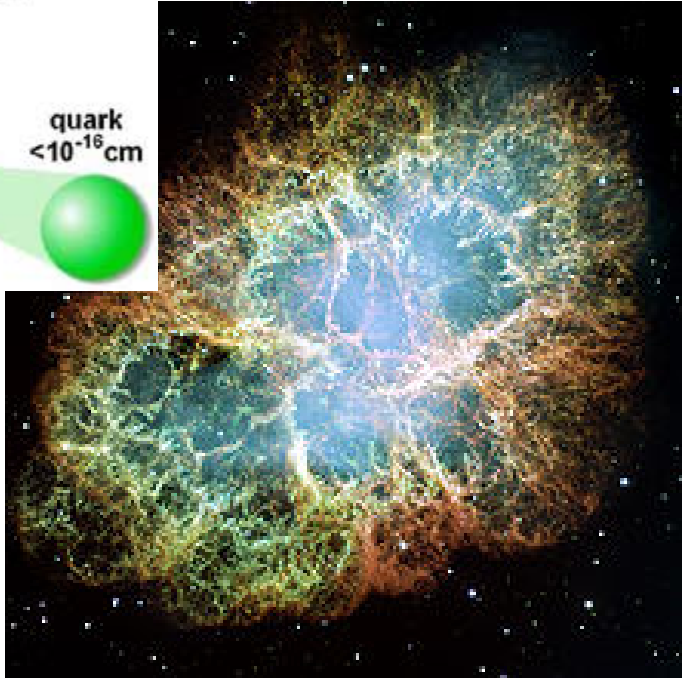
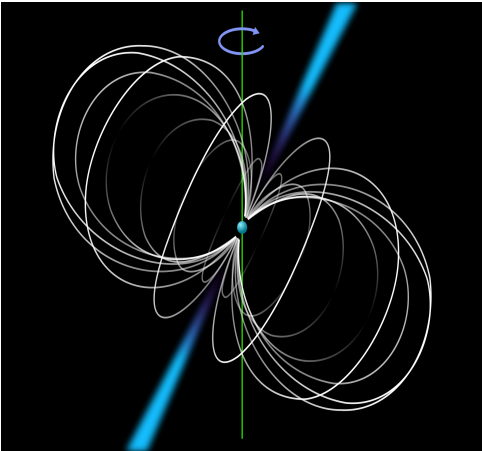
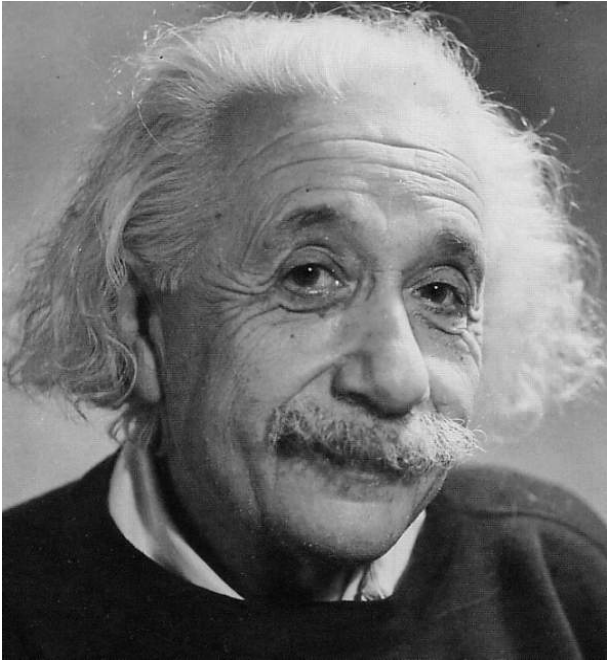
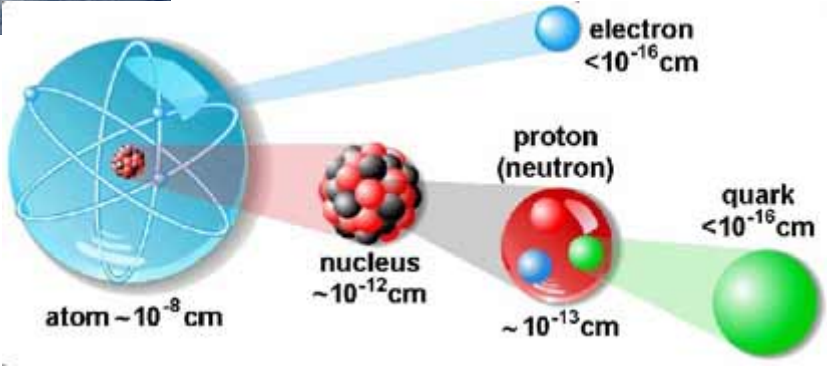
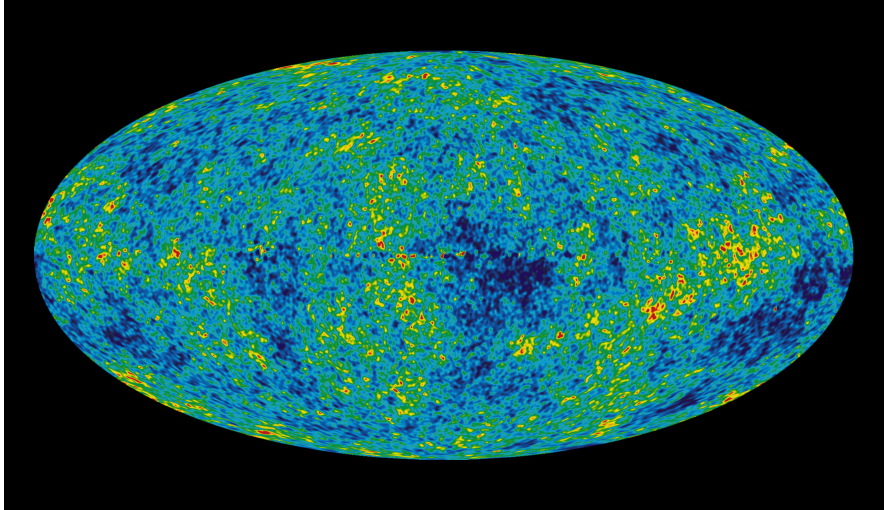
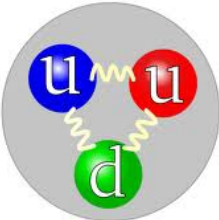


Revolutionen im Weltbild der Physik seit 1900, Teil 2, 12.11. 2011



Geschichte des Universums

Vor 13,7 Milliarden
Jahren:

Urknall (zurückgerechnet aus der
Expansion der Spiralnebel)

Suppe aus quarks, Leptonen, Licht

+ 1 Millisekunde:

Protonen und Neutronen entstehen

+ 3 Minuten:

Deuterium- und Heliumkerne entstehen,
undurchsichtiges Plasma elektrischer Ladungen

+ 380 000 Jahre:

Das **Universum** wird durchsichtig und **erfüllt von
Strahlung** (Cosmic Microwave Background)

+ 400 Millionen Jahre:

Galaxienhaufen, Galaxien und Sterne entstehen
Bildung schwerer Elemente

+ 8 Milliarden Jahre:

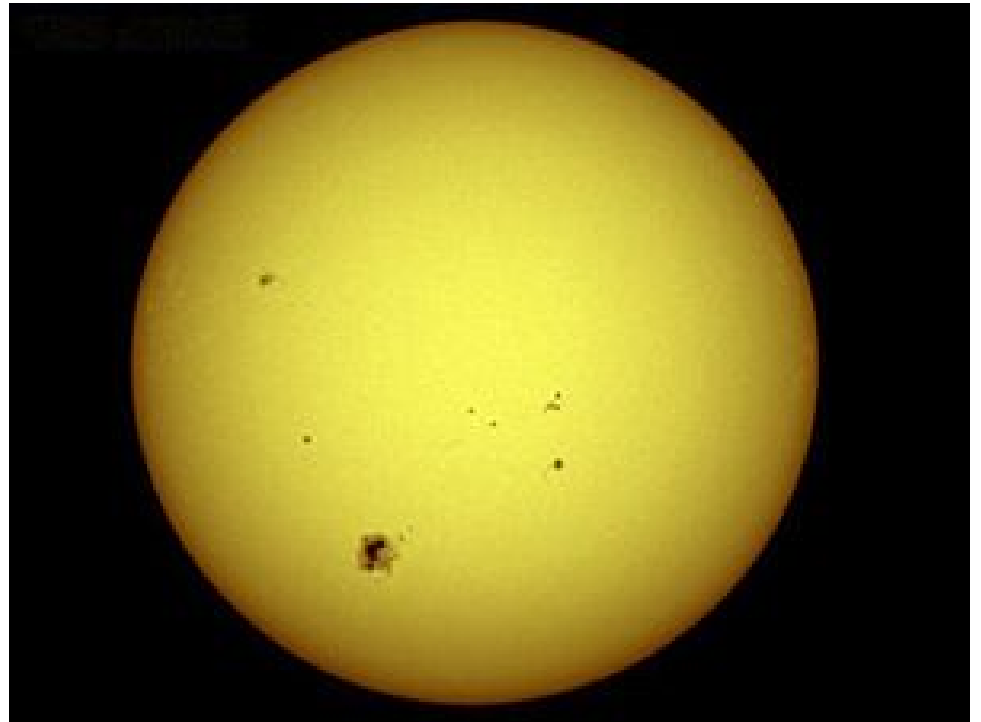
beschleunigte Ausdehnung beginnt

Sonne und Erde entstehen

ferne Zukunft

Ausdehnung ohne Ende ???

Sonnenenergie ist Kernenergie



Ursprung der Sonnenenergie

Energiegewinn durch Kernfusion:

Proton-proton-Zyklus

4 Protonen geben einen He⁴ Kern plus e's, ν's, γ's plus Energie:

$$E = mc^2$$

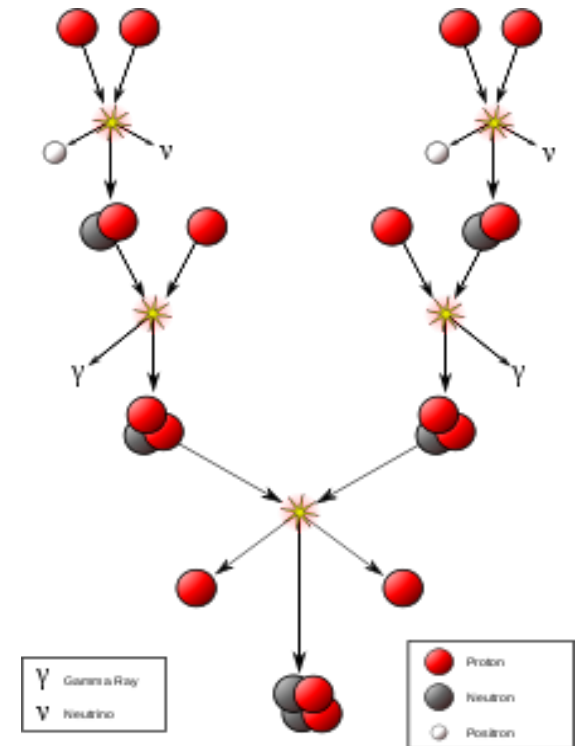
$E = mc^2$ in der Sonne:

Masse $m=4,3$ Mio t wird pro sec in Energie umgewandelt.

Dafür nötig:

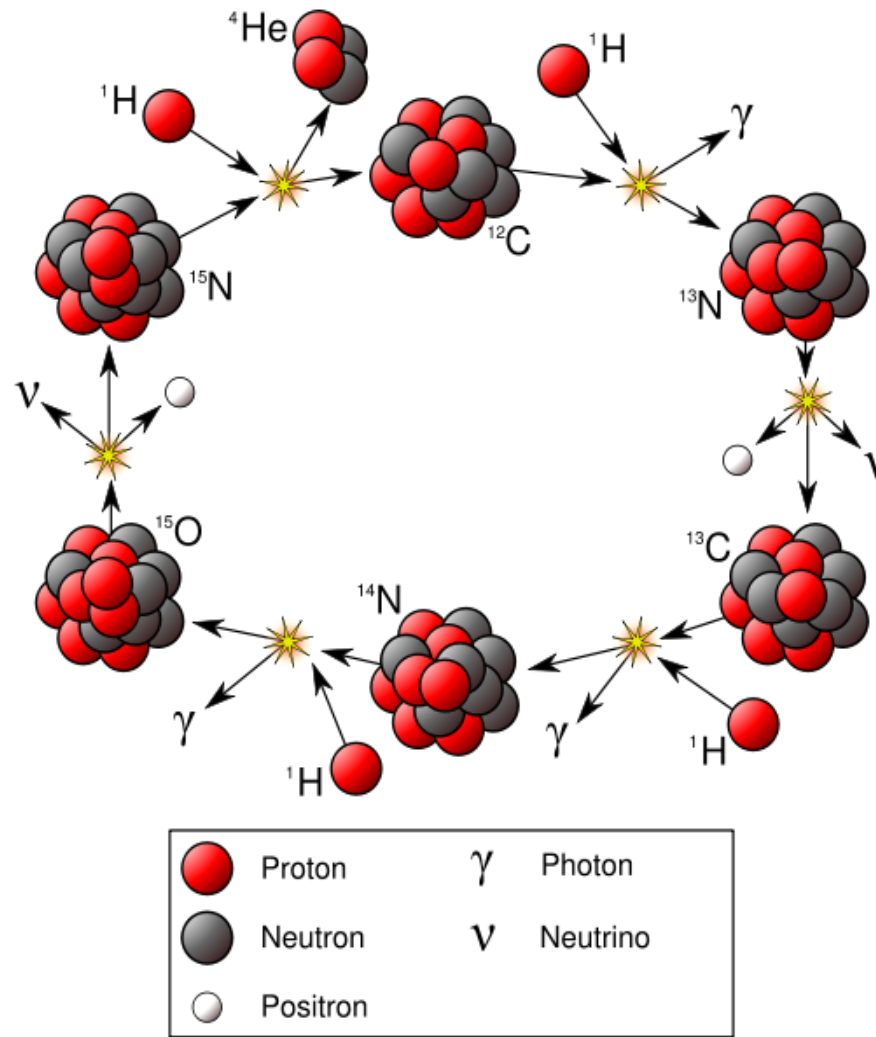
564 Mio t Wasserstoff pro sec

Wasserstoffvorrat reicht für einige Milliarden Jahre.

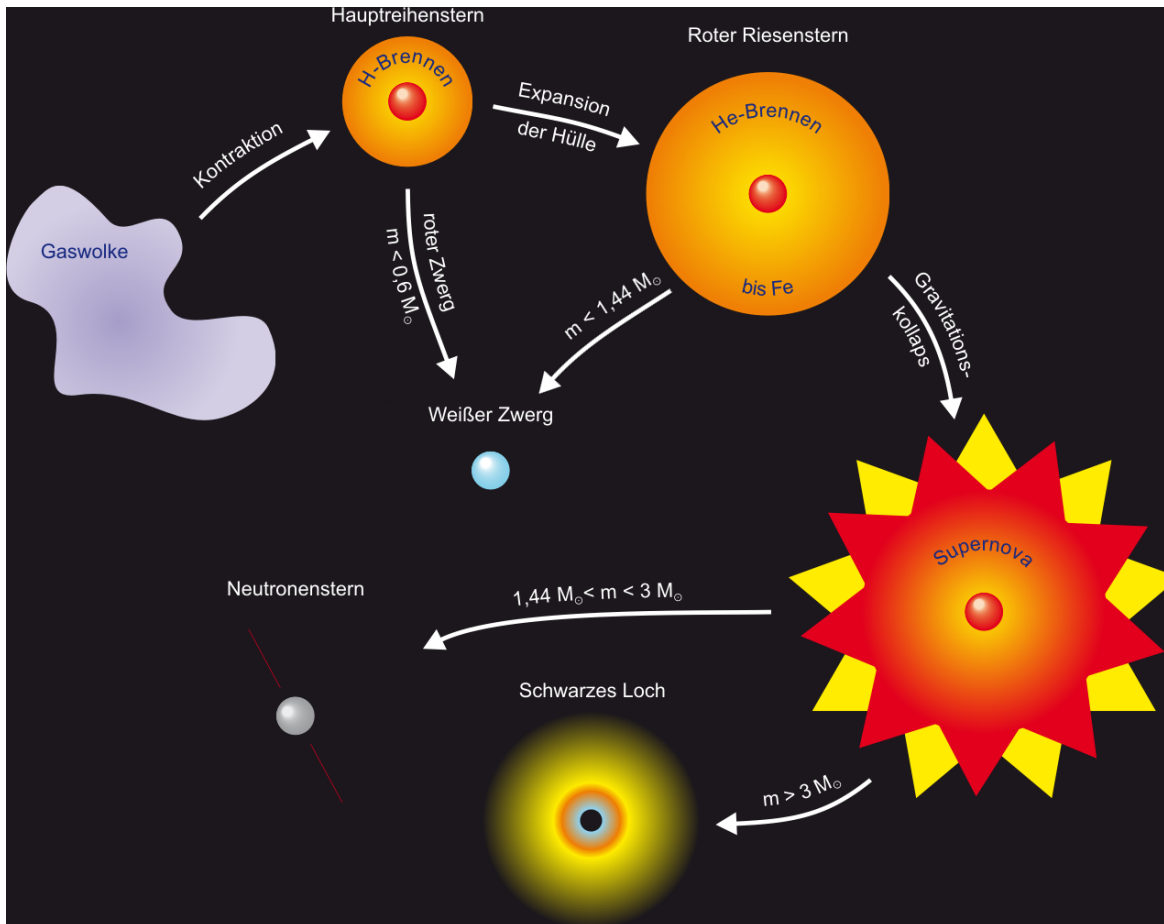


alternativ: CNO Zyklus

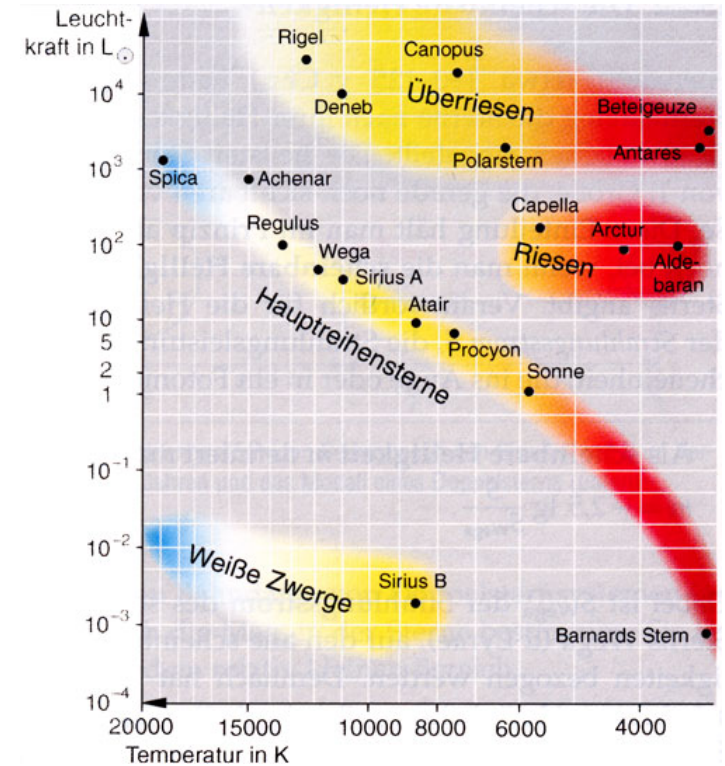
Bethe-Weizsäcker-Zyklus



Das Leben der Sterne

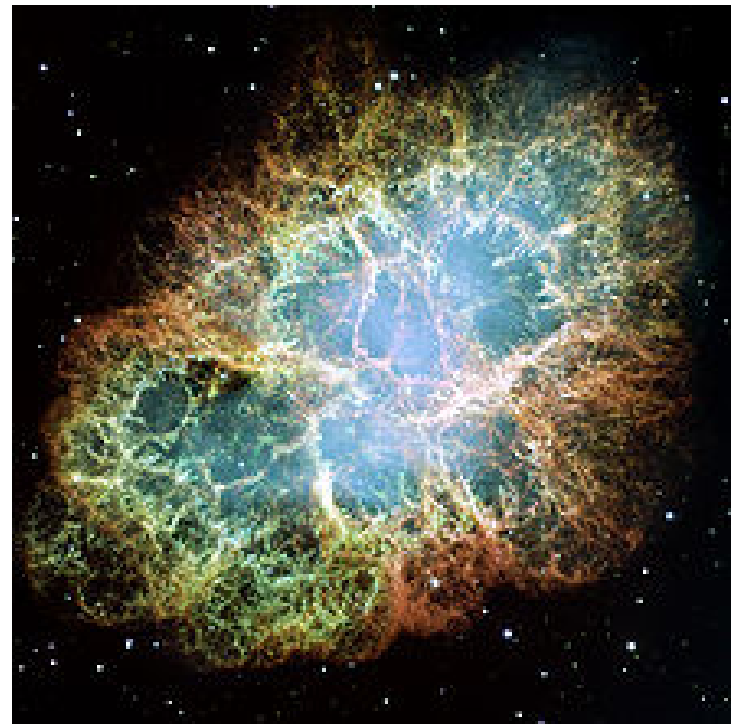


HR Diagramm



rechts oben:
rote Riesen (midlife crisis)
links unten:
weiße Zwerge (alt)

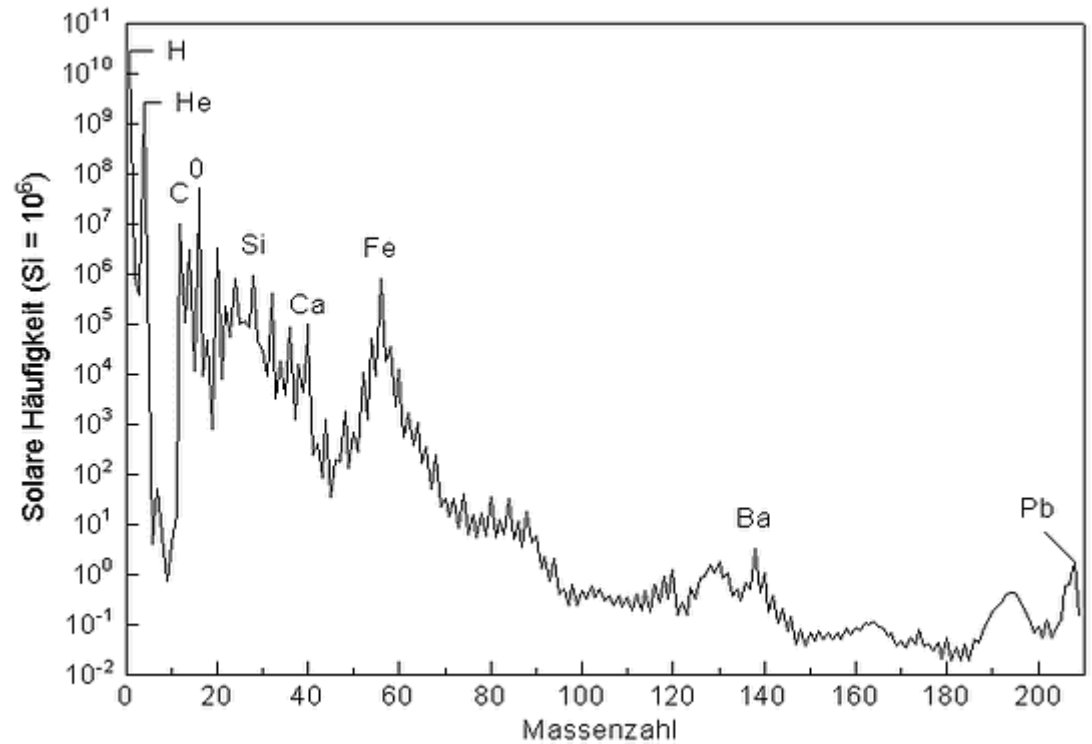
Entstehung der schweren Elemente



Häufigkeit der Elemente

Elemente bis zum Eisen werden in Supernova Ausbrüchen freigesetzt.

Elemente schwerer als Eisen gebildet werden in Supernova Ausbrüchen durch p und n-Anlagerung an leichtere Elemente gebildet.



Elementhäufigkeit im Universum heute

In Sternen mit mehr als 3 Sonnenmassen werden nach dem Wasserstoffbrennen schwerere Elemente in weiteren Kernfusionen verbrannt.

z.B. Stern mit 18 Sonnenmassen:

	T (Mio K)	kg/ccm	Brenndauer
• Wasserstoffbrennen	40	0,006	10 Mio J
• Heliumbrennen	190	1,1	1 Mio J.
• Kohlenstoffbrennen	740	240	10.000 J
• Neonbrennen	1.600	7.400	10 J
• Sauerstoffbrennen	2.100	16.000	5 J
• Siliciumbrennen	3.400	50.000	1 Woche

Endstufe:

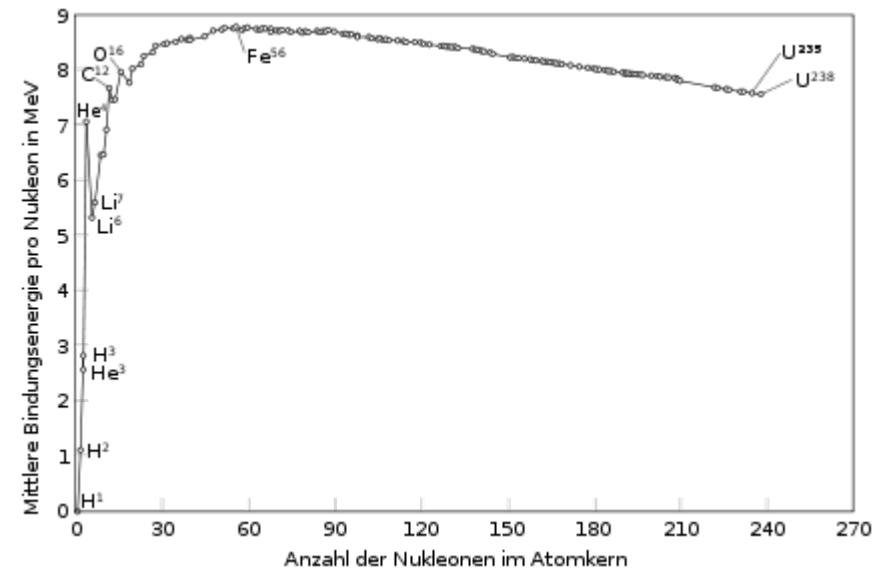
• Fe-Kern (Kernfusion schwerster Elemente)	10.000	10.000.000	-
--	--------	------------	---

Ende des Energiegewinns durch Kernfusion oder Kernspaltung

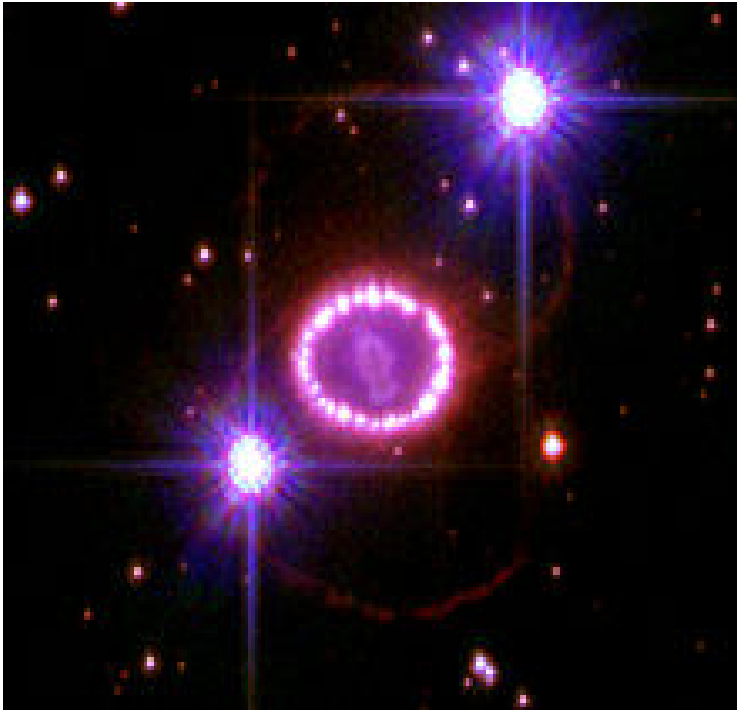
Eisen hat die größte Bindungsenergie pro Nukleon

Endstufe aller Energie gewinnenden Kernprozesse

Eisen = Sternasche



Reste von Supernova Ausbrüchen

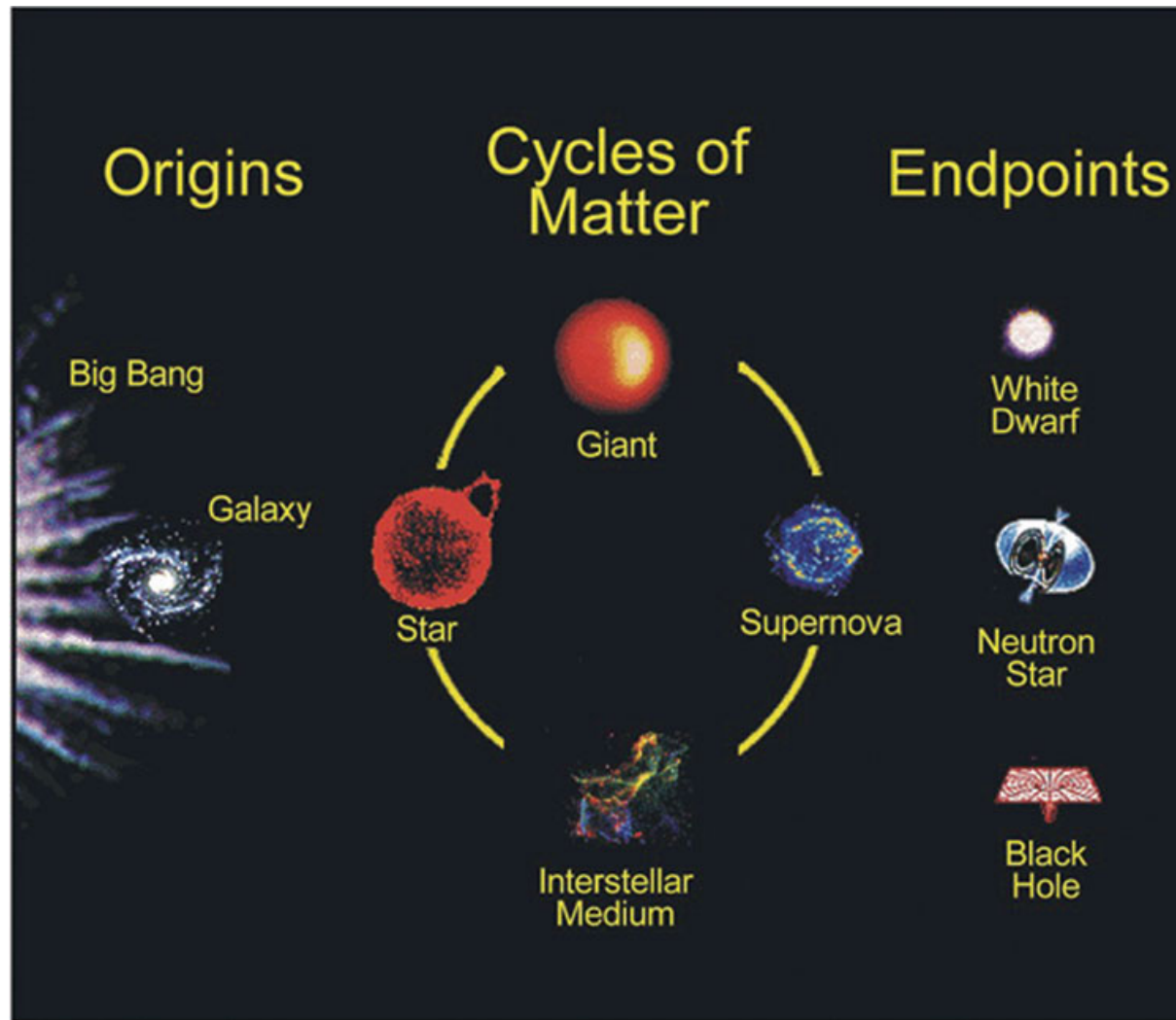


Supernova 1987A
nach 20 Jahren

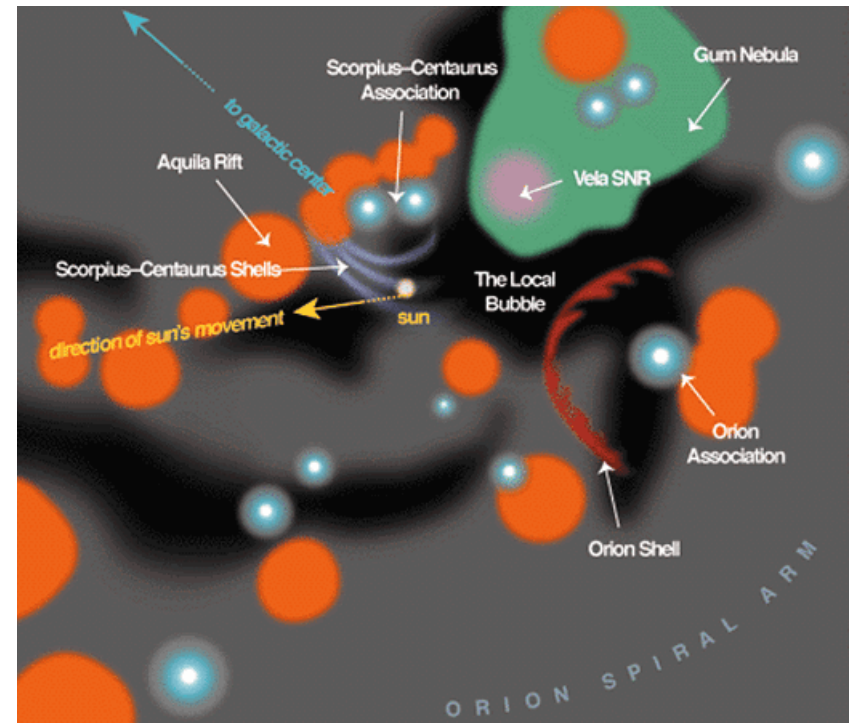


Krebsnebel im Sternbild Stier:
^e Supernova vom 04. Juli 1054

Kreislauf der Sternmaterie

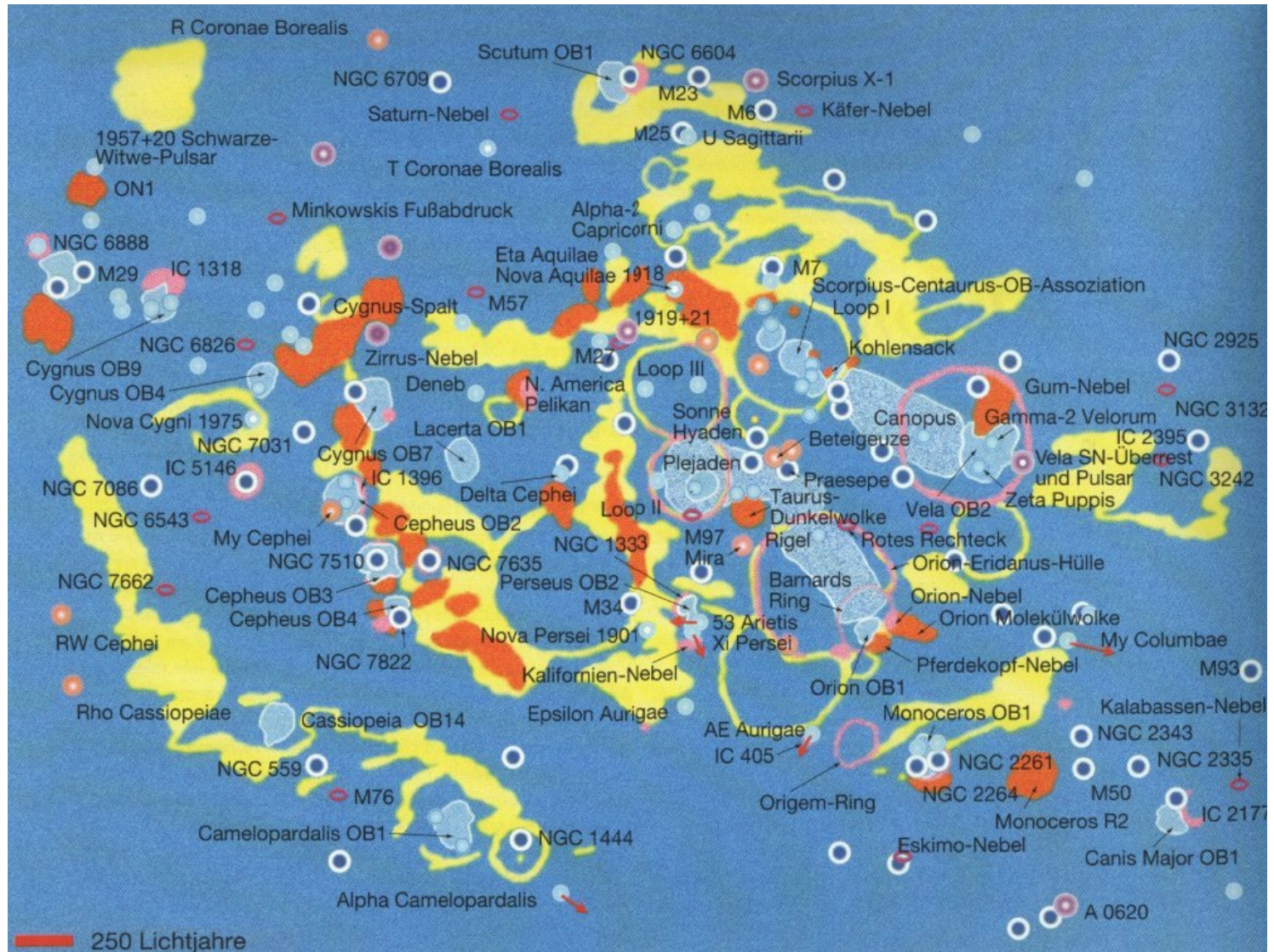


Umgebung des Sonnensystems

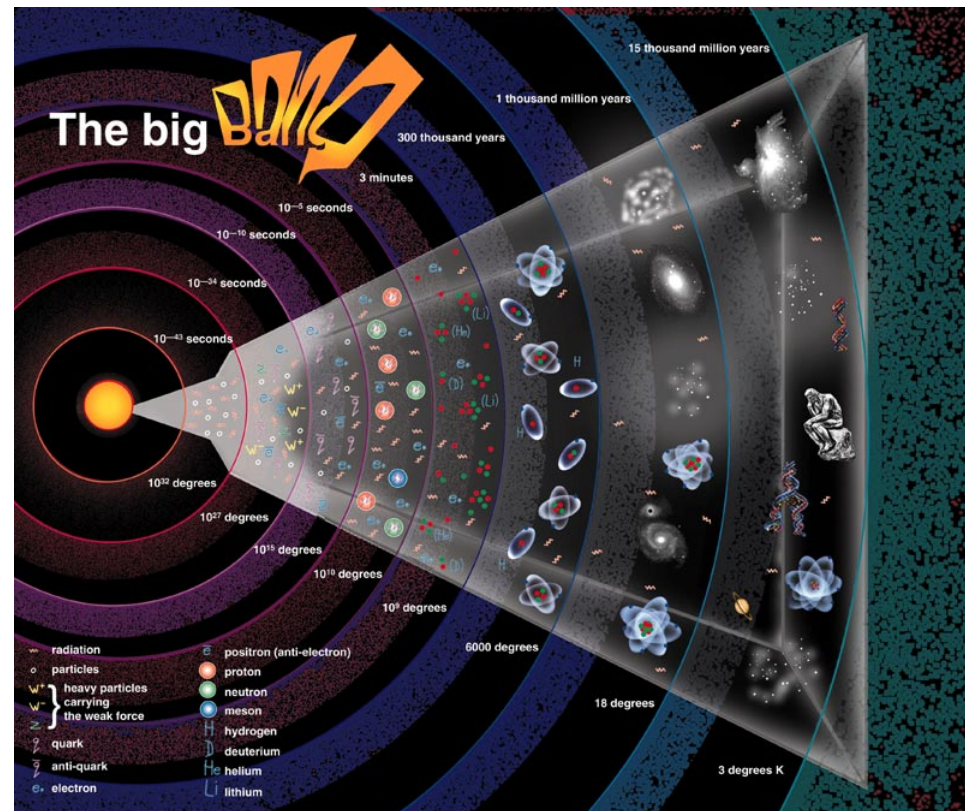


Lokale Blase, gebildet durch Supernovaexplosion(en) vor einigen Millionen Jahren (??)

Umgebung der lokalen Blase



Expansion des Universums, Urknall



1929: Hubble entdeckt die Rotverschiebung

Verschiebung um Faktor $1+z$

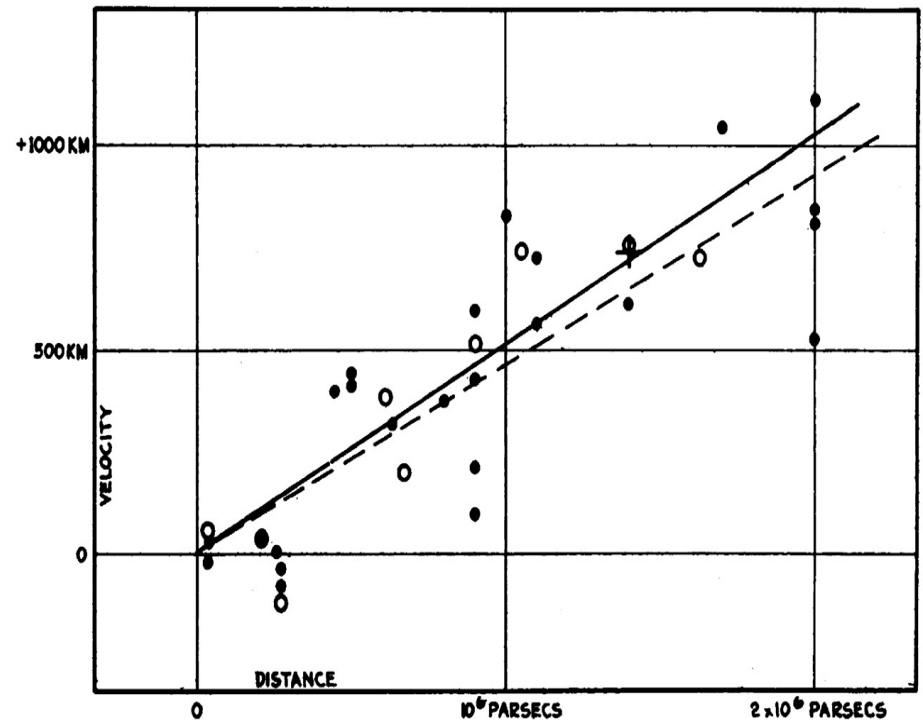
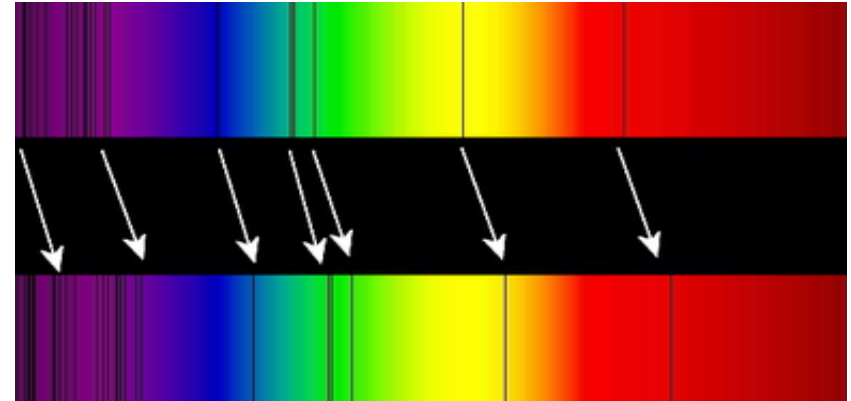
interpretiert als Dopplereffekt:
Flucht mit der Geschwindigkeit
 $v = z \times \text{Lichtgeschwindigkeit}$

z ist proportional zur Entfernung
 $z = H \times d$

H ist die Hubblekonstante

$1/H$ bestimmt das Alter des
Universums

Woher wissen wir
die Entfernung?



Geometrie des Universums

Das Auseinanderfliegen der Spiralnebel ist zu sehen:
nicht analog zur Explosion einer Granate

sondern

analog zum Auseinanderziehen eines elastischen Mediums

Geometrie:

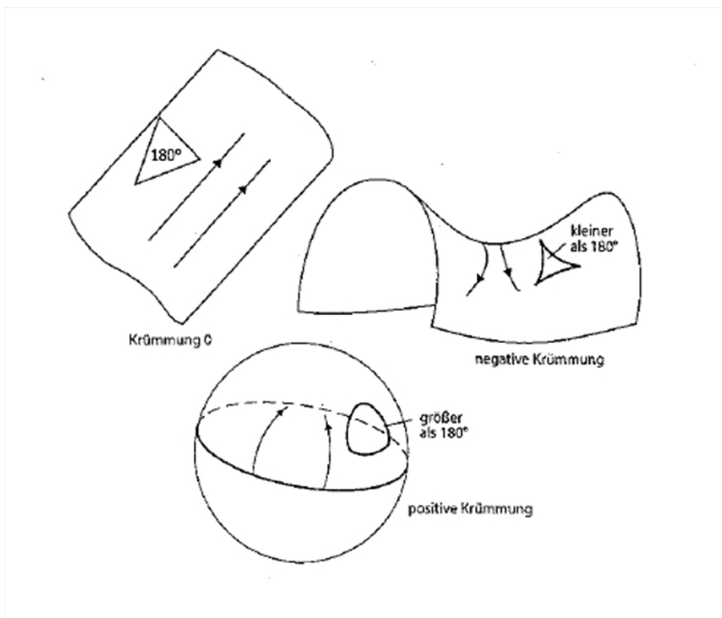
Der Raum ist gekrümmt oder flach, bestimmt durch den Parameter Ω .

$\Omega = (\rho / \rho_c)$ ist bestimmt durch die Massen(=Energie)dichte:

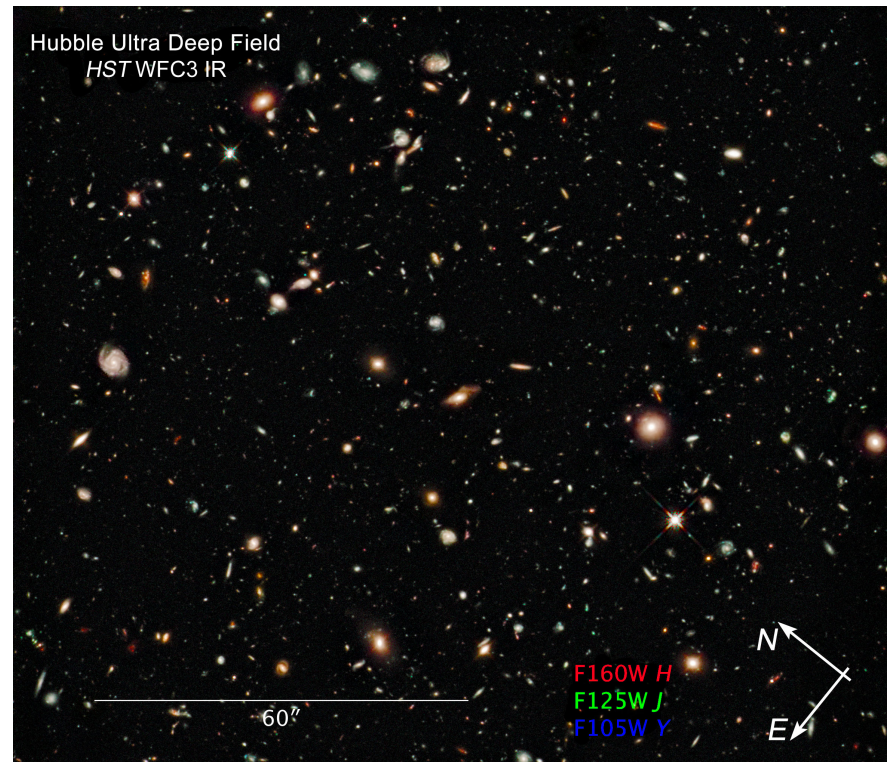
$$\Omega = \Omega_{\text{materie}} + \Omega_{\text{dunkle materie}} + \Omega_{\text{strahlung}} + \Omega_{\text{dunkle energie}}$$

Gefunden in Messungen seit 1990:

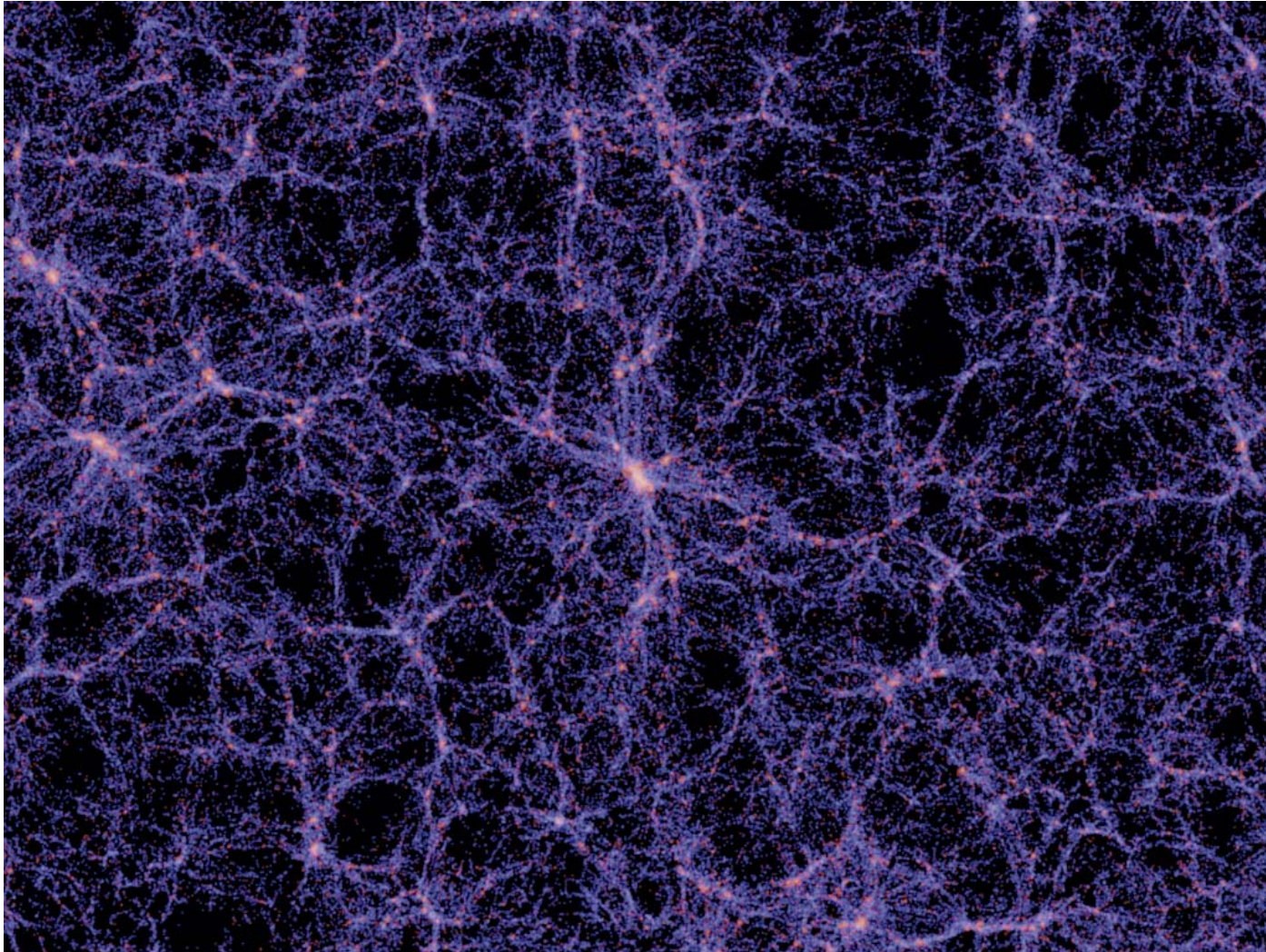
$$\begin{aligned} \Omega = 1 &\cong \text{Der Raum ist flach} \\ &\cong \text{kritische Dichte } \rho_c \\ &\cong 6 \text{ H-Atome pro m}^3 \end{aligned}$$



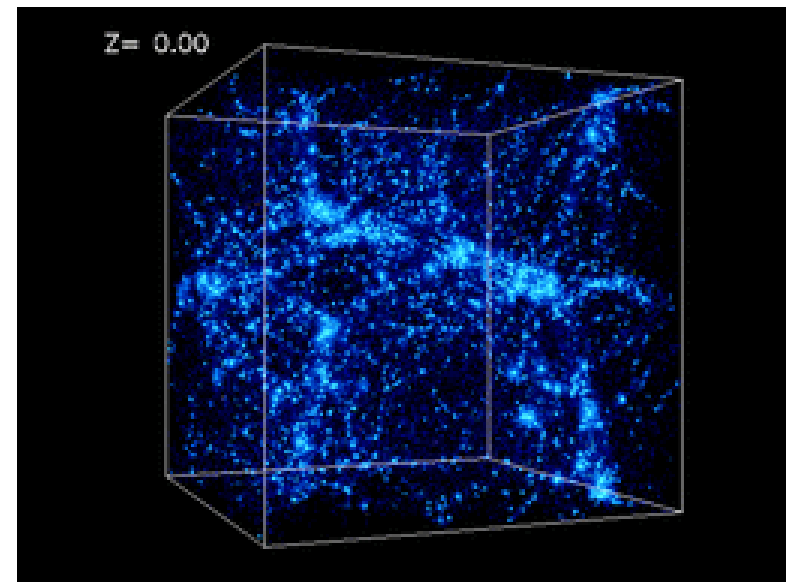
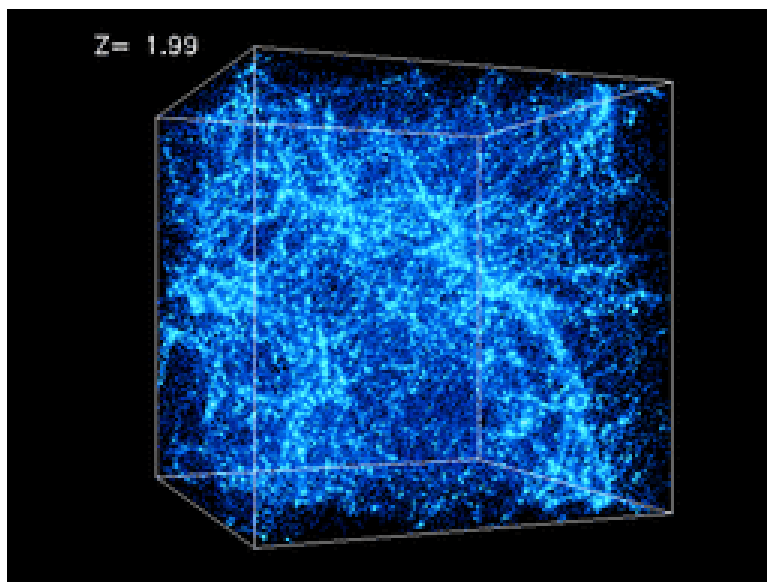
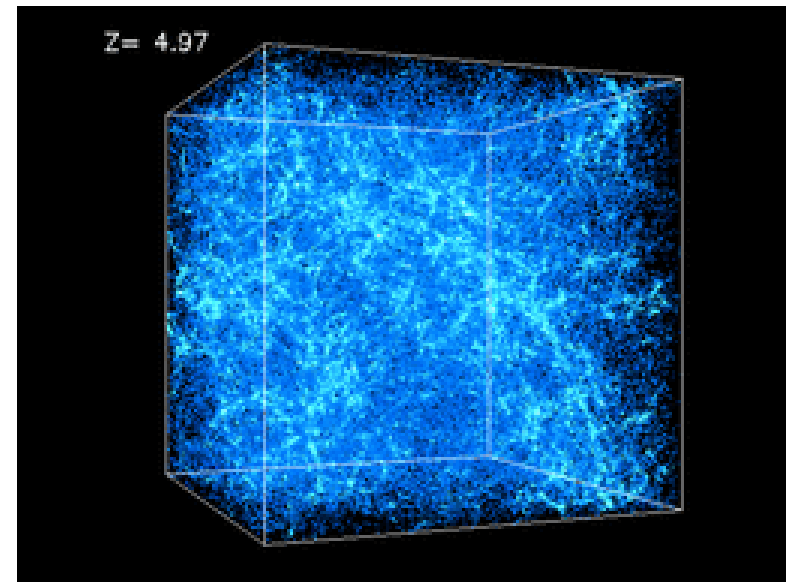
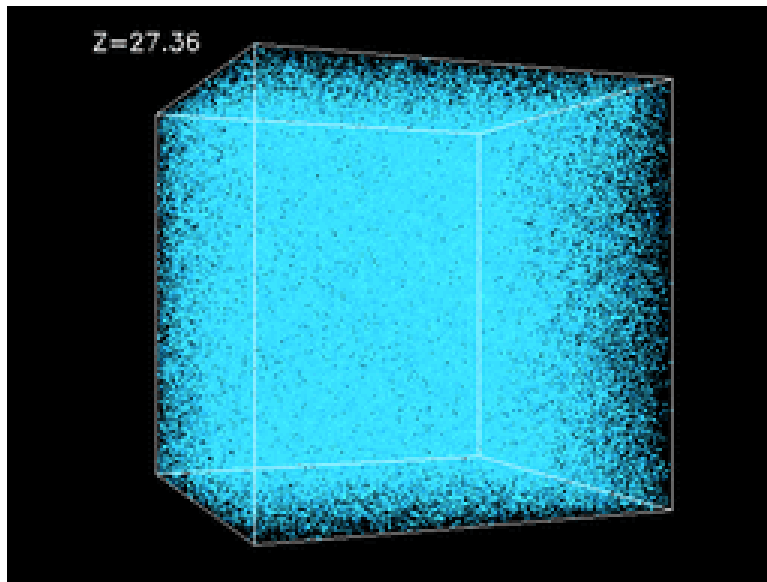
Entstehung großer Strukturen wie Galaxienhaufen: Es gibt „dunkle Materie“



Kosmisches Spinnwebnetz im Virgocluster



Ausbildung des kosmischen Spinnennetzes



Materie / Masse im Universum

ist nicht nur leuchtende Materie (Sterne, Galaxien, Staub),

es muss weitere „dunkle Materie“ geben, um die Strukturbildung durch Gravitation beschreiben zu können:

(konventionelle) Materie:
Galaxien, Galaxienhaufen,
kosmisches Spinnennetz
Anteil (in Prozent der kritischen
Masse): 4,6%

dunkle Materie:
WIMPs (=weakly interacting
massive particles)
noch unbekannte Teilchen,
supersymmetrische Teilchen
Anteil: 22,7%

Die Strukturen entstehen aus Fluktuationen:

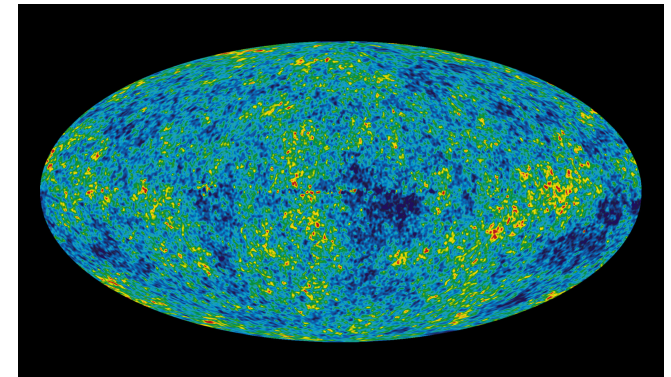
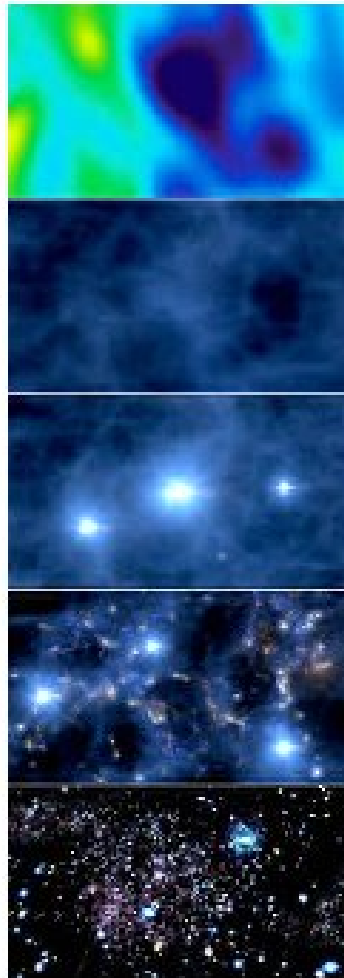
Temperature fluctuations correspond to clumping of matter.

Matter condenses as gravity pulls it to regions of higher density.

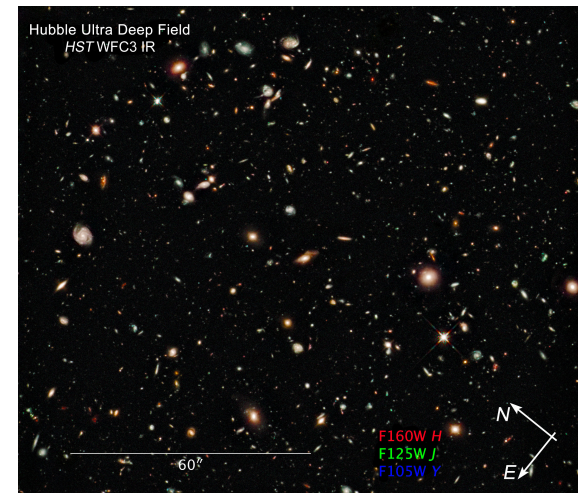
First stars ignite as gas has heated enough for nuclear fusion.

Galaxies form along filaments of stars due to gravitational attraction.

Modern era of immense structure.



WMAP

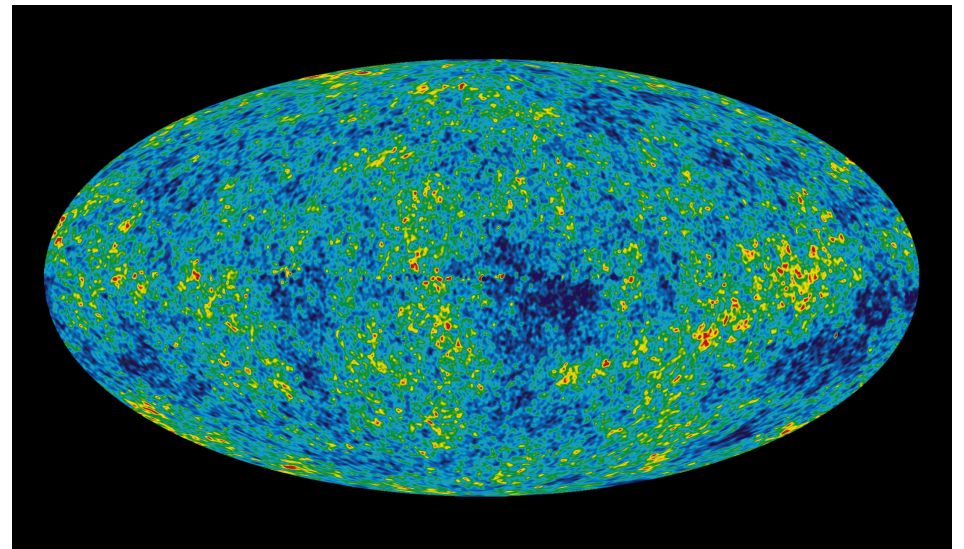


Hubble deep field

Die kosmische 3 Grad Hintergrundstrahlung: Botschaften von 380 000 Jahre nach dem Urknall



Penzias und Wilson 1964

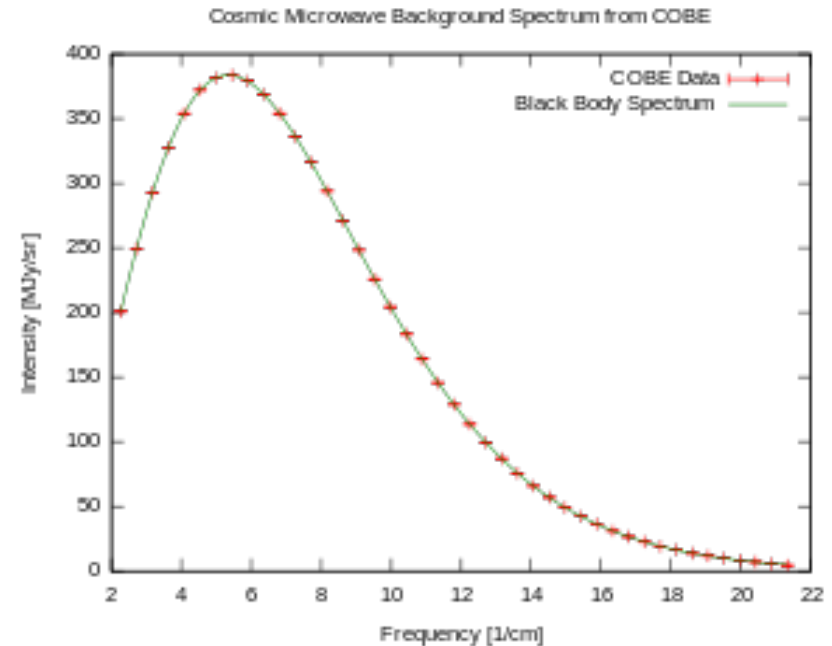


Die kosmische Hintergrundstrahlung:

Perfekte Schwarzkörperstrahlung
für Temperatur 2,725 Kelvin

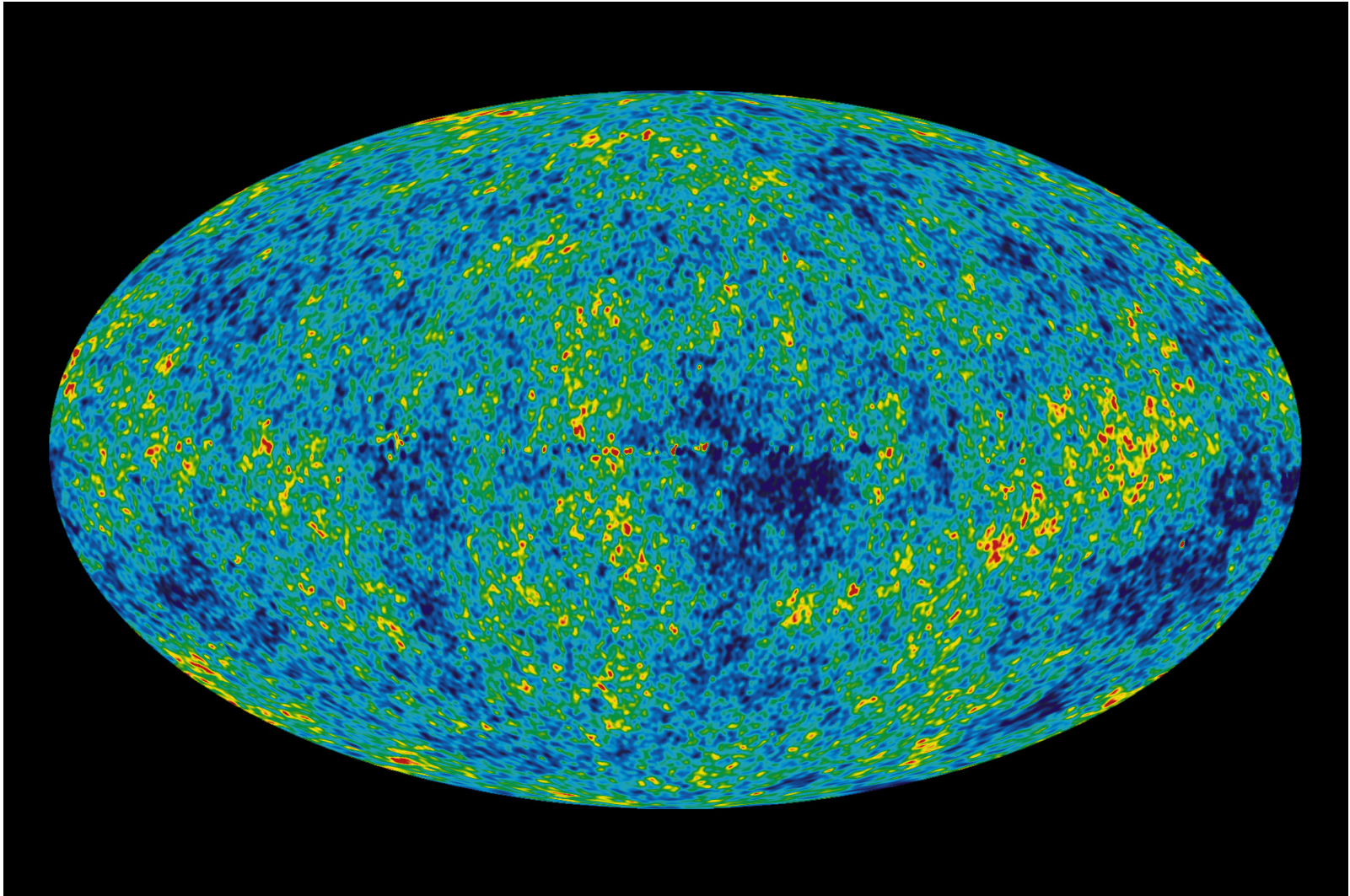
Relikt der Strahlung zur Zeit der
Entkopplung bei $T = 3000$ Kelvin:

$$T = (1 + z) \times 2,725 \text{ Kelvin}$$

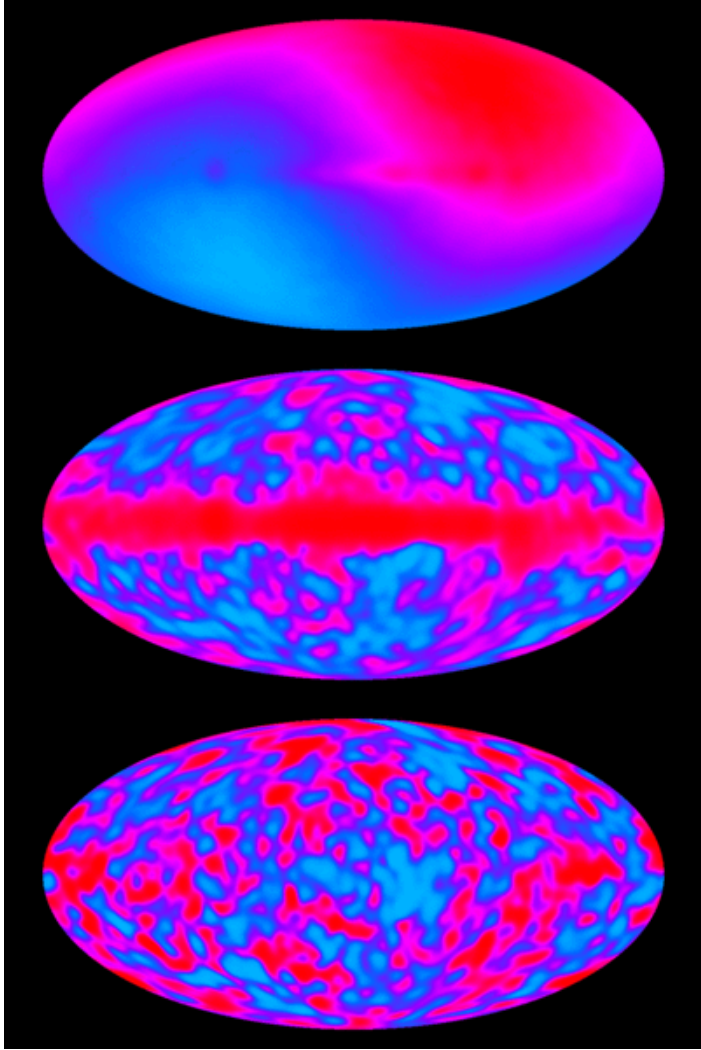


analog sollte existieren:
Neutrino Hintergrundstrahlung
mit 1,9 Kelvin

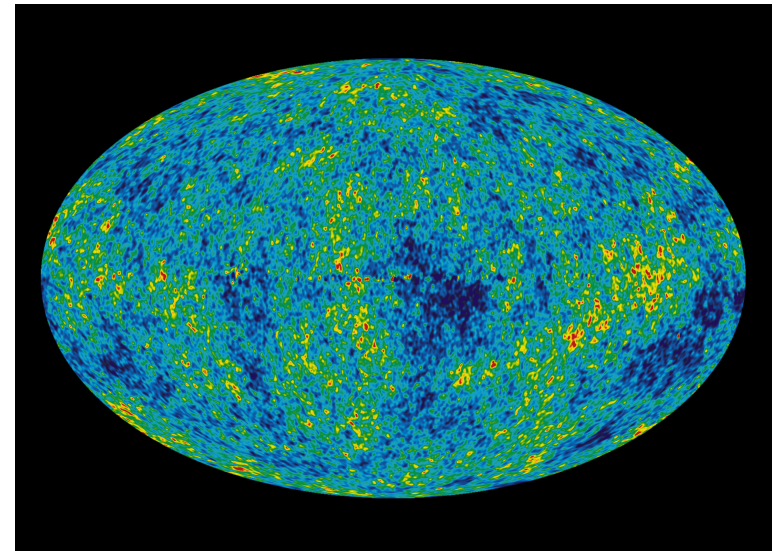
Cosmic microwave background radiation



COBE vs WMAP

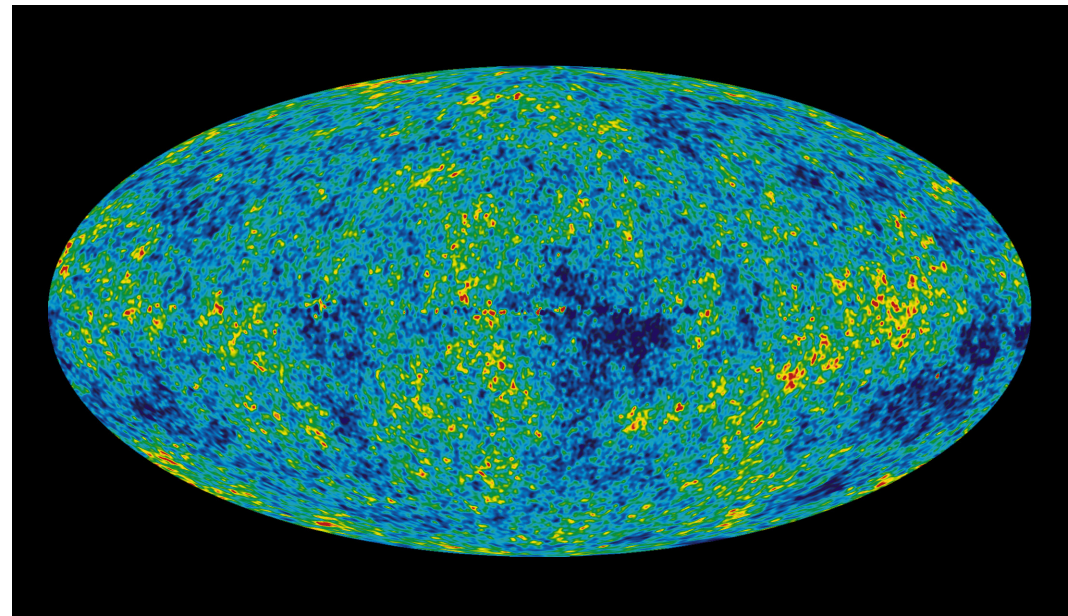
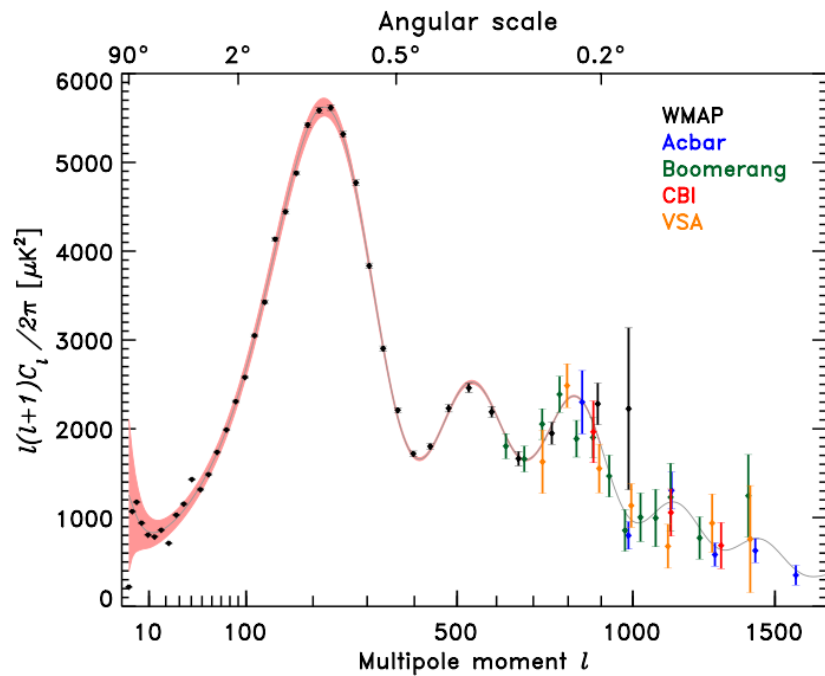


Cosmic Background Explorer 1992

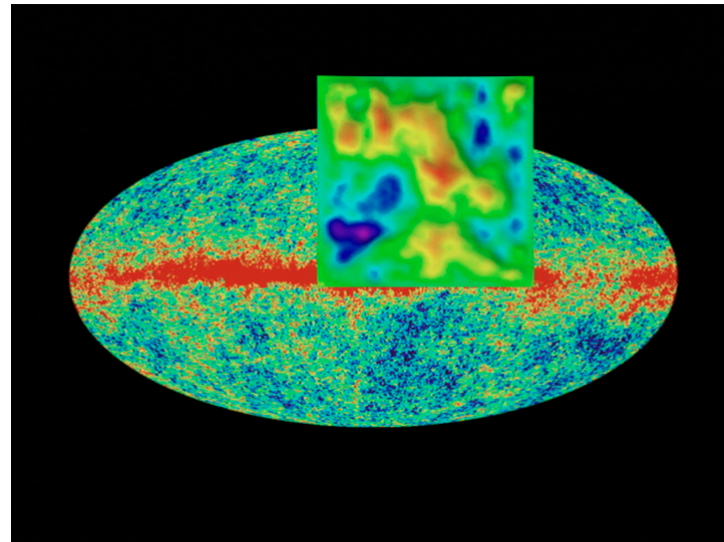
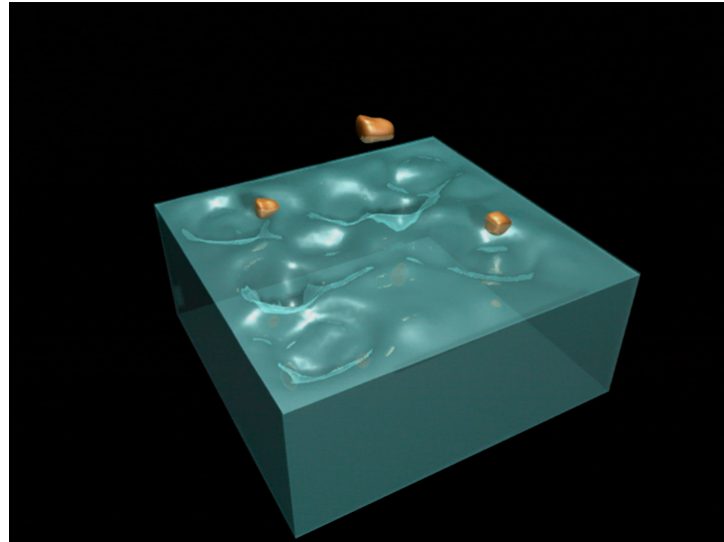
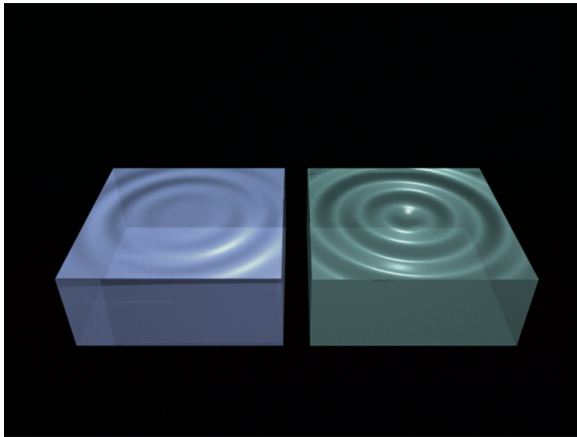


Wilkinson Microwave Anisotropy Probe
2007

Inhomogenitäten im CMB



Die räumlichen Schwankungen werden eingefroren, wenn das Universum durchsichtig wird



Beschleunigte Expansion

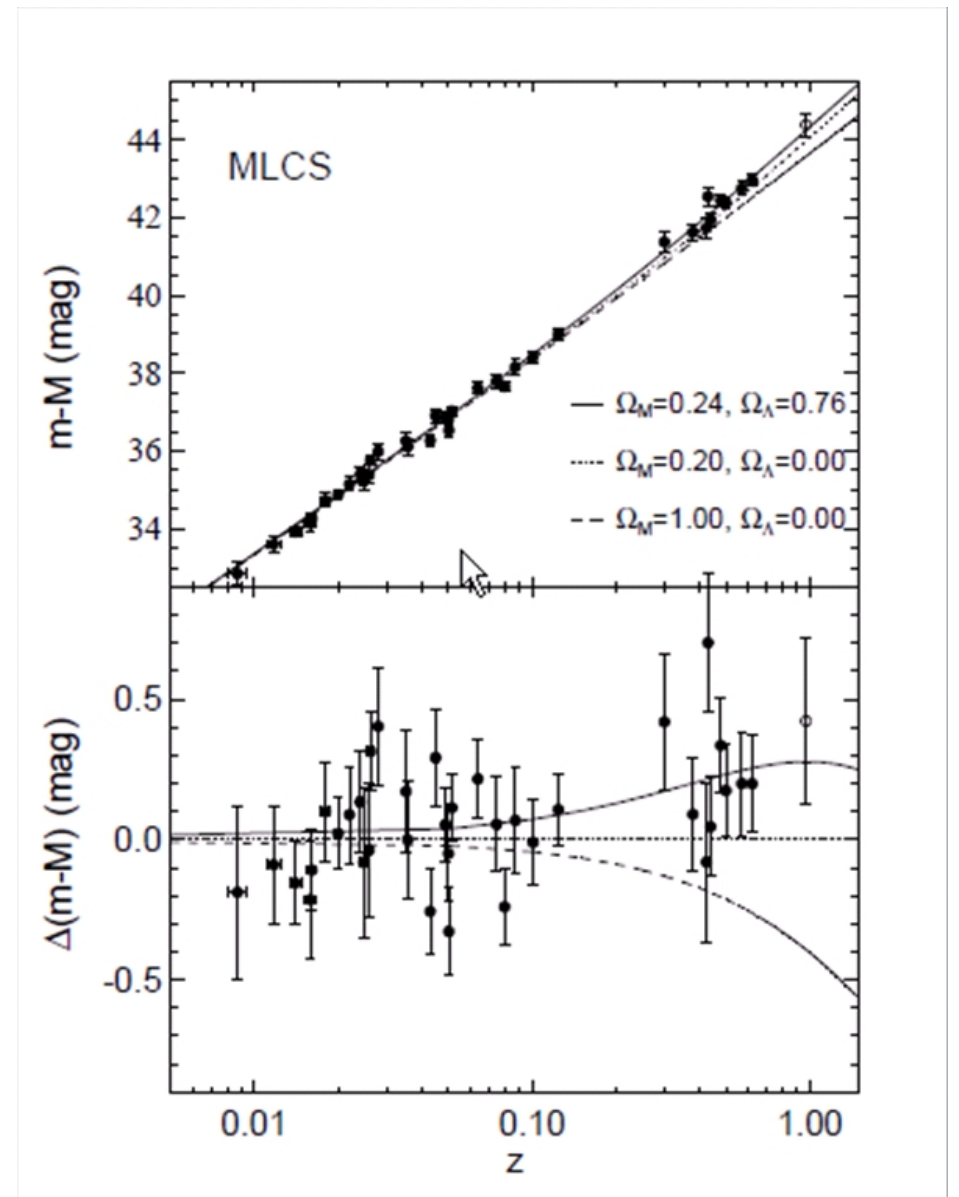


Nobelpreis 2011: Perlmutter, Riess und Schmidt

Supernovae als Normalkerzen

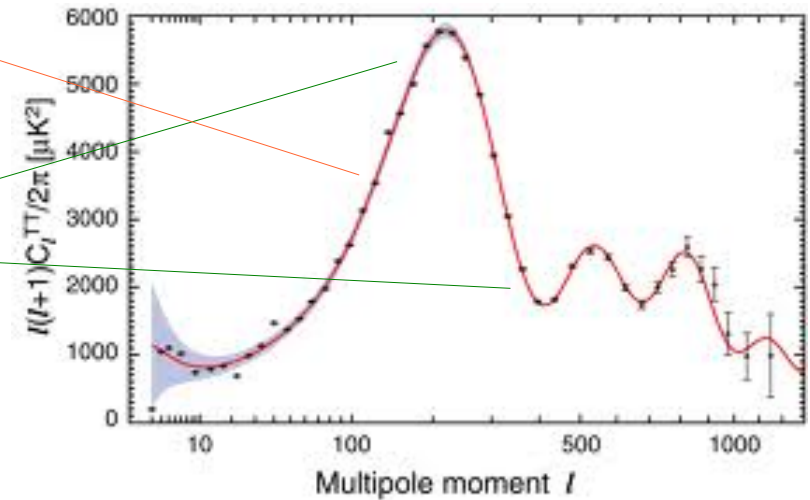
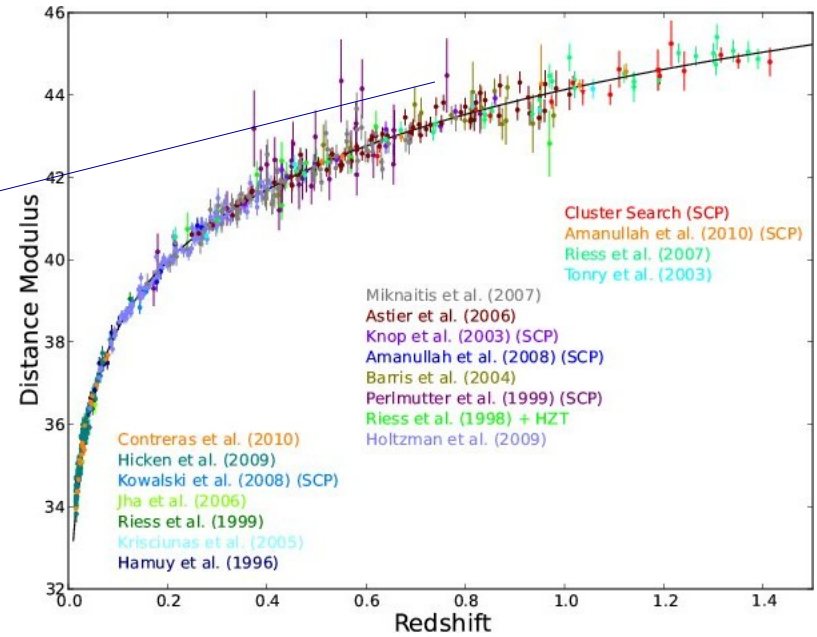
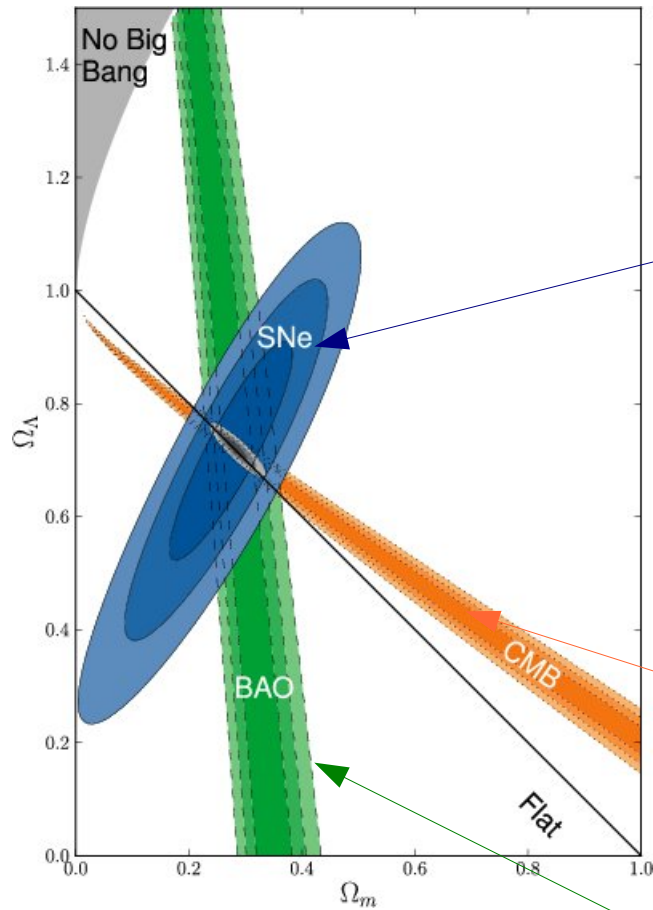


Supernova IA:
Weißer Zwerg + Roter Riese



Riess, Schmidt (1998): scheinbare Größe vs z

Parameter des Universums



„flaches“ Universum mit

$$\begin{aligned} \Omega_{\text{helle materie}} &= 0,045 \\ \Omega_{\text{dunkle materie}} &= 0,227 \\ \Omega_{\text{dunkle energie}} &= 0,728 \end{aligned}$$

Materie / Masse im Universum:

(konventionelle) Materie:
Galaxien, Galaxienhaufen,
kosmisches Spinnennetz

Anteil an der Gesamtmaterie:
4,5%

dunkle Materie:
WIMPs (=weakly interacting
massive particles)
noch unbekannte Teilchen,
supersymmetrische
Teilchen

Anteil 22,7%

dunkle Energie = vacuum energy, kosmologische
Konstante, Quintessenz

Anteil 72,8%

Nukleosynthese

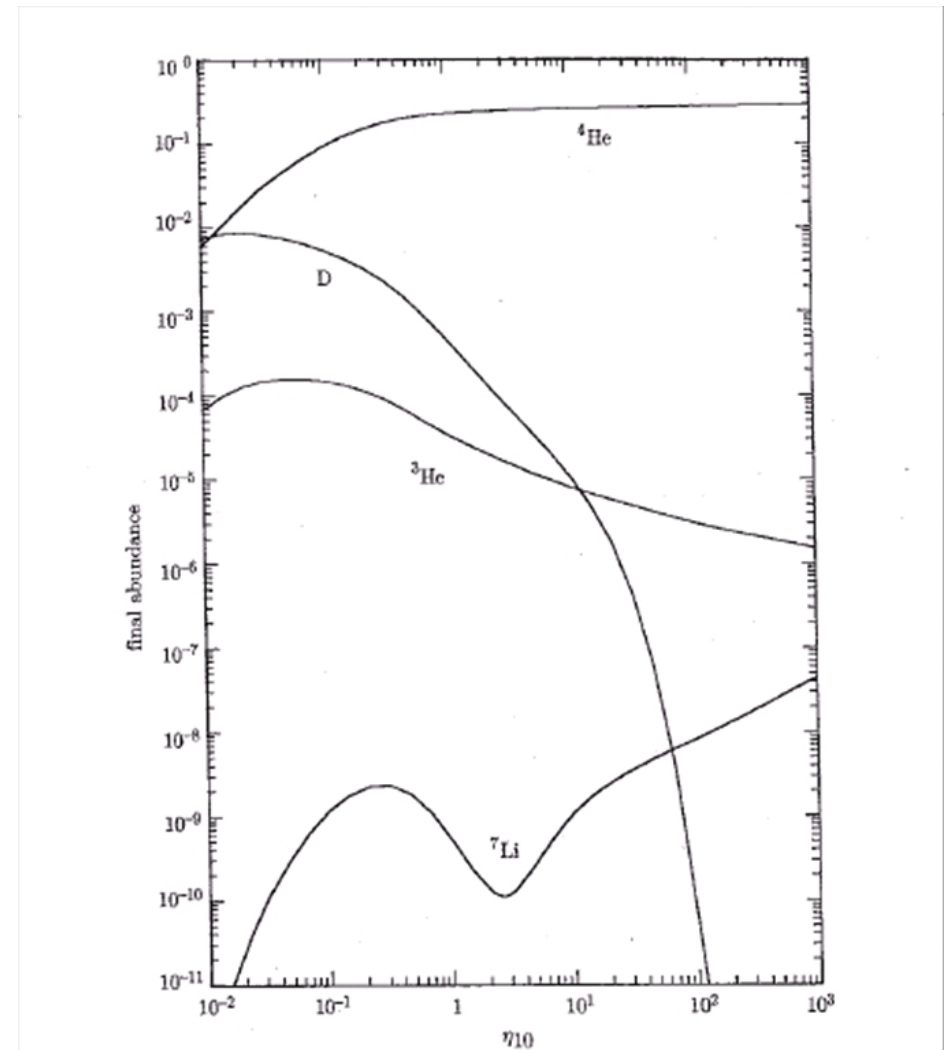
Die Baryondichte

$$\Omega_b \approx \Omega_{\text{materie}}$$

hängt sehr empfindlich mit der Deuteronhäufigkeit zusammen und kann aus der heute gemessenen Deuterondichte bestimmt werden:

$$\eta_{10} \sim \Omega_b$$

$$\eta_{10} = 7 \cong \Omega_b = 0.046$$



Schicksal des Universums

Beschleunigte Expansion für immer (?):

(Beginn der Zeit)

Urknall

+ 8	Milliarden Jahre	beschleunigte Expansion beginnt
+ 13,7	Milliarden Jahre	heute
+ 20	Milliarden Jahre	Milchstraße und Andromedanebel kollidieren
+ 100	Milliarden Jahre	keine weiteren Galaxien sichtbar
+ 1000	Milliarden Jahre	keine Spuren des Urknalls mehr auffindbar

Das Universum sieht aus wie um 1900

Steven Weinberg, The first three minutes (1977)

(Schlussparagraf)

Die Mühe, das Universum zu verstehen, gehört zu den wenigen Dingen, die das menschliche Leben ein wenig über das Niveau einer Farce hebt und ihm etwas von der Anmut der Tragödie gibt.

The effort to understand the universe is one of the very few things that lifts human life a little above the level of farce, and gives it some of the grace of tragedy.

Steven Weinberg, The first three minutes (1977)

(Schlussparagraf)

Wenn es auch keinen Trost in den Ergebnissen unserer Forschung gibt, so liegt wenigstens ein gewisser Trost in dem Forschen selbst. Männer und Frauen geben sich nicht zufrieden mit Märchen von Göttern und Riesen und richten ihre Gedanken nicht allein auf die täglichen Dinge; sie bauen auch Fernrohre, Satelliten und Beschleuniger und sitzen endlose Stunden an ihren Schreibtischen, um die Bedeutung ihrer Messwerte zu ergründen. Die Mühe, das Universum zu verstehen, gehört zu den wenigen Dingen, die das menschliche Leben ein wenig über das Niveau einer Farce hebt und ihm etwas von der Anmut der Tragödie gibt.

....that lifts human life a little above the level of farce, and gives it some of the grace of tragedy.