SSB: spontane Symmetriebrechung + Higgs

oben: $W^\pm, Z^0, \gamma$ bekommen die benötigten Massen, falls

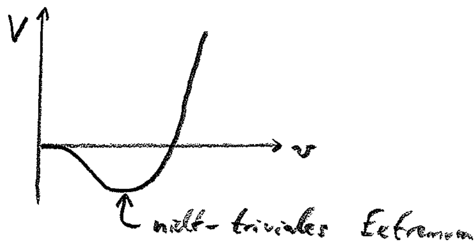
$$\hat{\Phi} \approx \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix}0\\ v\end{pmatrix}, \quad v = \text{konst.}$$

↑ hier: wie könnte das passieren?

$$\delta\hat{\mathcal{L}} = -V(\hat{\Phi}), \quad V(\hat{\Phi}) = \mu^2 \hat{\Phi}^\dagger\hat{\Phi} + \lambda(\hat{\Phi}^\dagger\hat{\Phi})^2 \qquad \text{(s. o.)}$$

$\hat{\Phi} = \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix}0\\ v\end{pmatrix}$ als Ansatz einsetzen $\Rightarrow$ $V = \frac{1}{2}\mu^2 v^2 + \frac{1}{4}\lambda v^4$

→ falls $\mu^2 < 0$, $\lambda > 0$ gilt, kann $v \neq 0$ durch die Dynamik als "Extremum" bestimmt werden!



→ dieses Phänomen nennt man "spontane Symmetriebrechung":
$\hat{\mathcal{L}}$ selbst hat viel (Eich-)Symmetrie,

z.B. $V\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix}0\\ v\end{pmatrix}\right) = V\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix}0\\ iv\end{pmatrix}\right) = V\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix}v\\ 0\end{pmatrix}\right) = V\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix}iv\\ 0\end{pmatrix}\right)$ etc,

jedoch wählen wir (und die Natur auch!) einen speziellen Wert als Repräsentanten des Extremums aus.

ab jetzt schreiben wir: $\boxed{V(\hat{\Phi}) = -\mu^2 \hat{\Phi}^\dagger\hat{\Phi} + \lambda(\hat{\Phi}^\dagger\hat{\Phi})^2}$

und nehmen an, dass $\mu^2 > 0$, $\lambda > 0$

→ $V = -\frac{1}{2}\mu^2 v^2 + \frac{1}{4}\lambda v^4$, $V' = -\mu^2 v + \lambda v^3 = 0 \Rightarrow \underline{v = \sqrt{\frac{\mu^2}{\lambda}}}$

natürlich ist $\hat{\Phi} \to \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix}0\\ v\end{pmatrix}$ keine exakte Ersetzung, sondern eine Näherung. Mehr Genauigkeit: Ableitungen von diesem Punkt.
Bei den Ableitungen gibt es einen wichtigen Unterschied, der die Anzahl der Freiheitsgrade bestimmt:

(der verschiedenen, unabhängigen Ableitungen)

- Theorien mit <u>globaler</u> Symmetrie
  (Symmetrietransformation <u>un</u>abhängig von x)
  Extremum kann als $\frac{1}{\sqrt{2}}\binom{0}{v}$ gewählt werden
  allg. Ableitung aus $\hat{\Phi}(x) = \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix} \hat{\phi}_2(x) + i\hat{\phi}_3(x) \\ v + \hat{\phi}_0(x) + i\hat{\phi}_1(x) \end{pmatrix}$, ϕ_i : <u>reelle</u> Felder

  → <u>vier</u> neue Teilchen $(\hat{\phi}_0, \hat{\phi}_1, \hat{\phi}_2, \hat{\phi}_3)$, vgl. Übungen, Aufgabe 48

- Theorien mit <u>lokaler</u> Symmetrie = Eichsymmetrie
  es gibt weniger unabhängige Ableitungen
  für eine abelsche Symmetrie kann Phase immer weggedreht werden (s. S. 63)
  für $SU(2)_L$ zeigt sich, daß $\hat{\phi}_1, \hat{\phi}_2, \hat{\phi}_3$ weggedreht werden können

((denn: $\hat{\Phi}(x) \to \hat{\Phi}'(x) = e^{i\sigma^a \hat{\phi}_a(x)\frac{1}{v}} \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix} 0 \\ v + \phi_0(x) \end{pmatrix}$, $a = 1,2,3$

($e^{i\vec{\sigma}\vec{a}} \in SU(2)$, s. Übung, A 18f, A 45a)

„kleine" Störung $\hat{\phi}_a$

$$\approx \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix} 1 + i\phi_3/v & i\phi_1/v + \phi_2/v \\ i\phi_1/v - \phi_2/v & 1 - i\phi_3/v \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 0 \\ v + \phi_0 \end{pmatrix}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix} \phi_2 + i\phi_1 \\ v + \phi_0 - i\phi_3 \end{pmatrix}$$))

→ <u>ein</u> neues Teilchen $(\hat{\phi}_0)$, das <u>Higgs-Boson</u>

also $\hat{\Phi} = \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix} 0 \\ v + \hat{\phi}_0(x) \end{pmatrix}$ ⇒ $\hat{\Phi}^\dagger \hat{\Phi} = \frac{1}{2}\left(v^2 + 2v\hat{\phi}_0 + \hat{\phi}_0^2\right)$

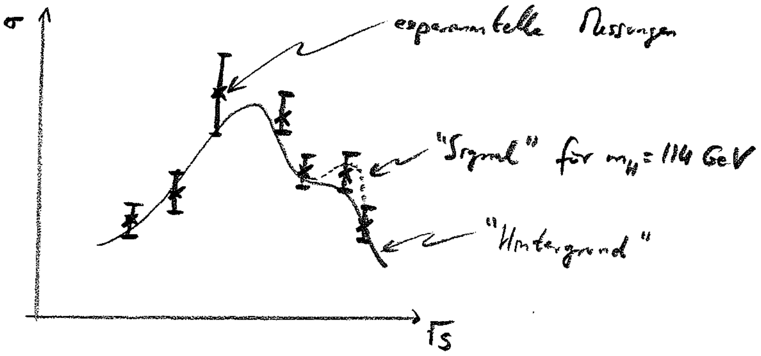
$$\Rightarrow V(\hat{\Phi}) = -\frac{\mu^2}{2}\left(v^2 + 2v\hat{\phi}_0 + \hat{\phi}_0^2\right) + \frac{\lambda}{4}\left(v^4 + 4v^3\hat{\phi}_0 + 2v^2\hat{\phi}_0^2 + 4v^2\hat{\phi}_0^2 + 4v\hat{\phi}_0^3 + \hat{\phi}_0^4\right)$$

$$= \underbrace{-\frac{\mu^2}{2}v^2 + \frac{\lambda}{4}v^4}_{\text{s. S. 70}} + \underbrace{(-\mu^2 + \lambda v^2)}_{\stackrel{!}{=}0\,!} v\hat{\phi}_0 + \frac{1}{2}\underbrace{(-\mu^2 + 3\lambda v^2)}_{\equiv m_H^2 = 2\lambda v^2 = 2\mu^2 > 0\ (!)}\hat{\phi}_0^2 + \underbrace{\lambda v\hat{\phi}_0^3 + \frac{\lambda}{4}\hat{\phi}_0^4}_{\text{Ww'n}}$$

→ haben also <u>keine</u> theoretische <u>Vorhersage</u> für die Higgs-Masse; wissen aber, daß es ein neues Teilchen mit bestimmten Ww'n geben muß.

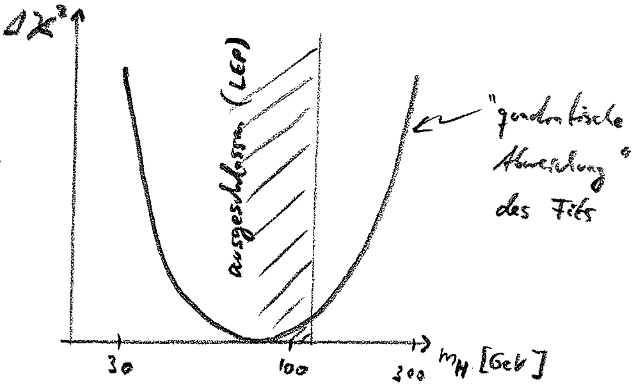
→ experimentell: Higgs-Boson noch nicht entdeckt.

LEP (CERN):
wenn Higgs ex.,
dann $m_H > 114$ GeV
((vgl. hep-ex/0306033,
Ergebnis der direkten
SM-Higgs-Suche am LEP))



→ experimentell: "Hinweise" für "leichtes" Higgs.

Präzisions-Messungen vieler
Parameter des SM
$\Rightarrow$ mit $\begin{pmatrix} 90 \\ 95 \\ 99 \end{pmatrix}$% Wahrscheinlichkeit
ist $m_H \leq \begin{pmatrix} 155 \\ 167 \\ 195 \end{pmatrix}$ GeV



((vgl. arXiv: 0712.0929, bzw. http://lepewwg.web.cern.ch/LEPEWWG))

Einfluss der Higgs-Masse durch "Schleifen":

Also:
- wenn das Potential des Higgs-Feldes die richtige Form hat (($-\mu^2\phi^2 + \lambda\phi^4$)), wird $SU(2)_L \times U(1)_Y$ Eichinvarianz spontan gebrochen.
  → dann erhalten $W^\pm, Z^0$ Masse, γ nicht.
- das Higgs-Boson muss entdeckt werden, um sicher zu sein, dass dieser Mechanismus wirklich für die Massen verantwortlich ist!

- nächste Vorlesung: Mo, 10.1.2011, 12:15