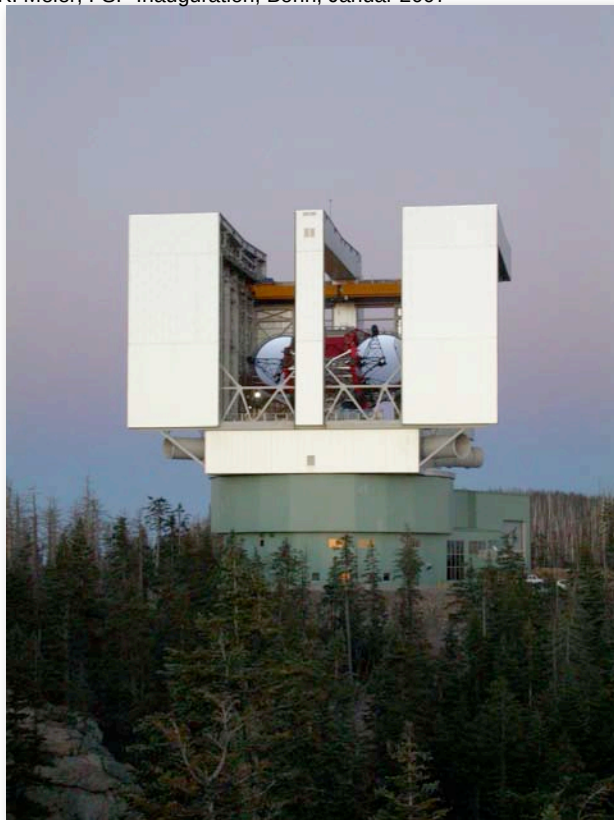


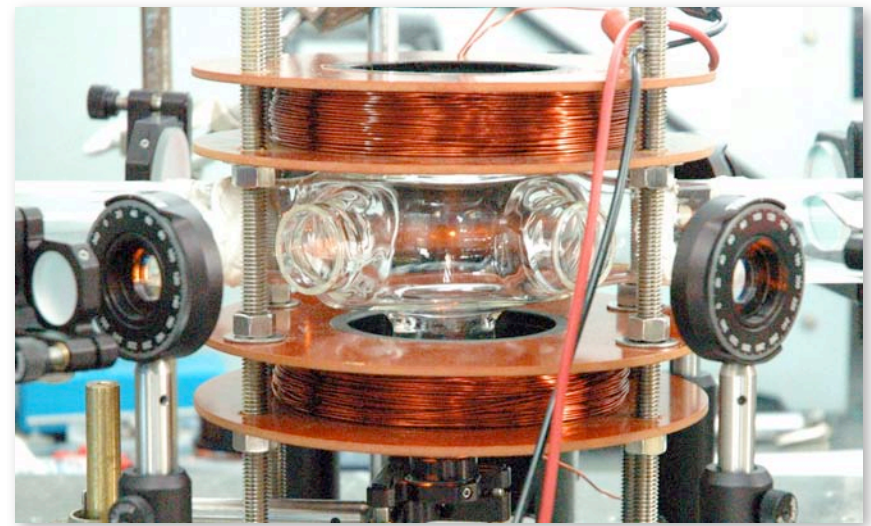


Die Natur braucht sich nicht anzustrengen,
bedeutend zu sein. Sie ist es.

Robert Walser (1878-1956)



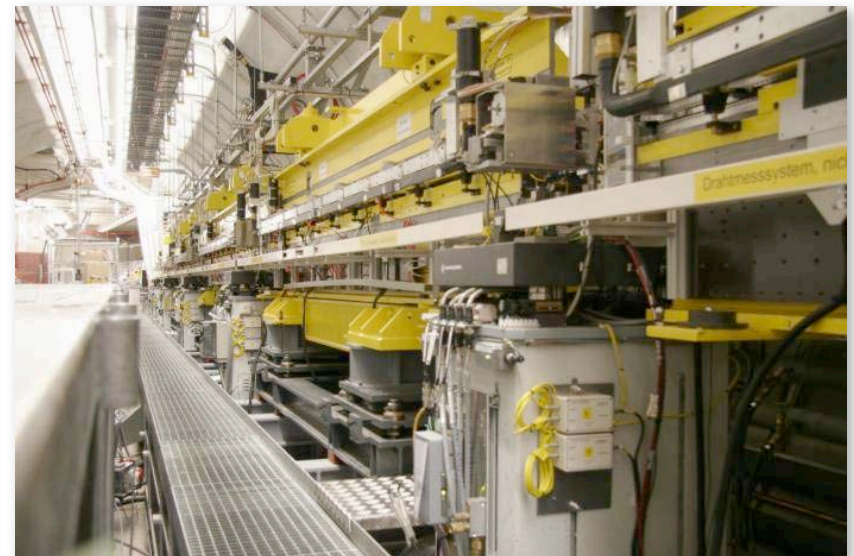
Gigalichtjahre
Gigajahre
„Das Ganze“



Nanokelvin
„Die Quantenwelt“

Nanometer
Femtosekunden
„Die Komplexität“

Instrumente



Die Fragestellungen der Elementarteilchenphysik



Raum



Zeit



Materie

Raum - Materie - Zeit

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar$$

Werner Heisenberg

kleine Strukturen - kleine Abstände

$$E = m \cdot c^2$$

Albert Einstein

neue und schwere Materie

$$\langle E \rangle \approx k_b \cdot T$$

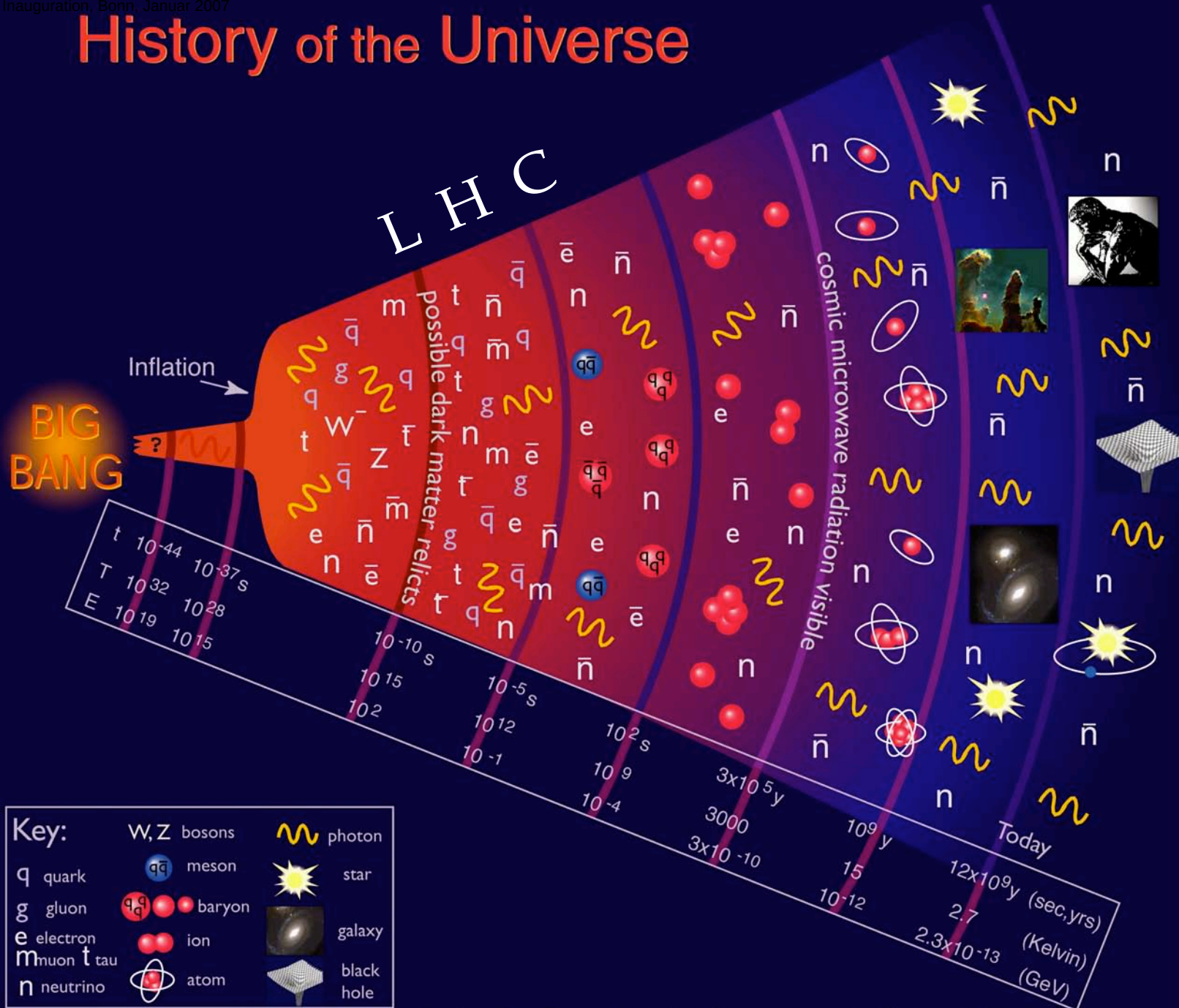
Ludwig Boltzmann

hohe Temperaturen

Die Temperatur des Universums fällt mit der Zeit

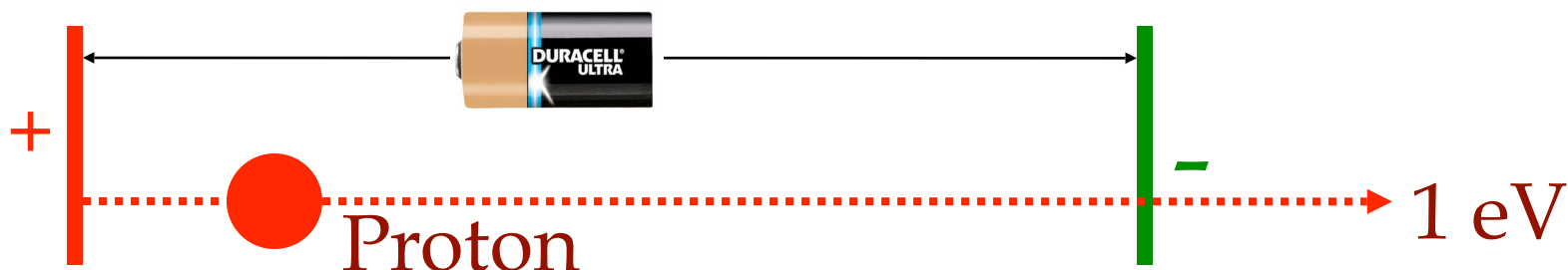
ENERGIE ist der Schlüssel !

History of the Universe



Energie ?

Beschleunigung mit elektrischen Spannungen



LHC : 2 mal 7000 Milliarden Batterien

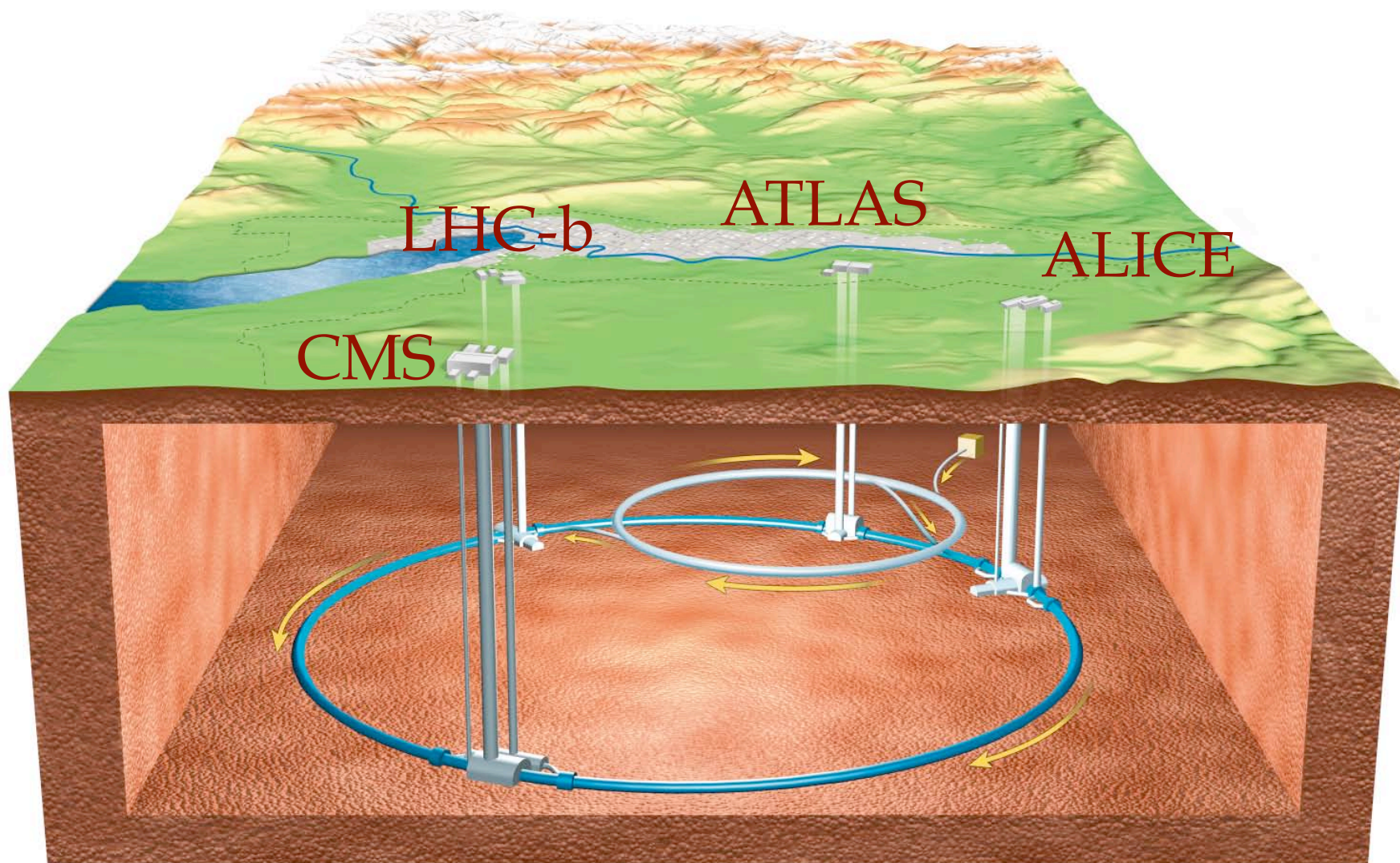
14 Stück für jeden Stern der Andromeda Galaxie

$1 \text{ TeV} = 1.000 \text{ GeV} = 1.000.000.000.000 \text{ eV}$



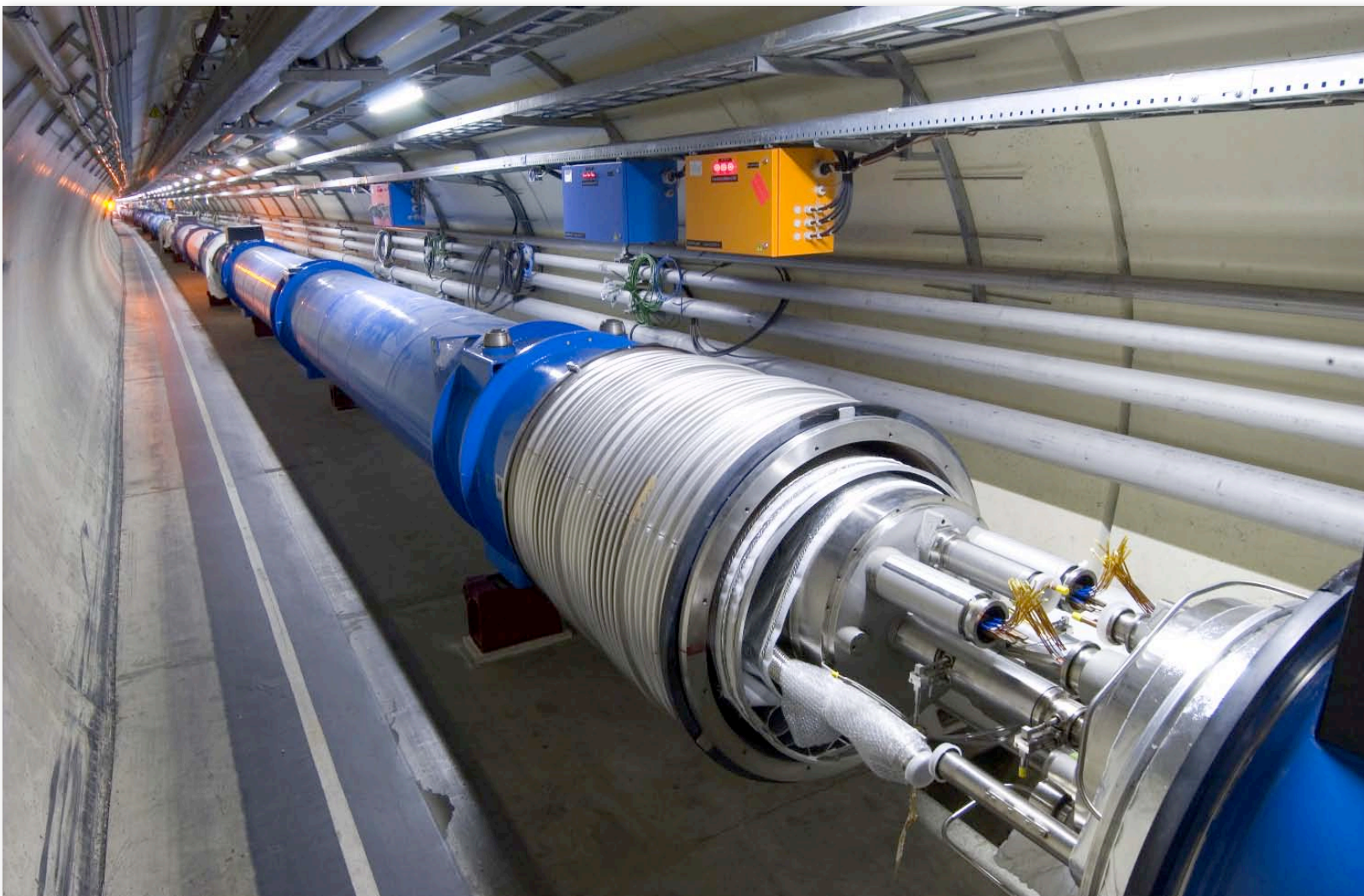
Der Large-Hadron-Collider LHC, CERN, Genf

Beschleunigung und Speicherung auf einer 27 km langen Kreisbahn
Beginn des Beschleunigerbetriebes im Spätsommer 2007

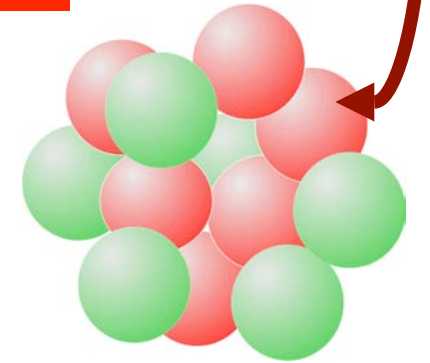
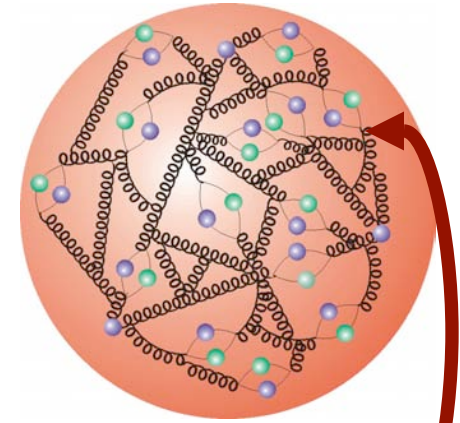
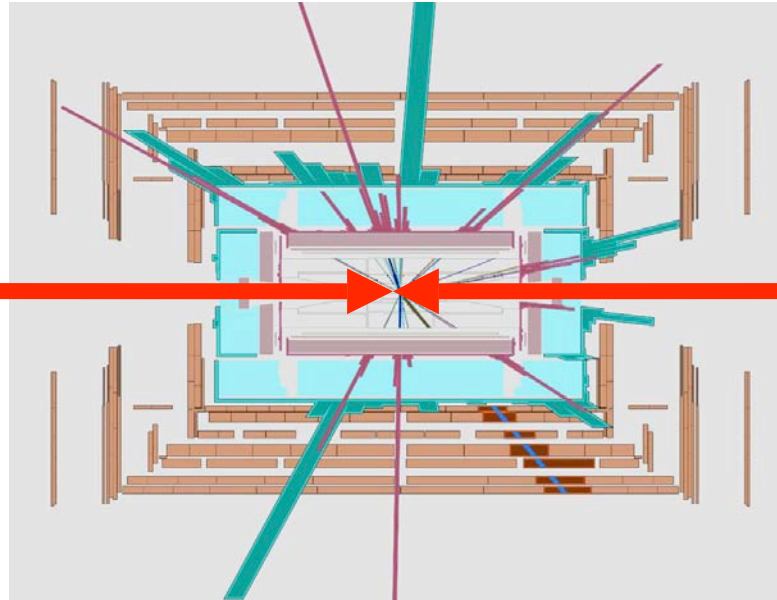
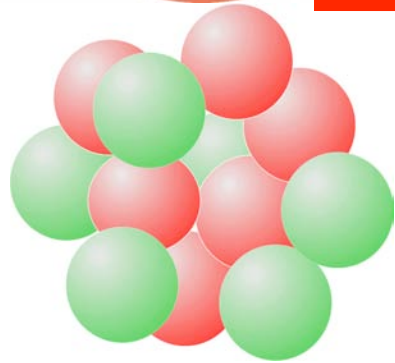
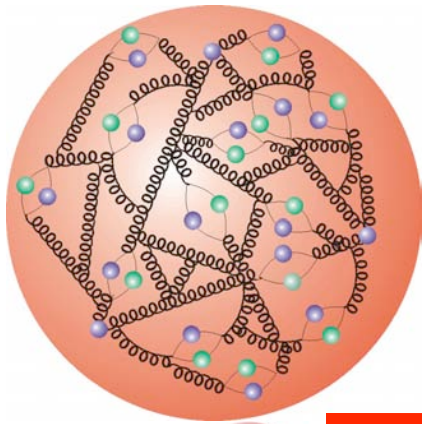


LHC : 1296 supraleitende Dipolmagnete

Die größte technische Herausforderung für den Beschleunigerbau
Magnetfeld 8 Tesla - 700.000 Liter Helium bei 1.9 Kelvin - 27 Kilometer



$$2 \text{ mal } 7 = 14 ?$$



Zwei Wege zur neuen LHC Physik :

1 TeV Energie bei der Kollision elementarer „Partonen“ in Protonen
(ATLAS und CMS)

5.5 TeV bei der Kollision von „Nukleonen“ in Kernmaterie (z.B. Bleikerne)
(ALICE)

eV - eine universelle Einheit

1	GeV	Masse des Protons
52	GeV	Masse eines Eisenatoms
150	GeV	Masse des Higgs-Bosons ??
0.025	eV	Temperatur in diesem Raum
$2.3 \cdot 10^{-4}$	eV	heutige Temperatur des Universums
0.150	GeV	Temperatur für das „Schmelzen“ von Kernmaterie
100	GeV	Zeit der Massenerzeugung elementarer Teilchen nach dem Urknall
14000	GeV	Energie der Protonen im LHC am CERN

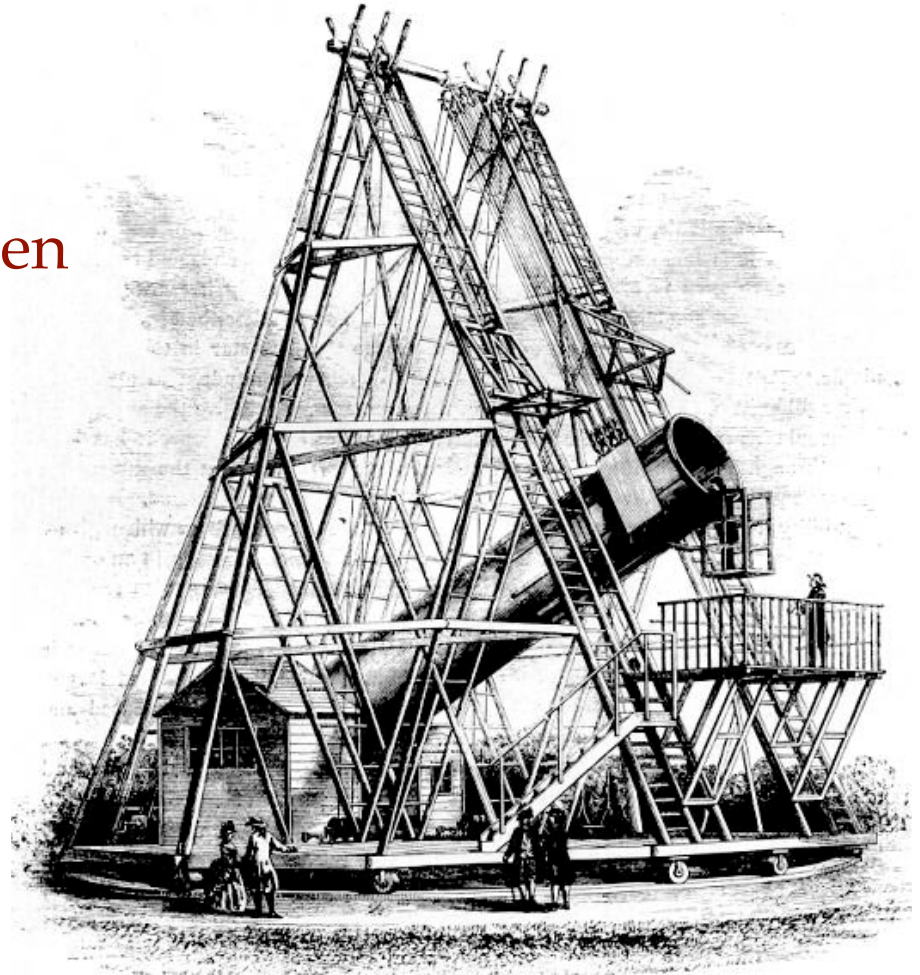
Der LHC verschafft uns erstmals Zugang zu

- Strukturen und Abständen von 10^{-19} Metern
- Massen auf der Teraskala ($E = mc^2 = 1 \text{ TeV}$)
- Entwicklung des Universums von $0.00000000000001 \text{ s}$ bis 0.00001 s nach dem Urknall

Fortschritt von einer Größenordnung gegenüber bestehenden Beschleunigeranlagen

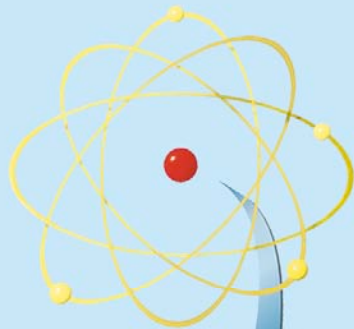
Wohin schaut man mit einem neuen Instrument ?

- Bekanntes genauer betrachten
- Hinweisen nachgehen
- Nach Neuem suchen



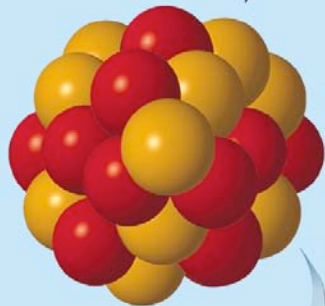
Bekanntes genauer betrachten

Materie im Normalzustand - Elementare Teilchen ?



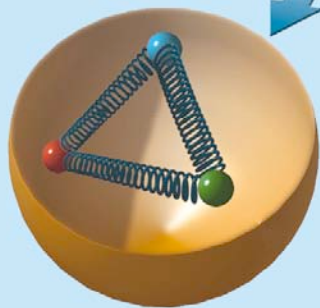
10^{-10} m
Atom

1/10.000



10^{-14} m
Atomkern

1/10



10^{-15} m
Proton

1/1.000

Das Atom -

Elektronen und Kern

Der Atomkern -

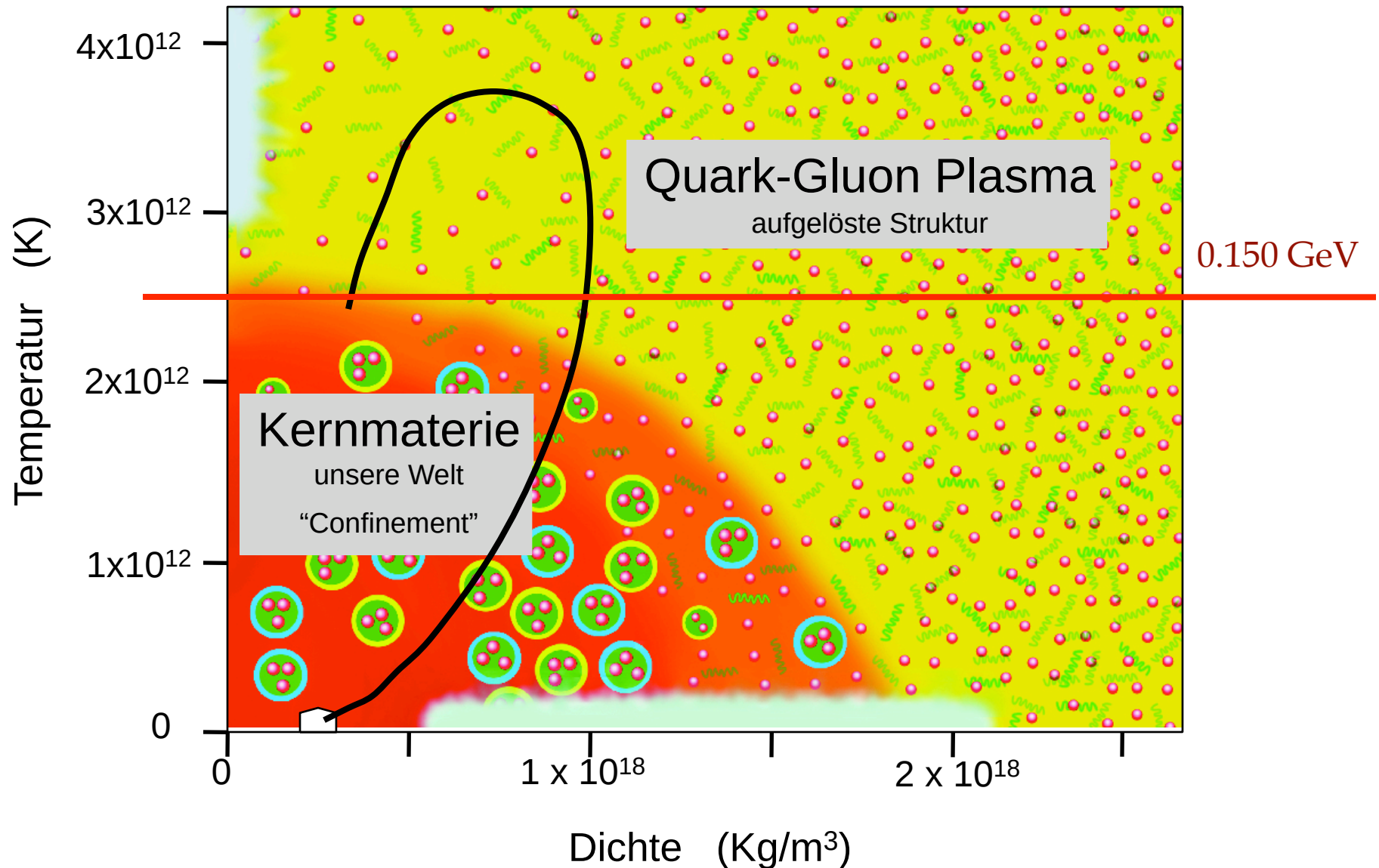
Nukleonen = Protonen und
Neutronen

Das Nukleon -

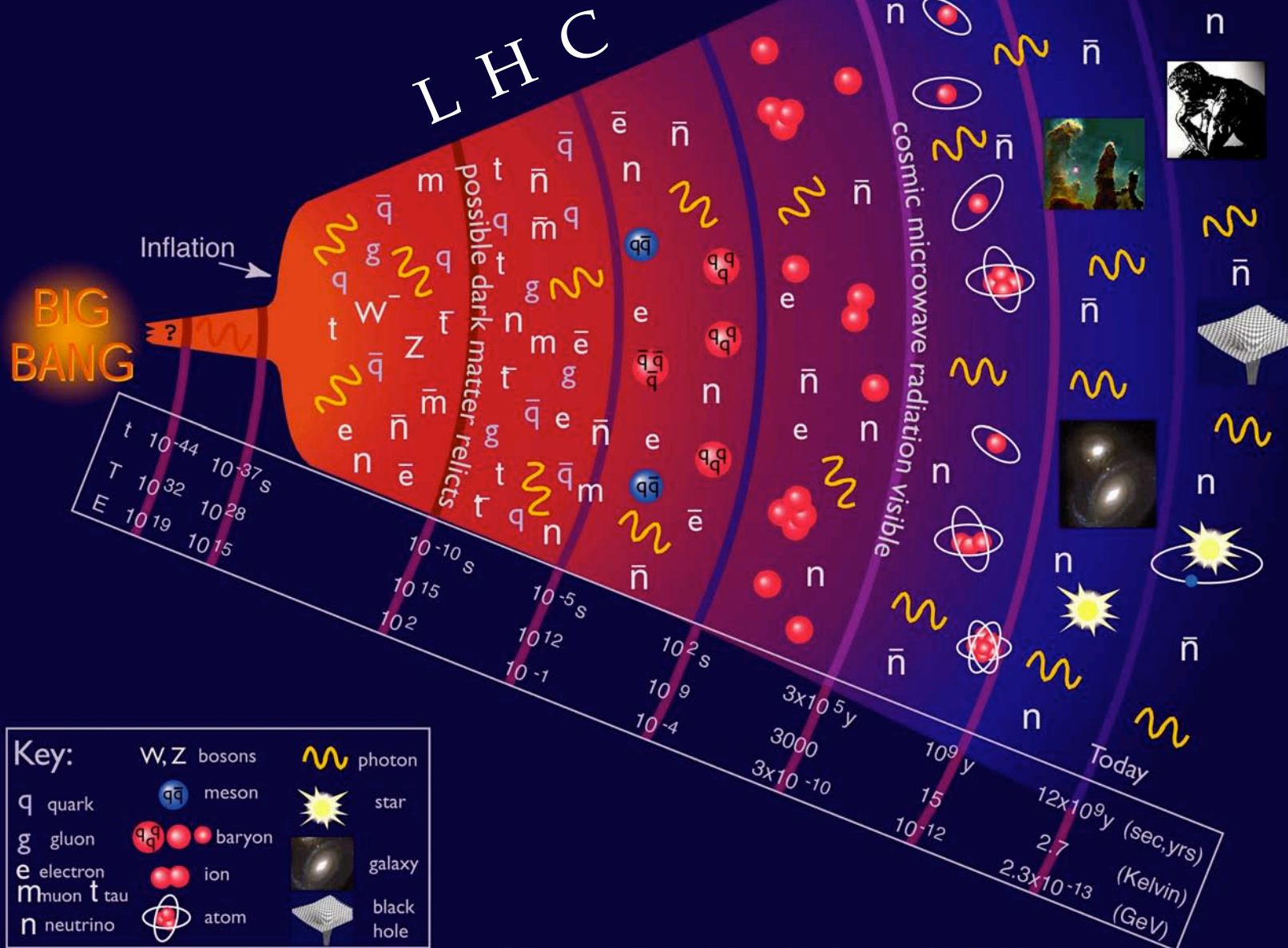
u-Quarks und d-Quarks

Stand des heutigen Wissens ...

Materie außerhalb des Normalzustandes



History of the Universe

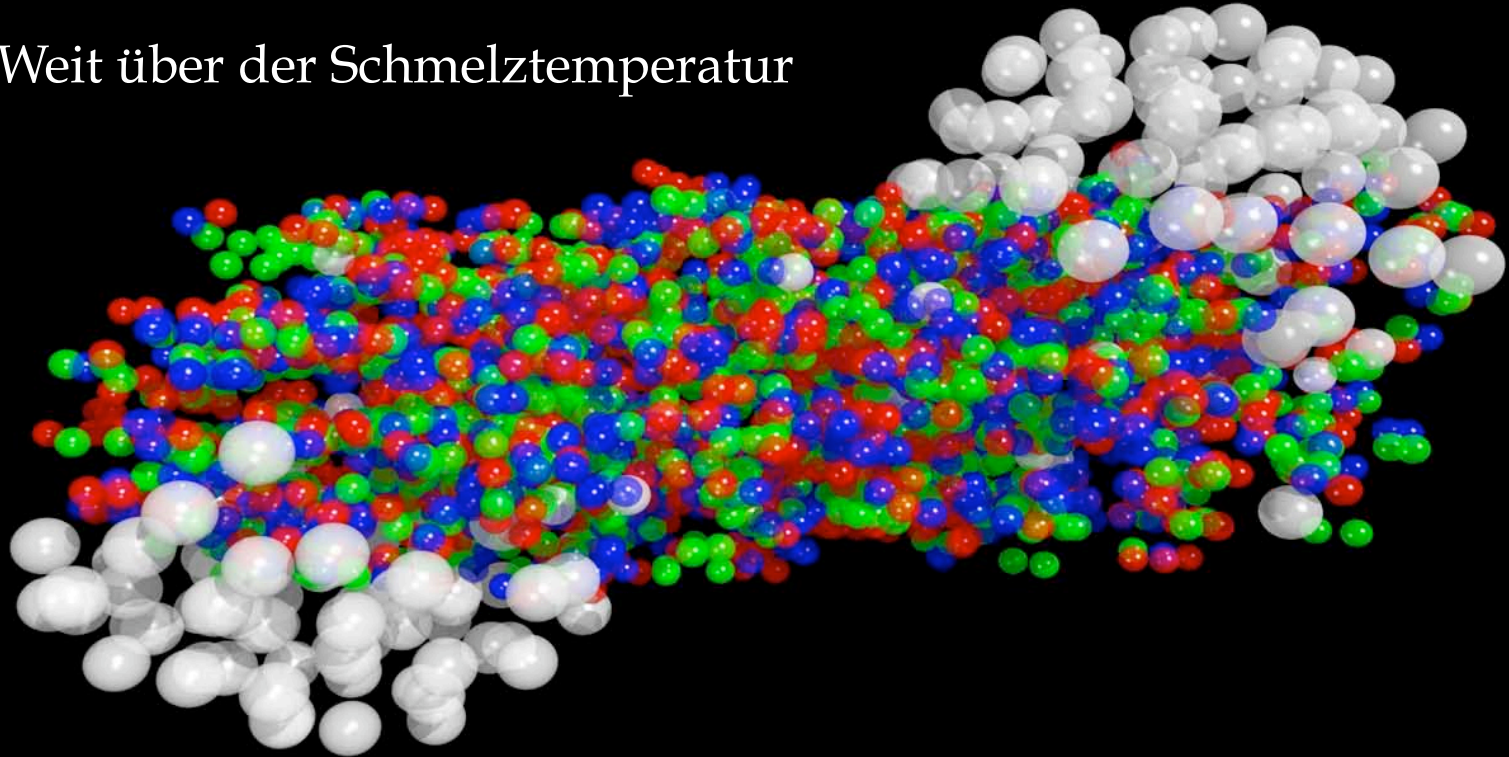


Studium des Quark-Gluon Plasmas am LHC

Für kurze Zeit ein Mini-Universum in einer wichtigen Entwicklungsphase

LHC : Plasmen aus zehntausenden Quarks und Gluonen

LHC : Weit über der Schmelztemperatur

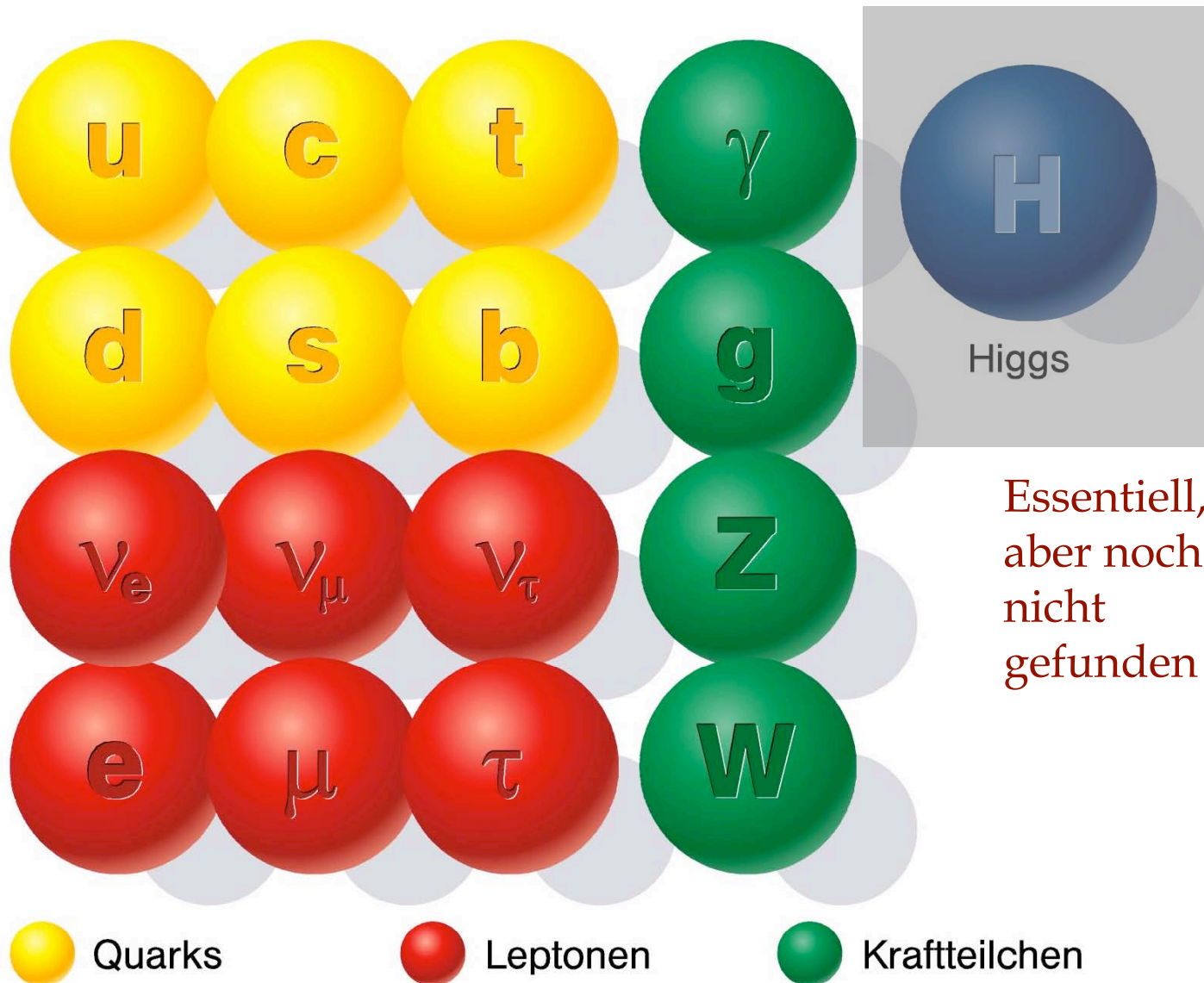


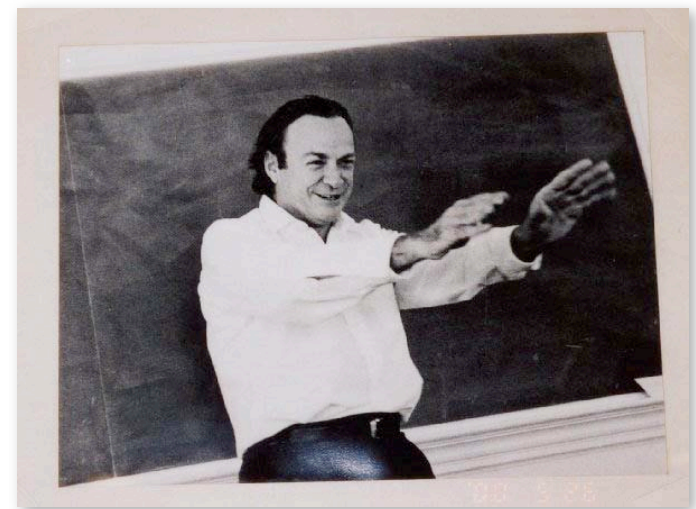
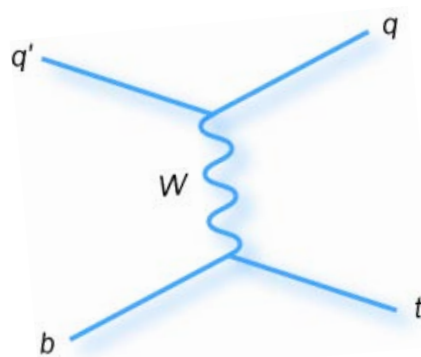
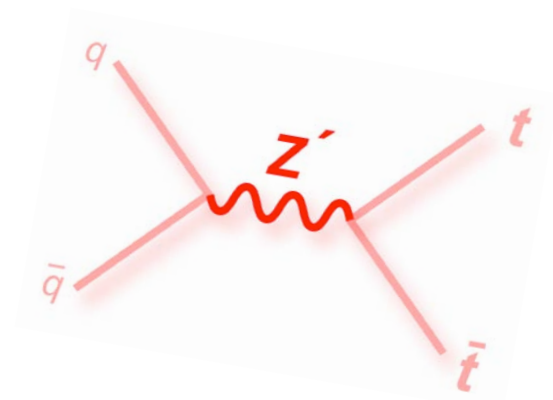
Welche Eigenschaften hat diese Materieform ?

Leitfähigkeit ? Schallgeschwindigkeit ?

Wärmekapazität ? Viskosität ?

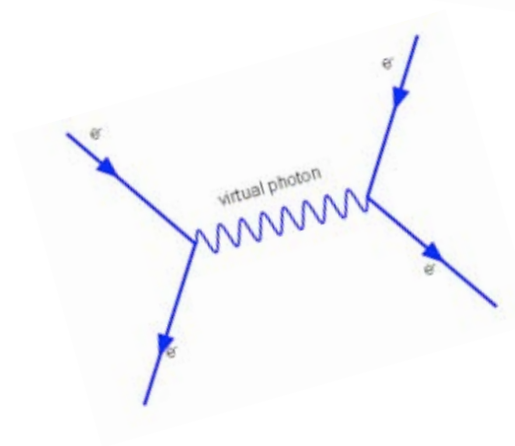
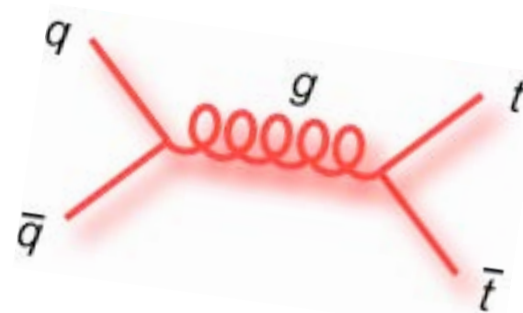
Das „Standardmodell“ ist MEHR als Materie im Normalzustand

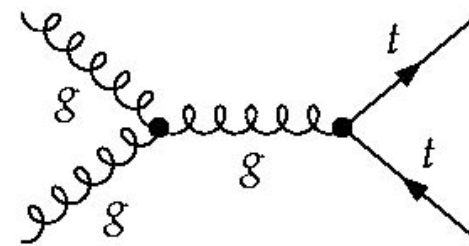
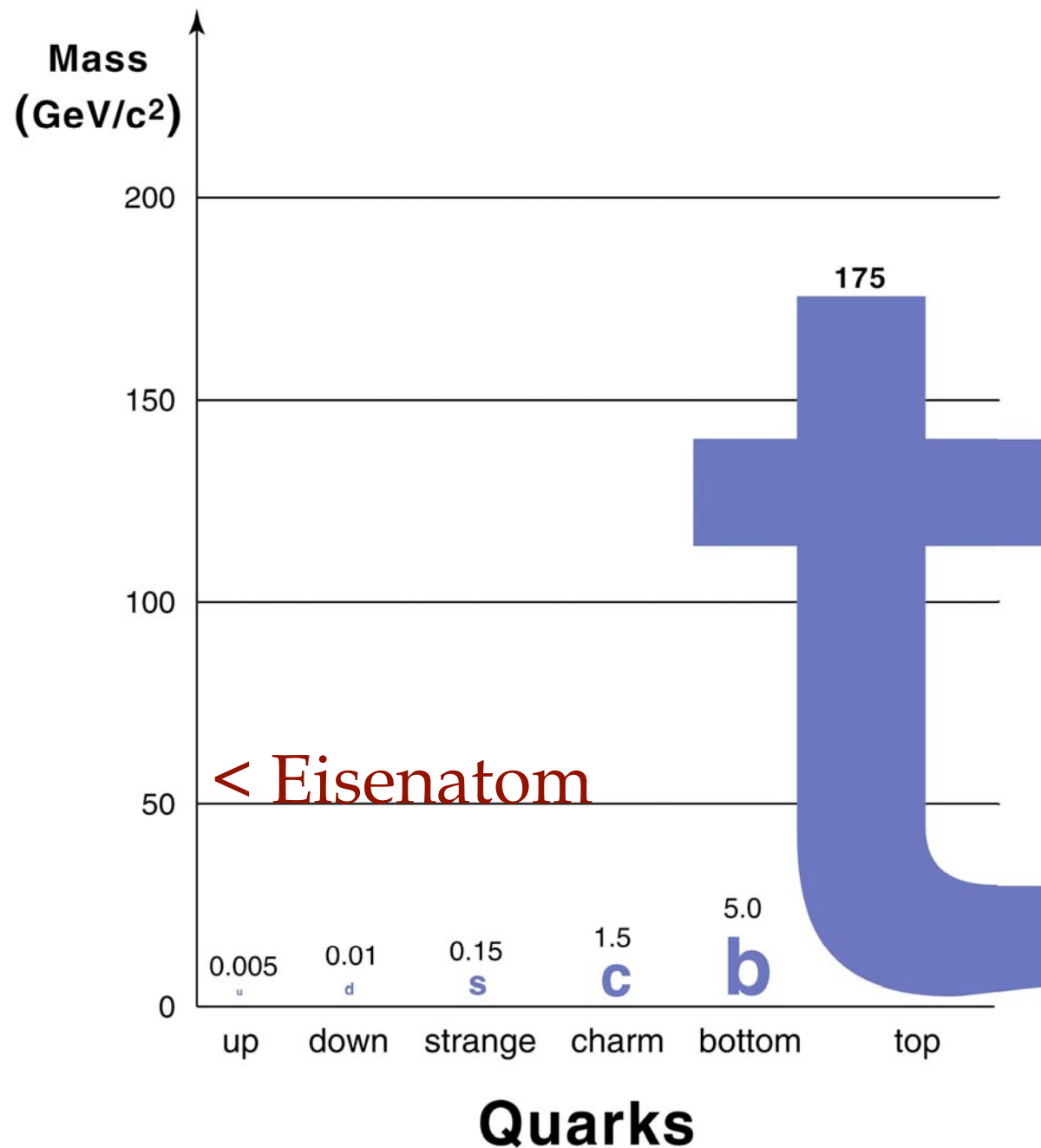




Feynman Diagramme

Alle Wechselwirkungen
im Standardmodell lassen
sich berechnen





Das top-Quark

Außergewöhnlichstes
elementares Mitglied der
Teilchenfamilie

Ziel am LHC :

Genaue Vermessung
seiner Eigenschaften,

z.B. der Masse bis auf 1%

Warum ? Konsistenz des
Standardmodells !

Hinweisen nachgehen



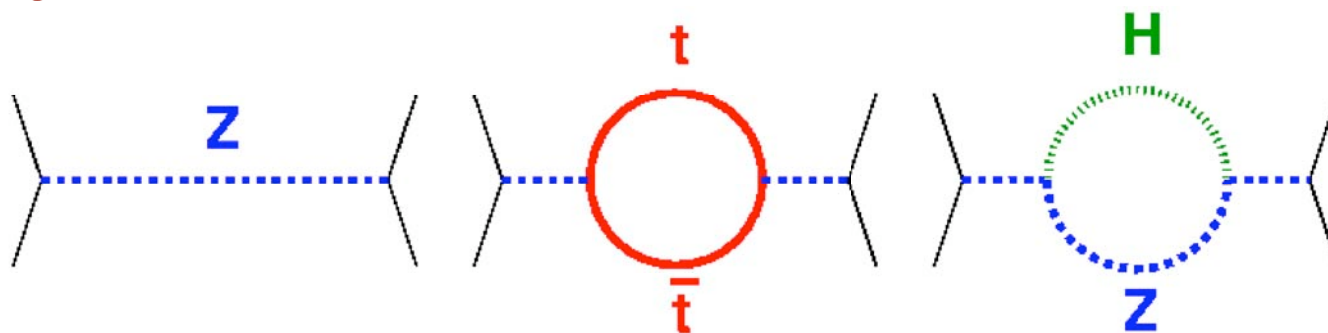
1846

Leverrier interpretiert Bahnstörungen des Uranus und sagt einen neuen Planeten voraus

Galle entdeckt den Neptun an der vorhergesagten Position. Eine Vorhersage auf Grund einer beobachteten kleinen Abweichung vom „Standardmodell“

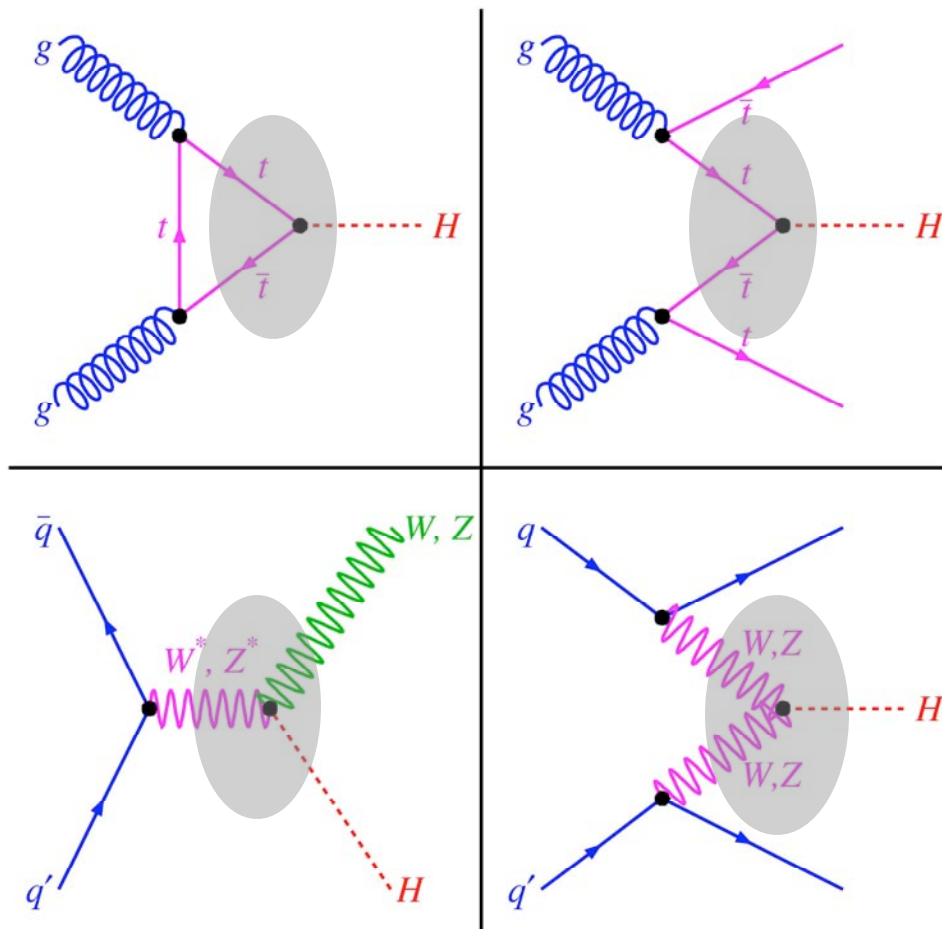
seit 2000

Die Interpretation der CERN LEP Experimente (u.a.) sagt einen neuen Beitrag zu den bekannten Massen der schwersten Teilchen voraus ...



„Strahlungskorrekturen“

Was kann am LHC passieren ?



Das Higgs Boson H spürt die Masse !

Das Higgs Boson ist die Ursache der Massenunterschiede elementarer Teilchen.



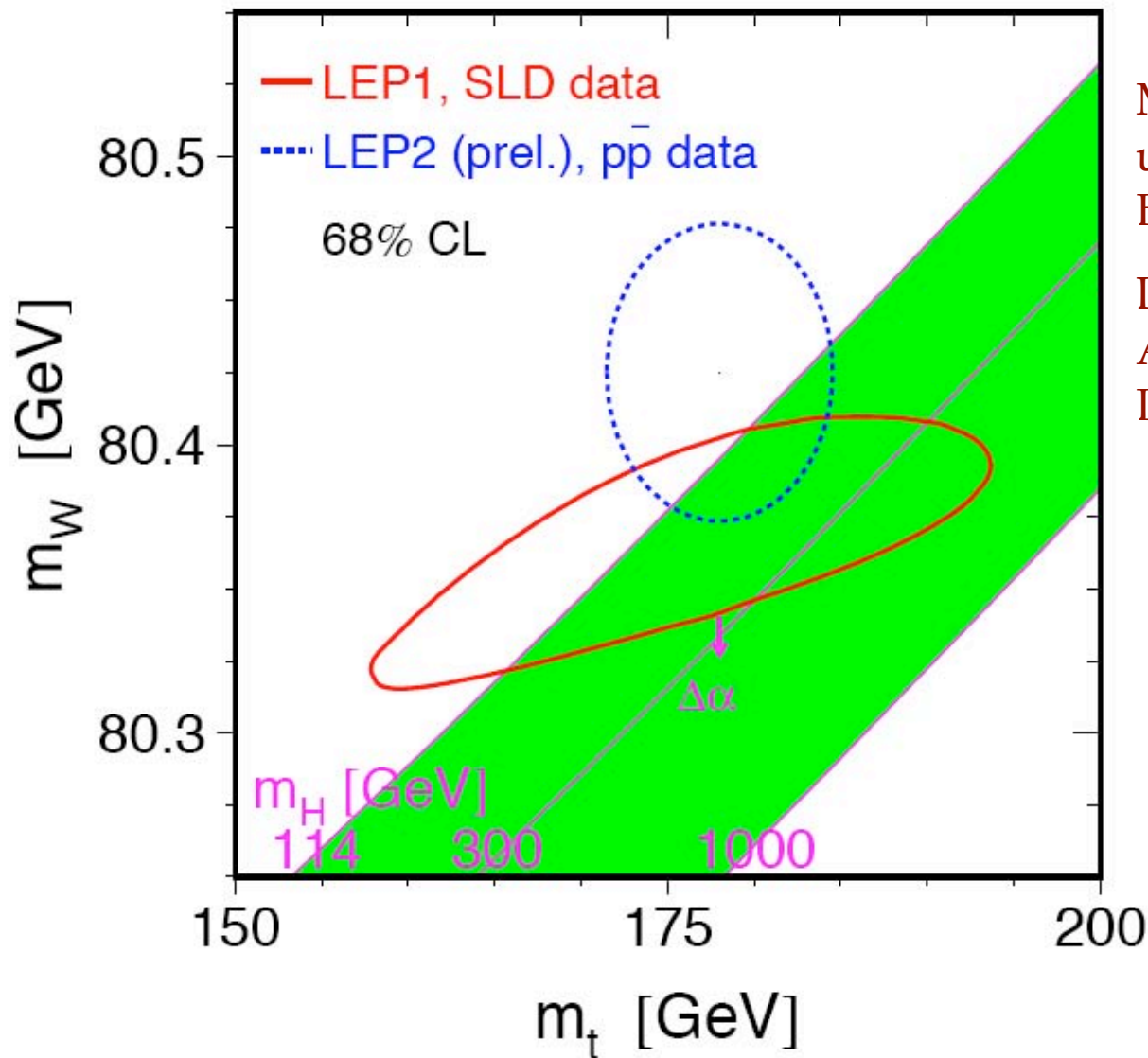
Der Higgs Mechanismus



Das Higgs Boson

Der Ursprung der Masse !

Das gut bekannte W-Boson



Möglichkeiten für das
unentdeckte Higgs
Boson

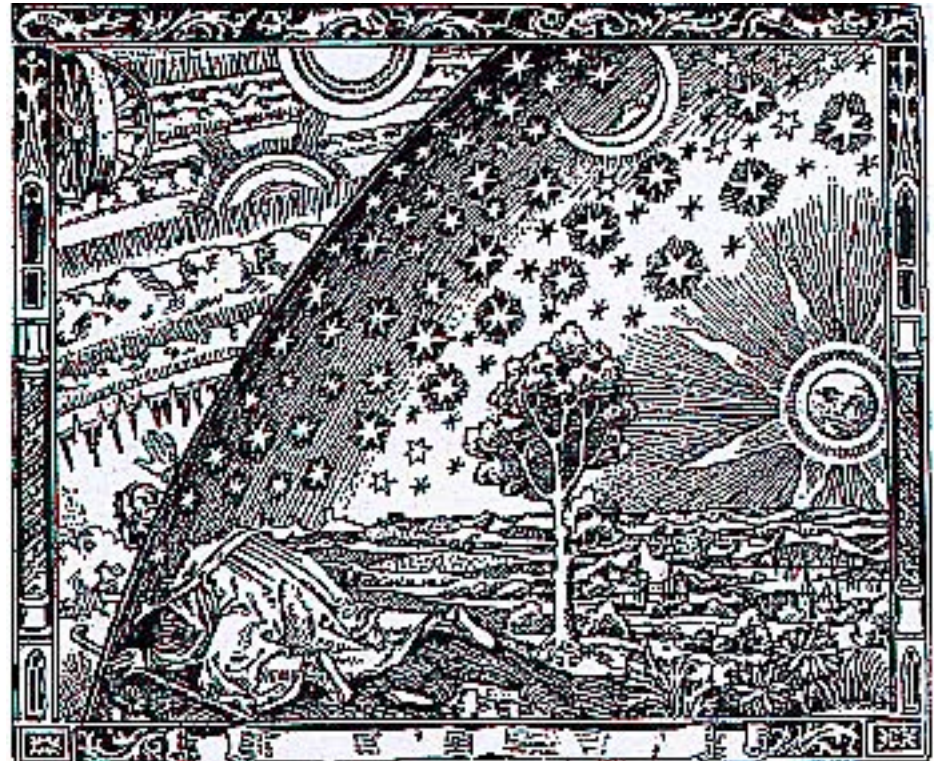
Der goldene
Arbeitsbereich des
LHC !

Das ziemlich gut bekannte top-Quark

Nach Neuem suchen

Offene Fragen

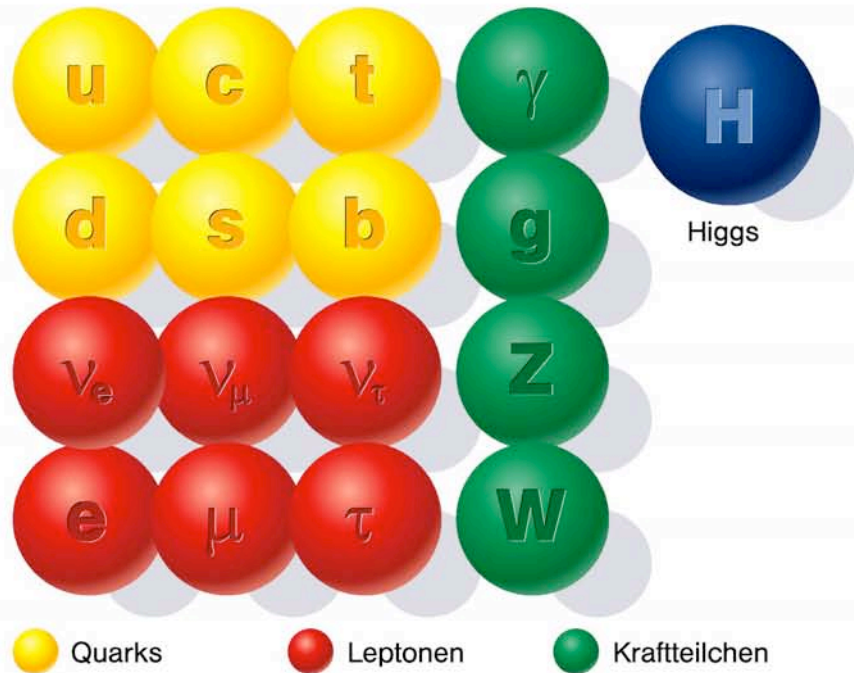
- Grundsätzliche theoretische Fragen: Gleichheit elementarer Kräfte bei sehr kleinen Abständen ? Warum ist Higgs Masse so „klein“ ?
- Gibt es Elementarteilchen, die für die im Universum beobachtete dunkle Materie verantwortlich sind ?
- Welches Verhalten zeigt die Gravitationskraft bei sehr kleinen Abständen ?
- Gibt es mehr als 3 Raumdimensionen ?
- Warum gibt es praktisch nur Materie und keine Antimaterie im Weltall ?



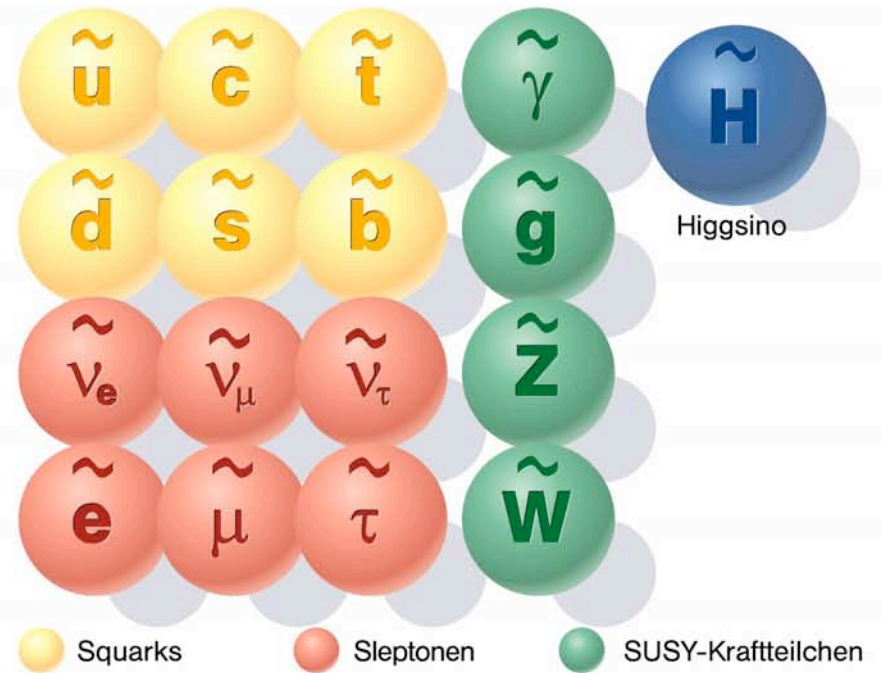
...

Supersymmetrie

Standard-Teilchen



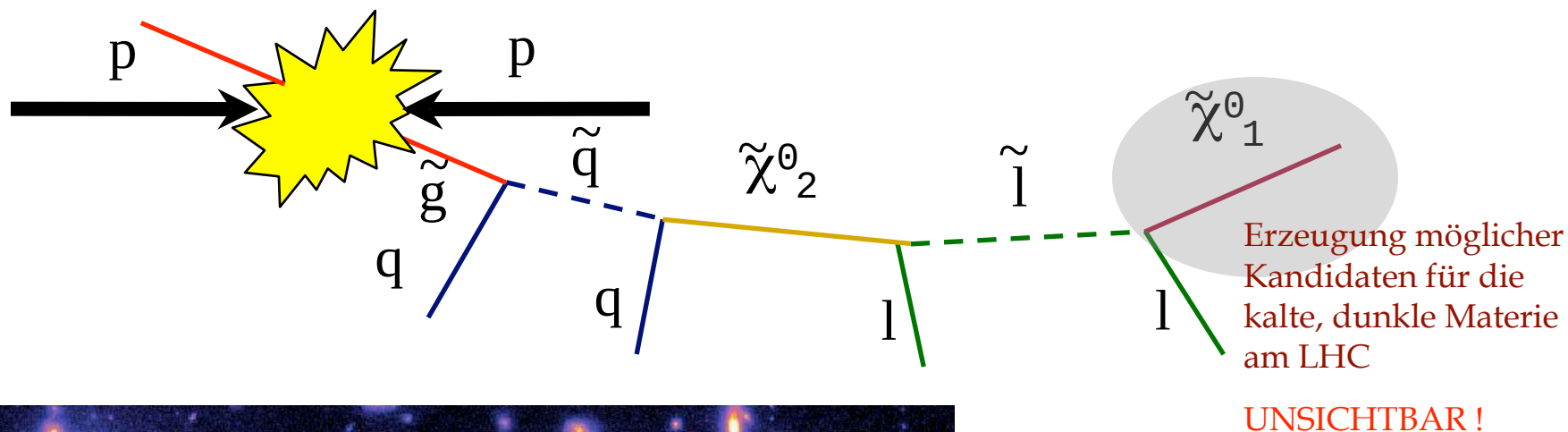
SUSY-Teilchen



Die bekannte Welt

Eine neue Welt ?

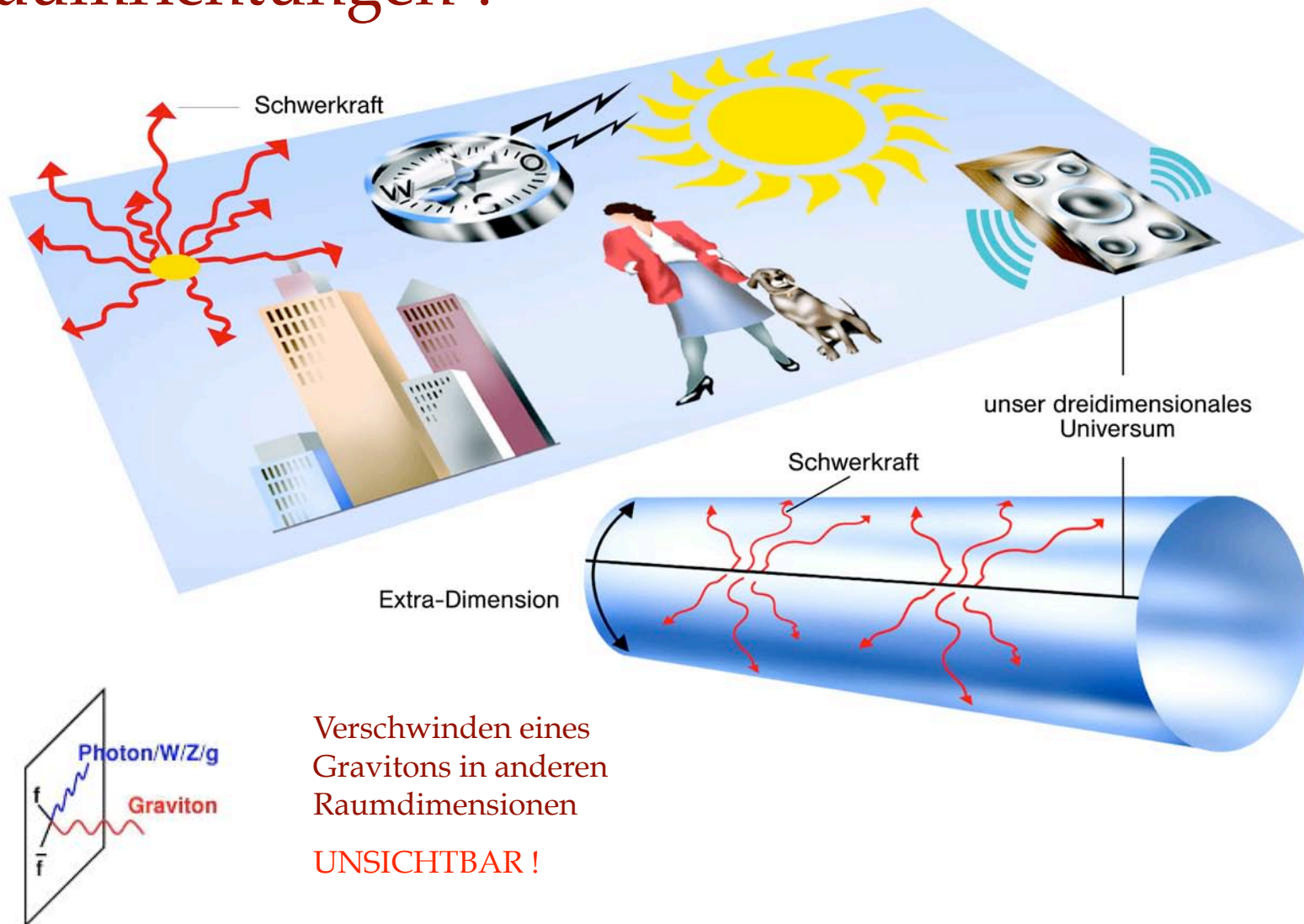
Supersymmetrische Teilchen - 25 % unseres Universums ?

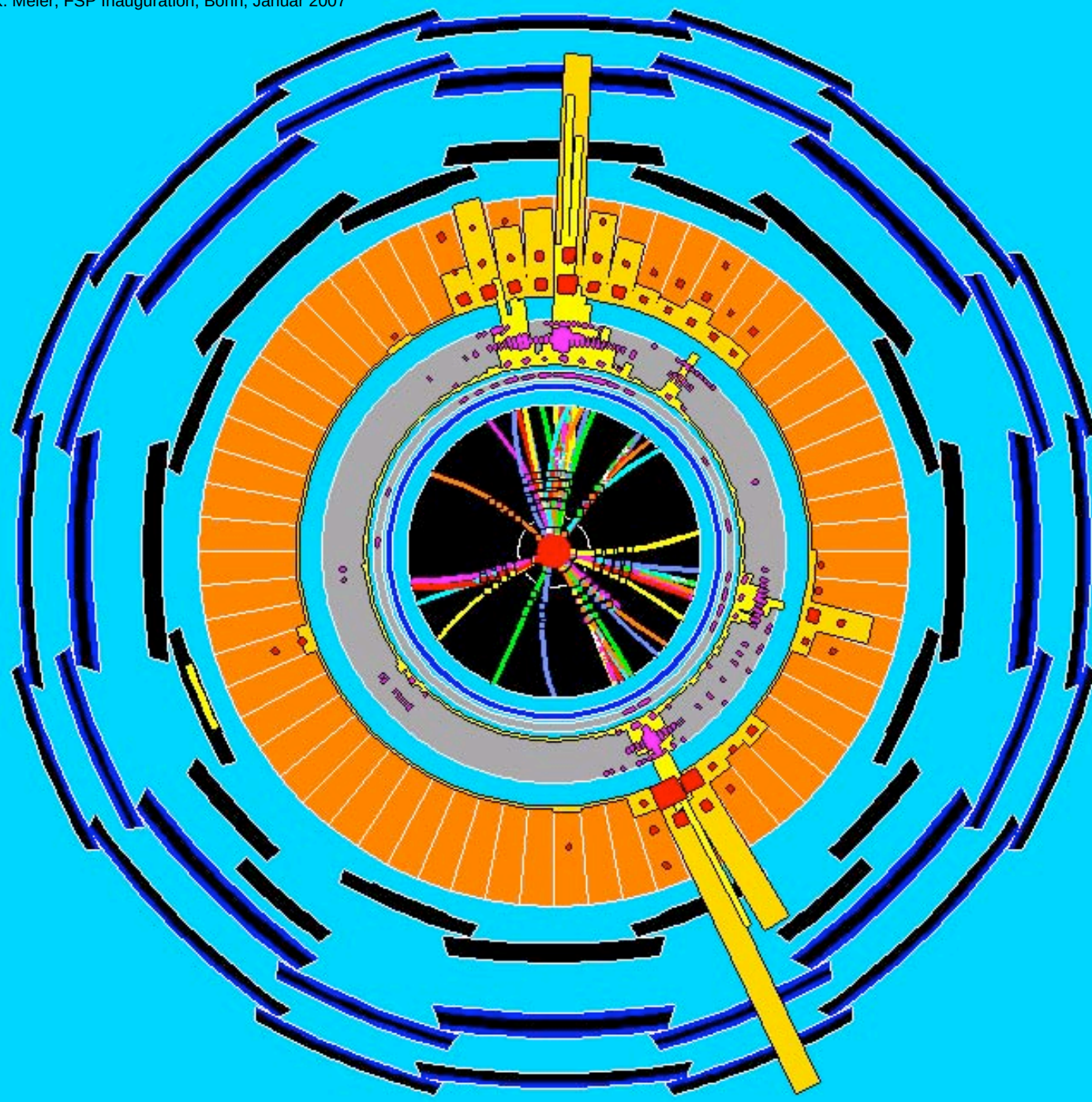


Messbare Gravitationslinsen
aus leuchtender und dunkler
Materie

3000 **unsichtbare**, aber im
Prinzip spürbare Teilchen pro
Kubikmeter Universum ?

Die schwache Gravitation - Kraft in neuen Raumrichtungen ?





ATLAS und CMS
UNSICHTBARES
wird
SICHTBAR !

Eine besonders
aufregende Signatur
für die LHC Physiker

Fehlende Energie !

Supersymmetrie ?

Extra Dimensionen ?

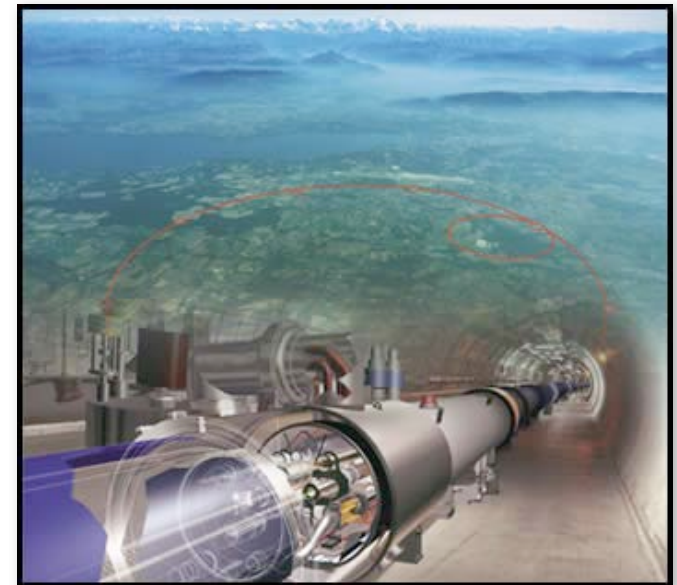
Bisher nur eine
Simulation - Vielleicht
bald eine gravierende
Änderung unseres
Weltbildes

Der LHC führt uns ab Ende 2007 in eine neue Welt der Physik

Ein Modell-Labor für die Entwicklung des Universums 0.0000000000001 bis 0.00001 Sekunden nach dem Urknall

- Eigenschaften des Quark-Gluon Plasmas !
 - Ursache der Masse elementarer Teilchen !
 - Verursacher der dunklen Materie ?
 - Struktur von Raum und Zeit ?
- ... Überraschungen !

ENTSCHEIDEND : INSTRUMENTE !!





Was wir wissen, ist ein Tropfen; was wir
nicht wissen, ein Ozean.

Isaac Newton 1643 - 1727