

# KOSMISCHE HINTERGRUNDSTRAHLUNG (CMB)

---

Philipp Zilske  
Universität Bielefeld  
Physikalisches Proseminar  
26.06.2013

# Übersicht

1. Motivation
2. Entstehung
  - Allgemeine Vorbemerkungen
  - Urknall-Theorie
  - Rekombination und Entkopplung
3. Entdeckung
  - Historisches
  - Wilson/Penzias
4. Erforschung
5. Ausblick
6. Quellen

# 1. Einführung / Motivation

- Ursprung kurz nach Entstehung des Universums
- Fingerabdruck des Universum
  - ⇒ Parameter für Standardmodell der Kosmologie
- Beleg für die Urknall-Theorie

## 2. Entstehung

Vorbemerkungen:

- Bewegen uns auf sehr großen Skalen
  - ⇒ Vereinfachungen
    - nur Gravitationswechselwirkung
    - Materie homogen und isotrop verteilt
  - Kopernikanisches Prinzip

## 2. Entstehung

Urknall-Theorie:

Zeit	Ausdehnung	Temperatur	
$10^{-43} s$	$10^{-35} m$	$10^{32} \text{ Grad}$	Planck-Zeit und Planck-Länge als Grenze des Verständnis
1 min	$> 10^{15} km$	$10^9 \text{ Grad}$	Erste Kernreaktionen
4 min			Nukleosynthese abgeschlossen

→ Universum: Gas aus freien Elektronen, Nukleonen, Photonen

## 2. Entstehung

Urknall-Theorie:

- Bildung von Atomen nicht möglich ( $k_B T \gg E_{Bind}$ )

→ Strahlung und Materie im thermischen Gleichgewicht

⇒ das Universum war undurchsichtig

## 2. Entstehung

Rekombination und Entkopplung:

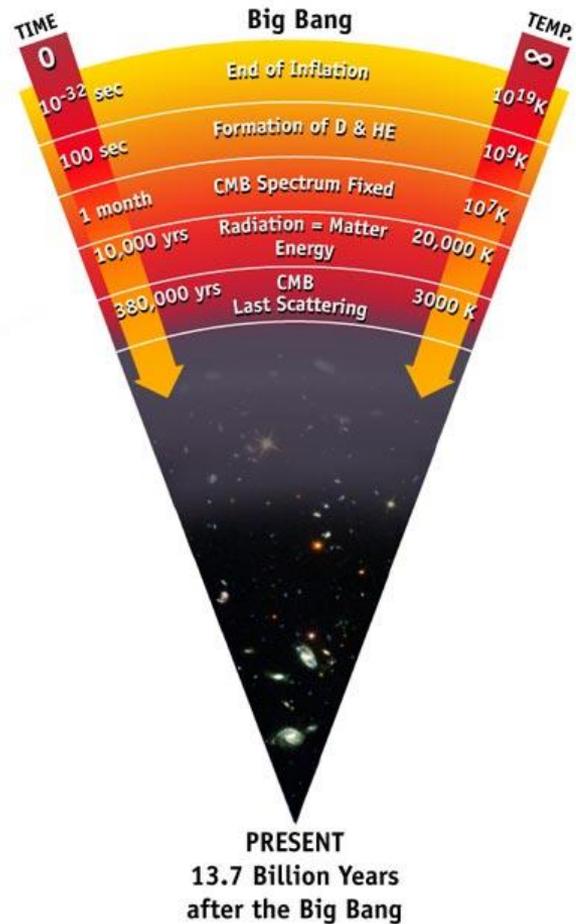
- Expansion bewirkt Abkühlung

$\sim 300.000a$ : Rekombination (3000K)

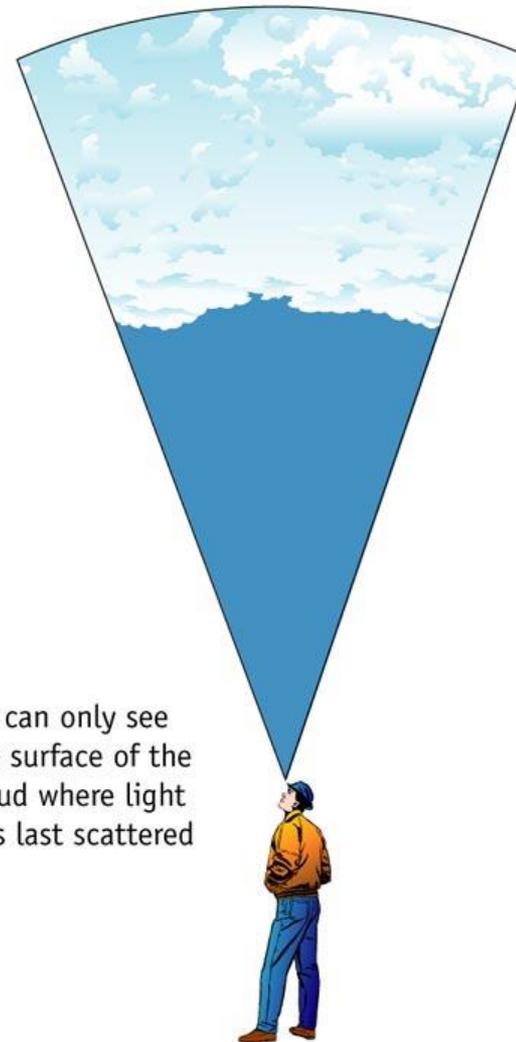
$\sim 380.000a$ : Entkopplung von Strahlung und Materie

$\Rightarrow$  das Universum wurde durchsichtig

# 2. Entstehung



The cosmic microwave background Radiation's "surface of last scatterer" is analogous to the light coming through the clouds to our eye on a cloudy day.



We can only see the surface of the cloud where light was last scattered

# 3. Entdeckung

Historisches:

- 1947: Definition Urknall  
→ Big Bang vs. Steady State
- 1949 (Gamov): Nachwärme des Urknalls  $\sim 5K$
- 1964: erste Veröffentlichung, in der die Messbarkeit einer Hintergrundstrahlung behauptet wird

# 3. Entdeckung

1964:

Arno Penzias  
Robert Wilson

Bell Laboratories,  
Holmdel (New  
Jersey)



# 3. Entdeckung

Ziel: Aufnahme von Mikrowellensignalen ( $\lambda = 7,35\text{cm}$ ) aus Milchstraße

Problem: permanentes Hintergrundrauschen

→ keine Erklärung für homogene und isotrope Störung

Lösung: Zusammenschluss mit Robert Dicke (Princeton)

→ Veröffentlichung der Ergebnisse im *Astrophysical Journal Letters* (1965, Nobelpreis 1978)

## 4. Erforschung

- Folgende Jahre: weitere bestätigende Untersuchungen  
→ homogene und isotrope 3K-Strahlung
- Problem: viele Einzelmessungen, schlechte Vergleichsmöglichkeiten
- Ziel: spezielle Messapparatur, die Spektrum aufnehmen und einzelne Werte vergleichen kann

# 4. Erforschung

Wissensstand:

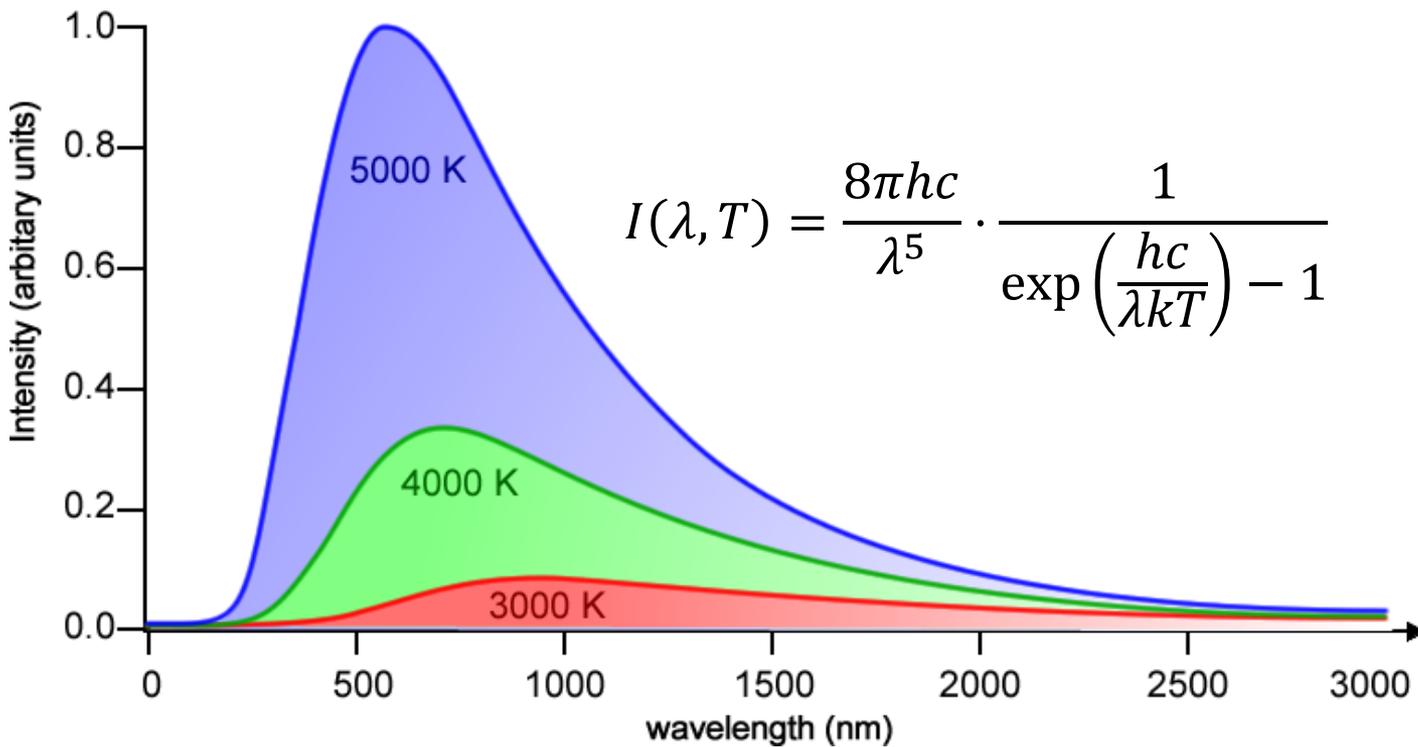
- Wärmestrahlung aus thermischen Gleichgewicht
  - ⇒ Plancksches-Strahlungsgesetz
  - 3K-Strahlung im Mikrowellenbereich
  - auf kleineren Skalen: Inhomogenitäten
    - „kalter Staub“ strahlt im Mikrowellenbereich
    - Relativbewegung zum CMB

# 4. Erforschung

Einschub: Schwarzer Körper / Hohlraumstrahler

- Idealer thermischer Strahler

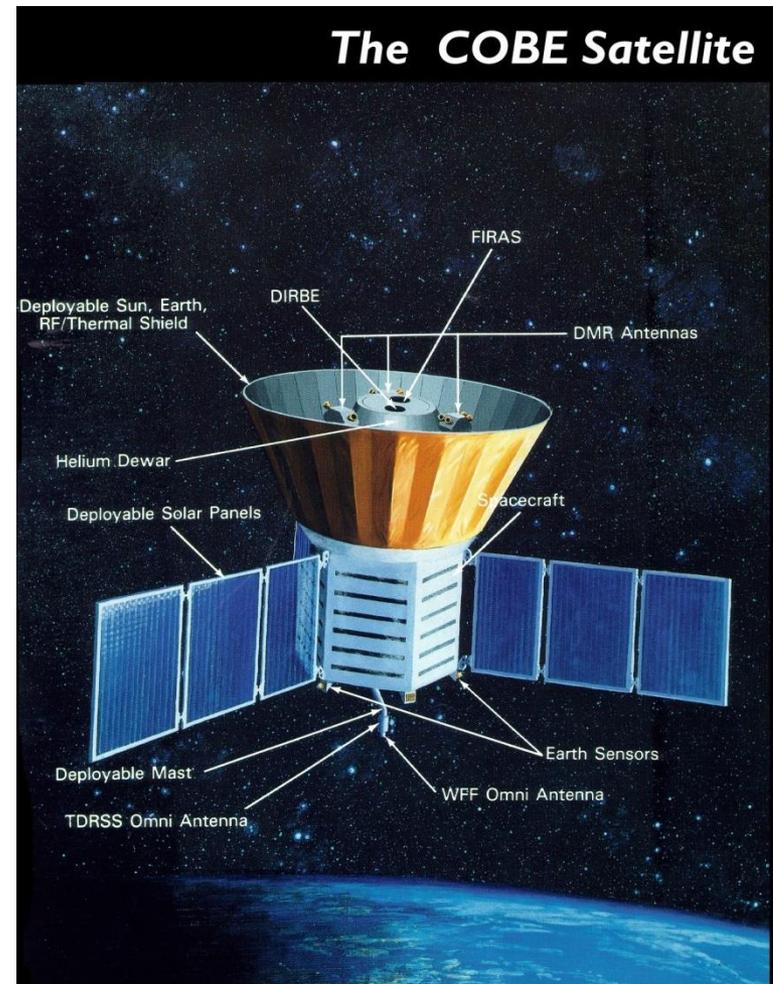
→ Spektrum wird durch Planck-Gesetz beschrieben



# 4. Erforschung

## COBE (COsmic Background Explorer)

- Erster speziell ausgelegter Satellit (Projekt der NASA)
- 900km über der Erde
- 3 verschiedene Messapparaturen



# 4. Erforschung

Bestandteile COBE:

## 1. DIRBE

- Spektrum und Winkelverteilung im Infrarotbereich ( $1,2 - 240\mu m$ )

→ Kartographierung der Himmelsphäre

## 2. DMR

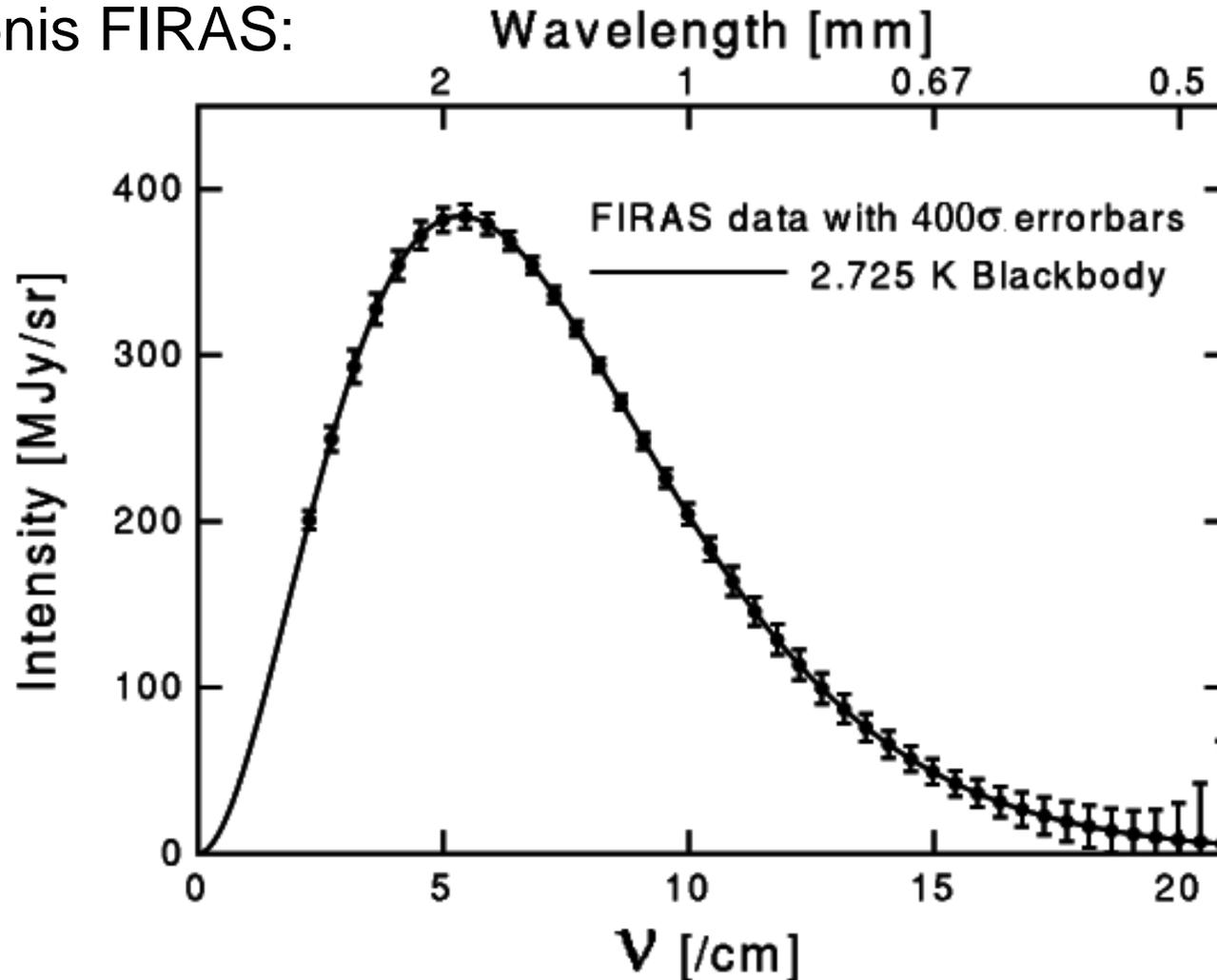
- Fluktuationen im Hintergrundspektrum (1:100.000) für  $\lambda = \{3,3 ; 5,7 ; 9,6\} mm$

## 3. FIRAS

- Vergleich mit Schwarzkörperstrahlung ( $0,1 - 10mm$ )

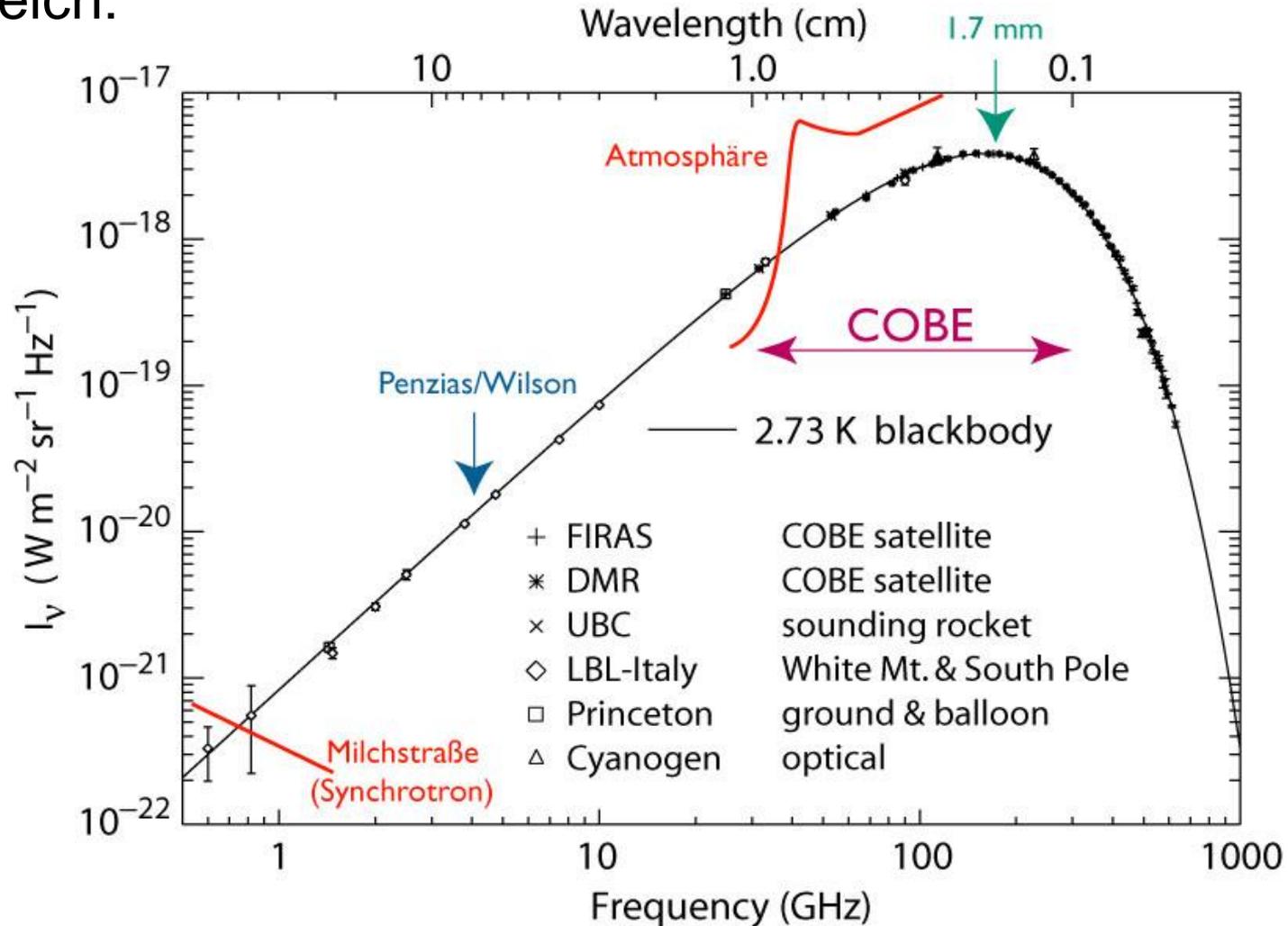
# 4. Erforschung

Ergebnis FIRAS:



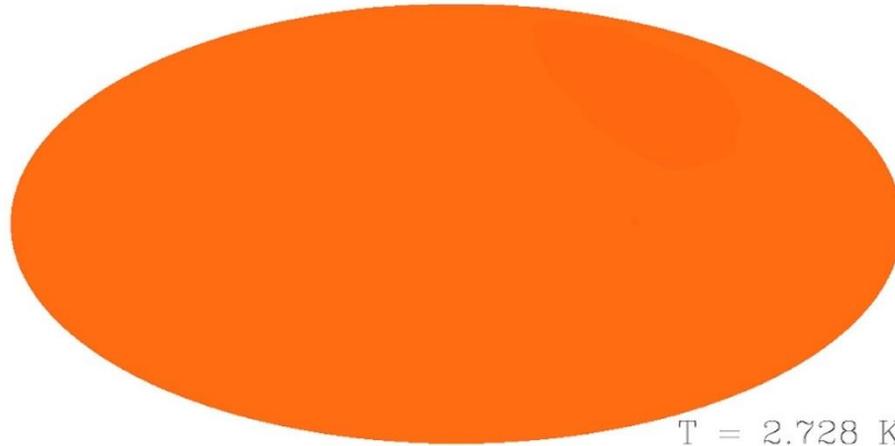
# 4. Erforschung

Vergleich:

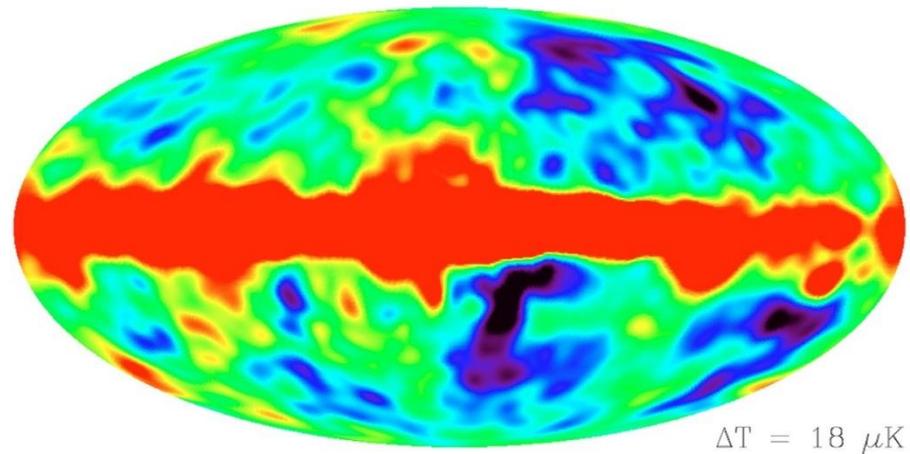
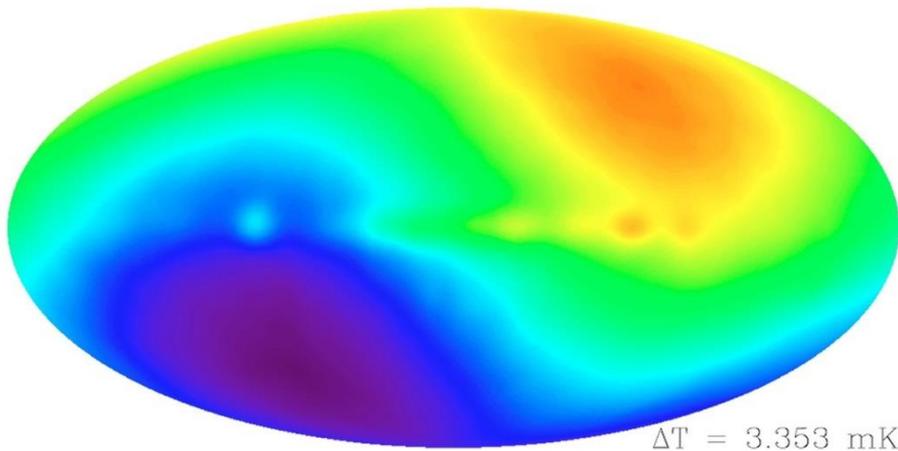


# 4. Erforschung

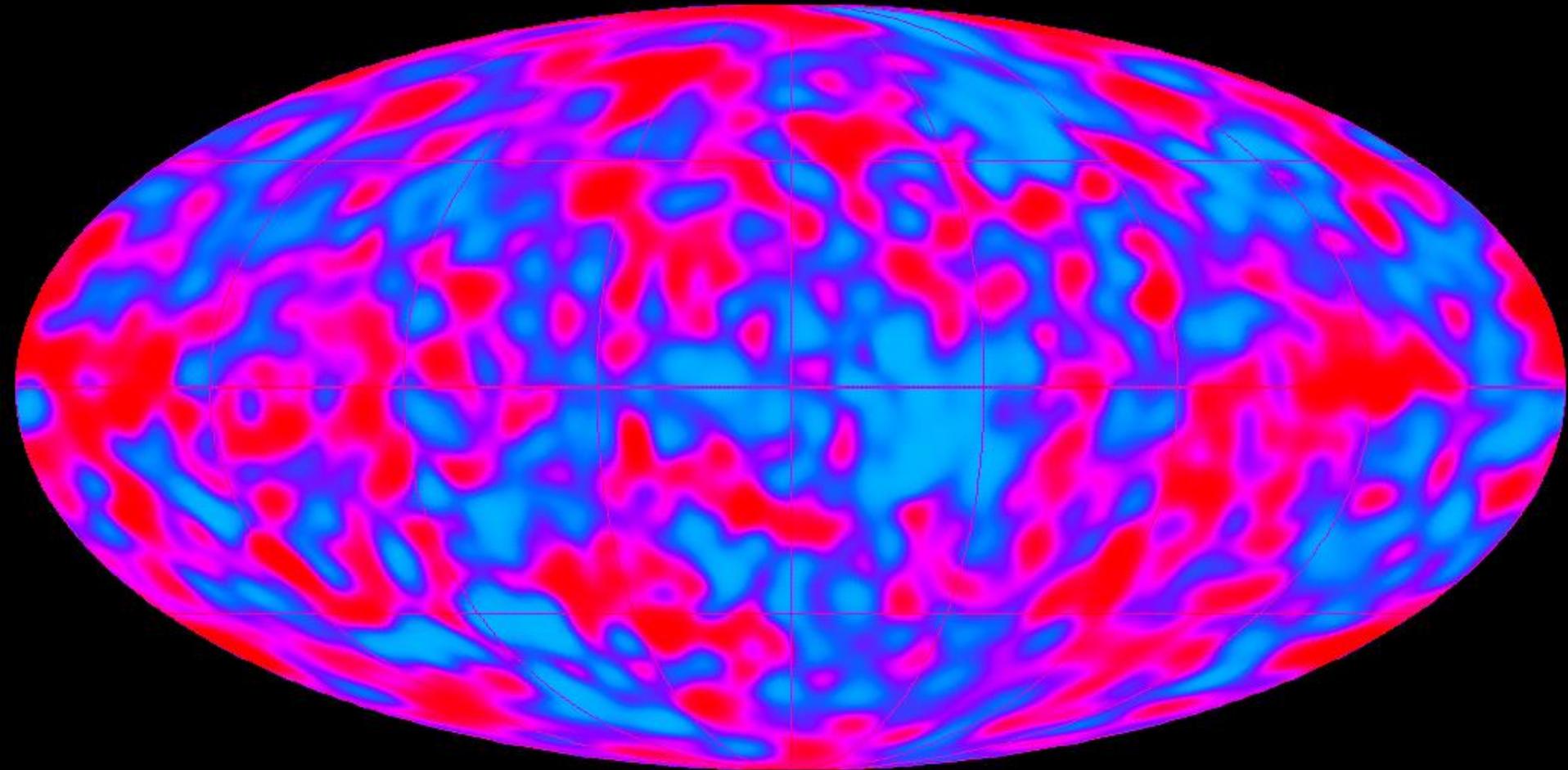
## All-Sky-Map



DMR 5,7 mm maps



# 4. Erforschung



# 5. Ausblick

- Haben  $T = (2,725 \pm 0,002)K$
  - Genaue Schlüssel liegt in Anisotropien
    - Geometrie
    - Ausdehnung
    - Zusammensetzung
    - Entwicklung
- ⇒ Grundlage des Standardmodells der Kosmologie

# 6. Quellen

- [NASA: Microwave Background Archive](#)  
→ siehe insbesondere „images“
- [Penzias/Wilson](#)
- [Wolfgang Gebhardt, Universität Regensburg, Skript zur Vorlesung Kosmologie \(WS 06/07\), Kapitel 6](#)
- [Jutta Kunz, Universität Oldenburg, Theoretische Kosmologie \(im Rahmen eines Kosmologie-Workshops\)](#)
- [Welt der Physik](#)
- [Foundations of Big Bang Cosmology](#)
- Peter Schneider, Einführung in die extragalaktische Astronomie und Kosmologie, Springer Verlag

# 6. Quellen

## Abbildungsverzeichnis:

- Last Scattering (Folie 8)
- Penzias/Wilson (Folie 11)
- Hohlraumstrahlung (Folie 15)
- COBE-Satellite (Folie 16)
- Auswertung FIRAS (Folie 18)
- Vergleichende Darstellung (Folie 19)
- 5,7mm map's (Folie 20)
- All Sky Map (Folie 21)