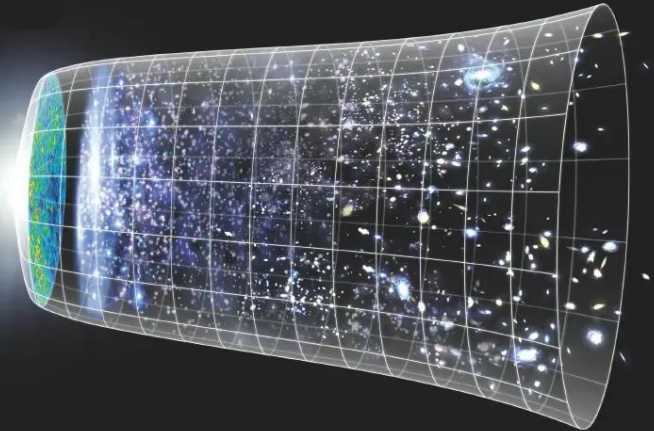


# Kosmologie

# Was ist Kosmologie?

- Κοσμολογία (Lehre von der Welt)
- Kosmos: Universum, Weltall
- Astrophysik
- Allgemeine Relativitätstheorie und Quantenphysik →?

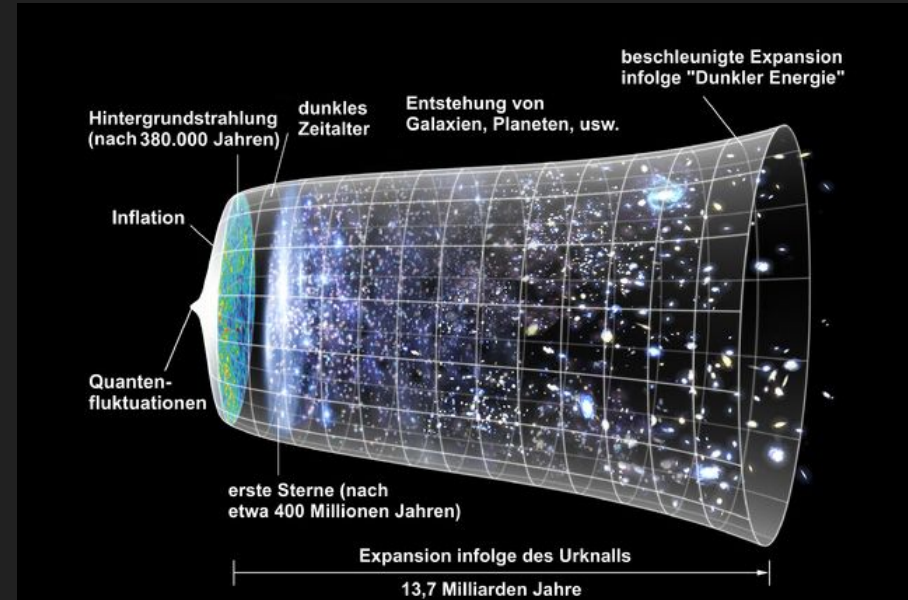




**TIMELAPSE  
OF THE  
ENTIRE UNIVERSE**

# Eine kurze Geschichte des Universums

- Urknall
- Inflation
- Hintergrundstrahlung → Strahlungs-Ära
- Dunkles Zeitalter
- Erste Sterne und Galaxien
- Heute: beschleunigte Expansion → Dunkle Energie





# Die ersten drei Minuten

**Inflation:** bis  $1E-30$  s

Expansion um  $1E30$  -  $1E50$

→ 1 Mio \* 1 Mio \* 1 Mio \* 1 Mio \* 1 Mio

“Urkraft” spaltet sich in Gravitation und GUT-Kraft (Grand Unified Theory)

Starke Kernkraft (Bindung zwischen Quarks in Hadronen)

Schwache Kernkraft (wirkt vor allem bei Zerfällen und Umwandlungen)

Elektromagnetische Kraft

Grossräumige Strukturen haben hier ihren Ursprung

# Die ersten drei Minuten

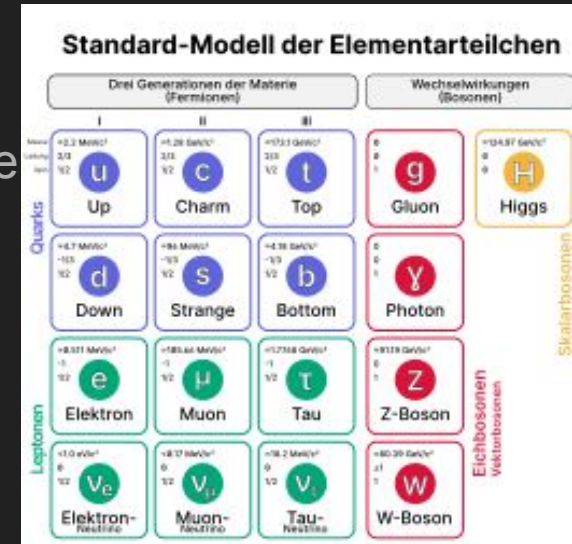
**Quark-Ära:** bis 0.0000001 s; Quarks, Leptonen und Photonen entstehen

**Hadron-Ära:** bis 0.0001 s; (Anti-)Protonen, (Anti-)Neutronen entstehen

**Lepton-Ära:** bis 10 s; Myonen zerfallen, Elektronen und Positronen annihilieren

Temperatur:  $1E9 \text{ K} = 1000000000 \text{ K}$

**Primordiale Nukleosynthese:** bis 3 min; H, He, (Li) entstehen



# Strahlungs-Ära

Universum undurchsichtig, zu dicht und heiss

300'000 Jahre

Erste Bereiche werden durchsichtig

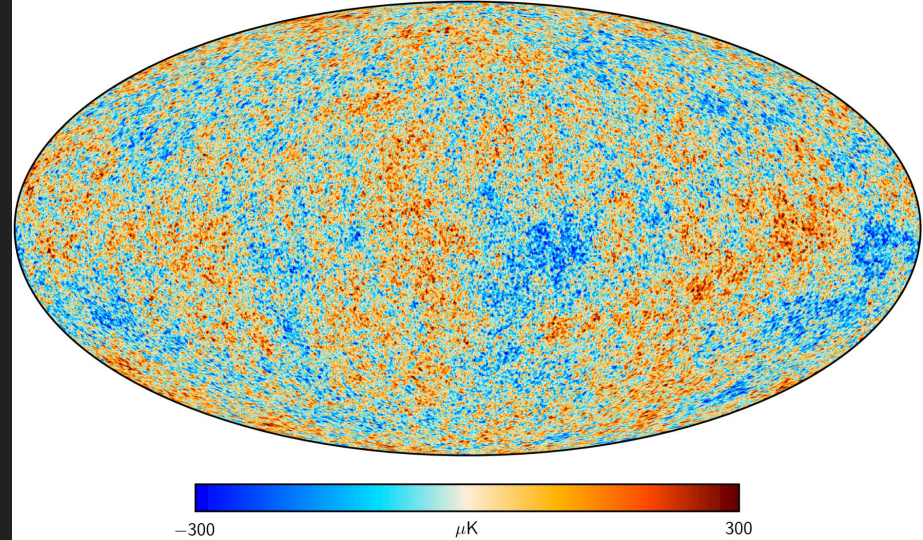
Protonen und Elektronen finden sich  $\rightarrow$  H

Universum ist durchsichtig

380'000 Jahre

Hintergrundstrahlung (4000 K  $\rightarrow$  2.725 K)

Gravitation dominiert ab jetzt





# Dunkles Zeitalter bis jetzt

Universum ist transparent

Noch keine Lichtquellen

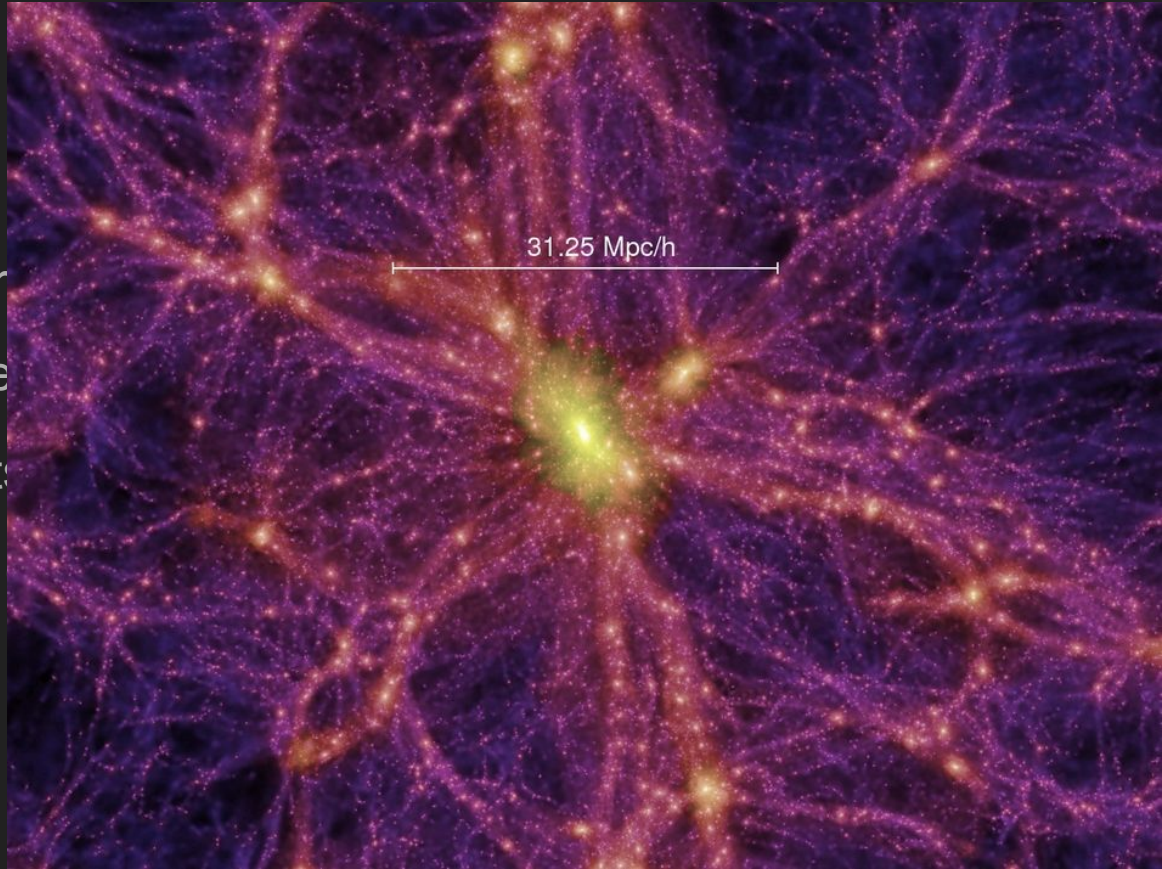
100 Mio Jahre: erste Sterne (je

Massen klumpen sich immer me

200 Mio Jahre: Milchstrasse ent

9.23 Mrd Jahre: Sonnensystem

13.8 Mrd Jahre: jetzt



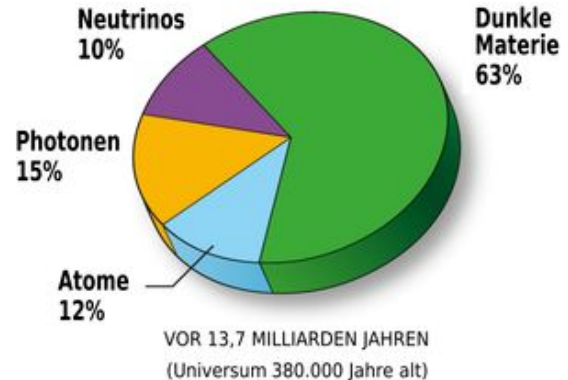
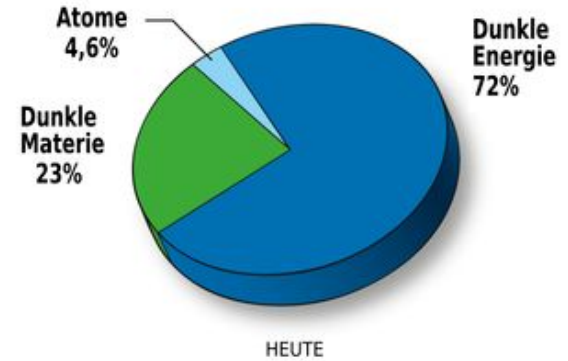
# Dunkle Materie

## Theorien:

- WIMPs (weakly interacting massive particles) → ?
- (“Sterile”) Neutrinos → physikalische Probleme
- HYPER (highly interactive particle relics) → ?
- Kaltes Gas → kann sich erwärmen
- Kalte Staubwolken → kann Sternenlicht reemittieren
- MACHOs (massive astrophysical compact halo object), braune Zwerge, rogue planets, ...  
→ zu wenig

Kombination von vielem

Alternative Theorien mit anderer Gravitation



# Dunkle Energie

Beschleunigte Expansion

Umkehrpunkt vor ~ 6.1 Mrd Jahren

Theorien:

- Vakuumenergie des Raumes
- Skalarfeld "Quintessenz"
- GEODEs (generic objects of dark energy)

Zusammenhang mit der Inflation?

