

Quanten und Superstrings

Maximilian.Kreuzer@tuwien.ac.at

Institut für Theoretische Physik, TU Wien

<http://hep.itp.tuwien.ac.at/~kreuzer/ump>

- Masse? Dunkle Materie / dunkle Energie ? (LHC)
- EX • Zukunft des Universums, veränderte Kräfte (Typ 1a SN)
- Urknall, Galaxien und die große Leere
- ?? Einheit der Naturkräfte ... Geometrie
- TH ?? Quantengravitation und String Theorie
- ?? verborgene Dimensionen

Urgeschichte

!! Maxwell und Einstein: Elektromagnetismus → Relativitätstheorie

! ? Kaluza und Klein: verborgene Dimensionen (?)

!! Schrödinger, Heisenberg, Pauli: Quanten und Unschärfe
stehende Welle

Die goldenen 60er und 70er

viel gefunden ... viele Fragen

!! Teilchenzoo + Standardmodell

! ? GUT (große Vereinheitlichung) und SUSY (Supersymmetrie)

?? Superstrings und die Rückkehr der fünften Dimension

Auf ins 21. Jahrhundert!

Raum-Zeit Schaum

Strings und Branes (?)

Quanten und Schwarze Löcher

10 Dimensionen (?)

Urknall (die ersten 10^{-43} Sek.)

Dualität (?)

Unser Beitrag: 473 800 776 Calabi–Yau's (Räume für verborgene Dimensionen)

Geometrie und Physiologie der “Branes”

Förderung: *Fonds zur Förderung der Wissenschaftlichen Forschung* (FWF)

- Elektromagnetismus → Maxwell Gleichungen:

$$\text{rot } \mathbf{E} + \dot{\mathbf{B}}/c = 0 \qquad \text{div } \mathbf{B} = 0$$

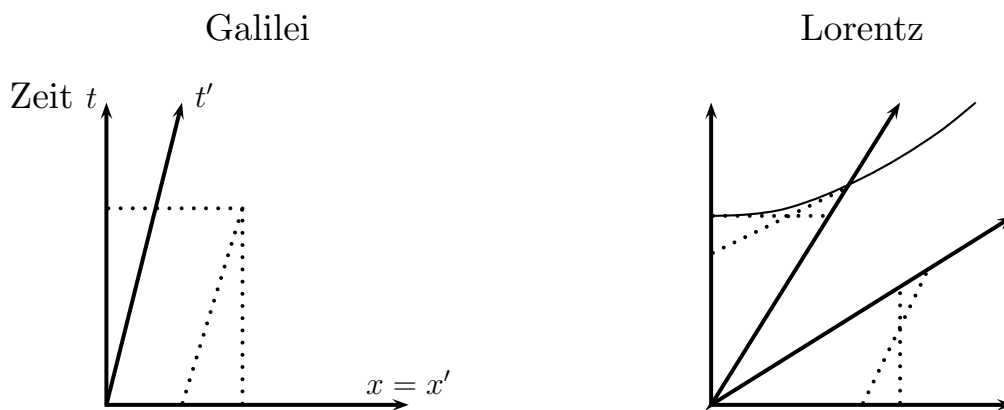
$$\text{rot } \mathbf{B} - \dot{\mathbf{E}}/c = \mathbf{j}/c \qquad \text{div } \mathbf{E} = \rho$$

Wirbeldichte Quelldichte

Elektrizität (E) ↔ Magnetismus (B): Lichtgeschwindigkeit c

Licht = Welle → was schwingt? Relativbewegung der Erde?

Geschwindigkeit: Uhrenvergleich? Ausweg: Gleichzeitigkeit ist relativ!



$$c^2 t^2 - x^2 = \text{konst.} \quad \sim \quad E^2/c^2 - p^2 c^2 = \text{konst.} = \text{Ruhemasse}$$

Allgemeine Relativität: Äquivalenzprinzip

- Zeitdilatation / Längenkontraktion auch im Schwerfeld (Neutronenstern)
- Metrik = Längen & Winkel → Schwerkraft ~ Krümmung
- Schwarze Löcher, Kosmologie, expandierendes Universum (endlich?, $\Lambda > 0$?)

Kaluza-Klein: Auch Elektromagnetismus geometrisch erklären?

→ E/B ~ Krümmung in fünfter Dimension

Licht: Polarisation ~ Vektor → Komponente der Metrik

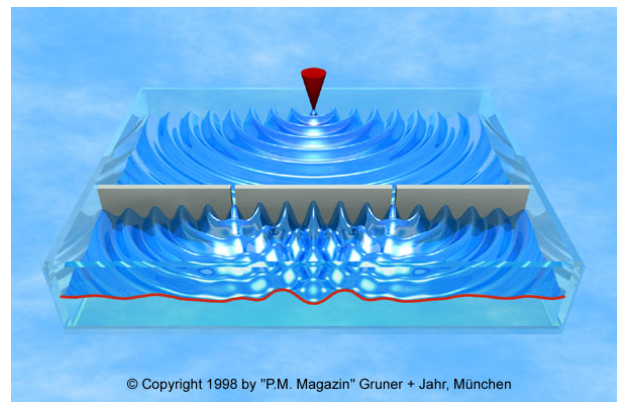
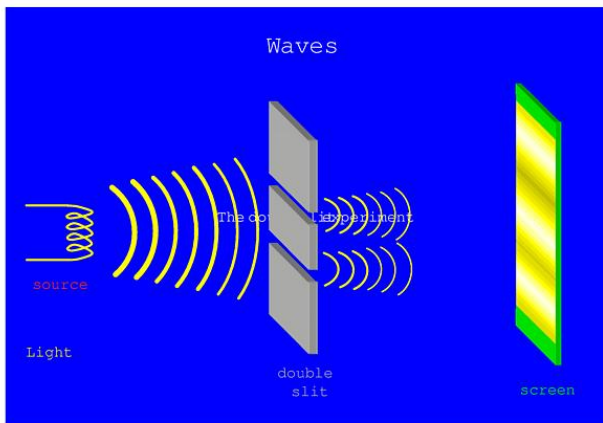
Quantentheorie

Wärmestrahlung: → Planck'sches Strahlungsgesetz (1900)

Atom: unteilbar ... unendlich klein?

Unschärferelation und Stabilität der Materie

Doppelspalt (Beugung)



Wahrscheinlichkeitsinterpretation! fuzzy/verschwommen “Zitterbewegung”

Teilchen ↔ Welle Materiefelder ↔ Kraftfelder

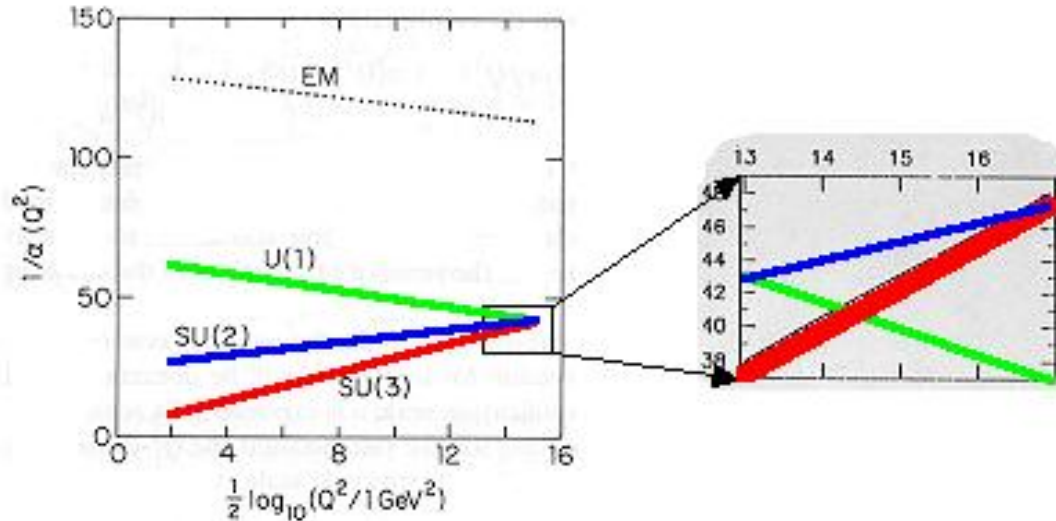
Teilchenzoo:

- Elektron, Neutrino (nur linksdrehend!)
- Proton, Neutron → quarks ... 3 Farben, 2 Isospins, 3 Generationen
- Photon, W,Z, Gluonen, Graviton

Quantengravitation: “fuzzy space-time”

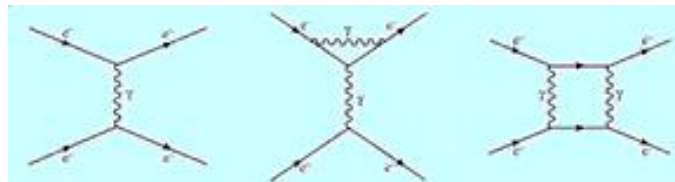
Vereinheitlichung der elektroschwachen und starken Kräfte

- spontane Symmetriebrechung & laufende Kopplungskonstante
- effektive Niederenergiethorie: “eingefrorene Freiheitsgrade”



- Supersymmetrie: 10^{14} GeV \rightarrow 10^{16} GeV \sim Protonzerfall!!

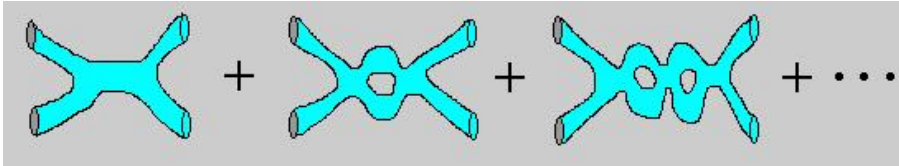
$$\begin{pmatrix} g & g & g & & & \\ g & g & g & X & Y & \\ g & g & g & & & \\ & X & & Z & W & \\ & Y & & W & & \gamma \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \bar{u} & \bar{u} & u & d & & \\ -\bar{u} & & \bar{u} & -u & -d & \\ \bar{u} & -\bar{u} & & -u & -d & \\ u & u & u & & -e^+ & \\ d & d & d & e^+ & & \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \bar{d} \\ \bar{d} \\ \bar{d} \\ e^- \\ -\nu \end{pmatrix}$$



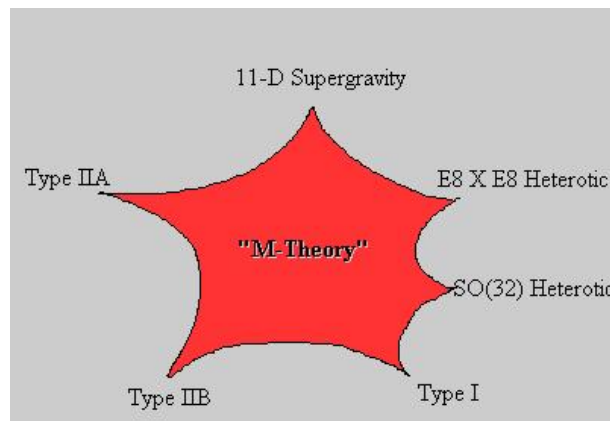
- Protonzerfall: \sim Sacharov's Kriterien für Entstehung von Materie
 - Protonen/Photonen= 10^{-9}
- $SU(3) \times SU(2) \times U(1) \subset SU(5)$ in Kaluza-Klein benötigt 11 Dimensionen

Strings:

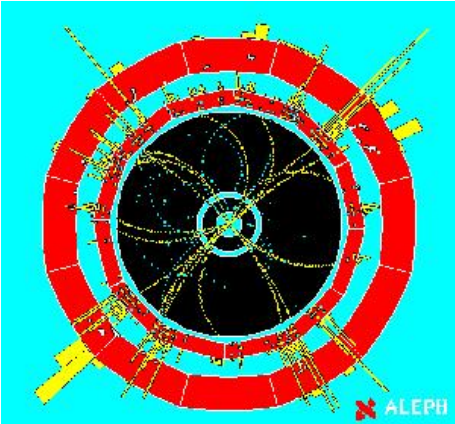
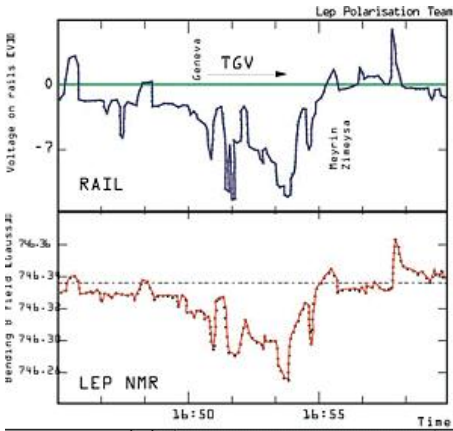
- Vermeiden Unendlichkeiten von punktförmigen Teilchen
- Elementarteilchen \leftrightarrow Schwingungszustände
- Wechselwirkung rein geometrisch (kein Wechselwirkungspunkt)



- 10 Dimensionen: “unsichtbare” Geometrie bestimmt beobachtbare Physik
- T-Dualität: Kaluza-Klein \leftrightarrow Windungszustände \rightarrow “Quantengeometrie”
- branes \rightarrow Kondensation schwarzer Löcher ...
- Kosmische Strings?



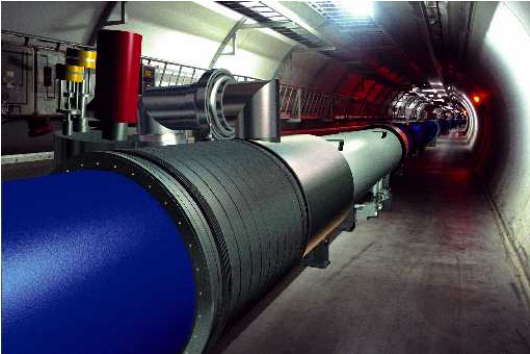
CERN:



LEP:

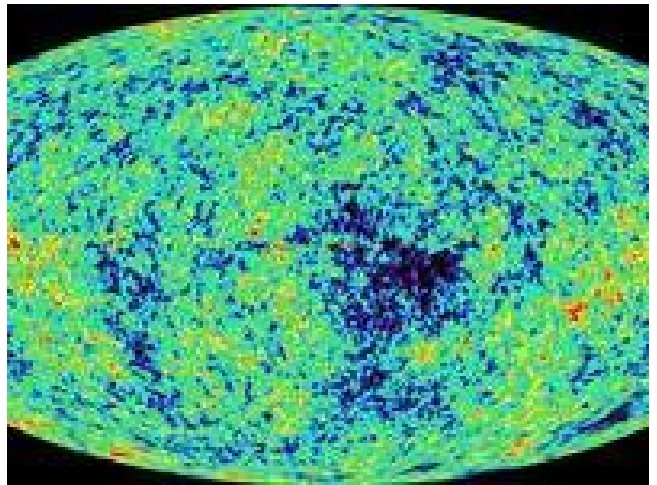
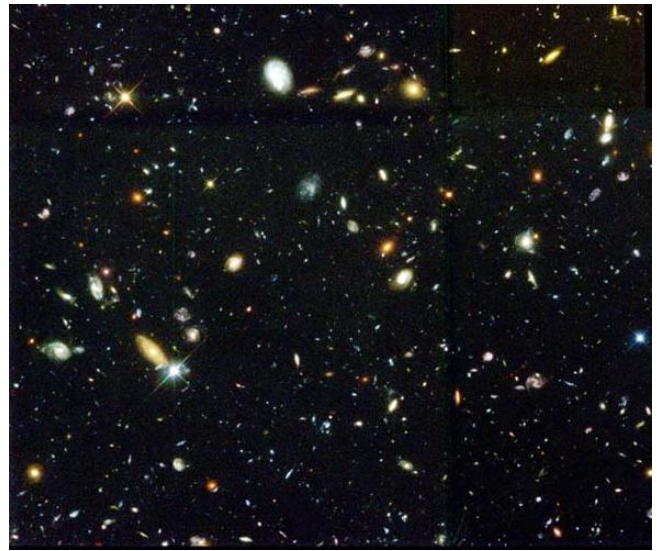


LHC:



SN 1987a





Literatur & Links

Brian Greene: “Das elegante Universum”
Superstrings, Hidden Dimensions, and the Quest for the Ultimate Theory

Stephen Hawking: “Eine kurze Geschichte der Zeit!”

P.C. Davies and J. Brown: “Superstrings: A Theory Of Everything?”

<http://superstringtheory.com/index.html> **The Official String Theory Web Site**
<http://www.sukidog.com/jpierre/strings/>
<http://www.teilchen.at/> **Kern&Teilchenphysik der ÖPG**
<http://public.web.cern.ch/Public/> **CERN public pages**
<http://particleadventure.org/particleadventure/>
<http://www.cpepweb.org/> **Contemporary Physics Education Project**
<http://www.ps.uci.edu/~superk/sk-info.html>
<http://hep.itp.tuwien.ac.at/~kreuzer/ump>

