

Fortgeschrittene Teilchenphysik

Markus Schumacher

Übung XIV

Matthew Beckingham und Markus Warsinsky

13.2.2009

Anwesenheitsaufgaben

Aufgabe 71 *Massen der Vektorbosonen*

Die Kopplung des HIGGS-Feldes an die Eichbosonen ist gegeben durch:

$$\left| \left(i \frac{g}{2} \vec{\sigma} \cdot \vec{W}_\mu + i \frac{g'}{2} Y B_\mu \right) \phi \right|^2.$$

Der Ausdruck lässt sich mit den PAULI-Matrizen

$$\vec{\sigma} = \left(\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \right)$$

und $W_\mu^\pm = \frac{1}{\sqrt{2}}(W_1 \mp iW_2)$ schreiben als:

$$\left(\frac{1}{2} g v \right)^2 W_\mu^+ W^{-\mu} + \frac{1}{8} v^2 (W_\mu^3, B_\mu) \underbrace{\begin{pmatrix} g^2 & -gg' \\ -gg' & g'^2 \end{pmatrix}}_{\mathbf{M}} \begin{pmatrix} W^{3\mu} \\ B^\mu \end{pmatrix}.$$

- (i) Berechnen Sie die Eigenwerte λ der Massenmatrix \mathbf{M} , indem Sie die Nullstellen des charakteristischen Polynoms $\det(\mathbf{M} - \lambda \mathbf{1}_2)$ bestimmen.
- (ii) Bestimmen Sie die dazu gehörenden Eigenvektoren und die Transformationsmatrix, um in die Basis der Masseneigenzustände zu wechseln.
- (iii) Bestimmen Sie die Massen der Eigenzustände und den Rotationswinkel θ_W .

Aufgabe 72 *Rekonstruktion der Masse des HIGGS-Bosons am LHC mittels kollinearier Näherung*

Für niedrige Massen des HIGGS-Bosons ($M_H \approx 120 \text{ GeV}$) ist einer der wichtigsten Zerfallskanäle derjenige in τ -Leptonen, $H \rightarrow \tau^+ \tau^-$. Die τ -Leptonen zerfallen wiederum selber, so dass nur deren Zerfallsprodukte im Detektor sichtbar sind. Im folgenden soll der Zerfall

$$H \rightarrow \tau^+ \tau^- \rightarrow \mu^+ \nu_\mu \bar{\nu}_\tau \mu^- \bar{\nu}_\mu \nu_\tau \tag{1}$$

exemplarisch betrachtet werden. Die entstehenden Neutrinos durchqueren den Detektor ohne Wechselwirkung, so dass lediglich die entstehenden Myonen beobachtet werden können. Auf die Anwesenheit der Neutrinos kann allerdings durch Messung aller anderen sichtbaren Teilchen als fehlende Energie, bzw. fehlenden Impuls p_{miss} geschlossen werden. An einem Hadronkollider wie dem LHC ist es weiterhin nur möglich, die fehlende Transversalenergie, bzw. den fehlenden Transversalimpuls $\vec{p}_{T,miss}$ zu bestimmen, weil das Schwerpunktsystem der Parton-Parton-Streuung nicht bekannt ist, und man lediglich Impulserhaltung in der transversalen Ebene benutzen kann.

Dennoch ist es auch in diesem Fall möglich, die Masse des HIGGS-Bosons zu rekonstruieren, wenn man annimmt, dass der fehlende Transversalimpuls lediglich von den entstandenen Neutrinos stammt, und weitere Näherungen durchführt.

- (i) Machen Sie sich zunächst klar, was die große Masse des HIGGS-Bosons im Vergleich zur Masse des τ -Leptons für die Flugrichtung der τ -Zerfallsprodukte bedeutet. Was kann man daher für diese Richtungen annehmen?
- (ii) Zeichnen Sie die kinematische Situation in der transversalen Ebene auf.
 - a) Für den Fall, dass das HIGGS-Boson selbst einen Transversalimpuls trägt.
 - b) Für den Fall, in dem das HIGGS-Boson keinen Transversalimpuls hat.
- (iii) Wie kann man mittels der Messung des fehlenden Transversalimpulses die Transversalimpulse der jeweiligen Neutrinos aus einem τ -Zerfall bestimmen?
- (iv) Wie kann man somit die invariante $\tau\tau$ -Masse bestimmen?
- (v) Ist es möglich dies immer noch möglich, wenn das HIGGS-Boson keinen Transversalimpuls hat?
- (vi) Im folgenden sollen die Leptonmassen vernachlässigt werden. Die Größen

$$x_1 = \frac{E_{\mu 1}}{E_{\tau 1}}, \quad \text{bzw.} \quad x_2 = \frac{E_{\mu 2}}{E_{\tau 2}} \quad (2)$$

bezeichnen die Anteile der Myonimpulse bzw. Energien an den Impulsen bzw. Energien der τ -Leptonen. Nehmen Sie an, dass die Impulse der beiden Myonen sowie der fehlende Transversalimpuls gemessen sind. Nutzen Sie Impulserhaltung in der transversalen Ebene, um x_1 zu berechnen. Die Berechnung von x_2 verläuft analog. Hinweis: Ein Transversalimpuls hat zwei Komponenten!

- (vii) Berechnen Sie die invariante $\tau\tau$ -Masse aus der invarianten $\mu\mu$ -Masse, sowie x_1 und x_2 .

Keine Hausaufgaben ;-)