

# Aktuelles aus der Teilchenphysik oder: Die Archäologie des Universums

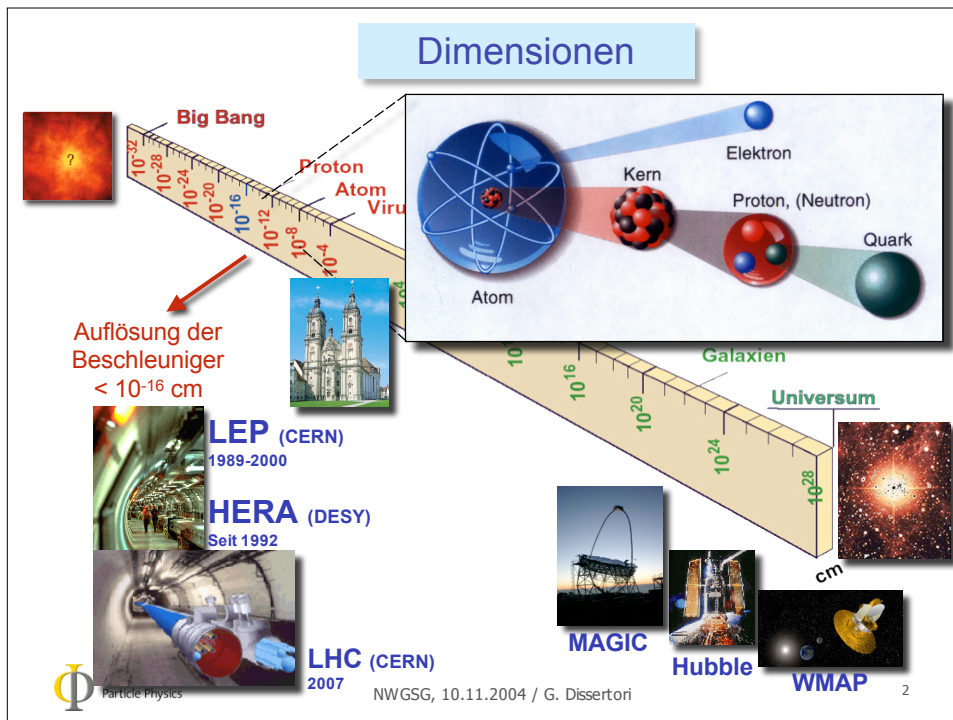
NWG St. Gallen  
10. November 2004

Günther Dissertori  
ETH Zürich



NWGS, 10.11.2004 / G. Dissertori

1



NWGS, 10.11.2004 / G. Dissertori

2

~  $10^{11}$  Galaxien

~  $10^{21}$  Sterne

~  $10^{78}$  Atome

~  $10^{88}$  Photonen

ETH Institute for Particle Physics

NWGSG, 10.11.2004 / G. Dissertori

3

## Evolution des Universums

Radius of the Visible Universe

Age of the Universe

Big Bang

Inflation

Quark Soup

Big Freeze Out

Parting Company

First Galaxies

Modern Universe

0

$10^{-32}$  Sec.

1 Second

300,000 Years

1 Billion Years

12-15 Billion Years

Raum

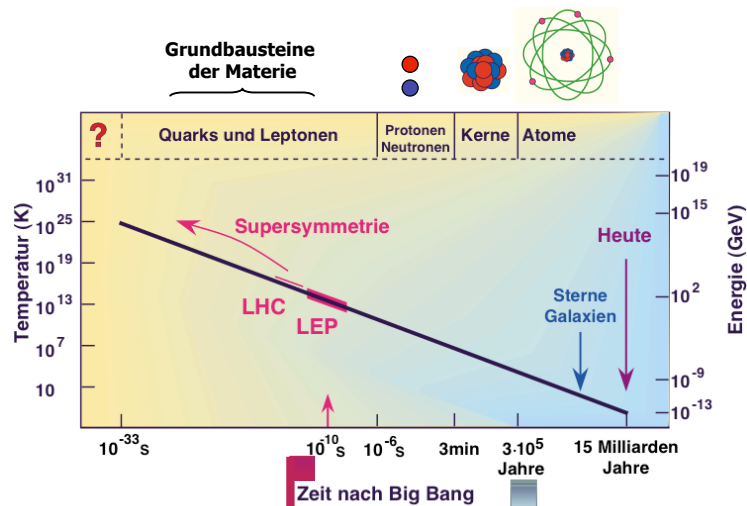
Zeit

ETH Institute for Particle Physics

NWGSG, 10.11.2004 / G. Dissertori

4

## Evolution des Universums



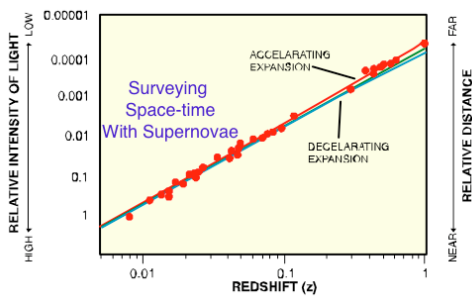
## Experimentelle Befunde für den Big Bang

- 1) Das Universum expandiert
- 2) Die kosmische Hintergrundstrahlung
- 3) Der gemessene Überschuss von Helium im Vergleich zu Deuterium, <sup>3</sup>He, <sup>7</sup>Li.

## Dunkle Energie ?

Neueste Beobachtungen :

Die Expansion des Universums ist **beschleunigt** !



Erklärbar, falls exotische Form von Energie den Raum erfüllt.

Vakuum-Energie oder

**Dunkle Energie**

Liefert abstossende Gravitation

(Kosmologische Konstante von Einstein)

## Kosmische Hintergrundstrahlung (CMB):

1963 : Penzias und Wilson :

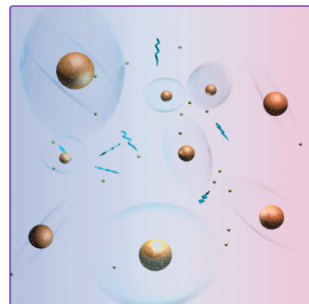
Entdeckten schwaches Signal im Mikrowellenbereich, gleichmässig aus allen Richtungen, zu jeder Zeit...

### CMB:

Ausgesendet als Temperatur des Universums ca 3000 K war

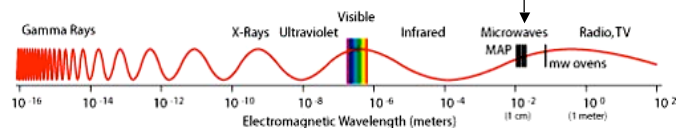
(ca 300'000 Jahre nach dem Urknall)

Atome wurden geformt, Universum wurde transparent



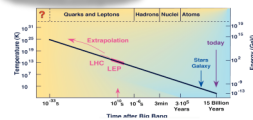
## Kosmische Hintergrundstrahlung (CMB):

Universum expandiert → Licht erreicht uns als Mikrowelle



**CMB:** wichtig für kosmologische Parameter  
**Fluktuationen** (Anisotropie) → Keime für Strukturformation  
 → Erzeugen Strukturen die wir heute im Universum sehen

### Offene Fragen

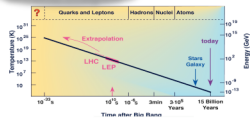


**Die Teilchenphysik**

**Was sind die Grundbausteine der Materie?**

**Was sind die Kräfte zwischen diesen Bausteinen?**

**Offene Fragen**

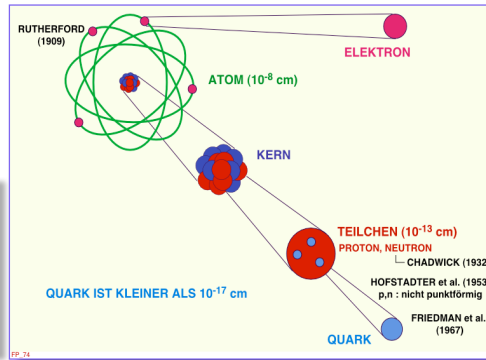


# Beginn 1900:

Neue wichtige Erkenntnisse:  
Einstein's Relativität und  
Quantenmechanik  
→ Vorhersage von Antimaterie  
~ 1930 in kosmischer  
Strahlung entdeckt

Letzten 50 Jahre:  
Faszinierende Zeit der Entdeckungen:  
• Mehr Quarks & Leptonen, W, Z ..  
• Symmetriebrechung zwischen  
*links und rechts*  
*Vergangenheit und Zukunft*

## Suche nach den Grundbausteinen der Materie



# Standardmodell der Teilchenphysik

ETH Institute for Particle Physics

NWGS, 10.11.2004 / G. Dissertori

### Gravitation

Graviton ?

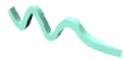


Solar system  
Galaxies  
Black holes

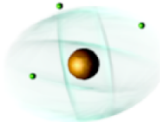


### elektromagnetische Wechselwirkung

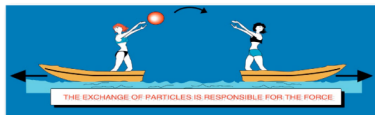
Photon



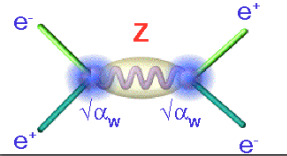
Atoms  
Light  
Chemistry  
Electronics



ETH Institute for Particle Physics



Quarks		u	c	t	γ	Force Carriers
		d	s	b	g	
Leptons	ν <sub>e</sub>	ν <sub>μ</sub>	ν <sub>τ</sub>	Z	Three Generations of Matter	
	e	μ	τ	W		



NWGS, 10.11.2004 / G. Dissertori

### starke Wechselwirkung

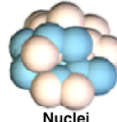
Gluons (8)



Quarks



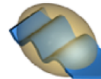
Mesons  
Baryons



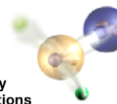
Nuclei

### schwache Wechselwirkung

Bosons (W,Z)



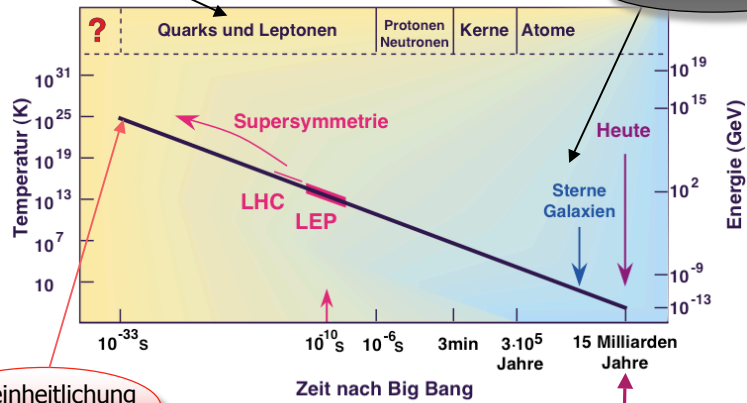
Neutron decay  
Beta radioactivity  
Neutrino interactions  
Burning of the sun



## Offene Fragen: Teilchenphysik ↔ Kosmologie

Teilchen Massen ?

Dunkle Materie ?



Vereinheitlichung der Kräfte ?

Materie-Antimaterie Asymmetrie ?

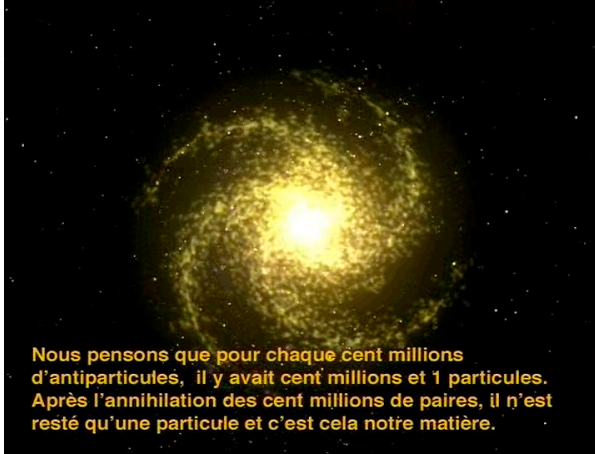
## Offene Frage: Dunkle Materie

Dunkle Materie ?

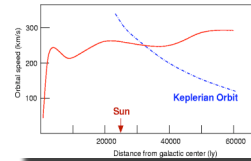
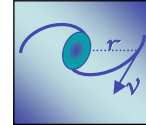


# Die versteckte Materie im Universum

Messung der Rotationsgeschwindigkeit der Sterne in Spiralgalaxien:



Reinigung



Dunkle Materie (DM)

~30%

Zwerg-Sterne  
Heisse DM (Neutrinos)  
Kalte DM (LSP)

Teilchenphysik

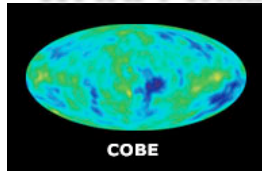


NWGS, 10.11.2004 / G. Dissertori

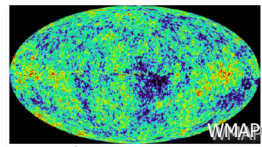
15

Von CMB (Cosmic Microwave Background):  
Dunkle Materie muss existieren !

## WMAP: Wilkinson Microwave Anisotropy Probe



COBE 1992: Erste Hinweise auf Fluktuationen in CMB  
Fluktuationen → Strukturformation und CMB Anisotropie



Launch Juni 2001  
Datennahme August, 2001



Universum: 4% Atome, 23% Kalte Dunkle Materie, 73% Dunkle Energie

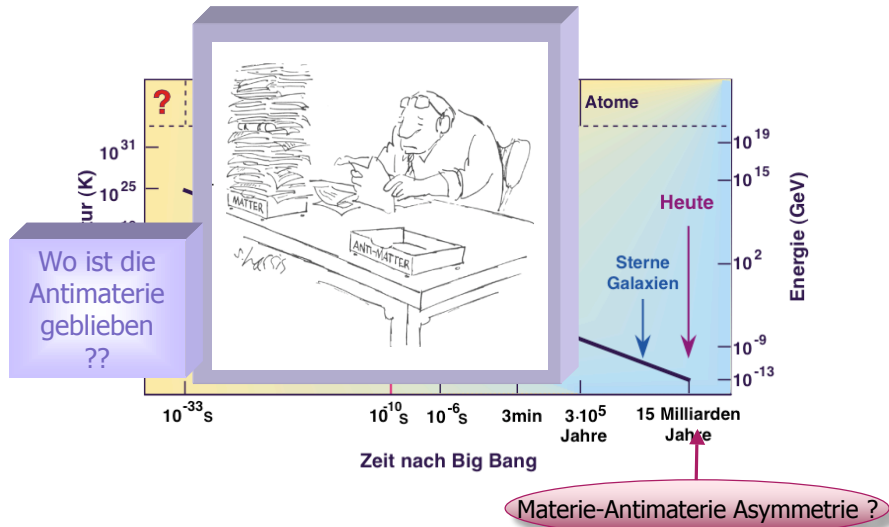
ETH Institute for Particle Physics

NWGS, 10.11.2004 / G. Dissertori

16



## Offene Frage: Materie-Antimaterie Asymmetrie



## CP-Verletzung

Beobachtet und z.Z. im Detail untersucht:

- Linkshändige Teilchen verhalten sich nicht identisch zu rechtshändigen Anti-Teilchen !



Am CERN : Zerfälle von Neutralen K-Mesonen (s-quark, d-antiquark)

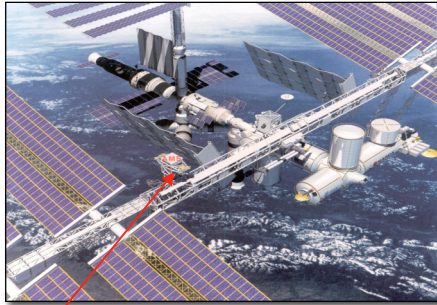
NA 48 Experiment

In Stanford und in Japan : Zerfälle von Neutralen B-Mesonen (b-quark, d-antiquark)

Babar und Belle Experimente



## Das AMS (Alpha Magnetic Spectrometer) Experiment auf ISS

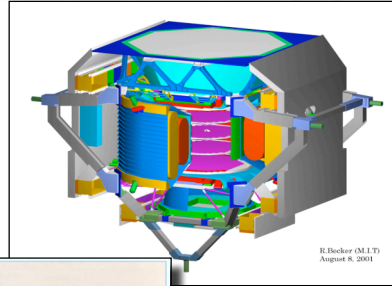


AMS wird im Jahre 2007 auf der Internationalen Space Station **ISS** auf einer Höhe von 430 km installiert.

ETH Zürich und Universität Genf sind im AMS involviert

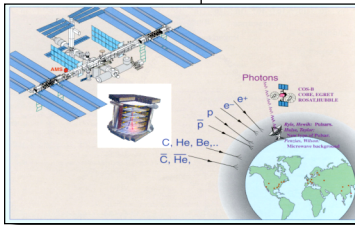


- ◆ Messung der geladenen kosmischen Strahlung
- ◆ Suche nach Antimaterie (z.B. Anti-Helium)
- ◆ Suche nach Kalter Dunkler Materie (LSP)



E. Becker (M.L.T.) August 8, 2001

Konzept eines Teilchenphysik Detektors

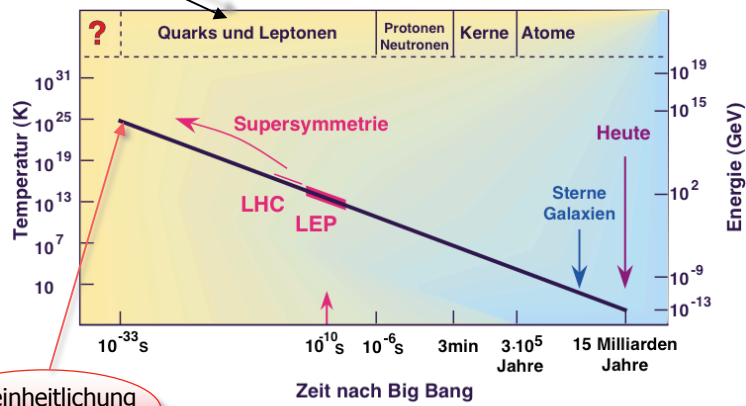


NWGS, 10.11.2004 / G. Dissertori

19

## Offene Fragen: Teilchenphysik ↔ Kosmologie

Teilchen Massen ?



Vereinheitlichung der Kräfte ?



NWGS, 10.11.2004 / G. Dissertori

20

# Standardmodell der Teilchenphysik

## Grundbausteine der Materie

Leptonen	$\nu_e$	$\nu_\mu$	$\nu_\tau$
	e	$\mu$	$\tau$
Quarks	u	c	t
	d	s	b

## Fundamentale Wechselwirkungen

### Wechselwirkung

*	Elektromagnetisch
	Schwach
	Stark
	Gravitation

### Träger

Photon
W, Z
Gluon
Graviton

$LEP \cdot N_v =$

**Ursprung der Teilchenmassen (Higgs)?**  
**Vereinheitlichung der Kräfte?**  
 etc

testet (LFC)

Medium der  
 Teilchenphysik

**Antwort auf offene Fragen → LHC am CERN**



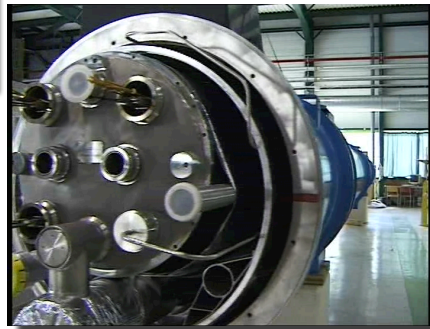
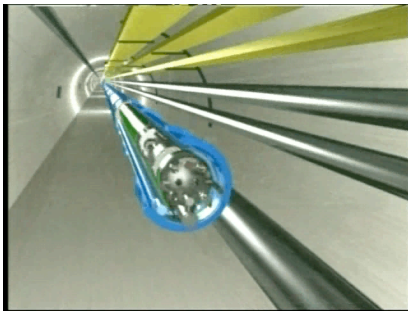
# CERN - Large Hadron Collider



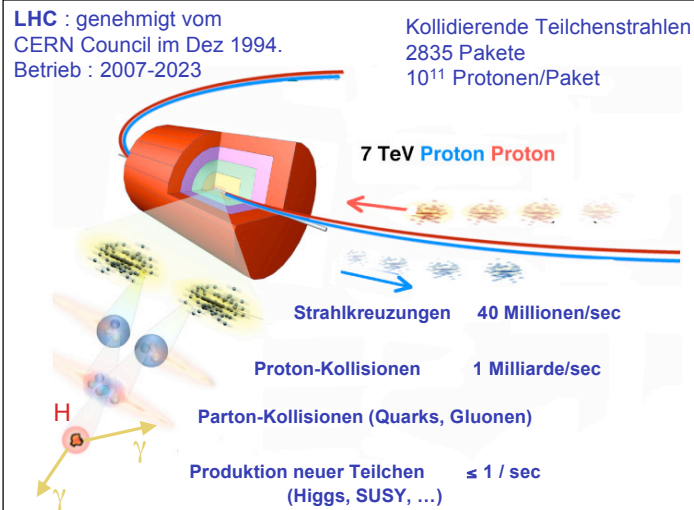
**LHC: Proton-Proton Kollisionen bei 14 000 GeV  
Beginn Datennahme: 2007**



**LHC: Proton-Proton Kollisionen bei 14 000 GeV  
Beginn Datennahme: 2007**



## Kollisionen beim LHC



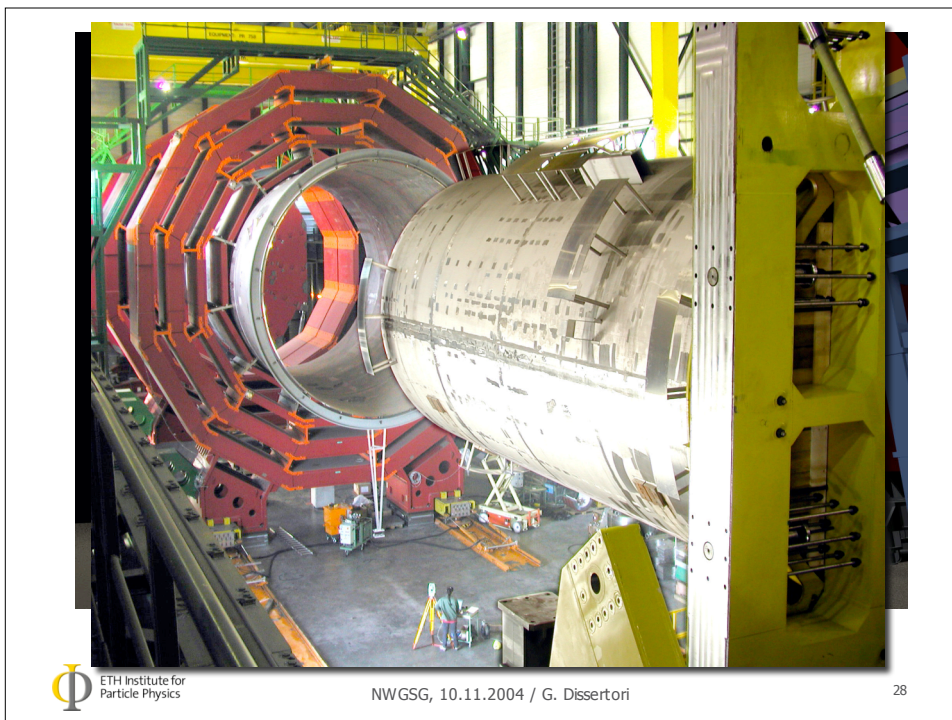
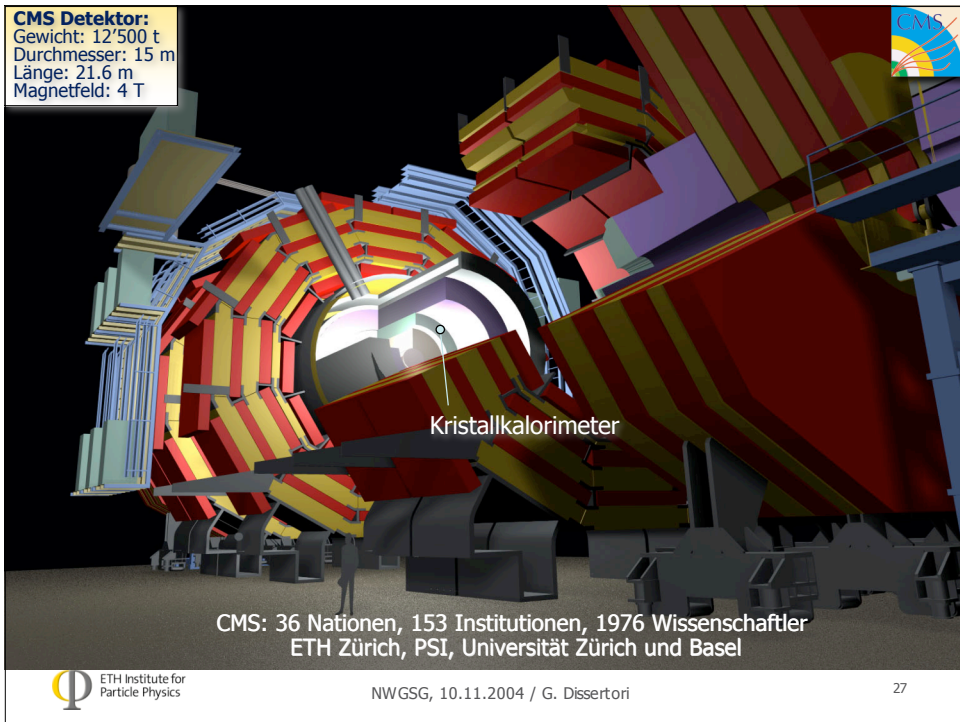
## Warum grosse Beschleuniger und grosse Detektoren?

$$E = mc^2$$

$$\lambda \propto 1/p$$

$$R \propto p/B$$

$$l \propto \ln(E)$$



September 2004 **MTV**

Konstruktion am Punkt 5 des LHC

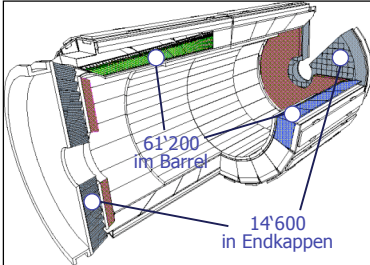





NWGS, 10.11.2004 / G. Dissertori

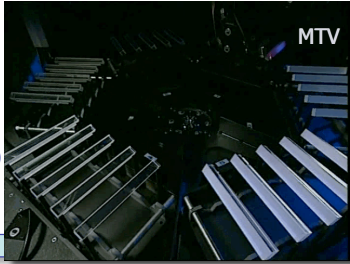
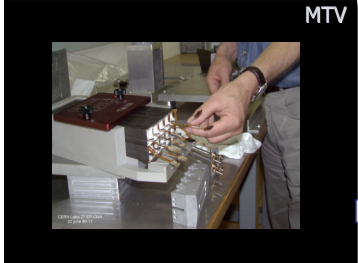
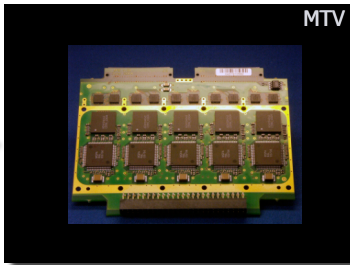
29

**CMS Kristallkalorimeter**  
 Total ~ 76'000 Bleiwolframat ( $PbWO_4$ ) Kristalle




61'200 im Barrel  
 14'600 in Endkappen

~ 30'000 Kristalle am CERN  
 21 Supermodule (à 1'700 Kristalle) gebaut

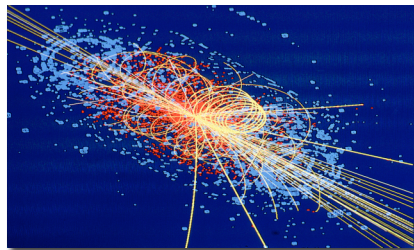
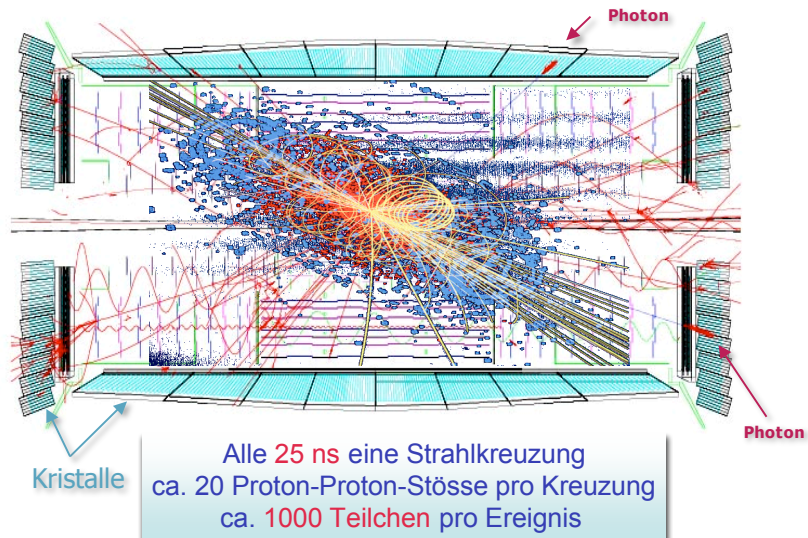
Sequenzen aus SF1 MTV Sendung (September 2004)



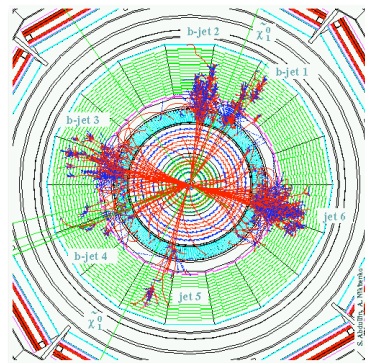
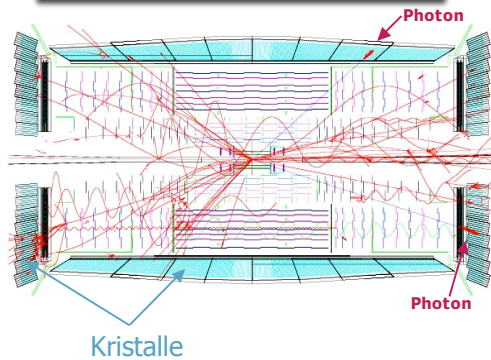
NWGS, 10.11.2004 / G. Dissertori

30

# Proton-Kollisionen in CMS



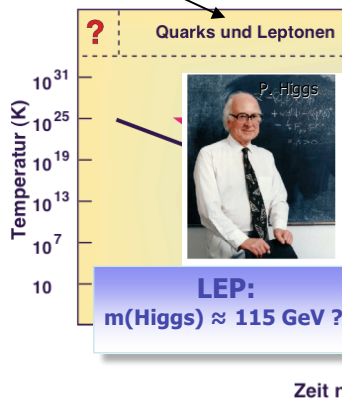
Ereignisse  
(Simulation)



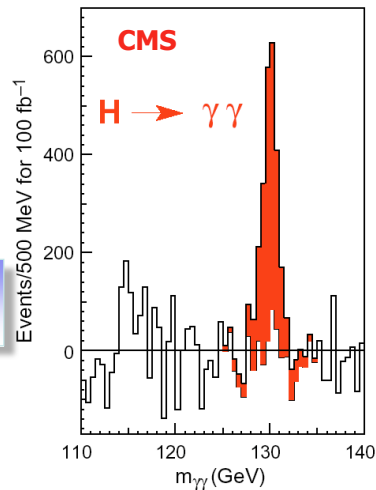


## Offene Frage: Ursprung der Teilchenmassen

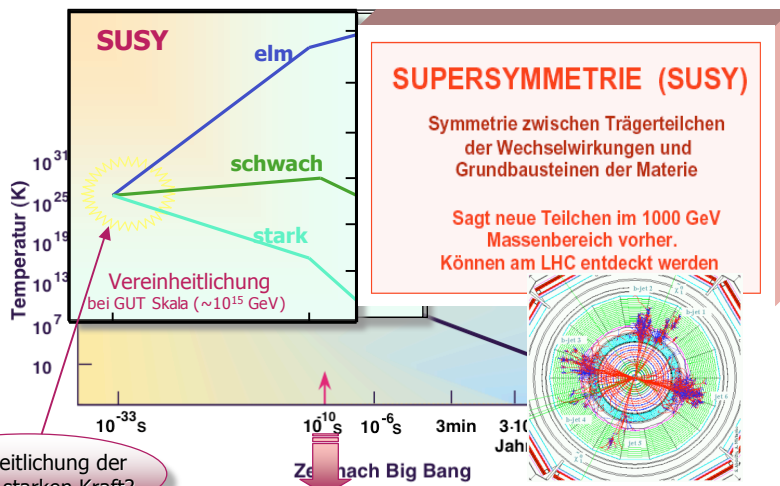
Teilchen Massen ?



Higgs Signal am LHC



## Offene Frage: Vereinheitlichung der Kräfte

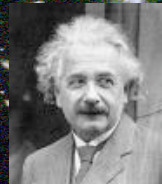
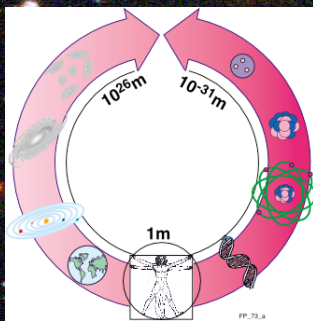


Standardmodell der Teilchenphysik: Vereinheitlichung der elektromagn. und schwachen Kraft  $\rightarrow$  Elektroschwache WW

## Offene Fragen

- ☞ Ursprung der **Teilchenmassen** ?
- ☞ Warum **drei Familien** ?
- ☞ **Vereinheitlichung** der Wechselwirkungen, auch Gravitation ?
- ☞ Was ist die **Dunkle Materie**, was ist die **Dunkle Energie** ?
- ☞ Gibt es **Supersymmetrische** Teilchen ?
- ☞ **Materie-Anti-Materie** Asymmetrie ?
- ☞ Weitere **Sub-Struktur** der fundamentalen Teilchen ?
- ☞ Gibt es "**Extra-Dimensions**" ?

☞ ...



*Das Unverständlichste am  
Universum ist im Grunde  
dass wir es verstehen !*

*A. Einstein*

# Neutrinos

Elementare Fermionen

### Quarks

Bottom  Electric Charge: -1/3	Top  Electric Charge: 2/3
Strange  Electric Charge: -1/3	Charm  Electric Charge: 2/3
Down  Electric Charge: -1/3	Up  Electric Charge: 2/3

each quark: ● R, ● B, ● G 3 colors

---

### Leptons

Tau  Electric Charge: -1	Tau Neutrino  Electric Charge: 0
Muon  Electric Charge: -1	Muon Neutrino  Electric Charge: 0
Electron  Electric Charge: -1	Electron Neutrino  Electric Charge: 0

Neutrinos

**Elementar** = keine interne Struktur, keine angeregten Zustände

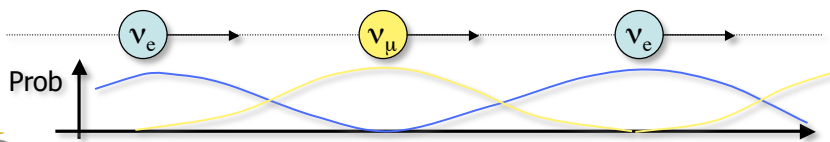
# Haben Neutrinos Masse ?

**Direkte Massenbestimmung:**

Massengrenzen		
Teilchen	Bestimmung via	Grenze
$m_{\nu_e}$	$\beta^-$ -Zerfall des Tritiums	$< 3 \text{ eV}/c^2$
$m_{\nu_\mu}$	$\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$	$< 0.19 \text{ MeV}/c^2$
$m_{\nu_\tau}$	$\tau \rightarrow \nu_\tau + \text{Hadronen}$	$< 18.2 \text{ MeV}/c^2$

**Neutrino Oszillationen** : Notwendige Bedingungen

- Nicht alle Neutrinos haben **Masse=0**
- **Lepton-Zahl** ist nicht streng erhalten : Neutrino-Arten **mischen** untereinander



## Neutrinos und ihre Wechselwirkung

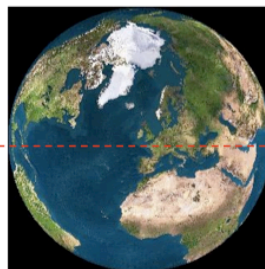
- ☞ Wirkungsquerschnitt =  $10^{-43} \text{ cm}^2$
- ☞ Mittlere freie Weglänge in Wasser  $\approx 30$  Lichtjahre !!

Electromagnetic radiation ( $\gamma$ ) is immediately absorbed



$\nu$

Neutrinos have large probability to **cross matter without interacting**  
 $\Rightarrow$  in this case, they do not deposit any energy

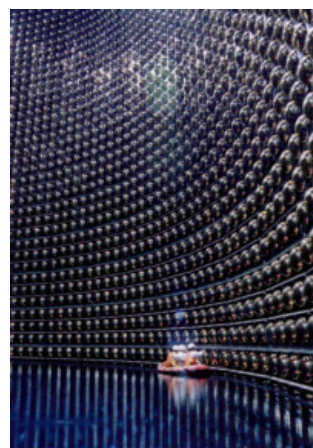
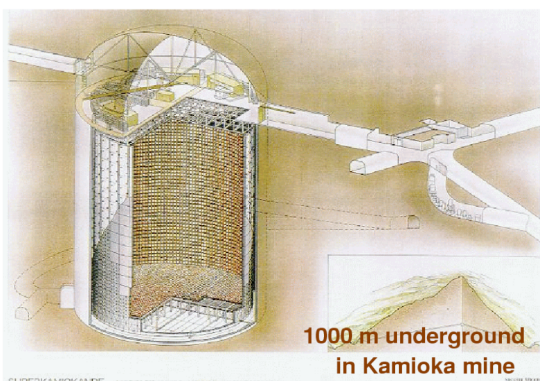


They mostly cross the Earth without interacting!

## Beispiel für einen Neutrino-Detektor

Super-Kamiokande (Japan) :

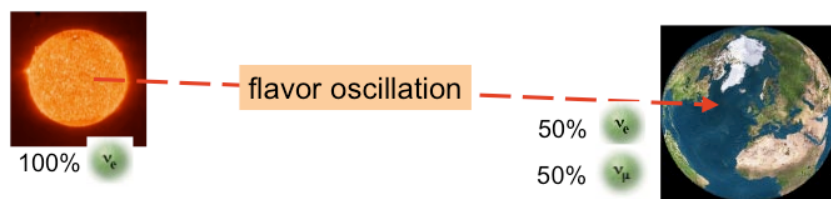
- ☞ 50000 Tonnen reines Wasser,  $h = 41.2\text{m}$ ,  $D = 39.3 \text{ m}$



## Evidenz für Oszillationen

### Beobachtungen seit den 70iger Jahren (verschiedene Experimente)

- Nur ca. die Hälfte aller erwarteten Elektron-Neutrinos von der Sonne werden auf der Erde gemessen.
- Nobelpreis 2002 : R. Davis, M. Koshiba



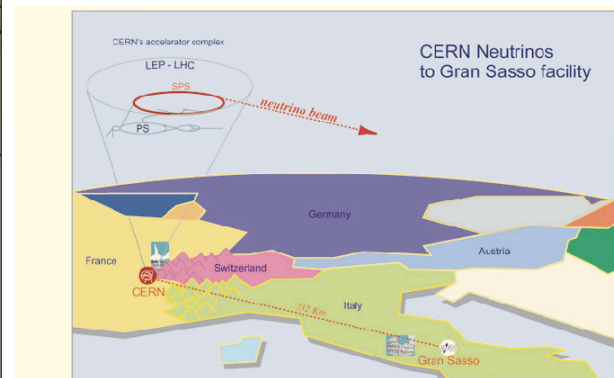
- Auch beobachtet bei "atmosphärischen" Neutrinos

## Neutrinos : Heute - Morgen

### ν Beam from KEK to Superkamiokande: K2K

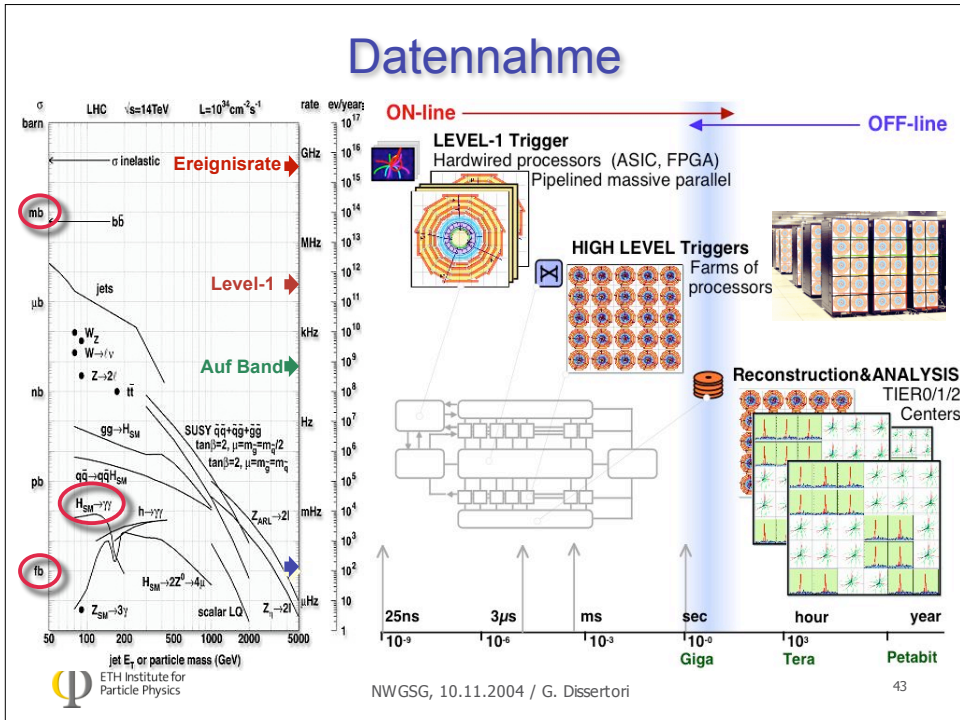


### ν beam from CERN to Gran Sasso (Italy)



$\langle E_\nu \rangle \sim 25 \text{ GeV}$ , distance  $\sim 730 \text{ km}$ , optimized for  $\tau$ -appearance  
 approved in December 1999 start operation in 2006 ?  
 Experiments: ICARUS, OPERA

# Datennahme

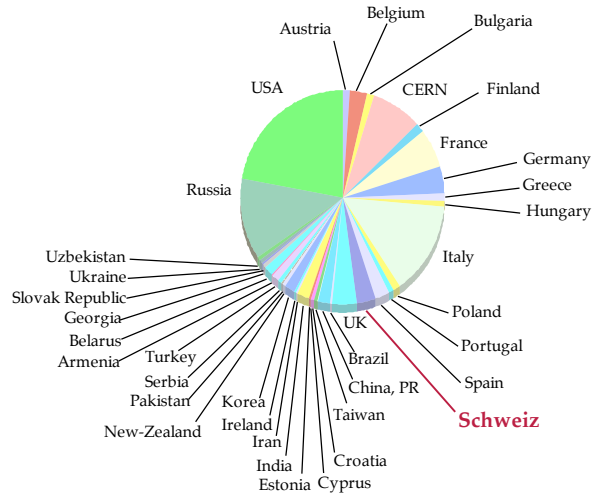


# CMS Kollaboration (Mai 04)

	Number of Laboratories
Member States	59
Non-Member States	56
USA	38
<b>Total</b>	<b>153</b>

	Number of Scientists
Member States	1005
Non-Member States	528
USA	443
<b>Total</b>	<b>1976</b>

Associated Institutes	
Number of Scientists	73
Number of Laboratories	10



**1976 Physiker und Ingenieure**  
**36 Staaten**  
**153 Institute**

<http://cmsdoc.cern.ch/pictures/cmsorg/overview.html>