Einführung in Theoretische Teilchenphysik

V: Prof. Dr. M. Mühlleitner, Ü: Dr. M. Rauch

Übungsblatt 11

Abgabe: Mo, 01.02.16
Besprechung: Mi, 03.02.16

Keine Übung am 27.01.16,
Zentralübung zu automatisierten Tools am 02.02.16 statt der Vorlesung.

Aufgabe 23: W-Paarproduktion im Hochenergielimes (*9+1=10 Punkte*)

Wir untersuchen den Streuprozess

$$e^-(p_1) + e^+(p_2) \to W^-(p_3) + W^+(p_4)$$

im Hochenergielimes mit $k^2 \equiv s \gg M_W^2$, wobei $k = p_1 + p_2 = p_3 + p_4$. Wir vernachlässigen alle Fermionmassen, aber nicht die Eichbosonmasse.

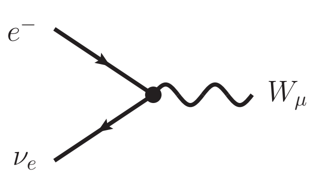
(a) Nehmen Sie an, es gäbe keine 3-Eichboson-Selbstwechselwirkung im Standardmodell. Zeigen Sie, dass in diesem Fall das gemittelte Amplitudenquadrat in führender Ordnung in $\frac{s}{M_W^2}$ durch

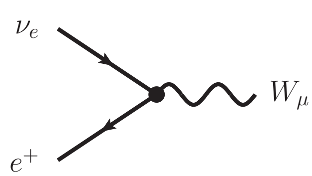
$$\begin{aligned}\overline{\sum}|\mathcal{M}_{fi}|^2 &= \frac{g^4}{8M_W^4}\left(p_1\cdot p_2\ p_3\cdot p_4 - p_1\cdot p_3\ p_2\cdot p_4 - p_1\cdot p_4\ p_2\cdot p_3\right)\\ &= \cdots \simeq \frac{g^4}{64}\frac{s^2}{M_W^4}(1-\cos\vartheta^2)\end{aligned}$$

gegeben ist, wobei ϑ den Streuwinkel zwischen dem einlaufenden e^- und dem auslaufenden W^- im Schwerpunktsystem darstellt.
Die Polarisationssumme der W-Bosonen kann durch $\sum_\lambda \varepsilon_\mu(q,\lambda)\varepsilon_\nu^*(q,\lambda) \simeq \frac{q_\mu q_\nu}{M_W^2}$ genähert werden kann. Vernachlässigen Sie bei der Berechnung von erster zu zweiter Zeile in obiger Gleichung alle nichtführenden Terme in $\frac{s}{M_W^2}$.

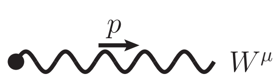
(b) Berechnen Sie daraus den totalen Wirkungsquerschnitt im Schwerpunktssystem der einlaufenden Teilchen, ausgehend von der oben berechneten Amplitude. Wie verhält sich der Wirkungsquerschnitt für $s \to \infty$?

Feynmanregeln:

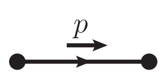




$\frac{ig}{\sqrt{2}}\gamma^\mu P_L$



$\epsilon^{*\mu}(p,\lambda)$,



$\frac{i(\not{p}+m)}{p^2-m^2}$

Aufgabe 24: Higgs-Zerfälle (*4+4+2=10 Punkte*)

In dieser Aufgabe berechnen wir die Partialbreiten Γ der wichtigsten Baumgraph-Zerfallskanäle des Higgs-Bosons. Diese sind definiert als

$$\Gamma(H \to XY) = \frac{1}{2M_H} \int \mathrm{dPS(2\text{-}Teilchen)} \overline{\sum} \left|\mathcal{M}_{H\to XY}\right|^2 .$$

Für identische Teilchen im Endzustand, $X = Y$, ist dieses Ergebnis noch mit einem Symmetriefaktor $\frac{1}{2}$ zu multiplizieren.
Berechnen Sie daraus die Partialbreiten des Higgs für die folgenden Zerfälle:

(a) W-Bosonen W^+W^-

$$\Gamma(H \to W^+W^-) = \frac{G_F M_H^3}{8\sqrt{2}\pi} \left(1 - \frac{4M_W^2}{M_H^2}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{4M_W^2}{M_H^2} + \frac{12M_W^4}{M_H^4}\right) ,$$

(b) Z-Bosonen ZZ

$$\Gamma(H \to ZZ) = \frac{G_F M_H^3}{16\sqrt{2}\pi} \left(1 - \frac{4M_Z^2}{M_H^2}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{4M_Z^2}{M_H^2} + \frac{12M_Z^4}{M_H^4}\right) .$$

(c) Erstellen Sie zusammen mit der Zerfallsbreite in ein Fermion-Antifermion-Paar $f\bar{f}$ mit Fermionmasse m_f,

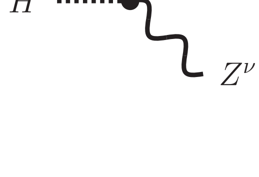
$$\Gamma(H \to f\bar{f}) = N_C \frac{G_F m_f^2 M_H}{4\sqrt{2}\pi} \left(1 - \frac{4m_f^2}{M_H^2}\right)^{\frac{3}{2}} ,$$

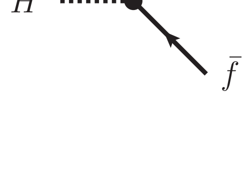
eine Grafik, die das Verzweigungsverhältnis $\mathrm{BR}(H \to XY, M_H) = \frac{\Gamma(H\to XY, M_H)}{\sum_{AB} \Gamma(H\to AB, M_H)}$ als Funktion der Higgsmasse zwischen 10 und 1000 GeV zeigt, wobei die Summe im Nenner über alle möglichen Endzustände geht. Berücksichtigen Sie dabei die folgenden Teilchen mit jeweiligen Massen:

Bosonen: W(80,385 GeV), Z(91,1876 GeV),
Fermionen mit $N_C = 3$ (Quarks): t(173,21 GeV), b(4,78 GeV), c(1,275 GeV)
Fermionen mit $N_C = 1$ (Leptonen): τ(1,777 GeV)

Zur Berechnung werden die folgenden Relationen und Feynmanregeln benötigt:

$$G_F = \frac{1}{\sqrt{2}v^2} = 1,16638 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{GeV}^{-2} , \quad M_W = \frac{gv}{2} = c_W M_Z , \quad \sum_\lambda \epsilon_\mu^*(p,\lambda)\epsilon_\nu(p,\lambda) = -g_{\mu\nu} + \frac{p_\mu p_\nu}{p^2} ,$$

$i\frac{g^2 v}{2} g^{\mu\nu}$,


$i\frac{g^2 v}{2c_W^2} g^{\mu\nu}$,


$i\frac{m_f}{v}$.