

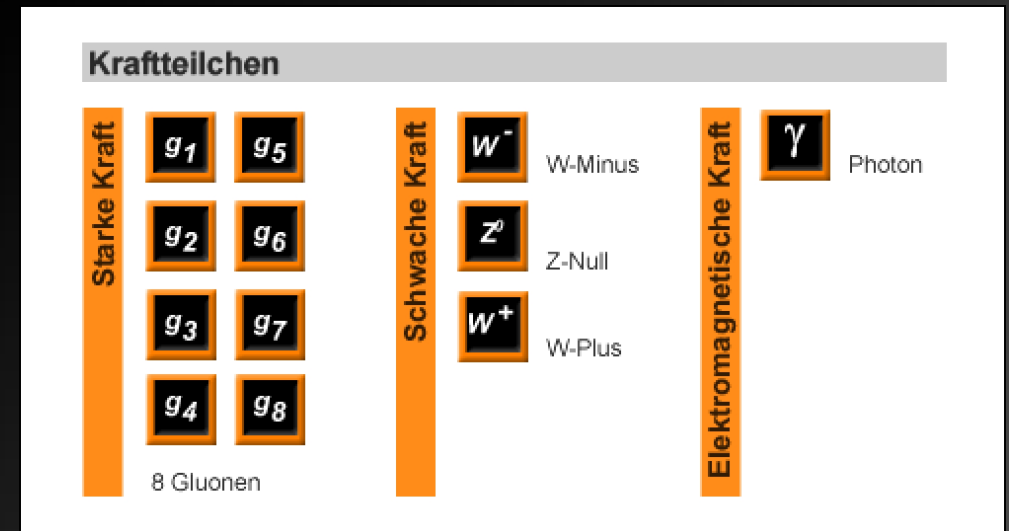
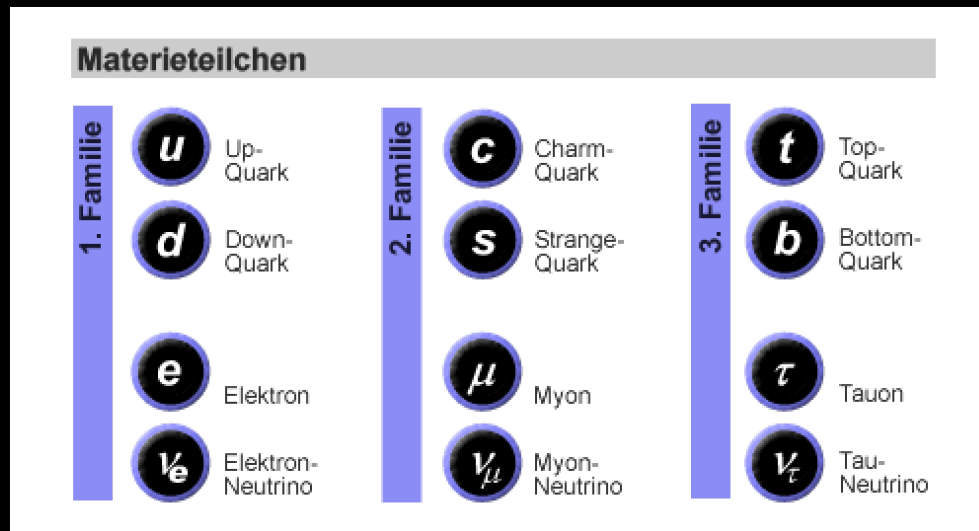
Offene Fragen: ein Ausblick auf die Physik jenseits des Standardmodells

Heinrich Päs

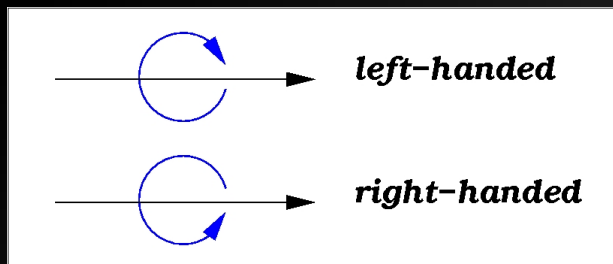


Masterclasses 2008, TU Dortmund

Das Standardmodell



Kommen in zwei Helizitäten/Chiralitäten vor:



Chiralität: Lorentz-invariante Verallgemeinerung

Elektromagnetismus: alle geladenen Teilchen

Starke Kraft: alle Quarks

Schwache Kraft: alle linkshändigen Teilchen

Offene Fragen der Teilchenphysik

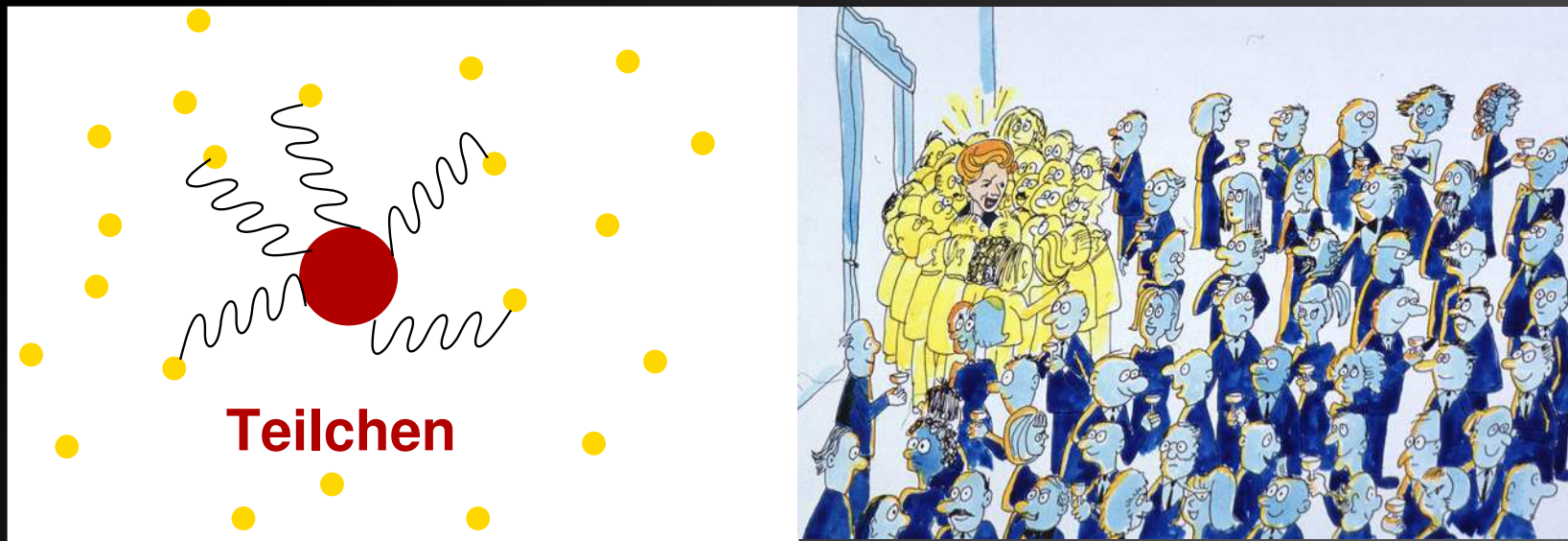
- Die mathematische Beschreibung der bekannten drei Generationen von Quarks und Leptonen inklusive der Kraftaustauschteilchen und des Higgs-Bosons heißt **Standardmodell**.
- Das Standardmodell der Teilchenphysik ist die **erfolgreichste Theorie in der Naturwissenschaft**, sie beschreibt alle bekannten Bausteine der Materie und sagt Eigenschaften von Elementarteilchen **auf 9 Stellen hinter dem Komma genau** vorher!
- Aber: Das Standardmodell enthält noch **viele ungeklärte Probleme und Fragen**. Die meisten Physiker glauben deshalb, dass es eine **noch umfassendere Theorie** gibt, die das Standardmodell näherungsweise enthält.

Offene Fragen der Teilchenphysik

- Was ist der **Ursprung von Masse**?
- Woraus besteht die **dunkle Materie** im Universum?
- Warum gibt es genau drei Generationen von Quarks und Leptonen?
- Wie lassen sich die verschiedenen Kräfte in einer **vereinheitlichten Theorie** beschreiben?
- Wie lässt sich die Schwerkraft in diese Theorie einbauen?
- Gibt es zusätzliche **verborgene Dimensionen** der Raumzeit?
- Warum besteht das Universum aus **Materie** und nicht aus Materie und **Antimaterie** zu gleichen Teilen?

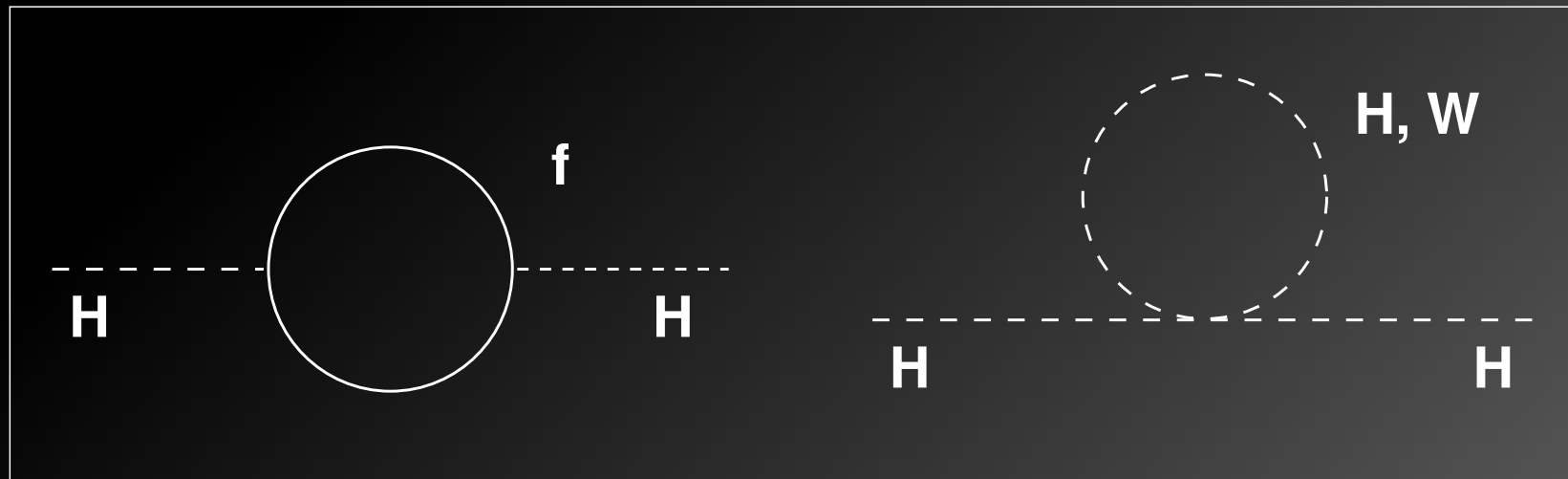
Die Massenerzeugung und das Higgs-Boson

- Die Symmetrie des Standardmodells erfordert eigentlich, dass **alle Teilchen masselos** sind!
- Diese Problem lässt sich lösen, dass man annimmt dass das **Vakuum nicht leer** ist, sondern - als das Universum nach dem Urknall langsam abgekühlt ist - sich ein **Kondensat aus sogenannten Higgs-Teilchen** gebildet hat.
- Teilchen **erhalten dann eine "scheinbare Masse", indem sie sich an diesem Kondensat reiben**



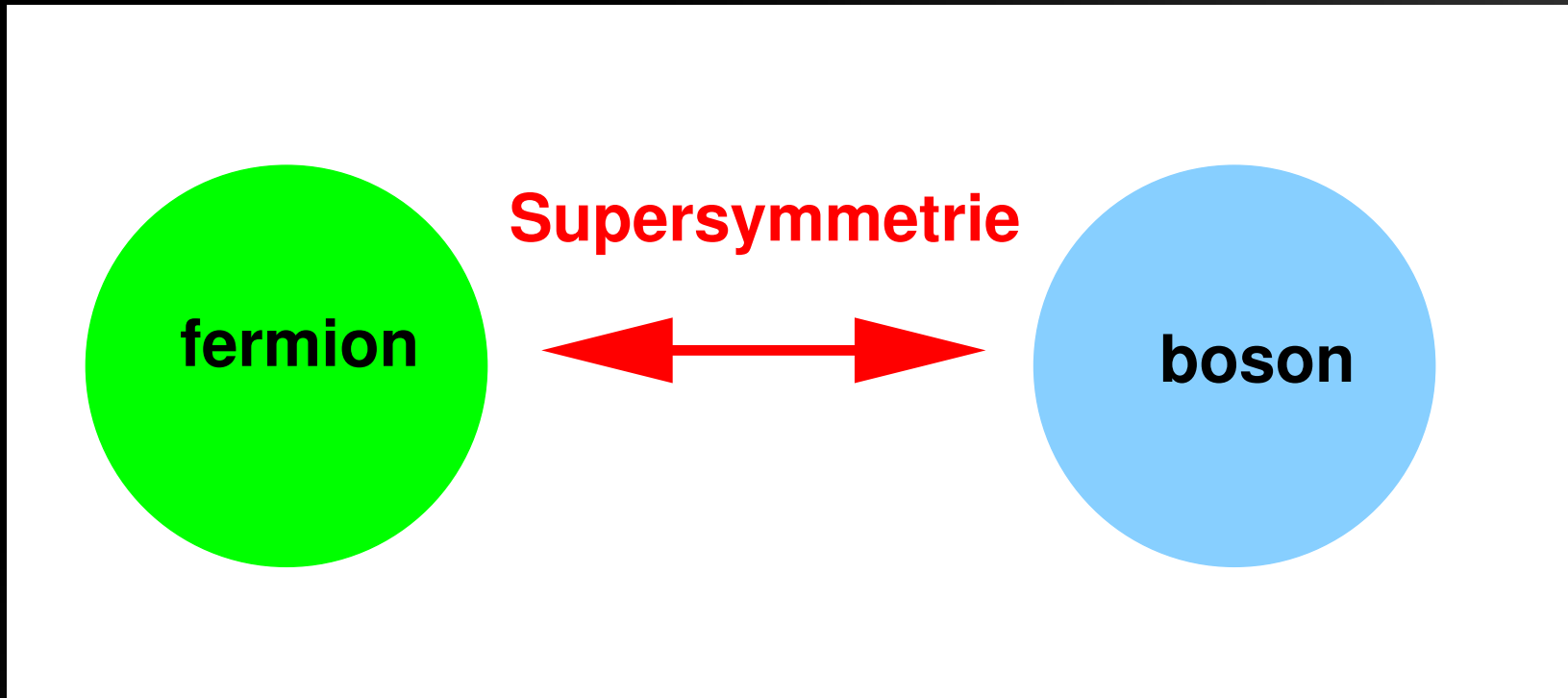
Supersymmetrie

- Aber: virtuelle Quanteneffekte, die das Higgsboson kurzfristig in andere Teilchen verwandeln machen das Higgs viel zu schwer
- Beobachtung: Fermionen und Bosonen tragen mit unterschiedlichem Vorzeichen zur Higgsmasse bei.



Supersymmetrie

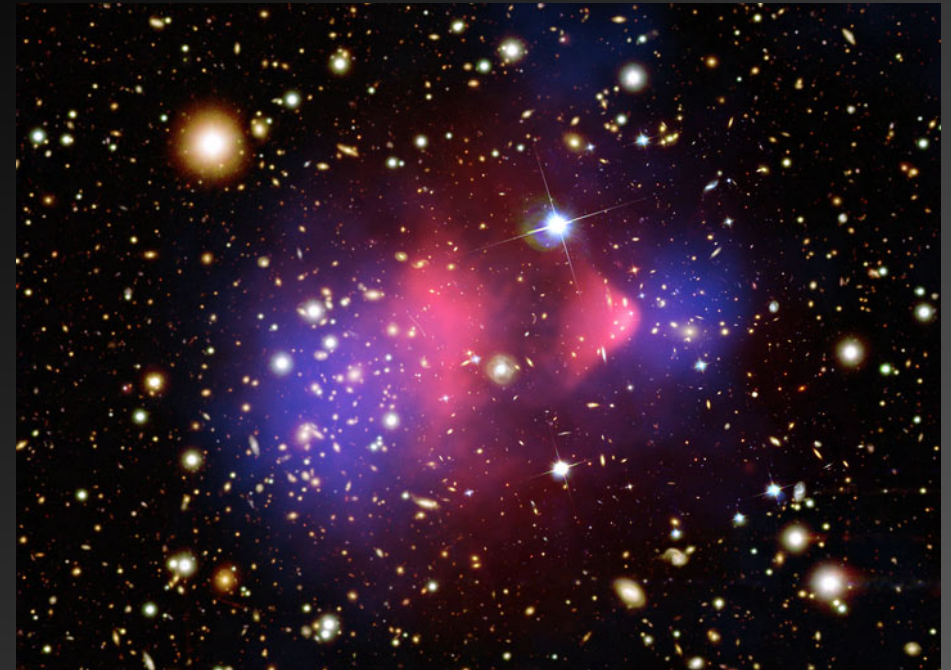
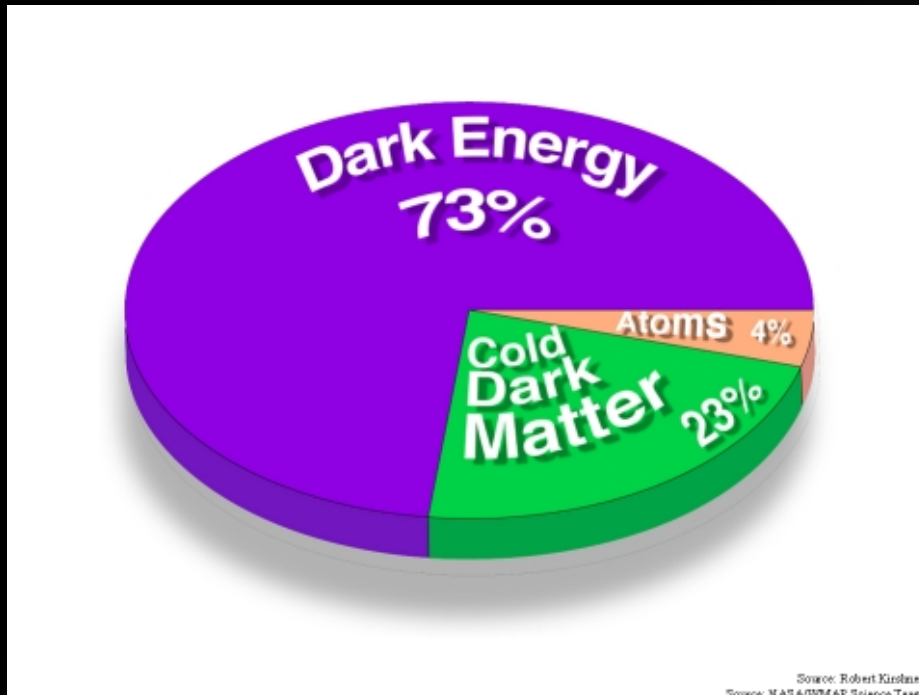
- Idee: Es gibt eine Symmetrie, die sogenannte “Supersymmetrie”, sodass jedes Boson ein (bisher unbekanntes) fermionisches Partnerteilchen hat und umgekehrt.



- Folgerung: Kräfte und Teilchen wären durch eine Symmetrie verbunden!
Die neuen SUSY-Teilchen sollten sich am LHC finden lassen!

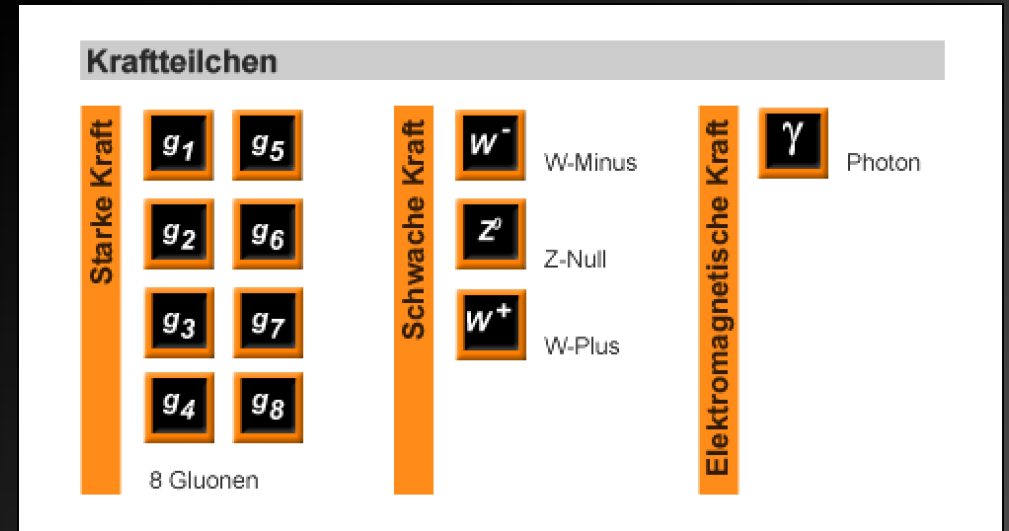
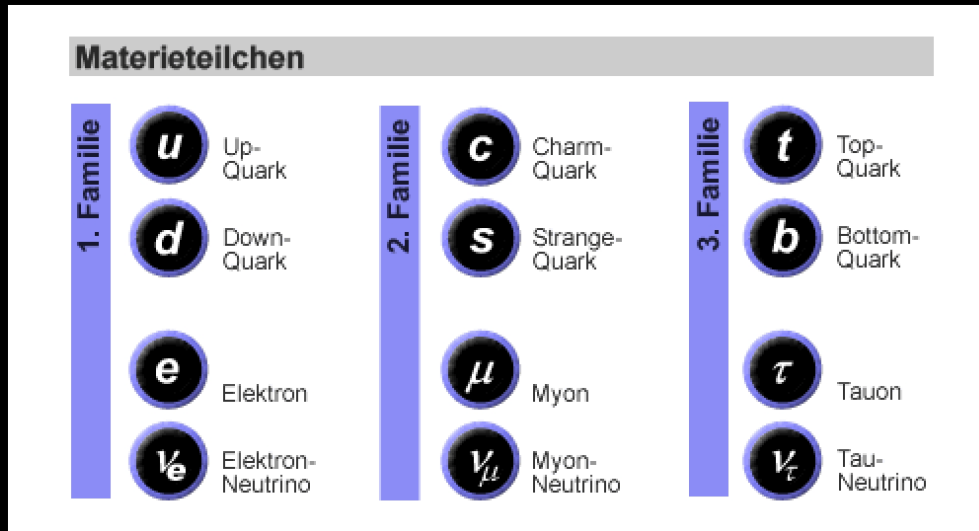
Supersymmetrie und dunkle Materie

- Die neuen Teilchen könnten die rätselhafte **dunkle Materie** sein, die im Universum beobachtet wird:

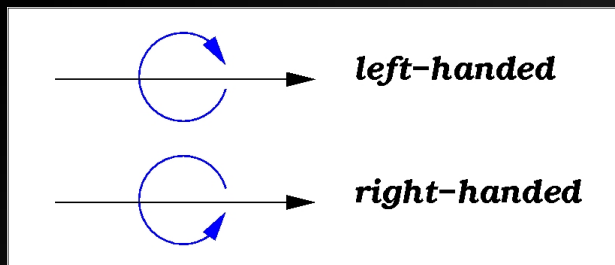


- Nur 4% des Universums besteht aus bekannter Materie!
96 % sind noch unbekannt!

Das Teilchenspektrum des Standardmodells



Kommen in zwei **Helizitäten/Chiralitäten** vor:



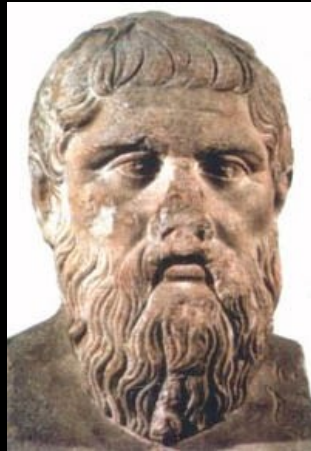
Chiralität: Lorentz-invariante Verallgemeinerung

Elektromagnetismus: alle **geladenen** Teilchen

Starke Kraft: alle **Quarks**

Schwache Kraft: alle **linkshändigen** Teilchen

Vereinheitlichung als Ziel der Teilchenphysik



Platon - *Τίμαιος*: "Da nämlich die Elemente Wasser, Feuer, Erde und Luft ineinander übergehen können, so ist es unsinnig anzunehmen, daß sie wirklich sind, vielmehr ist ein Urstoff, der nur in einer seiner Beschaffenheiten eines der Urelemente ist"

- (Linkshändige) Neutrinos und Elektronen werden durch die schwache Wechselwirkung ineinander überführt.
- (Linkshändige) Neutrinos und Elektronen verhalten sich hinsichtlich der schwachen Wechselwirkung gleich, sind austauschbar.
- Analogie: Teilchen mit zwei Spin-Zuständen (Spin-Dublett) Heisenberg 1932

- "Zwei Seiten einer Medaille"



⇒ Neutrinos und Elektronen sind zwei Zustände eines "Isospin-Dubletts"

Grand Unification

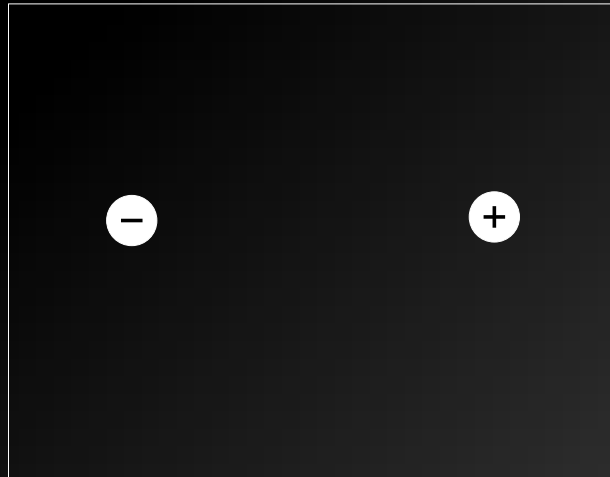
Vision jenseits des Standard Modells: Alle elementaren Fermionen als 16 Seiten einer Medaille?

$$\begin{array}{ccccccc} \nu_L & d_g^c & d_r^c & d_b^c & u_g & u_b & u_r & e^+ \\ e^- & u_g^c & u_r^c & u_b^c & d_g & d_r & d_g & \nu_L^c \end{array}$$

Georgi, Glashow 1974; Fritzsche, Minkowski 1975

Grand Unification

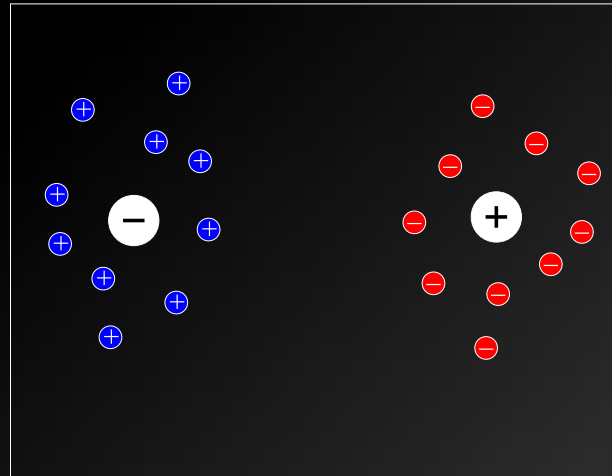
Vereinigung der Kräfte bei hohen Energien



Parity- und CP-Verletzung beeinflusst Kraftwirkung einer Ladung
Kraftwirkung Energieabhängig!

Grand Unification

Vereinigung der Kräfte bei hohen Energien



Vakuumpolarisation beeinflusst Kraftwirkung einer Ladung
⇒ Kraftwirkung Energieabhängig!

Grand Unification

Standard Model

Quarks

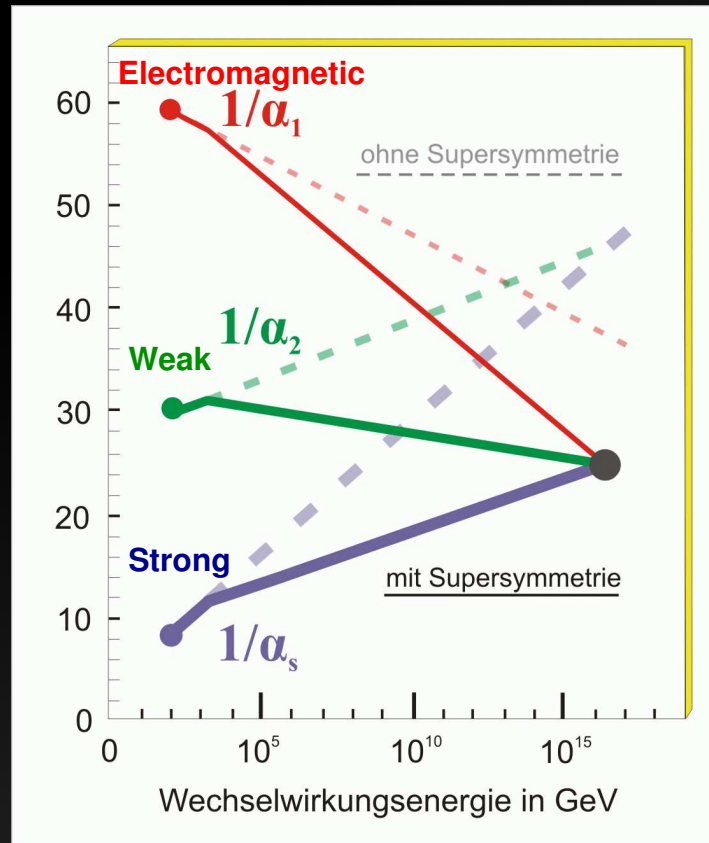
$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}_L, \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}_L, \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}_L$$

$$u_R, d_R, c_R, s_R, t_R, b_R$$

Leptons

$$e_R, \mu_R, \tau_R$$

$$\begin{pmatrix} \nu \\ e \end{pmatrix}_L, \begin{pmatrix} \nu \\ \mu \end{pmatrix}_L, \begin{pmatrix} \nu \\ \tau \end{pmatrix}_L$$



Grand Unification

Standard Model

Quarks

$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}_L, \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}_L, \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}_L$$

$$u_R, d_R, c_R, s_R, t_R, b_R$$

Leptons

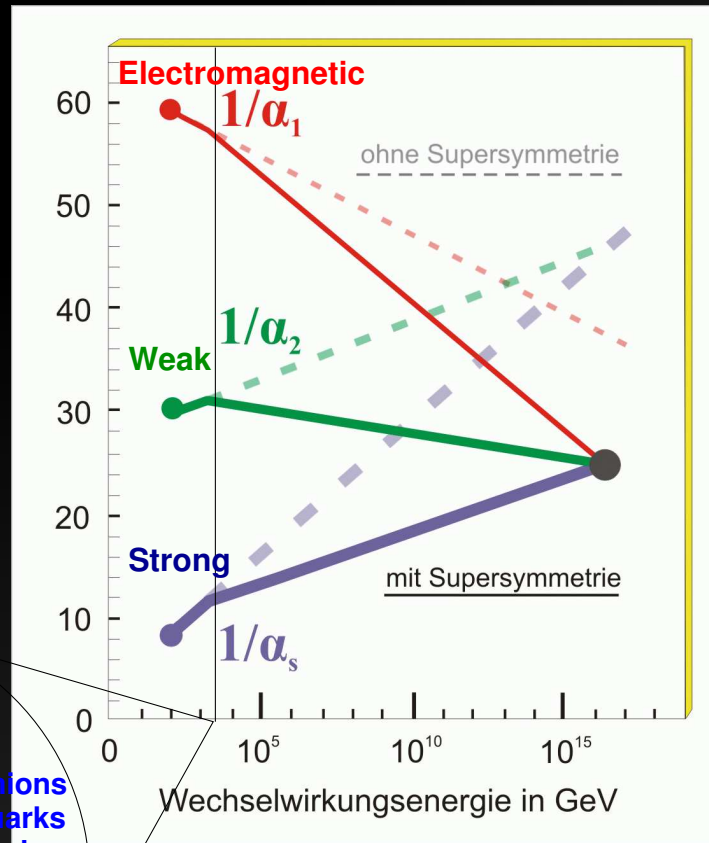
$$e_R, \mu_R, \tau_R$$

$$\begin{pmatrix} e \\ \nu \end{pmatrix}_L, \begin{pmatrix} \mu \\ \nu \end{pmatrix}_L, \begin{pmatrix} \tau \\ \nu \end{pmatrix}_L$$

Supersymmetry

symmetry: bosons \leftrightarrow fermions
 quarks \leftrightarrow (scalar) squarks
 leptons \leftrightarrow (scalar) sleptons
 bosons \leftrightarrow (s=1/2) bosinos

benefits: coupling unification
 cancels divergencies
 dark matter candidate
 necessary for gravity



Grand Unification

Standard Model

Quarks

$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}_L, \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}_L, \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}_L$$

$$u_R, d_R, c_R, s_R, t_R, b_R$$

Leptons

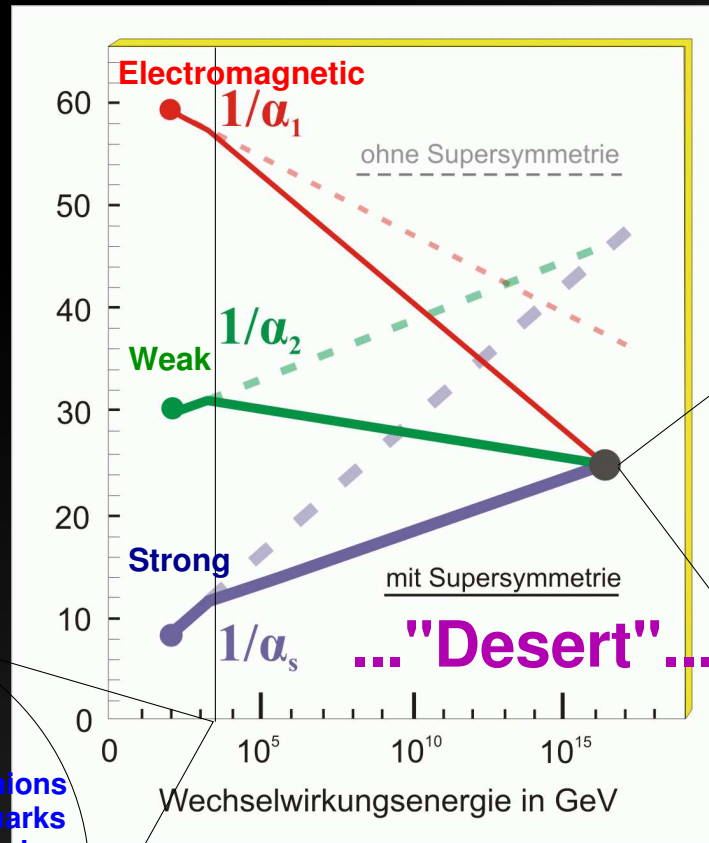
$$e_R, \mu_R, \tau_R$$

$$\begin{pmatrix} e \\ \nu \end{pmatrix}_L, \begin{pmatrix} \mu \\ \nu \end{pmatrix}_L, \begin{pmatrix} \tau \\ \nu \end{pmatrix}_L$$

Supersymmetry

symmetry: bosons \leftrightarrow fermions
 quarks \leftrightarrow (scalar) squarks
 leptons \leftrightarrow (scalar) sleptons
 bosons \leftrightarrow (s=1/2) bosinos

benefits: coupling unification
 cancels divergencies
 dark matter candidate
 necessary for gravity



Grand Unified Theory

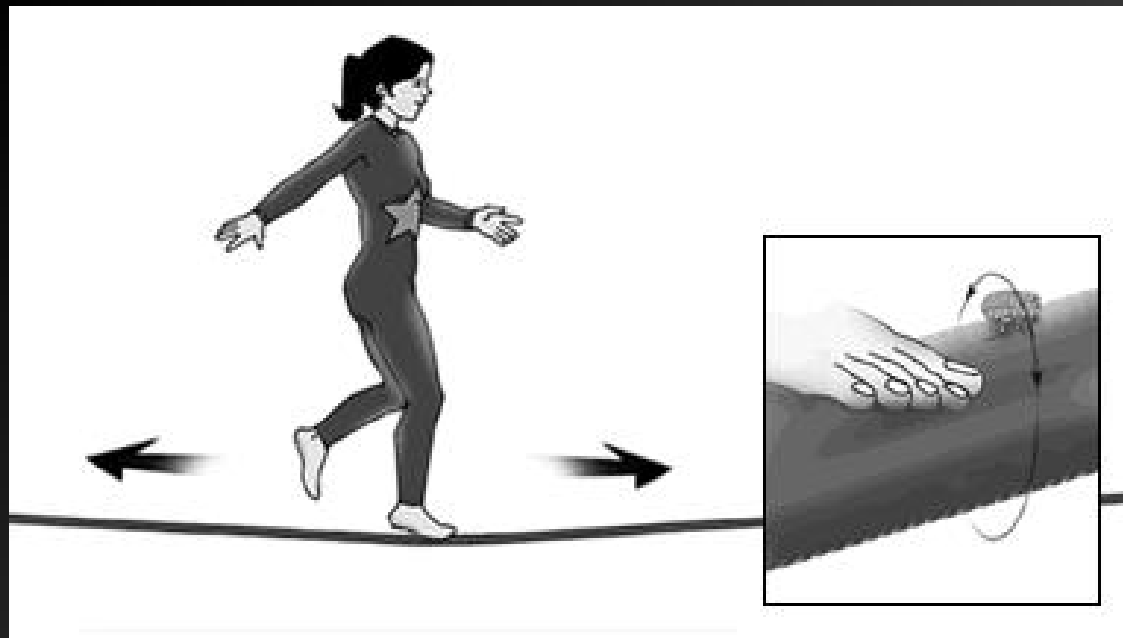
quarks and leptons in the same multiplet

Unification of forces

Right handed neutrinos?

Grand Unification

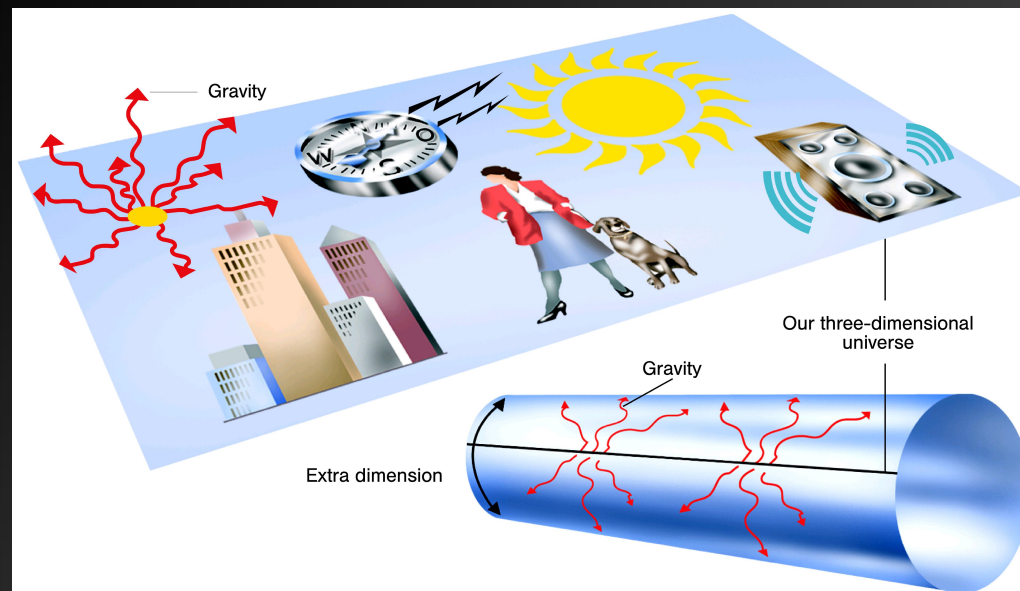
- GUTs erlauben es, die starke, schwache und elektromagnetische Kraft miteinander zu vereinigen, aber **was ist mit der Gravitation?**
- Bisher gibt es hierfür **keine zufriedenstellende Theorie**, aber erste Versuche wie die Stringtheorie enthalten **zusätzliche Dimensionen der Raumzeit!**
- Diese zusätzlichen Dimensionen können deswegen unsichtbar sein, weil sie **ganz klein aufgerollt** sind!



- **Nur bei hohen Energien kann man die kleinen extra Dimensionen sehen!**

Grand Unification

- Die Gravitation ist viel schwächer als die anderen Kräfte: Ein kleiner Magnet kann die Gravitation der ganzen Erde überwinden und ein Stück Eisen anheben!
- Zusätzliche Dimensionen könnten erklären, warum die Gravitation soviel schwächer ist als die anderen Kräfte: die Gravitation könnte in die anderen Dimensionen lecken. Dann würde, wenn man eine Energie erreicht, die groß genug ist, um zusätzliche Dimensionen zu “sehen”, die Gravitation plötzlich stark werden.

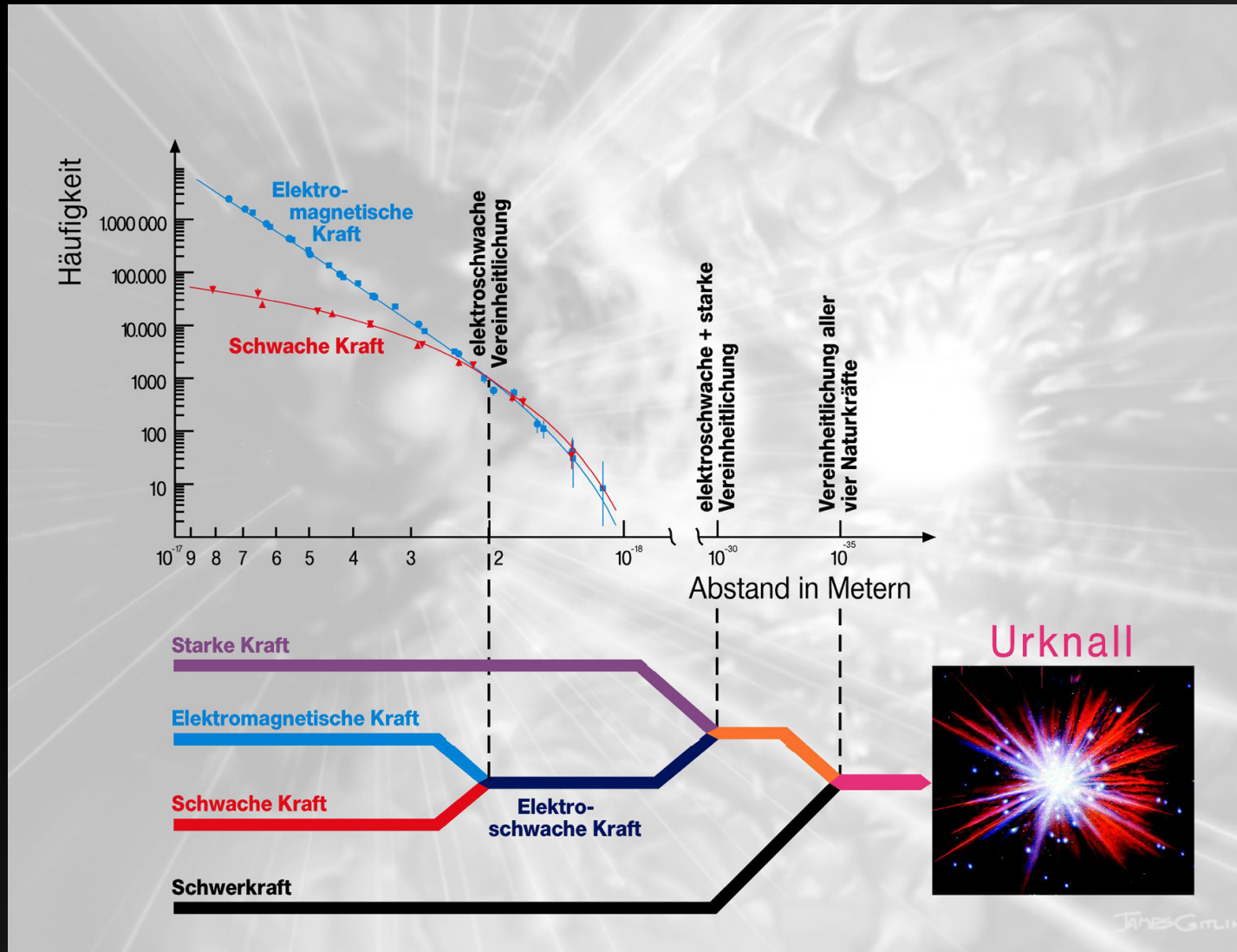


Grand Unification

- Wenn bei höheren Energien die Gravitation plötzlich stark wird, könnte man schwarze Löcher am LHC erzeugen!
- Schwarze Löcher sind Objekte, deren Gravitation so stark ist dass nicht einmal Licht entweichen kann und auf ihrem Rand die Zeit still steht.



Vereinigung der Naturkräfte

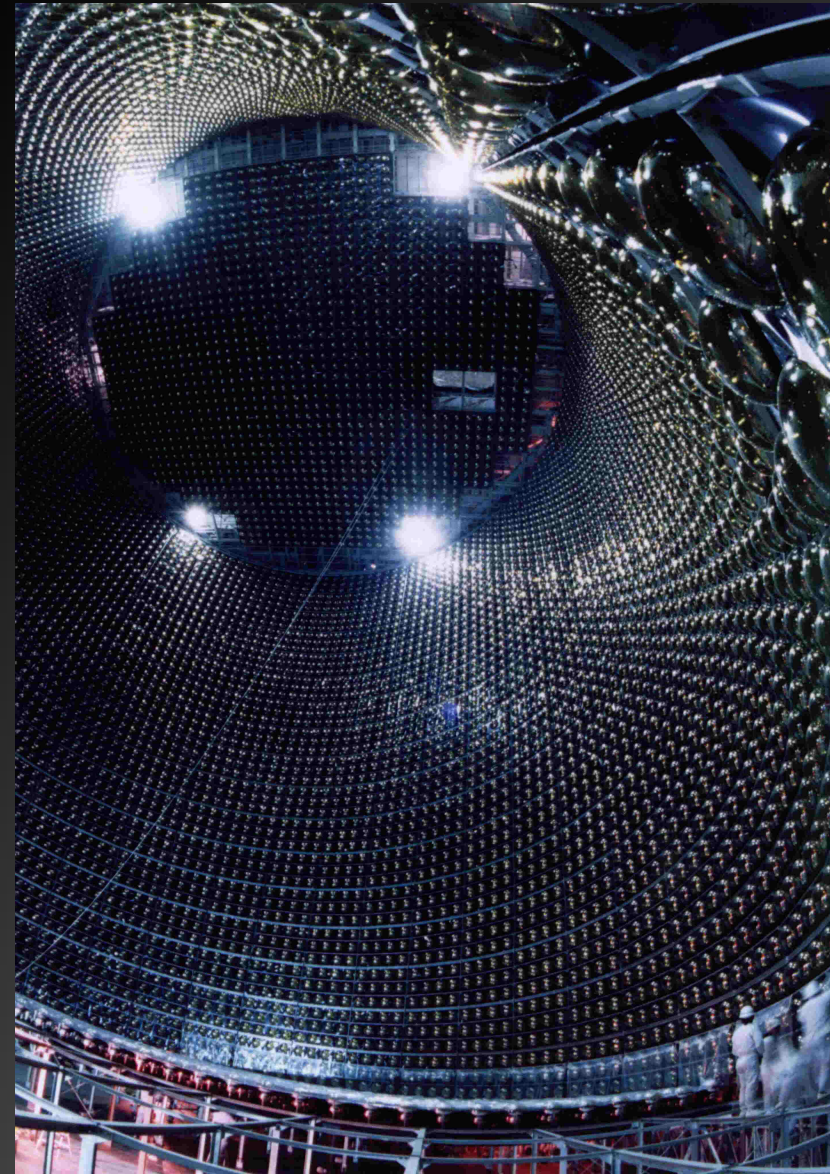
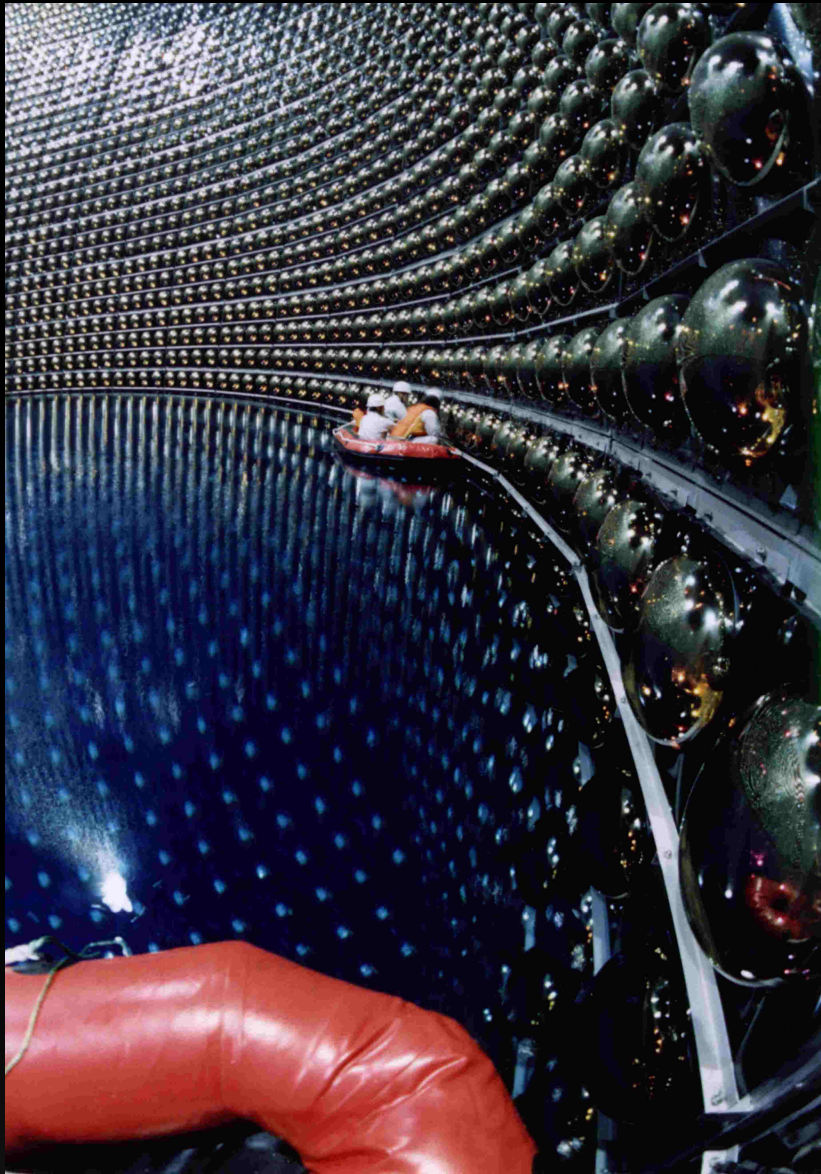


Test der GUT-Skala erfordert
Beschleuniger
mit einer BILLION km Umfang!

WIE ERHÄLT MAN
INFORMATIONEN ÜBER PHYSIK
AN DER GUT SKALA?

Neutrinos als Boten der GUT-Physik

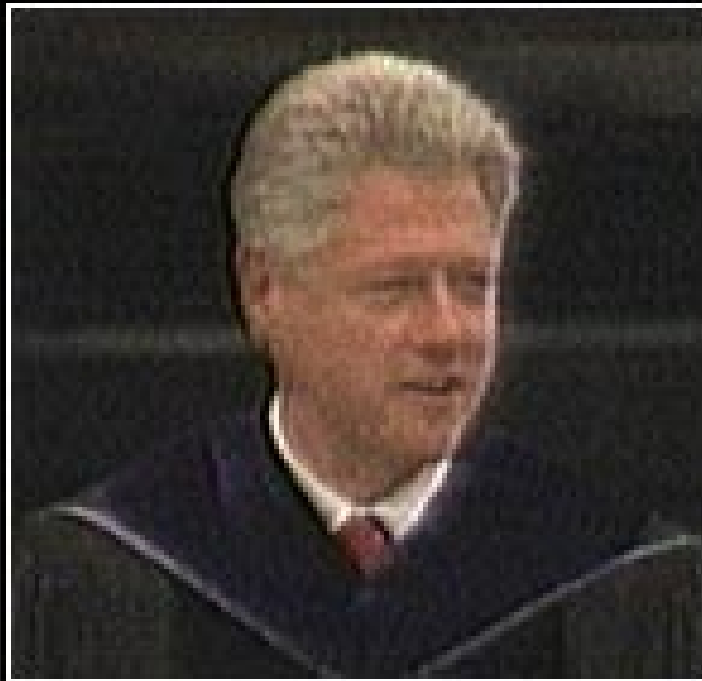
In den vergangenen 10 Jahren haben wir gelernt dass Neutrinos Massen besitzen:



Neutrinos als Boten der GUT-Physik

US Präsident Bill Clinton, 1998:

Just yesterday in Japan, physicists announced a discovery that tiny neutrinos have mass. Now, that may not mean much to most Americans, but it may change our most fundamental theories - from the nature of the smallest subatomic particles to how the universe itself works, and indeed how it expands.



President Clinton addresses the graduating class at MIT

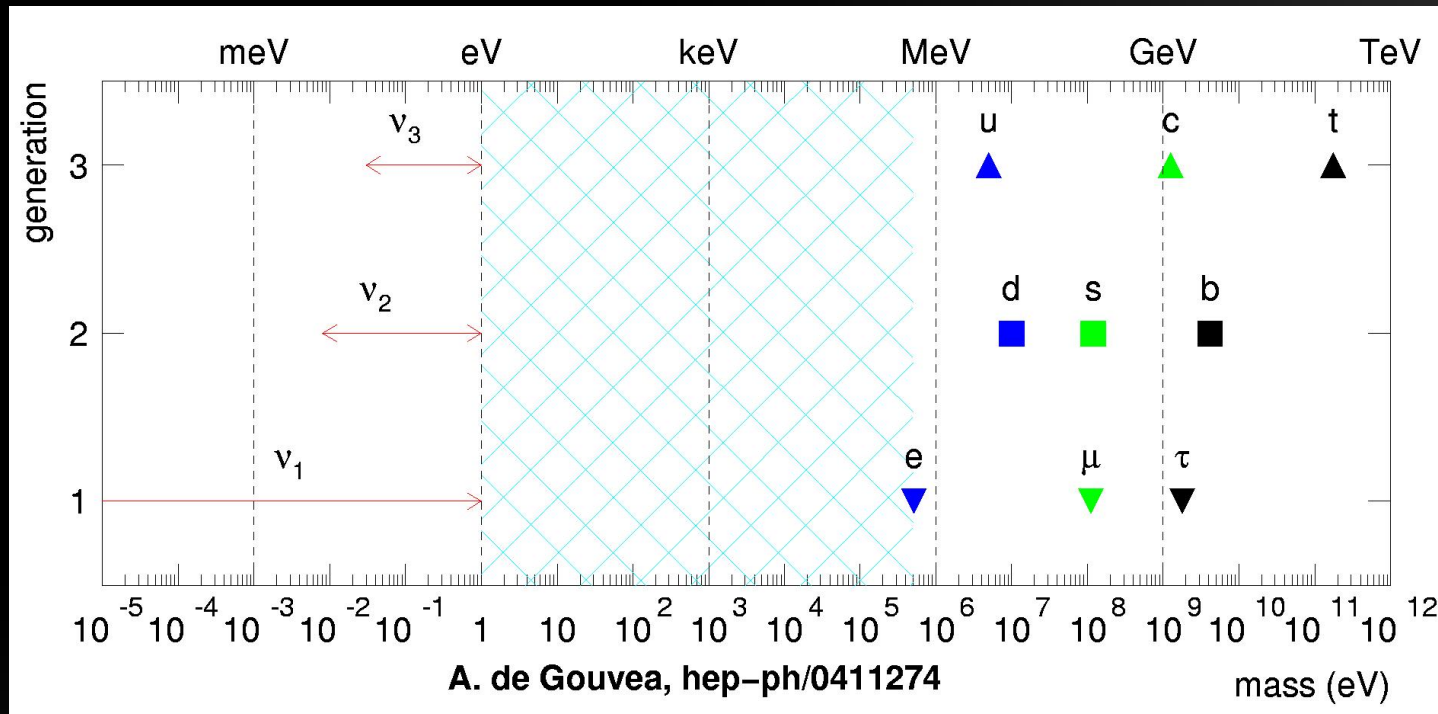
Neutrinos als Boten der GUT-Physik



New Scientist Titel: 4. August 2007

Die Sonderrolle des Neutrino

Was macht das Neutrino so **speziell**?



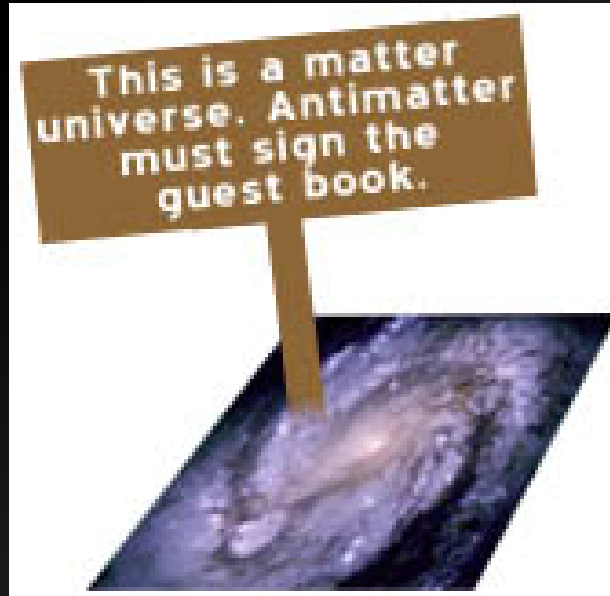
- Neutrinos sind **viel leichter** als anderen elementaren Fermionen
- Neutrinos sind die einzigen **neutralen** Teilchen unter den elementaren Fermionen

Besteht zwischen diesen Eigenschaften ein **Zusammenhang**?

Neutrinos können ihre eigenen Antiteilchen sein und deswegen eine kleinere Masse besitzen!!

Neutrinos und die Materie-Antimaterie-Asymmetrie

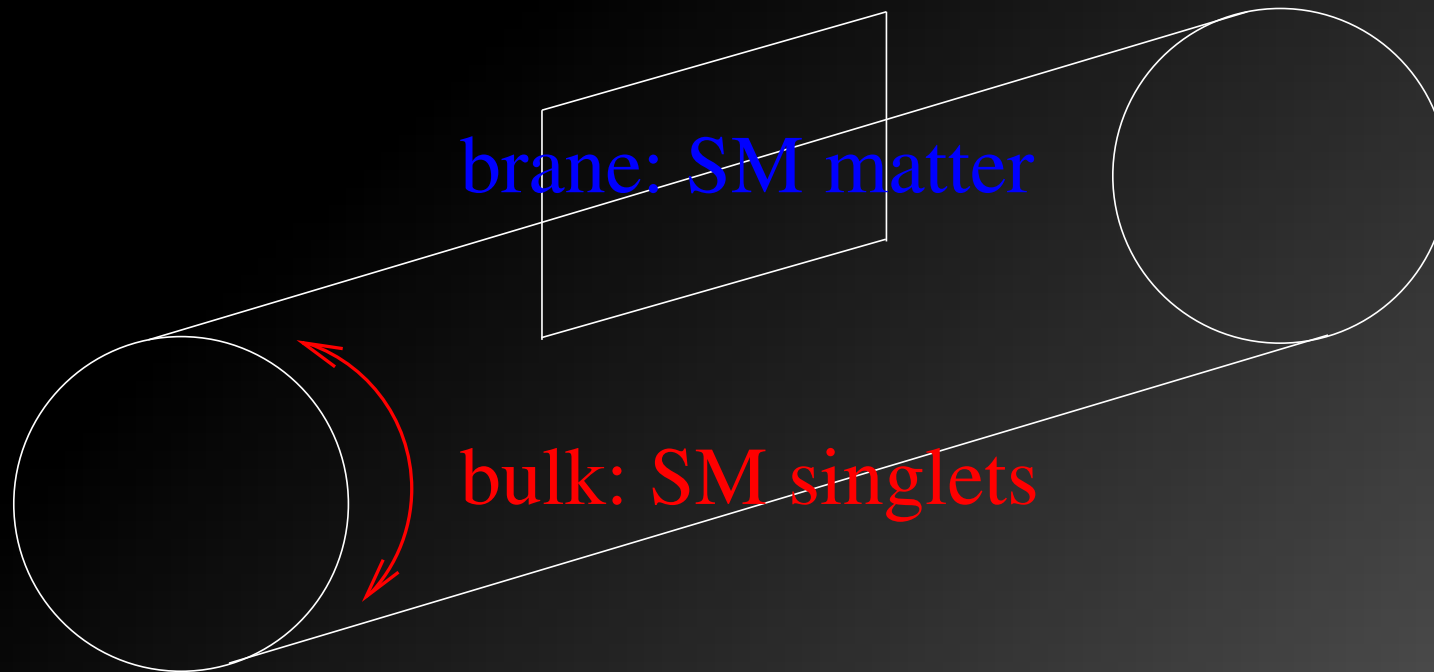
- Neutrinos könnten dafür verantwortlich sein, dass das Universum nur Materie enthält anstatt Materie und Antimaterie zu gleichen Teilen!



- Für eine solche Erklärung muss es eine Möglichkeit geben, Materie in Antimaterie zu verwandeln
- Neutrinos, die ihre eigenen Antiteilchen sind, könnten diesen Prozess auslösen!
- Wenn Teilchen und Antiteilchen verschiedene Eigenschaften haben können Neutrinos sich stärker in Materie als in Antimaterie verwandeln

Neutrinos in extra dimensions

Andererseits könnten Neutrinomassen auch klein sein, weil sie sich teilweise in **zusätzlichen Dimensionen aufhalten**:



→ Neutrinos verraten uns etwas über die **Struktur von zusätzlichen Dimensionen!**

Neutrino-Zeitreisen?

Wenn Neutrinos in extra Dimensionen reisen...

Können sie schneller als Licht sein?

Können sie in der Zeit zurückreisen?

Neutrinozeitmaschinen?



New Scientist Titel: 20. Mai 2006

Zusammenfassung

Wir leben in aufregenden Zeiten!

Der LHC wird suchen nach:

- dem Higgs-Boson als **Ursprung der Masse** (AG Gößling)
- Supersymmetrischen Teilchen als **dunkle Materie im Universum** (AG Gößling und AG Hiller)
- **Extra Dimensionen** und schwarzen Mini-Löchern (AG Gößling)

Neutrinomassen wurden erst vor 10 Jahren gefunden!

Sie könnten Aufschluss geben über

- Eigenschaften einer **Grand Unified Theorie**, die alle Teilchen und Kräfte vereinigt, und den **Ursprung der Materie-Anti-Materie-Symmetrie** (AG Päs, AG Hiller und AG Spaan)
- Extra Dimensionen und vielleicht sogar die **Möglichkeit von Zeitreisen** (AG Päs)

→ **Zeitreisen und geisterhafte Neutrinos - ein Trip durch 6 Dimensionen**

*„Zwischen Brötchen und Borussia“: Moderne Physik für Alle Samstag, 19. April
10:30, HG II*