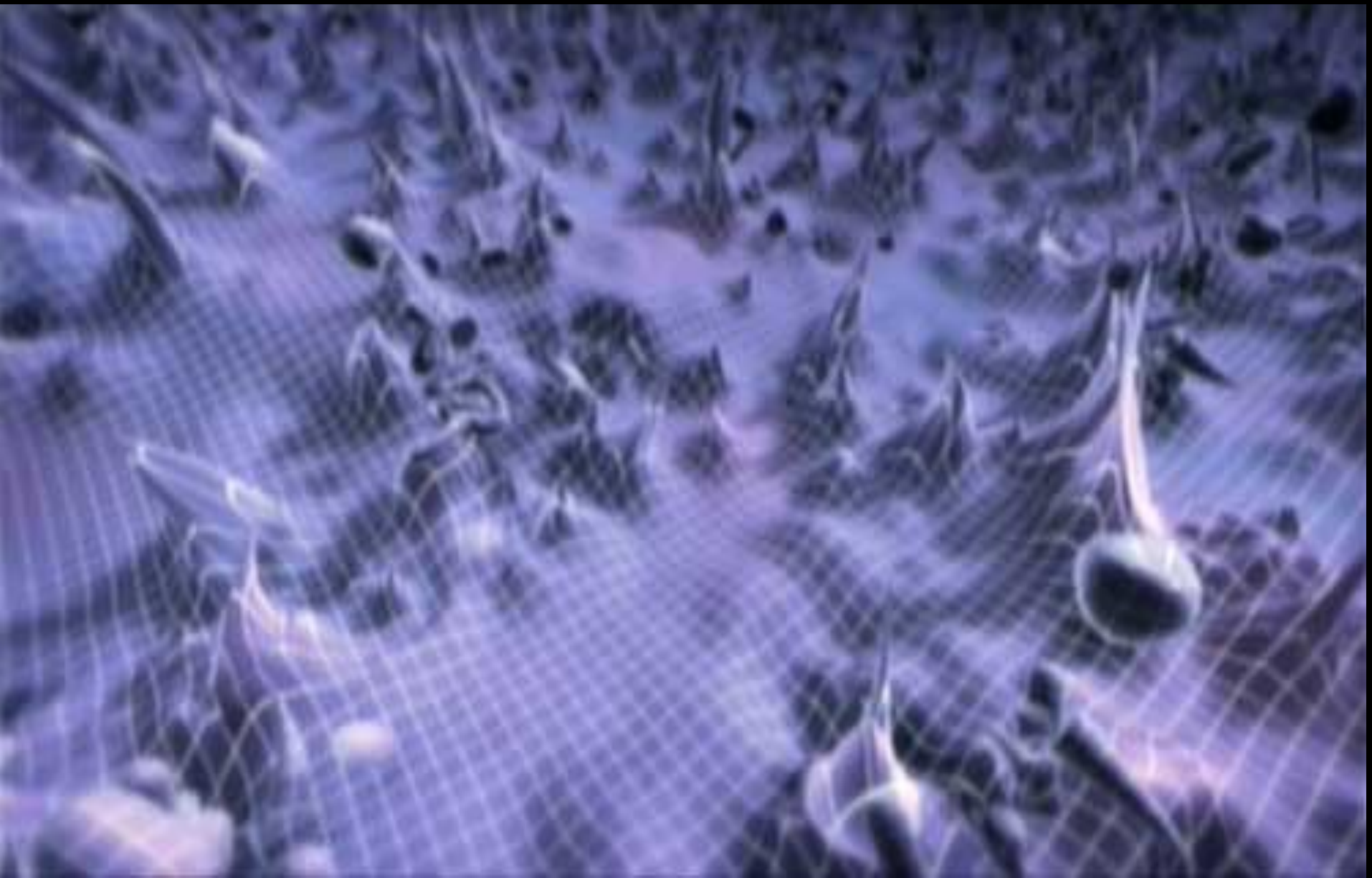
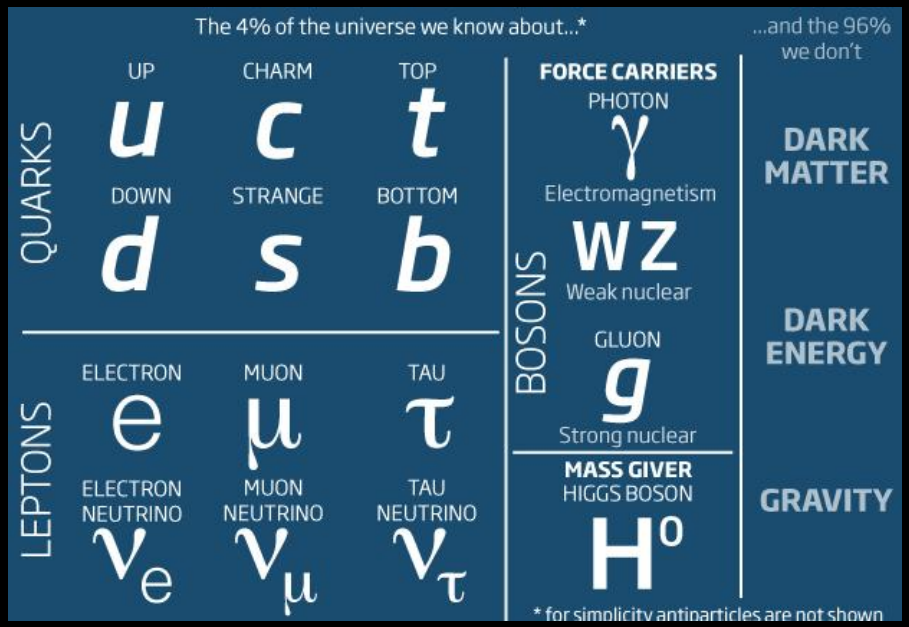
Physik jenseits des Standardmodells



Wiederholung: Das Standardmodell der Elementarteilchen und ihrer Wechselwirkungen



2x6x3 Quarks
2x6 Leptonen

x 2 → Antiteilchen

2x4 (5) Eichbosonen

Higgs-Boson

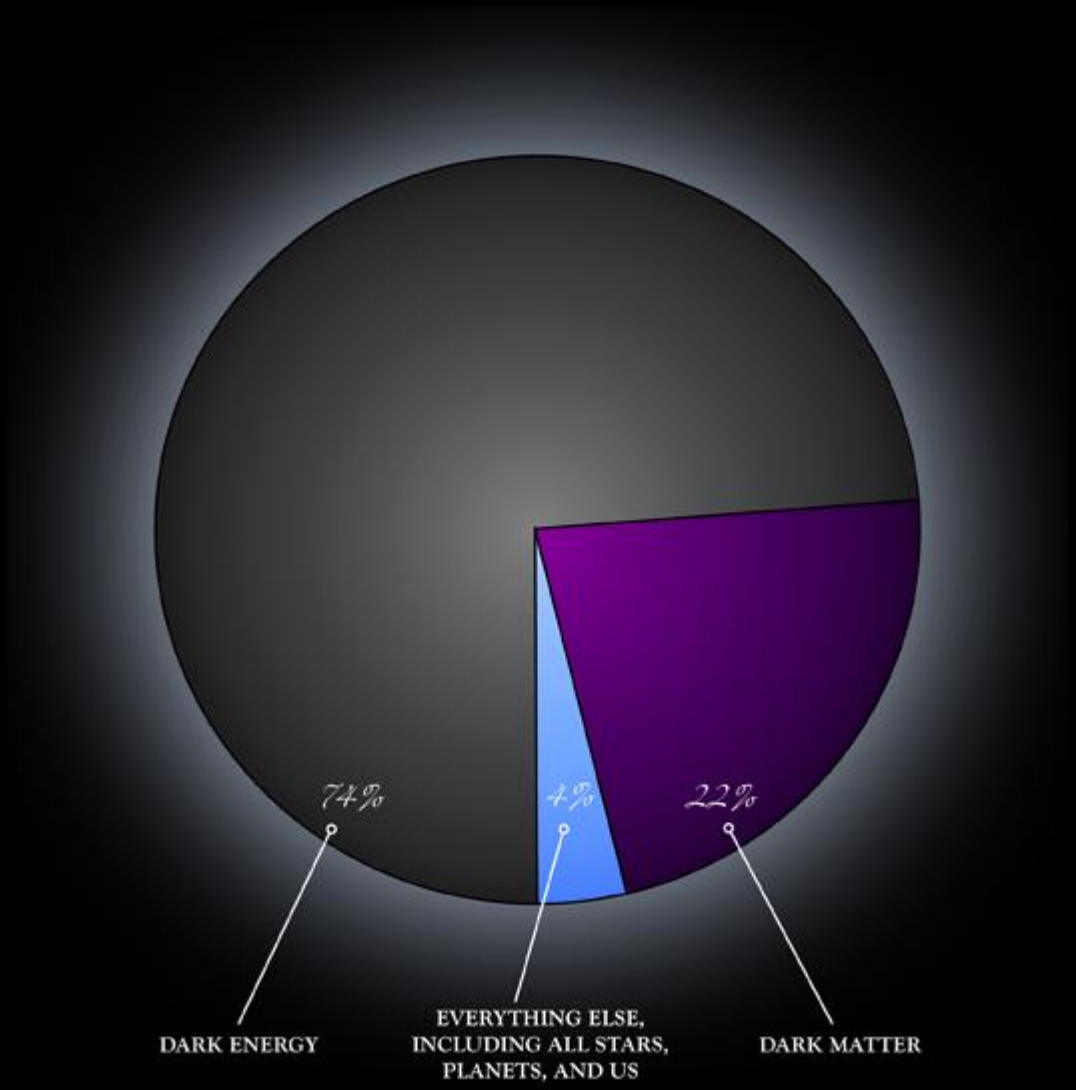
Probleme des Standardmodells

- Schließt die Gravitation (ART) nicht mit ein
- Hierarchieproblem (zu kleine Higg-Masse)
- Neutrinos besitzen eine Ruhemasse
- Keine Erklärung für „Dunkle Materie“

Quantenfeldtheorien

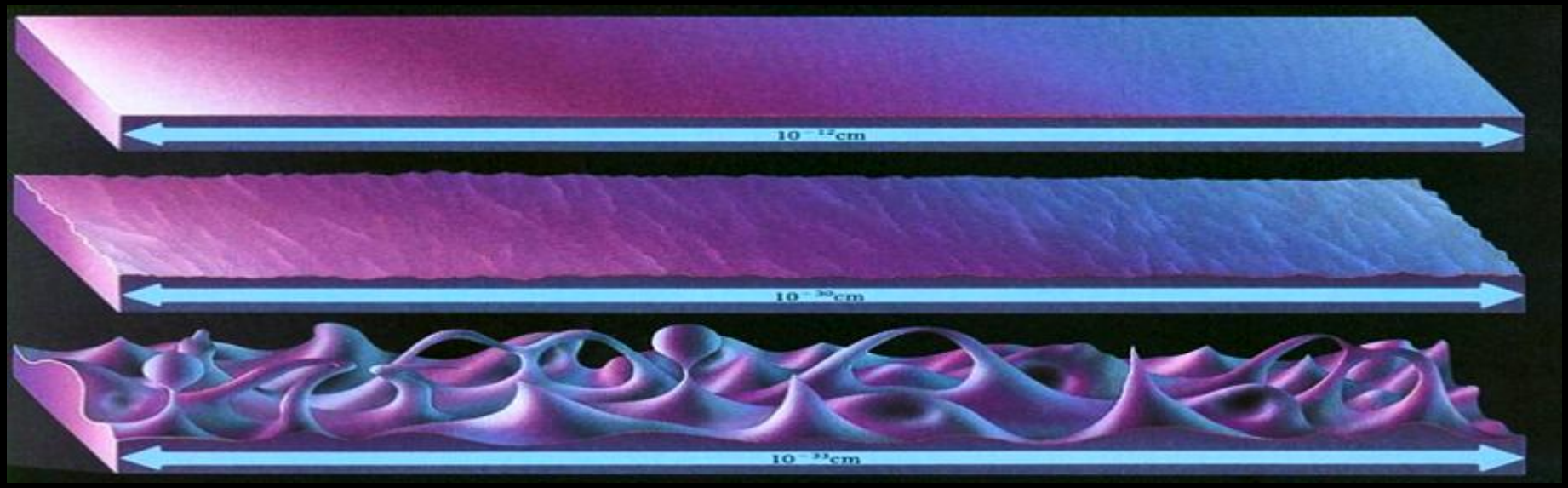
Genügen der relativistischen Quantenmechanik

„Zusammensetzung“ unserer Welt...



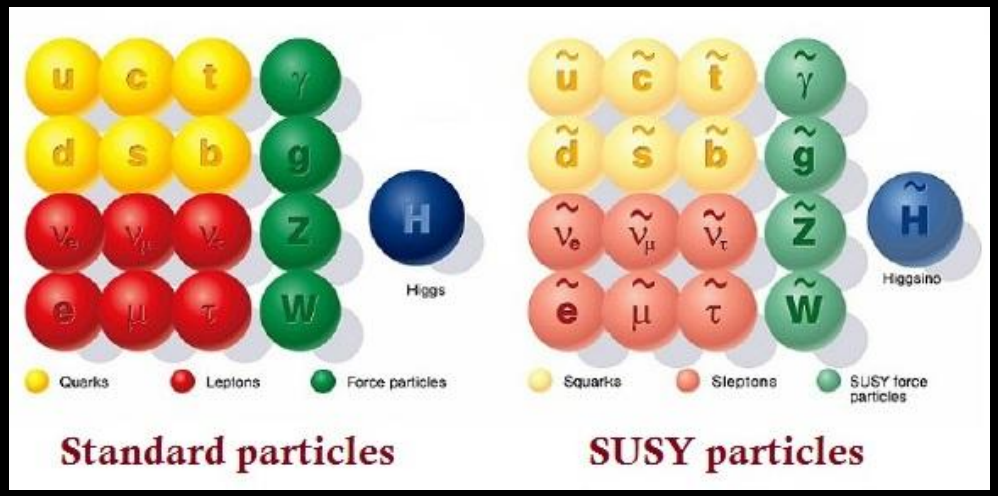
<table>
<tr><th colspan="5">Schritte zur Weltformel (Theory of everything)</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Starke Wechselwirkung</td><td>Elektrostatik</td><td>Magnetostatik</td><td rowspan="3">Schwache Wechselwirkung</td><td rowspan="2">Gravitation</td></tr>
<tr><td colspan="2">Elektromagnetische Wechselwirkung</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Quantenchromodynamik</td><td colspan="2">Quantenelektrodynamik</td><td>Allgemeine Relativitätstheorie</td></tr>
<tr><td colspan="3">Elektroschwache Wechselwirkung</td><td rowspan="3">Quantengravitation</td></tr>
<tr><td colspan="4">Standardmodell</td></tr>
<tr><td colspan="4">Große vereinheitlichte Theorie</td></tr>
<tr><td colspan="5">Weltformel: Stringtheorie, M-Theorie, Schleifenquantengravitation</td></tr>
</table>

Hinter dem „Standardmodell“ beginnt die spekulative Physik



Verschiedene Ansätze (Auswahl) ...

1. Supersymmetrie + Supergravitation



Lösung des Hierarchieproblems in Bezug auf die Higgs-Masse

Erlaubt die Vereinigung aller Naturkräfte bei sehr hohen Energien (Theory of everything)

Könnte die „Dunkle Materie“ erklären

2. Randall – Sundrum-Modell

Die 4-dimensionale Raumzeit der ART wird um eine weitere, 5. Dimension erweitert, die aber im Sinne der Kaluza-Klein-Theorien nicht kompaktifiziert ist (Branen - Kosmologie)

3. Superstringtheorien

Ersetzt die nulldimensionalen (punktförmigen) Teilchen des Standardmodells durch eindimensionale Gebilde – die Strings – die auf eine genau determinierte Weise schwingen können...

Ursprünge der Stringtheorie

1968: Gabriele Veneziano entdeckt bei der Untersuchung von Resonanzen (das sind kurzlebige Anregungen von Hadronen) eine Formel, die später als Berechnungsformel für die Schwingungen einer eindimensionalen Saite, eines „Strings“ erkannt wurde.

Weiterentwicklungen nährten die Hoffnung, daß sich mittels Strings u.a. das Problem der Punktteilchen lösen läßt. Im Rahmen der sogenannten „Supersymmetrien“ keimte ab ca. 1970 die Hoffnung, ganz allgemein Elementarteilchen als verschiedene energetische Anregungsstufen schwingender offener und geschlossener Strings beschreiben zu können. Auch schien sich die Gravitation natürlich in das Schema einzuordnen.

1974: Entdeckung, daß sich „bosonische Strings“ nur in 25 Raum-Dimensionen (Bosonen) bzw. „Superstrings“ in 9 Raum-Dimensionen (Fermionen) mathematisch widerspruchsfrei formulieren lassen. Supersymmetrie setzt Bosonen und Fermionen in Beziehung.

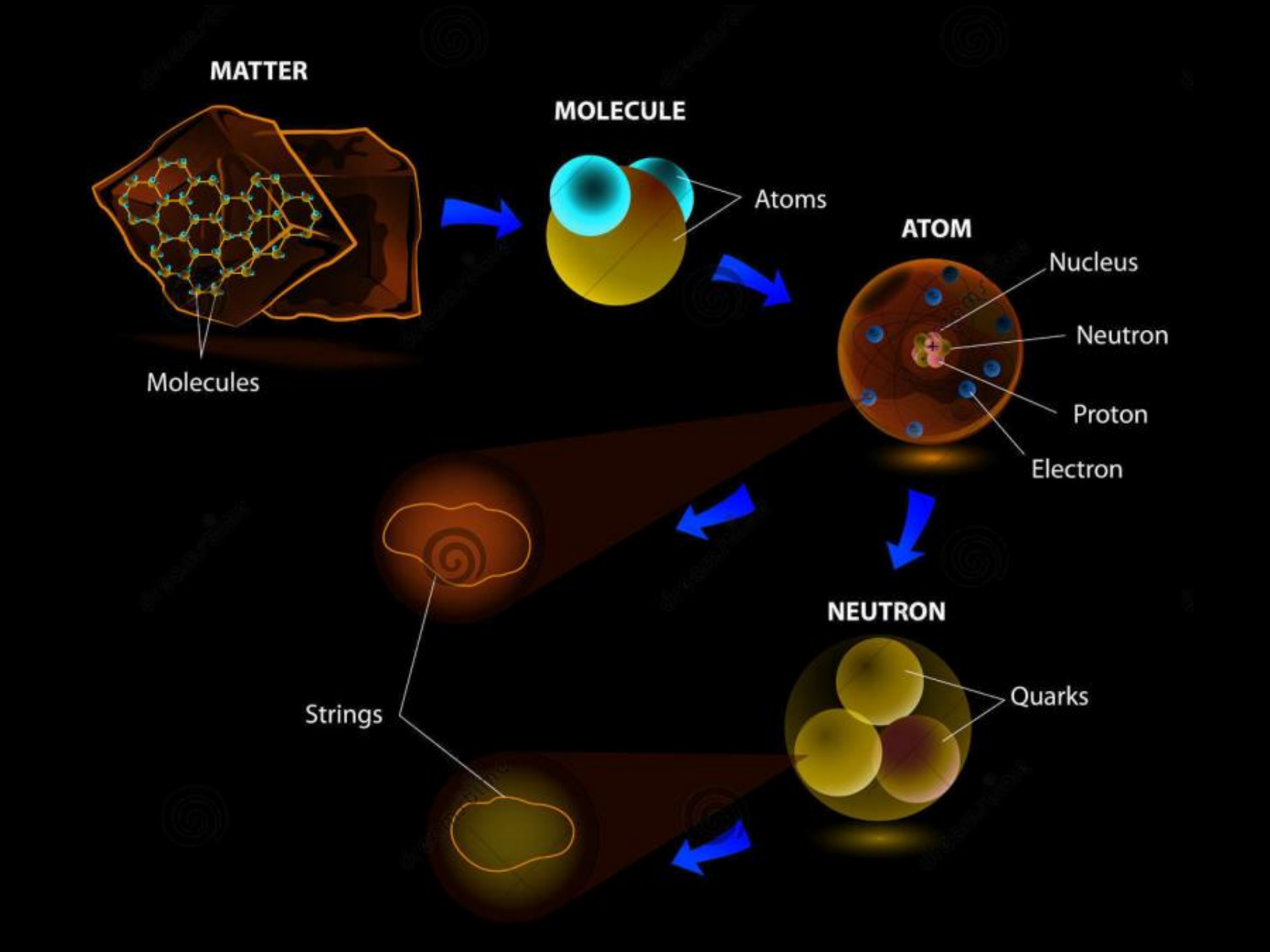
→ Kompaktifizierung der nicht-sichtbaren Raumdimensionen gemäß Kaluza-Klein

Die „Superstringtheorie“ hatte zu diesem Zeitpunkt einen Schönheitsfehler – es gab 5 davon!

1995: Edward Witten konnte zeigen, daß sich unter Einführung einer 11. Raumdimension alle 5 Theorien als Repräsentation einer neuen Theorie, der M-Theorie, darstellen lassen. Diese Theorie besitzt die Potentialität, nicht nur die Elementarteilchen, sondern ganze „Universen“ zu beschreiben. Akteure sind hier nicht mehr eindimensionale Strings, sondern zweidimensionale „Branen“.

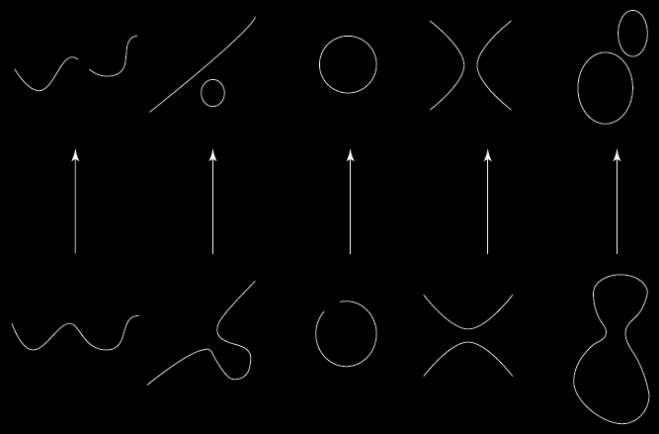
2001: Ekpyrotisches kosmologisches Modell (Steinhardt, Turok): Zwei Branen prallen aufeinander und verursachen einen „Urknall“.

2013: Es geht nicht so richtig weiter. Die Theorie scheint in mathematischen Schwierigkeiten zu ertrinken und es gibt zu viele denkbare Varianten. Eine experimentelle Verifizierbarkeit liegt in „kosmologischen“ Entfernungen...


MATTER
Molecules
MOLECULE
Atoms
ATOM
Nucleus
Neutron
Proton
Electron
NEUTRON
Quarks
Strings

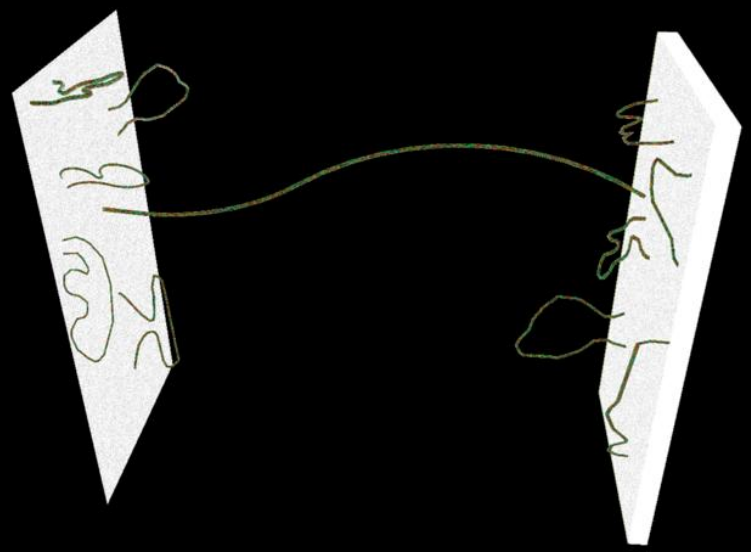
Schlüsselelemente der Stringtheorie

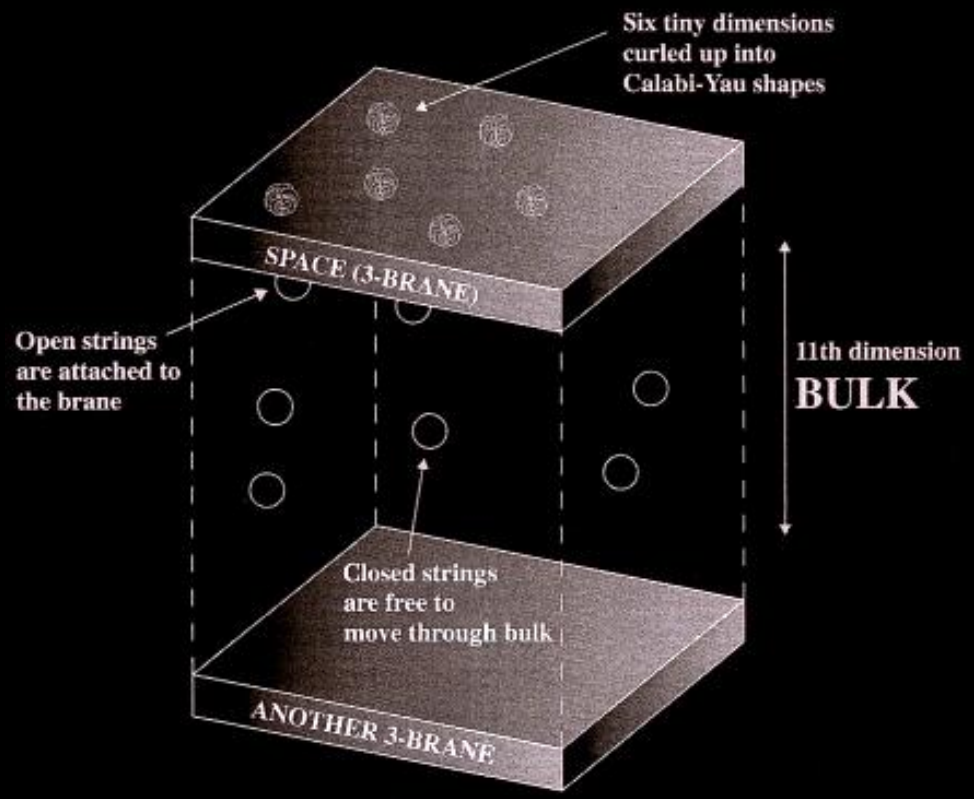
- Die Stringtheorie sagt voraus, daß alle Objekte im Universum aus vibrierenden Filamenten oder Membranen aus „Energie“ bestehen
- Die Stringtheorie erlaubt die Vereinigung der Allgemeinen Relativitätstheorie mit der Quantentheorie
- Die Stringtheorie eröffnet einen Weg, um alle 4 fundamentalen Wechselwirkungen zu vereinigen – „Theory of Everything“
- Die Stringtheorie sagt eine neue Verbindung zwischen den beiden fundamentalen Teilchenarten, den Bosonen und den Fermionen, vorher, die als Supersymmetrie bezeichnet wird → „Superstrings“
- Die Stringtheorie sagt eine zusätzliche Anzahl, gewöhnlich unbeobachtbarer Raumdimensionen vorher (z.B. 6). Diese Raumdimensionen sind im Sinne der Kaluza-Klein-Theorien kompaktifiziert.



Wechselwirkungsarten eindimensionaler Strings

Branen





D-Branen sind quasi Teilräume im Hyperraum, an dem die Enden von offenen Strings angeheftet sind. Die „Strings“ repräsentieren dabei alle an der Brane „gefangenen“ Teilchen. Das Graviton ist dagegen nicht an eine Brane gebunden, sondern „bewegt“ sich im Bulk zwischen den Branes (was sich in der geringen Wechselwirkungsstärke niederschlägt).

Branen erlauben eine elegante Erklärung sowohl der „Dunklen Materie“ als auch der „Dunklen Energie“.

Andere Branen – andere Universen ?