Physik jenseits des Standardmodells

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

Übungsblatt 2

Besprechung: Fr, 14.11.14

Aufgabe 2: Higgs-Massen im 2HDM

In der Vorlesung wurde das allgemeinste skalare Potential des 2-Higgs-Dublett-Modells ohne Viererterme ungerade in den Feldern gegeben als

$$\begin{aligned} V = &\, m_{11}^2 \Phi_1^\dagger \Phi_1 + m_{22}^2 \Phi_2^\dagger \Phi_2 - \left(m_{12}^2 \Phi_1^\dagger \Phi_2 + h.c. \right) \\ &+ \frac{\lambda_1}{2} \left(\Phi_1^\dagger \Phi_1 \right)^2 + \frac{\lambda_2}{2} \left(\Phi_2^\dagger \Phi_2 \right)^2 + \lambda_3 \left(\Phi_1^\dagger \Phi_1 \right) \left(\Phi_2^\dagger \Phi_2 \right) \\ &+ \lambda_4 \left(\Phi_1^\dagger \Phi_2 \right) \left(\Phi_2^\dagger \Phi_1 \right) + \left[\frac{\lambda_5}{2} \left(\Phi_1^\dagger \Phi_2 \right)^2 + h.c. \right] \end{aligned}$$

mit zwei Dubletts Φ_1 und Φ_2

$$\Phi_a = \begin{pmatrix} \varphi_a^+ \\ \frac{v_a + \rho_a + i\eta_a}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} , \qquad \langle \Phi_a \rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{v_a}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} , \qquad a = 1, 2 \,.$$

Aufgrund der Hermitizität der Lagrangedichte müssen m_{11}^2, m_{22}^2 und λ_{1-4} zwangsläufig reell sein. Gilt dies auch für m_{12}^2 und λ_5, ist das Potential CP-erhaltend.
In der Vorlesung wurden bereits die Masse des geladenen Higgs-Bosons berechnet. In dieser Übungsaufgabe wollen wir uns nun den neutralen zuwenden.

(a) Vergewissern Sie sich, dass im CP-erhaltenden Fall in der Lagrangedichte keine Mischterme der Form $\rho_a \eta_b$, $a, b = 1, 2$ auftreten.

(b) Extrahieren Sie alle Massenterme der CP-ungeraden Komponenten $\eta_a \eta_b$ und bringen Sie das Ergebnis auf die in Gl. (2.21) gegebene Form. Nutzen Sie dazu die Minimumsbedingung für die beiden Higgs-Dubletts aus.
Bestimmen Sie die beiden Masseneigenwerte. Welcher muss zum Goldstone-Boson G^0 und welcher zum CP-ungeraden Higgs A gehören?
Zeigen Sie, dass die zugehörige orthogonale Transformationsmatrix identisch zu der ist, die wir schon für den geladenen Fall gefunden haben.

(c) Nun betrachten wir die CP-geraden Komponenten $\rho_a \rho_b$. Finden Sie wieder die zugehörigen Massenterme und verifizieren Sie Gl. (2.24) im Skript.

(d) Erlaubt man auch Viererterme mit ungerader Potenz in den Dubletts, lassen sich zwei weitere Terme konstruieren:

$$V \to V' = V + \left[\lambda_6 \left(\Phi_1^\dagger \Phi_1\right) \left(\Phi_1^\dagger \Phi_2\right) + \lambda_7 \left(\Phi_2^\dagger \Phi_2\right) \left(\Phi_2^\dagger \Phi_1\right) + h.c.\right] .$$

Im, hier nicht betrachteten, CP-verletzenden Fall können diese beiden Parameter ebenfalls komplex sein.
Berechnen Sie, wie sich die beiden Minimumsbedingungen

$$\left.\frac{\partial V'}{\partial \Phi_a^\dagger}\right|_{\langle\Phi_i\rangle = \frac{v_i}{\sqrt{2}}} = 0 \ , \qquad a = 1,2$$

durch die zusätzlichen Terme verändern.

(e) Als letztes wollen wir noch kurz den CP-verletzenden Fall von V betrachten. Nehmen Sie jetzt an, dass m_{12}^2 und λ_5 komplex sind und zeigen Sie, dass in diesem Fall die $\rho_a \eta_b$-Mischterme nicht verschwinden.
Was bedeutet dies für die Masseneigenzustände (ohne explizite Rechnung)?