KIT **WS 2015/16**

Einführung in Theoretische Teilchenphysik

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

Übungsblatt 9

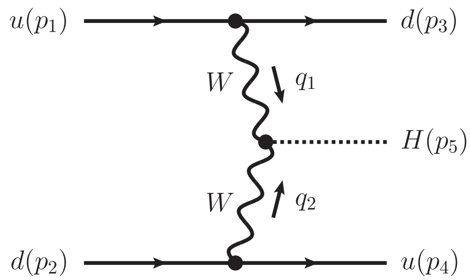
Abgabe: Mo, 11.01.16

Besprechung: Mi, 13.01.16

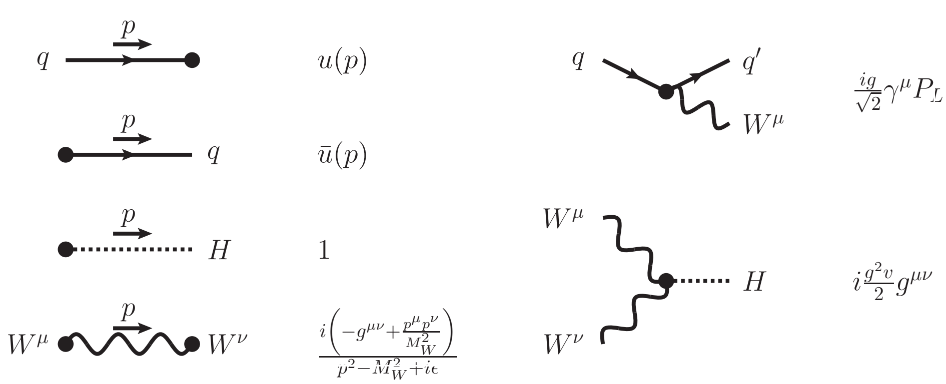
Aufgabe 20: Higgs-Produktion via Vektor-Boson-Fusion

(*3+4+3+8+2+0=20 Punkte*)

Higgs-Produktion via Vektor-Boson-Fusion (VBF) ist einer der Haupterzeugungskanäle des Higgs-Bosons am LHC. Der führende Subprozess ist $ud \to duH$, und das führende Feynman-Diagramm, das wir in dieser Aufgabe berechnen wollen, hat die folgende Form:



Die zugehörigen Feynman-Regeln lauten:

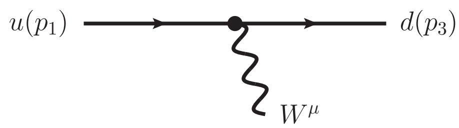


mit der Kopplungskonstanten $g \simeq 0.65$ und dem Vakuumerwartungswert $v \simeq 264$ GeV. Für die Quarks ist eigentlich noch zusätzlich ein Farbfaktor zu berücksichtigen. Zusammen mit der Farbmittelung der einlaufenden Zustände ergibt sich als Farbfaktor am Ende aber gerade 1.

(a) Zeigen Sie die folgenden Eigenschaften der Chiralitäts-Projektionsoperatoren $P_{\substack{R\\L}} = \frac{1\pm\gamma^5}{2}$, die wir im weiteren Verlauf benötigen:

$$\left(P_{\substack{L\\R}}\right)^2 = P_{\substack{L\\R}}\,, \qquad P_R + P_L = 1\,, \qquad P_R - P_L = \gamma^5\,,$$
$$\left(P_{\substack{L\\R}}\right)^\dagger = P_{\substack{L\\R}}\,, \qquad P_{\substack{L\\R}}\gamma^\mu = \gamma^\mu P_{\substack{R\\L}}\,, \qquad \gamma^0\left(P_{\substack{L\\R}}\right)\gamma^0 = P_{\substack{R\\L}}\,.$$

Betrachten Sie zunächst das folgende Teildiagramm:



wobei das W-Boson „amputiert" ist, d.h. die Kontraktion mit seinem Polarisationsvektor wird weggelassen und stattdessen hat das Matrixelement einen offenen Lorentzindex μ.

(b) Schreiben Sie das zugehörige Matrixelement $\mathcal{M}_1^\mu$ auf. Berechnen Sie $q_\mu \mathcal{M}_1^\mu$ und eliminieren Sie die explizite Impulsabhängigkeit des Ausdrucks. Was passiert im Grenzfall $m_u = m_d$, was bei $m_u = m_d = 0$?

Im folgenden betrachten wir nur mehr masselose Quarks, $m_u = m_d = 0$.

(c) Zeigen Sie, dass dann für das quadrierte, spin-summierte Matrixelement folgt

$$\sum_{s_1,s_3} |\mathcal{M}_1|^{2,\mu\nu} \equiv \sum_{s_1,s_3} \mathcal{M}_1^\mu \mathcal{M}_1^{\dagger,\nu} = g^2\left(p_1^\mu p_3^\nu + p_3^\mu p_1^\nu - p_1\cdot p_3 g^{\mu\nu} + i\epsilon^{\mu\nu\rho\sigma} p_{1,\rho} p_{3,\sigma}\right)\,.$$

(d) Berechnen Sie damit das spin-gemittelte Matrixelementquadrat des gesamten Feynman-Diagramms,

$$\overline{\sum} |\mathcal{M}|^2 = \frac{g^8 v^2}{4} \frac{1}{(q_1^2 - M_W^2)^2 (q_2^2 - M_W^2)^2}\; p_1\cdot p_2\; p_3\cdot p_4$$

Überlegen Sie sich dazu zunächst das Ergebnis des „Mittelteils" (W-Propagatoren, HWW-Vertex) separat. Der Limes $\epsilon \to 0$ der $i\epsilon$-Terme in den Propagatoren kann direkt durchgeführt werden. Passen Sie auf, dass die richtigen Lorentzindizes kontrahiert werden.

(e) Zeigen Sie, dass die Wahl

$$p_3 = E_3 \begin{pmatrix} 1 \\ \sin\vartheta_3 \\ 0 \\ \cos\vartheta_3 \end{pmatrix} \quad \text{und} \quad p_4 = E_4 \begin{pmatrix} 1 \\ \sin\vartheta_3\cos\vartheta_4 + \cos\vartheta_3\sin\vartheta_4\cos\varphi_4 \\ \sin\vartheta_4\sin\varphi_4 \\ \cos\vartheta_3\cos\vartheta_4 - \sin\vartheta_3\sin\vartheta_4\cos\varphi_4 \end{pmatrix}$$

die Parametrisierung aus Aufgabe 19 erfüllt, also der Winkel zwischen $\vec{p}_3$ und $\vec{p}_4$ ϑ_4 ist und $\vec{p}_4$ für $\varphi_4 = 0$ in der $\vec{p}_3$-z-Ebene liegt. (Die globale Drehung um φ_3 wurde hier auf 0 gesetzt.)

(f) *(keine Abgabe)*
Schreiben Sie ein Programm, das für gegebene Schwerpunktsenergie der beiden einlaufenden Quarks den zugehörigen Wirkungsquerschnitt

$$\sigma = \frac{1}{4p_1 \cdot p_2} \int \mathrm{dPS(3\text{-}Teilchen)} \overline{\sum} |\mathcal{M}|^2$$

via numerischer Integration berechnet.