverhältnis. (Hinweis: Die theoretische Vorhersage für die leptonische Zerfallsrate eines pseudoskalaren Mesons P berechnet sich zu: $\Gamma_{P \rightarrow \ell\nu} = \frac{G_F^2 f_P^2 m_\ell^2 M_P}{8\pi} (1 - \frac{m_\ell^2}{M_D^2})^2 |V_{qq'}|^2$.

- (c) Die Wahrscheinlichkeit, dass sich ein Antifermion negativer Helizität in einem rechtsschiralen Zustand befindet, ist $\frac{1}{2}(1 - \beta_\ell)$. Da die Paritätsverletzung erzwingt, dass nur rechtsschirale Antifermionen an W -Bosonen koppeln, ist $\Gamma_{P \rightarrow \ell\nu}$ proportional zu dieser Wahrscheinlichkeit. Zeigen Sie, dass daraus $\Gamma_{P \rightarrow \ell\nu} \propto m_\ell^2$ folgt.

Bitte wenden!

Aufgabe 2: Fermion- und Leptonuniversalität

Um die Leptonuniversalität in W -Zerfällen zu testen, wurden bei LEP2 die Verzweigungsverhältnisse der Zerfälle $W \rightarrow \ell\nu_\ell$ in der Produktion von W^+W^- -Paaren gemessen.

- Zeigen Sie: Werden die Teilchenmassen im Endzustand vernachlässigt und nur Feynman-Diagramme führender Ordnung im W -Zerfall betrachtet, ist $BF(W \rightarrow \ell\nu_\ell) = 1/9$ für $\ell = e, \mu, \tau$ unter der Annahme, dass W -Bosonen an alle Fermionen mit der gleichen Kopplungsstärke koppeln und die CKM-Matrix eine unitäre 3×3 -Matrix ist.
- Überlegen Sie mit dem Resultat aus a), wie häufig folgende Endzustände in der W^+W^- -Produktion bei LEP2 vorkommen: $\ell_1\ell_2\nu_1\nu_2$, $\ell\nu q_1\bar{q}_2$, $q_1\bar{q}_2q_3\bar{q}_4$.
- Unter der Annahme, dass die schwache Kopplungskonstante g vom Typ des Leptons abhängt und somit als g_ℓ geschrieben werden muss, ermitteln Sie die Verhältnisse g_e/g_μ , g_e/g_τ und g_μ/g_τ aus den gemessenen Verzweigungsverhältnissen $BF(W \rightarrow \ell\nu_\ell)$ (siehe PDG Booklet). Hinweis: Die Fermi-Konstante kann bei Verletzung der Leptonuniversalität nicht mehr einfach als G_F mit Hilfe einer universellen Kopplungskonstante g geschrieben werden.
- Unter der Annahme, dass es eine vierte Fermionengeneration mit einem vierten Neutrino N gibt, ist $\nu_\ell = \sum_{i=1}^4 U_{\ell i}\nu_i$ mit den geladenen Leptonen $\ell = e, \mu, \tau$ und einem vierten schweren geladenen Lepton E , und mit den Neutrinomasseneigenzuständen ν_i ($i = 1, \dots, 4$). Dabei ist die 4×4 -Matrix U die Neutrinomischungsmatrix, das Analogon zur CKM-Matrix im Leptonsektor. Die 3×3 -Untermatrix $U_{\ell i}$ mit $\ell = e, \mu, \tau$ und $i = 1, 2, 3$ ist dann nicht notwendigerweise unitär.

Ein Neutrino einer vierten Generation muss schwerer als $m_Z/2$ sein. Nehmen Sie an, dass das ν_4 so schwer ist, dass ein W -Boson nicht in ein Neutrino einer vierten Generation zerfallen kann.

Zeigen Sie, dass man dann den Leptonuniversalitätstest als Schranke auf die Verhältnisse $\frac{1-|U_{e4}|^2}{1-|U_{\mu4}|^2}$, $\frac{1-|U_{e4}|^2}{1-|U_{\tau4}|^2}$ und $\frac{1-|U_{\mu4}|^2}{1-|U_{\tau4}|^2}$ interpretieren kann, unter der Annahme, dass die schwache Kopplungskonstante für alle Leptonen gleich g ist.

Zeigen Sie mit Hilfe der 4×4 -Unitarität, dass ein Leptonuniversalitätstest dieser Art eine obere Schranke von $\frac{1}{\sqrt{3}}$ für $|U_{e4}|$, $|U_{\mu4}|$ und $|U_{\tau4}|$ ergibt.

Abgabe: 20.05.2019 up to 10:45 in box in front of room 1'415