

# Projektwoche Teilchenphysik: LEGO-Detektor Teilchen-Filzen

St. Benno-Gymnasium, Dresden  
4. November 2013

Ulrike Schnoor  
Institut für Kern- und Teilchenphysik, TU Dresden



Teilchenphysik

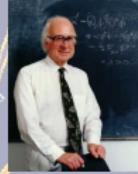
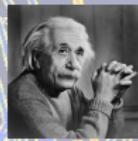
Geschichte  
des  
Universums

Aufbau der  
Materie

Standardmodell  
Wechselwirkungen  
Teilchen

Higgs

Neue  
Physik



## 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]



$$E = mc^2$$



Teilchenphysik

Geschichte  
des  
Universums

Aufbau der  
Materie

Standardmodell  
Wechselwirkungen  
Teilchen

Higgs

Neue  
Physik

## 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

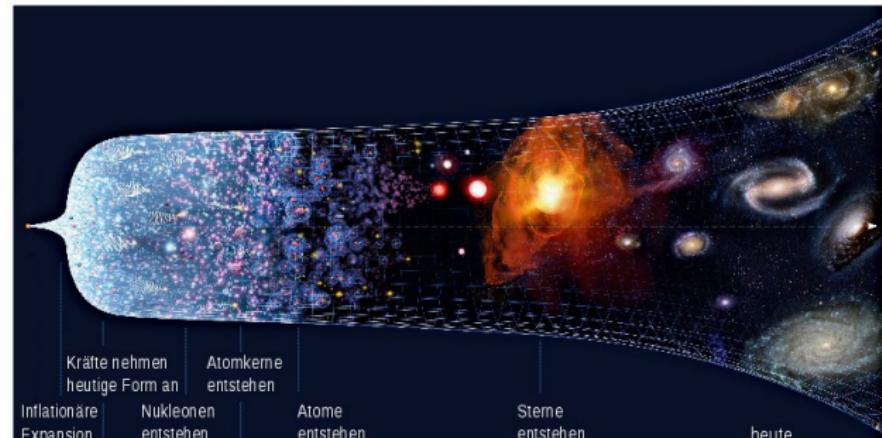
Geschichte  
des  
Universums

Aufbau der  
Materie

Standardmodell  
Wechselwirkungen  
Teilchen

Higgs  
Neue  
Physik

## Urknall



Zeit

$10^{-35}$  s  $10^{-10}$  s  $10^{-5}$  s 3 min 376 000 Jahre

$10^9$  Jahre

heute  
 $14 \cdot 10^9$  Jahre

Energie

$10^{13}$  TeV 100 GeV 150 MeV 0,1 MeV 1 eV

1 meV

0,25 meV

# Geschichte des Universums

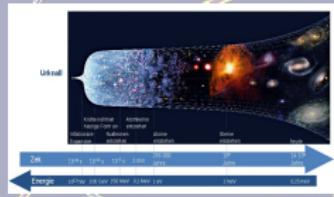
Teilchenphysik

Geschichte  
des  
Universums

Aufbau der  
Materie

Standardmodell  
Wechselwirkungen  
Teilchen

Higgs  
Neue  
Physik



## Urknoten

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

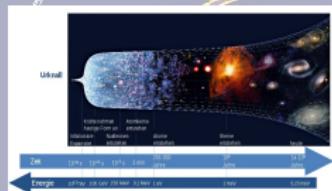
Teilchenphysik

Geschichte  
des  
Universums

Aufbau der  
Materie

Standardmodell  
Wechselwirkungen  
Teilchen

Higgs  
Neue  
Physik

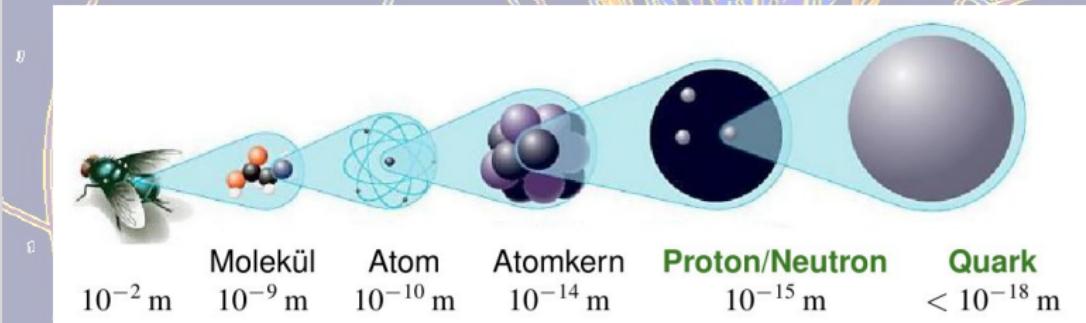


## Untersuchung

- 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

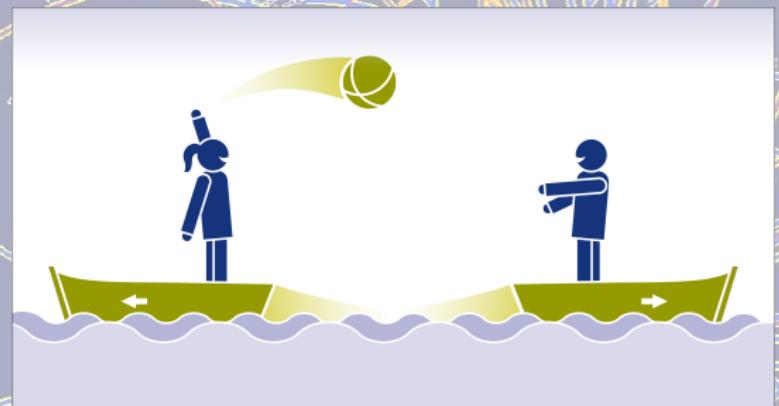
## Das Standardmodell der Teilchenphysik

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

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + i\bar{\psi} \gamma^\mu \psi + \bar{h} \phi + \bar{Y}_1 Y_1 \bar{Y}_2 Y_2 \phi + \bar{h}_c h_c + |\bar{D}_\mu \phi|^2 - V(\phi)$$

Lagrangedichte des Standardmodells

# Wechselwirkungen = Kräfte



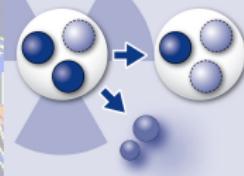
- Standardmodell beschreibt 3 (der 4) fundamentalen Wechselwirkungen
- **Eichbosonen** übertragen die Wechselwirkungen
- sie koppeln nur ein Teilchen, die die zur Wechselwirkung gehörende **Ladung** tragen

# Wechselwirkungen



**Elektromagnetismus**  
**Ladung**  
elektrische Ladung  
**Austauschteilchen**  
Photon

elektrischer Strom, Licht,  
Radiowellen, ...



**schwache Kraft**  
**Ladung**  
schwacher Isospin  
**Austauschteilchen**  
W-, Z-Boson

$\beta$ -Zerfall, Kernumwandlungen, ...



**starke Kraft**  
**Ladung**  
Farbladung  
**Austauschteilchen**  
Gluonen

Kernspaltung, Kernfusion, ...

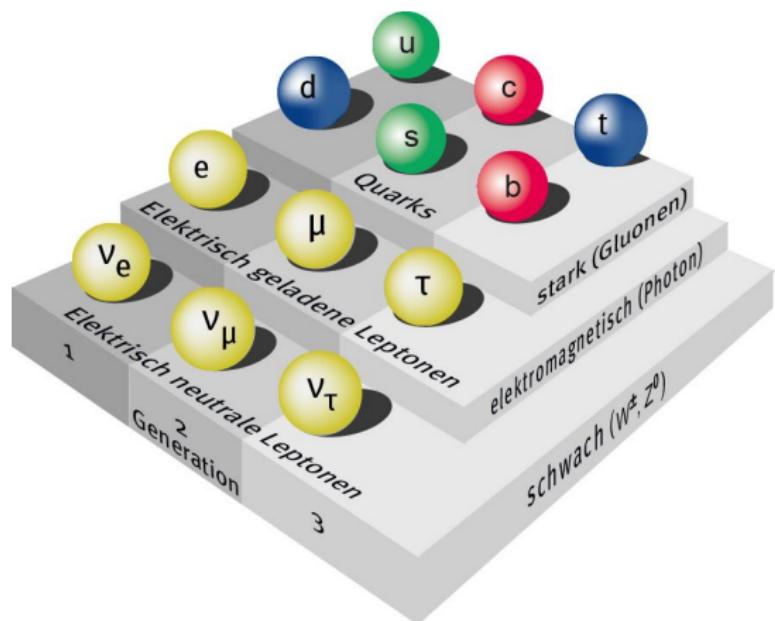


**Gravitation**  
**Ladung**  
???  
**Austauschteilchen**  
Graviton???

Erdanziehung, ...

# Teilchen des Standardmodells

## Elementarteilchen des Standardmodells



Teilchenphysik

Geschichte  
des  
Universums

Aufbau der  
Materie

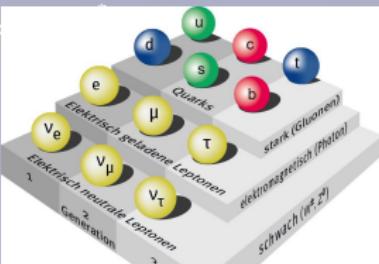
Standardmodell  
Wechselwirkungen

Teilchen

Higgs

Neue  
Physik

# Teilchen des Standardmodells



## Teilchen des Standardmodells, geordnet nach

Ladung Wechselwirkung, an der sie teilnehmen

Spin Materienteilchen: halbzahliges Spin

Austauschteilchen: ganzzahliges Spin

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

## Massen

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

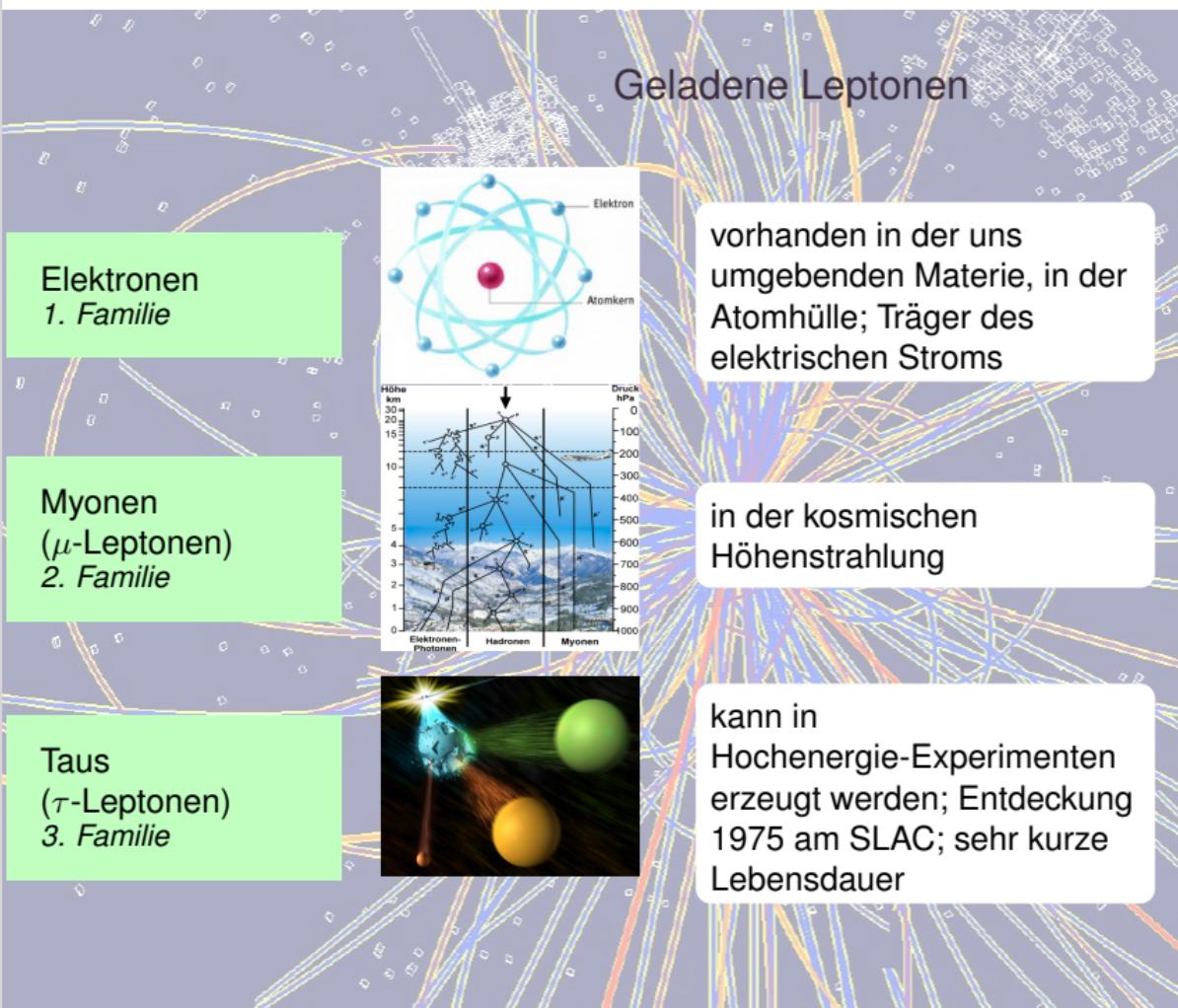
meist in Elektronenvolt eV:

1 GeV = 1 Gigaelektronenvolt = 1 Milliarde eV

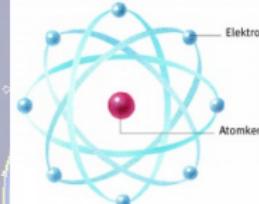
1 MeV = 1 Megaelektronenvolt = 1 Million eV

1 keV = 1 Kiloelektronenvolt = 1 Tausend eV

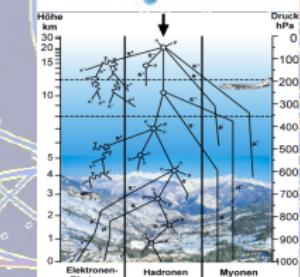
# Geladene Leptonen



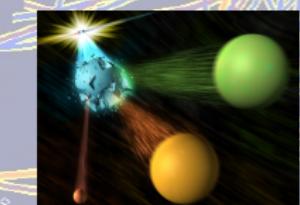
**Elektronen  
1. Familie**



**Myonen  
( $\mu$ -Leptonen)  
2. Familie**



**Taus  
( $\tau$ -Leptonen)  
3. Familie**



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

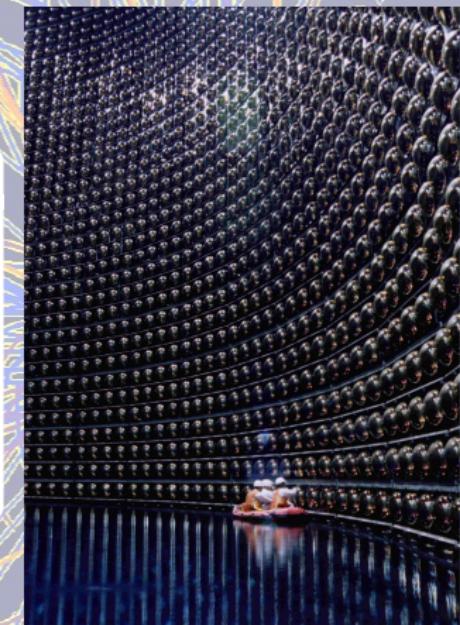
in der kosmischen Höhenstrahlung

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

## Neutrinos

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

Neutrinos



# Quarks und Gluonen

Teilchenphysik

Geschichte  
des  
Universums

Aufbau der  
Materie

Standardmodell  
Wechselwirkungen  
Teilchen

Higgs

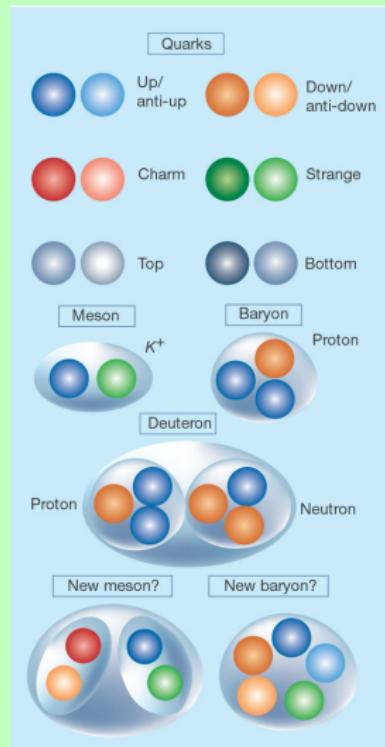
Neue  
Physik

## Quarks

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

## Gluonen

- besitzen Farbladung
- Übertragen die starke Wechselwirkung
- wechselwirken untereinander





## W- und Z-Boson

- Austauschteilchen der schwachen Wechselwirkung

**W:** elektrisch geladen:  $W^+$ ,  $W^-$   
**Z:** elektrisch neutral

- Zerfall nach ca.  $10^{-25}$  s → wir messen die Zerfallsprodukte

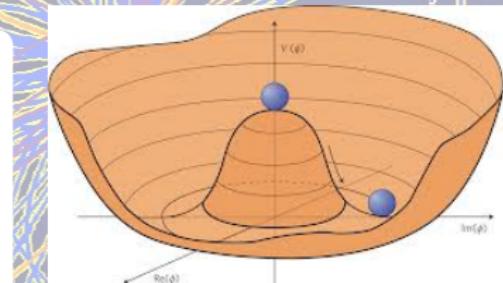
# Der Higgs-Mechanismus

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



Teilchenphysik

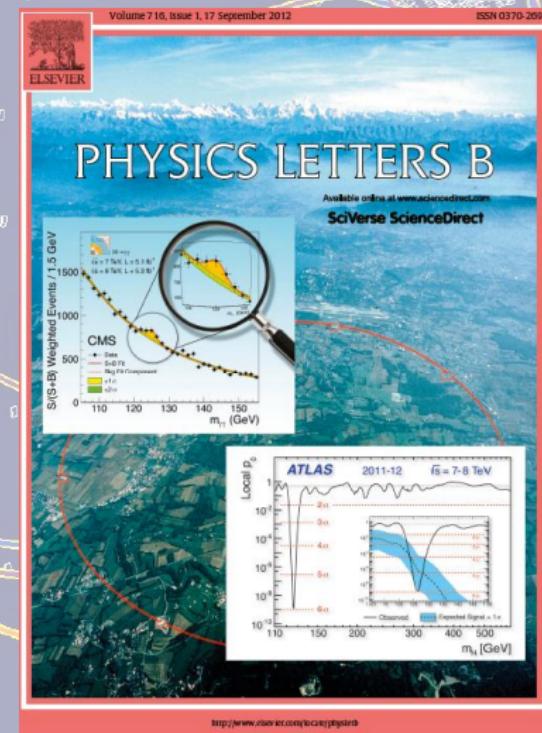
Geschichte  
des  
Universums

Aufbau der  
Materie

Standardmodell  
Wechselwirkungen  
Teilchen

Higgs

Neue  
Physik



## Higgs-Entdeckung

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:

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



Elektron  
Positron



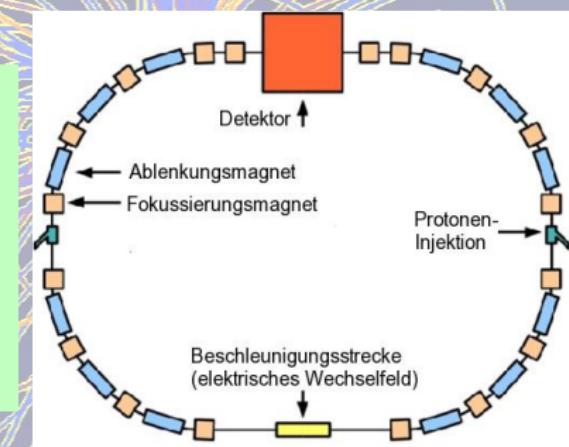
Kleiner Impuls  
Großer Impuls



## Brownsche Röhre: kleiner Elektronenbeschleuniger

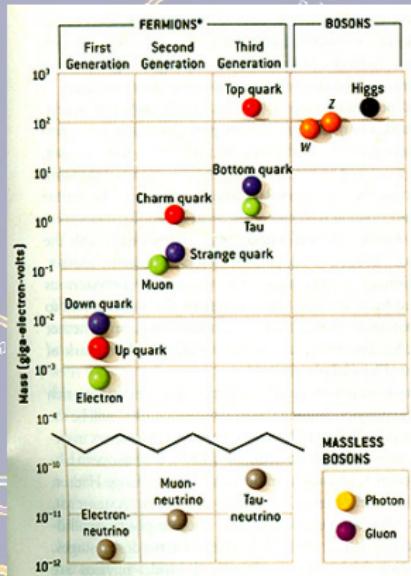
# Beschleuniger

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



# “Beyond the Standard Model”

Teilchenphysik  
Geschichte  
des  
Universums  
Aufbau der  
Materie  
Standardmodell  
Wechselwirkungen  
Teilchen  
Higgs  
Neue  
Physik



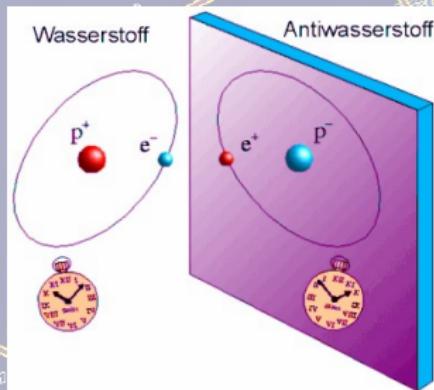
## Offene Fragen der Teilchenphysik

- 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  $\rightarrow$  Energie**

(= Annihilation)



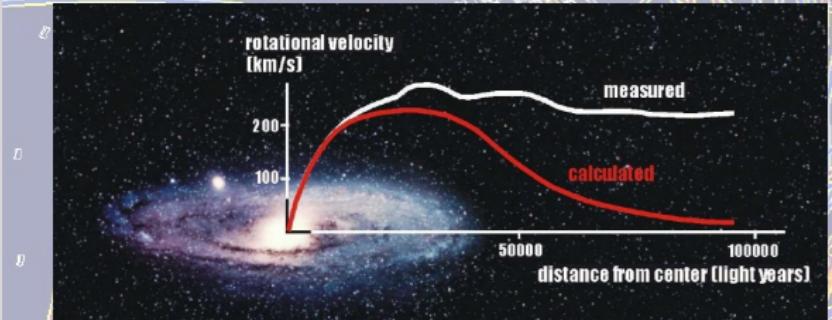
**Energie  $\rightarrow$  Materie + Antimaterie**



## 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

