2. Standardmodell der elektro-schwachen Wechselwirkungen

Glashow-Salam-Weinberg-Theorie (GSW)

2.1 Experimentelle und theoretische Basis um 1970

a) schwache Zerfälle:

- $R \approx 10^{-18}$ m
- V-A-Kopplung
- G_F: universelle Kopplung
- $\sigma_{tot}(\nu N) \sim s$ (Unitaritätsproblem)

b) Divergenzen in $W_L W_L$:

- neutrales Boson notwendig

c) Eichinvarianz, Vereinheitlichung schwach & em?

2.2 $SU(2)_L \times U(1)_Y$ - Eichgruppe

Gruppe	Kopplung	Felder	Generatoren	physikalische Teilchen
$SU(2)_L$	g	W_μ^1 W_μ^2 W_μ^3	τ_1 τ_2 τ_3	$\left.\begin{array}{l} \\ \\ \end{array}\right\} \boldsymbol{W}_\mu^{\pm} = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(\boldsymbol{W}_\mu^1 \pm \boldsymbol{W}_\mu^2\right)$ ….. ? …. Z_μ
$U(1)_Y$	g'	B_μ	Y	….. ? …. A_μ

Multipletts

I_3	
$\frac{1}{2}$	ν_{eL} .... u_L ....
$-\frac{1}{2}$	e^-_L .... d_L ....
0	e^-_R .... u_R, d_R ....

Y	
-1	L - Leptonen
-2	R - Leptonen
$\frac{1}{3}$	L - Quarks
$\frac{4}{3}$	R - "u"-Quarks
$-\frac{2}{3}$	R - "d"-Quarks

Zustände haben SU(2) und U(1) Quantenzahlen

$Y=2(Q-I_3) \neq Q \quad \Rightarrow \quad U(1)_Y \neq U(1)_{QED}$

Allgemeine lokale Phasentransformation

$$\psi(x) \rightarrow e^{iT^a \alpha^a(x)} \cdot \psi(x) = U(x) \cdot \psi(x)$$

- $U(x)$ = Elemente der Lie - Gruppe

- $\psi = (\psi_1, \ldots, \psi_m)$ = Fermionenfelder mit Gruppenindex m
  (m = Dimension der Darstellung)

- $\vec{T} = (T_1, \ldots, T_n) = n \times n$ - Matrizen = Generatoren der Lie - Algebra
  z.B. SU(2) : $n = 3$; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$; $m = 2$ für $I = \frac{1}{2}$

- $\vec{\alpha} = (\alpha_1, \ldots, \alpha_n)$ = skalare Parameter

$\vec{T}$ definiert durch VR : $[T_a, T_b] = i f_{abc} T_c$ (f_{abc} = Strukturkonstanten)

SU(2)-Symmetrie

Gruppe aller unitären 2x2 Matrizen U mit Determinante 1:

$UU^{\dagger}=1$ und det U = 1

Infinitesimale Transformationen:

$U = 1 + i\xi$

Mitdet U = 1 folgt:

Spur ξ =0.

Es gibt genau 3 linear unabhängige, hermitische 2x2-Matrizen mit Spur 0; eine mögliche Basis sind die Pauli-Matrizen:

$$\tau_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad \tau_2 = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}, \quad \tau_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

$$\xi = \frac{1}{2}\left(\varepsilon_1\tau_1 + \varepsilon_2\tau_2 + \varepsilon_3\tau_3\right) \qquad \Rightarrow U = 1 + \frac{1}{2} i \vec{\varepsilon} \cdot \vec{\tau}$$

Für endliche "Drehwinkel" ($\vec{\varepsilon} = \vec{\alpha} / n$) gilt dann:

$$U = \lim_{n\to\infty}\left(1 + \frac{1}{2} i \frac{\vec{\tau}\cdot\vec{\alpha}}{n}\right)^n = e^{+\frac{1}{2}\vec{\tau}\cdot\vec{\alpha}}$$