

Projektwoche Teilchenphysik:

LEGO-Detektor Teilchen-Filzen

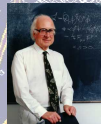
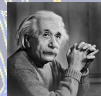
St. Benno-Gymnasium, Dresden

4. November 2013

Ulrike Schnoor

Institut für Kern- und Teilchenphysik, TU Dresden





Entdeckung des Higgs-Bosons Neuer Blick auf unsere Welt

SPIEGEL ONLINE - 04.07.2012

Das Higgs-Boson, das viel beschworene Gottesteilchen, ist gefunden - das steht so gut wie fest. Bestätigt es die bisherige Theorie vom Aufbau unserer

Welt? Forscher schüren bereits die Hoffnung auf eine neue Physik, die sogar die rätselhafte Dunkle Materie erklären könnte. Von Markus Becker mehr... [Video]



$$E = mc^2$$



Fundamentale Fragen:

Woraus besteht das Universum?

- Untersuchung der bekannten **Bausteine** und ihrer **Wechselwirkungen**
- Suche nach **neuen** Teilchen oder Kräften

Wie ist das Universum entstanden?

- Untersuchung der **Entwicklung** des Universums

Geschichte des Universums

Teilchenphysik

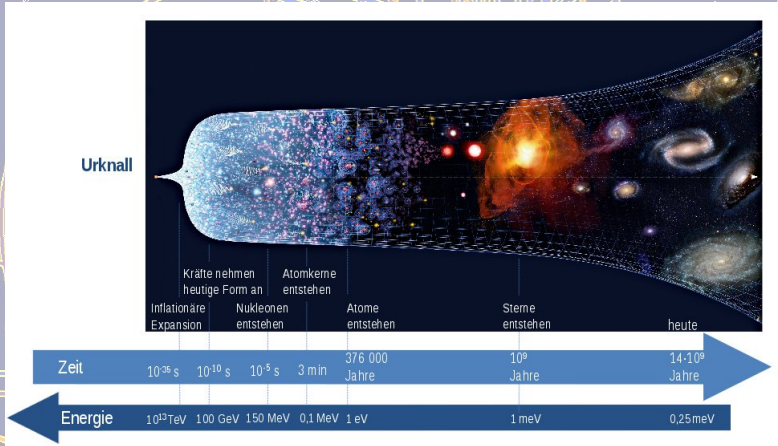
Geschichte
des
Universums

Aufbau der
Materie

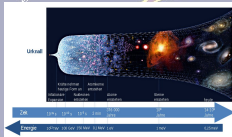
Standardmodell
Wechselwirkungen
Teilchen

Higgs

Neue
Physik



Geschichte des Universums



Urknall

Beginn des Universums vor ca. 13 Milliarden Jahren:
Entstehung von **Materie, Raum** und **Zeit**

Erklärung für

- die vorhandene kosmische Hintergrundstrahlung
- die festgestellte Expansion des Universums
- die beobachtete Elementhäufigkeit

Geschichte des Universums

Teilchenphysik

Geschichte des Universums

Aufbau der Materie

Standardmodell

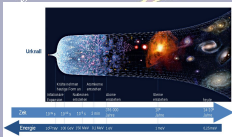
Wechselwirkungen

Teilchen

Higgs

Neue

Physik



Untersuchung

- Kosmologen vermessen die Hintergrundstrahlung und Strukturen des Universums
- Die Kernphysik liefert Erkenntnisse über die Entstehung der Elemente
- Teilchenbeschleuniger erreichen Energien, wie sie kurz nach dem Urknall geherrscht haben

Aufbau der Materie

Teilchenphysik

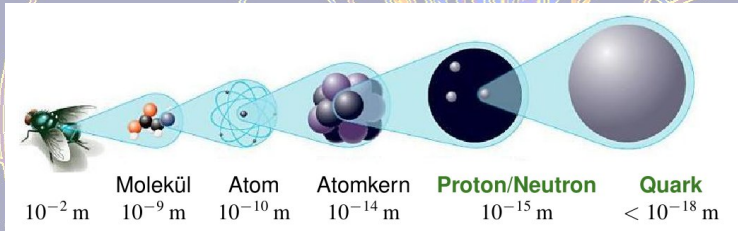
Geschichte
des
Universums

Aufbau der
Materie

Standardmodell
Wechselwirkungen
Teilchen

Higgs

Neue
Physik



Bausteine des Universums: Teilchen und Kräfte

Teilchenphysik

Geschichte
des
Universums

Aufbau der
Materie

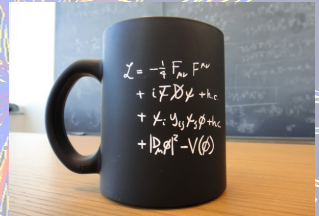
Standardmodell
Wechselwirkungen
Teilchen

Higgs

Neue
Physik

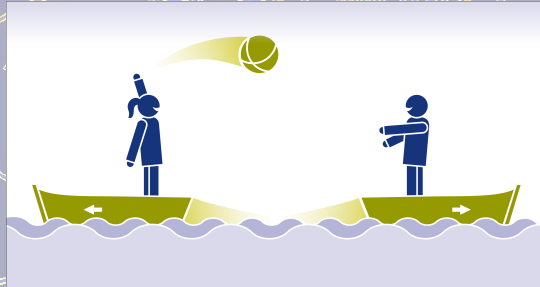
Das Standardmodell der Teilchenphysik

- beschreibt alle Teilchen und ihre Wechselwirkungen
- zu jeder Wechselwirkung gehört eine Ladung
Austauschteilchen übermitteln die Wechselwirkungen



Lagrangedichte des
Standardmodells

Wechselwirkungen = Kräfte



- Standardmodell beschreibt 3 (der 4) fundamentalen Wechselwirkungen
- **Eichbosonen** übertragen die Wechselwirkungen
- sie koppeln nur ein Teilchen, die die zur Wechselwirkung gehörende **Ladung** tragen

Teilchenphysik

Geschichte
des
Universums

Aufbau der
Materie

Standardmodell
Wechselwirkungen
Teilchen

Higgs

Neue
Physik

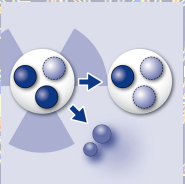
Wechselwirkungen



**Elektro-
magnetismus**

Ladung
elektrische Ladung
Austauschteilchen
Photon

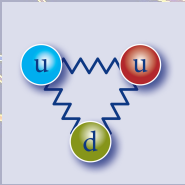
elektrischer Strom, Licht,
Radiowellen, ...



schwache Kraft

Ladung
schwacher Isospin
Austauschteilchen
W-, Z-Boson

β -Zerfall, Kernumwandlungen, ...



starke Kraft

Ladung
Farbladung
Austauschteilchen
Gluonen

Kernspaltung, Kernfusion, ...



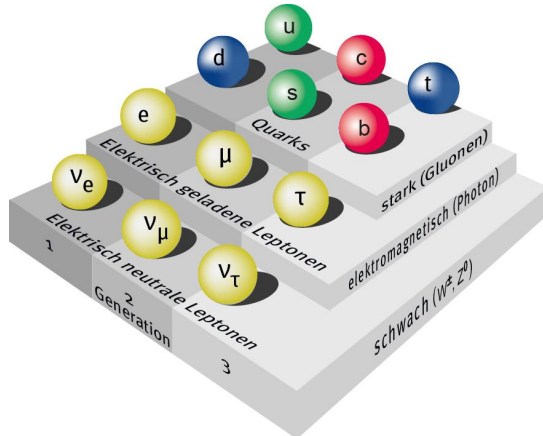
Gravitation

Ladung
???
Austauschteilchen
Graviton???

Erdanziehung, ...

Teilchen des Standardmodells

Elementarteilchen des Standardmodells



Teilchenphysik

Geschichte
des
Universums

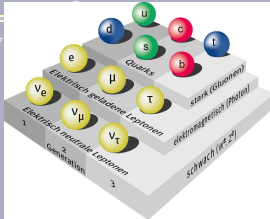
Aufbau der
Materie

Standardmodell
Wechselwirkungen
Teilchen

Higgs

Neue
Physik

Teilchen des Standardmodells



Teilchen des Standardmodells, geordnet nach

Ladung Wechselwirkung, an der sie teilnehmen

Spin Materieteilchen: halbzahlgiger Spin

Austauschteilchen: ganzzahlgiger Spin

Familie uns umgebende Materie besteht nur aus Teilchen der 1. Familie

Masse

wird in **Energieeinheiten** angegeben ($E = m c^2$)

meist in Elektronenvolt eV:

1 GeV = 1 Gigaelektronenvolt = 1 Milliarde eV

1 MeV = 1 Megaelektronenvolt = 1 Million eV

1 keV = 1 Kiloelektronenvolt = 1 Tausend eV

Teilchenphysik

Geschichte
des
Universums

Aufbau der
Materie

Standardmodell
Wechselwirkungen
Teilchen

Higgs

Neue
Physik

Geladene Leptonen

Teilchenphysik

Geschichte
des
Universums

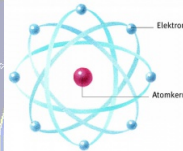
Aufbau der
Materie

Standardmodell
Wechselwirkungen
Teilchen

Higgs

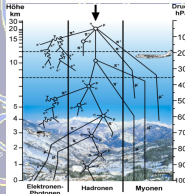
Neue
Physik

Elektronen 1. Familie



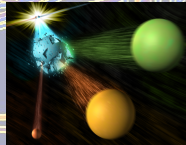
vorhanden in der uns
umgebenden Materie, in der
Atomhülle; Träger des
elektrischen Stroms

Myonen (μ -Leptonen) 2. Familie



in der kosmischen
Höhenstrahlung

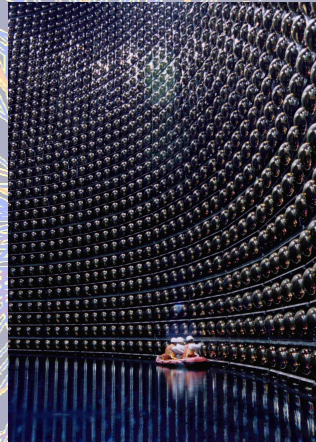
Taus (τ -Leptonen) 3. Familie



kann in
Hochenergie-Experimenten
erzeugt werden; Entdeckung
1975 am SLAC; sehr kurze
Lebensdauer

Neutrinos

- sehr kleine Masse
- Vorhersage 1930 → Entdeckung 1956
- Neutrinofluss auf der Erde:
 $6.5 \cdot 10^{10}$ pro Sekunde pro
Quadratzentimeter größtenteils
von der Sonne



Quarks und Gluonen

Teilchenphysik

Geschichte
des
Universums

Aufbau der
Materie

Standardmodell
Wechselwirkungen
Teilchen

Higgs

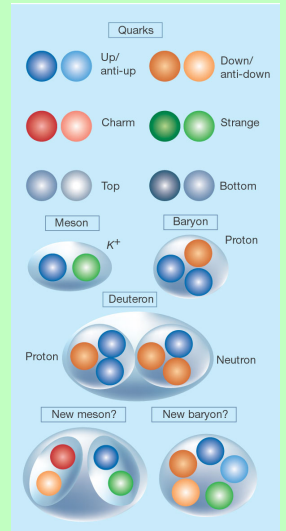
Neue
Physik

Quarks

- Farbladung und elektrische Ladung
- Kommen nur im *farbneutralen* Verbund vor

Gluonen

- besitzen Farbladung
- Übertragen die starke Wechselwirkung
- wechselwirken untereinander



W- und Z-Boson

Teilchenphysik

Geschichte
des
Universums

Aufbau der
Materie

Standardmodell
Wechselwirkungen
Teilchen

Higgs

Neue
Physik



- Austauschteilchen der schwachen Wechselwirkung

W: elektrisch geladen: W^+ , W^-

Z: elektrisch neutral

- Zerfall nach ca. 10^{-25} s \rightarrow wir messen die Zerfallsprodukte

Der Higgs-Mechanismus

Teilchenphysik

Geschichte
des
Universums

Aufbau der
Materie

Standardmodell
Wechselwirkungen
Teilchen

Higgs

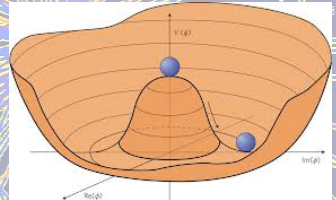
Neue
Physik

Standard-Modell: Elementarteilchen masselos.

Widerspruch: Leptonen, W,Z-Bosonen, Quarks besitzen eine Masse

Lösung: Higgs-Mechanismus =
Einführung eines Hintergrundfeldes,
mit dem Teilchen aufgrund ihrer
Masse wechselwirken.

Higgs-Teilchen: Anregung dieses
Feldes



Higgs-Mechanismus

Teilchenphysik

Geschichte
des
Universums

Aufbau der
Materie

Standardmodell
Wechselwirkungen
Teilchen

Higgs

Neue
Physik



Higgs-Entdeckung

Teilchenphysik

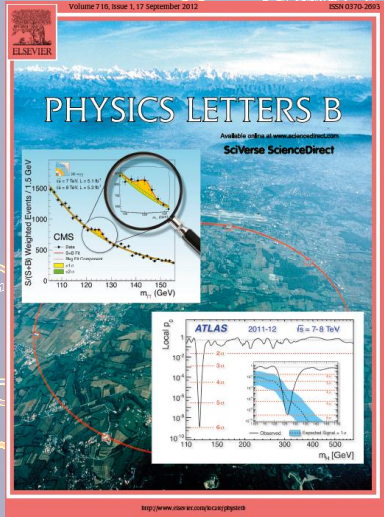
Geschichte
des
Universums

Aufbau der
Materie

Standardmodell
Wechselwirkungen
Teilchen

Higgs

Neue
Physik



4. Juli 2012

ATLAS und CMS: Messung eines
Higgs-ähnlichen Teilchens mit
Masse = 125 GeV

Oktober 2013

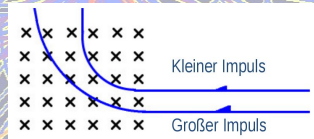
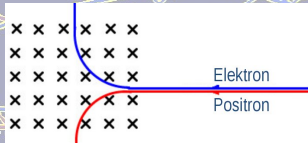
Nobelpreis für Peter Higgs und
François Englert



Lorentz-Kraft

Lorentzkraft: lenkt bewegte elektrische Ladungen im Magnetfeld senkrecht zur Flugbahn ab:

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$



Teilchenphysik

Geschichte
des
Universums

Aufbau der
Materie

Standardmodell
Wechselwirkungen
Teilchen

Higgs

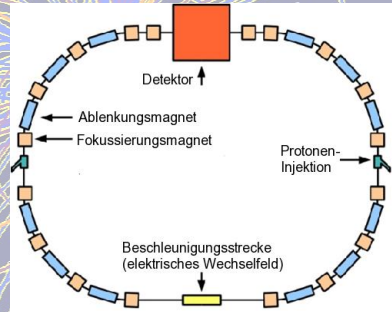
Neue
Physik

Beschleuniger

Brownsche Röhre: kleiner Elektronenbeschleuniger



- mit elektrischen Feldern werden geladene Teilchen *beschleunigt*
- mit magnetischen Feldern werden sie *abgelenkt* und *fokussiert*



Teilchenphysik

Geschichte
des
Universums

Aufbau der
Materie

Standardmodell
Wechselwirkungen
Teilchen

Higgs

Neue
Physik

“Beyond the Standard Model”

Teilchenphysik

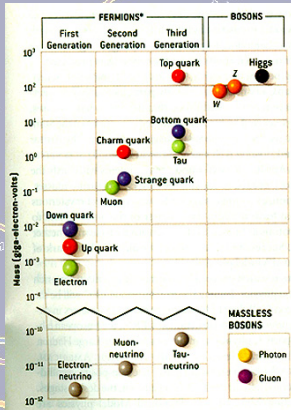
Geschichte
des
Universums

Aufbau der
Materie

Standardmodell
Wechselwirkungen
Teilchen

Higgs

Neue
Physik



Offene Fragen der Teilchenphysik

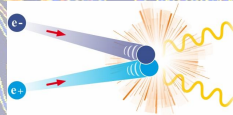
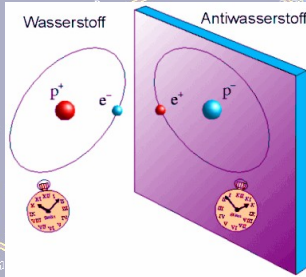
- Warum sind die Massen der Elementarteilchen so unterschiedlich?
- Was wurde aus der Antimaterie?
- Wieso gibt es ausgerechnet 3 Teilchenfamilien?
- Woraus besteht die dunkle Materie, dunkle Energie?
- Welche Eigenschaften hat das Higgs-Boson?

Wo ist die Antimaterie?

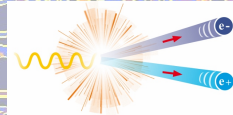
Anti-Materie = Spiegelbild der Materie

Materie + Antimaterie → Energie

(= Annihilation)



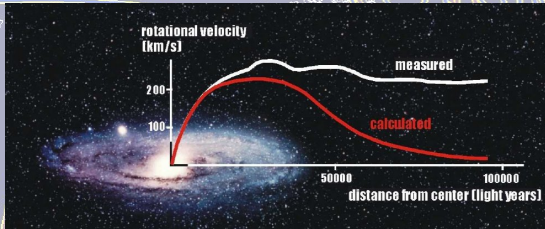
Energie → Materie + Antimaterie



Asymmetrie zwischen Materie und Antimaterie

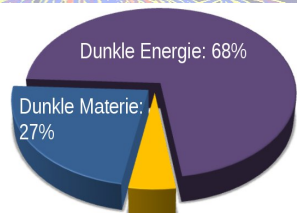
- Beim Urknall: **Materie : Antimaterie = 1: 1**
- Im Universum: **keine großen Mengen an Antimaterie zu sehen!**
 - ⇒ kleine Asymmetrie muss existieren (Ursache noch nicht bekannt)
 - ⇒ **Materie : Antimaterie = 1 000 000 001: 1 000 000 000**

Dunkle Materie



Gemessene Rotationsgeschwindigkeit von Galaxien erfordert mehr Masse als sichtbar → “Dunkle Materie”

Experimentell (noch) kein geeignetes Teilchen gefunden



Atomare Materie: 5%

Teilchenphysik

Geschichte
des
Universums

Aufbau der
Materie

Standardmodell
Wechselwirkungen
Teilchen

Higgs

Neue
Physik