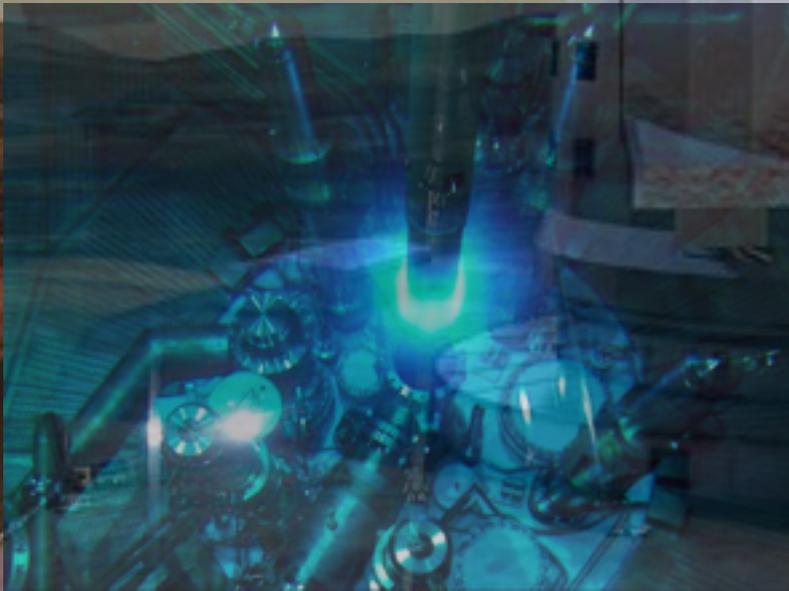
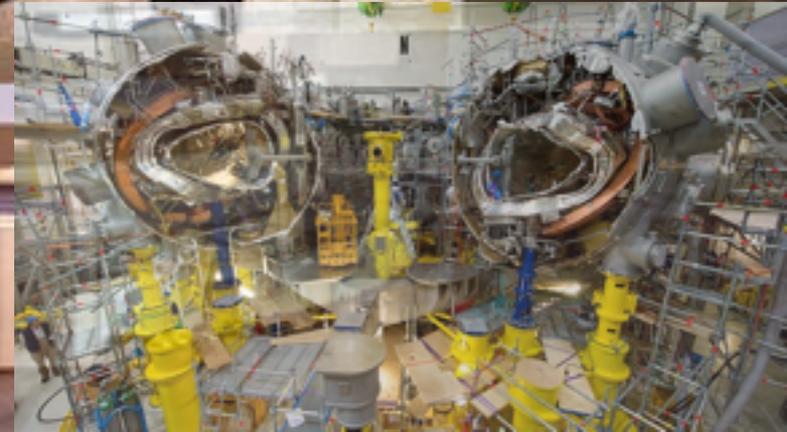


Die Erforschung des Universums – Warum wir große Forschungsgeräte bauen

Exzellenzcluster Universe

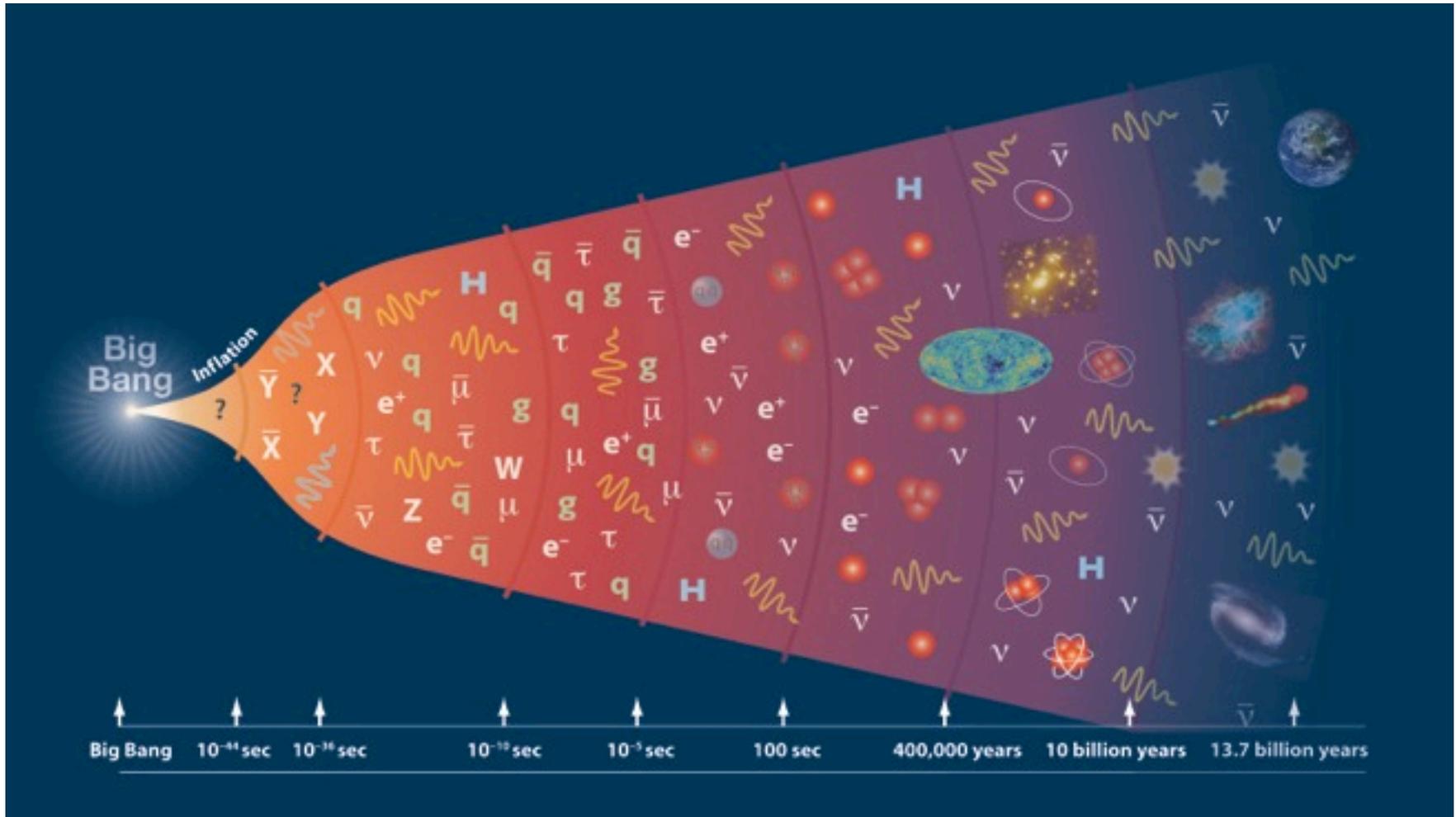


Stephan Paul
TU-München

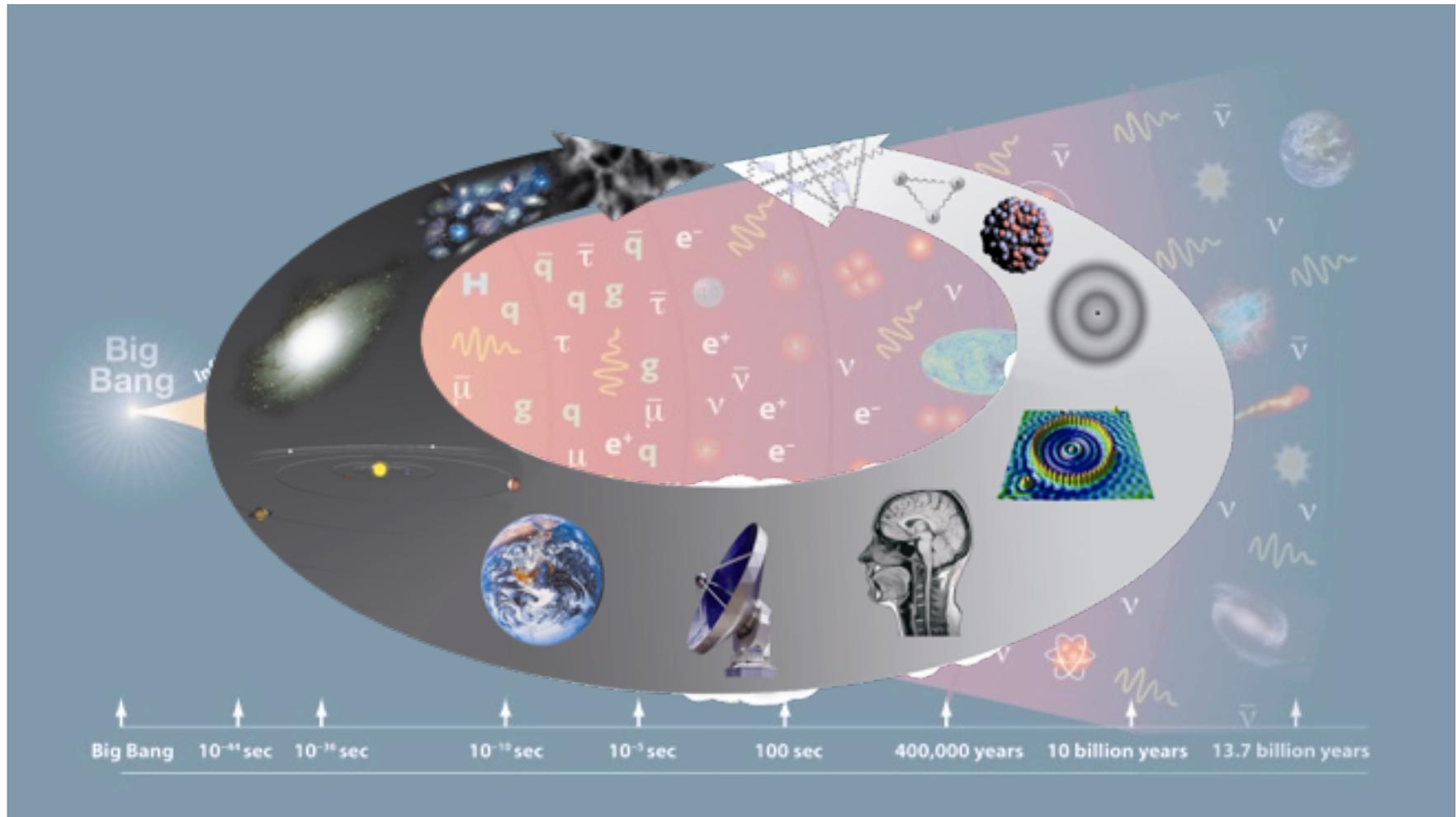


Prof. Dr. Stephan Paul | Die Erforschung des Universums – Warum wir große Forschungsgeräte bauen

Geschichte des Universums



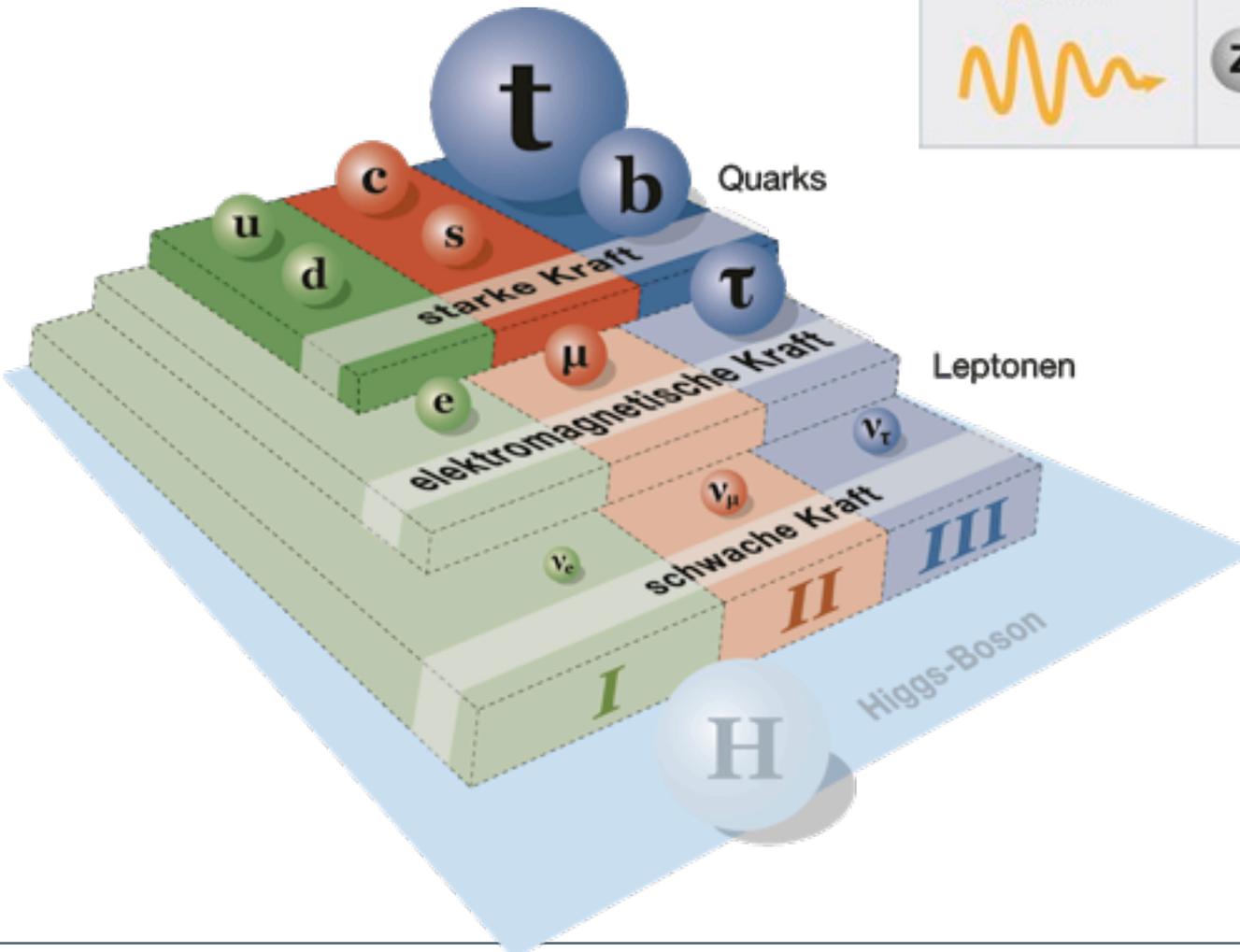
Geschichte des Universums



Die Bausteine der Welt

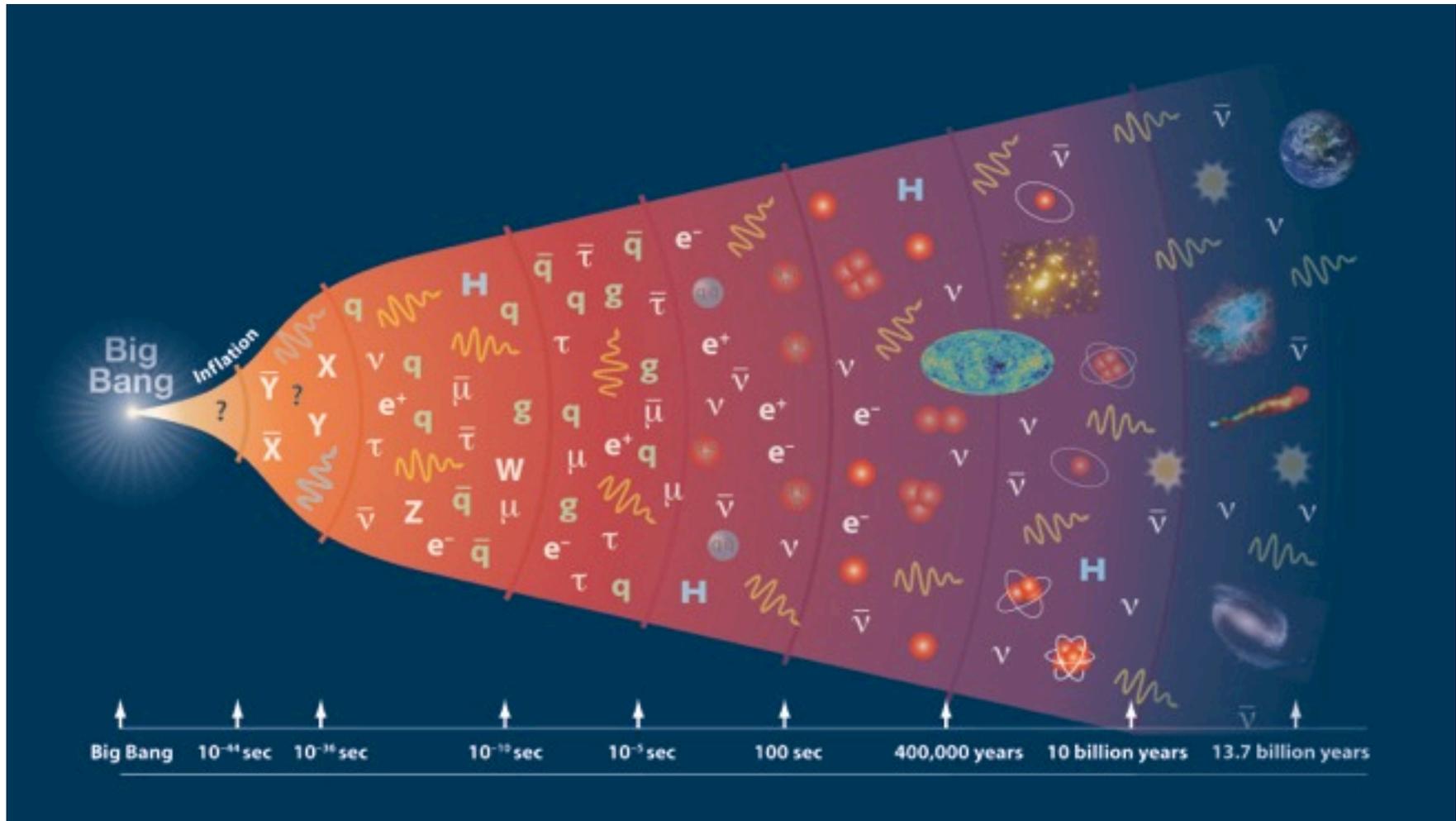


Die Bausteine der Welt



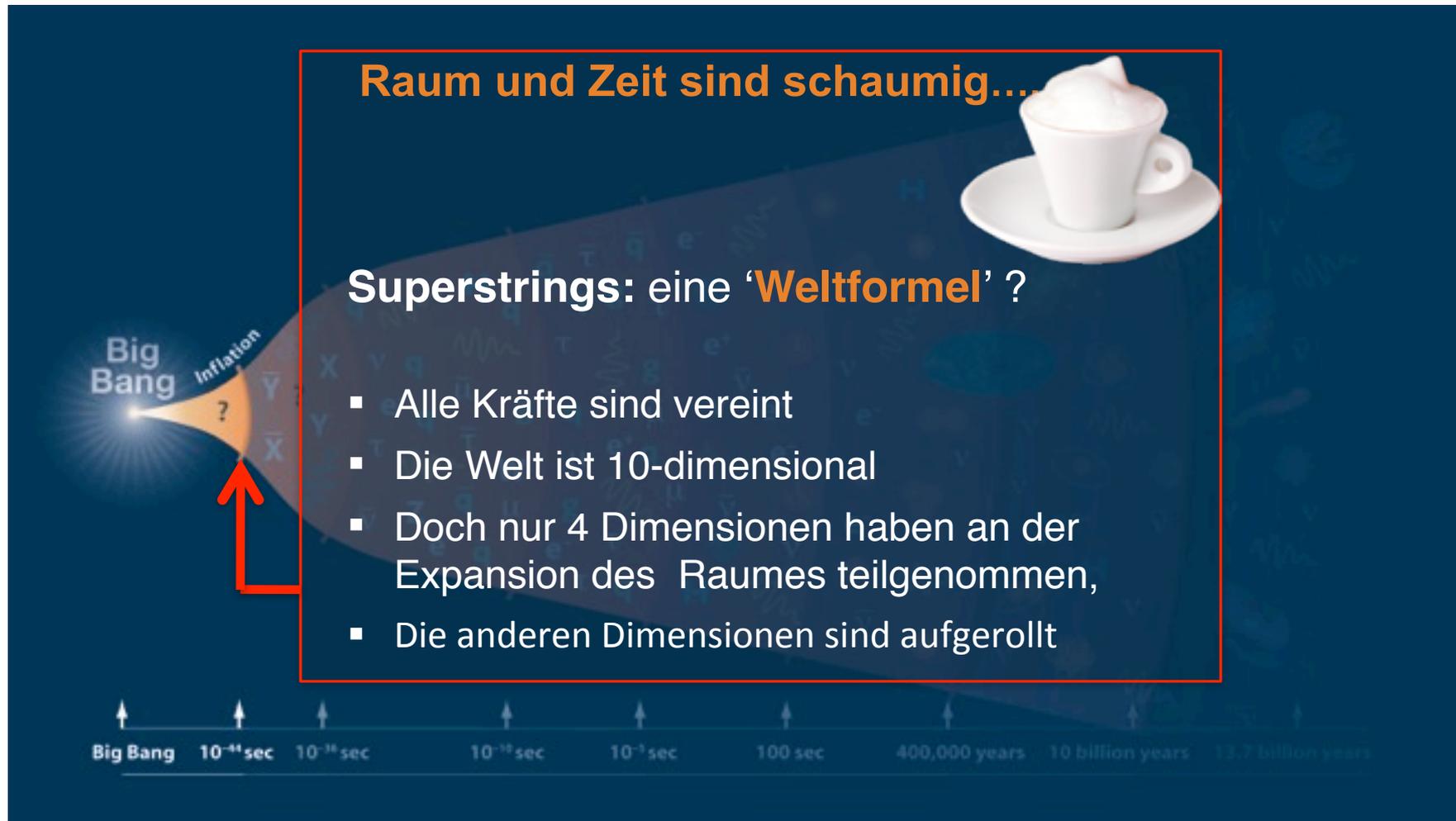
elektromag. Kraft	schwache Kraft	starke Kraft
1 Photon	3 Bosonen	8 Gluonen
	Z^0 W^+ W^-	

Geschichte des Universums



Prof. Dr. Stephan Paul | Die Erforschung des Universums – Warum wir große Forschungsgeräte bauen

10^{-43} Sek. nach dem Urknall: Der Vorhang hebt sich!



Raum und Zeit sind schaumig...

Superstrings: eine 'Weltformel' ?

- Alle Kräfte sind vereint
- Die Welt ist 10-dimensional
- Doch nur 4 Dimensionen haben an der Expansion des Raumes teilgenommen,
- Die anderen Dimensionen sind aufgerollt

Timeline labels: Big Bang, 10^{-43} sec, 10^{-32} sec, 10^{-12} sec, 10^{-3} sec, 100 sec, 400,000 years, 10 billion years, 13.7 billion years

10^{-35} bis 10^{-32} Sekunden nach dem Urknall

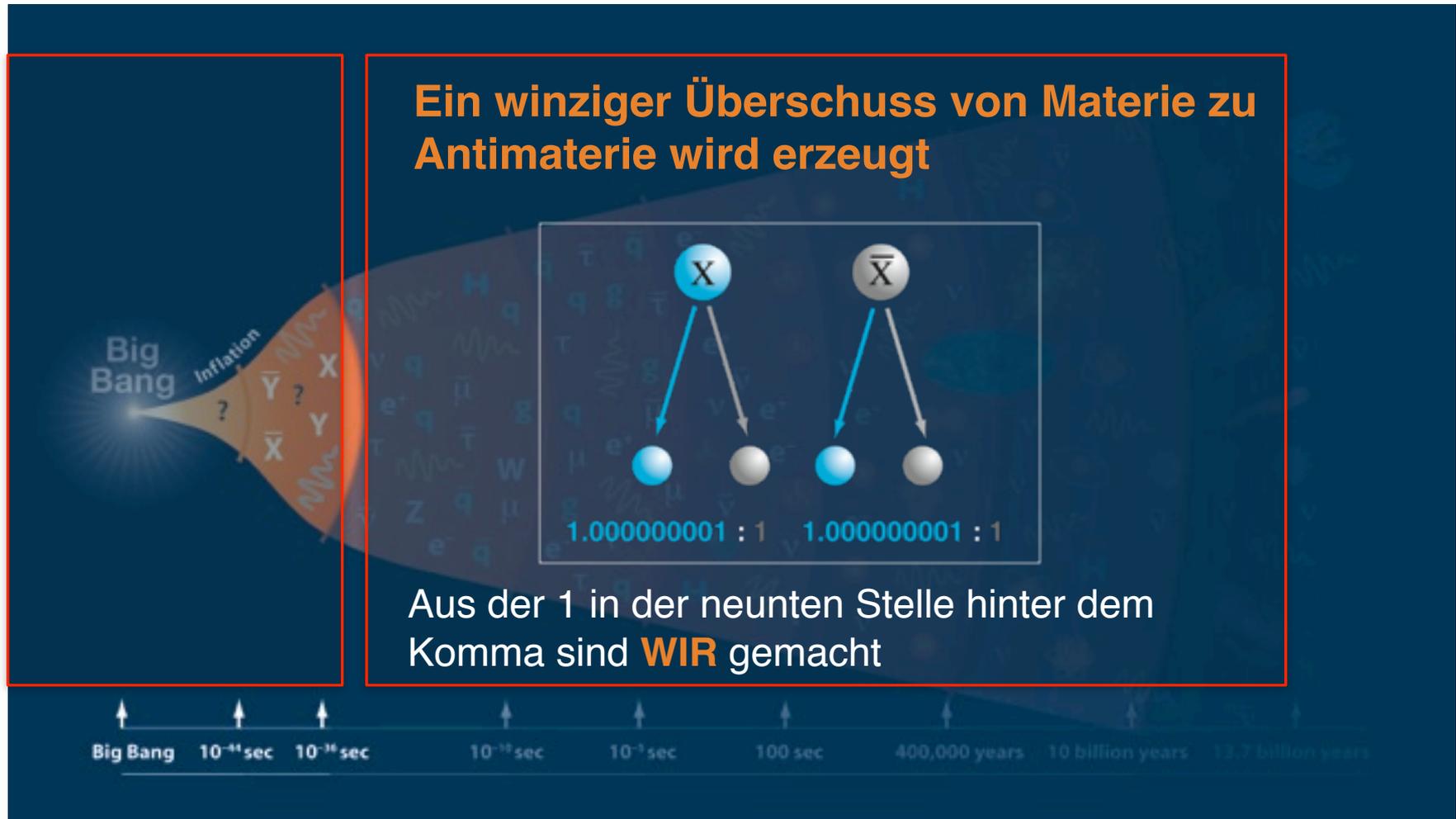
Inflation:

Innerhalb von 10^{-32} Sekunden expandiert der Raum um das 10^{50} -fache

- Quantenfluktuationen in der Energiedichte werden verstärkt (**3 K Hintergrundstrahlung**)
- Sie bilden die Grundlage für die spätere Entstehung von Galaxien



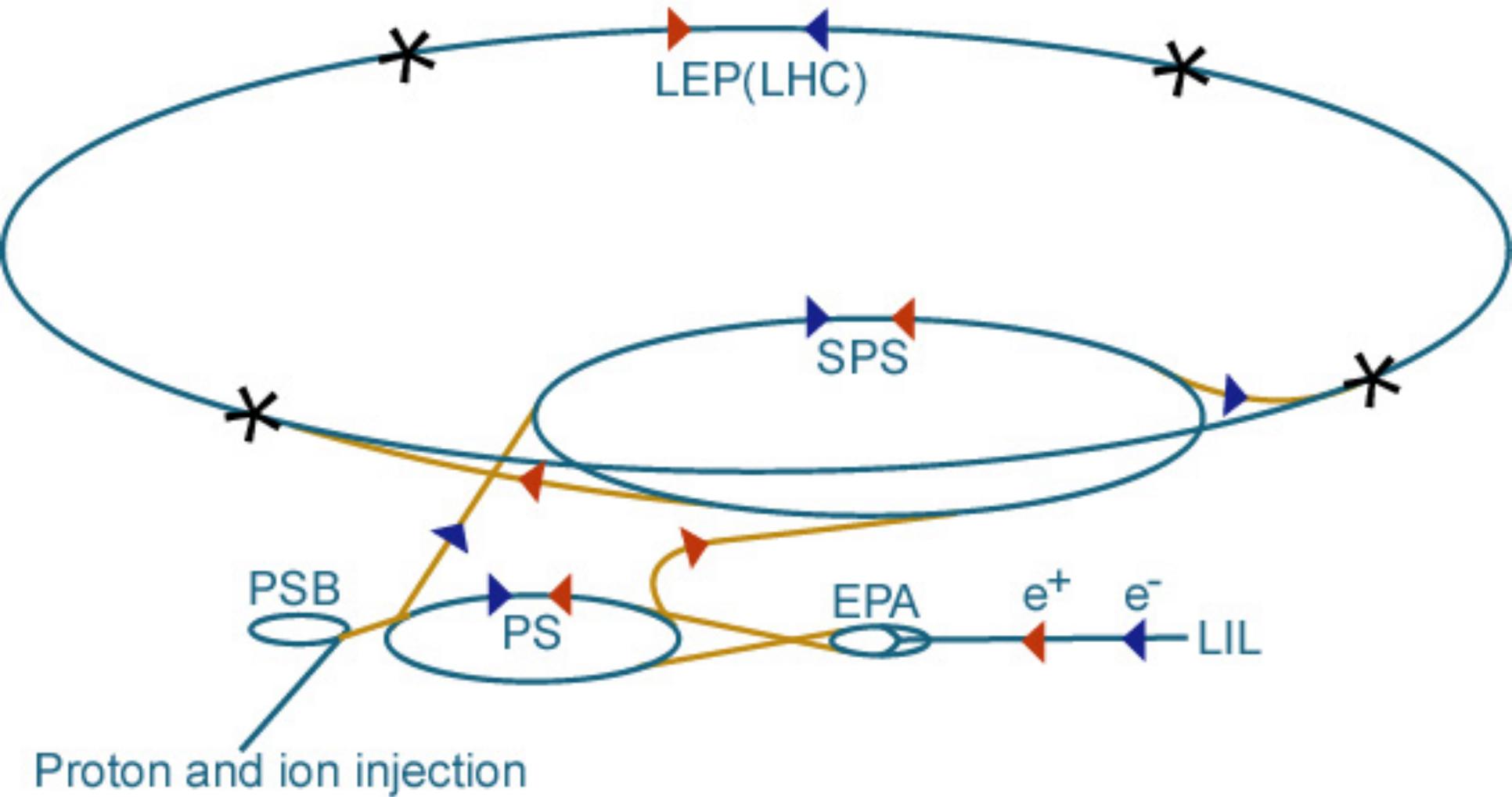
10^{-34} bis 10^{-33} Sekunden nach dem Urknall



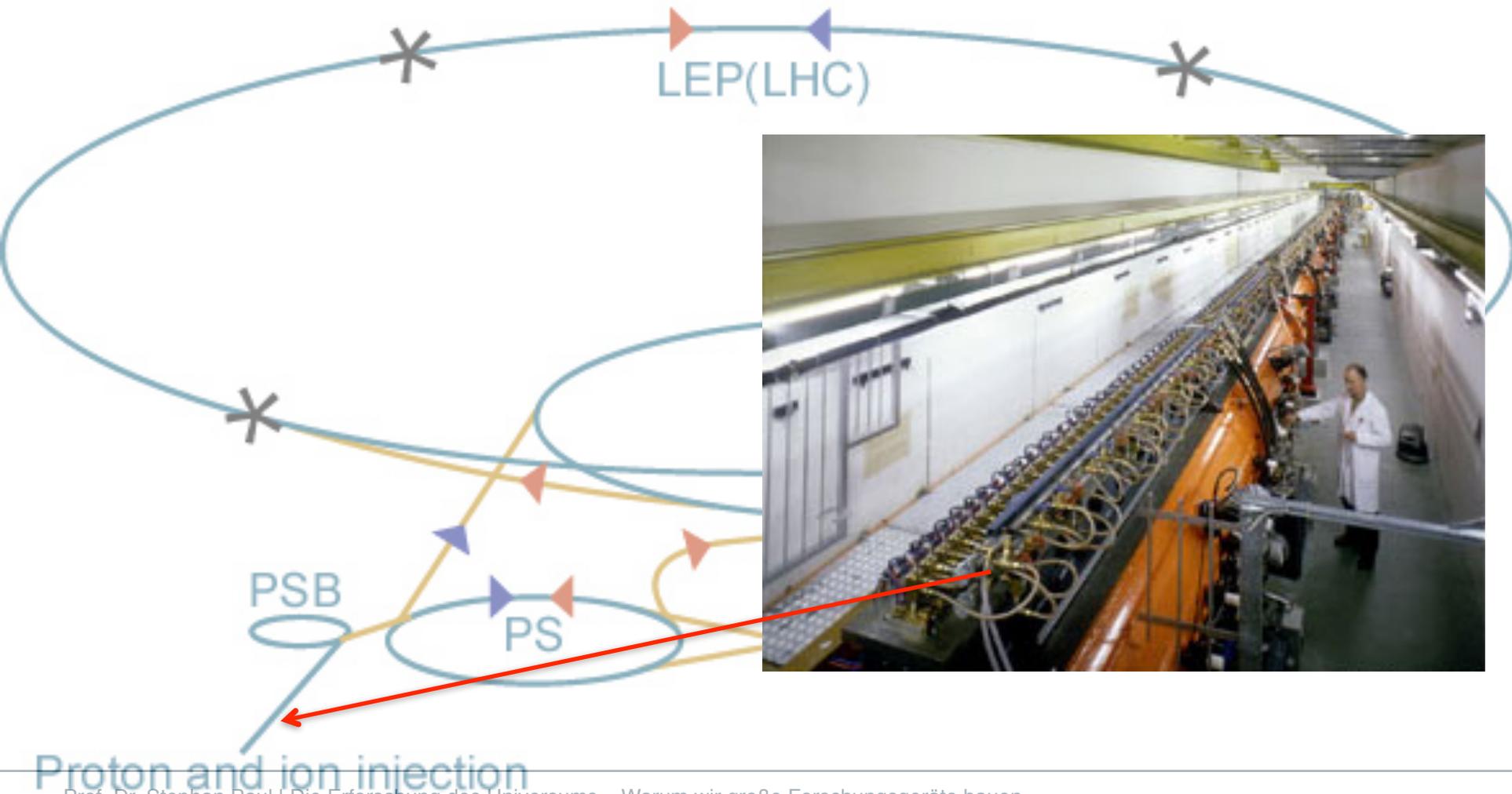
CERN – Herr der Ringe



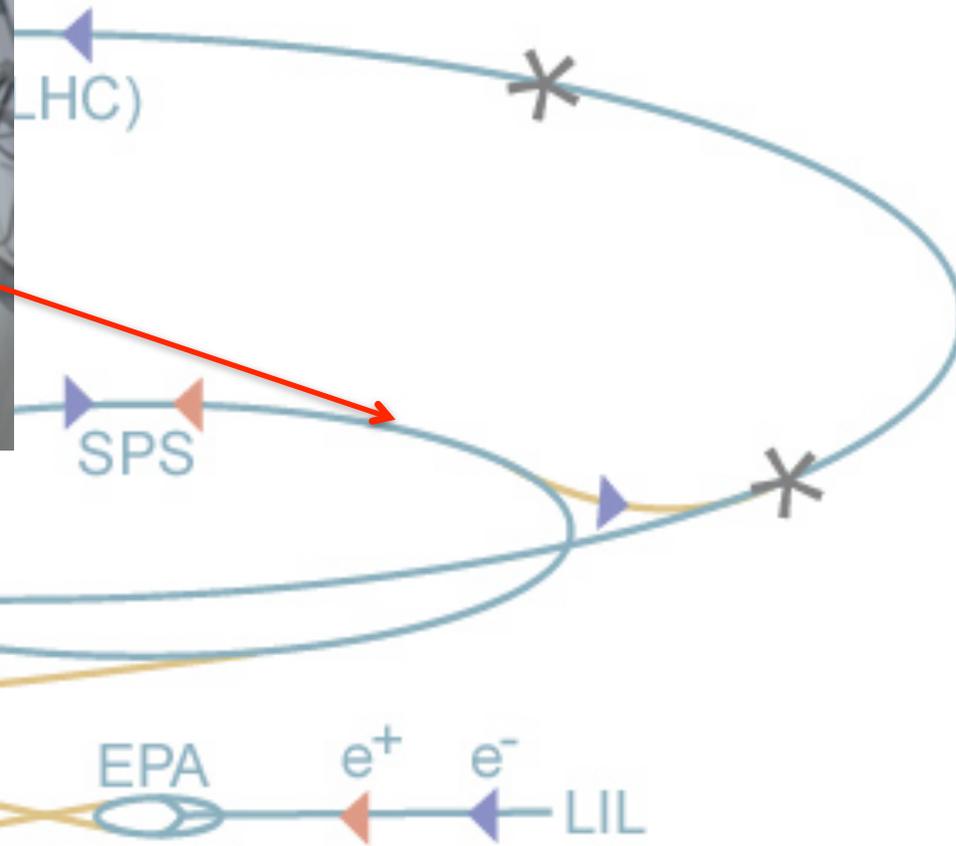
CERN – Herr der Ringe



CERN – Herr der Ringe



Prof. Dr. Stephan Paul | Die Erforschung des Universums – Warum wir große Forschungsgeräte bauen



Proton and ion injection

Prof. Dr. Stephan Paul | Die Erforschung des Universums – Warum wir große Forschungsgeräte bauen



CERN - Vortrag: Peter Jenni

CERN Beschleuniger und der LHC

Ziel: 7 TeV auf 7 TeV

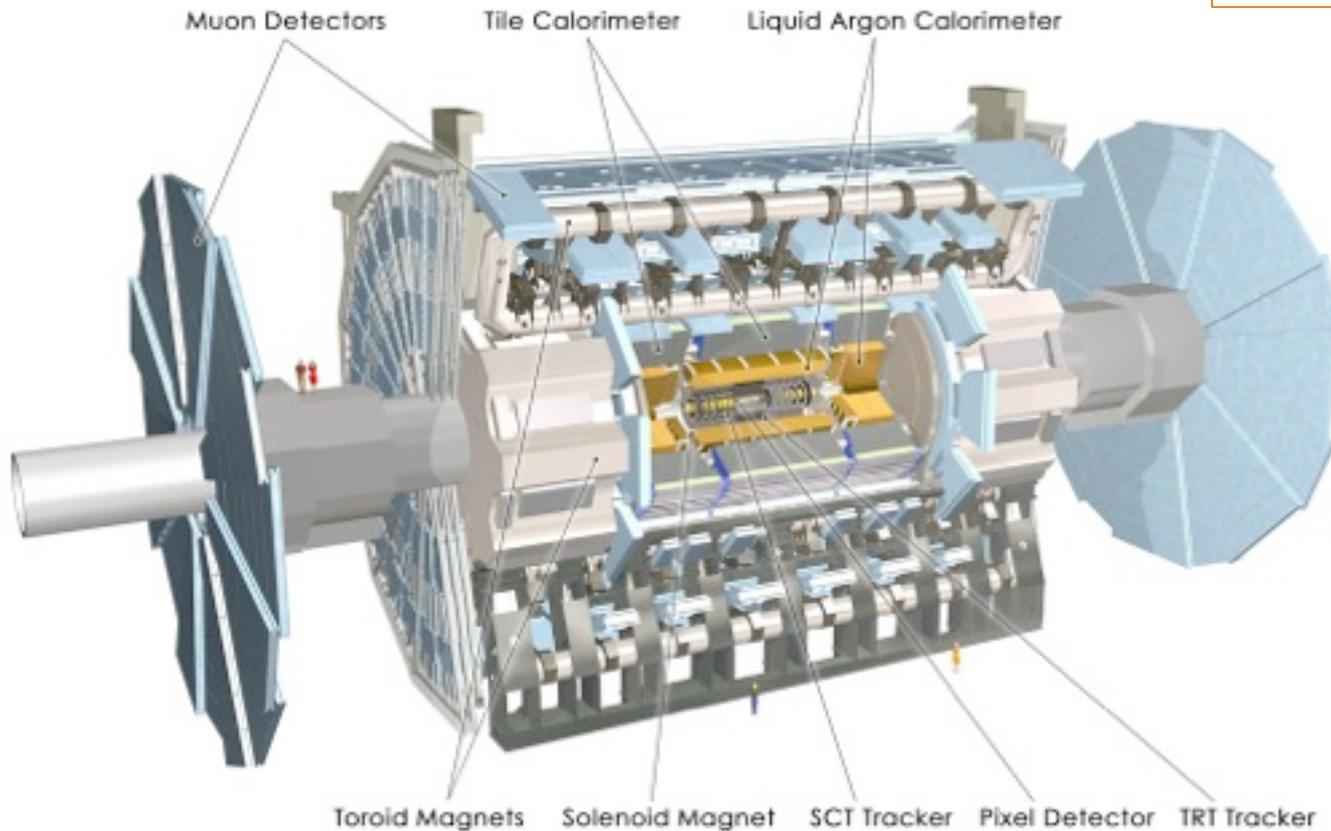


CERN Beschleuniger und der LHC

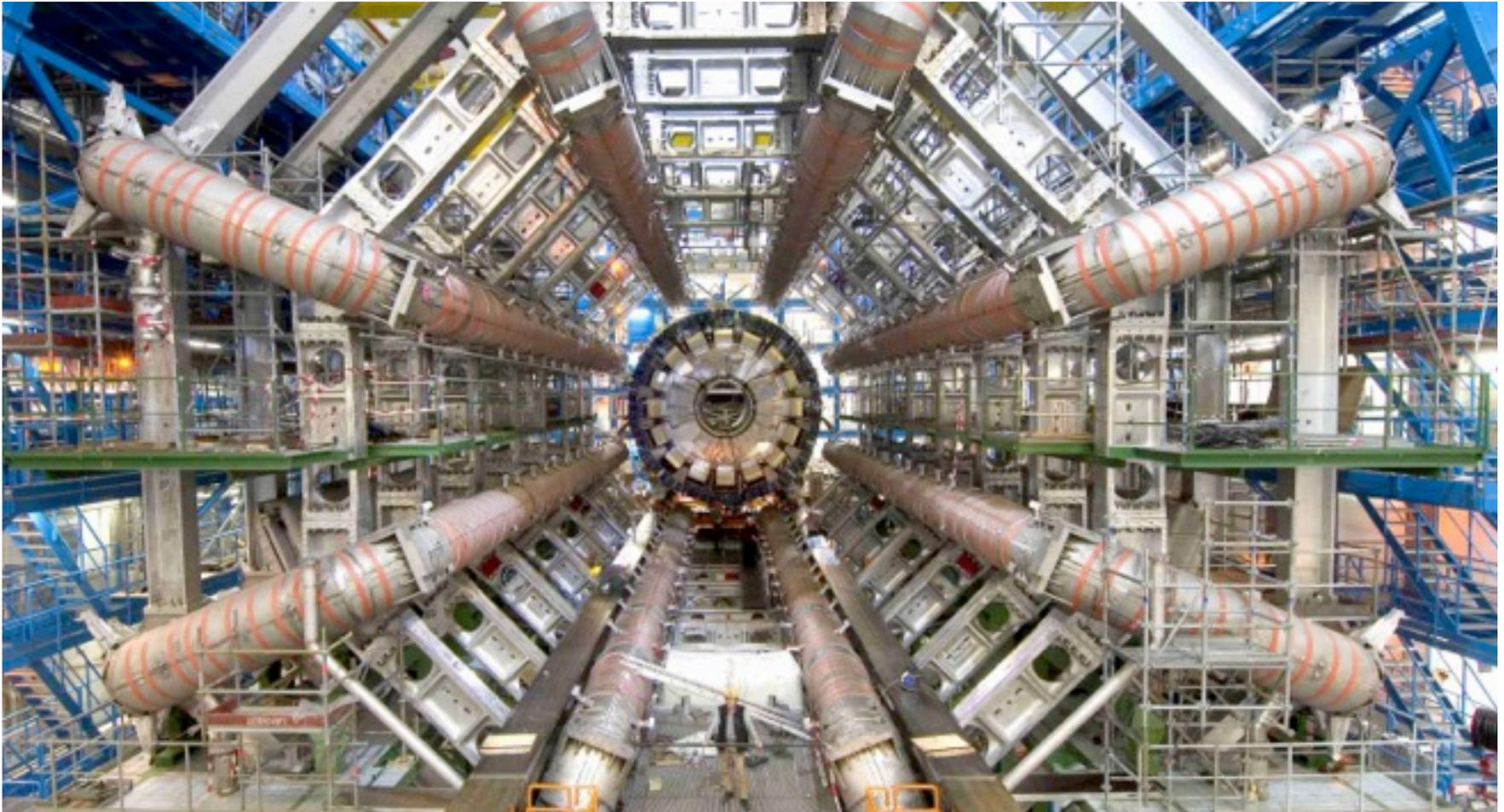


Eindrücke eines Superdetektors

Breite: 44m
Durchmesser: 22m
Gewicht: 7000 T

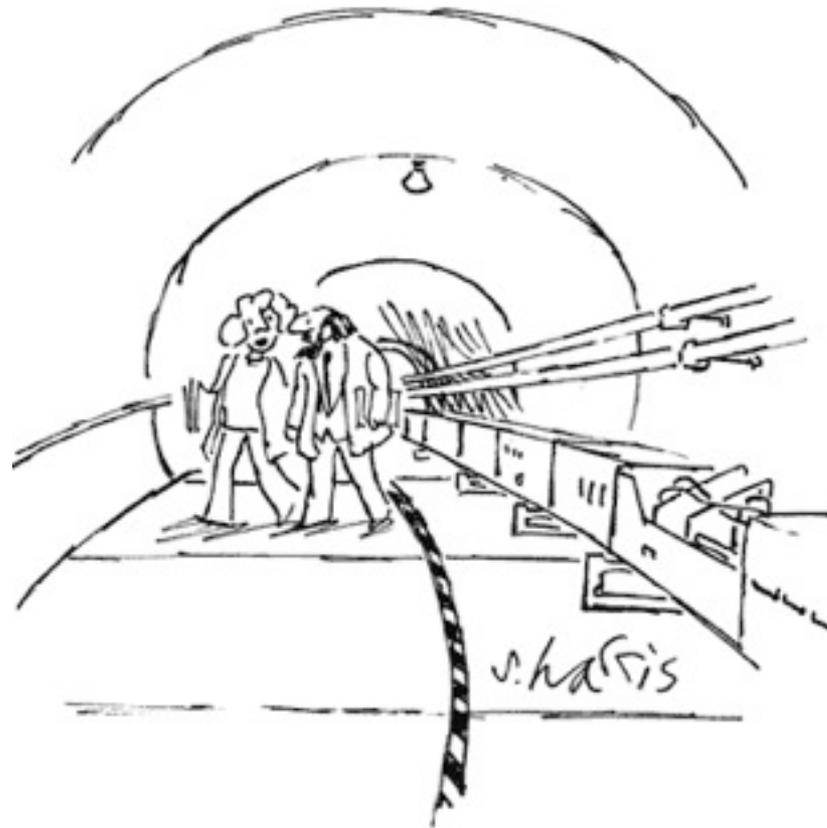


Eindrücke eines Superdetektors



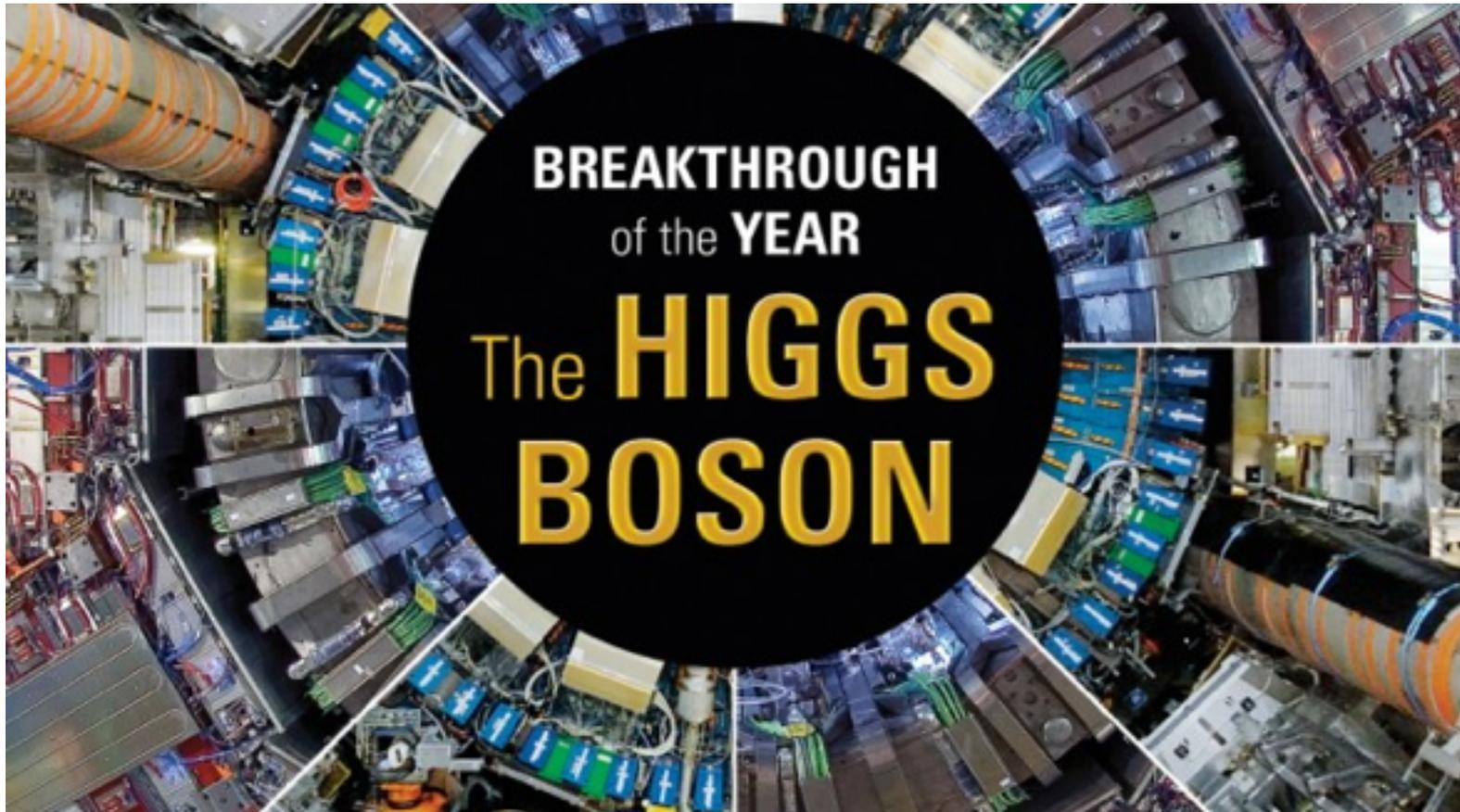
Prof. Dr. Stephan Paul | Die Erforschung des Universums – Warum wir große Forschungsgeräte bauen

Eindrücke eines Superdetektors



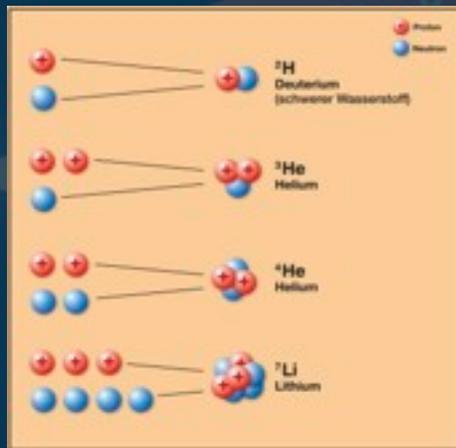
"WHAT IF WE SPEND ALL THESE BILLIONS, AND
THERE JUST AREN'T ANY MORE PARTICLES TO FIND?"

Eindrücke eines Superdetektors



$10^{-2} - 10^3$ Sekunden nach dem Urknall

Entstehung der ersten
Elemente:
Primordiale Nukleosynthese



Es gibt keine stabilen
Elemente mit
 $A = 5$

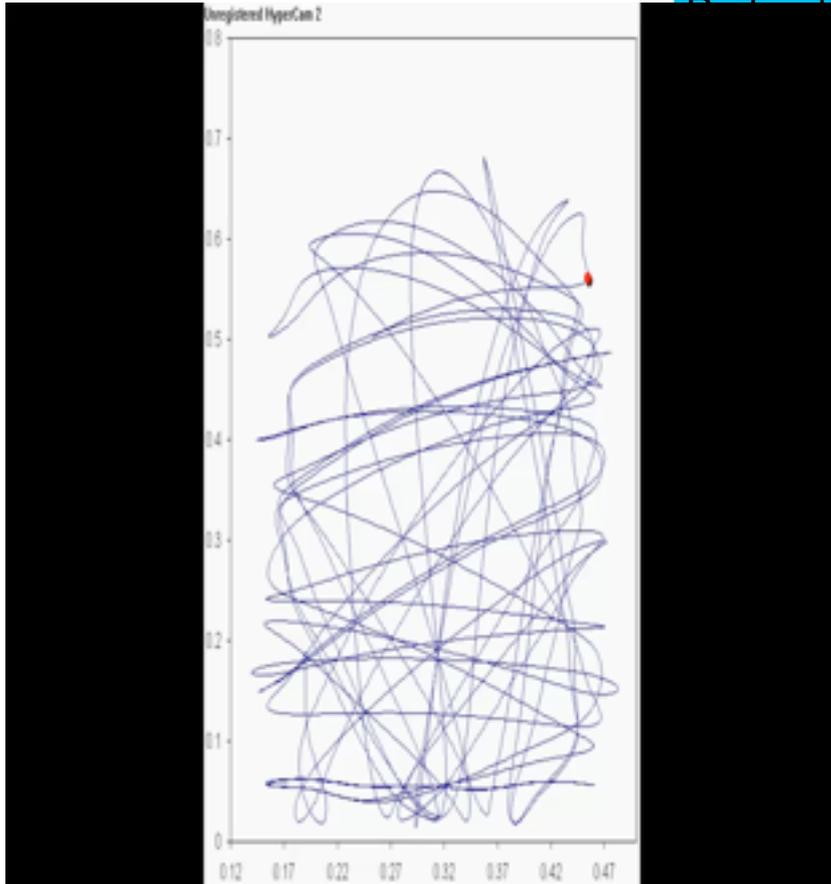
${}^4\text{He}$ ist Endstation

Relevante Größe:
Lebensdauer Neutron

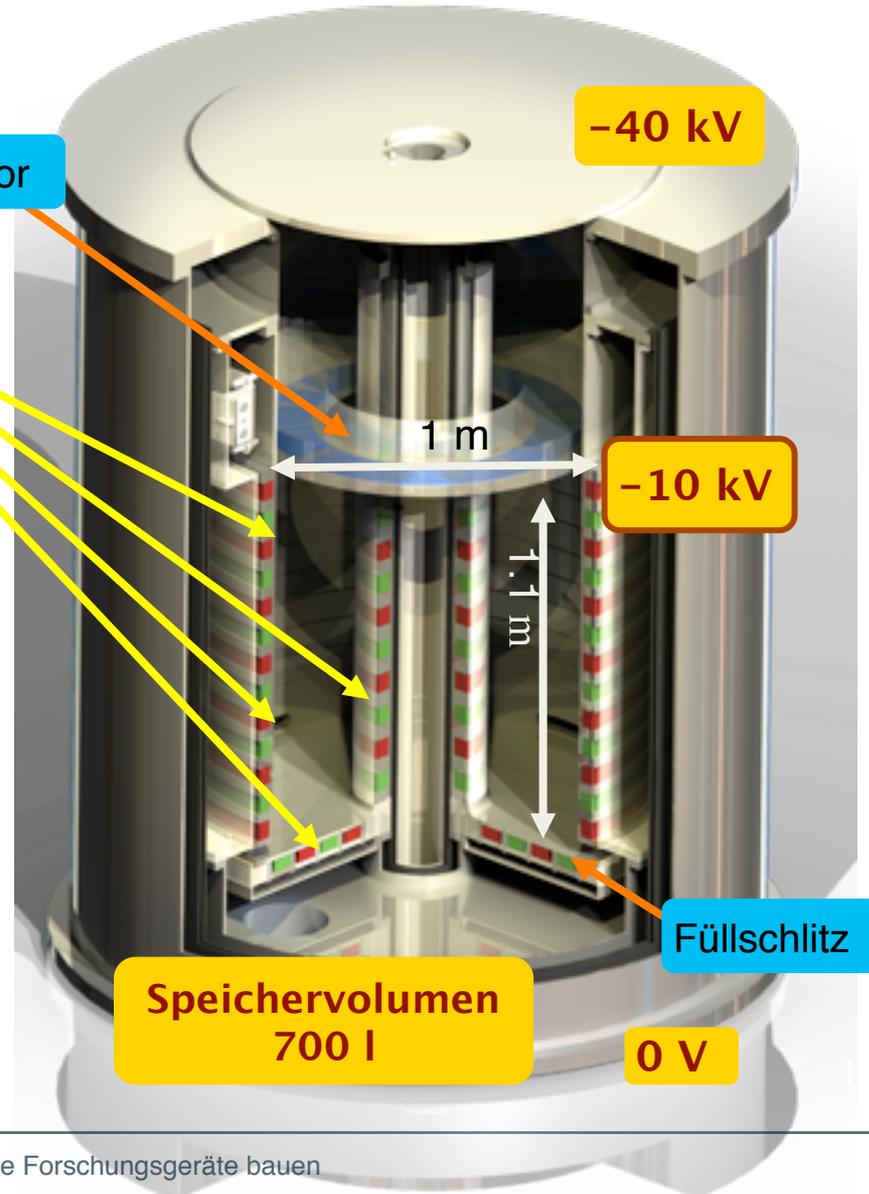
Die ersten 3 Minuten
sind vorüber



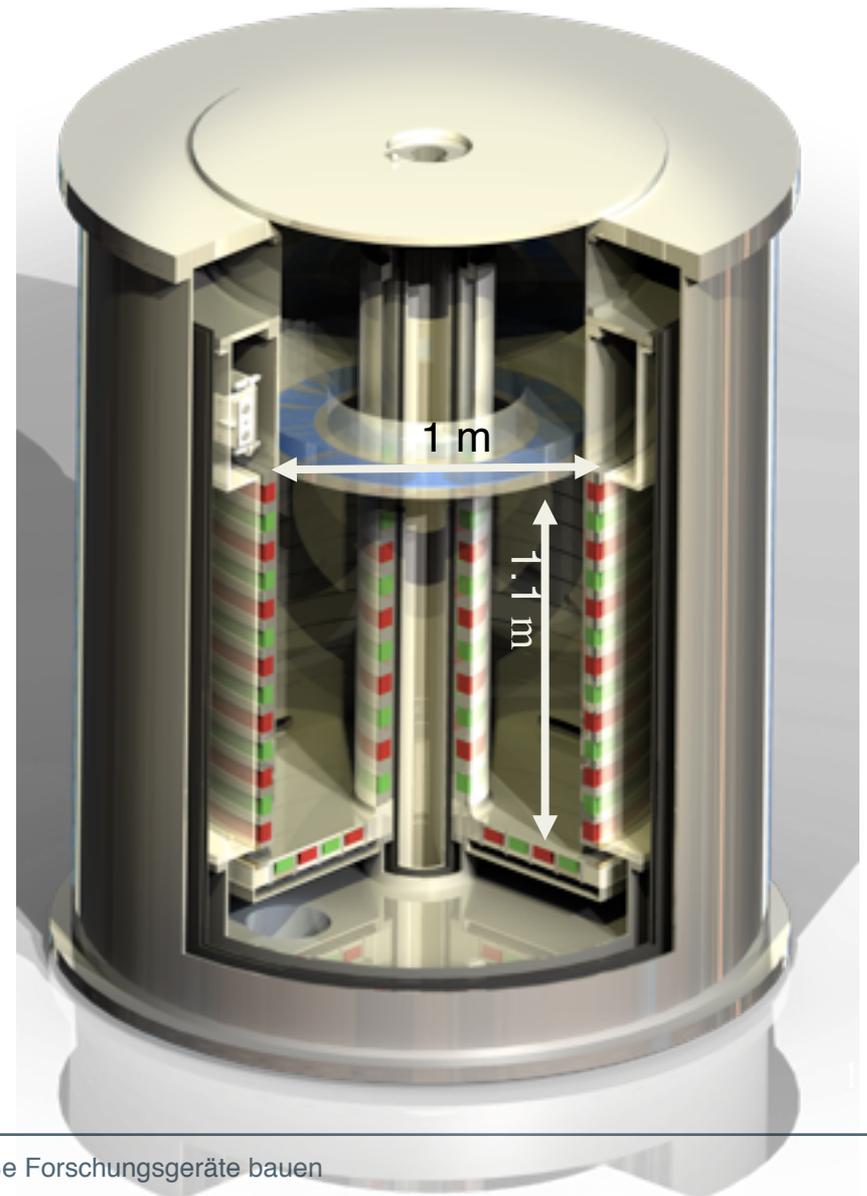
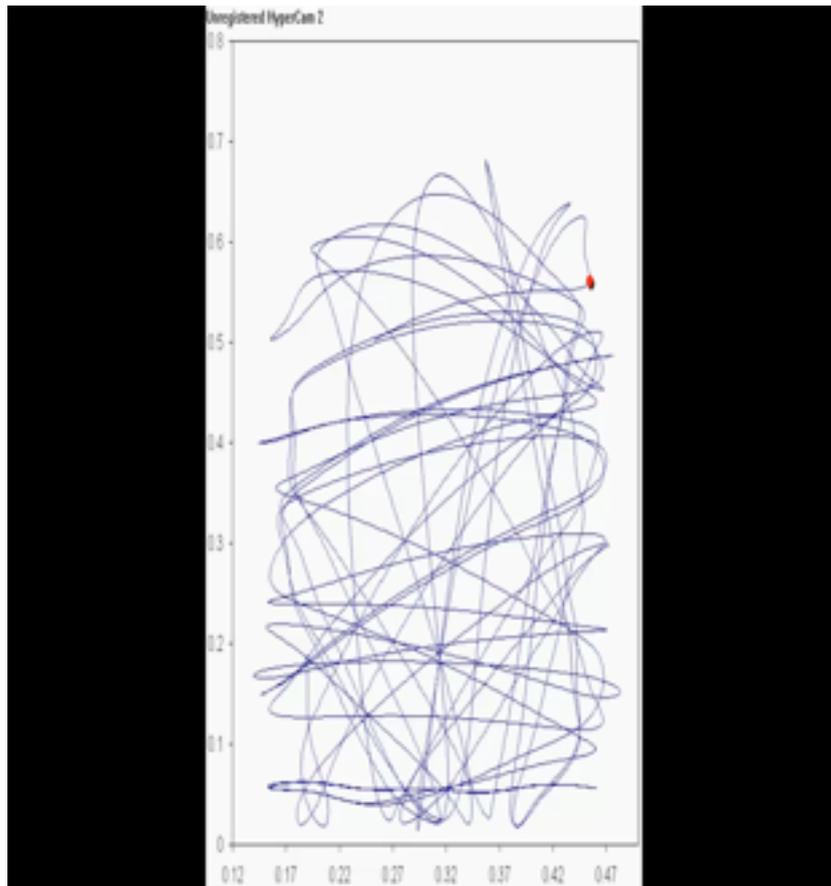
Messung der Lebensdauer



Detektor



Messung der Lebensdauer



Teilchenphysik mit Neutronen: Forschungsneutronenquelle

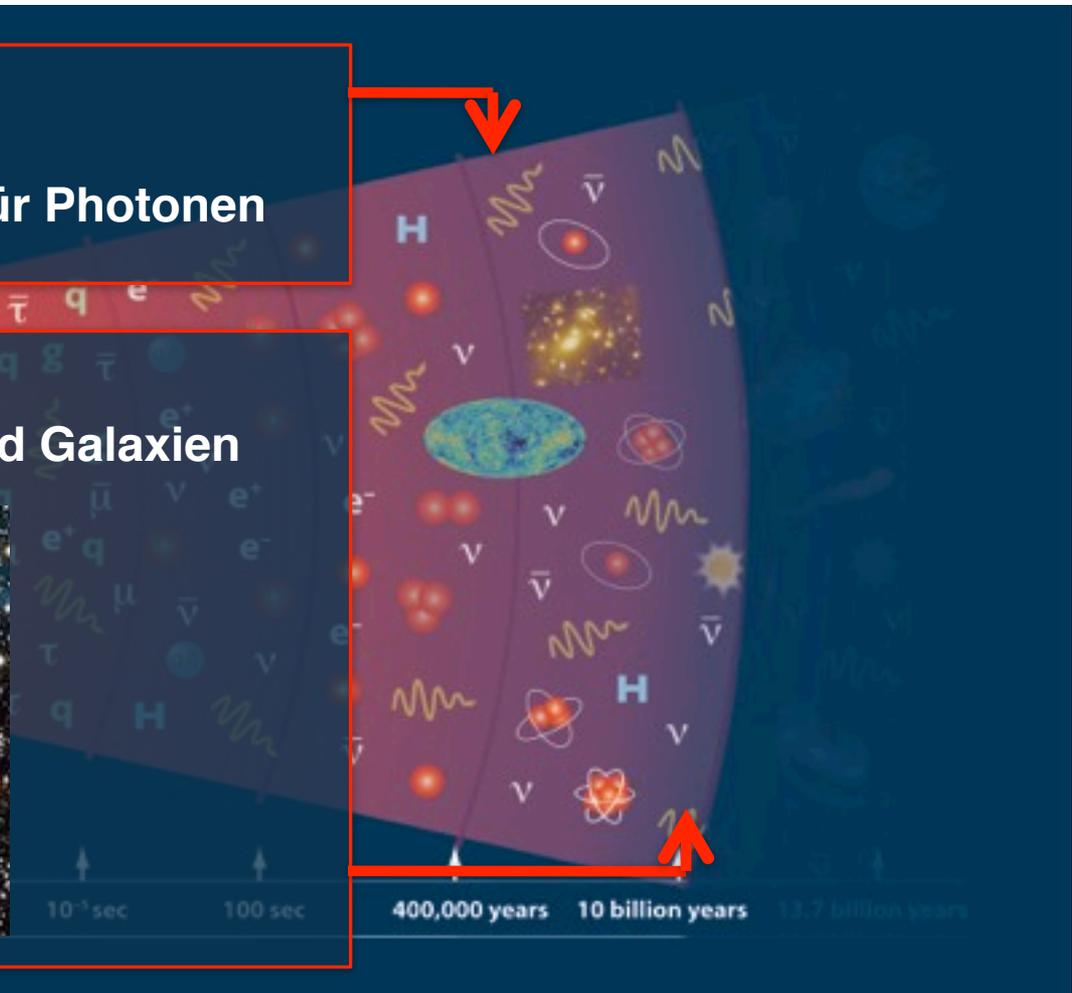


FRM II der TUM – Vortrag: Winfried Petry

10^5 und 10^9 Jahre nach dem Urknall

Nach 10^5 Jahren:
Entstehung der Atome
Weltall wird transparent für Photonen

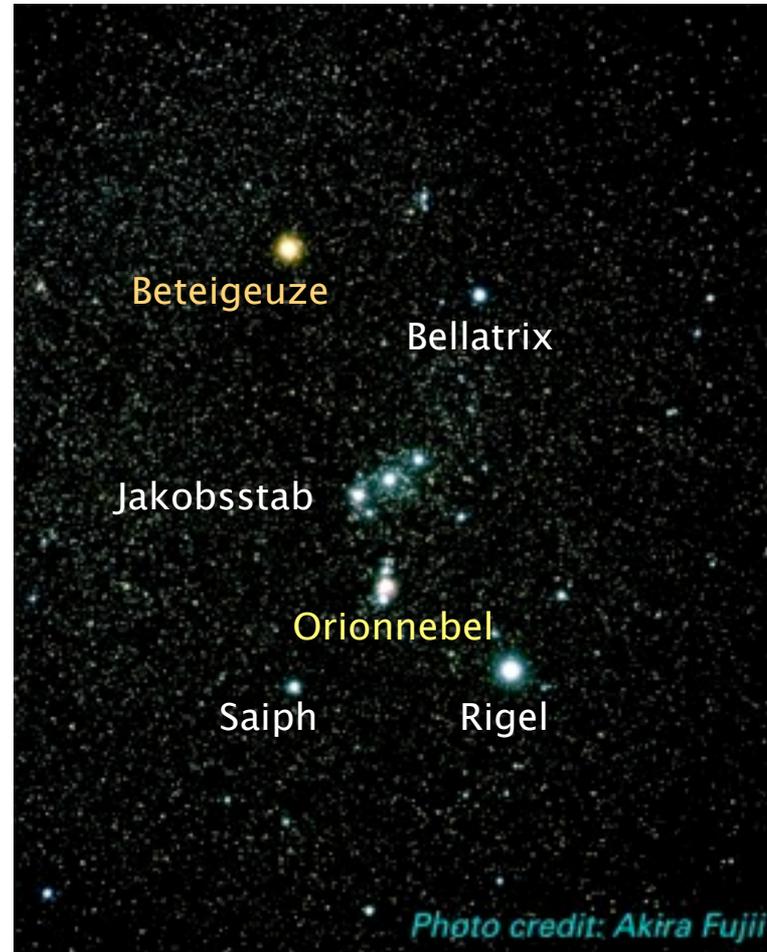
Nach 10^9 Jahren:
Entstehung der Sterne und Galaxien



Orion



Orion



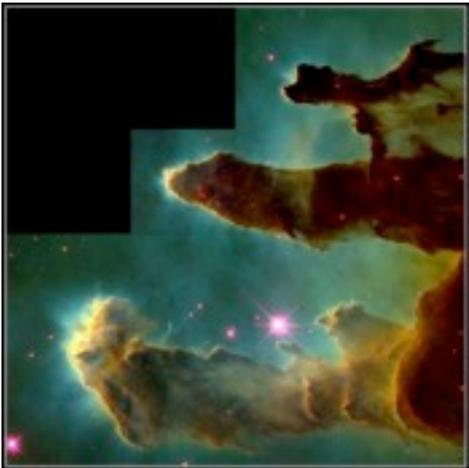
Orion



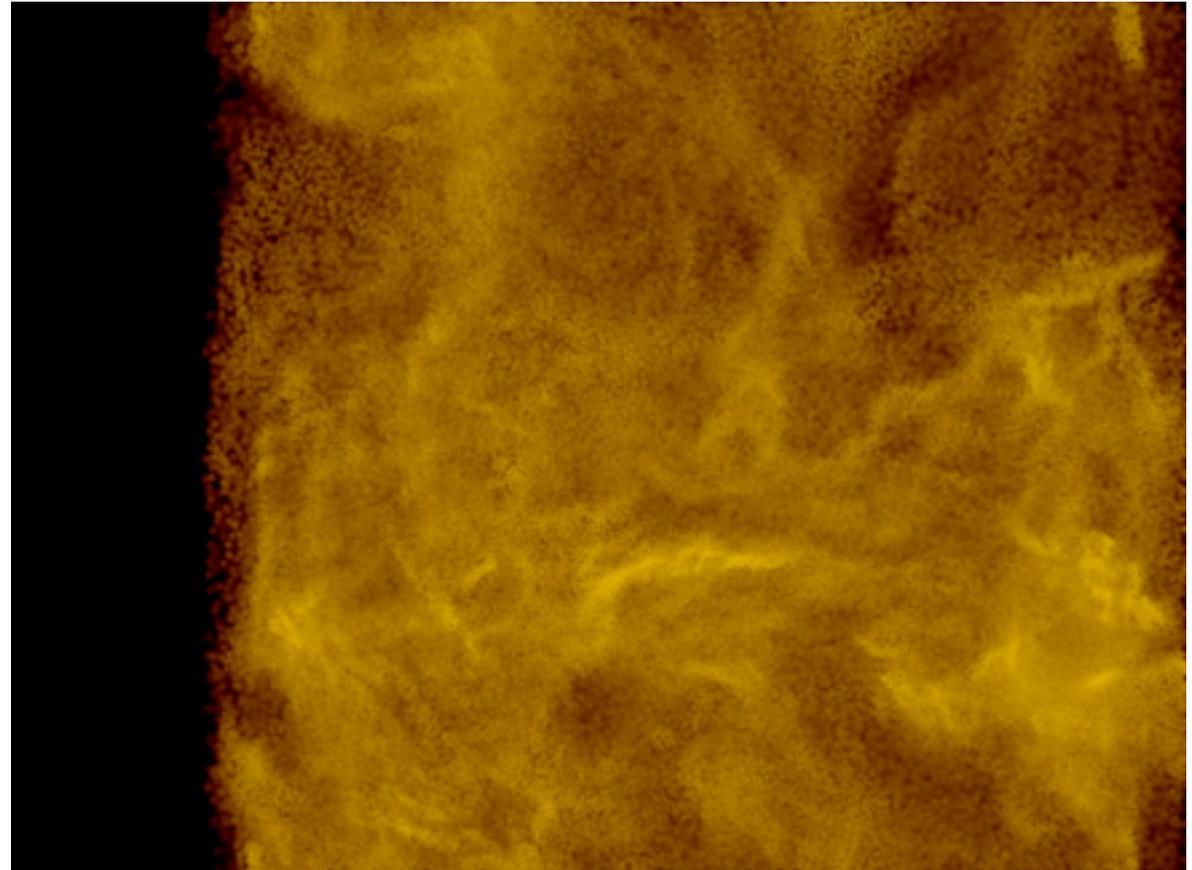
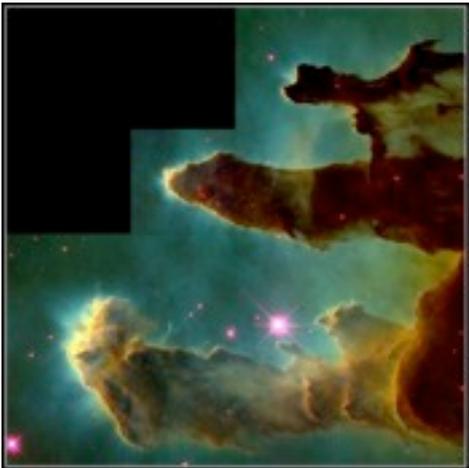
Orion



Reionisation



Reionisation



(Gritschneider et al. 2007 – Univ. Cluster)

Höchstleistungsrechnen: LRZ in Garching (BAdW)



Höchstleistungsrechnen: LRZ in Garching (BAdW)



Elemententstehung – was macht ein Stern?

Red Giant Star

Massive star near the end of its lifetime has an "onion-like" structure just prior to exploding as a supernova

Nuclear burning occurs at the boundaries between zones

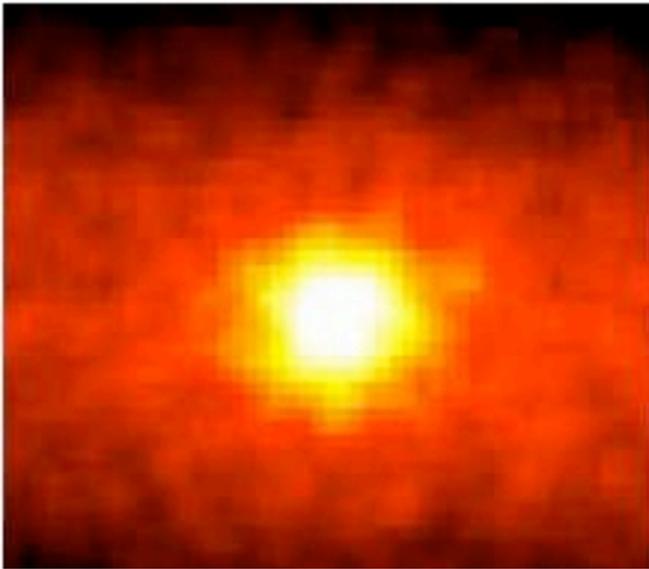
Example of nuclear reactions that build neutron-rich isotopes

Kernfusion in Zentrum der Sonne:

$$4 p \rightarrow {}^4\text{He} + 2e^+ + 2\nu_e (+ 26.7 \text{ MeV})$$

$$4 {}^1_1\text{H} \longrightarrow {}^4_2\text{He} \quad 3 {}^4_2\text{He} \longrightarrow {}^{12}_6\text{C} \quad {}^{12}_6\text{C} + {}^4_2\text{He} \longrightarrow {}^{16}_8\text{O}$$

Licht und Neutrinos von der Sonne... Stimmt das?



Farbe repräsentiert Anzahl der rekonstruierten Neutrino-reaktionen im Wassertank

SCHWACHE KRAFT



Farbe repräsentiert Wellenlänge des sichtbaren Lichtes

ELEKTROMAGNETISMUS

Licht und Neutrinos von der Sonne... Stimmt das?



paren

MUS

Von der Sonne lernen – Fusionsreaktoren



IPP - Vortrag: Sibylle Günther

Prof. Dr. Stephan Paul | Die Erforschung des Universums – Warum wir große Forschungsgeräte bauen

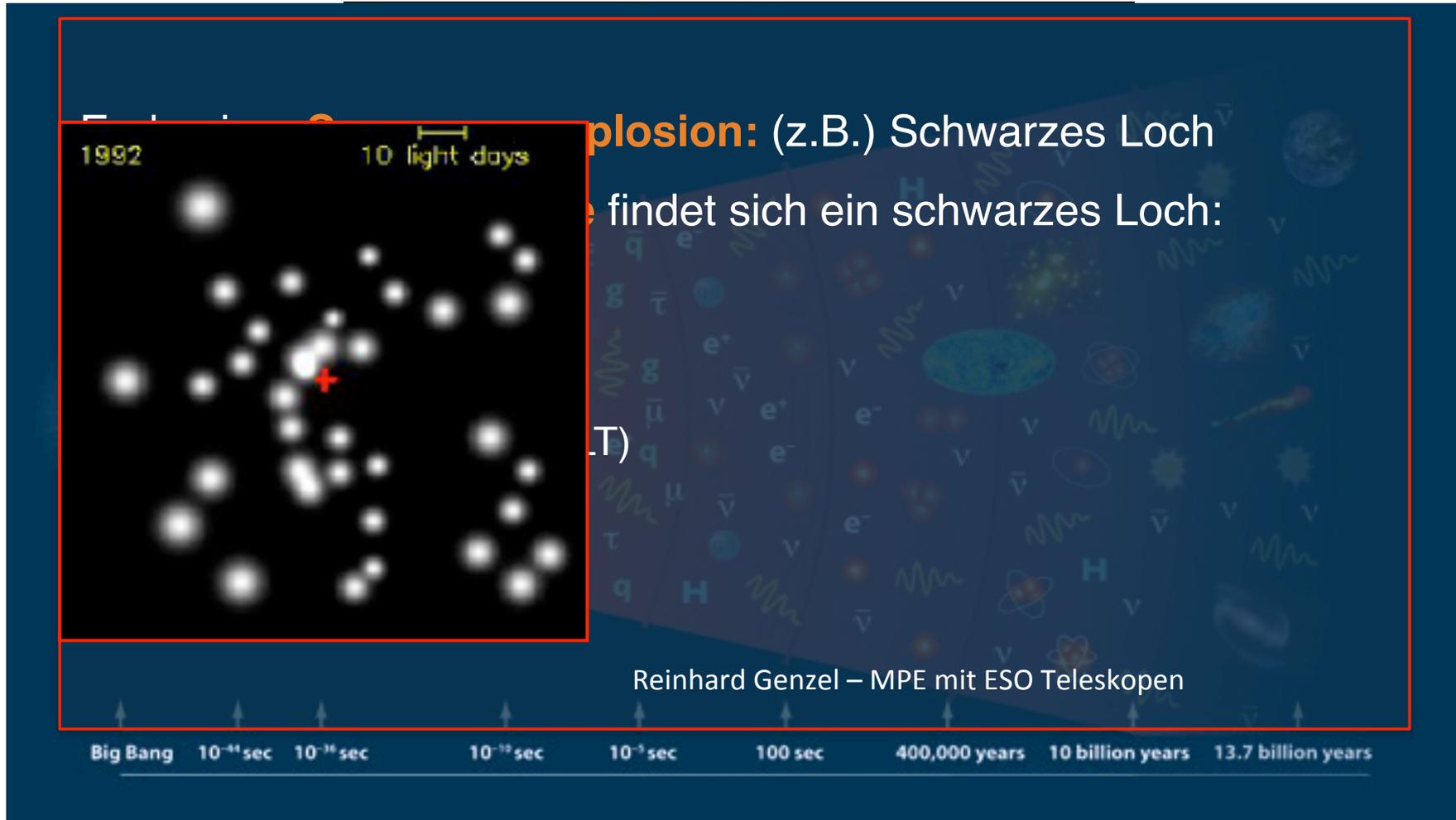
Von der Sonne lernen – Fusionsreaktoren



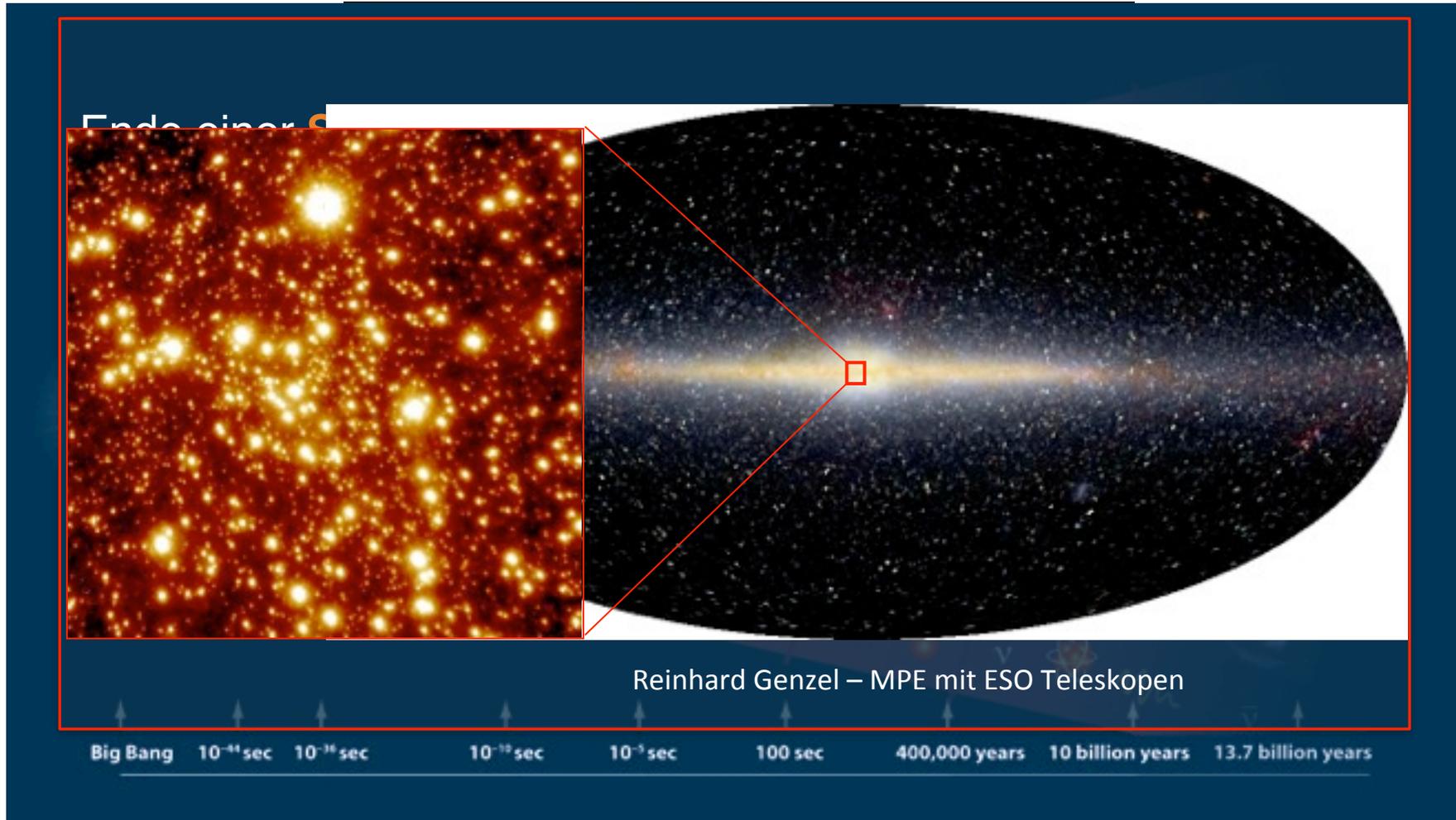
IPP - Vortrag: Sibylle Günther

Prof. Dr. Stephan Paul | Die Erforschung des Universums – Warum wir große Forschungsgeräte bauen

Entwicklung der Galaxien eng gekoppelt an Entstehung schwarzer Löcher



Entwicklung der Galaxien eng gekoppelt an Entstehung schwarzer Löcher



Unsere Instrumente für große Objekte



Universitätsternwarte (LMU) - Wendelstein

Unsere Instrumente für große Objekte

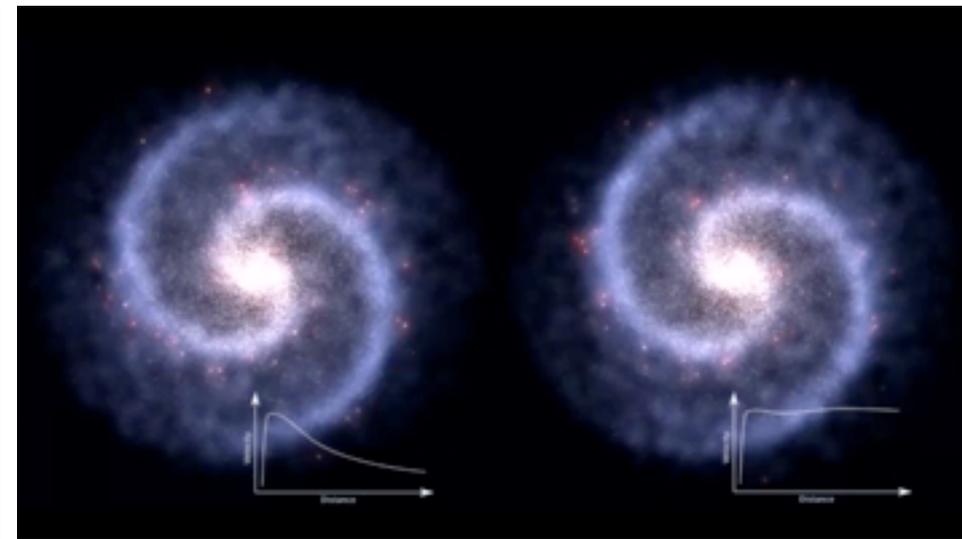
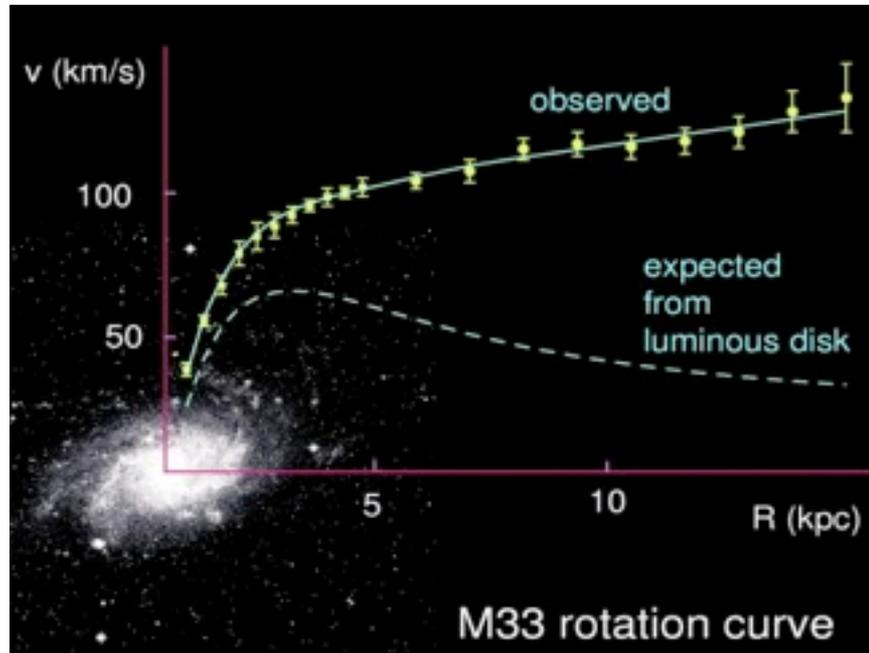


Paranal VLT Chile (ESO)



ESO - Vortrag: Bruno Leibundgut

Das Dunkle Universum



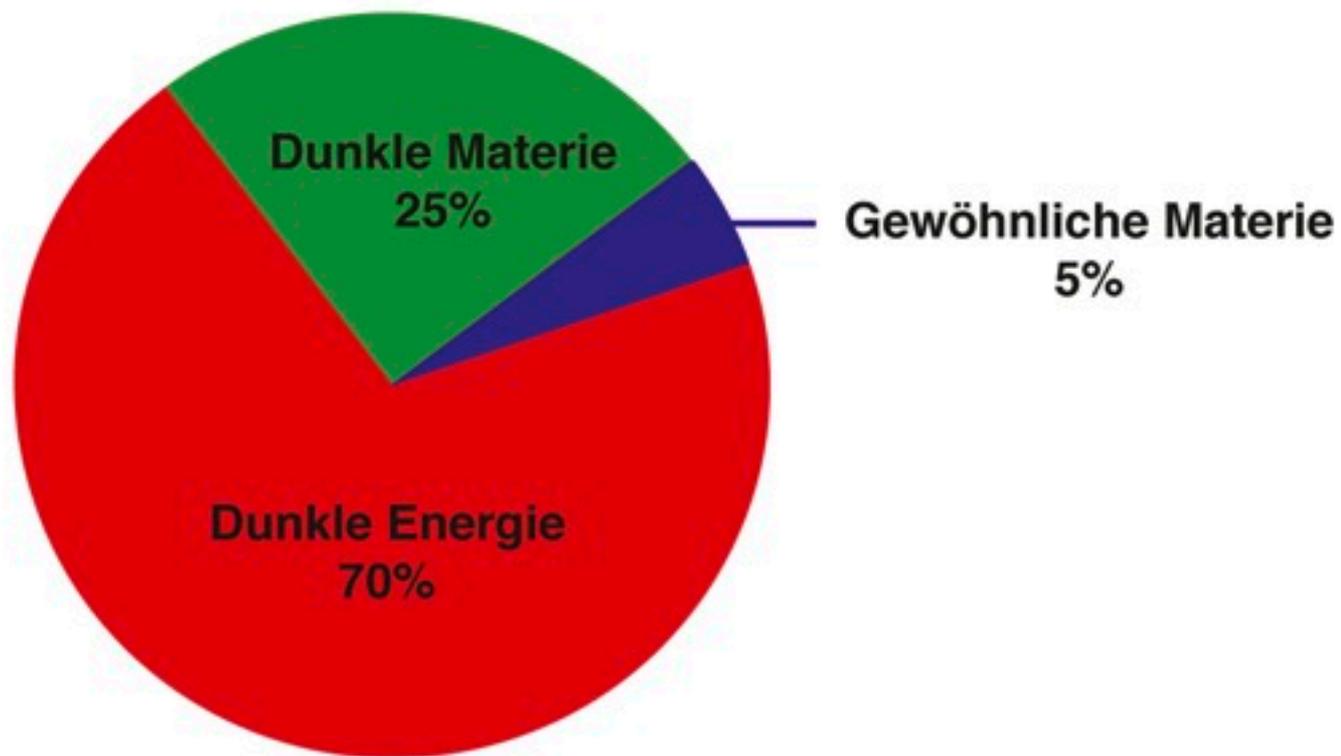
created by PhilHibbs

Rotationskurven von Galaxien

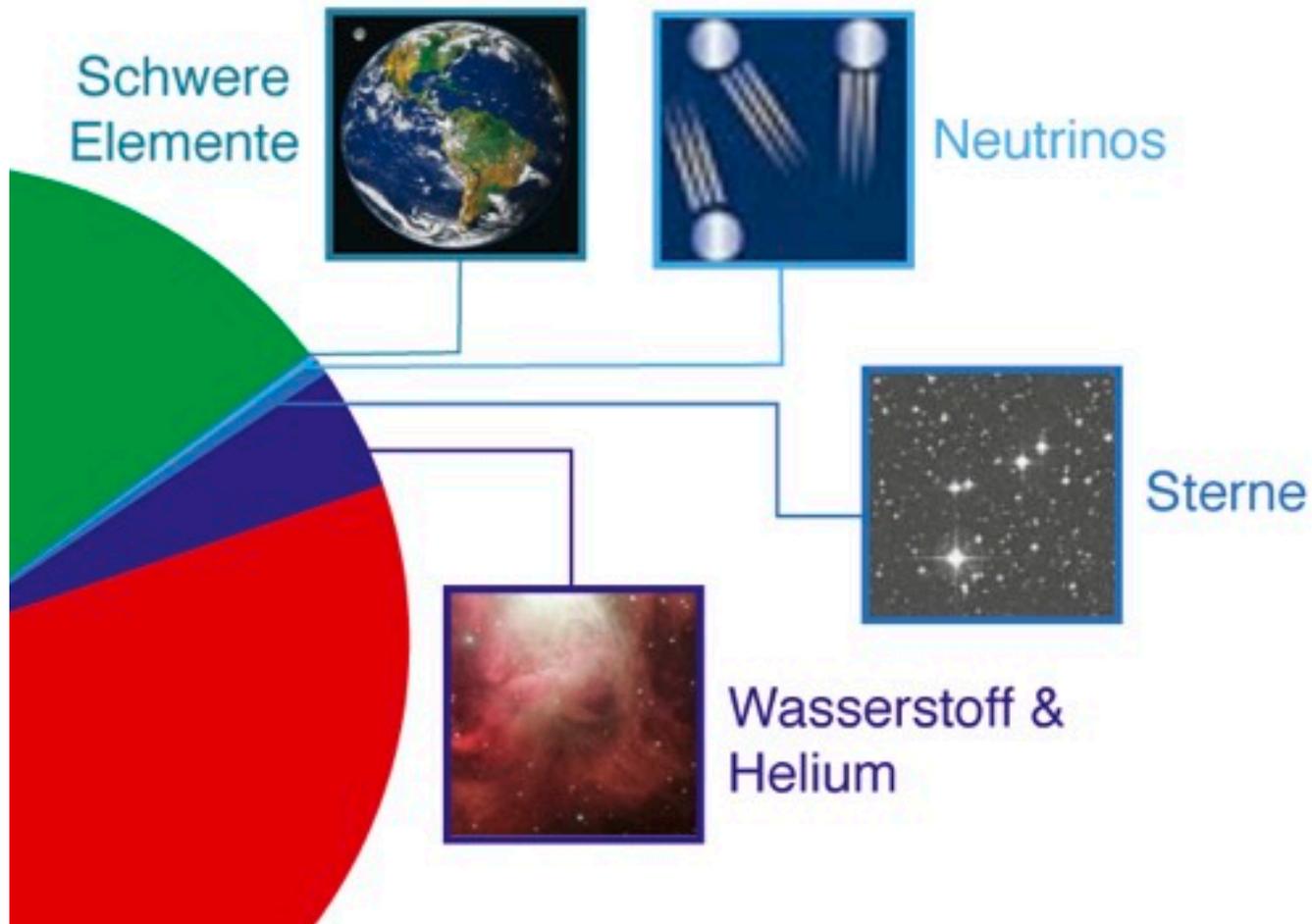
Dunkle Materie: Intensive Suche

- direkt: Boden-basierte Experimente
- indirekt: astrophysikalische Beobachtungen – Galaxien, kosmische Hintergrundstrahlung etc
- sehr indirekt (Modell-basierend) Simulationen

Das Dunkle Universum



Das Dunkle Universum



Und was war vor dem Big Bang?



Für mehr Details: Ausstellung Deutsches Museum



Für mehr Details: Ausstellung Deutsches Museum

