

Was geschieht mit den Eichbosonen $(Gluon, W^\pm, Z^0, \gamma)$?

$SU(N)$ hat $N^2 - 1$ Parameter $\rightarrow N^2 - 1$ Generatoren T^a
 $\uparrow a = 1, \dots, N^2 - 1$

also $D_\mu = \partial_\mu - i g_{\text{GUT}} \hat{A}_\mu^a T^a$

$\rightarrow$ 24 Vektorfelder A_μ^a für $N=5$

$\uparrow (N^2 - 1) = 3^2 - 1$
 $\uparrow 8 \text{ Gluon} + 1 W^+ + 1 W^- + 1 Z^0 + 1 \gamma = 12$

+ 12 "X-Bosonen" $((12 = 4 \cdot 3^{\text{Farben}}, 4 \text{ Ladungen } \pm \frac{1}{3}, \pm \frac{2}{3}))$

$\uparrow$ neue Teilchen?!

in der Natur (noch) nicht beobachtet

$\rightarrow m_X$ sehr groß!

Wie können die X-Bosonen eine so hohe Masse bekommen?

$\rightarrow$ SSB, genau wie bei $W^\pm, Z^0$?

$\swarrow$ nicht ganz; wichtiger Unterschied:

- bei $SU(2)_L$ -Brechung bekommen alle Vektorbosonen eine Masse. dies nennt man "vollständige Symmetriebrechung".

- bei $SU(5)$ -Brechung müssen

Gluon, Photon masselos bleiben

$W^\pm, Z^0$ "kleine" Massen bekommen

X-Bosonen "große" Massen bekommen

dies erfordert eine "partielle Symmetriebrechung"

ergibt sich, wenn das Higgs-Feld nicht als ein 5-komponentiger Spaltenvektor, sondern durch eine spurlose hermitesche 5×5 -Matrix dargestellt wird

wie entscheidet man aber soll ein GUT-Modell von SM?

→ brauchen experimentell verifizierbare Konsequenzen!

(1) Vereinheitlichung der Eichkopplungen

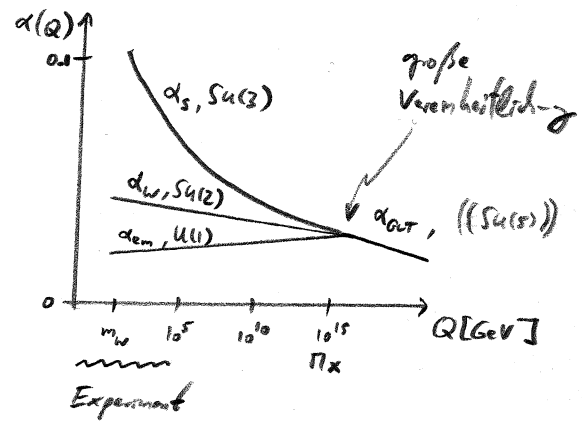
$$\alpha_i = \frac{g_i^2}{4\pi}$$

haben anstelle von 3 Eichkopplungen ($\alpha_s, \alpha_w, \alpha_{em}$)

jetzt nur eine: α_{GUT}

bei niedrigen Energien: Sy. gebrochen

bei hohen Energien: Sy. sollte
wiederhergestellt sein!



Bem.: die Vereinheitlichungs-Skala, $M_X \approx 10^{16}$ GeV, ist sehr groß!

Gravitationskraft $\sim \frac{g_{m,m_2}}{r^2} \Rightarrow$ kann sie bei solch kleinen

Abständen immer noch vernachlässigt werden?

Abschätzung: Grav. ist wichtig, wenn Potential $\approx$ Ruheenergie

$$\frac{g \frac{M^2}{r}}{Mc^2} \approx 1, \quad r \approx \frac{\hbar}{Mc} \Rightarrow M \approx \sqrt{\frac{\hbar c^3}{r}} \approx 10^{19} \text{ GeV}$$

↑ "natürliche Längenskala" ↑ Planck-Masse

→ Grav. ist wahrscheinlich immer noch da.

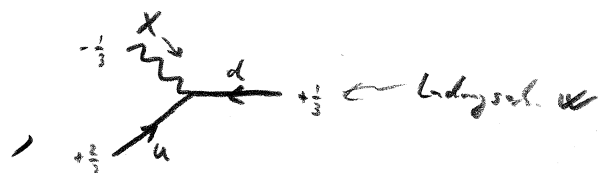
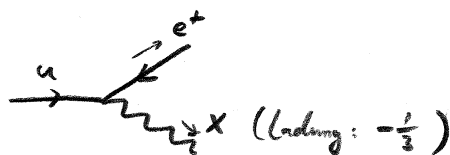
man ist aber bei M_X schon "in der Nähe" der Planck-Masse.

(2) Proton-Zerfall

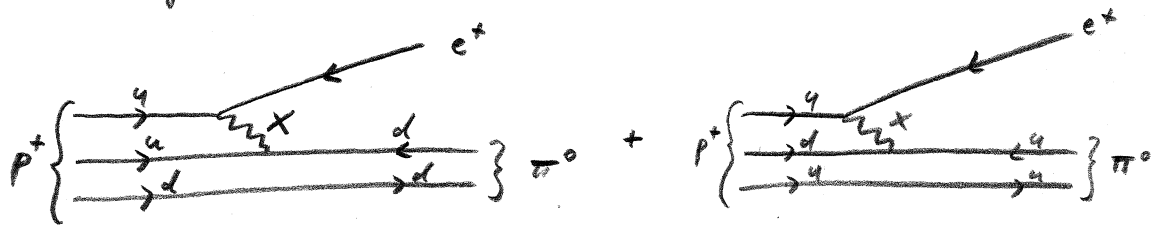
sehr wichtige GUT-Vorhersage: Proton zerfällt!

Ursache: Quarks und Leptonen sind in gleichen Vektoren;

bekommen dann geladene Ströme durch X-Boson-Austausch:



Dies führt zu der Möglichkeit $p^+ \rightarrow e^+ \pi^0$ $\leftarrow L_K(d\bar{d}, u\bar{u})$



Abschätzung der Zerfallsrate für diesen Kanal: s. Übr., Aufg. 55

aber (PDG booklet): Lebensdauer des Protons $\tau_p \gtrsim 10^{33}$ Jahre

→ man bekommt untere Grenze für m_X (vgl. Abbildung oben)

→ falls m_{GUT} also unendlich ist, sollte dieser Zerfall eines
Tages beobachtet werden!

(3) Neutrino-Massen

eine "fundamentale" Theorie muß renormierbar sein.

das gilt jetzt also für die GUT.

das SM ist jetzt eine "effektive Theorie" die nur
bei niedrigen Energien die Natur genau beschreibt.

→ können in $\hat{G}_{SM}$ auch 4-Vertices mit Fermionen,
oder Vertices mit ≥ 5 Teilchen unterbringen,
wenn diese Operatoren durch die große Skala m_{GUT}
unterdrückt sind, so daß sie für $m_{GUT} \rightarrow \infty$ verschwinden.

→ wichtiges Bsp: $\delta \mathcal{L} = - \frac{h^2}{m_{GUT}} \hat{L}_{1L} \hat{\Phi} \hat{\Phi}^\dagger \hat{L}_{1L} + 2. + 3. \text{ Generationen}$

führt zu Massen termen für Neutrinos, s. unten