

eine genauere Analyse ist kompliziert;

"Froissart-Grenze"

Resultat: σ kann für große s höchstens logarithmisch wachsen.

$\Rightarrow$ lineares Wachstum, wie das per der Analyse hergeleitet,
verletzt Unitarität, also Wahrscheinlichkeitserhaltung!

(6) ein anderes Argument ist die sog. "Renormierbarkeit" (s. später).

Resultat: Fermi-Modell kann nur für $s \lesssim G_F^{-2}$ richtig sein.

$\Rightarrow$ Fermi-Modell ist keine komplette Theorie der schwachen WW'n!

$W^\pm$ -Teilchen

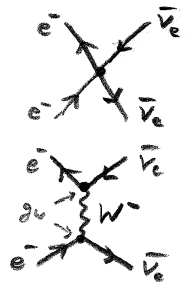
die Lösung der Situation ist genial [O. Uelen 1938]:

definiere $G_F = \frac{g_w^2}{4\sqrt{2} m_W^2}$, g_w, m_W erstmal unbekannt

def $J_+^\mu = \sum_{\hat{D}_L} \hat{D}_L \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ g & 0 \end{pmatrix} \hat{D}_L$, $(J_+^\mu)^\dagger = \sum_{\hat{D}_L} \hat{D}_L \begin{pmatrix} 0 & g \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \hat{D}_L$

dann ist das Fermi-Modell $\mathcal{L}_I = -\frac{g_w^2}{2} J_+^\mu \frac{g_{\mu\nu}}{m_W^2} (J_+^\nu)^\dagger$

ersetze dies durch $\mathcal{L}_I = i \frac{g_w^2}{2} J_+^\mu \underbrace{\frac{i}{s - m_W^2} (-g_{\mu\nu})}_{\text{wie Photon-Propagator, aber mit Masse!}} (J_+^\nu)^\dagger$



Relevanz: für $s \ll m_W^2$ ändert sich nichts

aber für $s \gg m_W^2$ wird $\sigma_{\text{tot}} = \frac{G_F^2 s}{3\pi} \cdot \left(\frac{m_W^2}{s - m_W^2} \right)^2 \approx \frac{G_F^2 m_W^4}{3\pi s}$

$\Rightarrow$ Problem durch Einführung neuer Teilchen gelöst!

diese neuen T. (W^- und sein Antiteilchen W^+) haben

Masse m_W und el. Ladung ($\pm e$)

die oben def. Objekte J_+^μ heißen "geladene Ströme"

Experiment?! $W^\pm$ -Teilchen 1983 am CERN entdeckt.

Masse $m_W = 80.398 \pm 0.025 \text{ GeV}$

Bezeichnung manchmal als "intermediäre Vektorbosonen"

Z⁰-Teilchen

das Problem mit $\bar{\nu}_e e^- \rightarrow \bar{\nu}_e e^-$ ist durch $W^\pm$ gelöst.

es gibt andere Prozesse, die in völliger Analogie dazu

einen ungeladenen Partner der W 's, das Z^0 [S. Bludman 1958]

und "neutrale Ströme" $J_0^\mu = \sum_D \hat{D} \left(c_V^\mu \gamma^\mu + c_A^\mu \gamma^\mu \gamma^5 \right) \hat{D}$

benötigen.

((nicht mehr reines "V-A"; $c_{V/A}^{\mu/d}$ numerische Koeff's, s. später))

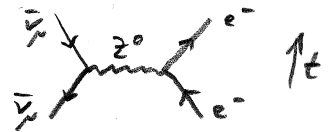
$$\Rightarrow \hat{K}_Z \equiv i \frac{\partial W^2}{2} J_0^\mu \frac{i}{s - m_Z^2} (-\partial_{\mu\nu}) J_0^\nu$$

$$m_Z = 91.1876 \pm 0.0021 \text{ GeV} \quad [\text{CERN, 1983}]$$

Bsp 1

Neutrinos haben jetzt auch direkte W 's

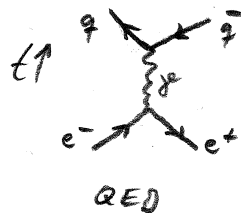
z.B. ist $\bar{\nu}_\mu e^- \rightarrow \bar{\nu}_\mu e^-$ möglich



((expt. Nachweis der neutralen Ströme, CERN 1973, durch diesen Prozess))

Bsp 2

$e^+ e^- \rightarrow \text{Hadronen}$ (vgl. § 5) bekommt zusätzlichen Beitrag:



QED

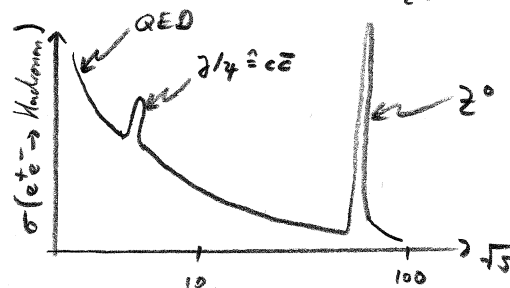
$$\text{S. 44: } \sigma \sim \frac{1}{s}$$



schwache W 's

$$\text{S.o.: } \sigma \sim \frac{s}{(s - m_Z^2)^2} \rightarrow \infty \text{ für } s \rightarrow m_Z^2!$$

Experiment:



7. elektroschwaches Standardmodell

61

bisher kennen wir

Teilchen: Quarks, Leptonen, Photon, Gluon, $W^\pm, Z^0$

W/n: elektromagnetische; starke; schwache

expt. verifiziert $\checkmark$

wir brauchen aber noch eine "bessere", übergeordnete Struktur.

warum? $\rightarrow$ wieder theoretische Argumente:

Renormierbarkeit

grundlegende Frage: sind höhere Ordnungen der Störungstheorie unendlich klein?

z.B.



(1)

Baum-Niveau

vs.



(2)

1-Schleifen-Niveau

Größenordnung der Amplitude:

$$\mathcal{M}(2) \sim \mathcal{M}(1) * \text{diagram (2)}$$

(Feynman-Regeln,
s. S. 34, 36)

$$\rightarrow \sim \mathcal{M}(1) * \frac{i}{q^2} \cdot e^2 \cdot \int \frac{d^4 k}{(2\pi)^4} \text{Sp} \left[i\gamma^\mu \frac{i(\not{k} + m)}{k^2 - m^2} i\gamma^\nu \frac{i(\not{k} + \not{q} + m)}{(q+k)^2 - m^2} \right]$$

(γ -Spuren; wie
bei e- μ -Streuung,
s. S. 39)

$$= \mathcal{M}(1) * \frac{(-4ie^2)}{q^2} \cdot \int \frac{d^4 k}{(2\pi)^4} \frac{2k^\mu k^\nu + q^\mu k^\nu + q^\nu k^\mu - g^{\mu\nu} (k^2 + k \cdot q - m^2)}{(k^2 - m^2) ((q+k)^2 - m^2)}$$

Integral ist divergent!

(div1) "auf der Massenschale"

$$\text{Nenner} = 0 \text{ für } k_0 = \pm \sqrt{\vec{k}^2 + m^2}, \quad k_0 = -q_0 \pm \sqrt{(\vec{k} + \vec{q})^2 + m^2}$$

$\rightarrow$ genauere Def. des Propagators beschreibt, wie mit diesen Polen umgegangen wird ("Einkleidung")

(div2) "Ultraviolett-Divergenz"

für große $|k|$. denn: