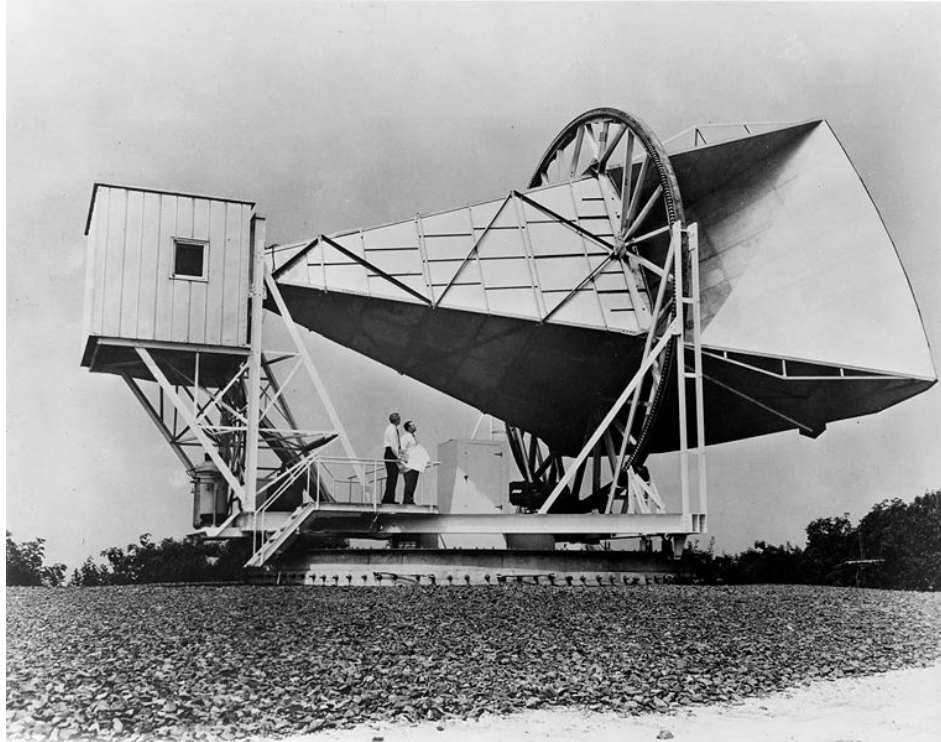


A visualization of the cosmic web, showing a complex network of blue and purple filaments and nodes against a dark background, representing the large-scale structure of the universe.

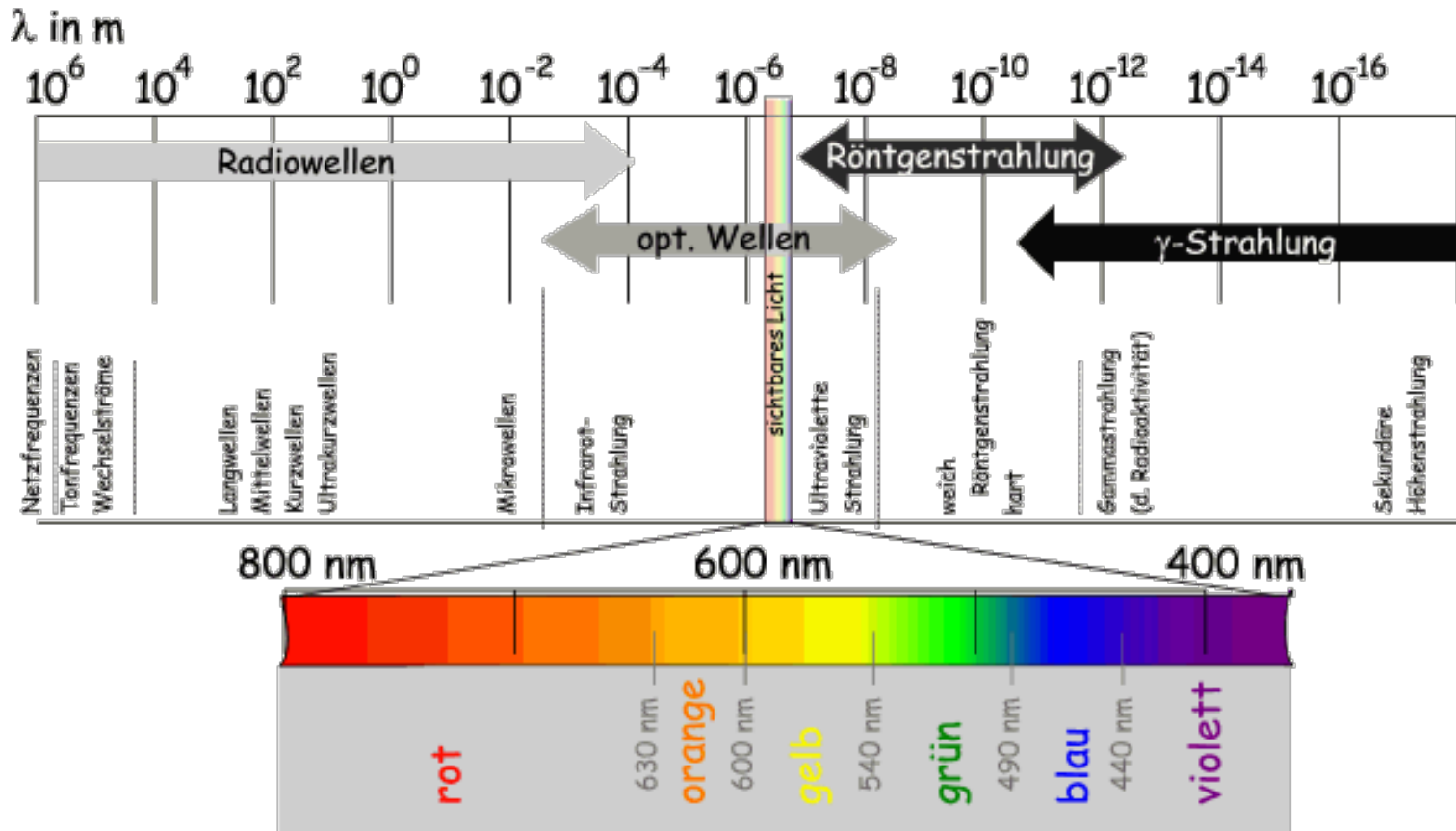
## Vergangenheit und Zukunft des Universums

1. Kosmische Hintergrundstrahlung
2. Arno Penzias und Robert Wilson
3. Nukleosynthese
4. Strukturbildung
5. George Gamov
6. Mögliche Zukunft

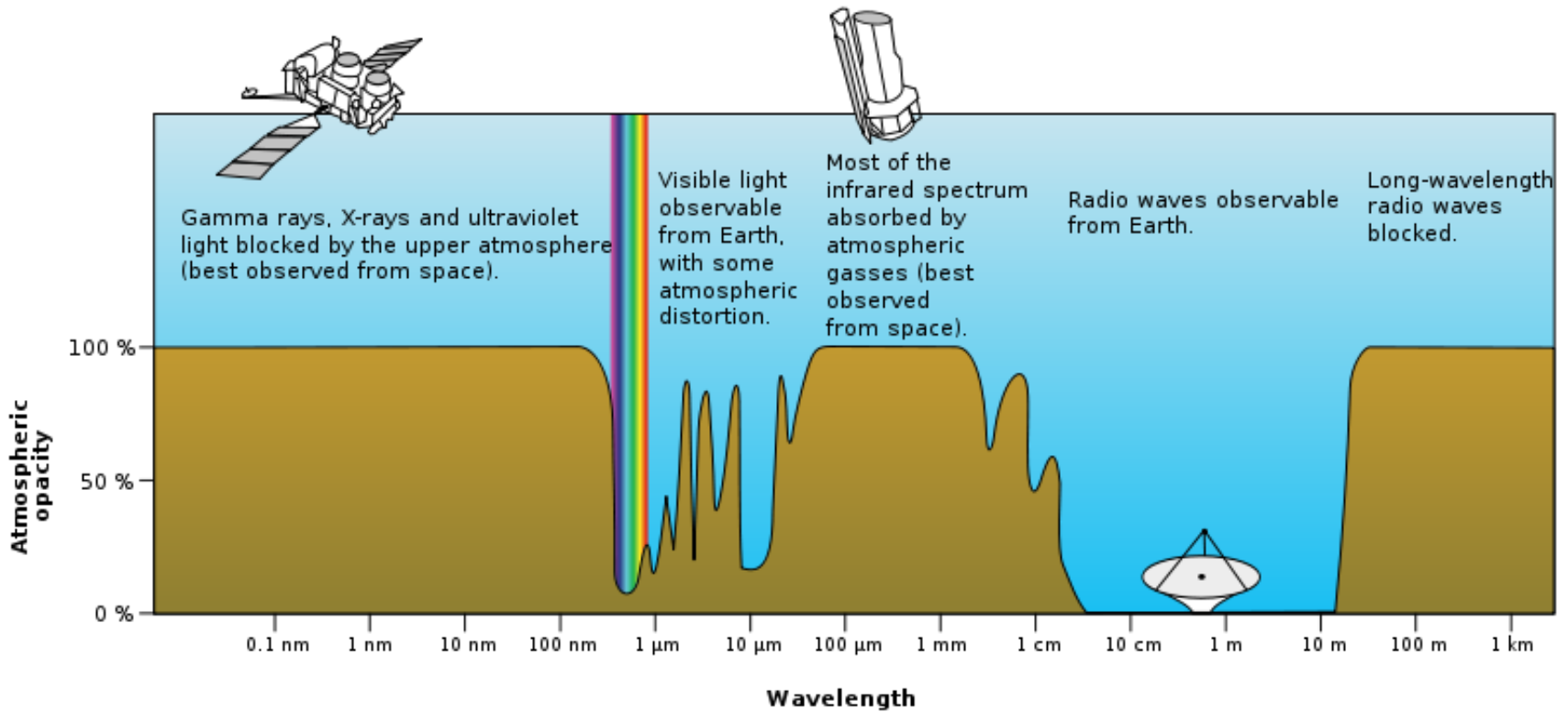


Hornantenne, mit der die kosmische Hintergrundstrahlung entdeckt wurde

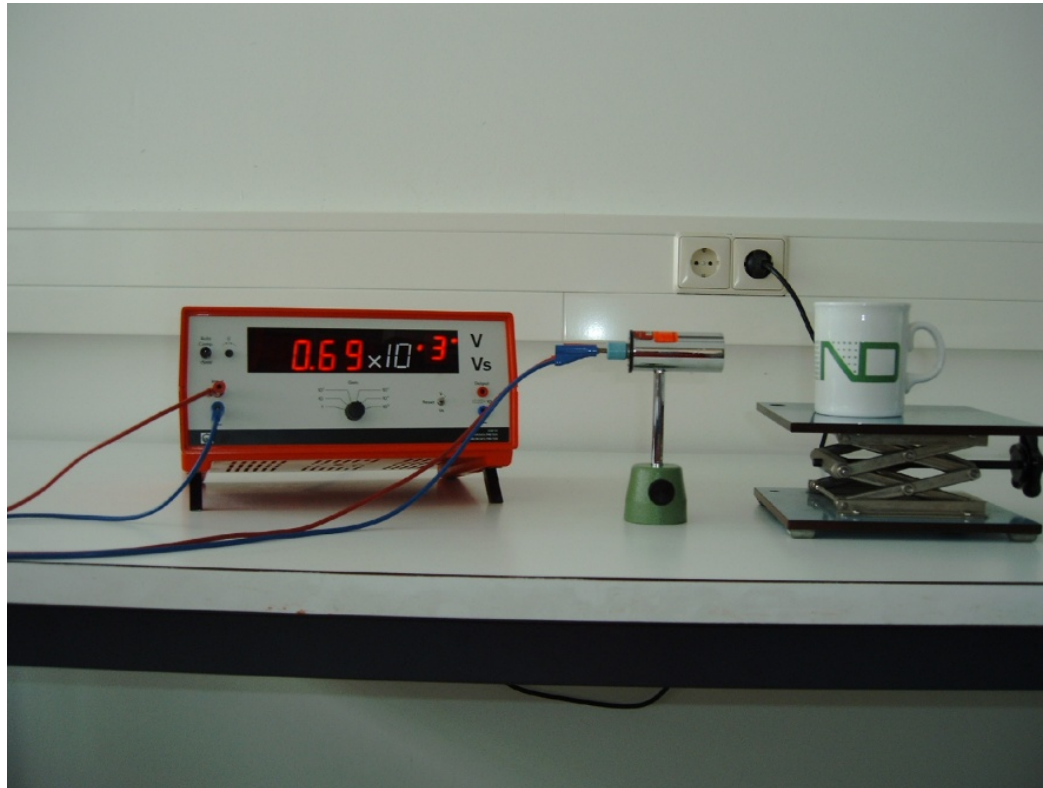
# Das elektromagnetische Spektrum



# Undurchlässigkeit der Erdatmosphäre in Abhängigkeit von der Wellenlänge



# Nachweis von Wärmestrahlung



# Kosmische Hintergrundstrahlung

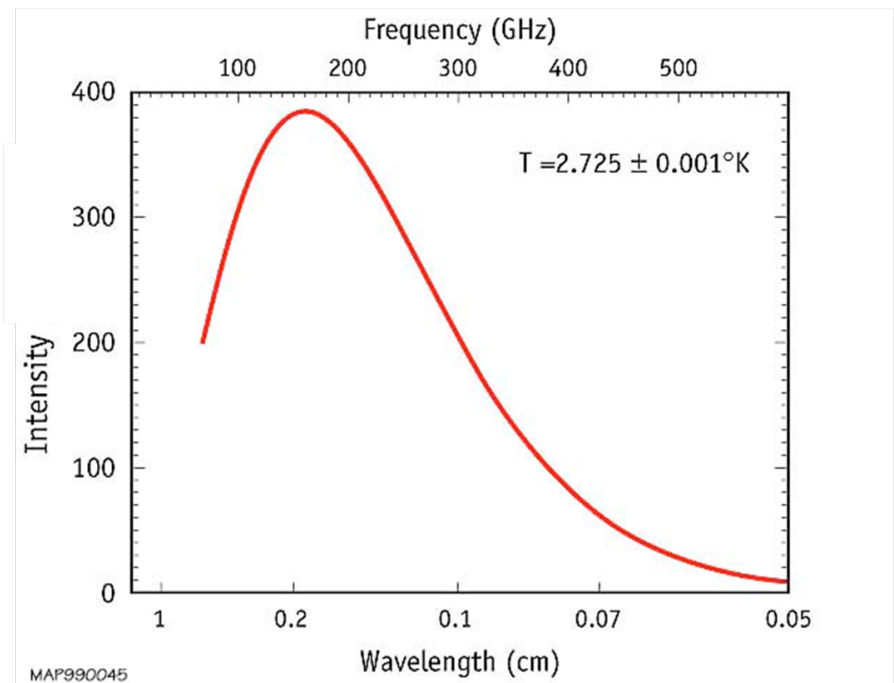
1948 von Gamow vorhergesagt.  
1965 von Penzias und Wilson  
zufällig entdeckt.

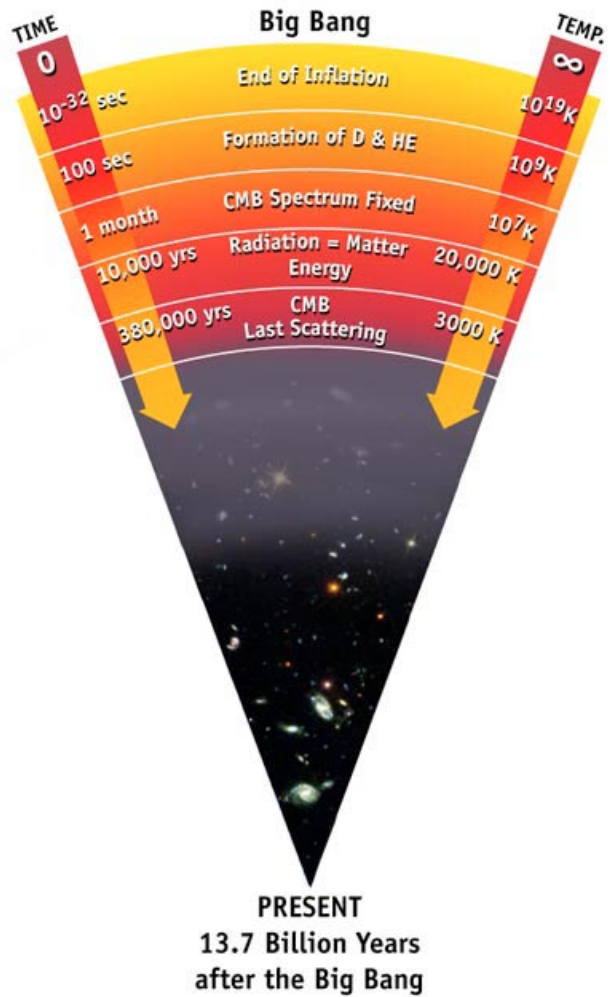
Wärmestrahlung von 2,725 K

Eigentlich: Wärmestrahlung von 3000K  
jedoch rotverschoben um Faktor 1100

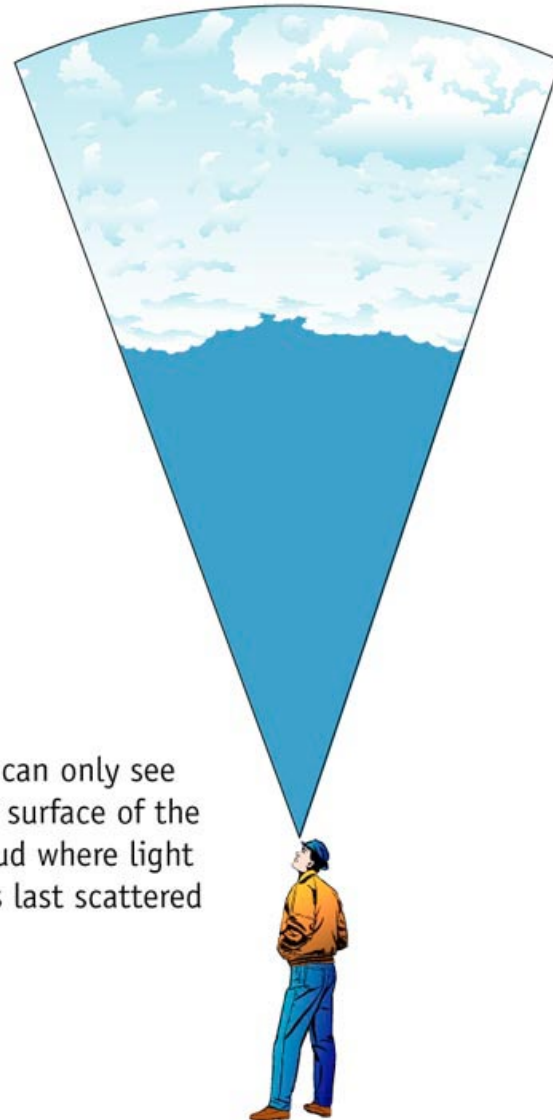
Ausgesandt bei  $t = 400\,000$  a als der Kosmos  
durchsichtig wurde. Frühestes  
Signal vom Urknall.

Spektrum der kosmischen Hintergrundstrahlung

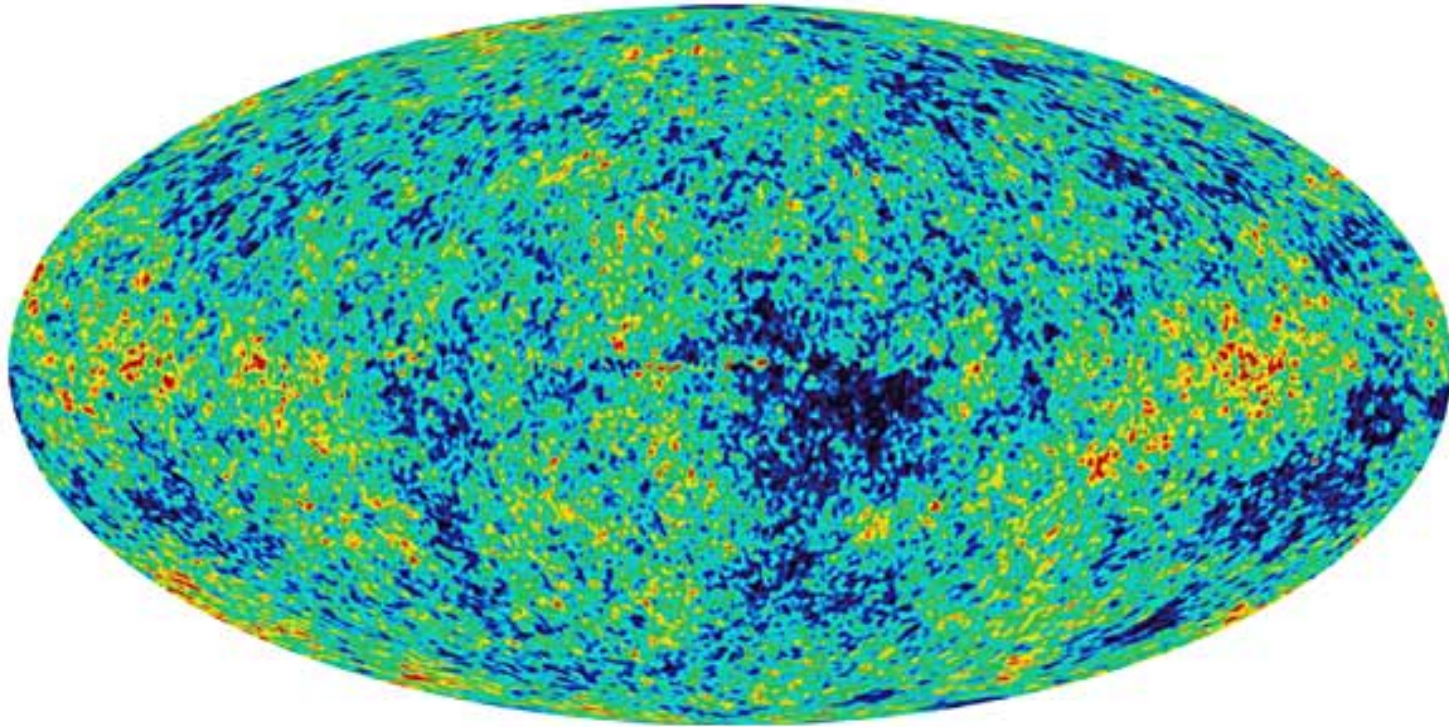




The cosmic microwave background Radiation's "surface of last scatter" is analogous to the light coming through the clouds to our eye on a cloudy day.



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



Temperaturverteilung der Mikrowellenstrahlung an den verschiedenen Orten der Himmelskugel.

Rot: wärmer, blau: kälter

Maximale Temperaturunterschiede:  $10^{-5}$  K



Arno Penzias (\* 1933) – vorne  
Robert Wilson (\* 1936) – hinten

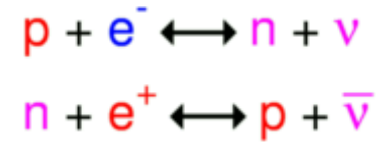


*"The discovery of the cosmic microwave background by Penzias and Wilson transformed cosmology from being the realm of a handful of astronomers to a 'respectable' branch of physics almost overnight."*

Michael Turner, cosmologist at the University of Chicago

# Die wichtigsten Reaktionen bei der primordialen Elementsynthese

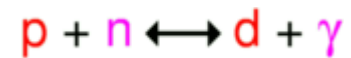
Umwandlung von Protonen in Neutronen und  
umgekehrt



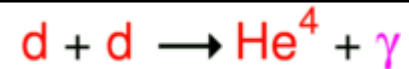
Zerfall des Neutrons, Halbwertszeit ca. 600 s



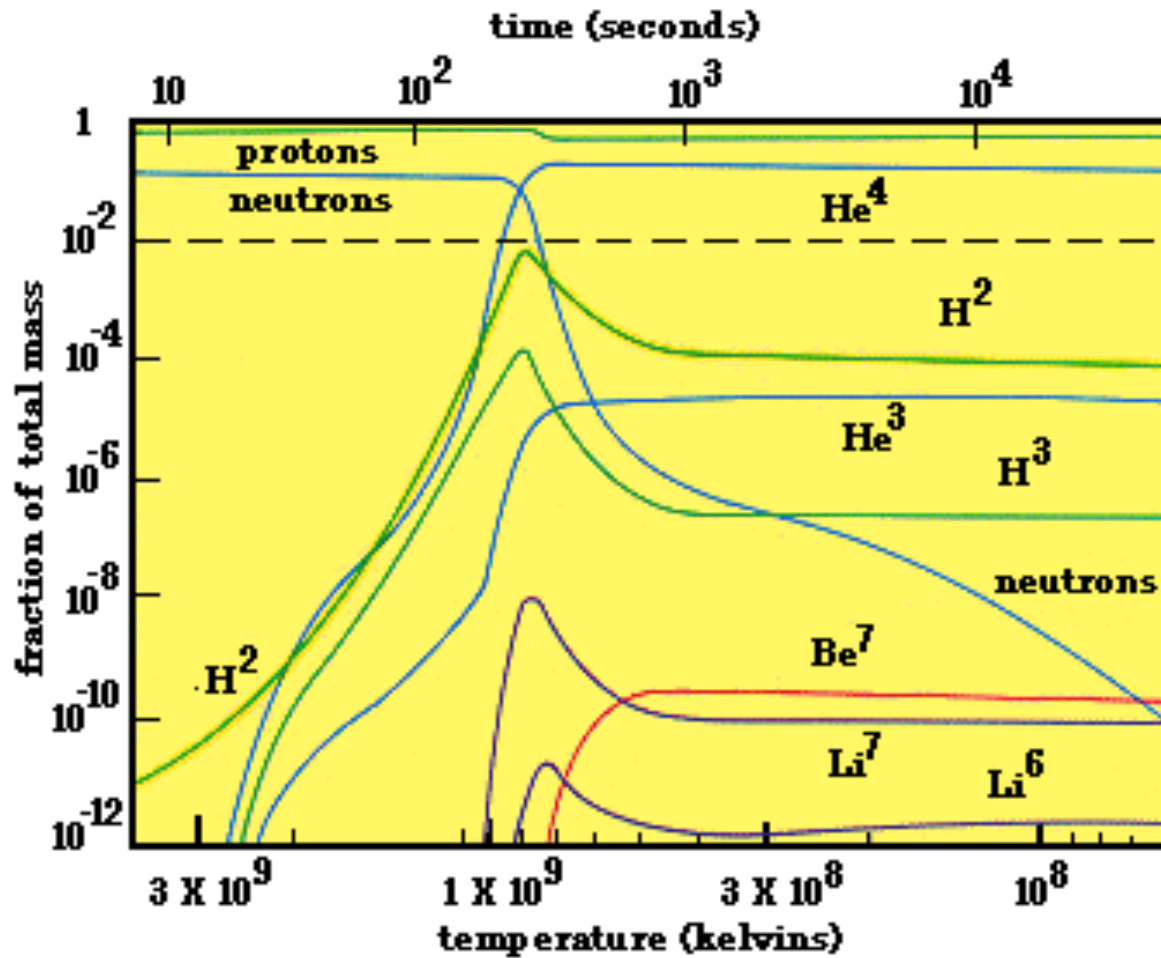
Bildung von Deuterium

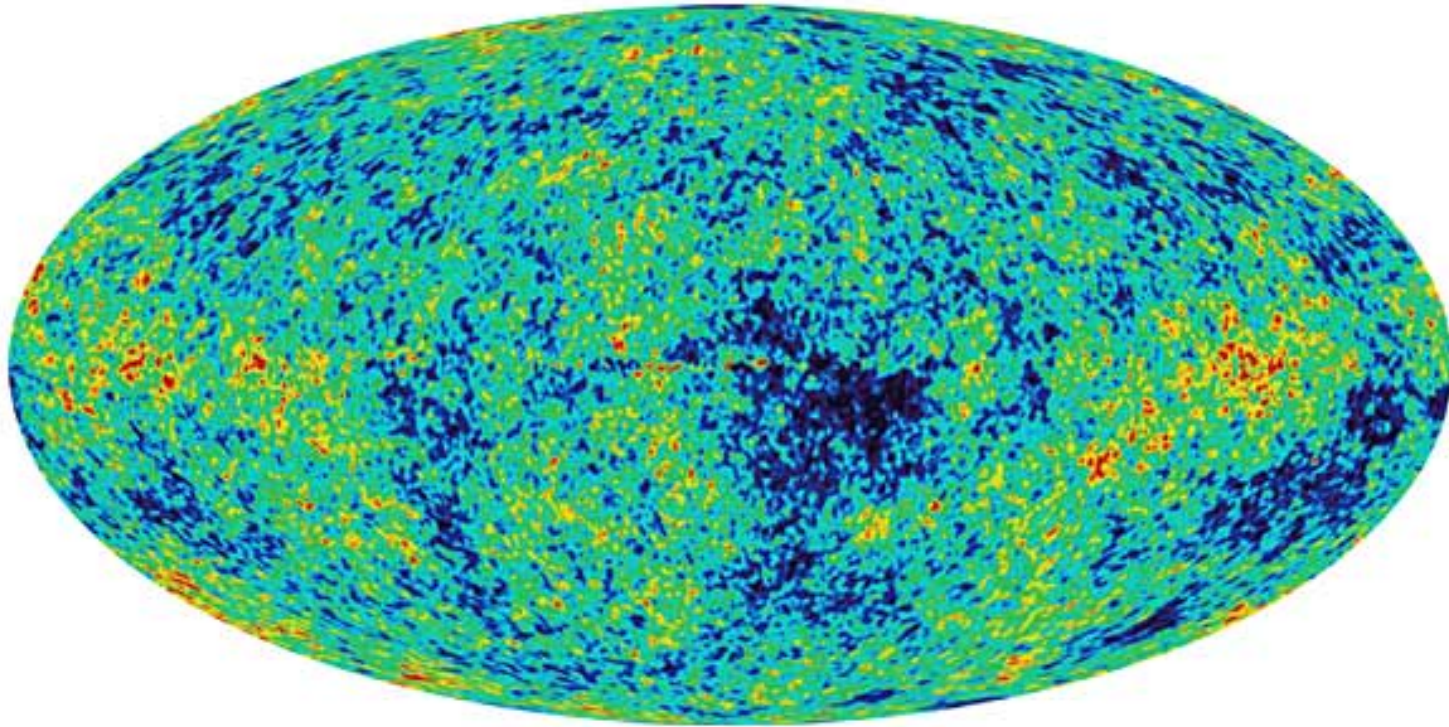


Bildung von Helium



# Die Synthese der ersten Elemente

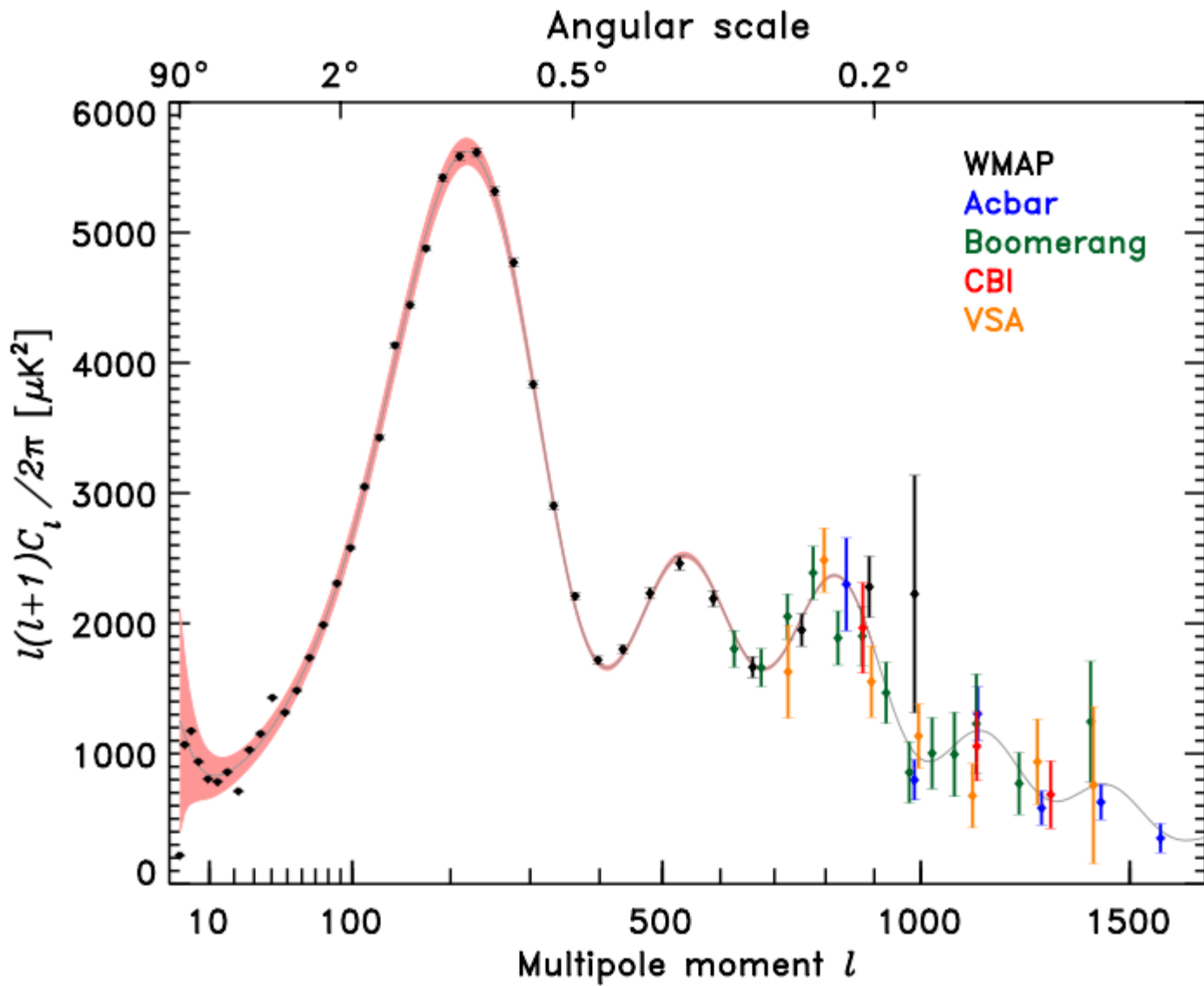




Temperaturverteilung der Mikrowellenstrahlung an den verschiedenen Orten der Himmelskugel.

Rot: wärmer, blau: kälter

Maximale Temperaturunterschiede:  $10^{-5}$  K



# Strukturbildung im Universum



Links: Räumliche Verteilung der Temperatur 400 000 Jahre nach dem Urknall, gemessen in der Mikrowellenstrahlung

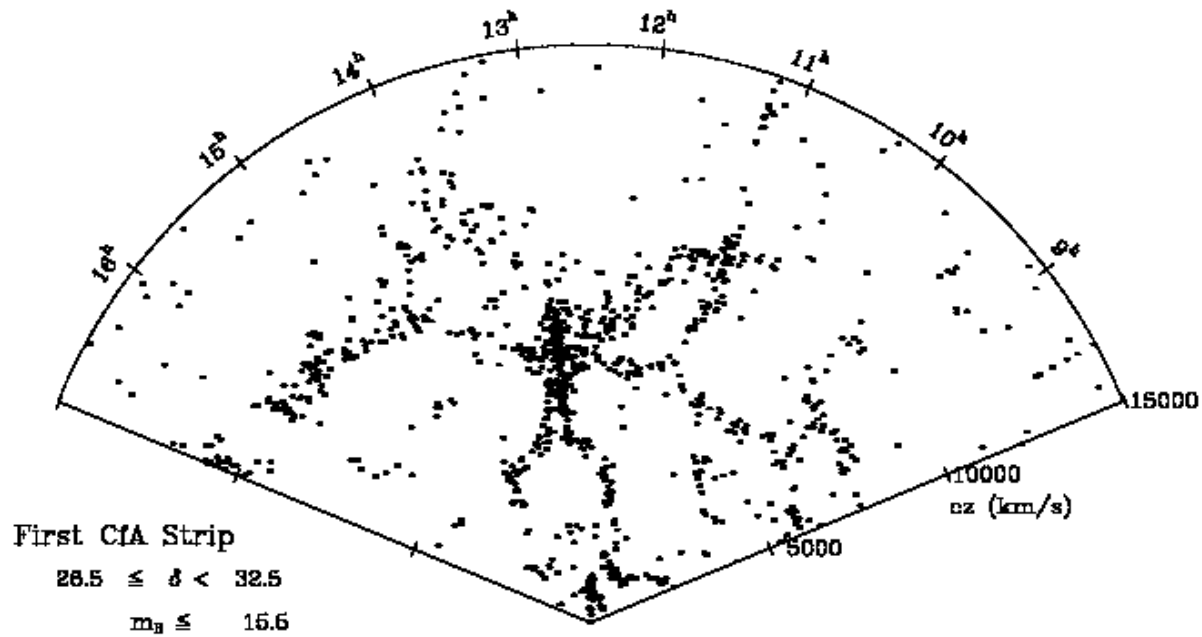
Rechts: die daraus entstandene Verteilung der Galaxien im heutigen Universum

Die mittleren Bilder zeigen berechnete Zwischenstufen.

Film zur Strukturbildung:

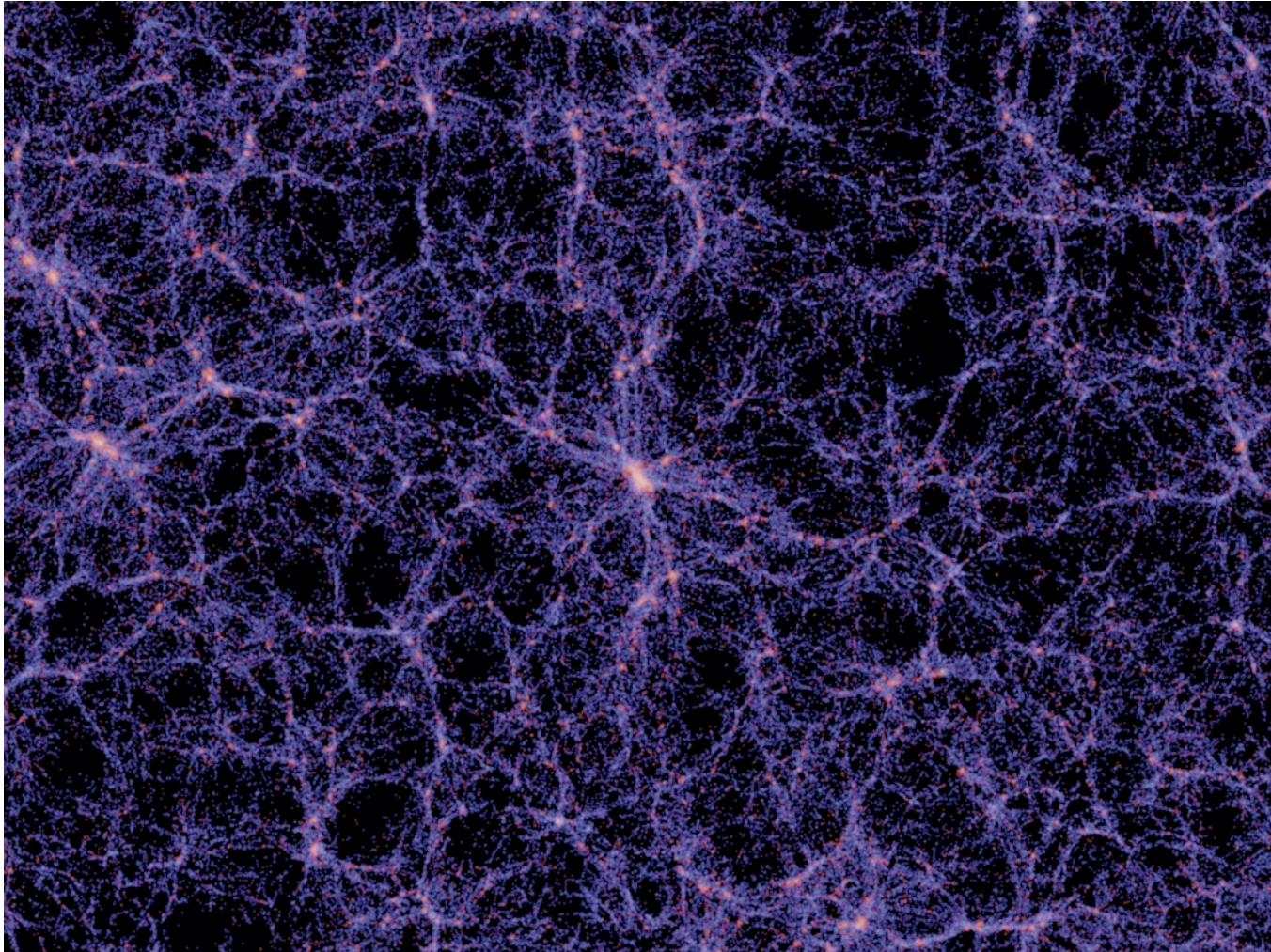
<http://cosmicweb.uchicago.edu/images/mov/>

# Die ungleichmäßige Verteilung von Galaxien im Universum (Beobachtung)





# Die ungleichmäßige Verteilung von Galaxien im Universum (Rechnung)



George Gamow (1904 – 1968)



# Der „Kalender“ des Universums

## Vergangenheit

- 1. Jan. 0:00 Uhr Urknall, Entstehung der Elemente H und He
- 1. Jan. 0:14 Uhr Entkopplung von Strahlung und Materie, erstes „Foto“ des Universums
- 5. – 13 Januar Erste Sterne und Schwarze Löcher entstehen
- 20. bis 23. Januar Älteste bekannte Galaxien und Quasare
- 1. September Entstehung der Sonne und der Erde
- 4. September Älteste Mineralien auf der Erde: Zirkon in Westaustralien
- 29. September Älteste Fossilreste: Bakterienabdrücke
- 16. – 19. Dez. „Urknall der Evolution“ (Kambrische Explosion; aller Tierarten
- 25. Dezember Säugetiere entstehen
- 29. Dezember Aussterben der Dinosaurier
- 31. Dez. 20 Uhr Erste Vorfahren des Menschen; Australopithecus
- 6 Minuten Moderner Mensch; Homo sapiens
- 4.6 Sekunden Jesus Christus
- 0,23 Sekunden Unser Leben (100 Jahre)

## Zukunft

- 9. Februar Die Erde wird zu heiß zum Leben
- 16. April Unsere Milchstraße wird vom Andromeda Nebel verschluckt
- 10. Juli Die Sonne bläht sich zu einem Roten Riesen auf
- Im weiteren Verlauf Die Lichter im Weltall erlöschen. Der Raum dehnt sich weiter aus.

# Zeitliche Entwicklung des Universums vom Urknall bis heute

