

Einführung in die Teilchenphysik, SS 2016

Übungsblatt 3

Frank Tackmann

Abgabe: Freitag, 29.04.2016, zu Beginn der Vorlesung

1) Higgs Produktion und Zerfall am LHC (5 Punkte)

Um zu bestätigen, dass das entdeckte Teilchen tatsächlich das Higgs Boson ist, muß man (unter anderem) seine Kopplungsstärke mit den anderen Teilchen messen.

a) Zeichnen Sie zwei mögliche tree-level Feynmandiagramme für den Prozess $q_1 q_2 \rightarrow H q_3 q_4$, wobei die q_i entweder u oder d quarks sind. Dieser Prozeß wird als weak-boson fusion bezeichnet und ist wichtig um die Kopplung des Higgs an W and Z Bosonen zu messen.

b) Die Higgskopplung an bottom Quarks kann mittels des Zerfalls $H \rightarrow b\bar{b}$ gemessen werden. Zeichnen Sie das Feynmandiagramm für den vollen Prozess $gg \rightarrow H \rightarrow b\bar{b}$ an. Dies ist in der Tat der dominante Higgsprozess am LHC, da das b quark mit Masse $m_b \simeq 5\text{GeV}/c^2$ das schwerste Teilchen ist, in dass das Higgs mit seiner Masse von $125\text{GeV}/c^2$ direkt zerfallen kann. Leider, kann dieser Prozess nicht benutzt werden, da er komplett von dem enormen Untergrund aus dem QCD Prozess $pp \rightarrow b\bar{b}$ überdeckt wird (und b quarks sind ohnehin nicht einfach zu identifizieren). Zeichnen Sie alle tree-level Feynmandiagramme für diesen Untergrund aus den Prozessen $gg \rightarrow b\bar{b}$ und $q\bar{q} \rightarrow b\bar{b}$.

c) Um den Zerfall $H \rightarrow b\bar{b}$ dennoch zu messen, benutzen die Experimente die Prozesse $q\bar{q} \rightarrow HZ$ und $q\bar{q}' \rightarrow HW$, bei dem das Higgs zusammen mit einem W oder Z Boson im Endzustand auftritt, wobei die W und Z Bosonen weiter in Leptonen zerfallen. Zeichnen Sie die *dominanten* tree-level Feynmandiagramme für jeden der beiden Prozesse. Zeichnen Sie ebenfalls ein mögliches Feynmandiagramm für den Untergrundprozess $pp \rightarrow b\bar{b}\ell^+\ell^-$. (Dieser Untergrund ist immer noch sehr groß im Vergleich zum Higgssignal aber handhabbar.)

2) 2-Körper Phasenraum (5 Punkte)

Der Phasenraum für zwei auslaufende Teilchen mit Impulsen p_1 und p_2 und totalem einlaufenden Impuls q ist gegeben durch

$$d\Phi_2(q; p_1, p_2) = (2\pi)^4 \delta^4(q - p_1 - p_2) \frac{d^4 p_1}{(2\pi)^3} \theta(p_1^0) \delta(p_1^2 - m_1^2 c^2) \frac{d^4 p_2}{(2\pi)^3} \theta(p_2^0) \delta(p_2^2 - m_2^2 c^2). \quad (1)$$

Im Schwerpunktsystem wo $\vec{q} = 0$ ist gilt $q^\mu = (Q, \vec{0})$ wobei $Q = \sqrt{q^2}$. Zeigen Sie unter Ausnutzung aller delta-Funktionen, daß das Phasenraumintegral im Schwerpunktsystem sich reduziert auf

$$\int d\Phi_2(q; p_1, p_2) = \frac{1}{16\pi^2} \frac{|\vec{p}|}{Q} \int d\Omega, \quad (2)$$

wobei $d\Omega = d(\cos \theta) d\phi$ ist, und $|\vec{p}| = |\vec{p}_1| = |\vec{p}_2|$ ist der Betrag der auslaufenden 3er-Impulse, welcher durch Energie-Impuls-Erhaltung bestimmt ist:

$$|\vec{p}|^2 = \frac{1}{4q^2} [(q^2 - m_1^2 c^2 - m_2^2 c^2)^2 - 4m_1^2 m_2^2 c^4]. \quad (3)$$

(Die Rechnung haben wir im wesentlichen bereits in der Vorlesung gemacht. Der Punkt hier ist, dass Sie noch einmal selbständig durch alle Schritte gehen.)

3) Die Lebensdauer des Higgs (5 Punkte)

In dieser Aufgabe, werden Sie Ihre erste Zerfallsrate ausrechnen und damit die Lebensdauer des Higgs abschätzen. Für den Prozeß $A \rightarrow B_1 + B_2$, wobei die Teilchen die Massen m_A, m_1, m_2 haben, ist die Zerfallsrate im Ruhesystem von A gegeben durch

$$\hbar\Gamma = \frac{1}{2m_A} \int d\Phi_2(p_A; p_1, p_2) |\mathcal{M}(A \rightarrow B_1 + B_2)|^2. \quad (4)$$

Betrachten Sie den Zerfall $H \rightarrow b\bar{b}$. Nehmen Sie das Matrixelement für diesen Zerfall als $\mathcal{M}(H \rightarrow b\bar{b}) = m_b c$ an (im Ruhesystem des Higgs). Berechnen Sie damit und unter Benutzung von (2) und (3) die $H \rightarrow b\bar{b}$ Zerfallsrate.

Der Zerfall $H \rightarrow b\bar{b}$ ist bei weitem der dominanteste Zerfallskanal des Higgs, d.h. wir können in guter Näherung annehmen, daß die totale Zerfallsrate gegeben ist durch $\Gamma_{\text{total}} \approx \Gamma(H \rightarrow b\bar{b})$. Berechnen Sie damit die Lebensdauer des Higgs. (Benutzen Sie $m_H = 125 \text{ GeV}/c^2$ und $m_b = 5 \text{ GeV}/c^2$ als Zahlenwerte.)