

Kern- und Teilchenphysik II (SS17), Übungsblatt 7

Abgabe bis Freitag, 30. Juni 2017
im Kasten „Kernphysik“ vor Raum NB 2/131

1. Aufgabe: Entdeckung neutraler Ströme (1 Punkt)

Die Existenz neutraler Ströme (Z^0 -Austausch) wurde 1973 am CERN durch die Beobachtung der Reaktion $\nu_\mu e^- \rightarrow \nu_\mu e^-$ nachgewiesen.

Auch die Reaktion $\nu_e e^- \rightarrow \nu_e e^-$ lässt sich durch Z^0 -Austausch beschreiben. Warum genügt eine Beobachtung dieser Reaktion, dennoch nicht aus, um die Existenz neutraler Ströme nachzuweisen?

2. Aufgabe: Unterdrückte schwache Zerfälle (21 Punkte)

(a) Betrachten Sie die Zerfälle $\Sigma^- \rightarrow ne^- \bar{\nu}_e$ und $\Sigma^- \rightarrow \Lambda^0 e^- \bar{\nu}_e$.

- Skizzieren Sie jeweils die Feynman-Diagramme, so dass auf Quark-Ebene ersichtlich wird, wie der Zerfall statt findet.
- Berechnen Sie das Verhältnis der Übergangswahrscheinlichkeiten und berücksichtigen Sie dabei auch die Sargent-Regel.
- Recherchieren Sie im PDG die experimentell ermittelten Verzweigungsverhältnisse dieser beiden Prozesse und berechnen Sie das Verhältnis der beiden Werte.

(b) Der Zerfall $\Sigma^+ \rightarrow ne^+ \nu_e$ wurde bislang nicht beobachtet. Nennen Sie zwei Gründe dafür.

3. Aufgabe: Anzahl der Neutrinogenerationen (18 Punkte)

Die Summe der Partialbreiten aller möglichen Zerfallskanäle ergibt die totale Breite, so dass sich anhand der Breite der Z^0 -Resonanz bestimmen lässt wieviele leichte Neutrinos es gibt.

Die Partialbreite Γ_{ff} für einen Zerfall $Z^0 \rightarrow f\bar{f}$ hat zwei Anteile, für jeden Chiralitätszustand einen:

$$\Gamma_{ff} = \Gamma_0(\hat{g}^2(f_L) + \hat{g}^2(f_R)) \text{ mit } \hat{g}(f) = T_3(f) - z_f \sin(\theta_W).$$

Dabei bezeichnet θ_W den elektroschwachen Mischungswinkel (Weinberg-Winkel), T_3 die dritte Komponente des schwachen Isospins und z_f die Ladung des Fermions in Einheiten der Elementarladung e .

- (a) Eläutern Sie, welche Eigenschaft Neutrinos haben müssen, damit ihre Existenz anhand der Breite der Z^0 -Resonanz nachgewiesen werden kann.

- (b) Um die Anzahl der leichten Neutrinos zu bestimmen, ist es nötig, die nicht-messbare Partialbreite des Zerfalls $Z^0 \rightarrow \nu\bar{\nu}$ in ein beliebiges Neutrino-Antineutrino-Paar zu kennen. Berechnen Sie daher mithilfe obiger Formel zunächst das Verhältnis der Partialbreite des Zerfalls $Z^0 \rightarrow \nu\bar{\nu}$ zur Partialbreite des Zerfalls $Z^0 \rightarrow l^-l^+$ in ein beliebiges geladenes Lepton-Antilepton-Paar.
- (c) Berechnen Sie nun anhand der Partialbreiten, wieviele leichte Neutrinos es gibt und wie sich die Messunsicherheit der Partialbreiten zu einer Unsicherheit bei der Bestimmung der Anzahl leichter Neutrinos fortpflanzt.

Schwacher Isospin Die elektromagnetische und die schwache Wechselwirkung werden in der Theorie der *elektroschwachen Wechselwirkung* als zwei Aspekte einer einheitlichen Wechselwirkung aufgefasst. Dazu wird analog zum Isospin I in der starken Wechselwirkung der schwache Isospin T eingeführt. Jede Familie von linkshändigen Quarks und Leptonen bildet ein Duplett von Fermionen mit $T = \frac{1}{2}$ und $T_3 = \pm\frac{1}{2}$, die durch Emission oder Absorption eines W -Bosons ineinander umgewandelt werden können. Rechtshändige Antifermionen tragen jeweils das entgegengesetzte Vorzeichen. Rechtshändige Fermionen koppeln nicht an W -Bosonen und haben $T = 0$ und $T_3 = 0$.

	Multipletts			T	T_3	z_f
Leptonen	$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}_L$	$\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	0
	e_R	μ_R	τ_R	0	$-\frac{1}{2}$	-1
				0	0	-1

Weinberg-Winkel Da der schwache Isospin bei Prozessen der schwachen Wechselwirkung erhalten bleiben soll, muss das W -Boson den schwachen Isospin $T = 1$ mit $T_3(W^-) = -1$ und $T_3(W^+) = +1$. Analog zum π , das ein Triplet des starken Isospins bildet, sollte es dann auch ein W^0 mit $T_3 = 0$ geben, das mit gleicher Kopplungsstärke g wie W^\pm an die Fermionendupletts koppelt. Dieses W^0 entspricht aber nicht dem Z^0 , da die Kopplung des Z^0 im Gegensatz zum W -Boson auch von der elektrischen Ladung abhängig ist. Stattdessen wird ein weiteres Boson B^0 mit $T = 0$ und $T_3 = 0$ postuliert, dessen Kopplungsstärke nicht mit der des W -Triplets übereinstimmen muss. Die Grundidee der elektroschwachen Vereinheitlichung besteht darin, die beiden neutralen Vektorbosonen γ und Z^0 als zueinander orthogonale Linearkombinationen von B^0 und W^0 zu beschreiben:

$$\begin{aligned}
 |\gamma\rangle &= \cos(\theta_W)|B^0\rangle + \sin(\theta_W)|W^0\rangle \\
 |Z^0\rangle &= -\sin(\theta_W)|B^0\rangle + \cos(\theta_W)|W^0\rangle
 \end{aligned}$$

Der elektroschwache Mischungswinkel θ_W wird zu Ehren des Entwicklers der Theorie auch Weinberg-Winkel genannt.