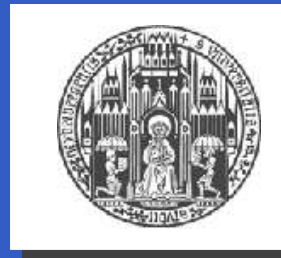


# Wie ist die Welt entstanden?

Jürgen Schaffner-Bielich

Institut für Theoretische Physik



RUPRECHT-KARLS-  
UNIVERSITÄT  
HEIDELBERG

Öffentlicher Vortrag zur Ausstellung 'Weltmaschine'

Goethe Universität, Frankfurt am Main, 17. Januar 2010

# Vom Weltraum, Weltall und Universum zum Kosmos

**Weltraum:** Raum außerhalb der Erdatmosphäre, beginnt ab einer Höhe von etwa 100 km

**Universum:** vom lateinischen universus „gesamt“, von unus und versus „in eins gekehrt“, Gesamtheit aller Dinge, Weltall

**Kosmos:** aus dem Griechischen, die (Welt-)Ordnung, Gegenstück zum Chaos

**Kosmogonie:** die Weltzeugung, Erklärungsmodelle zur Entstehung des Sonnensystems, der Erde und des Lebens auf der Erde (→ Schöpfungsgeschichte)

**Kosmologie:** Lehre von der Weltordnung, Ursprung, Entwicklung und Struktur des Universums

# Die drei Grundpfeiler der modernen Kosmologie

## Ausdehnung des Universums:

das Universum dehnt sich in alle Richtungen gleichmäßig aus (Hubble-Expansion),  
je weiter weg man schaut, desto schneller!

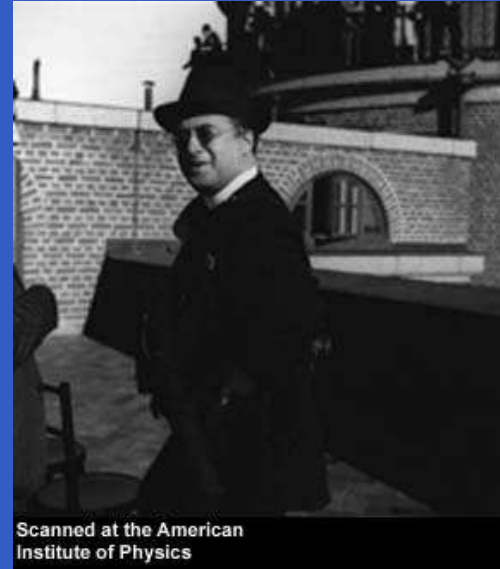
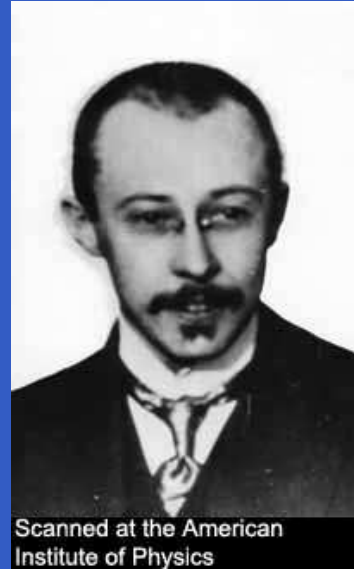
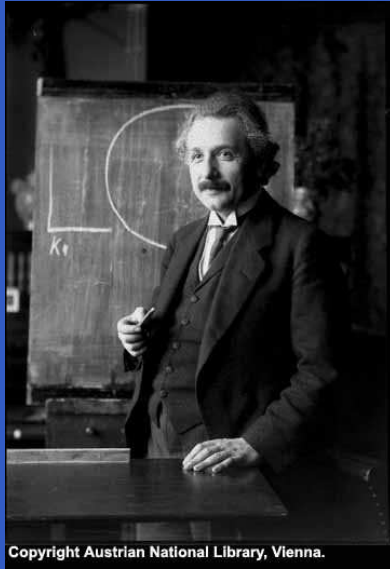
## Entstehung der Elemente:

die leichten Elemente (Wasserstoff, Helium) sind im frühen Universum entstanden,  
einzige Erklärung für das Verhältnis von Wasserstoff zu Helium heutzutage!

## Kosmische Hintergrundstrahlung:

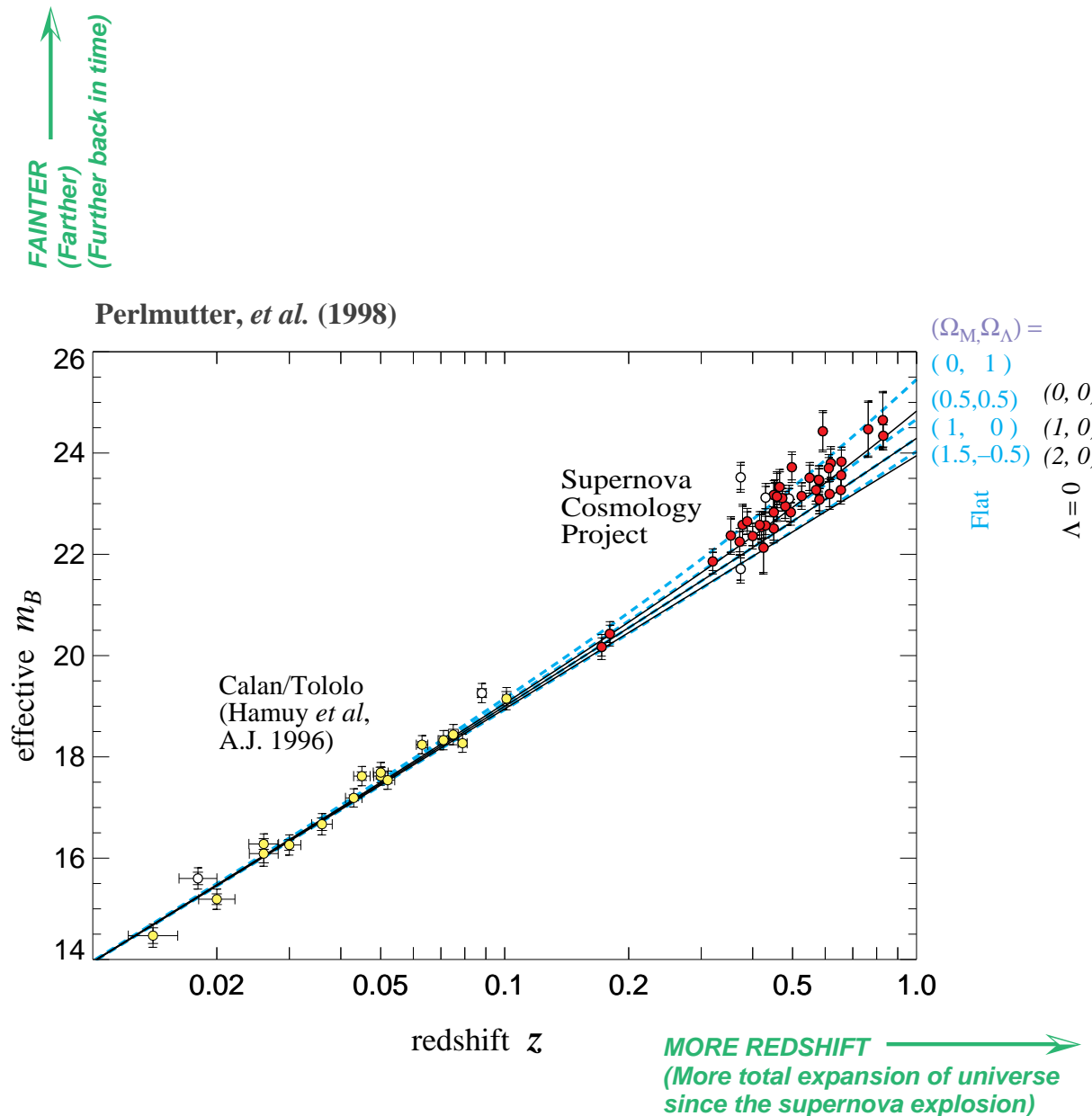
„Licht“ aus der frühen, heißen Phase des Universums,  
„Baby“-Foto des Universums aufgenommen!

# Ausdehnung des Universums – Pionierarbeiten



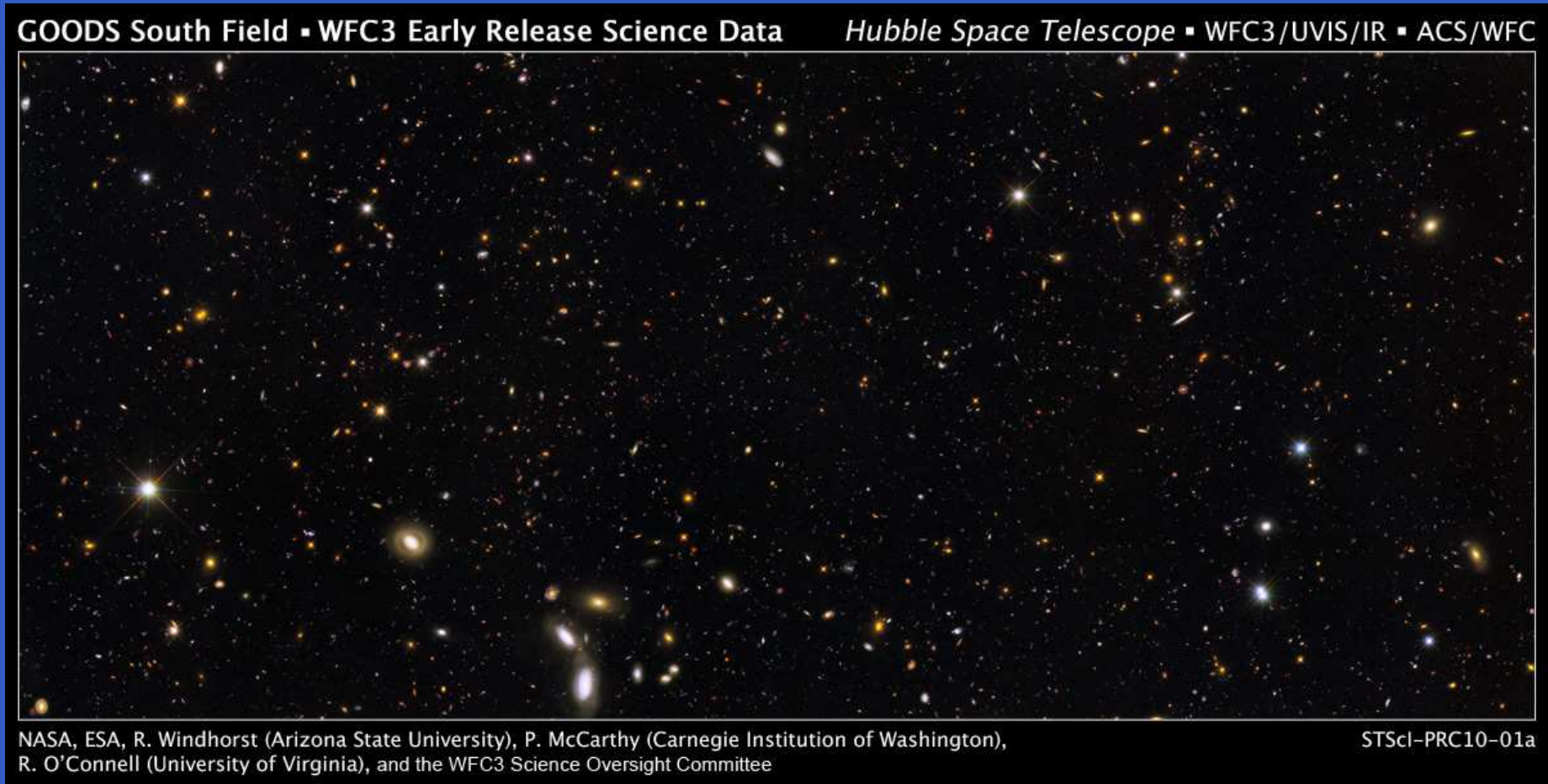
- 1917: erste kosmologische Arbeit von Albert Einstein aus der Allgemeinen Relativitätstheorie, statisches Universum durch kosmologische Konstante
- 1922: Alexander Friedmann zeigt, dass sich das Universum ausdehnen oder zusammen ziehen muss!
- 1927: Georges Lemaitre, ein belgischer Priester und Physiker, diskutiert den Urknall (das Uratom) → eine Erfindung der Kirche (Illuminati)!
- 1929: Beobachtung von Edwin Hubble, je weiter weg die Galaxie, desto schneller entfernt sie sich von uns

# Ausdehnung des Universums – moderne Supernova-Daten



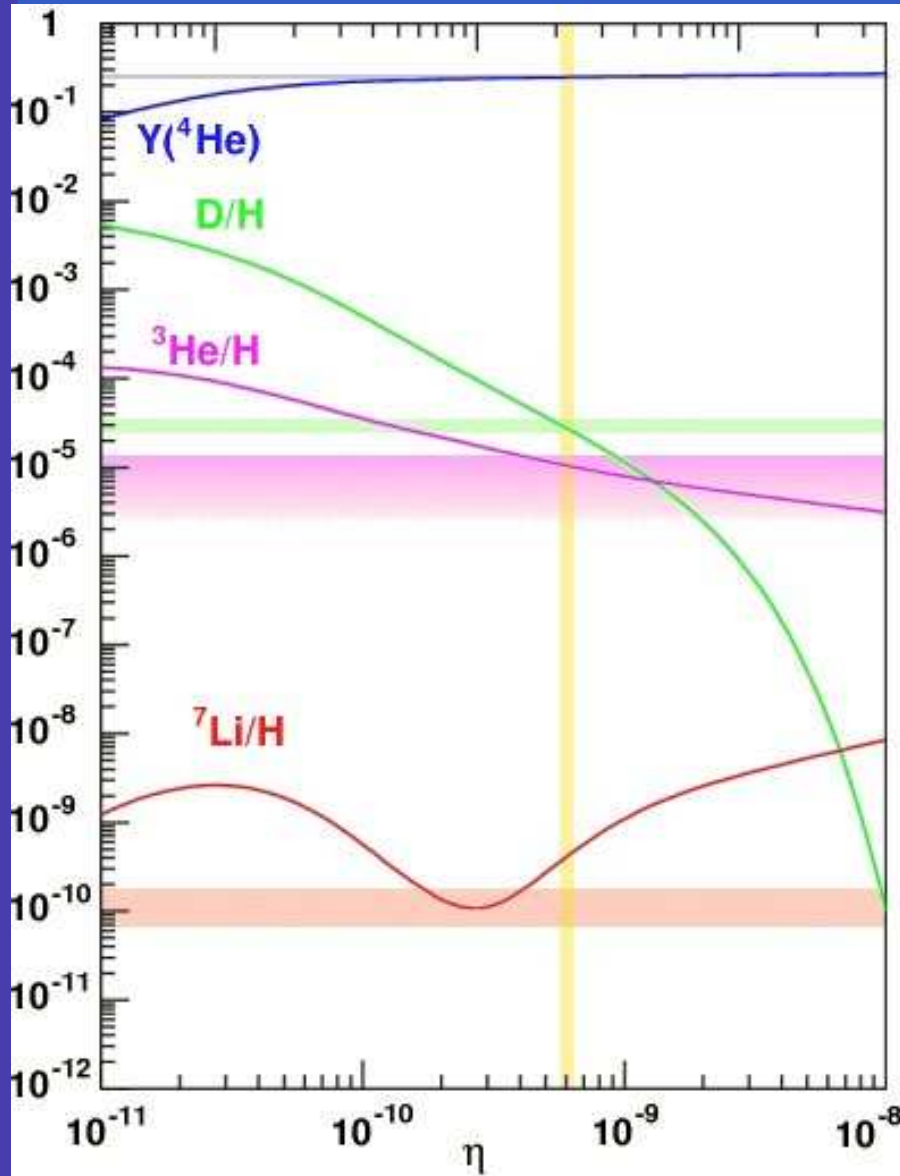
- Supernova Cosmology Project: Beobachtung von Supernovae vom Typ Ia
- entstehen durch Explosion eines Weißen Zwerges an der Chandrasekhar Massengrenze
- bilden Standardkerzen im Universum, Helligkeit ist ein Maß für die Entfernung
- Rotverschiebung  $z$ : Maß für die Ausdehnung des Universums

# Die Geschichte des Universum sah früher anders aus . . .

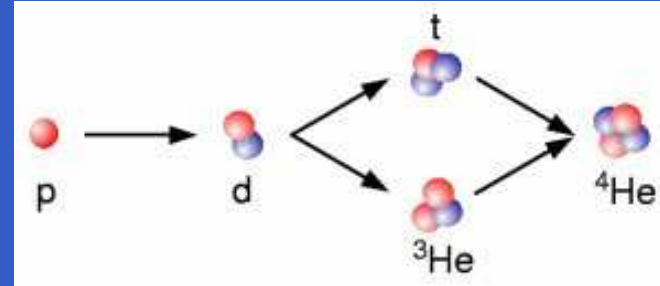


- der tiefste Blick ins Universum: Hubble Ultra Deep Field 2009
- Hubble Space Telescope blickt über mehr als 12 Milliarden Jahre zurück
- Aufnahme im Infraroten wegen der Rotverschiebung durch die Expansion
- Ur-Galaxien gefunden, 'kurz' nach dem Urknall! (Zoom in HUDF2009)

# Entstehung der Elemente im frühen Universum

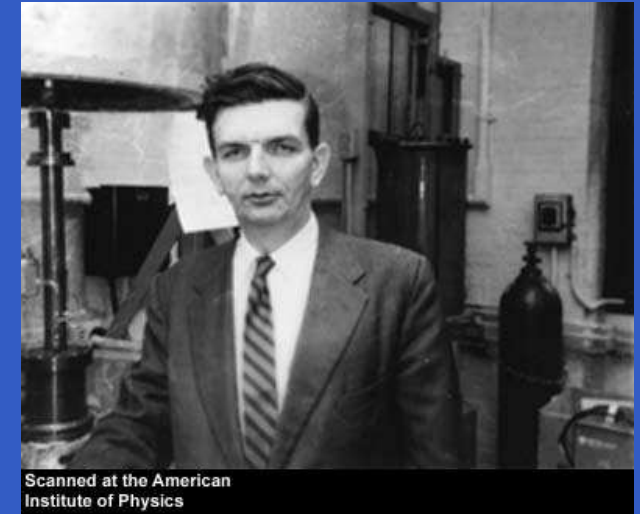


(Einstein Online, nach einer Abbildung von E. Vangioni, Institut d'Astrophysique de Paris)



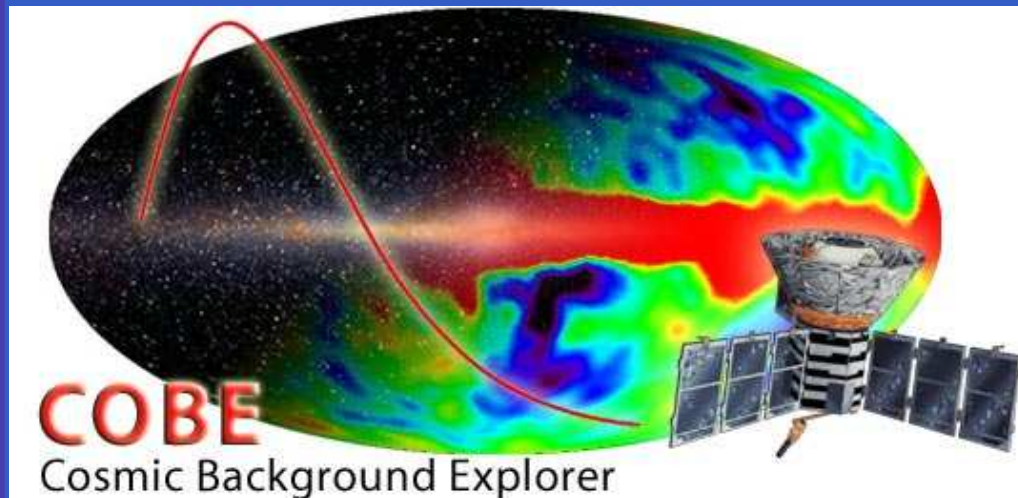
- George Gamow (1946): leichte Elemente werden im frühen Universum gekocht (Alpher, Bethe, Gamow 1948)
- einzige Erklärung für das hohe Helium/Wasserstoff Verhältnis heute!
- Gamow sagt kosmische Strahlung voraus!
- Fred Hoyle, Kritiker von Gamow und Lemaitre, führt den Begriff 'Big Bang' ein

# Entdeckung der kosmischen Hintergrundstrahlung



- Robert Dicke in Princeton berechnet die kosmische Hintergrundstrahlung erneut in 1964
- Bau einer Radioantenne an der Princeton University
- Entdeckung eines unerklärlichen Rauschens durch Robert Wilson und Arno Penzias beim Bau einer Radioantenne für AT&T 1965
- Anruf von Penzias und Wilson: Dicke folgert sofort, dass das die kosmische Hintergrundstrahlung ist!
- Nobelpreis 1978 für Penzias und Wilson

# Messung der kosmischen Hintergrundstrahlung



Scanned at the American Institute of Physics



Scanned at the American Institute of Physics

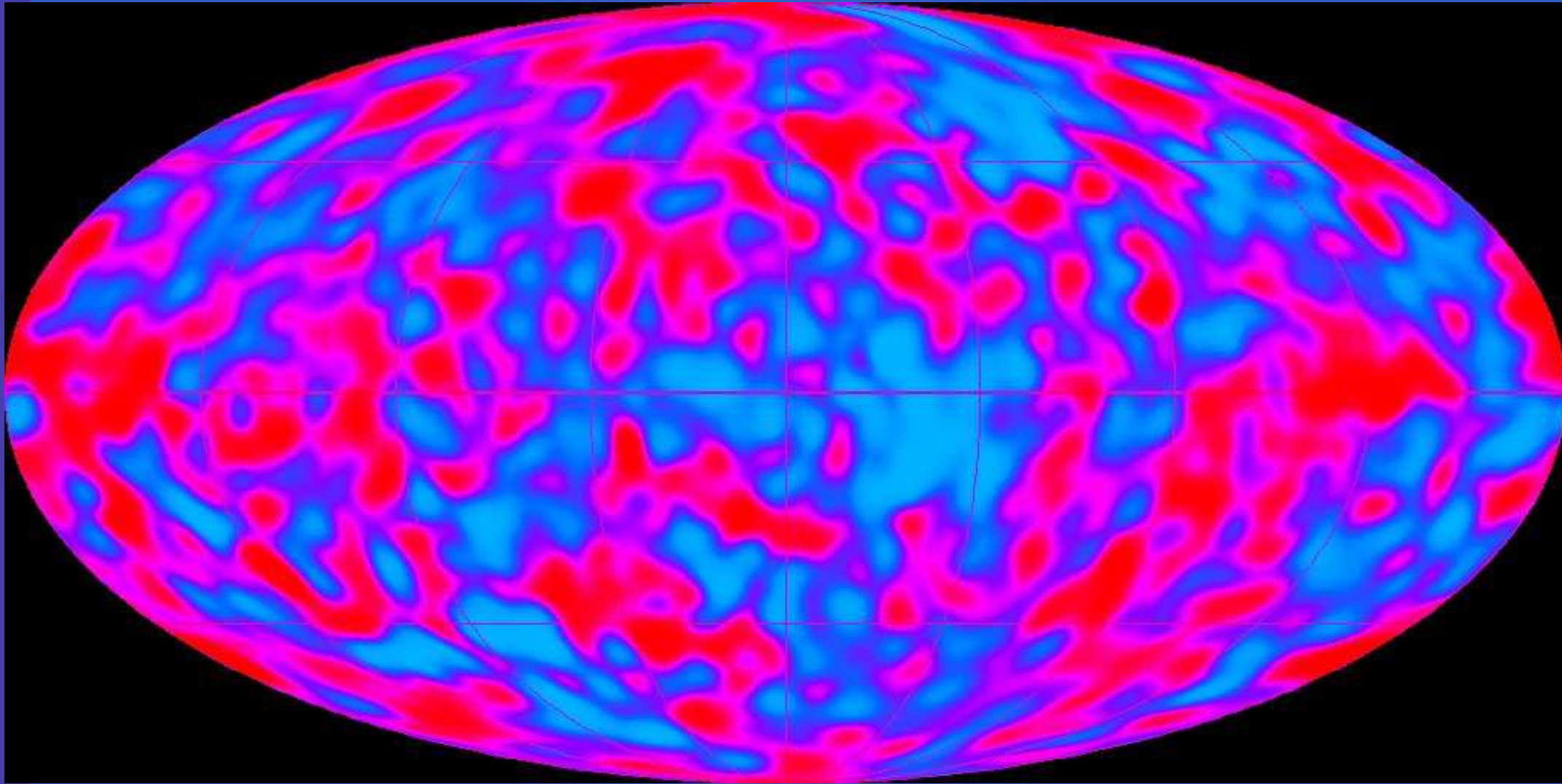
- Vermessung durch den Satellit COBE (COsmic Background Explorer) 1989-1993
- Bestimmung der Temperatur auf  $T = 2.728 \pm 0.002 \text{ K}$  – der beste bekannte ideale Strahler!
- Entdeckung von kleinsten Temperaturschwankungen (nur 0,001%) – Keime der Strukturbildung im Universum gefunden!
- Nobelpreis 2006 für George Smoot und John Mather

# Das Universum: Blick auf die Milchstraße (COBE)

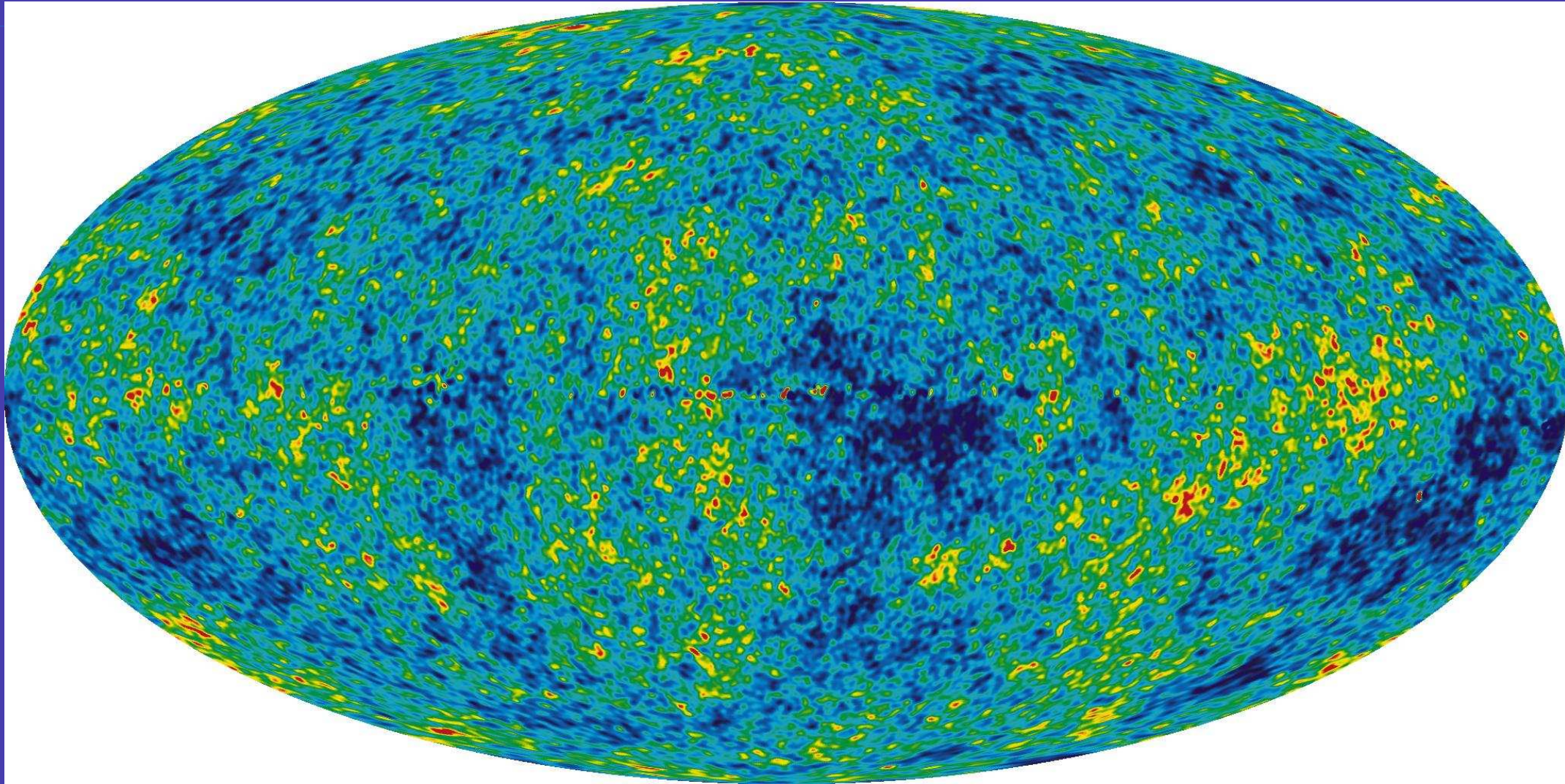
*DIRBE 1.25, 2.2, 3.5  $\mu\text{m}$  Composite*



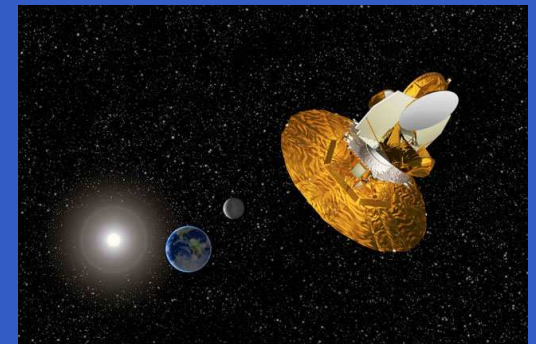
# Das Baby-Foto des jungen Universums (COBE)



# Neustes Baby-Foto des jungen Universums (WMAP 2008)

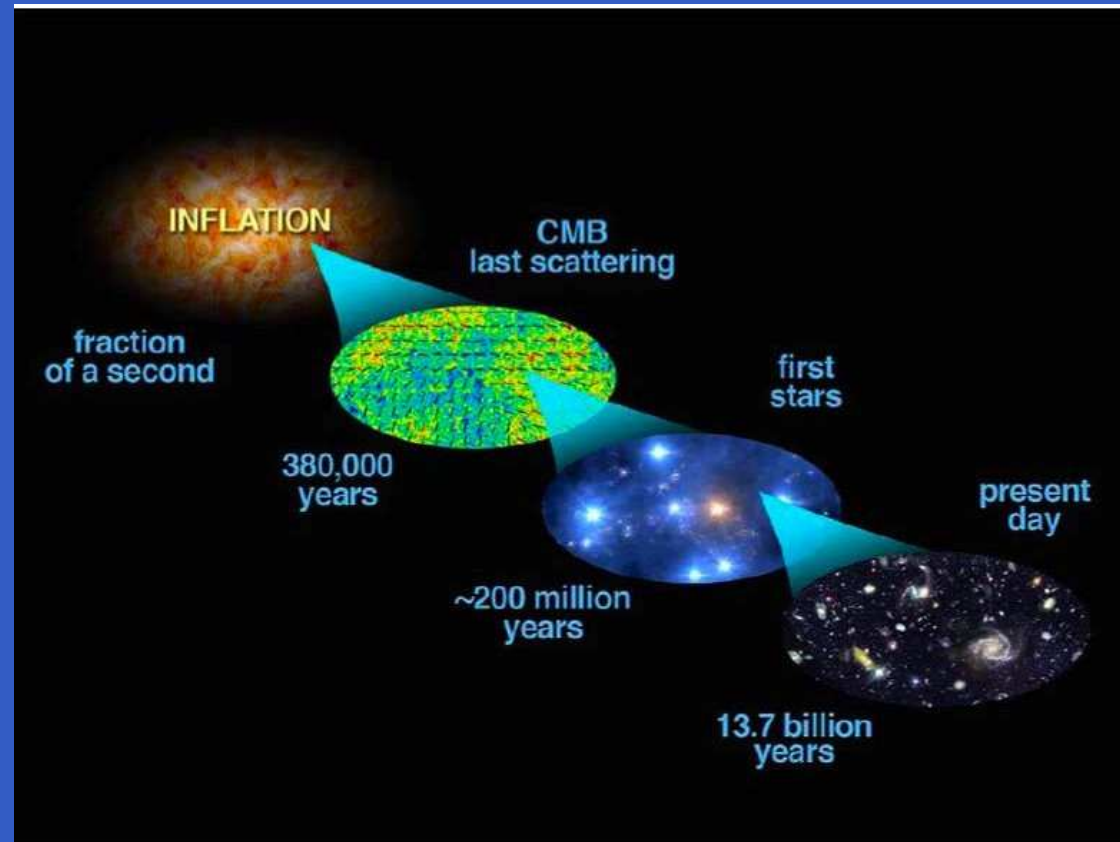


WMAP: Wilkinson Microwave Anisotropy Probe



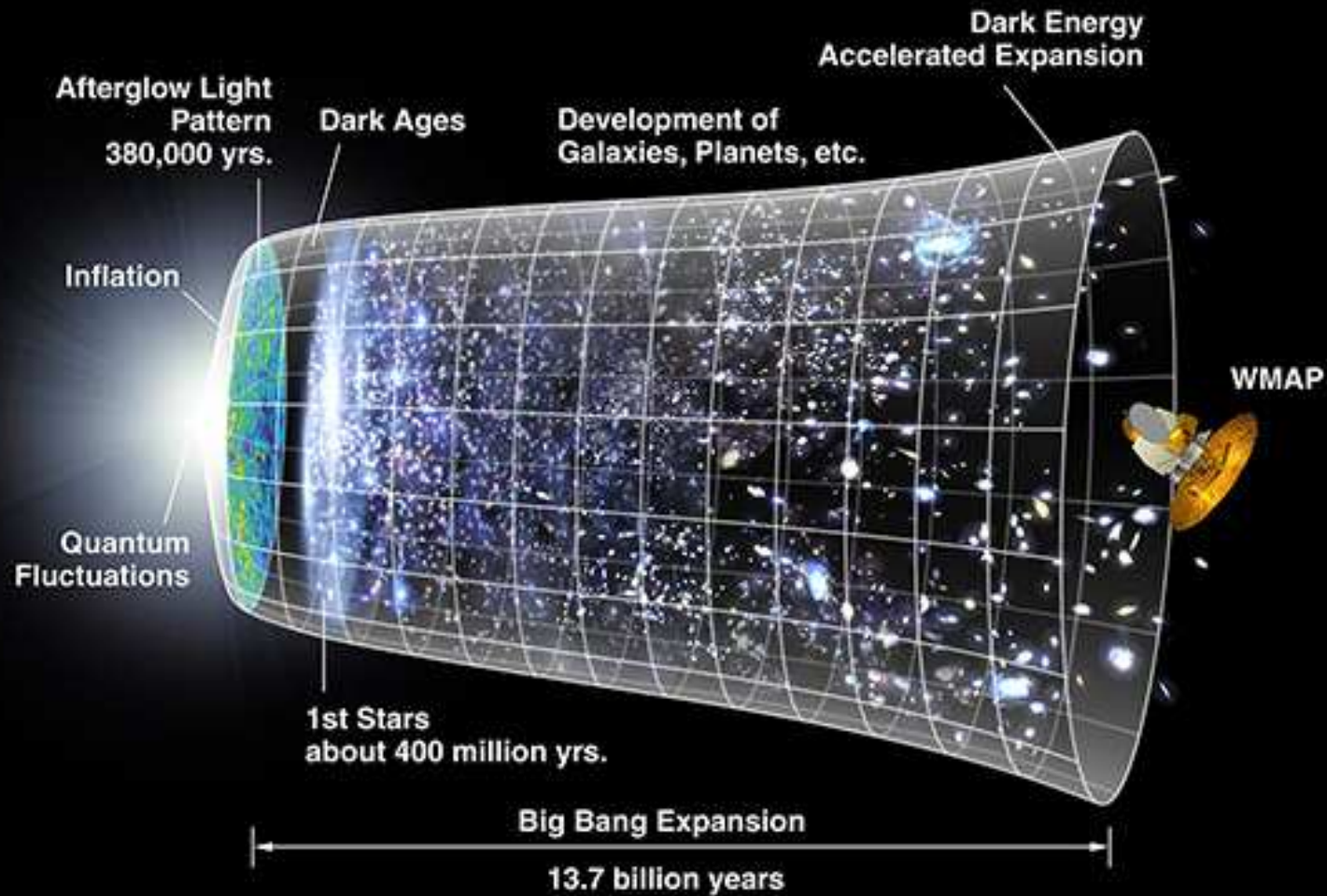
# Strukturbildung im Universum

(NASA/WMAP Science Team)

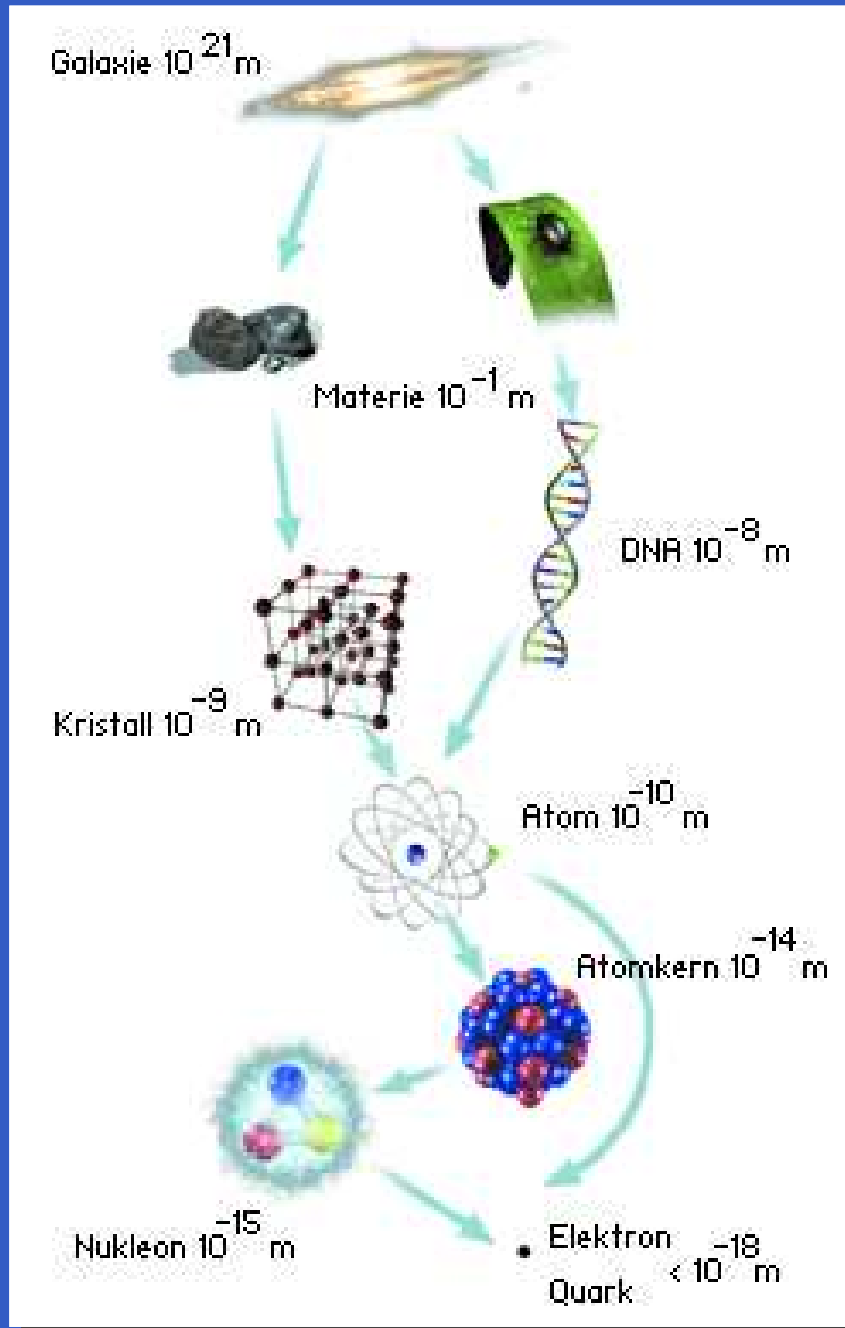


- Temperaturschwankungen in der kosmischen Hintergrundstrahlung: entstanden bei der Inflation durch einen Phasenübergang!
- entsprechen Dichteschwankungen → Keime der Strukturbildung
- verdichten sich im Laufe der Zeit → Bildung der ersten Sterne und Galaxien
- Animation vom WMAP Science Team

# Wie sind die Galaxien entstanden?

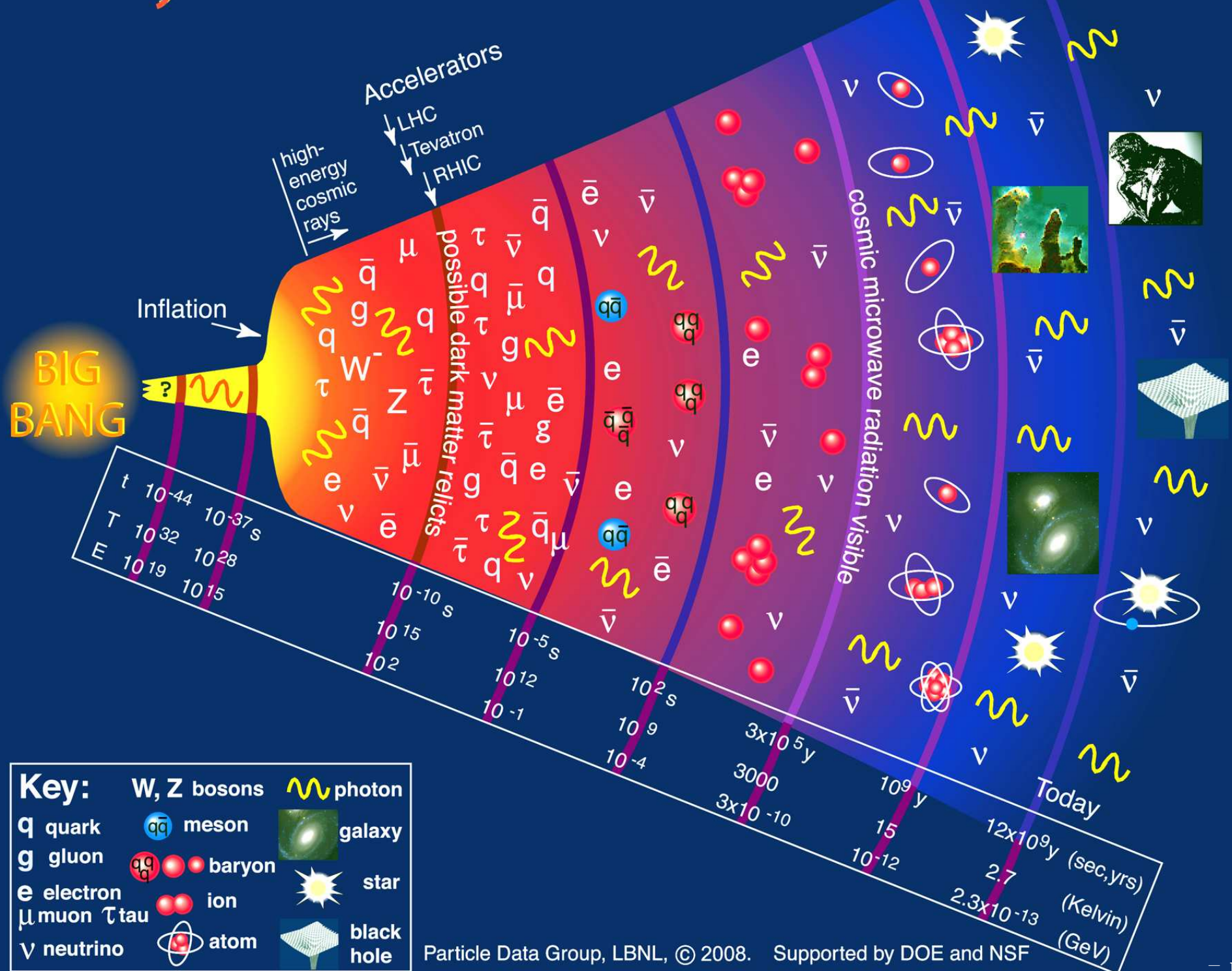


# Aufbau der Materie



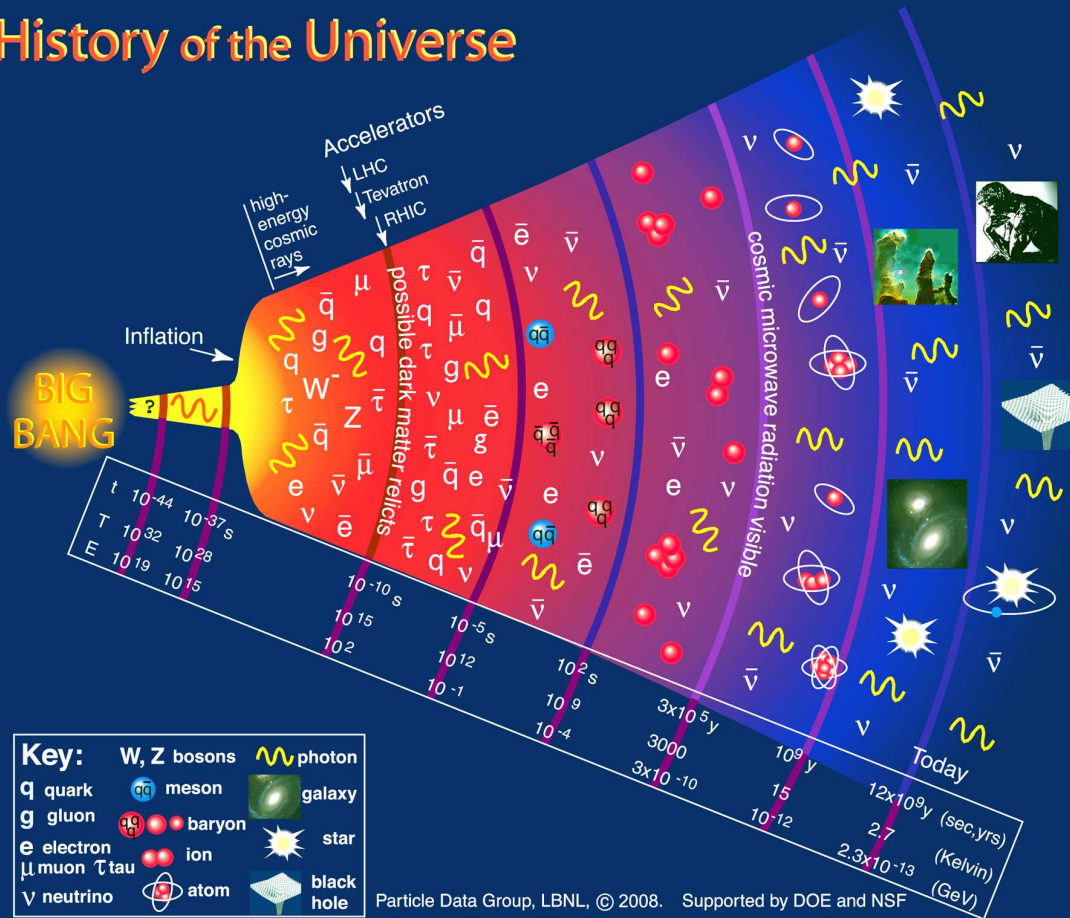
- Galaxien: Durchmesser von 100,000 Lichtjahren
- Materie: 10 cm
- Festkörper und DNA: bis zu einem milliardstel Meter
- Atome: 1/10 milliardstel Meter
- Atomkern: 10 milliardstel Meter
- Nukleon: 1 milliardstel Meter
- Elementarteilchen Quarks und Elektronen: weniger als 1 trillionstel Meter
- fast 40 Größenordnungen umfassend!

# History of the Universe



# Geschichte des Universums I – zurück zum Urknall

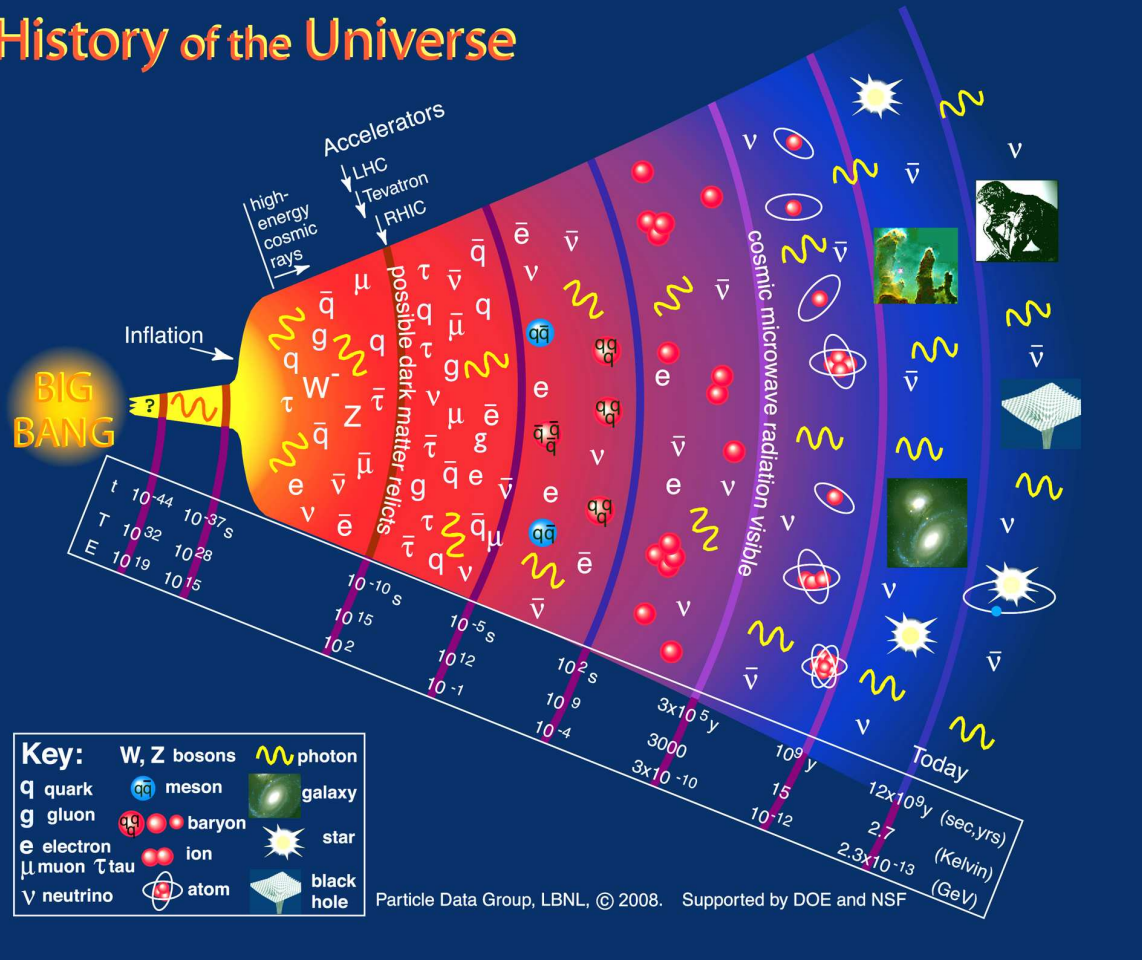
## History of the Universe



- Quantengravitation (Uratom) bei der Planck-Skala ( $10^{-44}$  s)
- Inflation: exponentielle Ausdehnung, Quantenfluktuationen ( $10^{-35}$  s)
- Quarkmaterie bei  $10^{-10}$  s, Produktion der Dunklen Materie?
- Beschleunigeranlagen testen das frühe Universum auf Bruchteile von Sekunden nach dem Urknall!

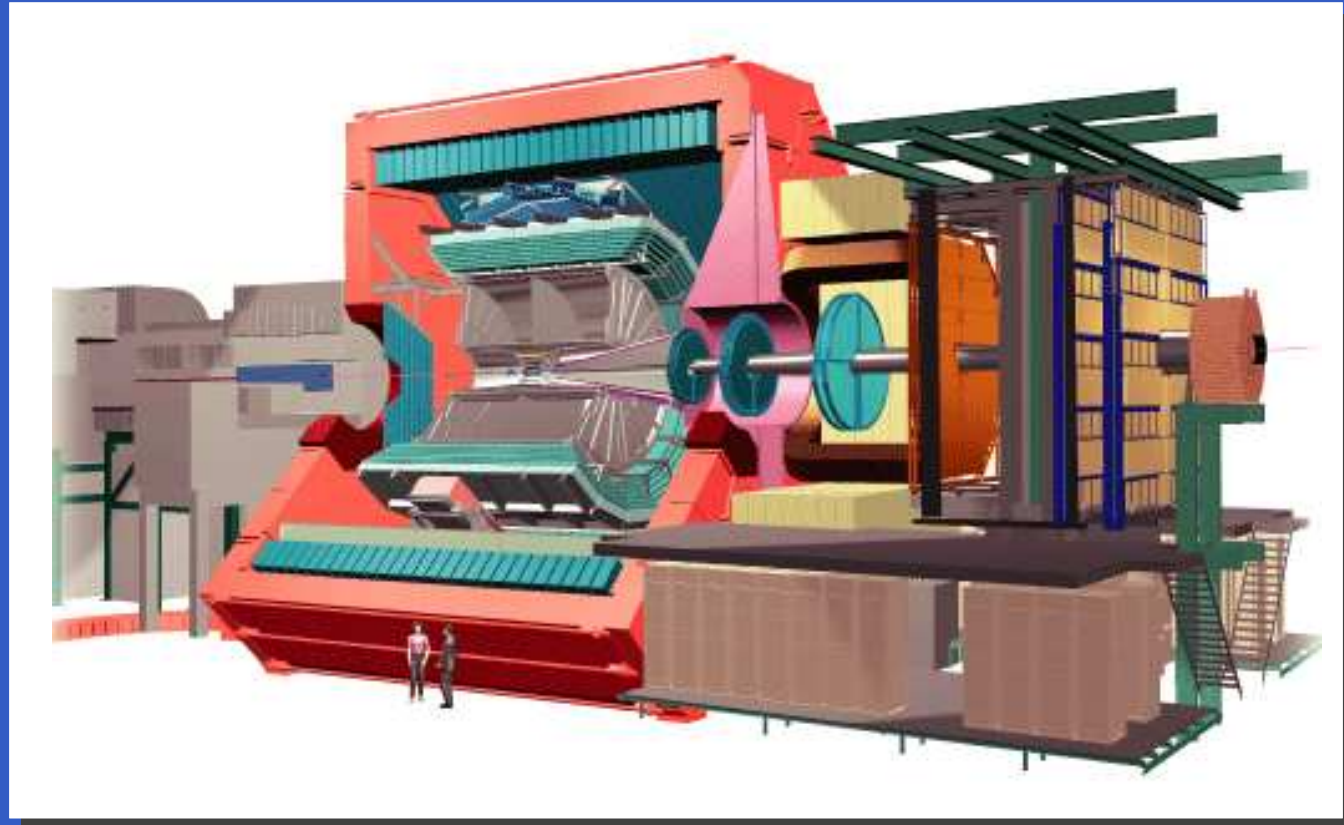
# Geschichte des Universums II – zurück zum Urknall

## History of the Universe



- Neutronen und Protonen entstehen aus Quarks bei  $10^{-5}$  Sekunden
- chemische Elemente in der Nukleosynthese (drei Minuten)
- Atome in der kosmischen Hintergrundstrahlung (380.000 Jahre)
- erste Sterne und Galaxien (300 Millionen Jahre)
- Sonne und Erde (4,5 Milliarden Jahre)
- Menschen: 13,7 Milliarden Jahre danach!

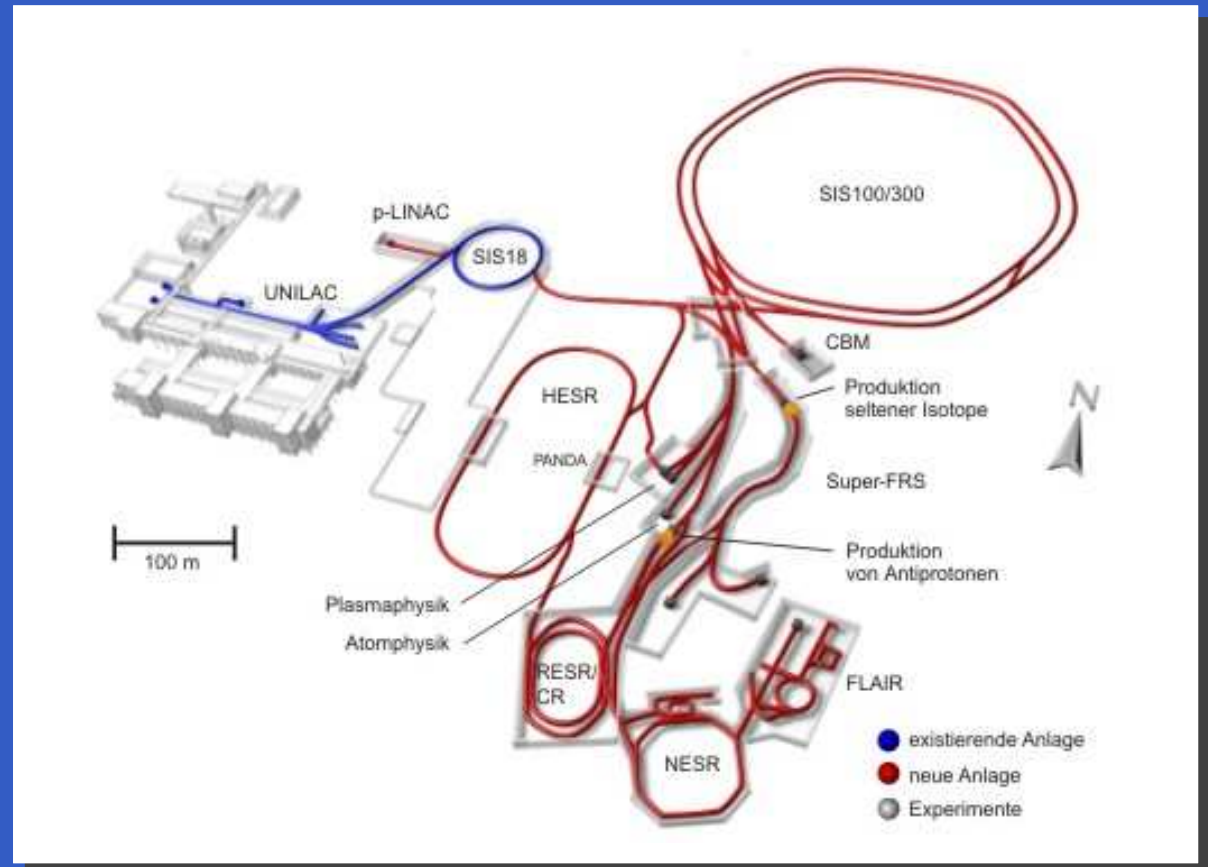
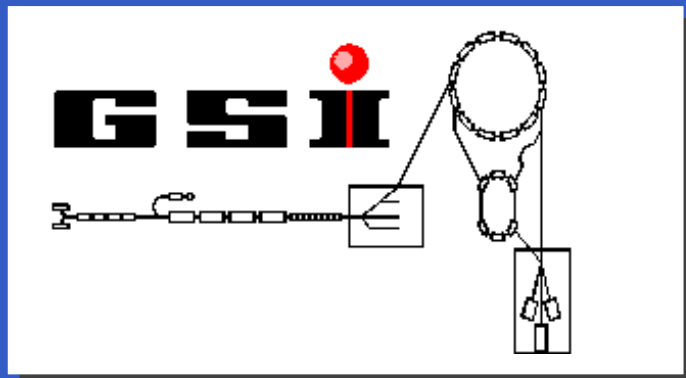
# Urmaterie im Labor



(ALICE Detektor am CERN)

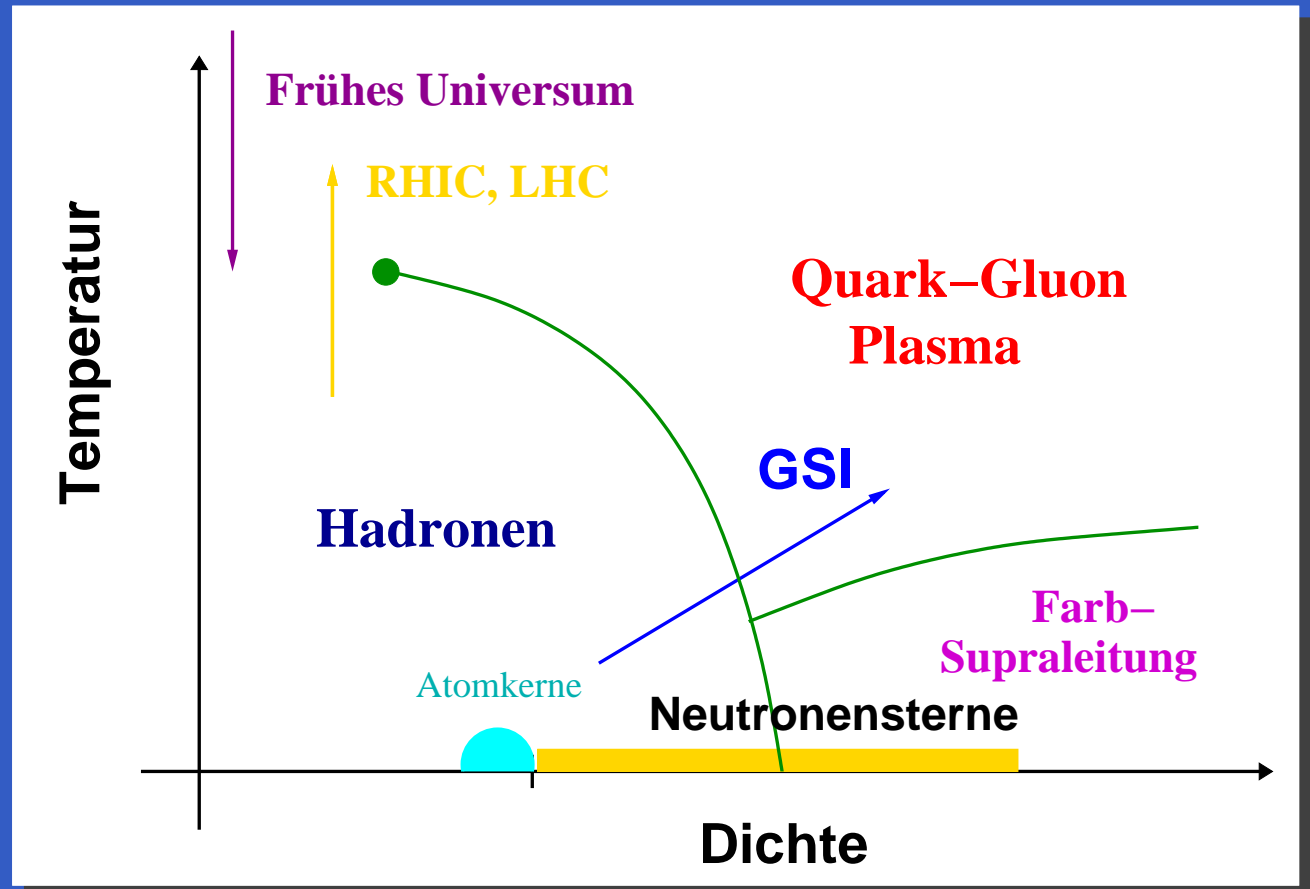
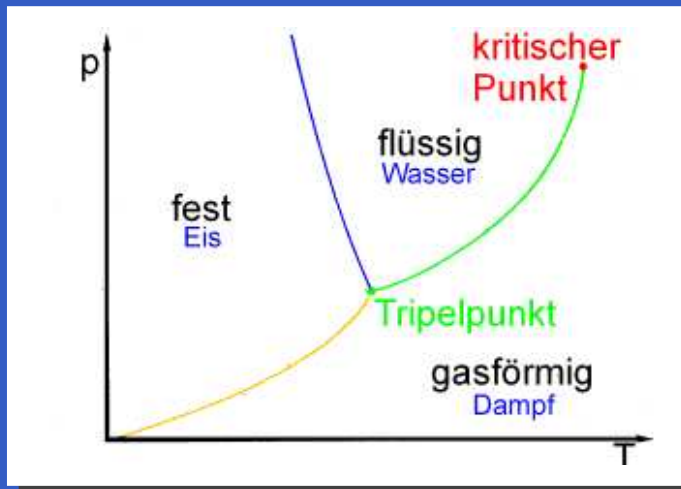
- Europäisches Großforschungszentrum CERN in Genf: Wiege des Internet
- Large Hadron Collider (LHC): Ringtunnel mit 27 km Umfang
- ALICE: A Large Ion Collider Experiment
- haushohe Detektoren, Hochleistungstechnologien und Supercomputing

# Zukunft: Urmaterie um die Ecke an der GSI Darmstadt



- Bau einer Internationalen Großforschungsanlage in 2010 (Facility for Antiproton and Ion Research FAIR)
- Erforschung hochdichter (Ur)Materie, Entstehung der Elemente, Plasmaphysik, Strahlentherapie
- starke Beteiligung von Studenten und Forschern aus Frankfurt

# Phasendiagramm der Urmaterie



- Erforschung der Urmaterie im Labor
- Phasen von Wasser: fest, flüssig, gasförmig
- Phasen von Urmaterie: Kerne, Quarkmaterie, Quark-Gluon Plasma

Simulation einer Schwerionenkollision (UrQMD, Universität Frankfurt)