

Compositeness

Technicolour war bereits ein erster Schritt in diese Richtung, nämlich zu Modellen, in denen alle bisher bekannte Teilchen aus noch grundlegenden Konstituenten zusammengesetzt sind, **Compositeness** genannt.

Welcher die Bausteine sind, ist zunächst nicht von belang, denn in Analogie zur schwachen Wechselwirkung wird die Wechselwirkung in Compositeness als **Kontaktwechselwirkung** beschrieben, z.B.



Damit ergibt sich die allgemeinste (chiral-invariante) Lagrangedichte der Kontakt-WW zu:

$$\mathcal{L}_c = \frac{g_c^2}{2\Lambda_c^2} \left[\eta_{LL} \bar{\psi}_L \gamma_\mu \psi_L \bar{\psi}_L \gamma^\mu \psi_L + \eta_{RR} \bar{\psi}_R \gamma_\mu \psi_R \bar{\psi}_R \gamma^\mu \psi_R + 2\eta_{LR} \bar{\psi}_L \gamma_\mu \psi_L \bar{\psi}_R \gamma^\mu \psi_R \right]$$

wobei $\eta_{LL}, \eta_{RR}, \eta_{LR}$ die Chiralitätsstruktur der Kopplung beschreiben/bestimmen: $\eta_{\mu\nu} = 0, \pm 1$
(inkl. Interferenzen)

Compositeness

Per Konvention wird die ^{neue starke,} Kopplung g_c an der Skala Λ_c fixiert, so dass $g_c^2(\Lambda_c)/4\pi \equiv 1$. Damit ergeben sich für Λ_c und den jeweiligen Chiralitätsstrukturkonstanten η_{xx} die folgenden Bezeichnungen/Kombinationen:

rein linkschändig: $\Lambda_c \equiv \Lambda_{LL}^\pm$ für $(\eta_{LL}, \eta_{RR}, \eta_{LR}) = (\pm 1, 0, 0)$

rein rechtshändig: $\Lambda_c \equiv \Lambda_{RR}^\pm$ für $(\eta_{LL}, \eta_{RR}, \eta_{LR}) = (0, \pm 1, 0)$

vektoriell: $\Lambda_c \equiv \Lambda_{VV}^\pm$ für $(\eta_{LL}, \eta_{RR}, \eta_{LR}) = (\pm 1, \pm 1, \pm 1)$

axialvektoriell: $\Lambda_c \equiv \Lambda_{AA}^\pm$ für $(\eta_{LL}, \eta_{RR}, \eta_{LR}) = (\pm 1, \pm 1, \mp 1)$

Diese Beiträge zeigen sich in den Produktions-
wirkungsquerschnitten verschiedener Teilchen.

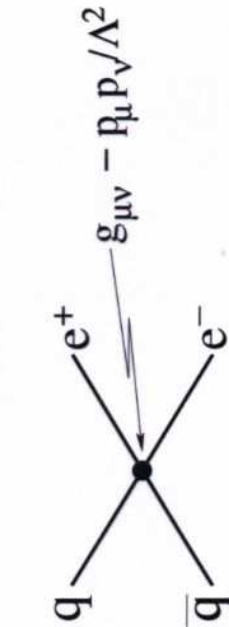
z. B. $q\bar{q} \rightarrow e^+e^-$

Je nach $(\eta_{LL}, \eta_{RR}, \eta_{LR})$ ergibt sich eine Erhöhung
oder Verringerung der Wirkungsquerschnitte in der
Paarproduktion der e^+e^- aus Quark-Antiquark-
Reaktionen. \rightarrow Grenzwerte auf Λ_{xx}^\pm

(bzw. auf die Größe der Substruktur $\frac{0,2 \text{ TeV} \cdot \text{am}}{\Lambda_{xx}^\pm [\text{TeV}]}$
 $1 \text{ am} = 1 \text{ Attometer} = 10^{-18} \text{ m}$)

Compositeness

- ◇ Quarks und/oder Leptonen aus noch elementarerem Teilchen aufgebaut (Präonen, Rishonen: Tohu, Vohu, etc.)
- ▷ Bisherige Energieskala $\mathcal{O}(\text{TeV})$: keine Substruktur
- Energieskala bzw. Masse der Compositeness-Teilchen: $\Lambda \gg 1 \text{ TeV}$
- ▷ Beschreibung als Kontakt-Wechselwirkung mit Compositeness-Massenskala Λ



▷ Matrixelement $\propto (g_{\mu\nu} - p_\mu p_\nu / \Lambda^2)^2 \propto (1 \pm p^2 / \Lambda^2 + p^4 / \Lambda^4)$

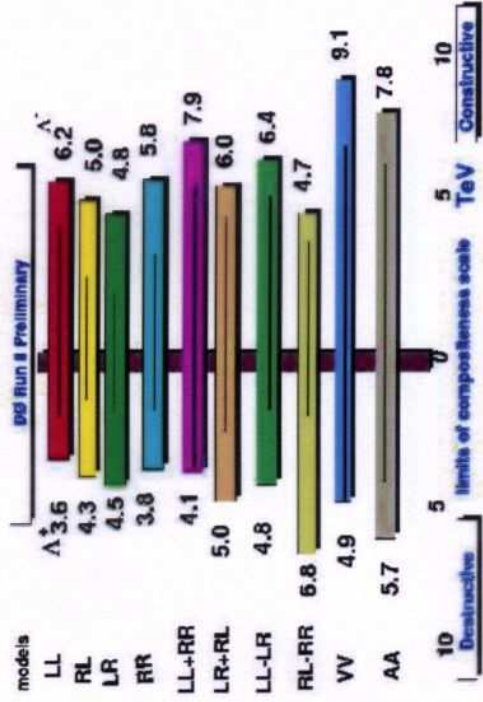
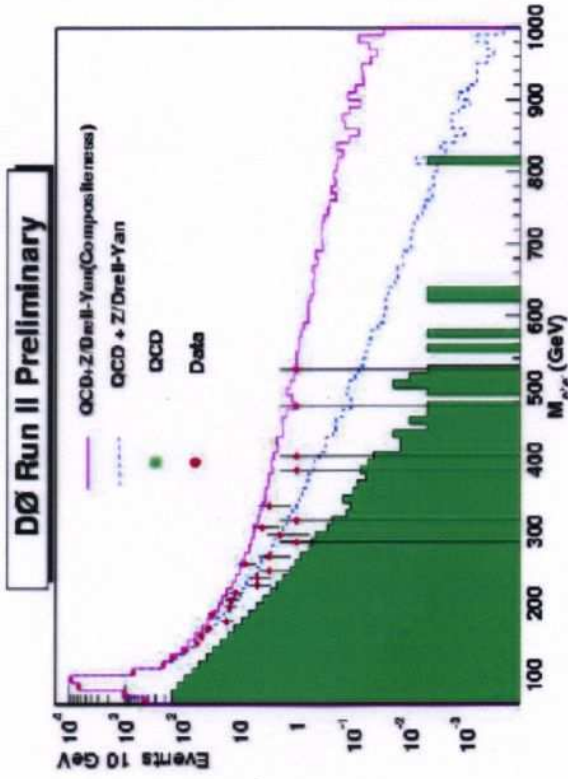
→ konstruktiver (Λ^+) oder destruktiver Interferenzterm (Λ^-)

▷ Struktur der Kontakt-Kopplung:

(Langrangedichte $L \propto \frac{1}{\Lambda^2} \eta_{xy} (\bar{\psi}_x \gamma_\mu \psi_x) (\bar{\psi}_y \gamma^\mu \psi_y)$ mit $x, y = L, R$)

- links- ↔ linkshändig ($\eta_{LL} \neq 0$) - vektoriell ↔ vektor. (alle $\eta_{xy} \neq 0$)
- links- ↔ rechtsh. ($\eta_{LR} \neq 0$) - axialvekt. ↔ axialvekt. (alle $\eta_{xy} \neq 0$)
- rechts- ↔ rechtsh. ($\eta_{RR} \neq 0$) - ...

→ Abweichung in Wirkungsquerschnitt für z.B. $e^+ e^-$ -Produktion



Compositeness-Limits:

- Bei Suche nach Kontakt-Wechselwirkungen:
 - hohe Energie \longleftrightarrow hohe Präzision
- ◇ LEP: signifikante Grenzwerte für Kontakt-Wechselwirkungen
- ◇ LHC: Entdeckungspotential für Quark-Substruktur bis einige TeV

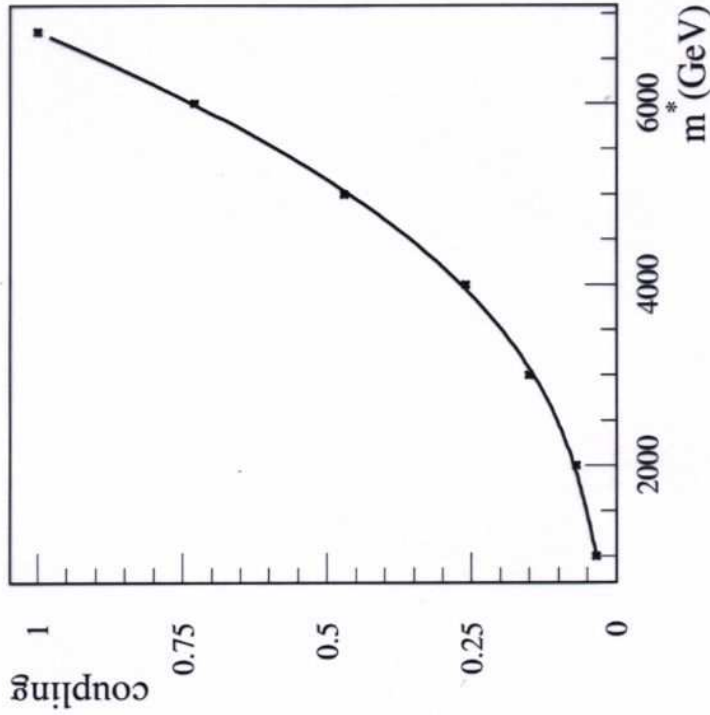


Figure 21-14 Excited quark* discovery reach for an integrated luminosity of 300 fb^{-1} .

* Excited Quark oder Lepton meint ein schweres

Quark bzw. Lepton, welches die gleichen Quantenzahlen trägt wie das bereits bekannte Quark bzw. Lepton

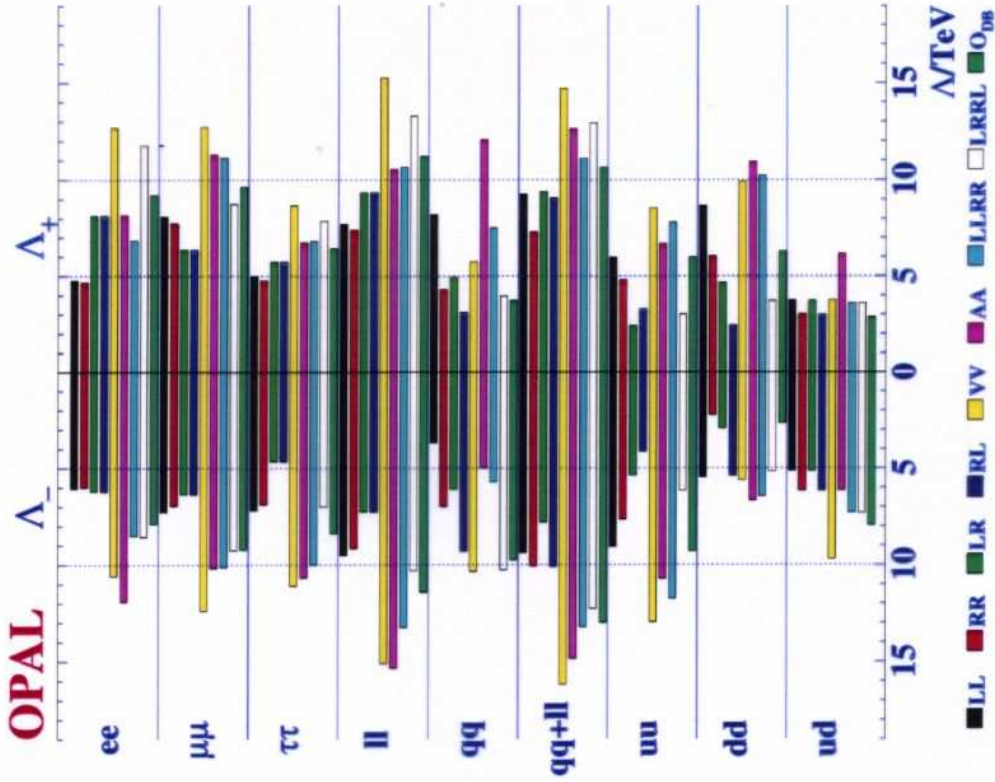


Figure 19: 95% confidence level limits on the energy scale Λ resulting from the contact interaction fits to hadron and lepton-pair data. For each channel, the bars from top to bottom indicate the results for models LL to \mathcal{O}_{DB} in the order given in the key. The values for Λ_+ and Λ_- correspond to the upper and lower signs, respectively, of the η_{ij} values which define the models as given in Table 21.

Compositeness bei Bosonen:

- In vielen Modellen: schwere Partner zu Z - und W -Bosonen: Z', W'

◇ z.B. Symmetriebrechung in $SO(10)$ und E_6 -GUT:

$$E_6 \rightarrow SO(10) \times U(1)_\phi \rightarrow SU(5) \times U(1)_X \times U(1)_\phi \rightarrow$$

$$SU(3)_c \times SU(2)_L \times U(1)_Y \times U(1)_X \times U(1)_\phi$$

→ zwei zusätzliche, neutrale Vektorbosonen

▷ beobachtbare Zustände gemischt:

$$Z'(\theta) = Z_\psi \cos \theta + Z_\chi \sin \theta$$

- Z'_ψ für $\tan \theta = 0$
- Z'_η für $\tan \theta = \sqrt{3/5}$
- Z'_I für $\tan \theta = -\sqrt{5/3}$
- Z'_χ für $\tan \theta = \infty$

◇ Suche Z' -Resonanz in $q\bar{q} \rightarrow Z' \rightarrow e^+e^-$

(A ist die experimentelle Akzeptanz)

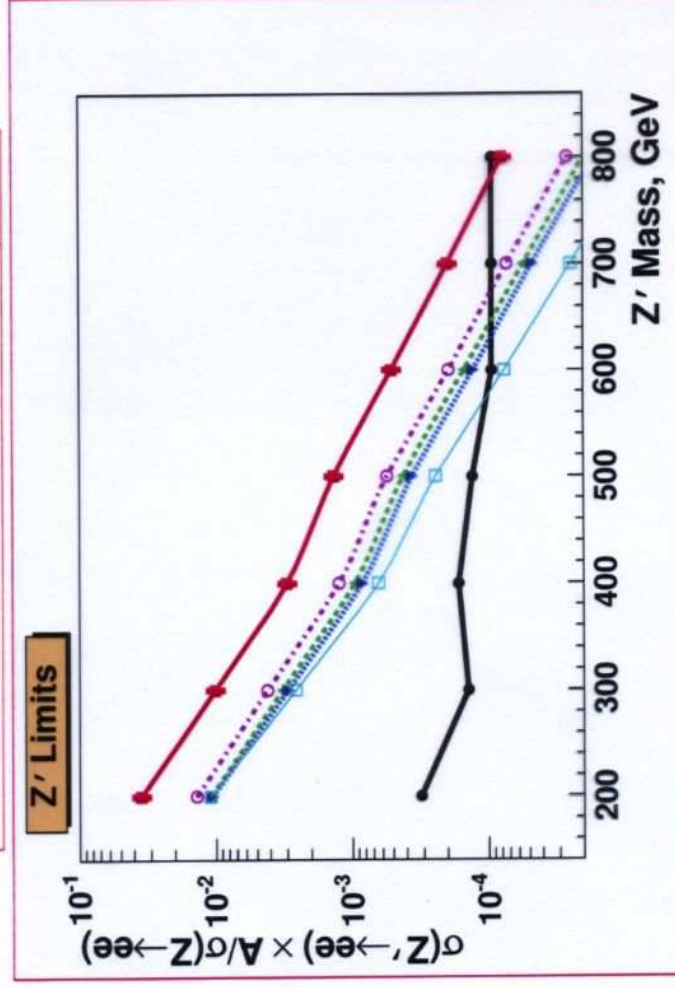
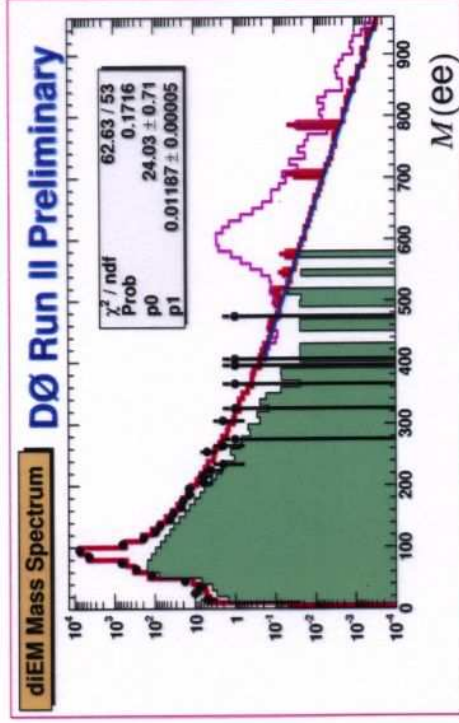


FIG. 3: Lower thick solid (black) curve: upper 95% CL cross section times acceptance limits on production of the $Z'(ee)$. Other lines correspond to cross section times acceptance for the Z' in several models. The thick solid (red) curve: Z' with the SM-like couplings to fermions; dashed (green) curve: Z' in $E_6 \psi$ model; dotted (blue) curve: Z' in $E_6 \chi$ model; dash-dotted (magenta) curve: Z' in $E_6 \eta$ model; and thin solid (cyan) curve: Z' in $E_6 I$ model.

Compositeness

Bisher sind alle experimentellen Befunde so, dass Compositeness in Kontaktwechselwirkung erst oberhalb einer Skala von mehreren TeV (typ. 5 TeV) möglich wäre, was ein Substrukturgröße von unter 0.04 Attometern entspricht. M.a.W.: bis zu dieser Grenze können Quarks und Leptonen als punkt-förmige Teilchen betrachtet werden!

Auch für die Composite-Bosonen wie Z', W' liegen die Mindestwerte der Masse bei 600 GeV und höher.