

Urknall, Dunkle Materie, Kosmologie



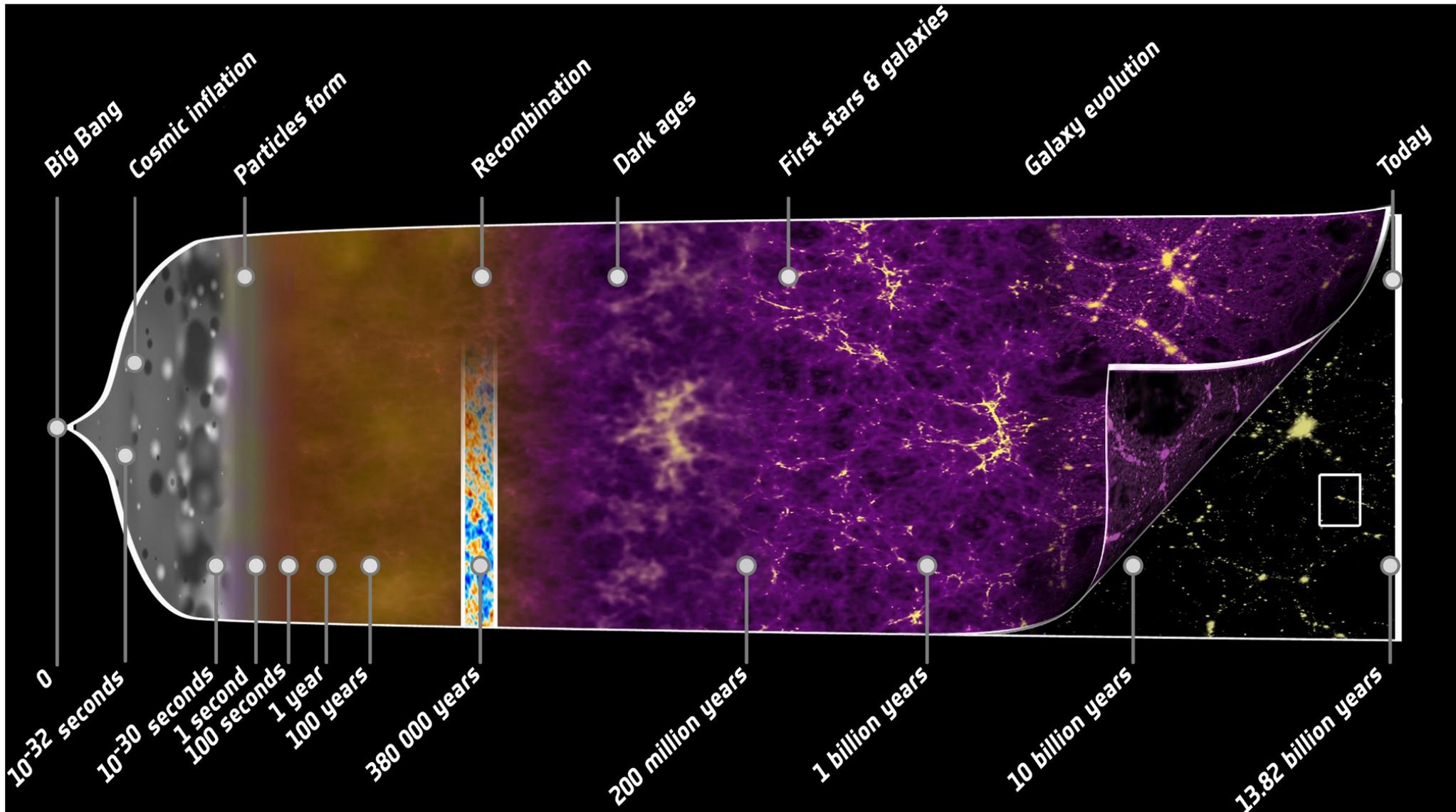
ALICE Masterclass, 02.03.2021

Dr. Carsten Litzke, Universität Heidelberg,
Institut für Theoretische Physik

Geschichte des Universums



UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386



Standardkerzen – Cepheiden 1912

ITP



UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386



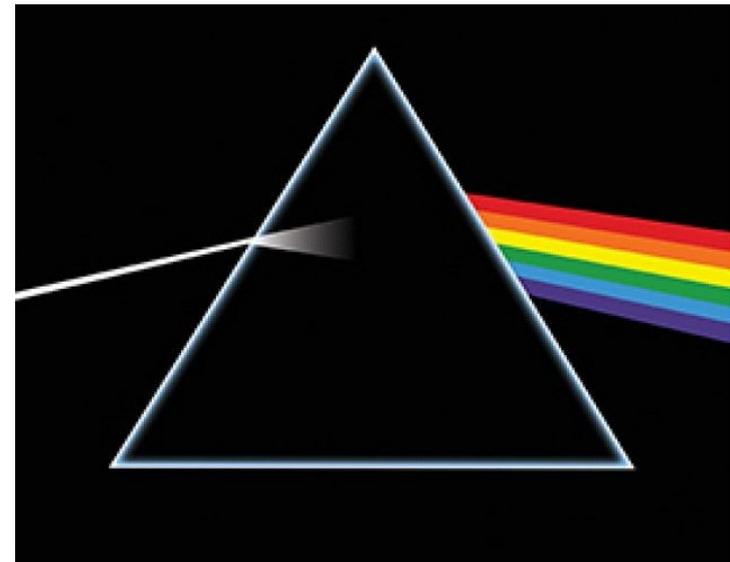
Henrietta Swan Leavitt



Spektroskopie – Fraunhofer Linien



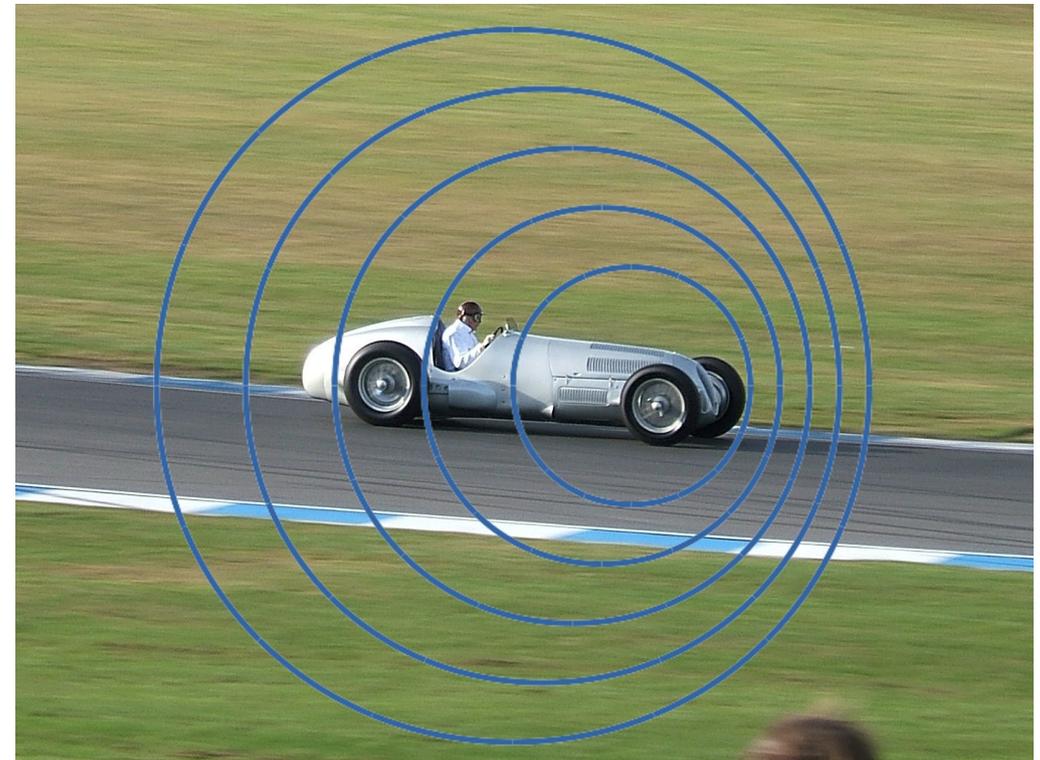
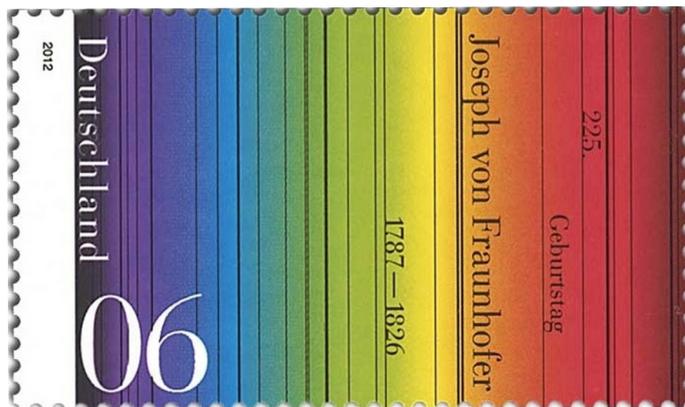
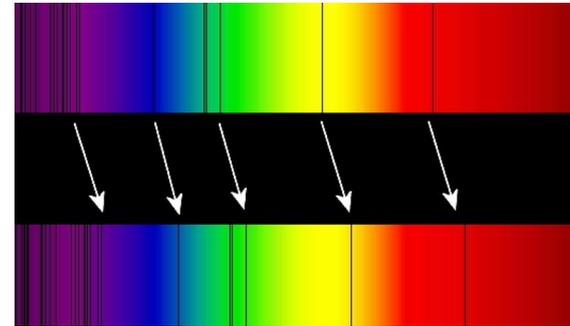
UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386



Spektroskopie – Doppler-Effekt & Rotverschiebung



UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386

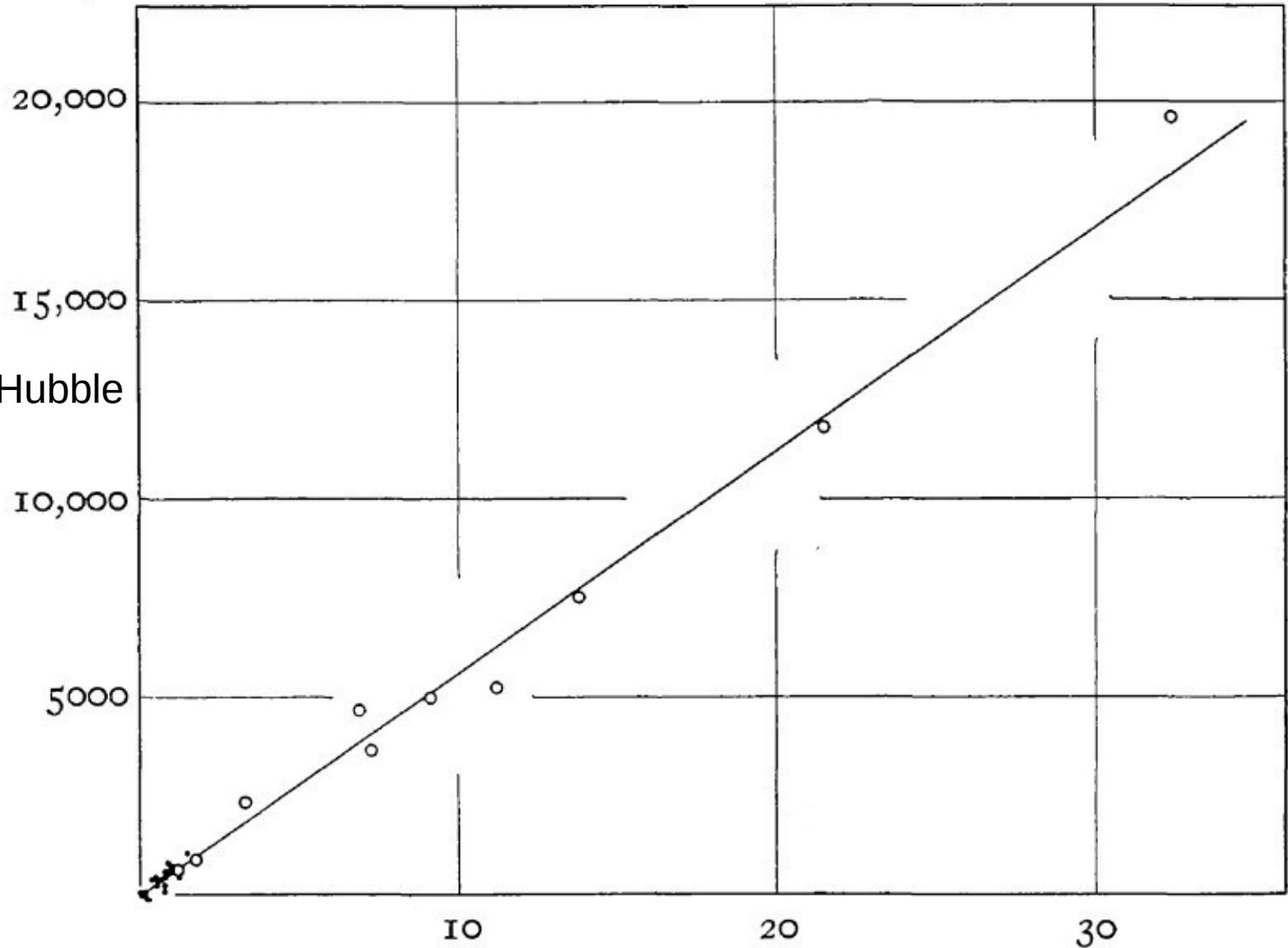


Das Universum bis 1931



Edwin Hubble

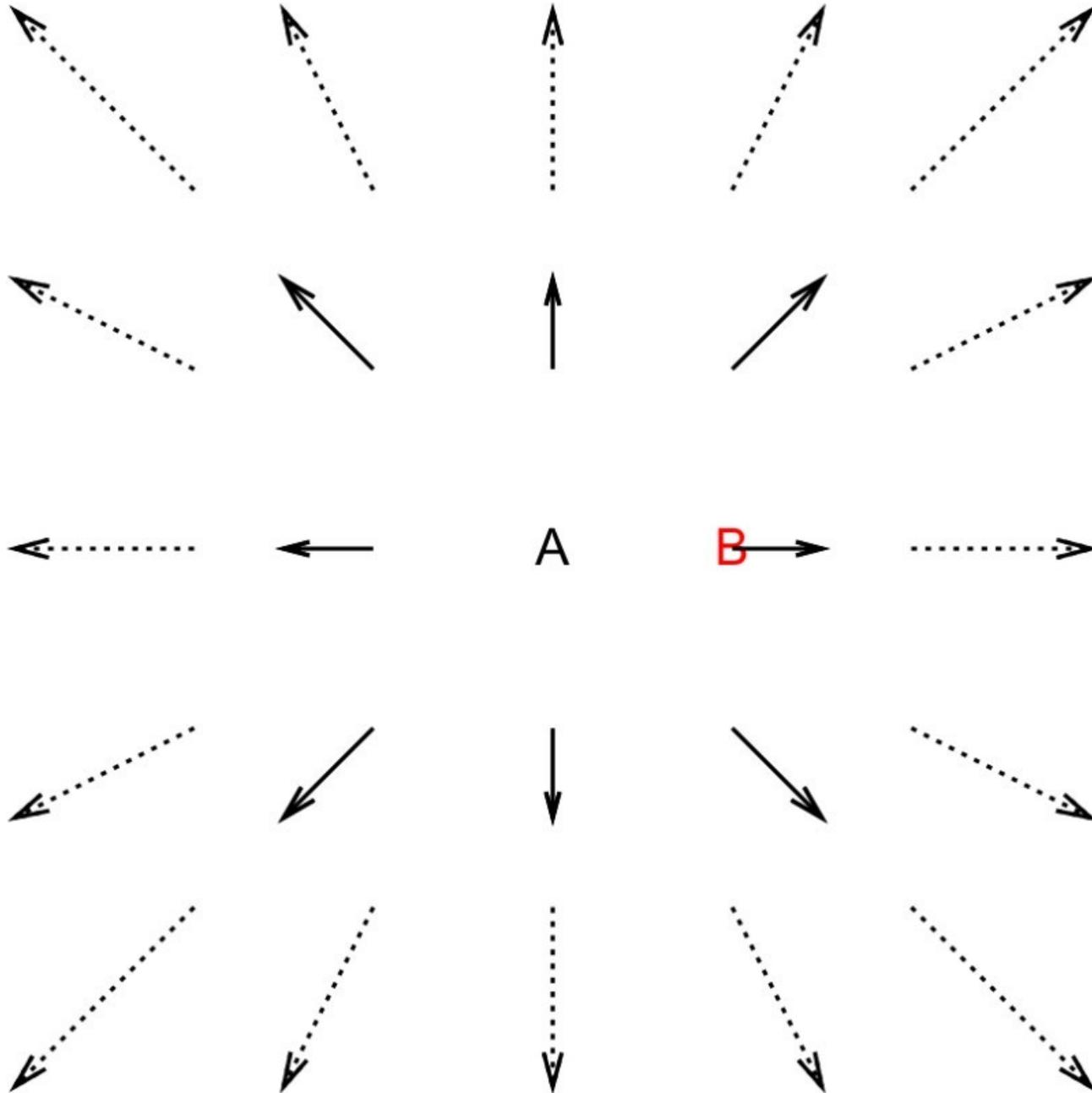
Velocity
in km/sec.



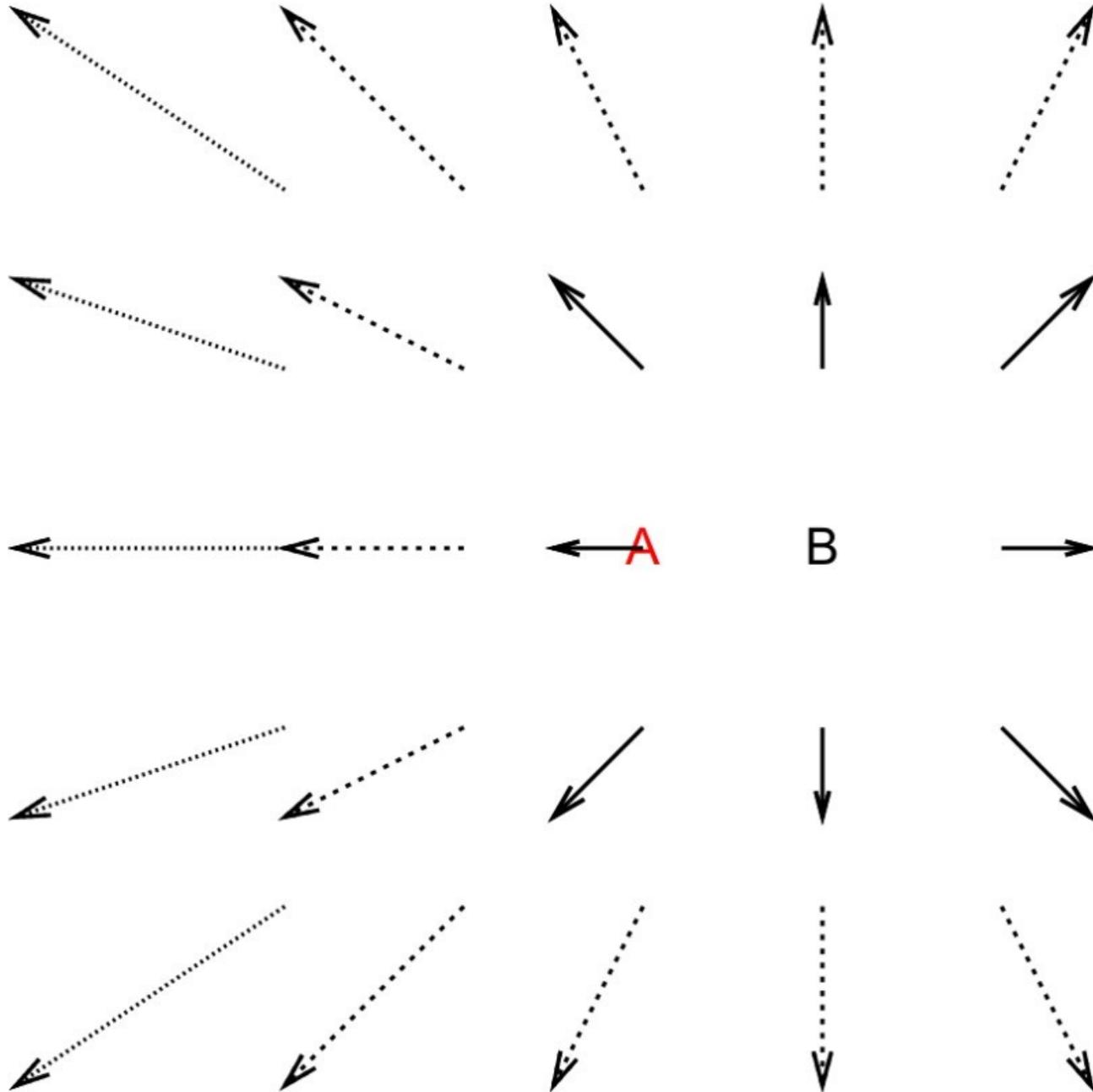
Vesto Slipher

Distance in millions of parsecs

Ausdehnung des Universums



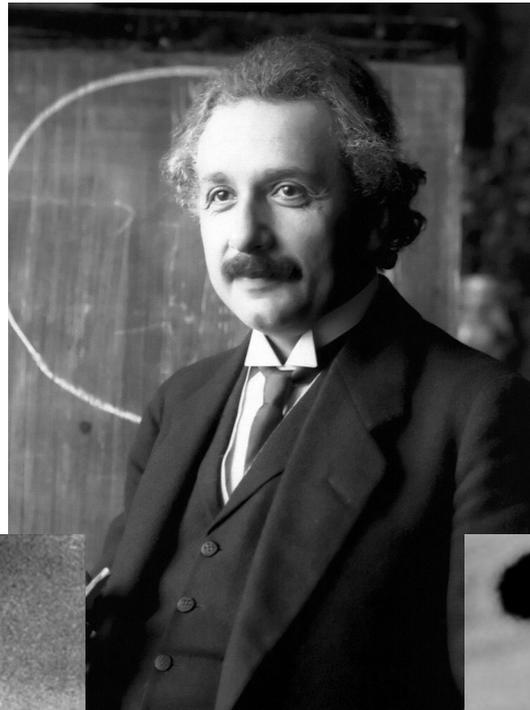
Ausdehnung des Universums



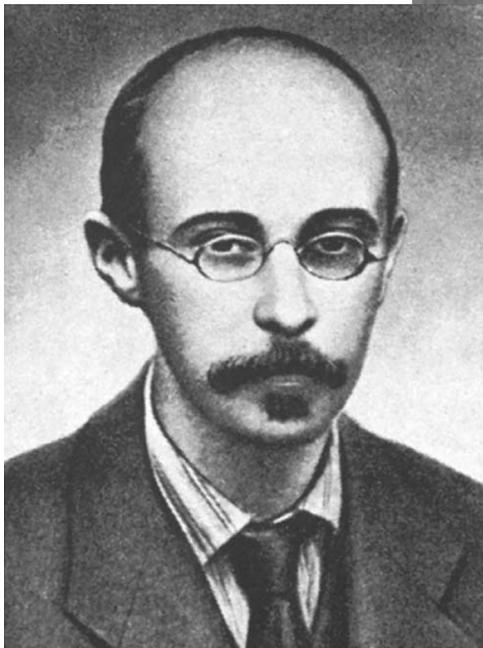
Ein Modell des Universums



UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386



Albert Einstein



Alexander
Friedmann

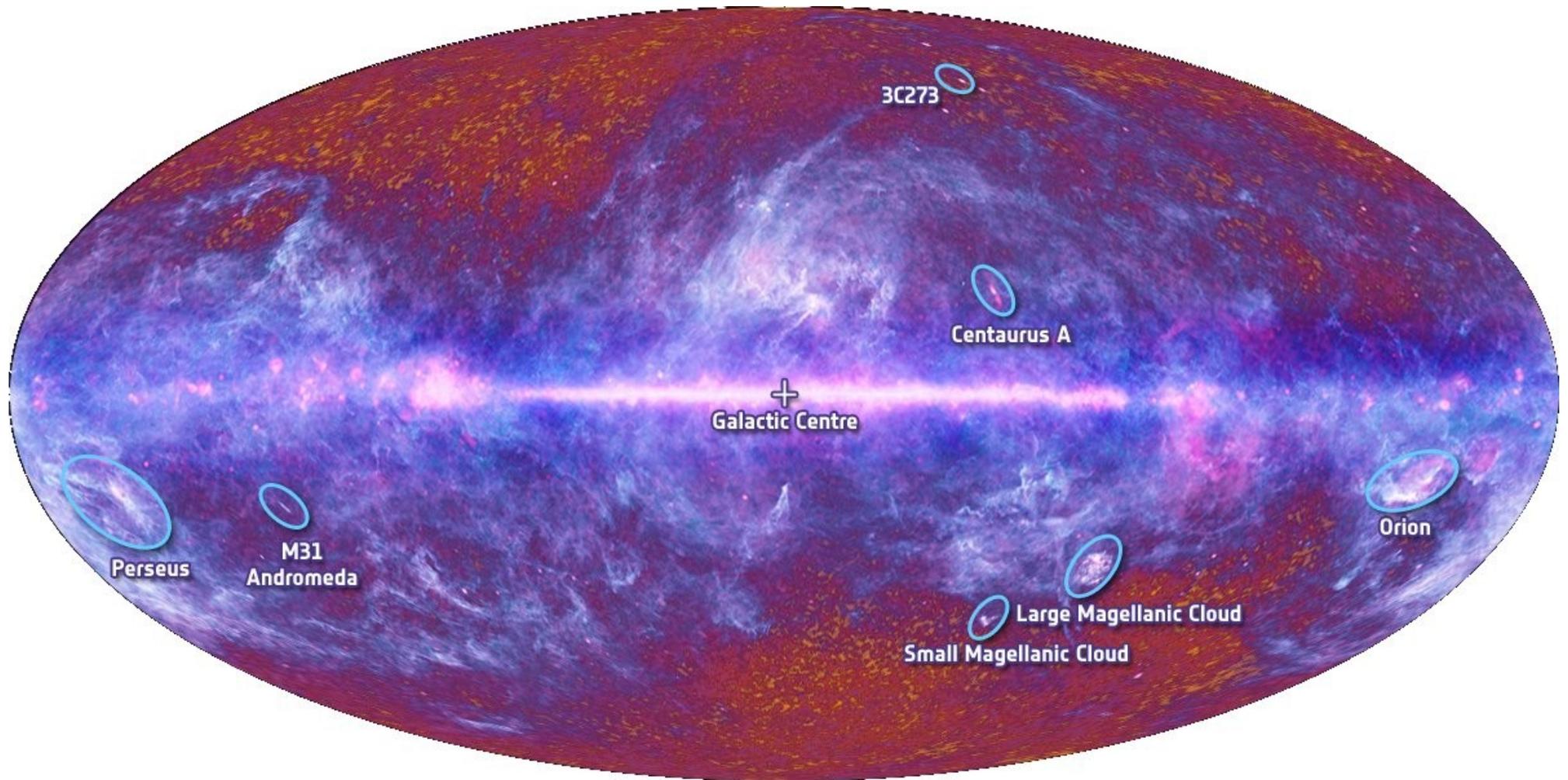


Georges
Lemaitre

Das Universum



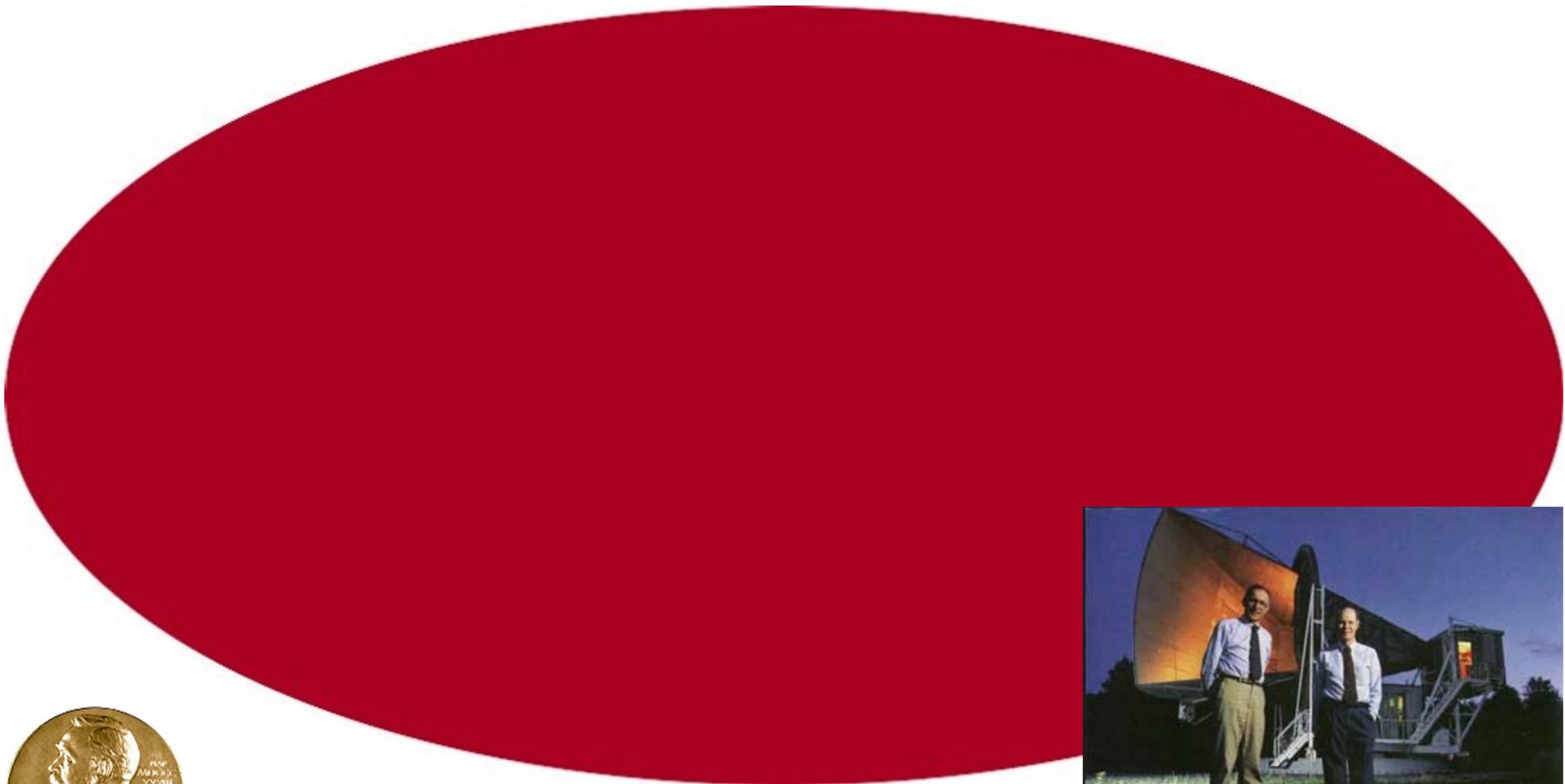
UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386



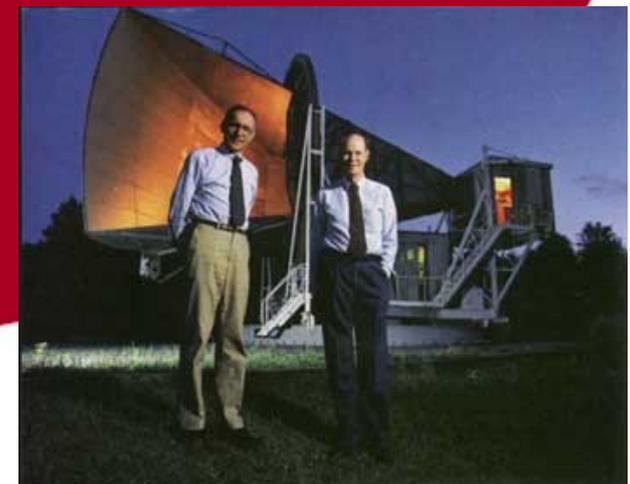
Restwärme: kosmische Mikrowellen



UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386



Arno Penzias und Robert Woodrow Wilson

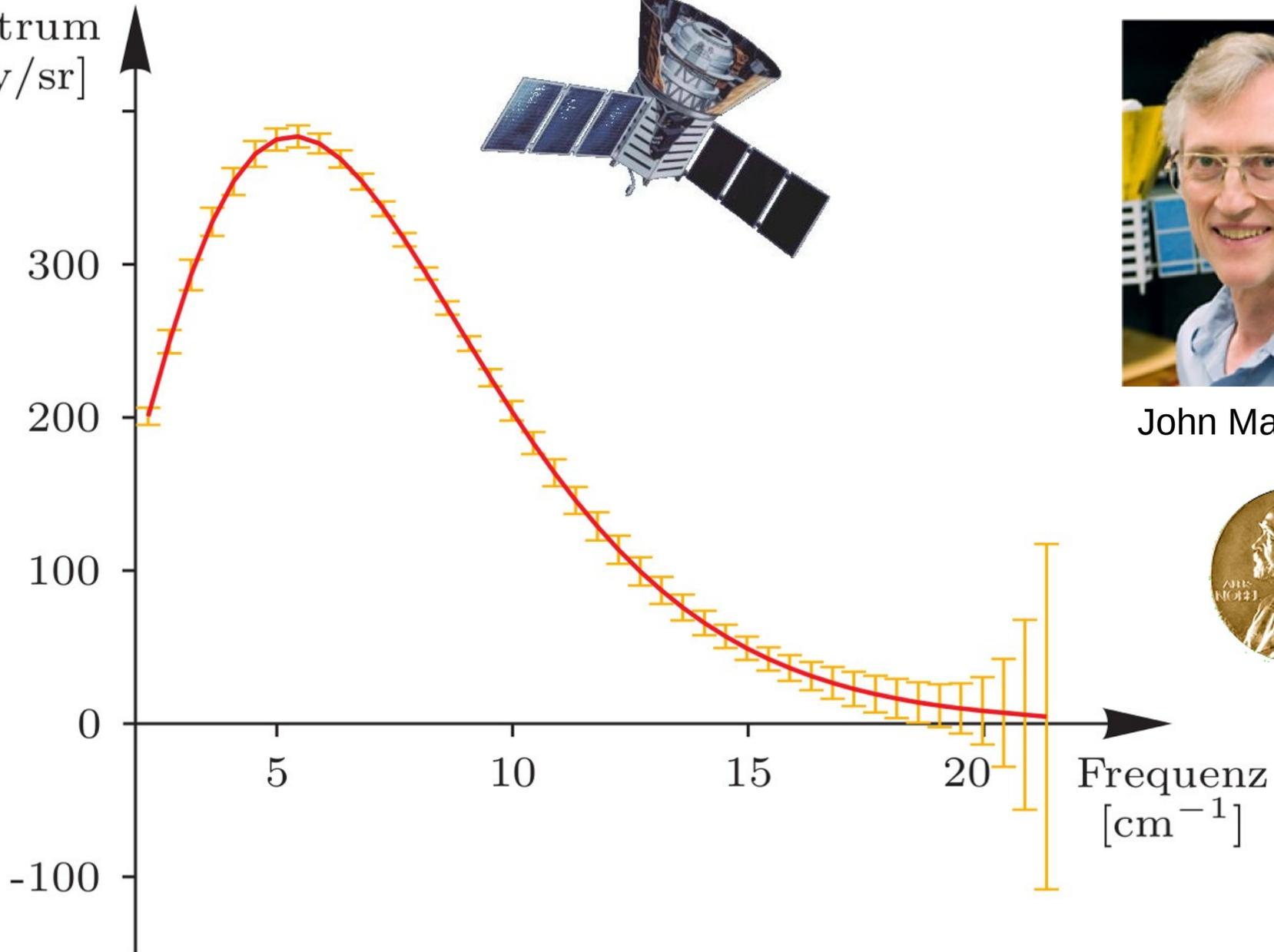


Wärmestrahlung?



UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386

CMB-
Spektrum
[MJy/sr]



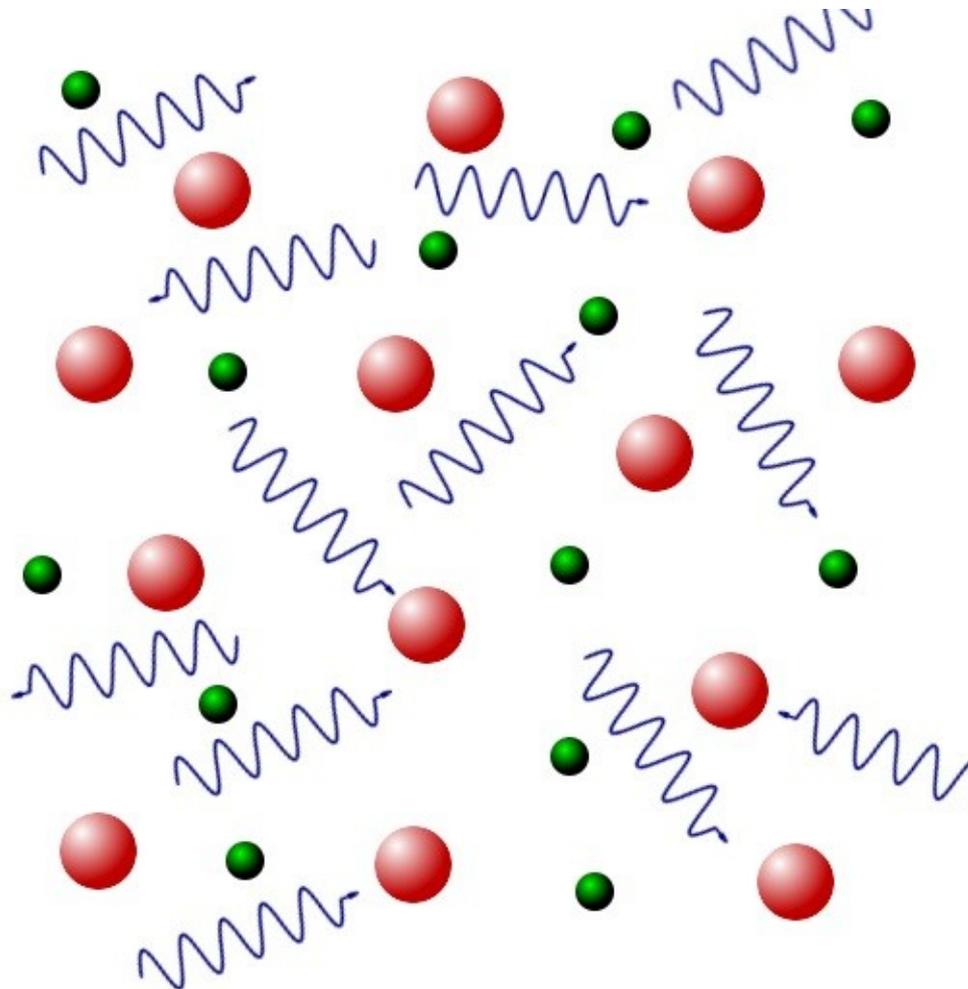
John Mather



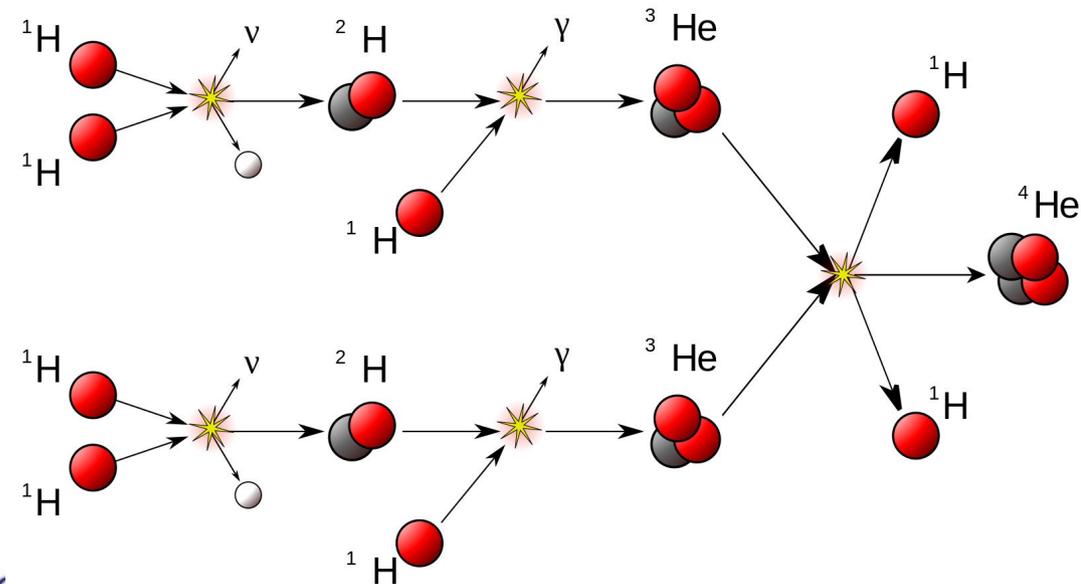
Was folgt aus der Expansion?



Wenn das Universum früher kleiner war, dann sollte auch die Temperatur größer gewesen sein.



Freie Ladungsträger schränken die Bewegung von Licht ein. Das Universum ist "undurchsichtig"

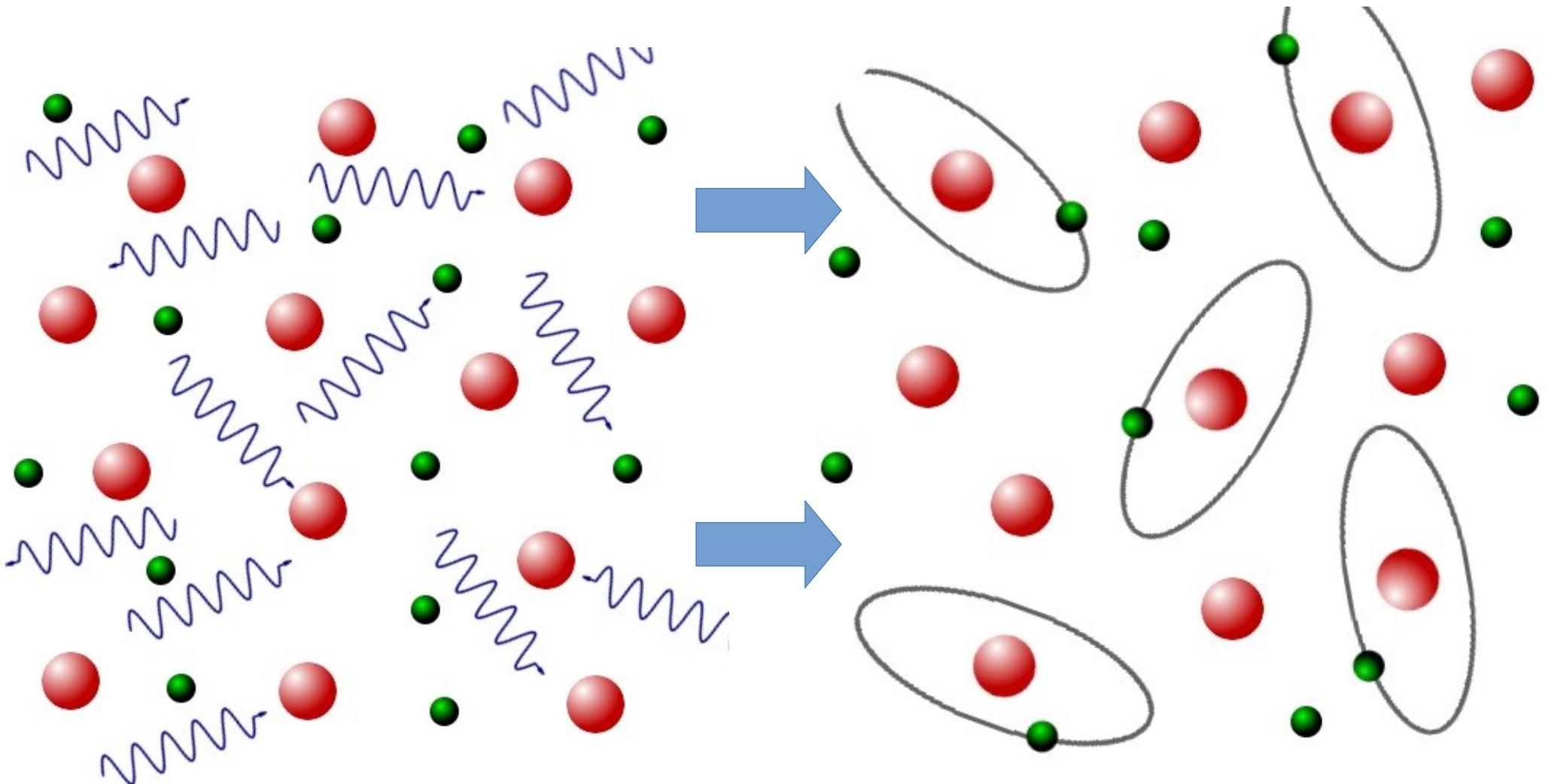


Als das Unviersum 2-3 Minuten alt war, war es heiß genug, um Wasserstoff in Helium umzuwandeln – ähnlich wie Sterne Fusion betreiben.

Nukleosynthese – Rekombination



UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386



Wenn das Universum sich weiter ausdehnt, wird es kalt genug, sodass Elektronen und Protonen zu Wasserstoff-Atomen kombinieren. Dadurch gibt es deutlich weniger freie Ladungsträger und das Universum wird “durchsichtig”. Die freie Strahlung ist der kosmische Mikrowellenhintergrund.

Spuren in den kosmischen Mikrowellen



UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386

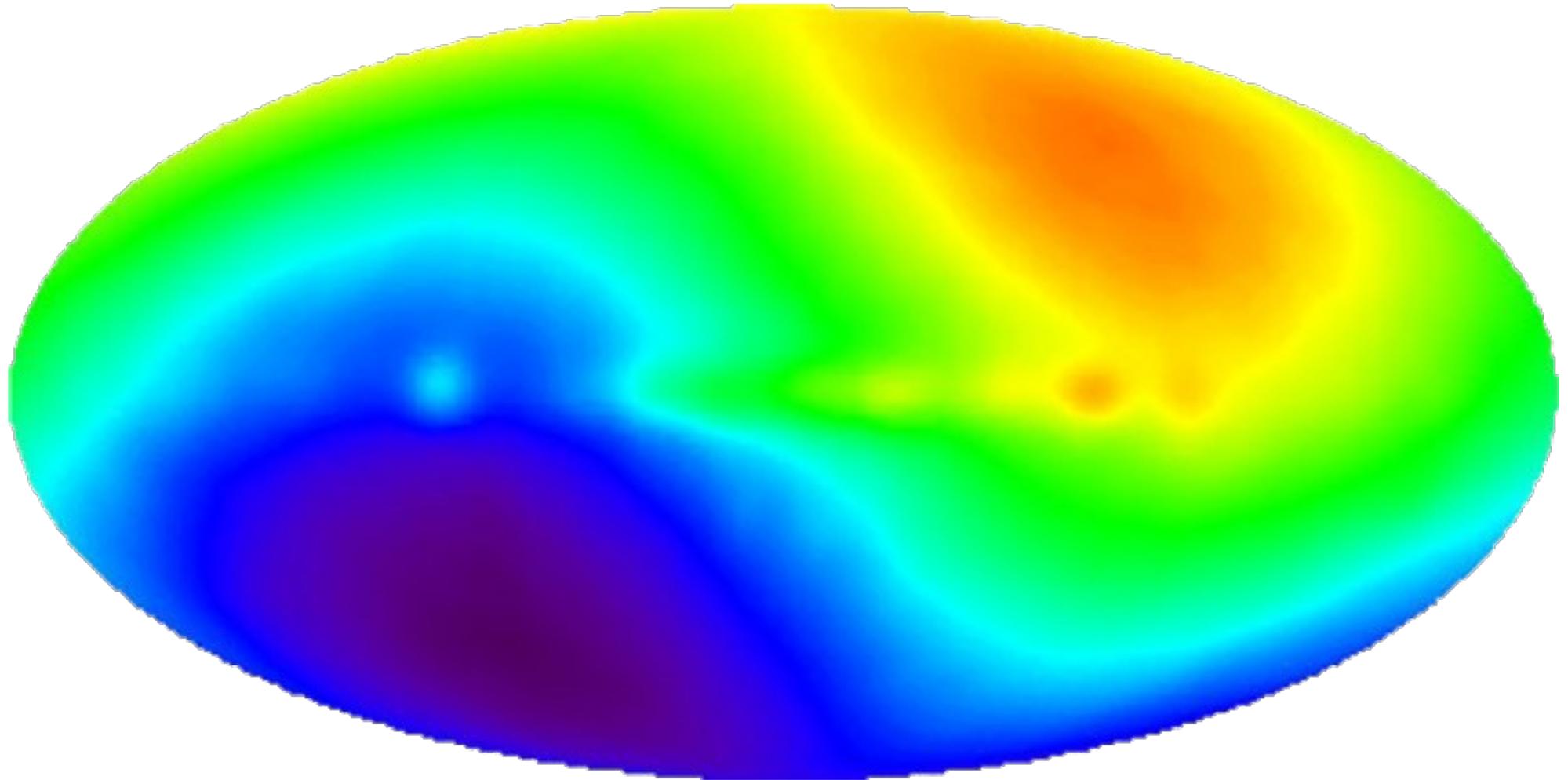


Spuren in den kosmischen Mikrowellen

Dipol wegen der Bewegung unserer Galaxie



UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386

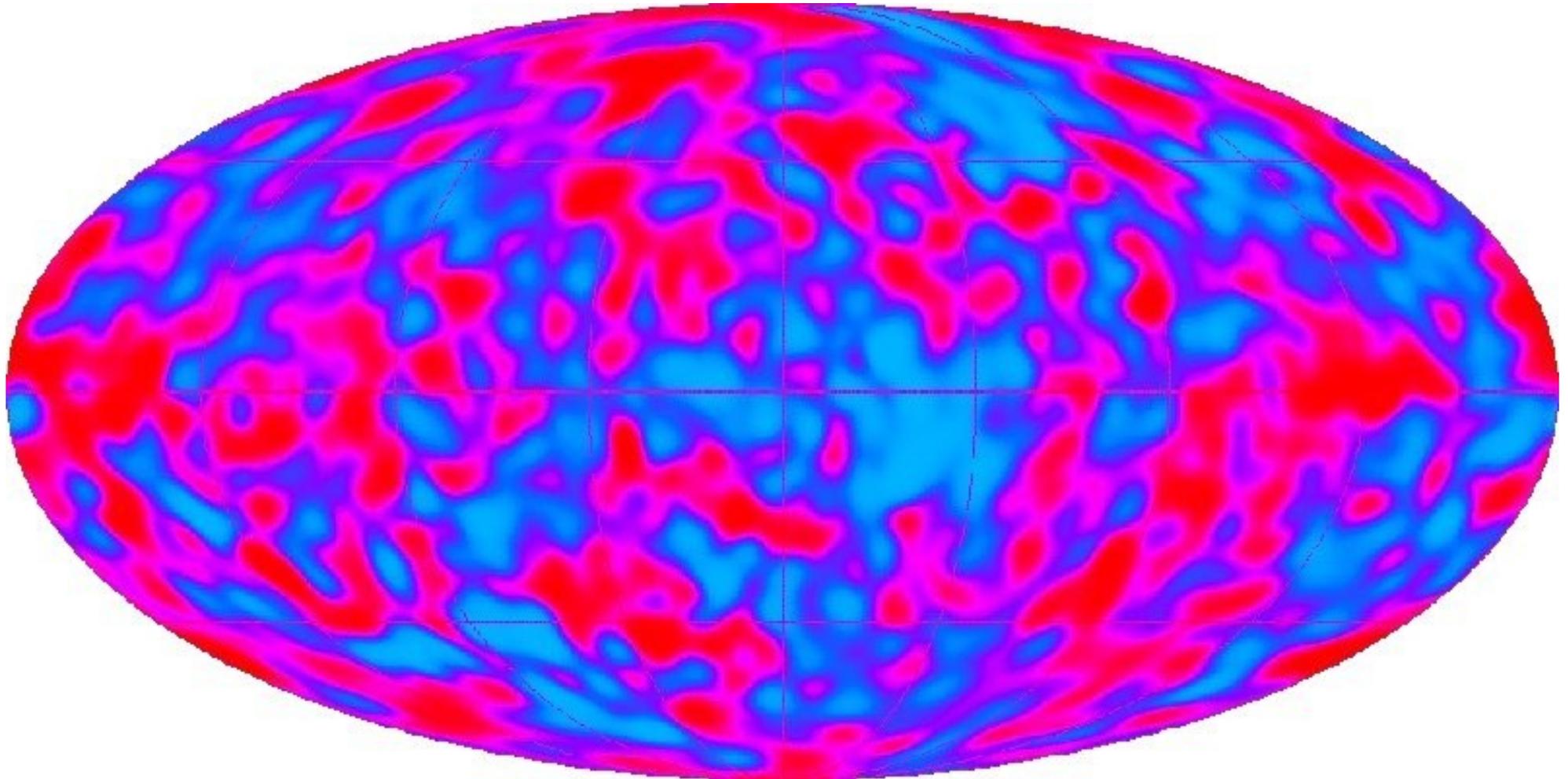


Spuren in den kosmischen Mikrowellen



UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386

COBE Satellit

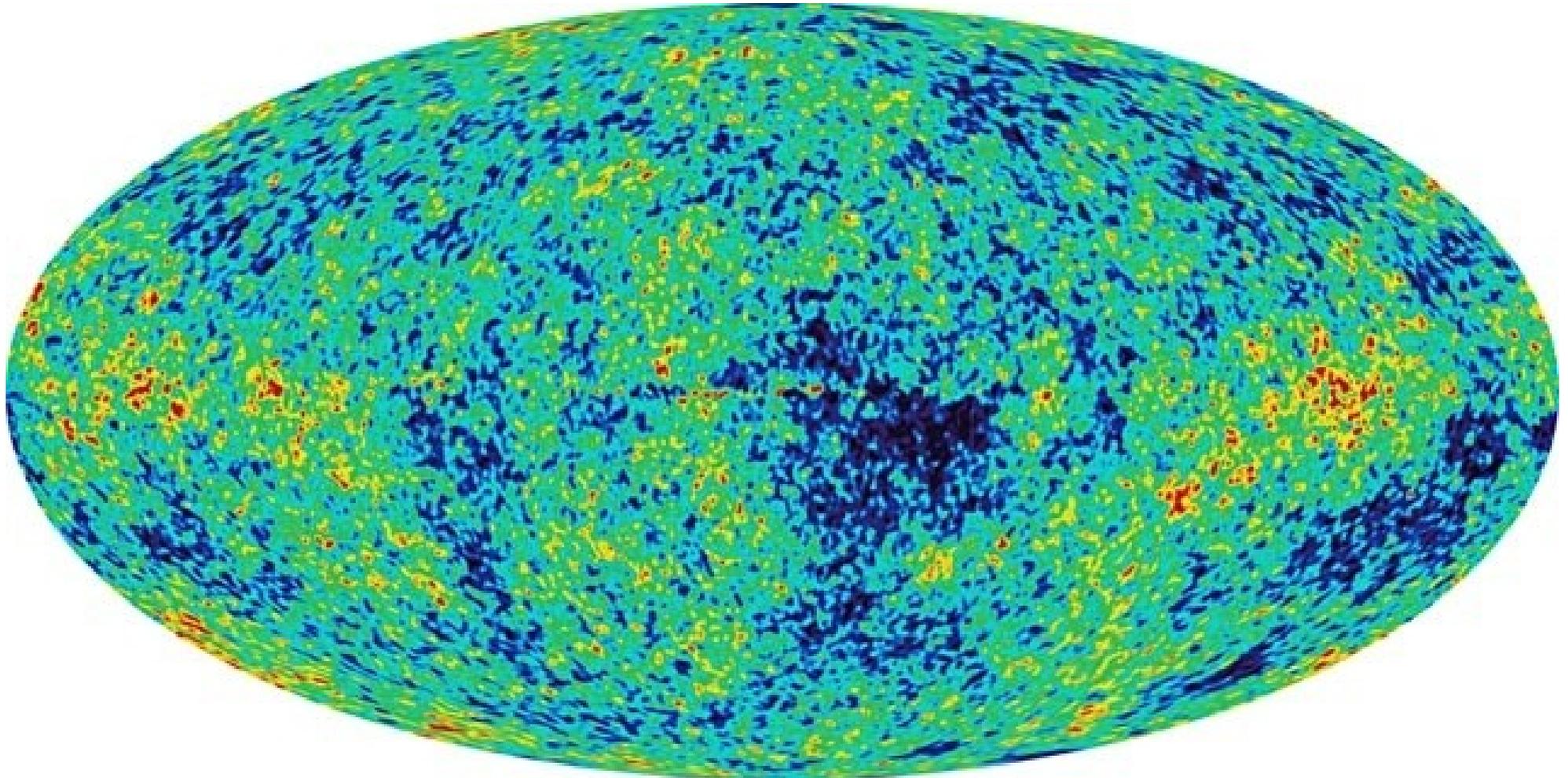


Spuren in den kosmischen Mikrowellen



UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386

WMAP Satellit

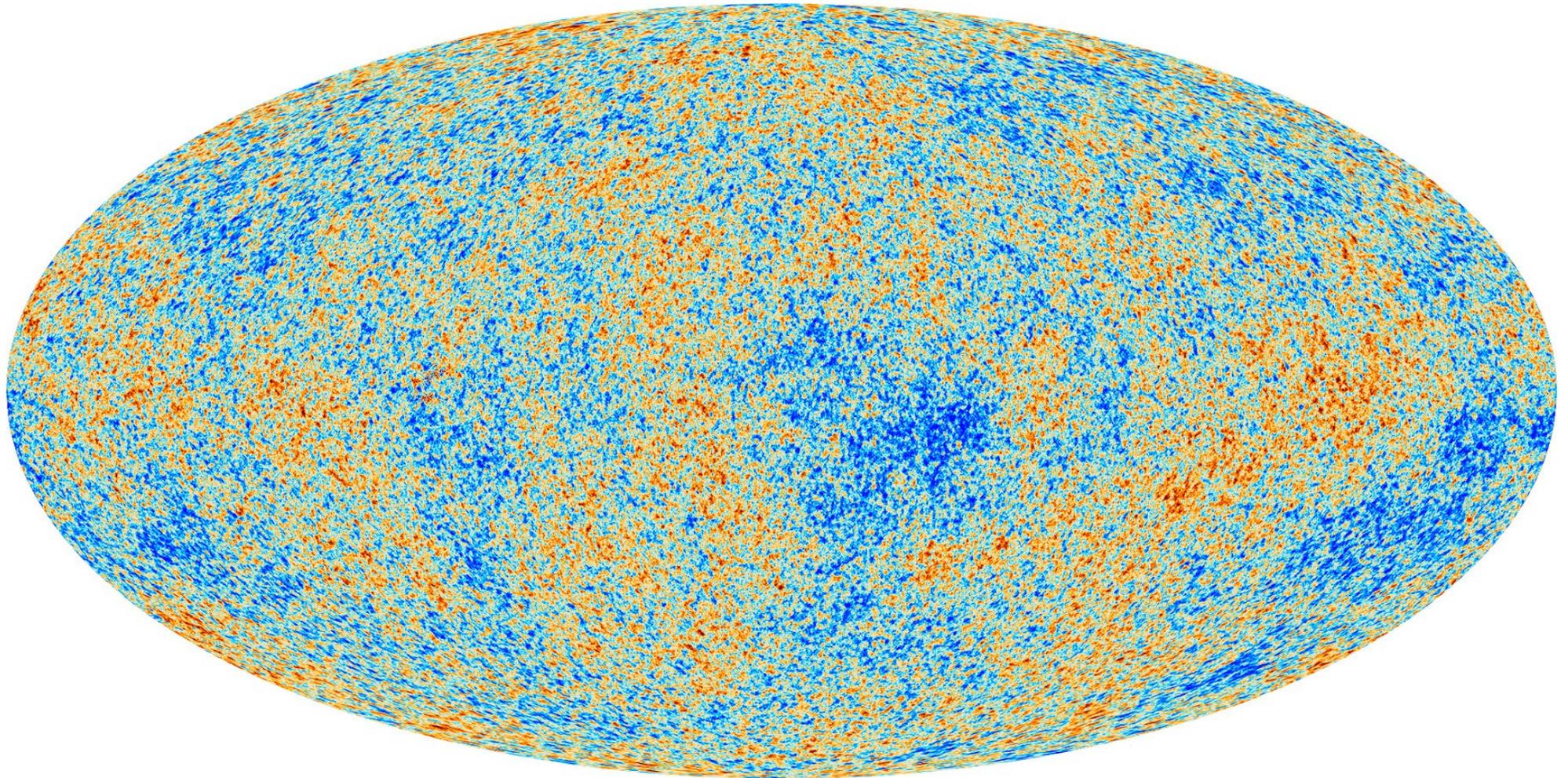


Spuren in den kosmischen Mikrowellen



UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386

Planck Satellit

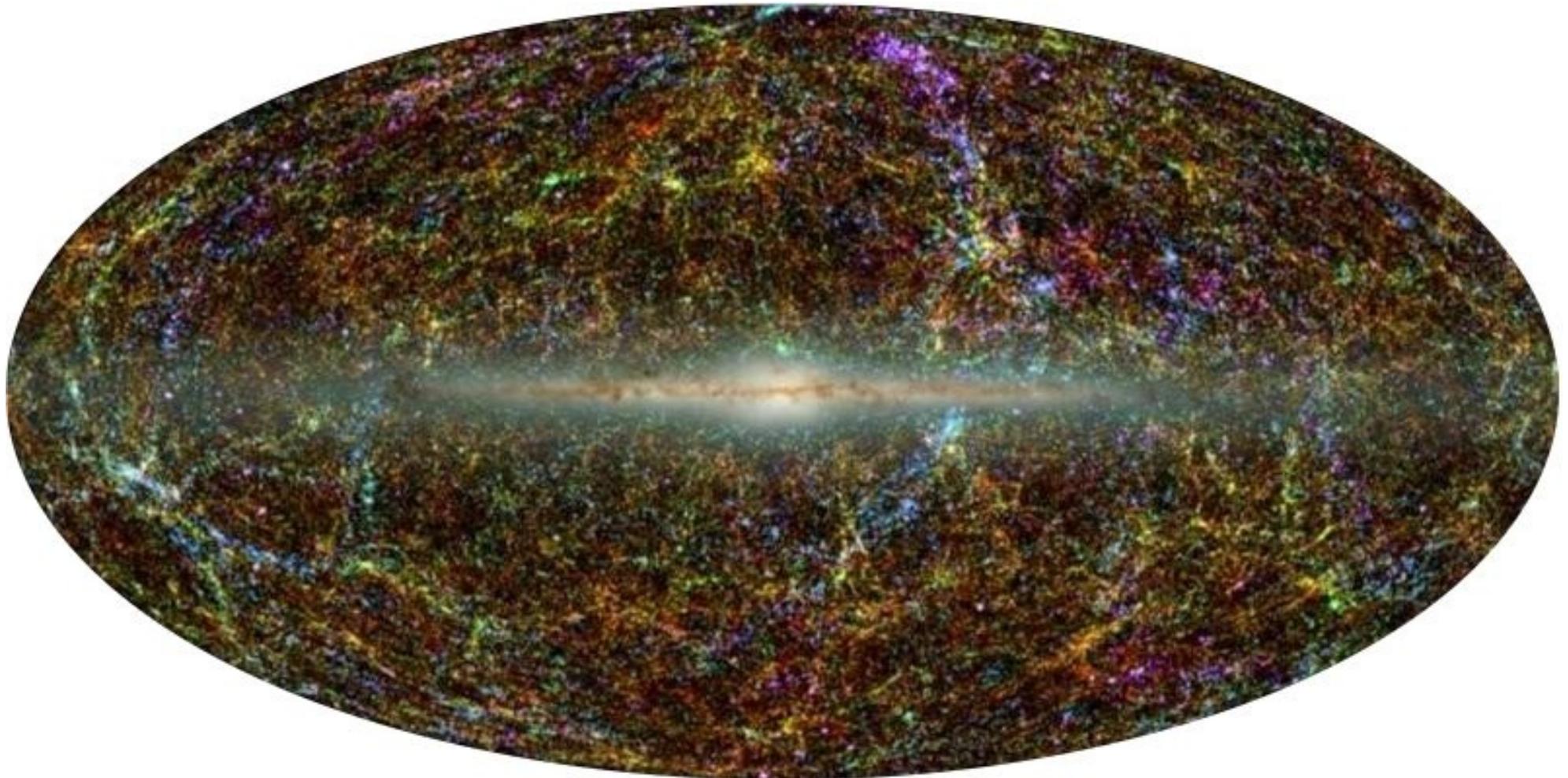


Strukturen im Universum



UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386

2mass – 2 micron all sky survey

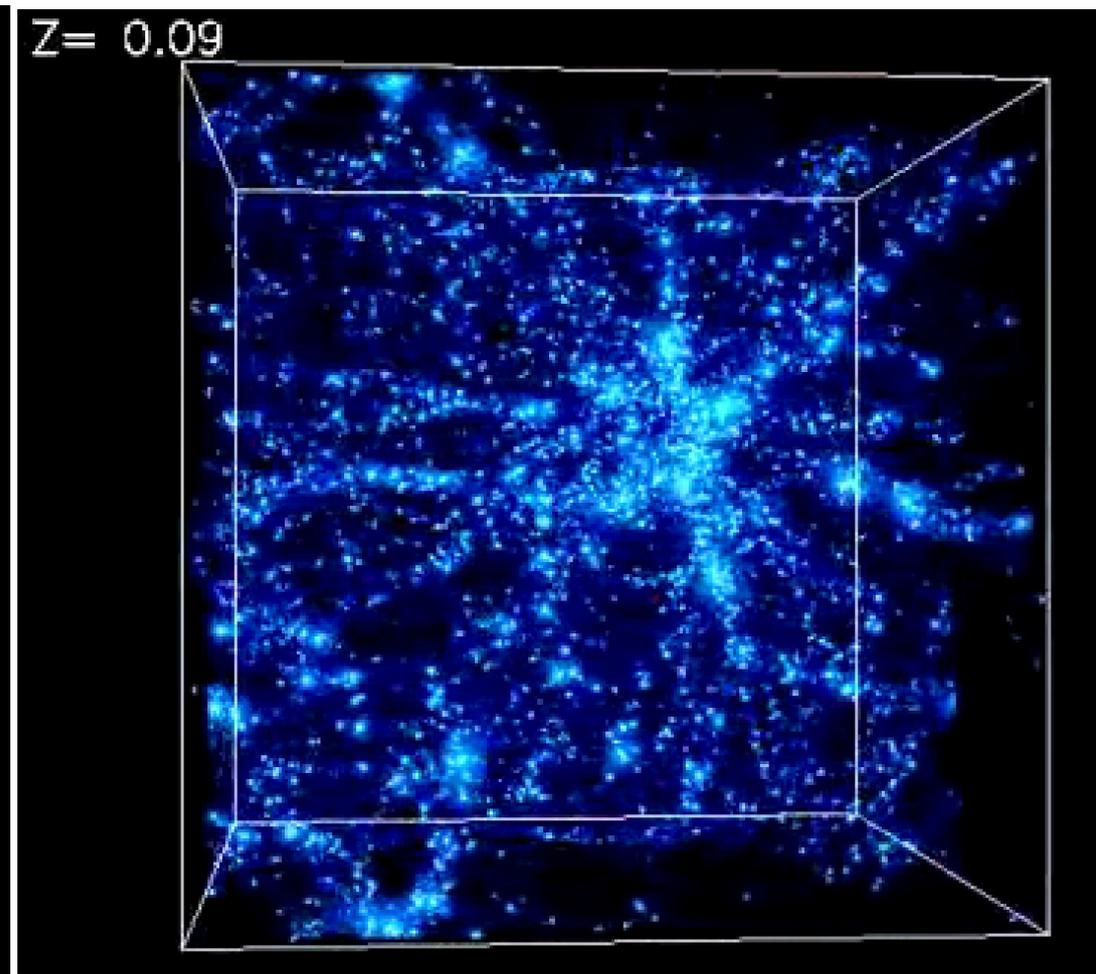
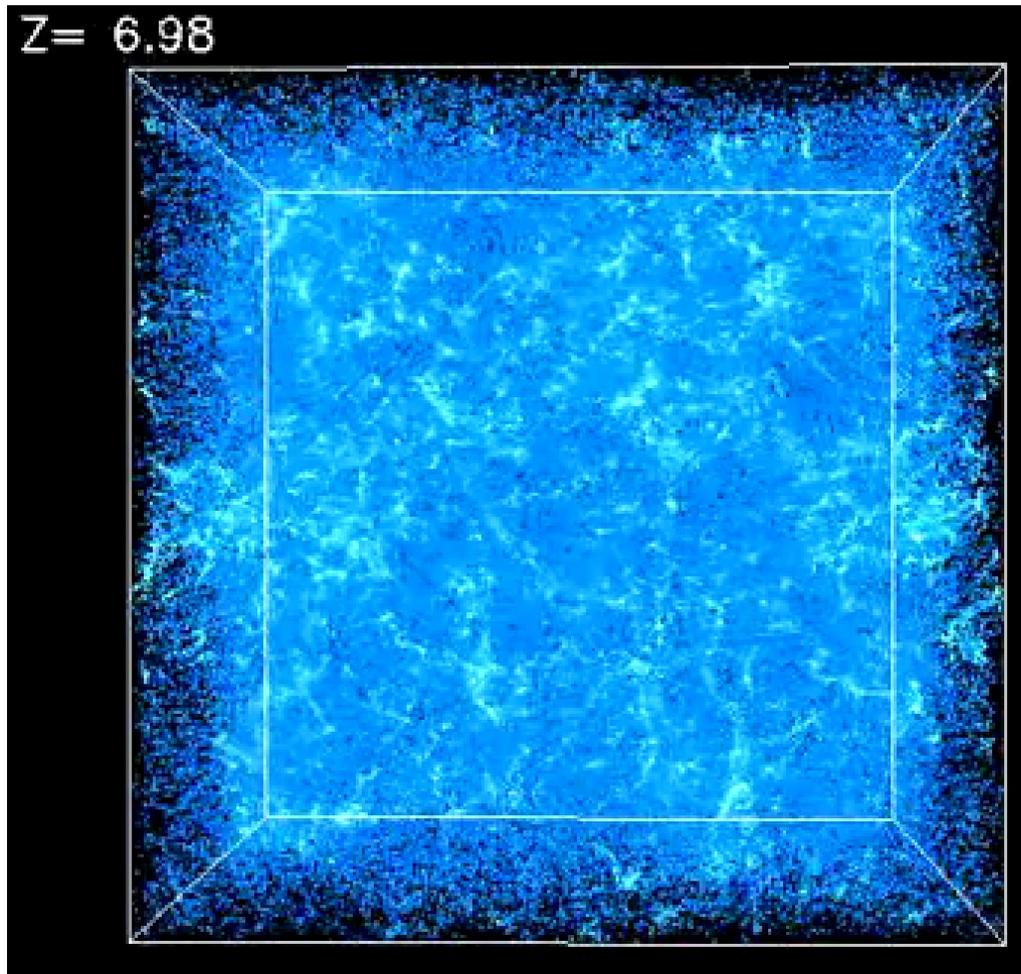


Strukturen im Universum



UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386

University of Chicago: https://www.youtube.com/watch?v=8C_dnP2fvxk



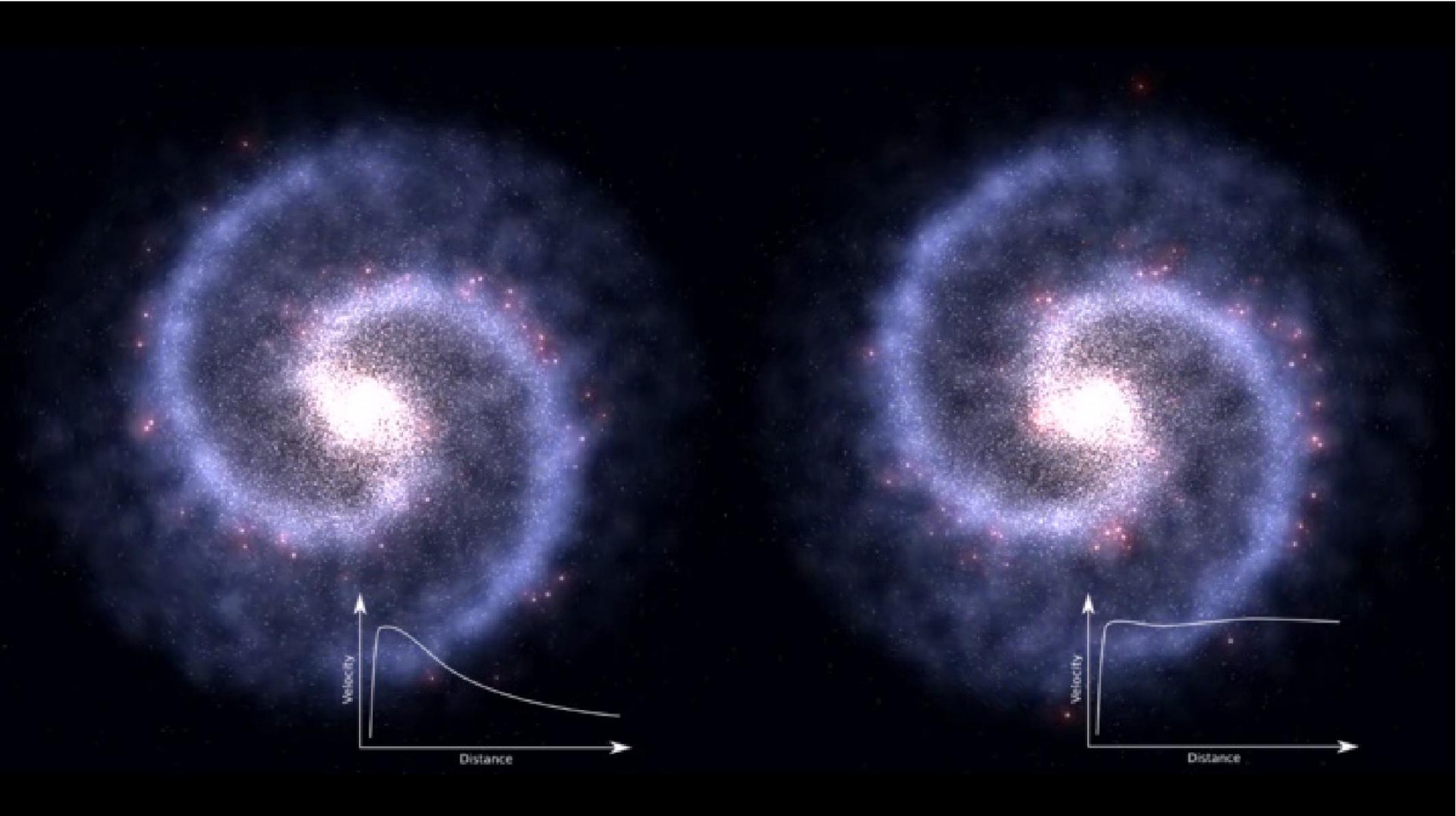
Aquarius Simulation: <https://www.youtube.com/watch?v=2qeT4DkEX-w>

Rotationskurven



UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386

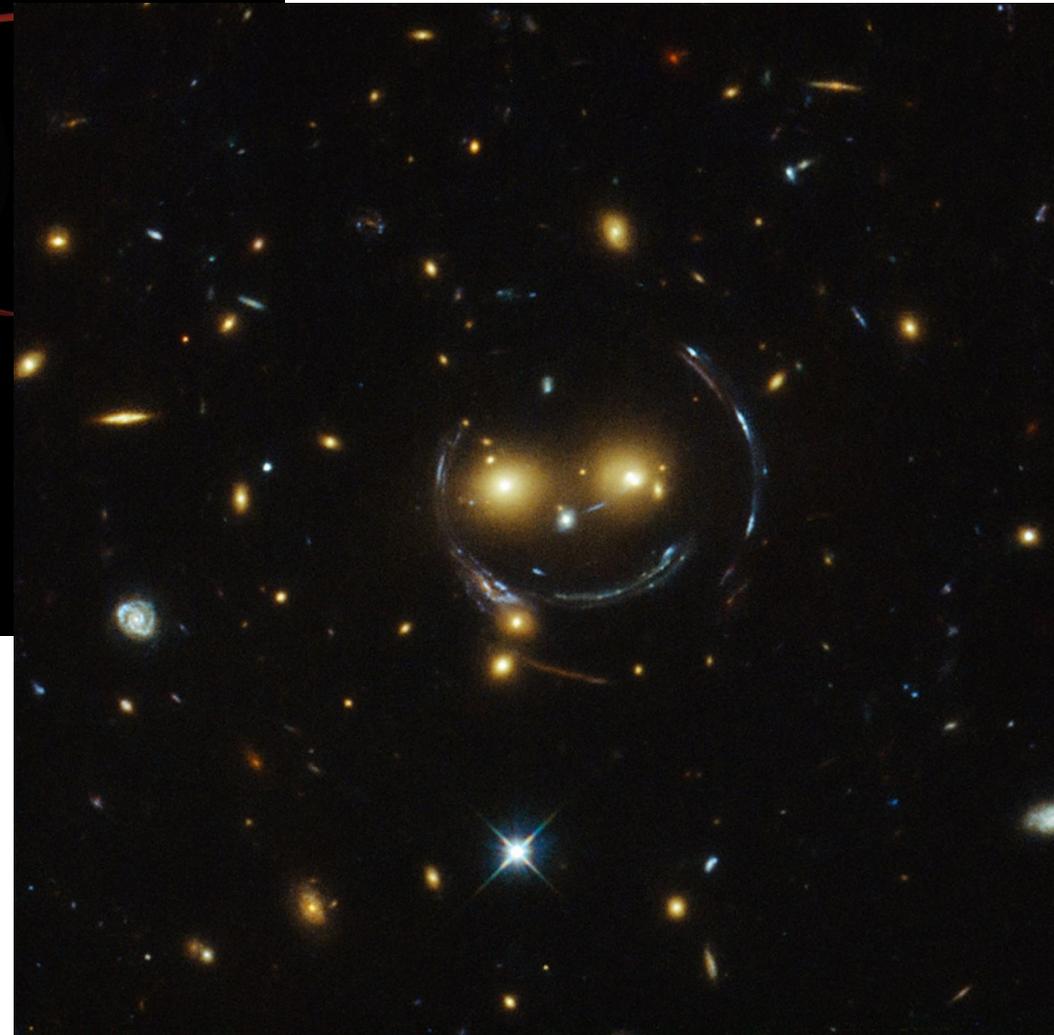
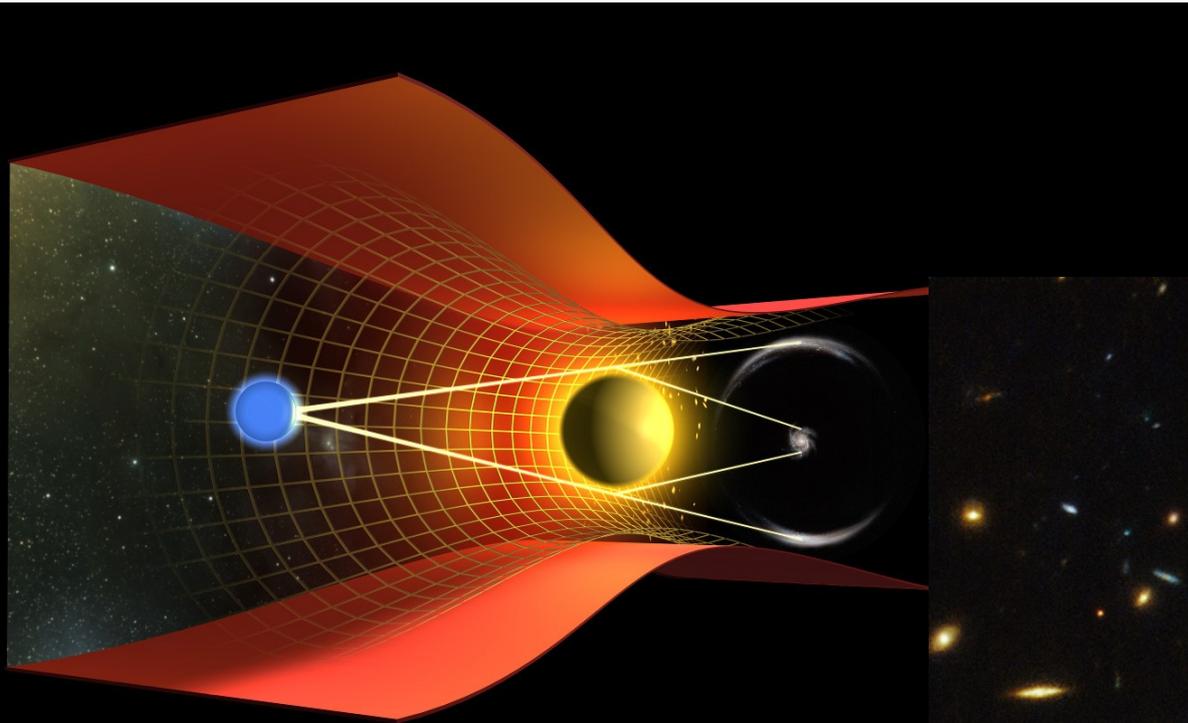
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Galaxy_rotation_under_the_influence_of_dark_matter.oggv



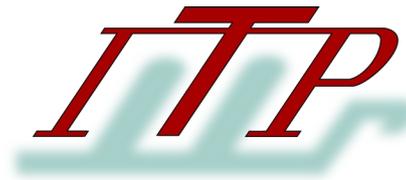
Gravitationslinsen



UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386



Bullet Cluster



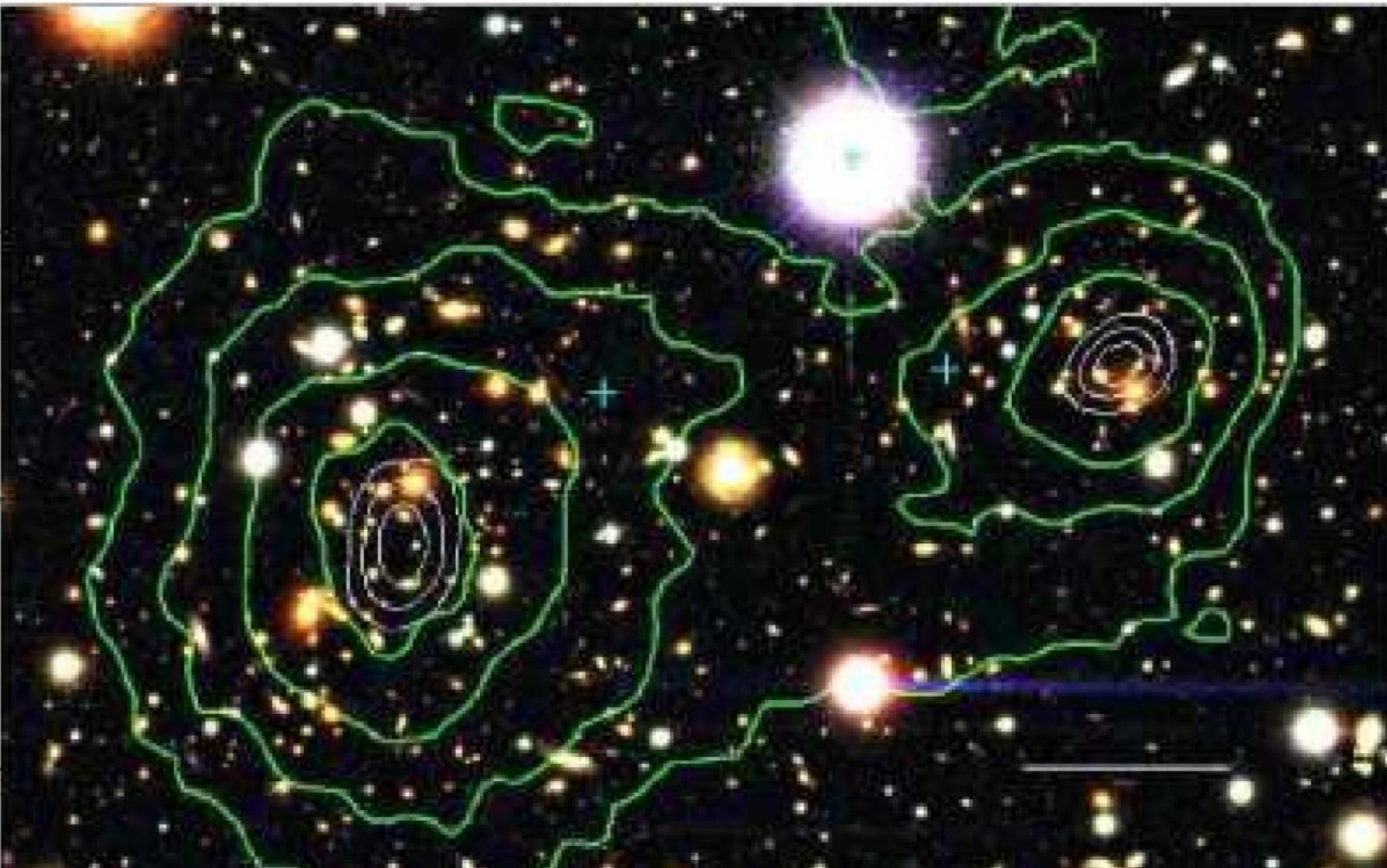
UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386



Bullet Cluster



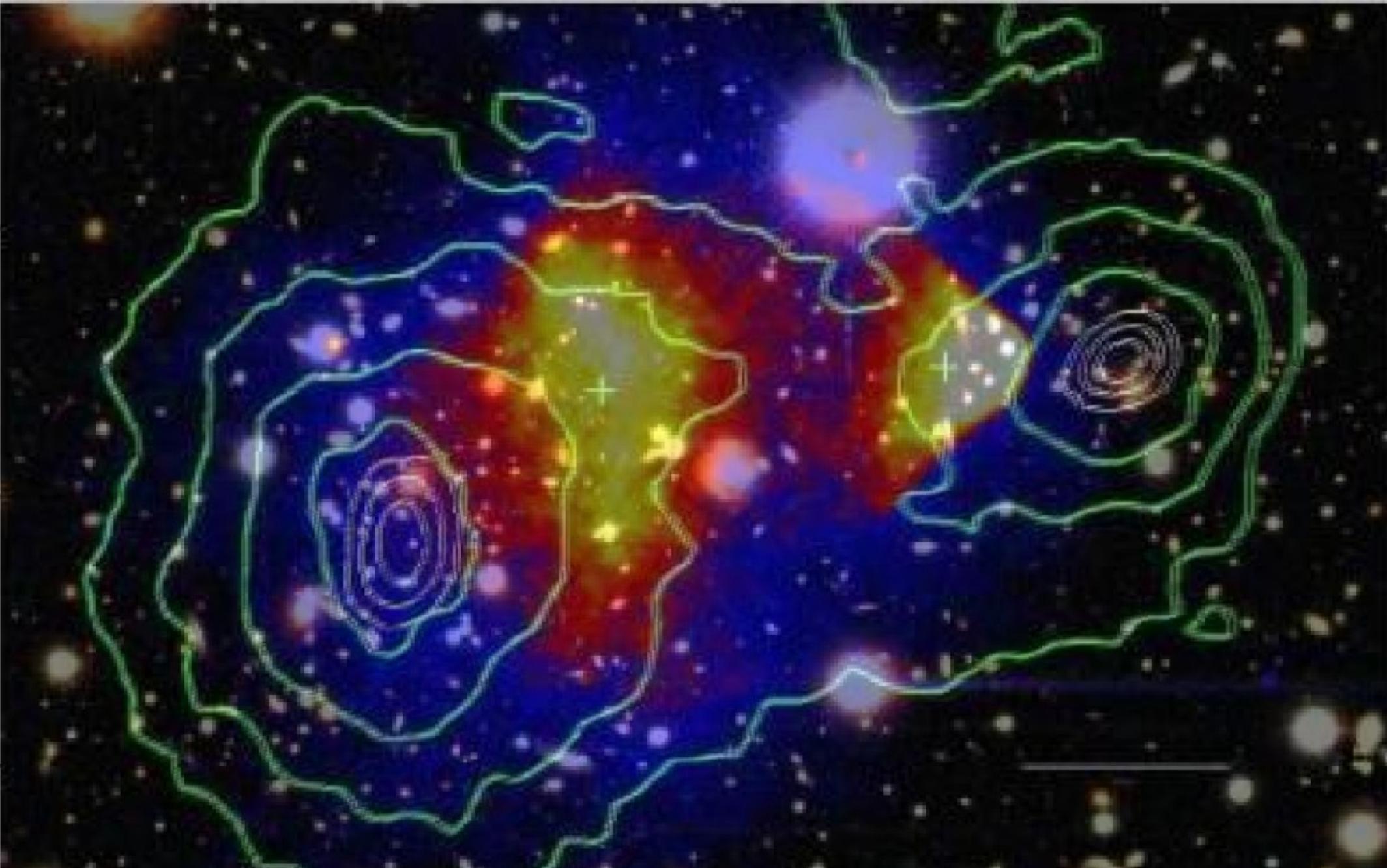
UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386



Bullet Cluster



UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386

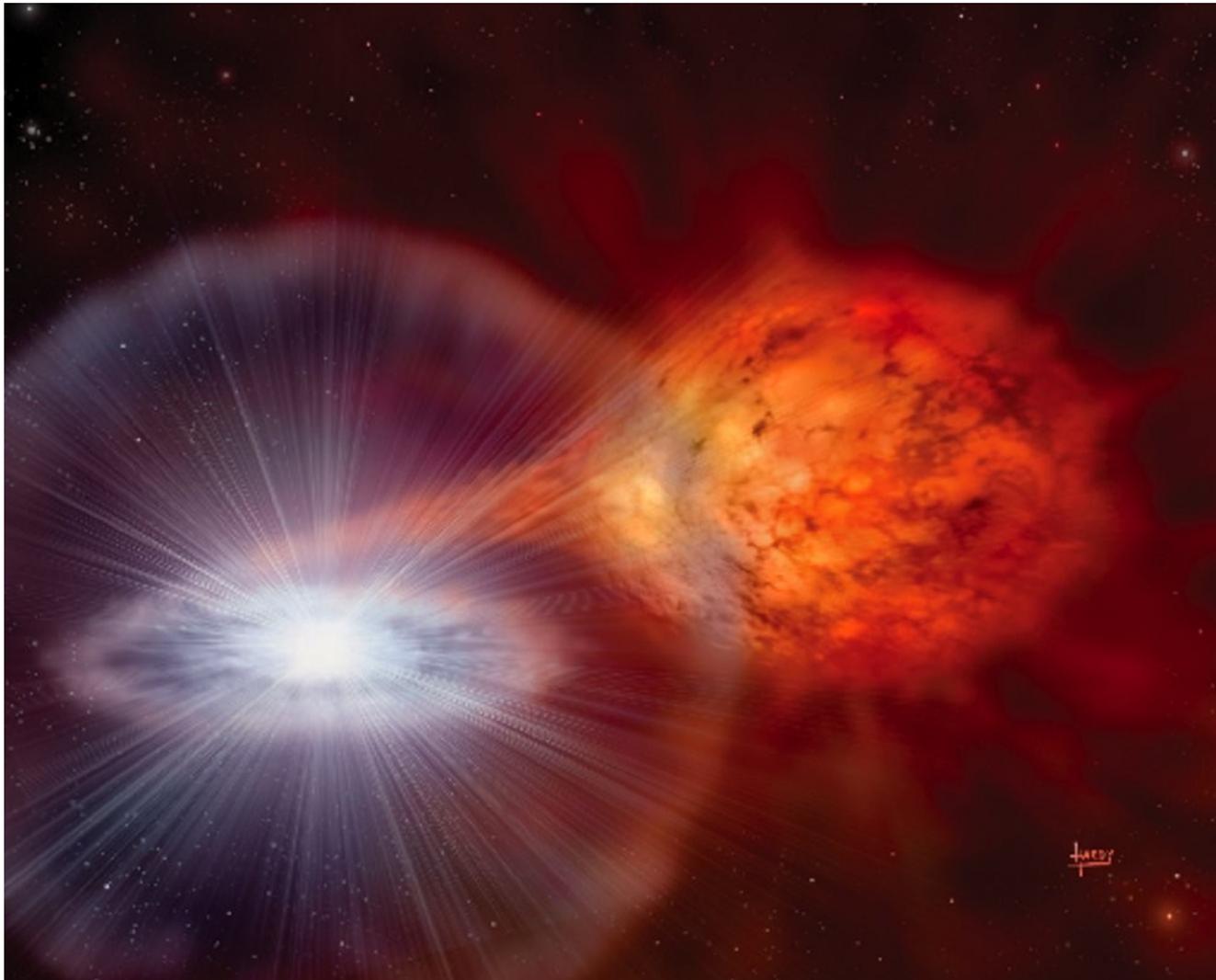


Beschleunigte Ausdehnung



UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386

Neue Standardkerzen – Supernova Typ Ia



Saul Perlmutter



Adam Riess

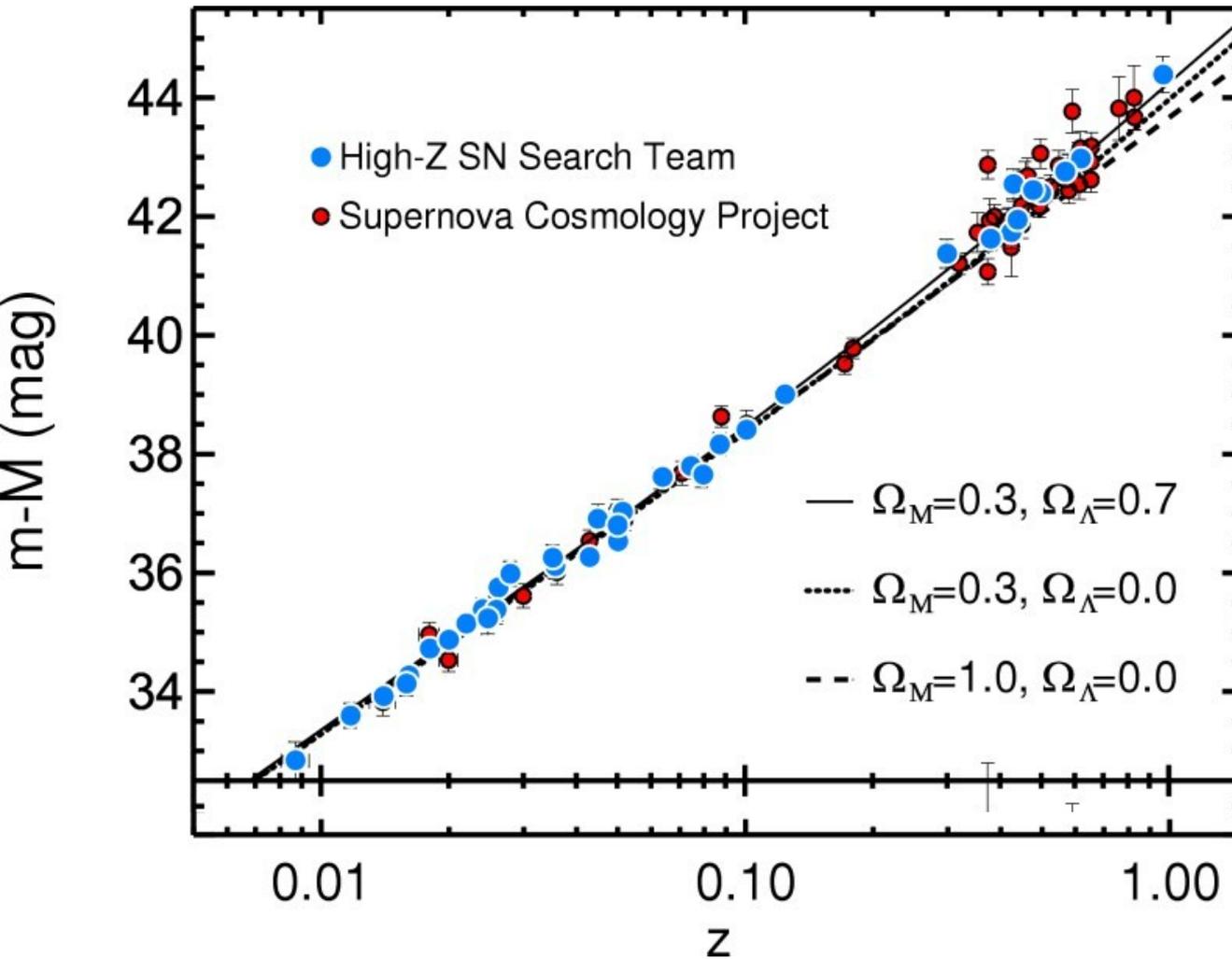


Brian Schmidt

Beschleunigte Ausdehnung



UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386



Saul Perlmutter

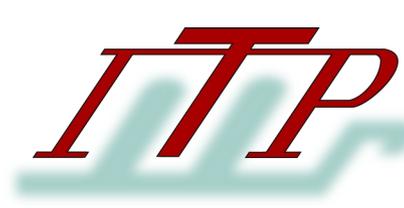


Adam Riess

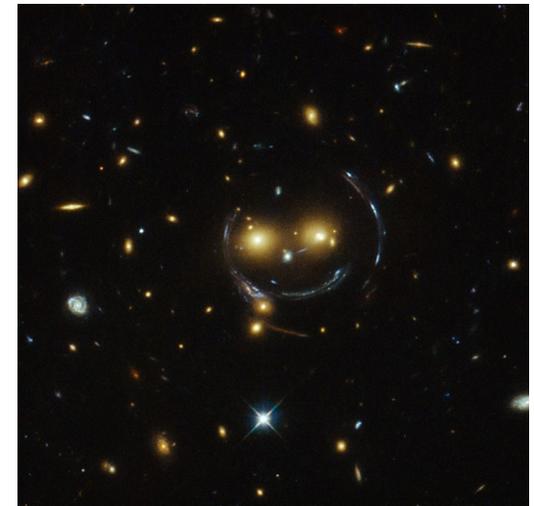
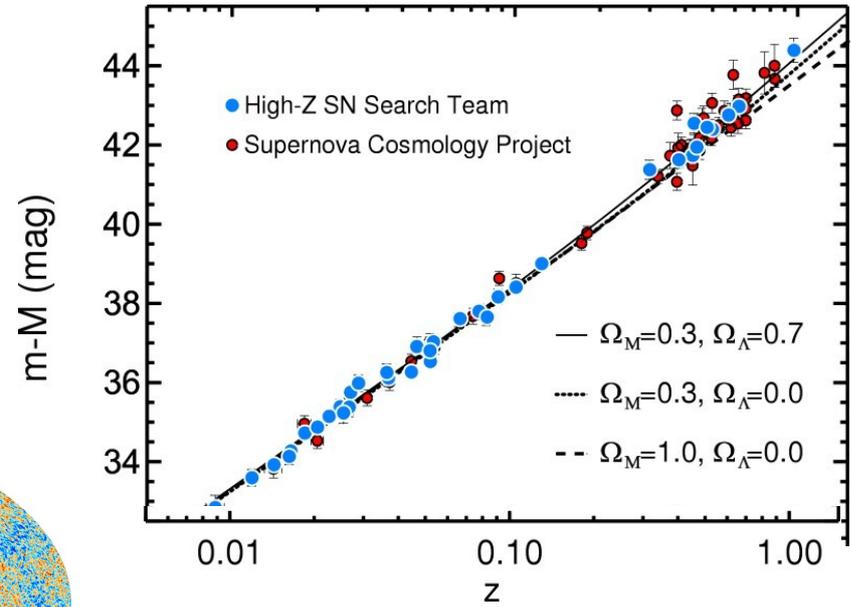
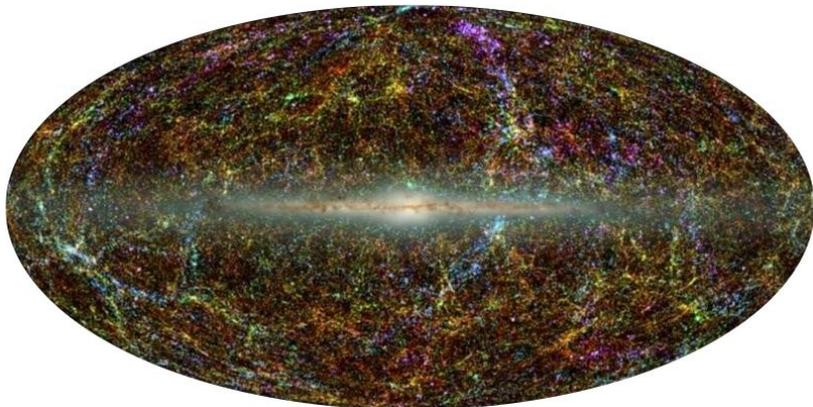
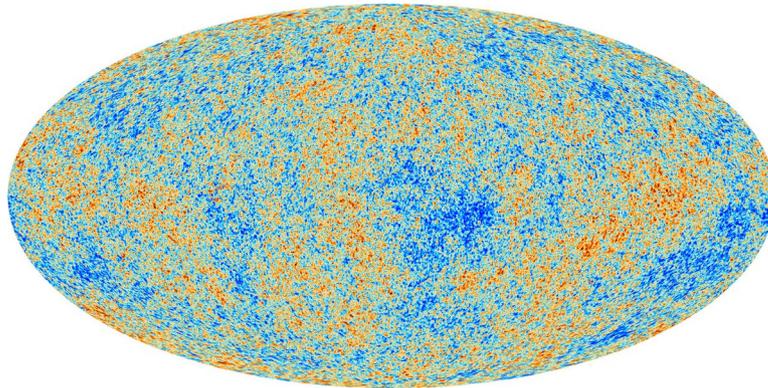
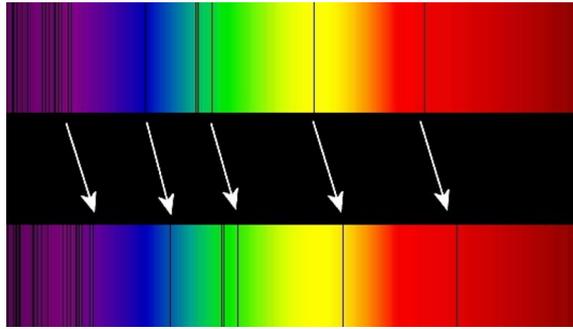
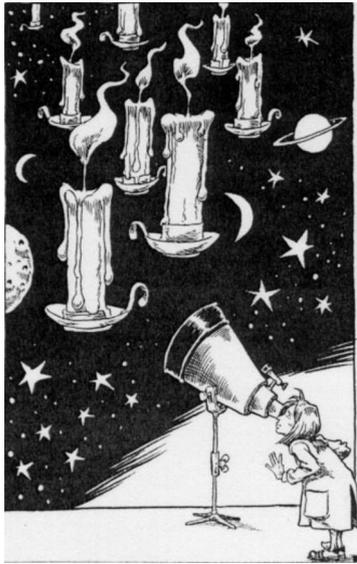


Brian Schmidt

Kosmologie – Standardmodell



UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386



Geschichte des Universums



UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386

