

SSB: Spontane Symmetriebrechung + Higgs

dan: $W^\pm, Z^0, \gamma$ bekommen die korrekten Massen, falls

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

↑ hier: wie Werte das passieren?

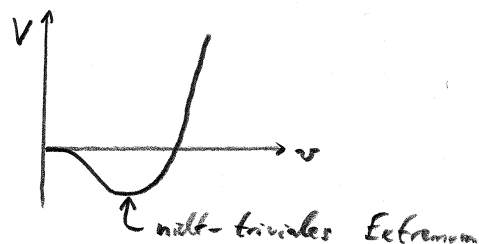
$$\mathcal{L} = -V(\hat{\Phi}), \quad V(\hat{\Phi}) = \mu^2 \hat{\Phi}^\dagger \hat{\Phi} + \lambda (\hat{\Phi}^\dagger \hat{\Phi})^2 \quad (\text{s.o.})$$

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

→ falls $\mu^2 < 0, \lambda > 0$ gilt, dann

$v \neq 0$ durch die Dynamik

als "Extremum" bestimmt werden!



→ dieses Phänomen nennt man "spontane Symmetriebrechung":

$\hat{\Phi}$ selbst hat viel (Eich-)Symmetrie,

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

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

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

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

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

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

(der verschiedenen, unabhängigen Ableitungen)

- Theorien mit globaler Symmetrie

(Symmetrietransformation unabhängig von x)

Extremum kann als $\frac{1}{f_2} \begin{pmatrix} 0 \\ v \end{pmatrix}$ gewählt werden

allg. Ableitung aus $\hat{\Phi}(x) = \frac{1}{f_2} \begin{pmatrix} \hat{\phi}_2(x) + i\hat{\phi}_3(x) \\ v + \hat{\phi}_0(x) + i\hat{\phi}_1(x) \end{pmatrix}$, ϕ_i : reelle Felder

→ vier neue Teilchen $(\hat{\phi}_0, \hat{\phi}_1, \hat{\phi}_2, \hat{\phi}_3)$, vgl. Übungen, Aufgabe 47

- Theorien mit lokaler Symmetrie $\equiv$ Eichsymmetrie

es gibt weniger unabhängige Ableitungen

für eine abelsche Symmetrie kann Phase immer weggedrückt werden (S. 5.63)

für $SU(2)_L$ zeigt sich, daß $\hat{\phi}_1, \hat{\phi}_2, \hat{\phi}_3$ weggedrückt werden können

((dann: $\hat{\Phi}(x) \rightarrow \hat{\Phi}'(x) = e^{i\vec{\sigma}\vec{a}\hat{\phi}_a(x)/2} \frac{1}{f_2} \begin{pmatrix} 0 \\ v + \hat{\phi}_0(x) \end{pmatrix}$, $a=1,2,3$)

$(e^{i\vec{\sigma}\vec{a}} \in SU(2),$
s. Übung, A 18f
A 44a)

"kleine" Störung $\hat{\phi}_a$

$$\approx \frac{1}{f_2} \begin{pmatrix} 1 + i\hat{\phi}_3/v & i\hat{\phi}_1/v + \hat{\phi}_2/v \\ i\hat{\phi}_1/v - \hat{\phi}_2/v & 1 - i\hat{\phi}_3/v \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ v + \hat{\phi}_0 \end{pmatrix}$$

$$= \frac{1}{f_2} \begin{pmatrix} \hat{\phi}_2 + i\hat{\phi}_1 \\ v + \hat{\phi}_0 - i\hat{\phi}_3 \end{pmatrix} \quad \gg$$

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

$$\text{also } \hat{\Phi} = \frac{1}{f_2} \begin{pmatrix} 0 \\ v + \hat{\phi}_0(x) \end{pmatrix} \Rightarrow \hat{\Phi}^\dagger \hat{\Phi} = \frac{1}{2} (v^2 + 2v\hat{\phi}_0 + \hat{\phi}_0^2)$$

$$\Rightarrow V(\hat{\Phi}) = \begin{aligned} & -\frac{\mu^2}{2} (v^2 + 2v\hat{\phi}_0 + \hat{\phi}_0^2) \\ & + \frac{\lambda}{4} (v^4 + 4v^3\hat{\phi}_0 + 2v^2\hat{\phi}_0^2 + 4v\hat{\phi}_0^3 + \hat{\phi}_0^4) \\ & = \underbrace{-\frac{\mu^2}{2}v^2 + \frac{\lambda}{4}v^4}_{\text{s.S. 70}} + \underbrace{(-\mu^2 + \lambda v^2)v\hat{\phi}_0}_{=0!} + \underbrace{\frac{1}{2}(-\mu^2 + 3\lambda v^2)\hat{\phi}_0^2}_{\substack{= m_H^2 \\ = 2\lambda v^2 \\ = 2\mu^2 > 0 (!w)}} + \underbrace{\lambda v\hat{\phi}_0^3 + \frac{\lambda}{4}\hat{\phi}_0^4}_{\substack{W's \\ \text{Y} \quad \text{X}}} \end{aligned}$$

→ haben also keine theoretische Vorhersage für die Higgs-Masse;

wissen aber, daß es ein neues Teilchen mit bestimmten W's geben muß.

→ experimentell: Higgs-Boson noch nicht entdeckt.

LEP (CERN):

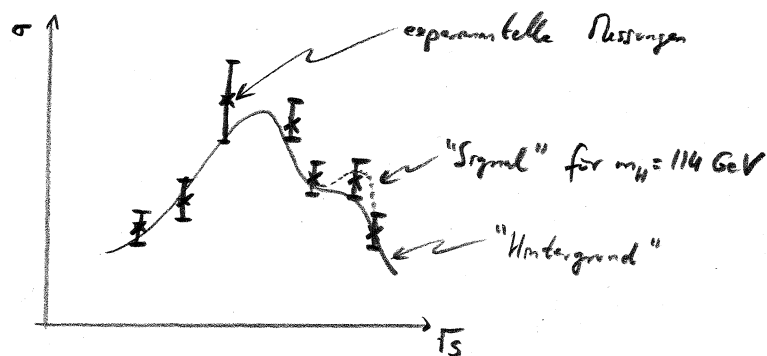
wenn Higgs ex.,

dann $m_H > 114 \text{ GeV}$

((vgl. hep-ex/0306033,

Ergebnis der direkten

SM-Higgs-Suche am LEP))



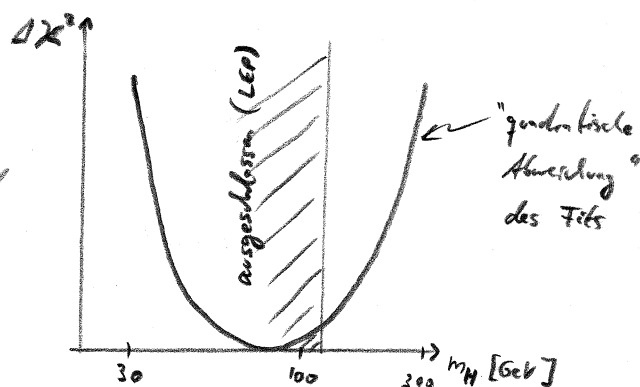
→ experimentell: "Kumore" für "leichtes" Higgs.

Präzisions-Messungen vieler

Parameter des SM

⇒ mit $\begin{pmatrix} 90 \\ 95 \\ 99 \end{pmatrix} \%$ Wahrscheinlichkeit

ist $m_H \leq \begin{pmatrix} 155 \\ 167 \\ 195 \end{pmatrix} \text{ GeV}$



((vgl. arXiv: 0712.0929, bzw. <http://lepeweb.web.cern.ch/LEPEWWG>))

- Einfluss der Higgs-Masse durch "Schleifen": $m_{W,Z}^2 \propto m_H^2$

Also:

- wenn das Potential des Higgs-Feldes die richtige Form hat ($(-\mu^2 \phi^2 + \lambda \phi^4)$), wird $SU(2)_L \times U(1)_Y$ Eichsymmetrie 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!

GSI

Ag 3- Sep 25, 2009

Schwerionenphysik

Erwartung: FdIR ($\bar{p}$ + Ion besand)

3 Jahre Studien, Vorl in Kernphys / Teilchenphys / Atomphysik

8 Wochen ; ~35 Teilchen

Vorlesung ; Projekt

Gastezimmer ✓ Anwesenheit teilweise ✓ per Email ✓

web application - deadline 28 Feb 09

+ 2 Gutachten (confidential) ← look, print at
+ Transcript

DESY

July 21 - Sep 10, 2009

3 Jahre Studien

DESY HH oder Zuerich

Vorl in English, Tour der Beschleuniger + Exp., Mitarbeit in Gruppen

7.5 Wochen ;

Geld für Lebenshaltungskosten für 1 Person ✓ Zugticket ↔ Desy

forms online - deadline 31 Jan 09

+ 2 Gutachten (conf.) ← look, print at
+ CV

Synchrotronstrahlung : bro, neutrons, ...
Teilchenphys : exp, software, hardware, Theorie

CERN

expt. Teams + Vorl.

8-13 Wochen, Juni 2 - Sep 25

deadline 28 Jan 09