

Bausteine des Standardmodells (SM)

- Eichsymmetrie

$$U(1)_Y \times SU(2)_L \times SU(3)_C$$

starke W'sen ; Farbladung (color)

(kurzstündige) schwache W'sen ; $W^\pm, Z^0$

"Hyperladung" ; $\rightarrow$ elektromagnet. W'sen ; Photon γ

- Renormierbarkeit

erlaubt sind Lorentz-invar. Vertizes

mit drei Bosonen + Fermionen oder vier Bosonen

- Partikel-Tripel

$$\text{Leptonen} \quad L_{1L} = \begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}_L \quad L_{2L} = \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}_L \quad L_{3L} = \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}_L$$

$e_R \qquad \mu_R \qquad \tau_R$

$$\text{Quarks} \quad Q'_{1L} = \begin{pmatrix} u \\ d' \end{pmatrix}_L \quad Q'_{2L} = \begin{pmatrix} c \\ s' \end{pmatrix}_L \quad Q'_{3L} = \begin{pmatrix} t \\ b' \end{pmatrix}_L$$

$u_R \qquad c_R \qquad t_R$
 $d_R \qquad s_R \qquad b_R$

Skalarfeld $\equiv$ "Higgs-Feld" Φ

- Quantenzahlen

jedes Teilchen unter jeder der Eichsymmetrien

gibt an, ob und mit welcher Ladung Q_i das entsprechende Teilchen unter der Eichsymmetrie transformiert wird.

- Kopplungskonstanten

bei der Konstruktion der allgemeinsten möglichen Lagrange-dichte

nach obigen Prinzipien benötigte freie Parameter

- Bem:
- Prinzipien sehr einfach. "Einfachheit" der El.-Teilchen-Physik.
 - das SM ist nicht sehr einfach:
viele Teilchen, viele Parameter
 - offene Fragen z.B.: Warum genau diese Eichsymmetrie?
Quantenzahlen?
Woher kommen die Parameterwerte?
 - Beantwortung dieser Fragen von theoretischer Seite:
Aufgabe der "Physik jenseits des SM"
 - experimentell sind alle diese Werte bekannt ($\pm$ Pfeiffer)

Jetzt: genauere Betrachtung einiger Teile der Lagrange-Dichte

((WW's zwischen $W^\pm, Z^0, \gamma$, Quarks: s.o.
Gluonen haben keine WW's mit den Higgs-Boson.))

- (1) WW's zwischen $W^\pm, Z^0, \gamma$ und Higgs-Boson
 $\Rightarrow$ Massen für $W^\pm, Z^0$
- (2) Dynamik des Higgs-Bosons
 $\Rightarrow$ warum hat man es noch nicht experimentell gesehen?
- (3) WW's zwischen Quarks und Higgs-Boson
 $\Rightarrow$ Massen für Quarks; CP

(1) WW's zwischen $W^\pm, Z^0, \gamma$ und Higgs

Quantenzahlen des Higgs-Bosons:

neutral unter $SU(3)_c$

transformiert unter $SU(2)_L \Rightarrow \hat{\Phi} = \begin{pmatrix} \hat{\phi}^+ \\ \hat{\phi}^0 \end{pmatrix}$

transformiert unter $U(1)_Y$, mit Ladung $-\frac{1}{2}$ ((unter $\phi \rightarrow e^{i\alpha(x)} \phi$
 $A \rightarrow A + \frac{1}{g} \partial_\mu \alpha(x)$))

aus Übung, Aufg. 42: allg. eichinvar. Form

$$\sim [(\partial_\mu - ie\hat{A}_\mu) \hat{\phi}]^\dagger [(\partial^\mu - ie\hat{A}^\mu) \hat{\phi}]$$

$$\Rightarrow \mathcal{L} = [D_\mu \hat{\Phi}]^\dagger [D^\mu \hat{\Phi}]$$

$$\text{wobei } D_\mu \equiv \partial_\mu - i g_w T^a \hat{A}_\mu^a + \frac{1}{2} i g_Y \hat{B}_\mu$$

(S.59) $\rightarrow$ schwache Kopplungskonst.

(S.13) $\rightarrow$ 2x2-Matrix; $T^a \equiv \frac{\sigma^a}{2}$

drei SU(2)-Felder; $a=1,2,3$

$\Rightarrow W^\pm, Z^0$

Hyperladungsfeld

$\leftrightarrow$ Photon; s. unten, S.69

Hyperladungskopplung

$\leftrightarrow$ "e" s. unten, S.69

Hyperladung = $-\frac{1}{2}$

• mehr zu dieser Struktur (Konsequenzen, ...) : s. unten, S.68

(2) Dynamik des Higgs

Terme, die nur das Higgs-Boson enthalten, werden als

"Potential" bezeichnet: $\mathcal{L} \equiv -V(\hat{\Phi})$

es gibt nur 2 erlaubte Möglichkeiten: $V(\hat{\Phi}) \equiv \mu^2 \hat{\Phi}^\dagger \hat{\Phi} + \lambda (\hat{\Phi}^\dagger \hat{\Phi})^2$

μ^2, λ : freie Parameter; mehr dazu: s. unten, S.70

(3) W's zwischen Quarks und Higgs

brauchen jetzt zwei Objekte

$$\hat{\Phi} = \begin{pmatrix} \hat{\phi}^+ \\ \hat{\phi}^0 \end{pmatrix}, \quad \hat{\bar{\Phi}} = \begin{pmatrix} \hat{\phi}^{0\dagger} \\ \hat{\phi}^{+\dagger} \end{pmatrix}$$

(vgl. Übung, Aufgabe 45)

$$\Rightarrow \mathcal{L} = -h_u \left[\hat{\bar{Q}}'_{1L} \hat{\Phi} \hat{u}_R + \hat{\bar{u}}_R \hat{\Phi}^\dagger \hat{Q}'_{1L} \right] \\ - h_d \left[\hat{\bar{Q}}'_{1L} \hat{\Phi} \hat{d}_R + \hat{\bar{d}}_R \hat{\Phi}^\dagger \hat{Q}'_{1L} \right] + 2. + 3. \text{ Generation}$$

• wiederum gibt es keinen Grund, genau $\hat{u}_R / \hat{d}_R$ der ersten Generation zu verwenden. Allgemeiner: $\hat{u}_R'' / \hat{d}_R''$ als Lin. Komb. aller Quarks mit gleichen Quantenzahlen. Genauer: s. später (S.73 ff)

• Quark-Higgs W's nennt man auch Yukawa-W's.

mehr: s. unten, S.73