

PHYSIK AM FREITAG

u^b

b
UNIVERSITÄT
BERN

15. Januar 2016 – Markus Leuenberger,

**Jungfraujoch: Forschung zwischen
Himmel und Erde**

22. Januar 2016 – Michele Weber

**Der Nobelpreis in Physik 2015.
Neutrinos: Geisterteilchen und
Verwandlungskünstler**

29. Januar 2016 – Susanne Reffert

**Beschreibt die String Theorie
unsere physikalische Realität?**

4. März 2016 – Martin Rubin

**Rosetta: Den Geheimnissen von
Chury auf der Spur**

11. März 2016 – Adrian Jäggi

**Von Wasser, Eis und Satelliten –
und was uns die Schwerkraft über
Umweltveränderungen verrät**

Ein Anlass des Fachbereichs Physik und des
Albert Einstein Center for Fundamental Physics,
Universität Bern

Die Vorträge richten sich an GymnasiastInnen und
die interessierte Öffentlichkeit

Gebäude Exakte Wissenschaften (ExWi)
Sidlerstrasse 5, 3012 Bern
Hörsaal 099, 16:30 Uhr

www.physics.unibe.ch

Physik am Freitag

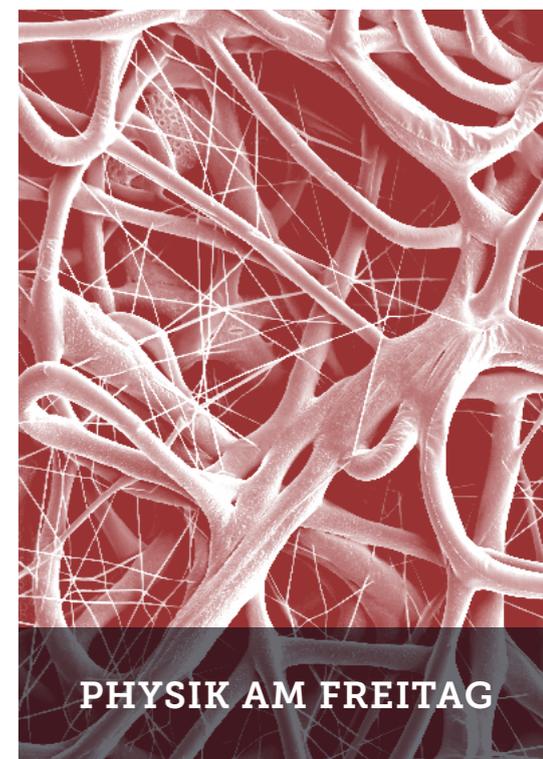
Beschreibt die String Theorie unsere physikalische Realität?

Susanne Reffert
Institut für theoretische Physik
Universität Bern

u^b

b
UNIVERSITÄT
BERN

AEC
ALBERT EINSTEIN CENTER
FOR FUNDAMENTAL PHYSICS



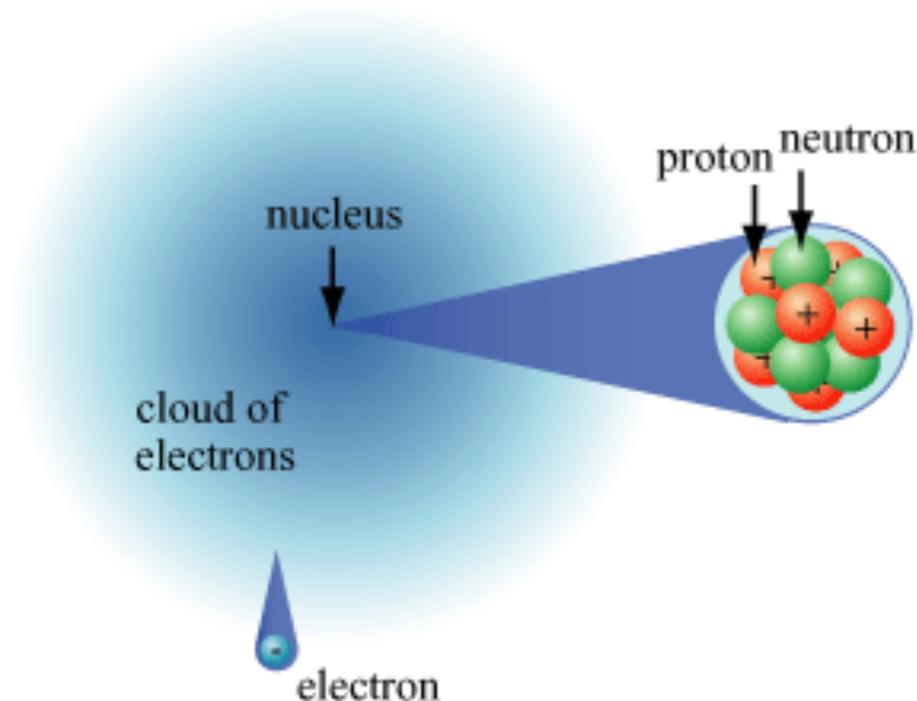
PHYSIK AM FREITAG

Theoretische Teilchenphysik

Grundlagenforschung in ihrer reinsten Form.

Theoretische Beschreibung der Elementarteilchen und ihrer fundamentalen Wechselwirkungen.

Bevor wir aber zur String Theorie kommen, muss ich etwas ausholen.

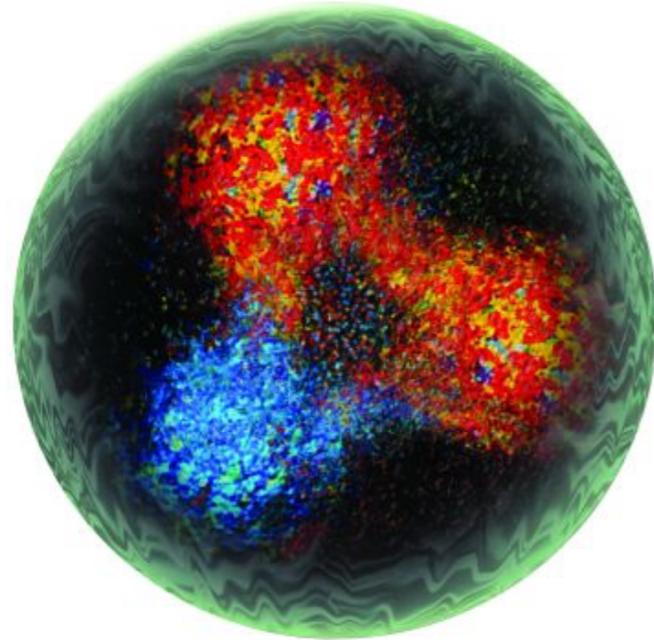


Materie besteht aus Atomen, welche selbst wieder aus Protonen, Neutronen und Elektronen besteht.

Das Elektron ist bereits ein Elementarteilchen.

Theoretische Teilchenphysik

Aber Protonen und Neutronen bestehen aus kleineren Einheiten, den sogenannten Quarks (up und down).



“Normale” Materie ist mit diesen drei Bausteinen abgedeckt.

Aber es gibt weit mehr Elementarteilchen, welche aber schwer aufzuspüren sind und/oder nicht stabil sind und innerhalb Sekundenbruchteilen zerfallen.

Sie können z.B. in der kosmischen Strahlung oder in Teilchenbeschleunigern nachgewiesen werden.

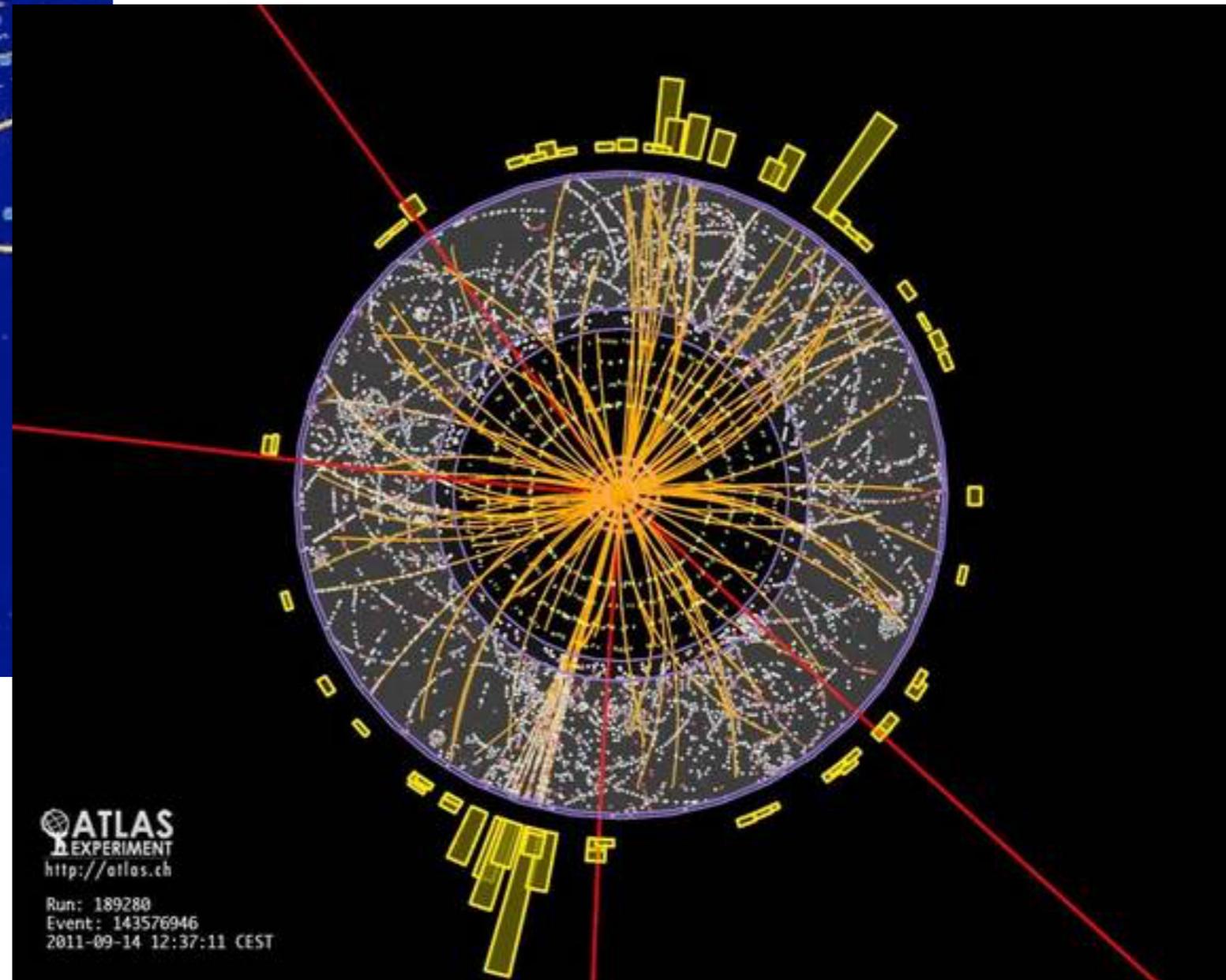
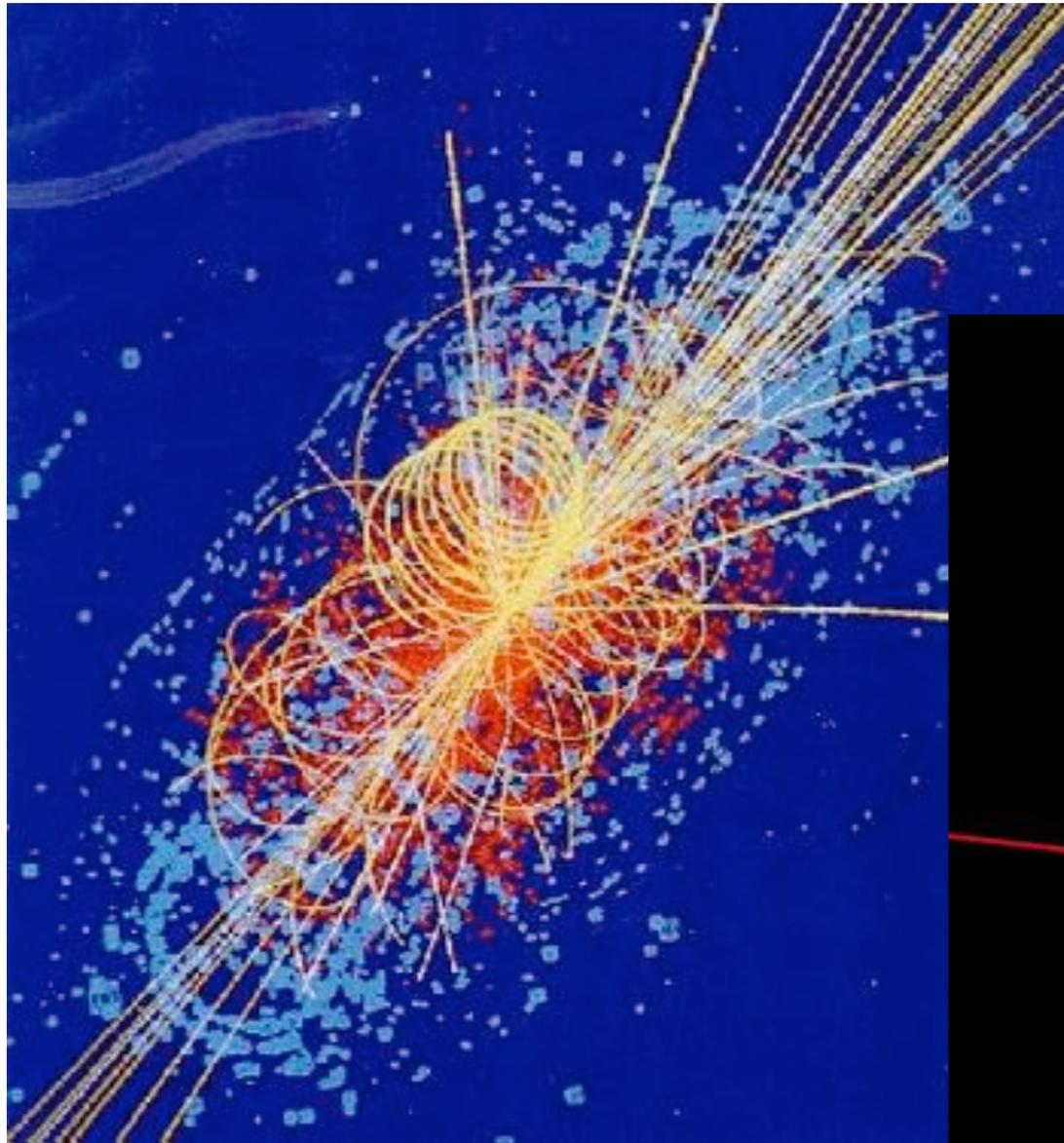
Experimentelle Suche mit Teilchenbeschleunigern



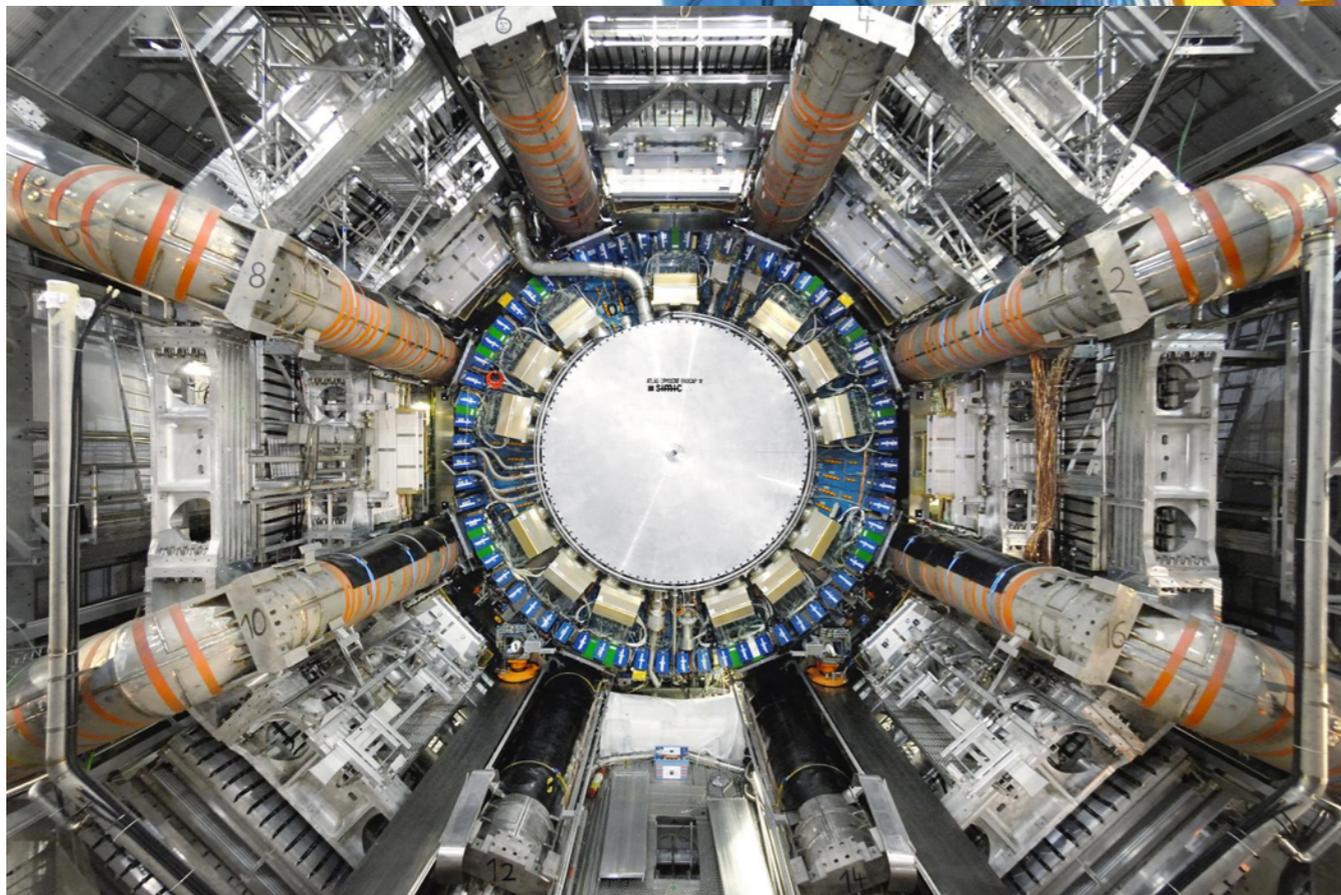
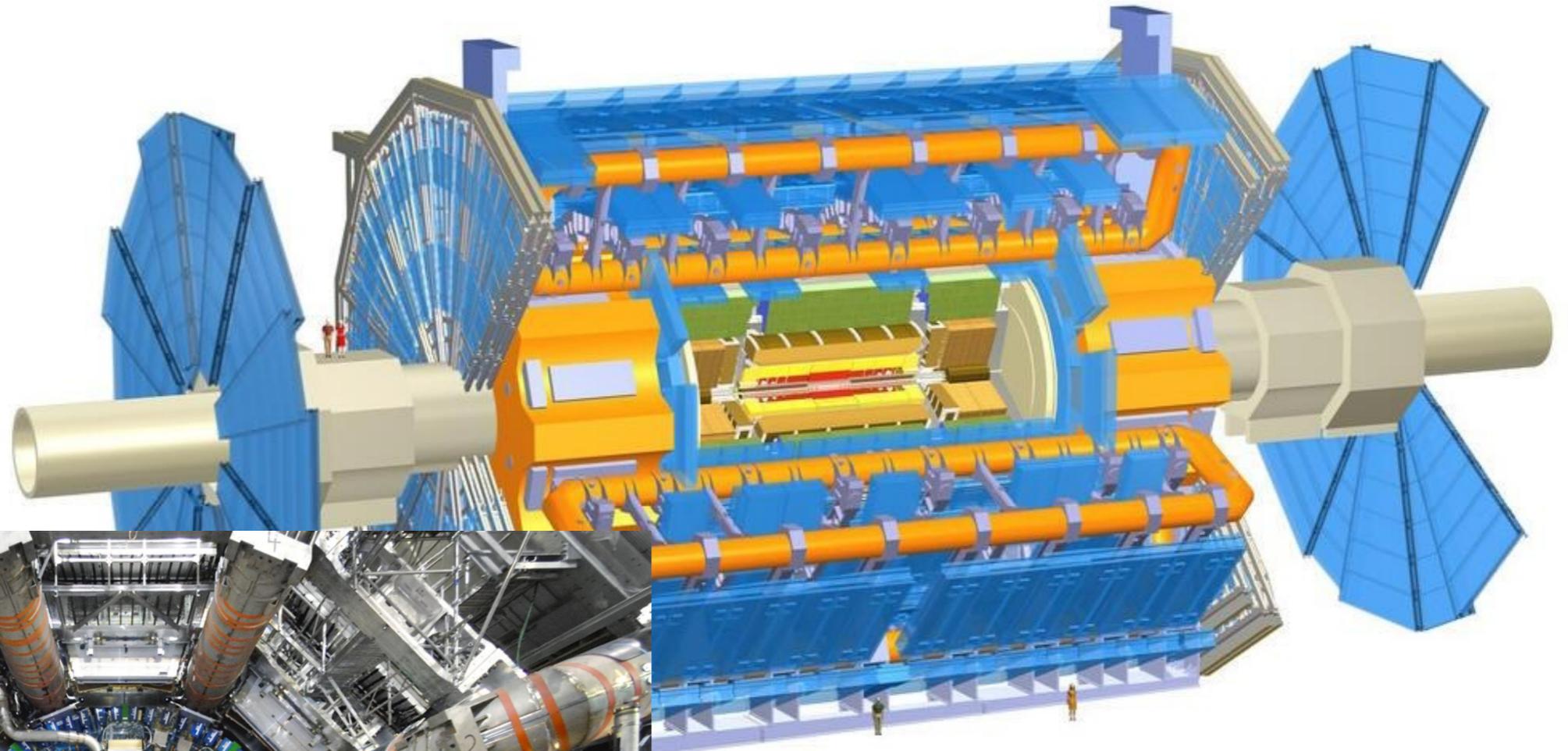
Large Hadron Collider (LHC) – CERN (GE)

Experimentelle Suche mit Teilchenbeschleunigern

Protonenkollisionen @ ca. 13 TeV



Experimentelle Suche mit Teilchenbeschleunigern

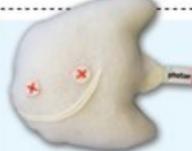


ATLAS detector

Die Teilchenfamilien

The PARTICLE ZOO

Subatomic Particle Plush Toys FROM THE STANDARD MODEL OF PHYSICS & beyond!

QUARKS	 <p>UP QUARK A teeny little point inside the proton and neutron, it is friends forever with the down quark.</p>	 <p>CHARM QUARK A second generation quark, he is charmed, indeed.</p>	 <p>TOP QUARK This heavyweight champion doesn't live long enough to make friends with anyone.</p>	FORCE CARRIERS	 <p>PHOTON The massless wavicle we know and love.</p>
	 <p>DOWN QUARK A tiny little point inside the proton and neutron, it is friends forever with the up quark.</p>	 <p>STRANGE QUARK What's so strange about this second generation quark?</p>	 <p>BOTTOM QUARK This third generation quark is puttin' on the pounds.</p>		 <p>GLUON The "glue" of the strong nuclear force.</p>
	 <p>ELECTRON-NEUTRINO This minuscule bandit is so light, he is practically massless.</p>	 <p>MUON-NEUTRINO Like the other 2 neutrinos, he's got an identity crisis from oscillation.</p>	 <p>TAU-NEUTRINO He's a tau now, but what type of neutrino will he be next?</p>		 <p>W BOSON Z BOSON</p>
	 <p>ELECTRON A familiar friend, this negatively charged, busy li'l guy likes to bond.</p>	 <p>MUON A "heavy electron" who lives fast and dies young.</p>	 <p>TAU A "heavy muon" who could stand to lose a little weight.</p>		 <p>As the carrier particles of the weak nuclear force, they're downright obese.</p>
THEORETICALS	 <p>HIGGS BOSON He's the one everyone wants to meet, but for now he's playing hard to get. You'd be smiling too if everyone was looking to interview <i>you</i>.</p>	 <p>GRAVITON Still unobserved, yet theoretically <i>everywhere</i>, he's got big legs for jumping branes.</p>	NUCLEONS	 <p>PROTON We would not be here without her positivity.</p>	
	 <p>TACHYON Can this devious and clever particle really travel faster than light?</p>	 <p>DARK MATTER The mysterious missing mass. Difficult to see because he's so <i>dark</i>.</p>		 <p>NEUTRON He insists on remaining neutral.</p>	

Visit the **ANTIPARTICLE ANNEX**
You can now buy antimatter on the web!



NEW! GIFT CARDS



STAMPSHEET
Twenty-three particles on one 8.5x11" sheet of perforated "stamps"

Die Teilchenfamilien



The **HIGGS BOSON** is the theoretical particle of the Higgs mechanism, which physicists believe will reveal how all matter in the universe got its mass. Many scientists hope that the Large Hadron Collider in Geneva, Switzerland will detect the elusive Higgs Boson when it begins colliding particles at 99.99% the speed of light.

Wool felt with gravel fill for maximum mass.

Triumph der theoretischen Physik: in den 1960er Jahren vorausgesagt, 2011/2012 am CERN entdeckt.



Die vier Grundkräfte

Mit einer Liste der Teilchen ist die Physik aber noch nicht erledigt.

Um physikalische Phänomene unseres Alltags zu verstehen, müssen wir wissen, wie diese aller kleinsten Bausteine der Materie miteinander wechselwirken.

Wir sprechen von vier grundlegenden Wechselwirkungen, den vier Grundkräften.

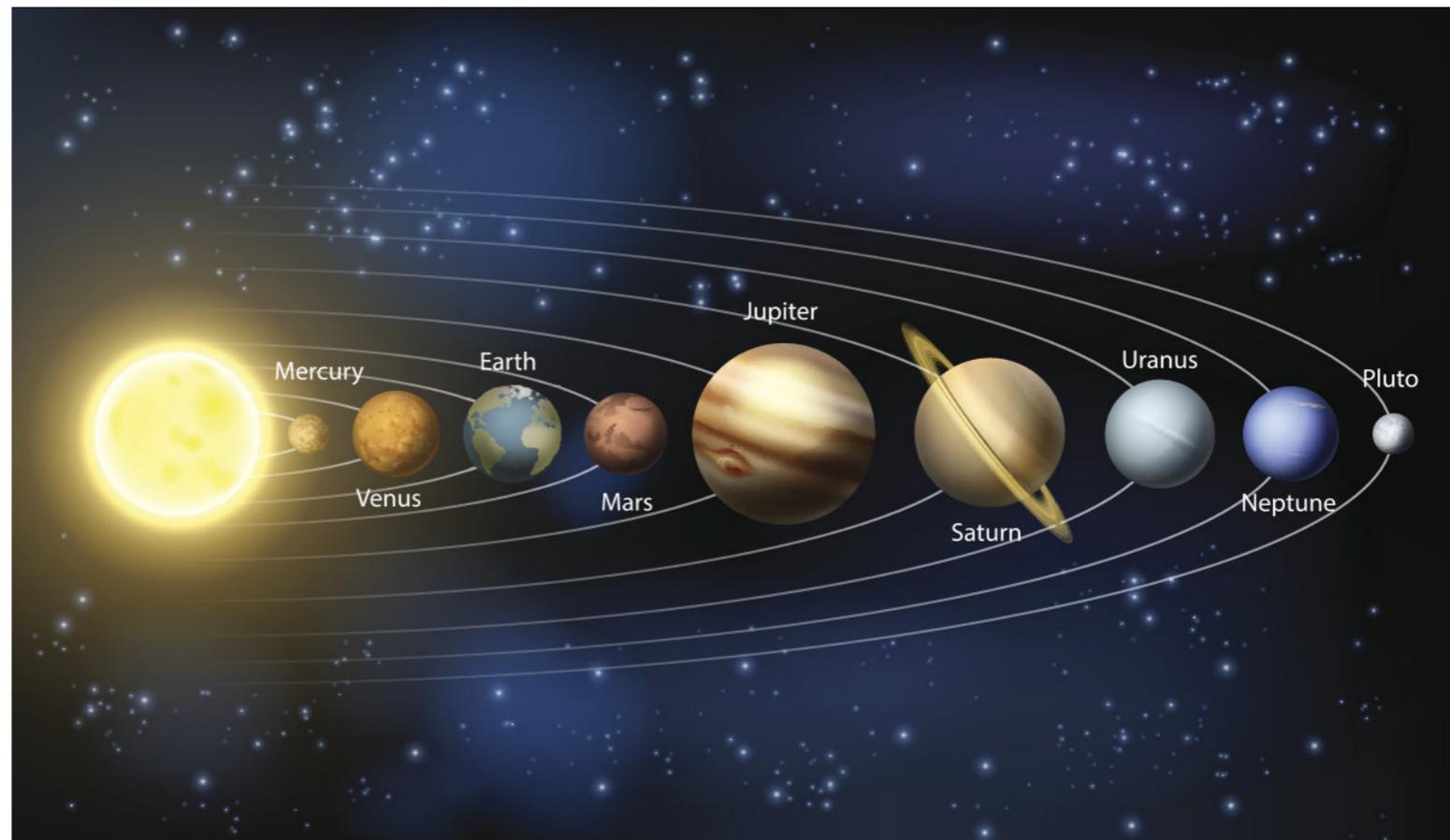
Einige von ihnen erleben wir im Alltag (Licht, elektrischer Strom, Radiowellen, aber auch die Schwerkraft), während andere im Verborgenen wirken.

Die vier Grundkräfte



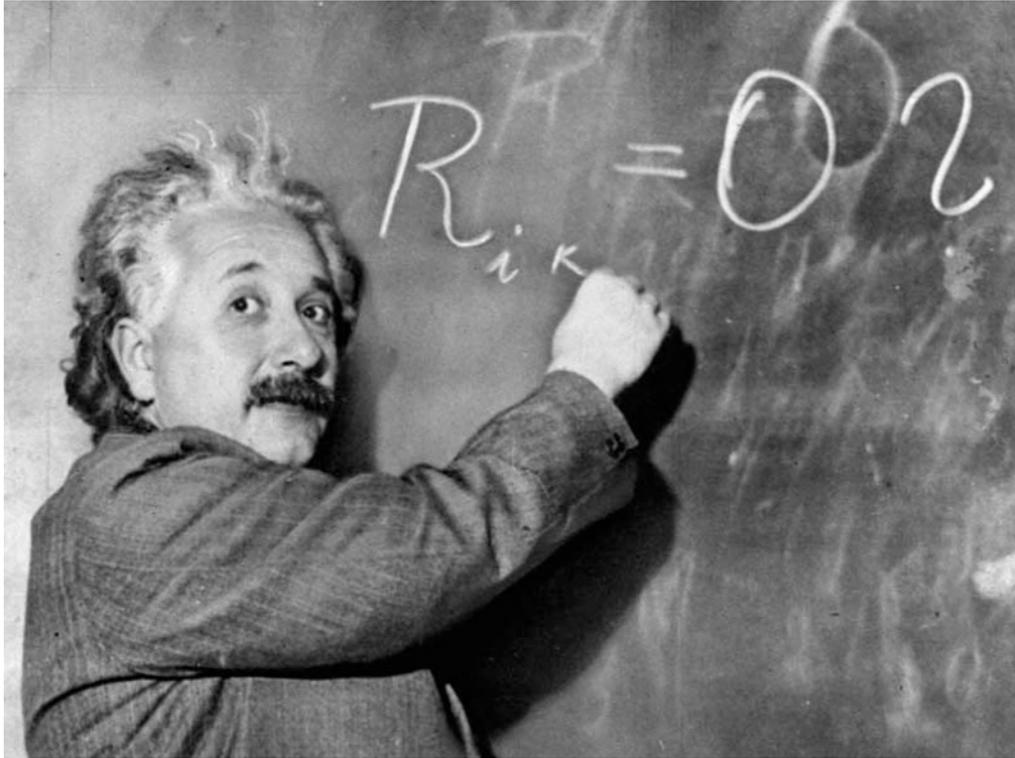
Schwerkraft

Gravitation (Newton 1687)



Wirkung ist extrem schwach, aber additiv, Reichweite unendlich.

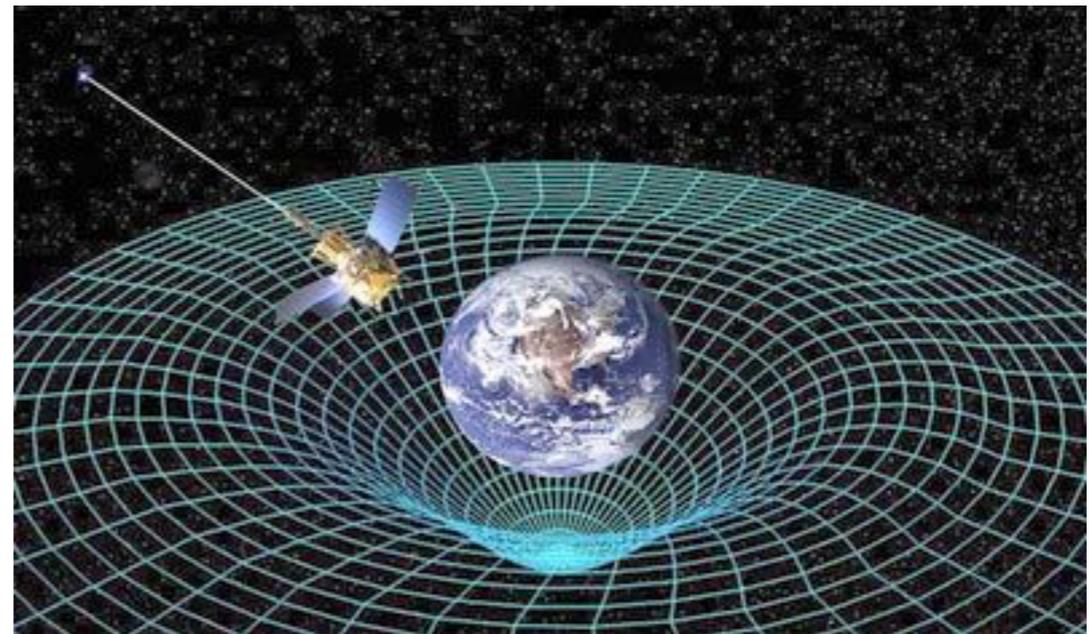
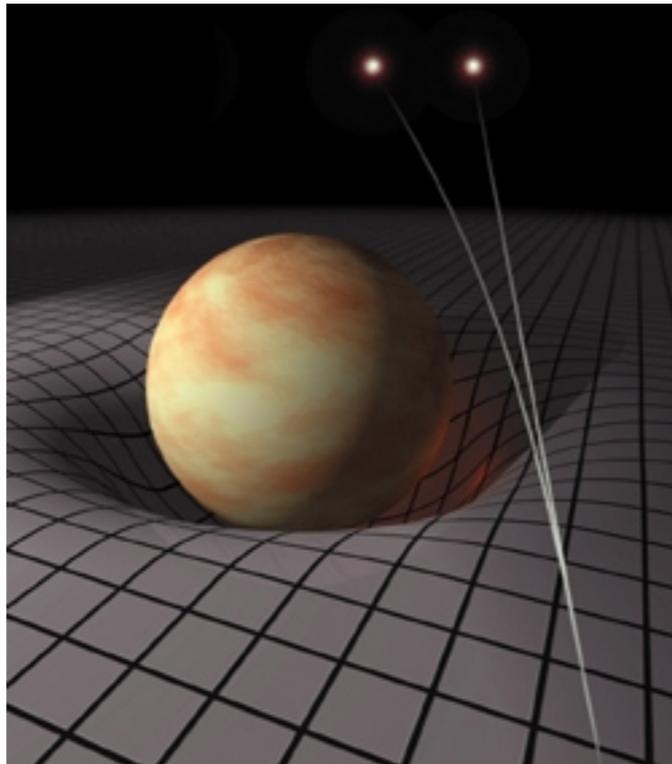
Die vier Grundkräfte



Einstein

allgemeine
Relativitätstheorie (1915)

Massive Objekte verändern die
Raumzeit. "Geometrische" Theorie.



Die vier Grundkräfte

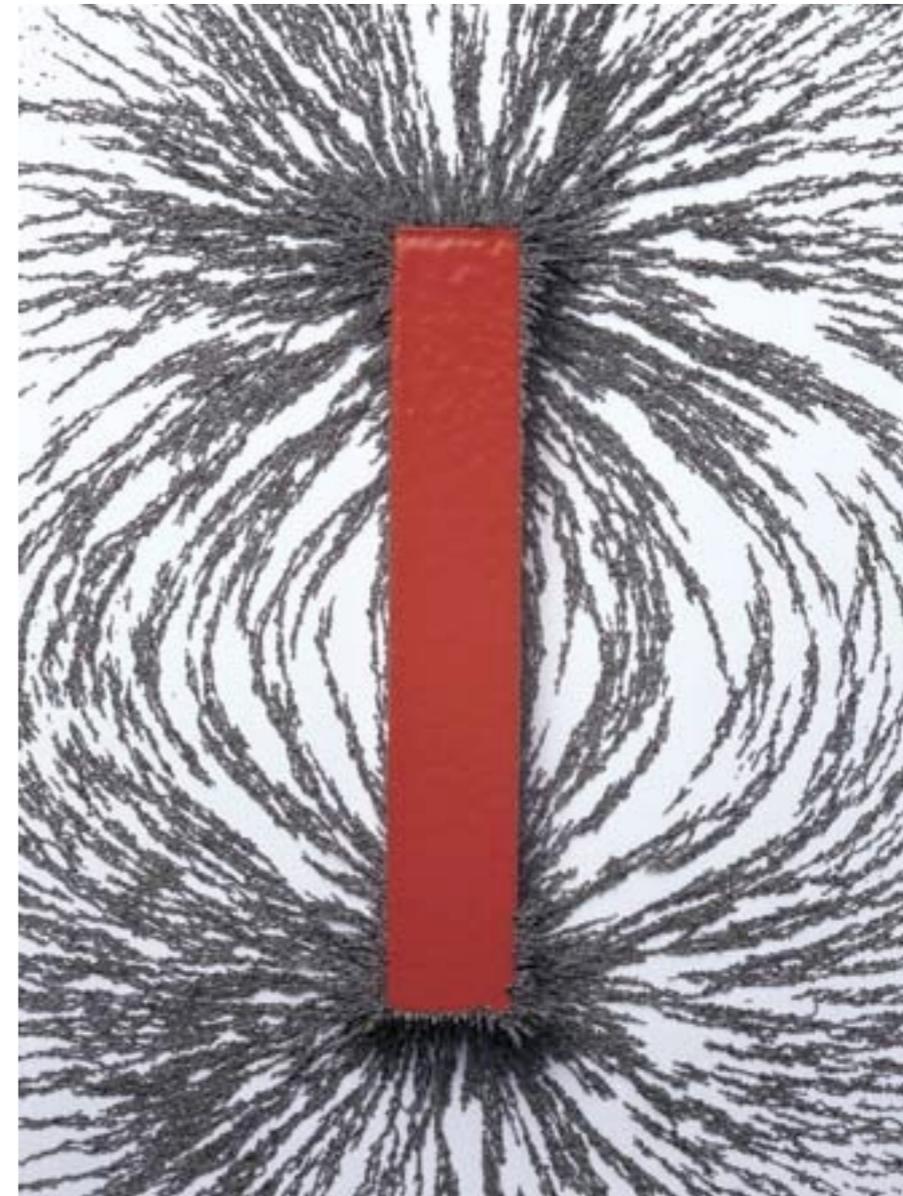
elektromagnetische Kraft

Maxwell 1862



Quantenelektrodynamik (QED)

Trägerteilchen: Photon



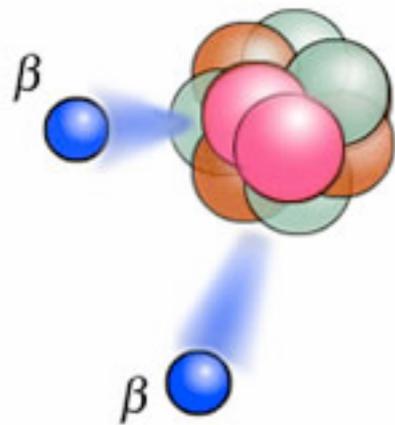
Unendliche Reichweite, im Alltag allgegenwärtig.

Die vier Grundkräfte

schwache Kraft



Trägerteilchen: W^+ , W^- , Z



Radioaktive Zerfälle

Die Reichweite der schwachen Kraft ist sehr klein, sie spielt sie im täglichen Leben keine Rolle.

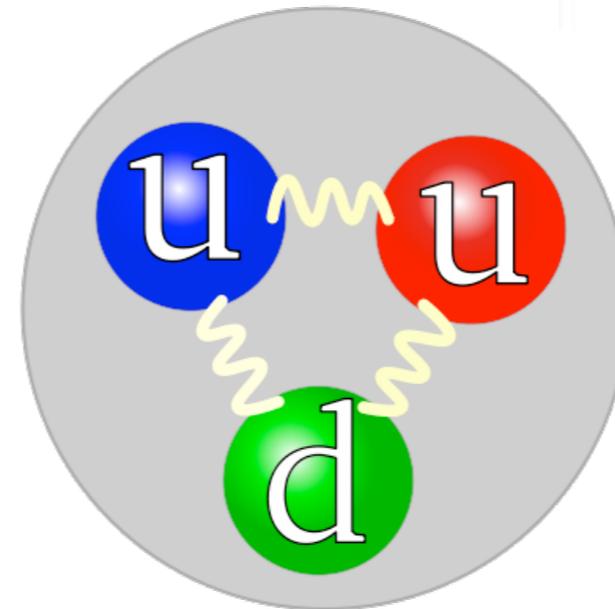
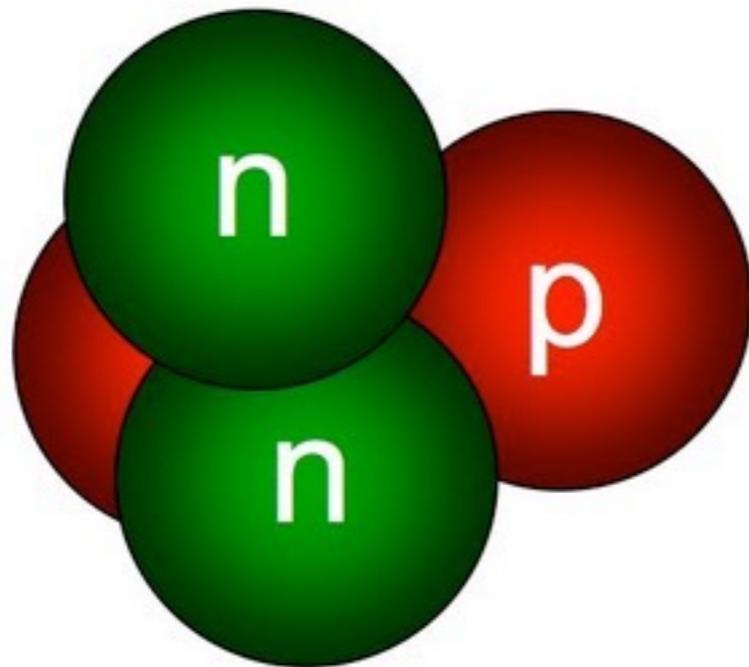
Die vier Grundkräfte

starke Kraft



Quantenchromodynamik (QCD)

Trägerteilchen: Gluonen



Die starke Kraft wirkt im Atomkern, hält Quarks zusammen. Reichweite: sehr kurz

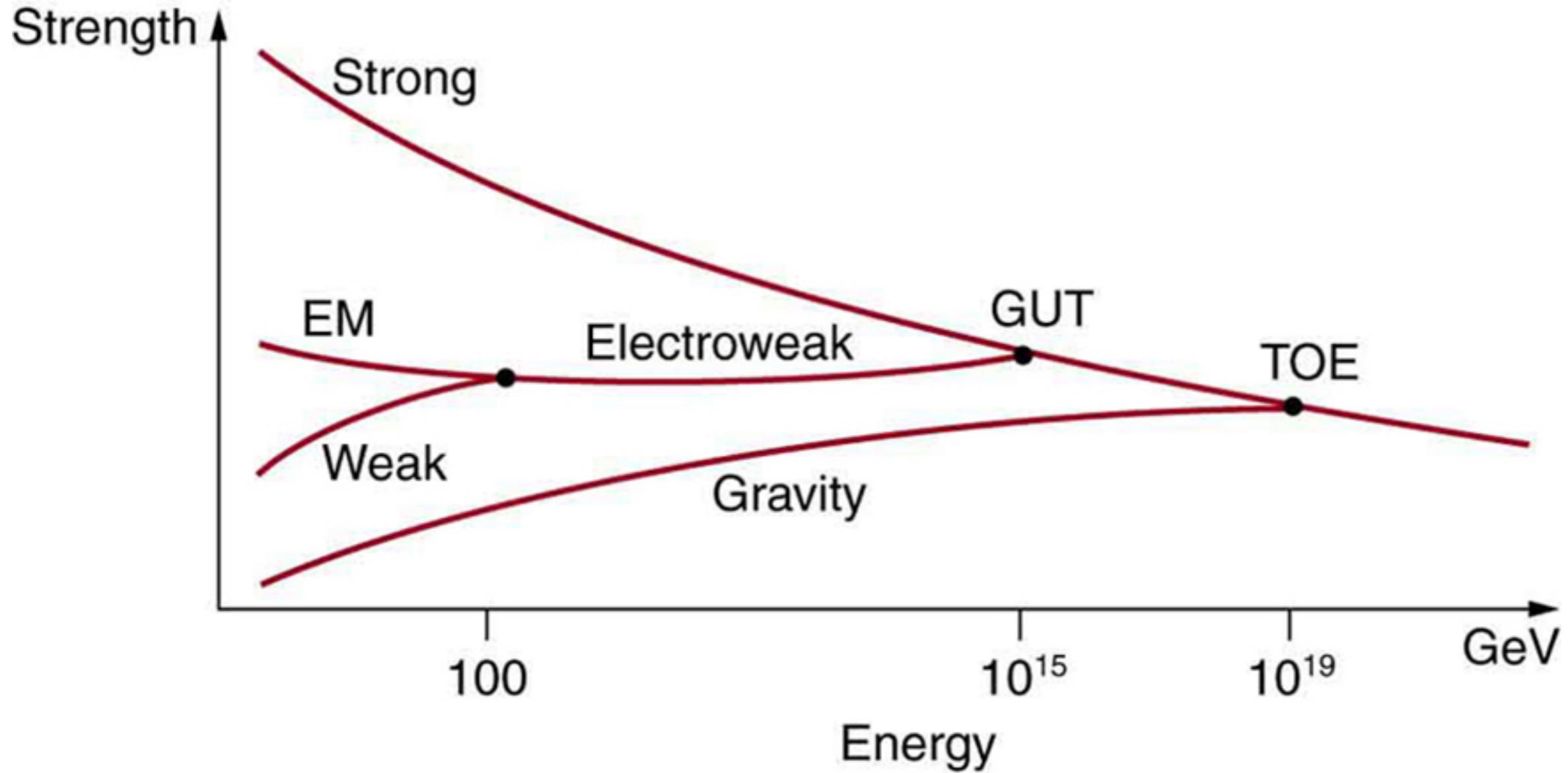
Vereinheitlichte Beschreibung

Obschon die vier Grundkräfte sehr unterschiedlich sind in ihrer Stärke, Reichweite und Wirkung, strebt die theoretische Physik eine vereinheitlichte Beschreibung an.

Wie bereits Schwerkraft und Himmelsmechanik beide als Gravitationsphänomene erkannt wurden, so sind auch elektrische und magnetische Phänomene im Elektromagnetismus zusammengefasst.

Es ist sogar möglich, die schwache Kraft mit der elektromagnetischen zur "elektroschwachen Kraft" zu vereinigen.

Vereinheitlichte Beschreibung



Vereinheitlichte Beschreibung

Glashow



Salam



Weinberg



Nobelpreis 1979

elektromagnetische Kraft

schwache Kernkraft

starke Kernkraft

Quantenfeldtheorien,
Eichtheorien

Standardmodell der
Teilchenphysik

Sehr präzise Voraussagen (13
Nachkommastellen)

Aber: 19 gemessene Parameter
als Input (z.B. Teilchenmassen).

Vereinheitlichte Beschreibung

Theoretische Physik strebt eine weitere Vereinheitlichung aller vier Grundkräfte an:

“Theory of Everything”

Standardmodell der
Teilchenphysik

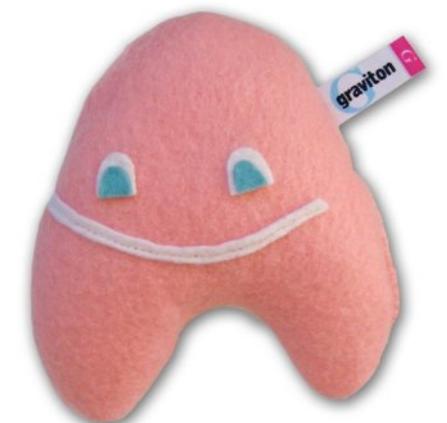


allg. Relativitätstheorie

klassische Theorie

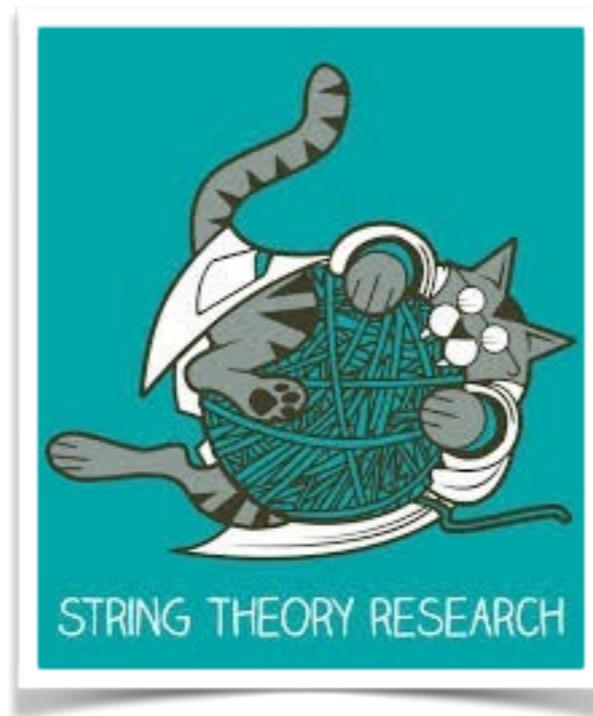
Quantengravitation??

Trägerteilchen: Graviton



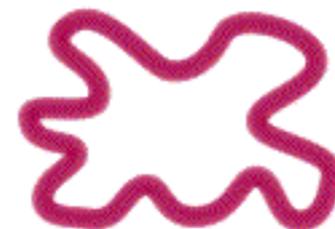
Wie geht es weiter?

Möglicher Lösungsansatz: String Theorie.



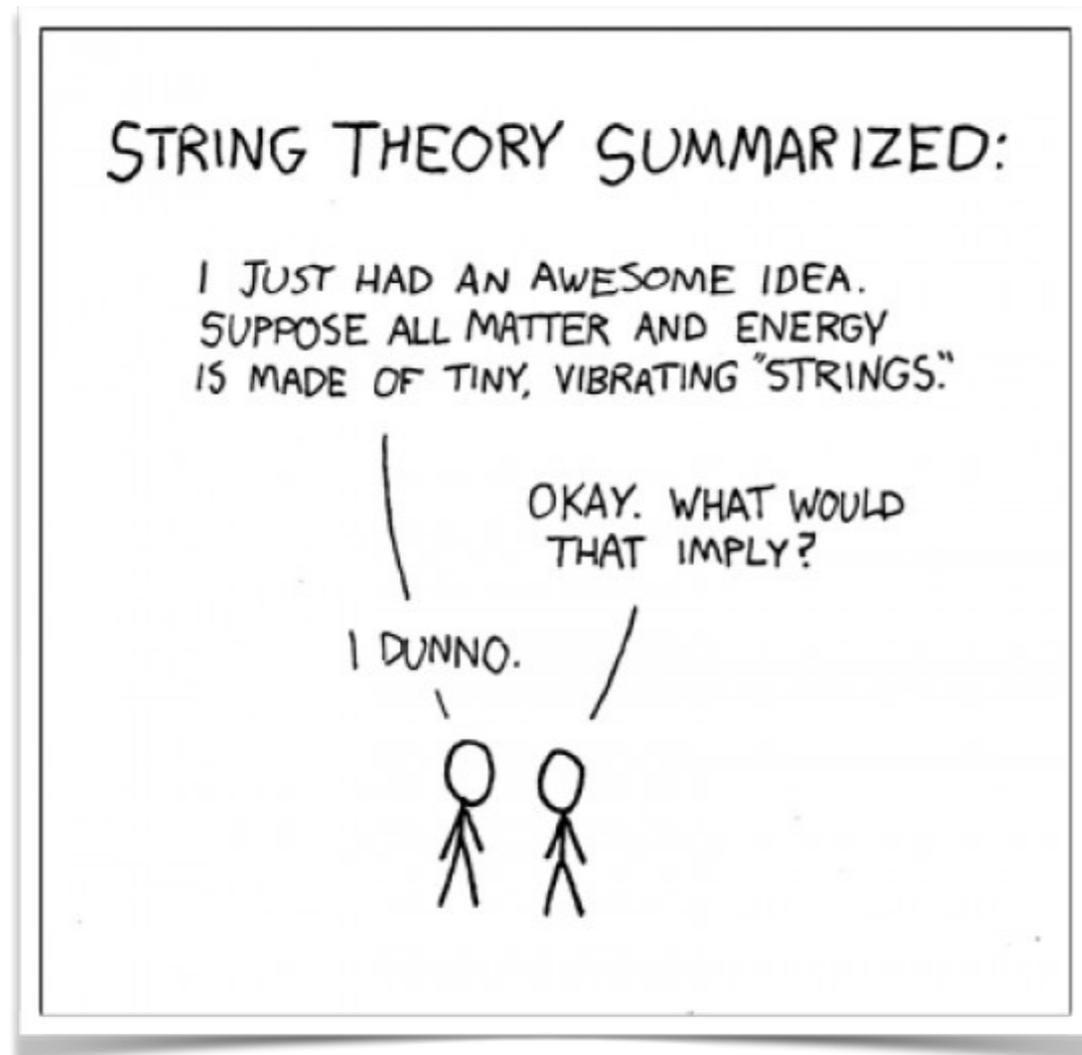
Idee: punktförmige Elementarteilchen werden durch in einer Dimension ausgedehnte Objekte ersetzt: Strings.

Punktteilchen



String

String Theorie



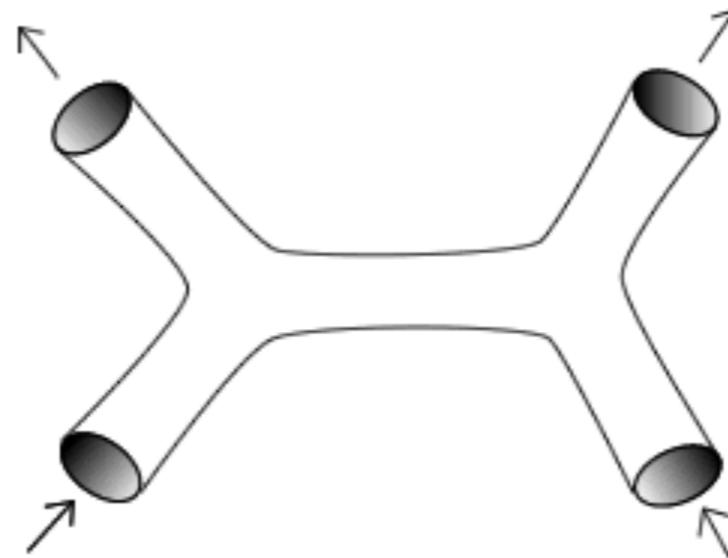
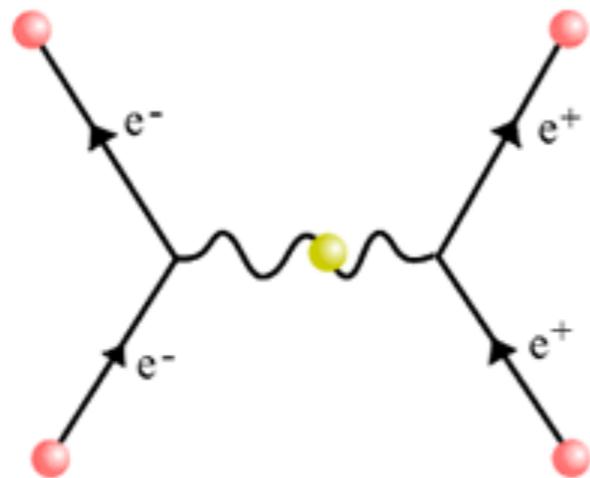
Diese einfache Idee hat vielerlei Konsequenzen.

Verschiedene Teilchen entsprechen verschiedenen String-Vibrationen.

Vorteil: Das Graviton (Spin-2 Trägerteilchen der Quantengravitation) erscheint auf natürliche Weise mit den anderen Teilchen.

String Theorie

Vorteil: keine Singularitäten bei der Berechnung der Wechselwirkungen

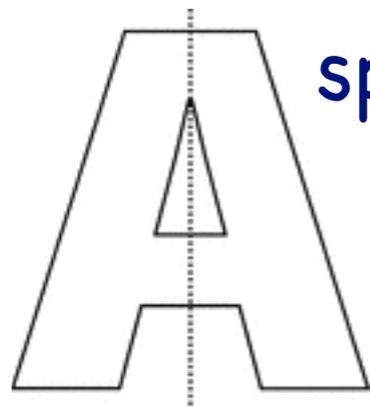


Die String Theorie ist supersymmetrisch ("Superstring Theorie")

Was ist denn nun Supersymmetrie?

String Theorie

Wir kennen Symmetrien aus dem täglichen Leben:



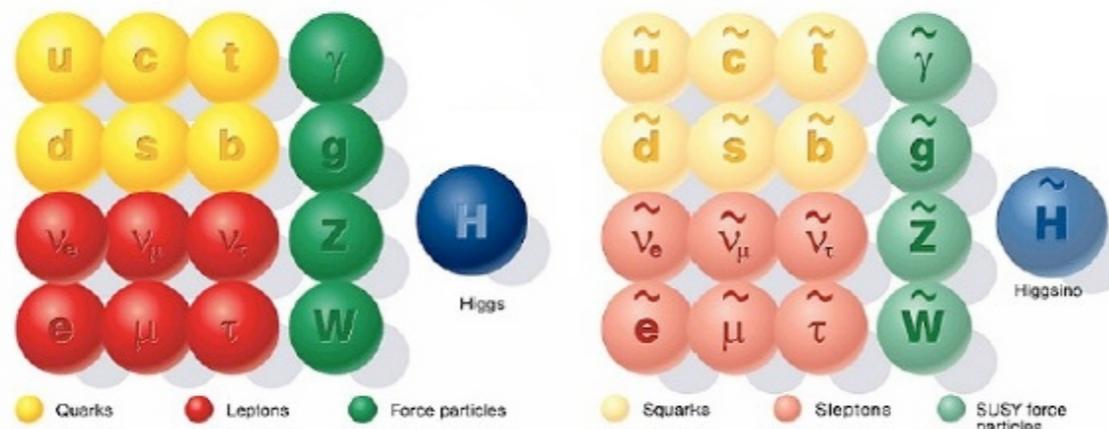
spiegelsymmetrisch



rotationssymmetrisch

Die Supersymmetrie ist abstrakter Natur, sie verbindet verschiedene Teilchenarten (Fermionen und Bosonen).

SUPERSYMMETRY



Standard particles

SUSY particles

Jedes Teilchen hat einen "Superpartner".

String Theorie

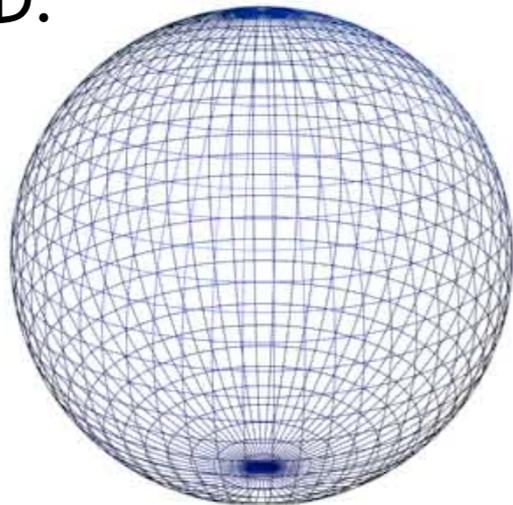
Und: Theorie hat 10 Dimensionen!

Unsere physikalische Realität hat aber nur 3 räumliche Dimensionen plus die Zeit (also eine 4-dimensionale Raumzeit).

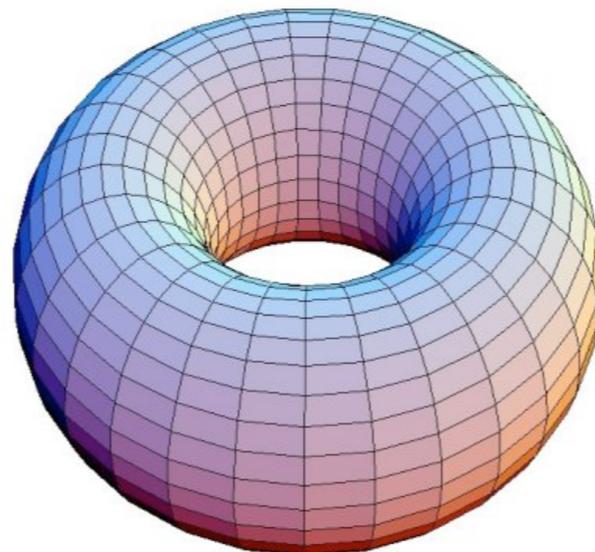
Wo sind die restlichen 6 Dimensionen der String Theorie??

Möglichkeit: sie sind kompaktifiziert (klein "aufgerollt")

2D:

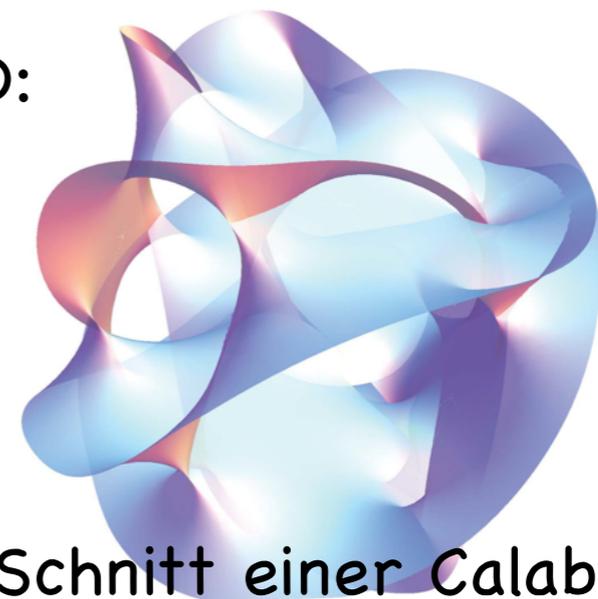


Sphäre



Torus

6D:

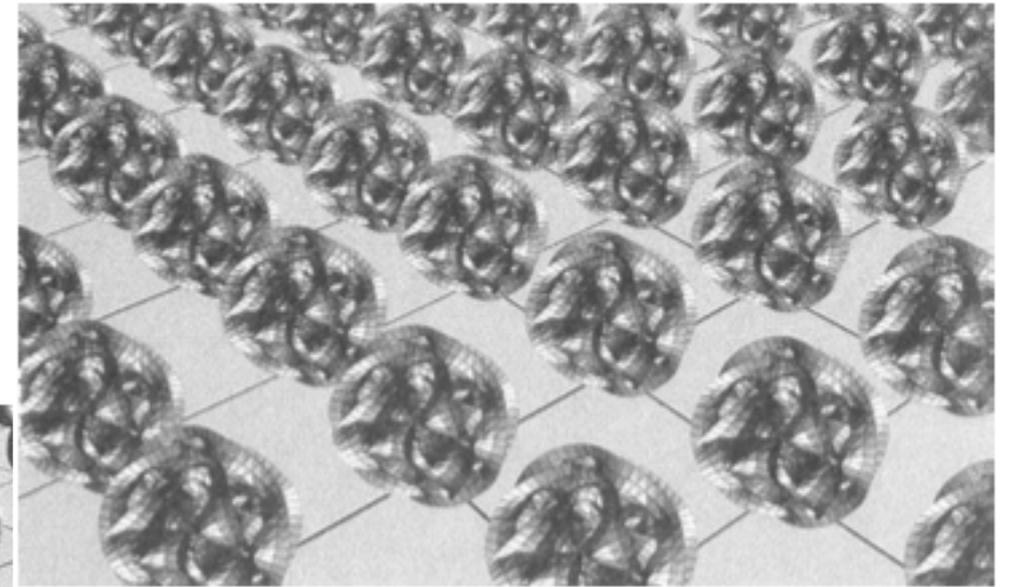
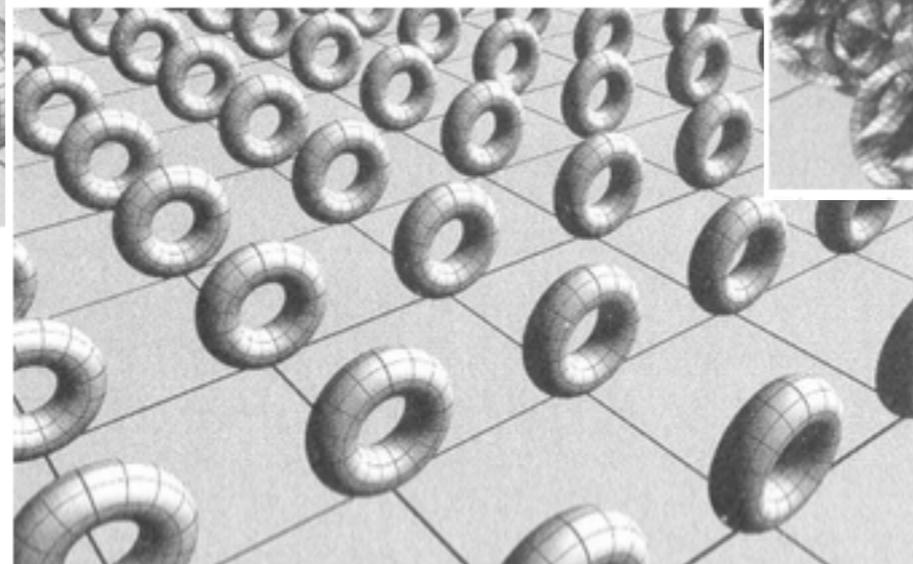
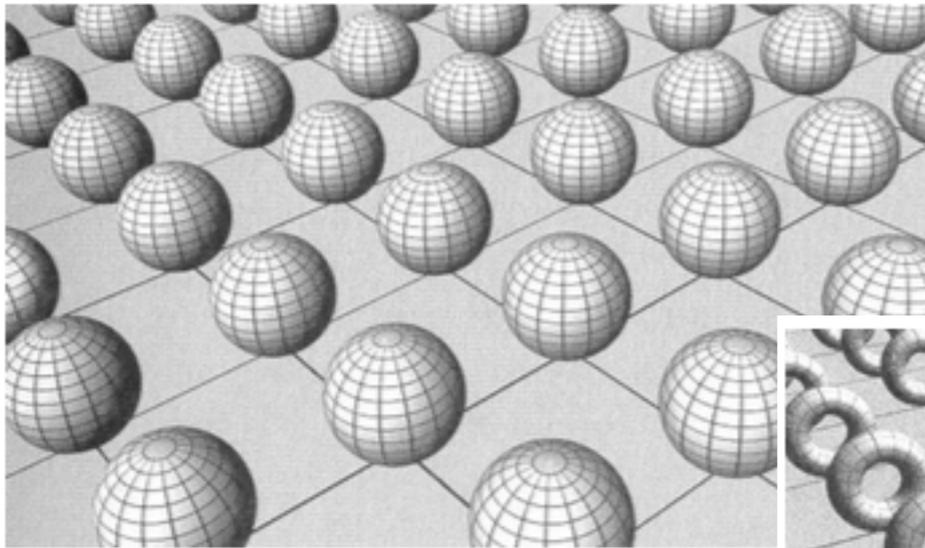


Schnitt einer Calabi-Yau Mannigfaltigkeit

String Theorie

Wie kann man sich so etwas vorstellen?

Jeder Punkt im Raum enthält auch einen kleinen, kompakten 6-dimensionalen Raum, der aber so klein ist, dass wir ihn nicht "sehen" können.



String Theorie

Die geometrischen Eigenschaften der Kompaktifizierung bestimmen die Naturkonstanten in der resultierenden physikalischen Theorie.

Jede Lösung der String Theorie beschreibt ein eigenes Universum mit bestimmten physikalischen Eigenschaften.

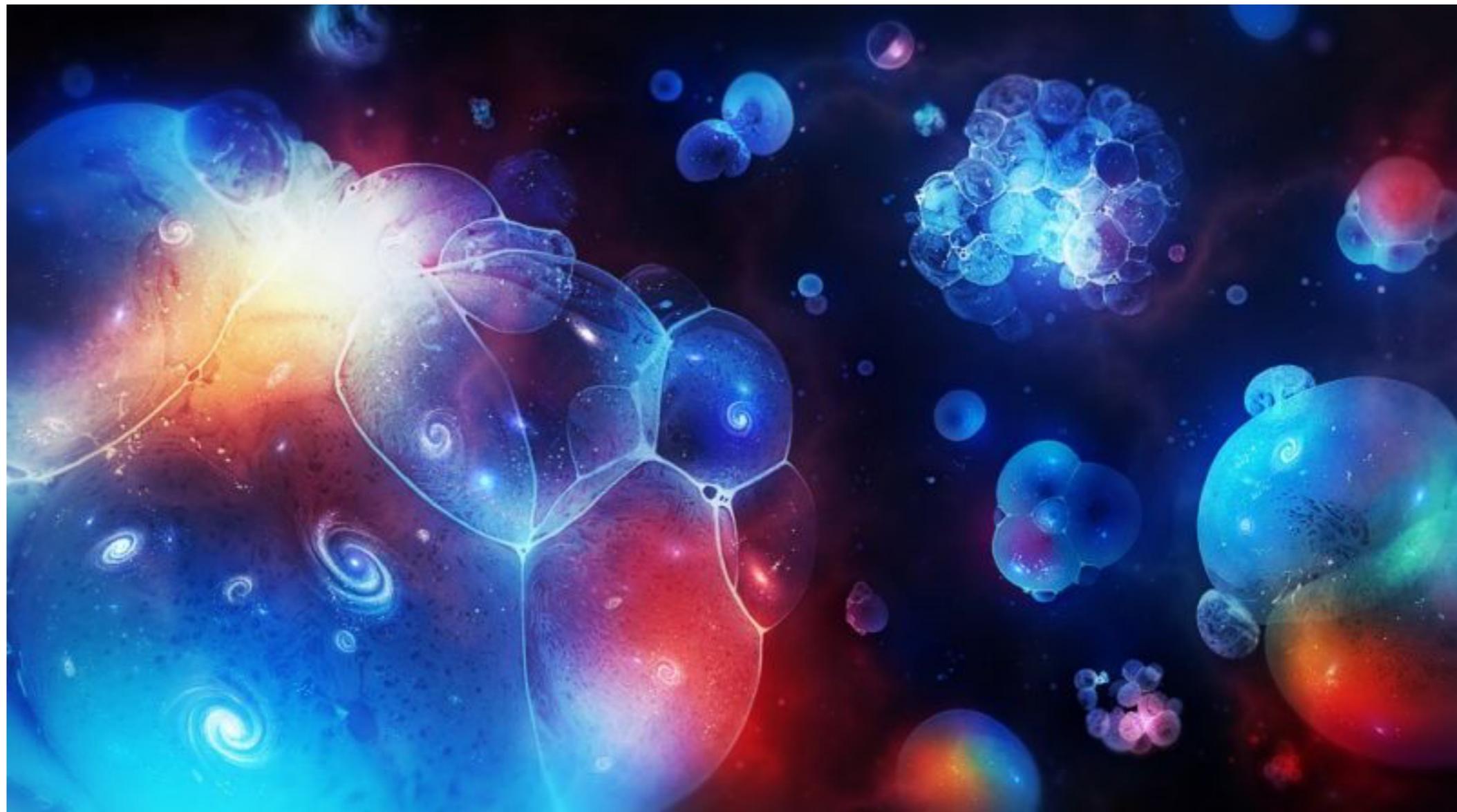
Gibt es eine Lösung mit genau den gleichen Parametern wie unser Universum?

Wir haben sie noch nicht gefunden.

String Theorie

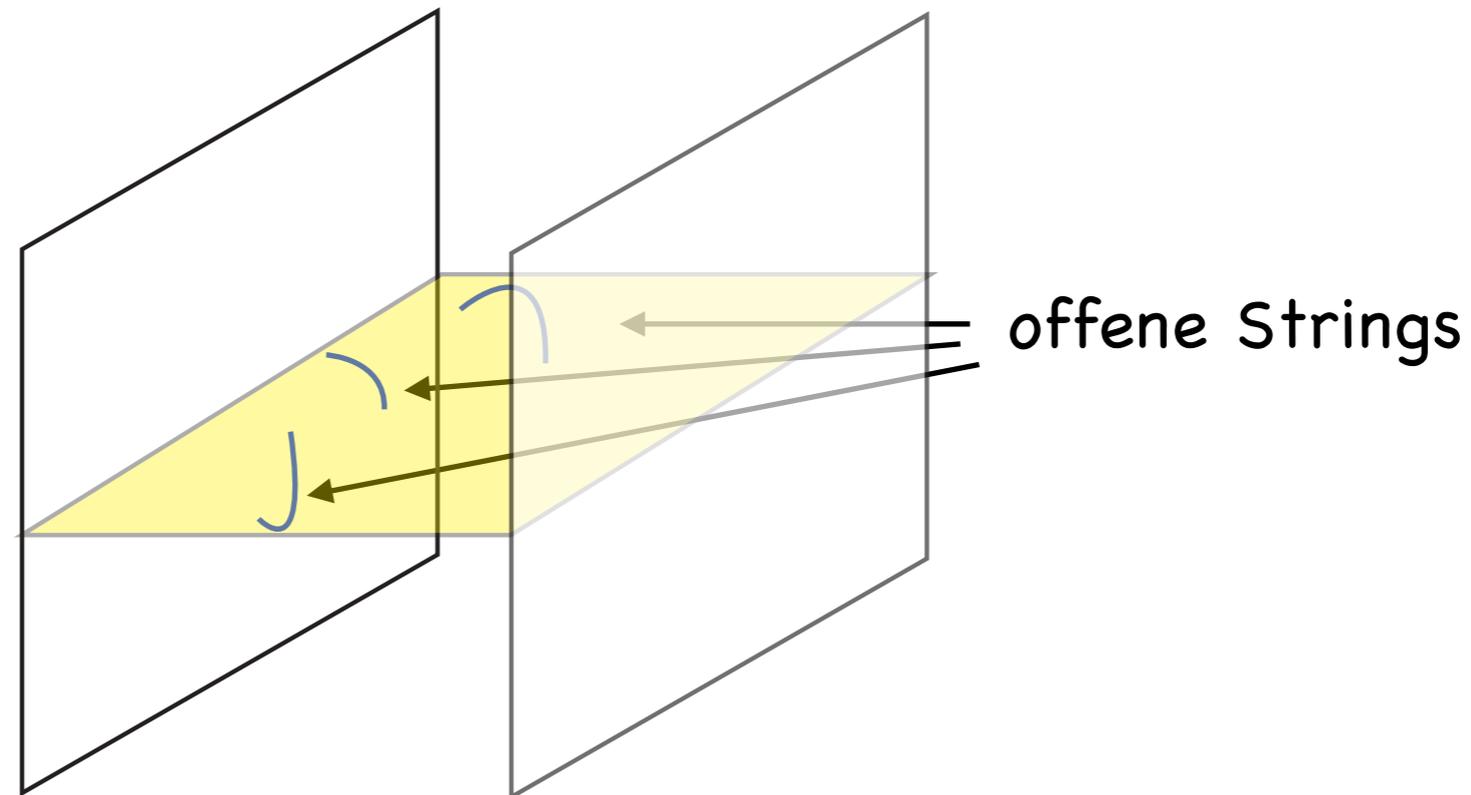
Es gibt extrem viele Möglichkeiten (ca. 10^{500}). Es ist sehr wahrscheinlich, dass eine davon unserem Universum entspricht.

“Multiversum”



String Theorie

Andere Möglichkeit: Wir leben auf einer 4-dimensionalen "Brane" (Membrane)



Die Anregungen der Brane werden durch eine Eichtheorie beschrieben.

Ist die String Theorie experimentell überprüfbar?

Die Physik ist eine experimentelle Wissenschaft.

Jede gute physikalische Theorie muss experimentell widerlegbar sein.

Im Prinzip gibt es keinen Grund, warum das auf die String Theorie nicht zutreffen sollte.

In der Praxis sind experimentelle Test aber nicht machbar:

Die Energien, bei denen sich Strings messbar von Punktteilchen unterscheiden, sind nicht erreichbar.

Zum Vergleich: LHC: 13 TeV (10^{12} eV). Strings sichtbar bei ca. 10^{28} eV.

Ist die String Theorie trotzdem eine brauchbare Theorie?

Kritiker sagen, die String Theorie sei nicht relevant für die physikalische Beschreibung unseres Universums.

“Nicht einmal falsch.”

Warum beschäftigen sich dann immer noch viele theoretische Physiker mit der String Theorie?

Einerseits: Mangel an Alternativen auf der Suche einer vereinheitlichten Theorie der Grundkräfte.

Andererseits: Die String Theorie stellt ein sehr nützliches Werkzeug zum Studium der Grundkräfte dar.

Die String Theorie als Werkzeug

Es gibt noch viele Dinge, die wir über die Quantenfeldtheorien im Standardmodell nicht verstehen. Theoretische Physiker beschäftigen sich mit sogenannten "Toy Models":



Diese Modelle beschreiben nicht die eigentliche physikalische Theorie, die unser Universum beschreibt, haben aber ähnliche Eigenschaften.

Da sie einfacher sind, als die komplette Theorie, lassen sich Probleme lösen, die sonst nicht behandelbar sind.

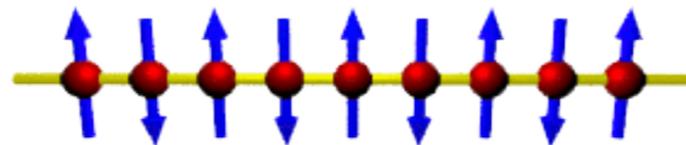
Die String Theorie als Werkzeug

Hoffnung: Die im Studium des Toy Models gewonnenen Einsichten lassen sich zu komplizierteren Systemen verallgemeinern.

Beispiel: Magnet



Toy Model: Spins in einer Dimension (Spinkette)



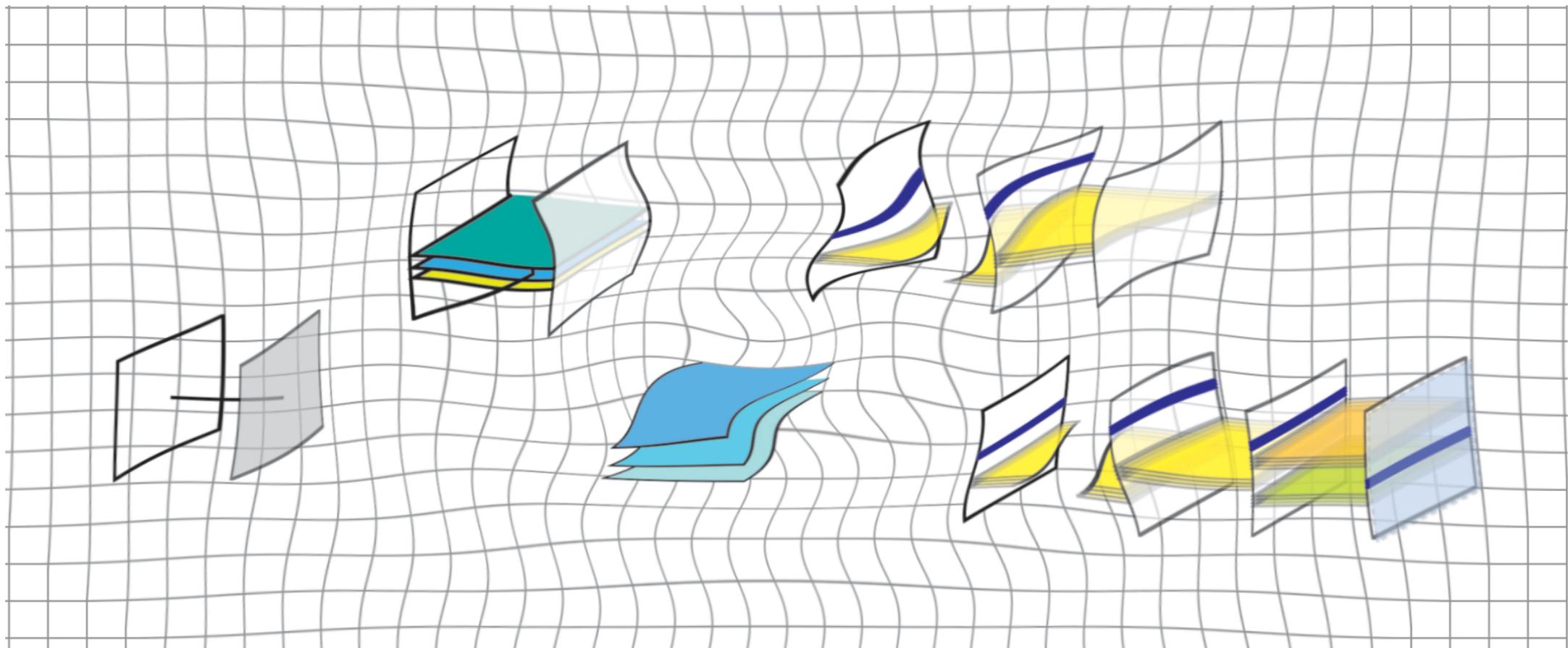
Dieses vereinfachte System ist lösbar ("integrabel").

Im Rahmen der String Theorie lassen sich viele interessante Fragestellungen diskutieren.

Die String Theorie als Werkzeug

Beispiel aus meiner eigenen Forschung:

Studium von Deformationen in Eichtheorien mittels Konstruktionen mit Branen in der String Theorie.



Beschreibt die String Theorie nun unser Universum?

Vielleicht. Die experimentelle Bestätigung steht aus und wird womöglich für immer ausstehen.

Aber: Die String Theorie ist eine mathematische Struktur, die zum Studium von Quantenfeldtheorien extrem gut geeignet ist.

Innerhalb der String Theorie lassen sich z.B. Eichtheorien erforschen, oft sogar auf bessere Art als mit den Methoden der reinen Feldtheorie.

In diesem Sinne beschreibt sie durchaus unsere physikalische Realität und wird weiter verwendet werden, wenn auch eher als Forschungsinstrument.

Beschreibt die String Theorie nun unser Universum?

Zusammenfassend:

Ist die String Theorie die Theory of Everything die unser Universum beschreibt?

Vielleicht.

Können wir von der String Theorie als Forschungsgebiet wertvolle Einsichten gewinnen, die schliesslich zu einem besseren Verständnis der Grundkräfte führen?

Auf jeden Fall.

Vielen Dank!

