Zur Higgs Problematik

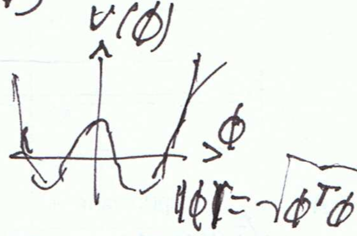
28.10.200

Dr. U. Tout

Ausgangspunkt: Lagrange Dichte Skalar Feld

$$\mathcal{L}_{Higgs} = T - V = \frac{1}{2}(\partial_\mu \phi)^2 - V(\phi)$$

Minimum bei $\phi_0 = \pm f = \pm\sqrt{-\frac{\mu^2}{\lambda}}$



Störung ⇝ Entwicklung um Grundzustand

$$\phi(x) = f + \eta(x)$$

⇒ Lagrangedichte

$$\mathcal{L}_{Higgs} = \frac{1}{2}(\partial_\mu \phi)^2 - \frac{1}{2}\mu^2\phi^2 - \frac{1}{4}\lambda\phi^4$$

$$= \frac{1}{2}(\partial^\mu \eta)^2 - \lambda\left(f^2\eta^2 + f\eta^3 + \frac{1}{4}\eta^4\right) + \text{const}$$

Selbstwechselwirkung des η-Felds

η: neues Feld mit Masseterm

$$m_\eta = \sqrt{-2\lambda f^2} = \sqrt{2}\,\mu$$

Dazu analog mit $\phi = (\phi_1 + i\phi_2)\frac{1}{\sqrt{2}}$
Erweiterung eines neues komplexen Felds

$$\mathcal{L}_{Higgs} = \frac{1}{2}(\partial_\mu \phi)^* \cdot (\partial^\mu \phi) - \frac{1}{2}\mu^2 \phi^* \phi - \frac{1}{4}\lambda (\phi^* \phi)^2$$

dabei ist $\mu^2 < 0$ und $\lambda > 0$ Achtung: komplex konjugierte Terme.

$$\mathcal{L}_{Higgs} = \frac{1}{2}(\partial_\mu \phi_1)^2 + \frac{1}{2}(\partial_\mu \phi_2)^2 - \frac{1}{2}\mu^2(\phi_1^2 + \phi_2^2) - \frac{1}{2}(\phi_1^2 + \phi_2^2)$$

Minimum bei $\phi_1 = f$
$\phi_2 = 0$

Entwicklung um Grundzustand

$$\phi(x) = \sqrt{2}\,(f + \eta(x) + i\,\xi(x))$$

woraus folgt:

$$\mathcal{L}_{Higgs} = \frac{1}{2}(\partial_\mu \eta)^2 + \frac{1}{2}(\partial_\mu \xi)^2 + \mu^2 \eta^2 + O(\eta^3) + O(\eta^4) + O(\xi^3) + O(\xi^4) + \text{const.}$$

ξ heißt Goldstone Boson

Masse für: η: $M_\eta = \sqrt{2}\mu$
ξ: Masse frei

Grund der endlichen Masse: Potentialkrümmung in Radialrichtung

(Mit Hilfe v. Wikipedia und Uni Münster "Spontane Symmetriebrechung und Goldstone-Theorem", Bieletzki, 3. Juli 2007

Plausibilität für ξ als masseloses Teilchen:
Wir entscheiden entlang vom Minimum $\Rightarrow$
im Bereich keine oder sehr (vernachlässigbar)
Krümmung $\Rightarrow$ keine Masse bzw. ξ ??
sehr sehr geringe Masse ?
siehe Goldstone Theorem Uni Münster

Auftreten masselose Skalare bei spontaner
Symmetriebrechung. Zahl der Skalare =
Zahl von spontan gebrochener Erzeugenden der
Symm. Gruppe

Bei Symm. brechung: Forderung nach lokaler
Eichinvarianz der $U(1)$ $\Rightarrow$ Ersatz der
Ableitung durch kovariante Ableitung.

$$\partial^\mu \to D^\mu = \partial^\mu - ieA^\mu$$

$\Rightarrow$ Langrangedichte:

$$\mathcal{L}_{Higgs} = (\partial^\mu + ieA^\mu)\cdot\phi^*\phi(\partial_\mu - ieA_\mu) - \frac{1}{2}\mu^2\phi^*\phi - $$
$$- \frac{1}{4}\lambda(\phi^*\phi)^2 - \frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}$$

Entwicklung um Minimum ergibt:

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}(\partial_\mu \eta)^2 + \frac{1}{2}(\partial_\mu \xi)^2 - \lambda f^2 \eta^2 + \frac{1}{2} e^2 f^2 A_\mu A^\mu -$$
$$- e f A_\mu \partial^\mu \xi - \frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + \text{WW Terme}$$

η: Skalar mit Masse $M_\eta = \sqrt{-2\lambda f^2} = \sqrt{2}\mu$

A^μ Vektorboson (spin=1) $M_A = ef$
mit Masse

ξ masseloser Skalar

Aber was ist $e f A \partial^\mu \xi$???
Interpretation weiß ich nicht!! !

Machen wir den Eichtrafo

$$\phi \to \frac{1}{\sqrt{2}} (f + h(x)) \, e^{\frac{i + \theta(x)}{f}}$$

$$A^\mu \to A^\mu + \frac{1}{ef} \partial^\mu \theta \qquad \text{mit } \theta \text{ so daß } h \text{ reell}$$

$\Rightarrow$ Lagrangedichte

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}(\partial_\mu h)^2 - \lambda f^2 h^2 + \frac{1}{2} e^2 f^2 A_\mu^2 - \lambda f h^3 - \frac{1}{4}\lambda h^4 +$$
$$+ \frac{1}{2} e^2 A_\mu^2 h^2 + f e^2 A_\mu^2 h - \frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu}$$

Jetzt haben wir:

Eichboson A^μ massiv mit Skalar h auch massiv
der Masse: $m_H = \sqrt{2}\mu$

Mit dieser Trafo: Goldstone Boson benutzt für longitudinale Polarisation des massiven Eichbosons.

So funktioniert der Higgs Mechanismus zur Erzeugung eines Photons mit einer Masse

Kopplung an Eichfeld ⇒ Verhinderung Goldstone Freiheitsgrade Goldstone kombinieren mit Eichfeldern ⇒ Entstehung massiver Vektorbosonen