



Die dunkle Seite des Universums

Kai Zuber
Institut für Kern- und Teilchenphysik
TU Dresden



- Historische Einführung
- Das Alter des Universums
- Warum eine dunkle Seite?
- Was ist die dunkle Seite?
- Wie kann man sie nachweisen?

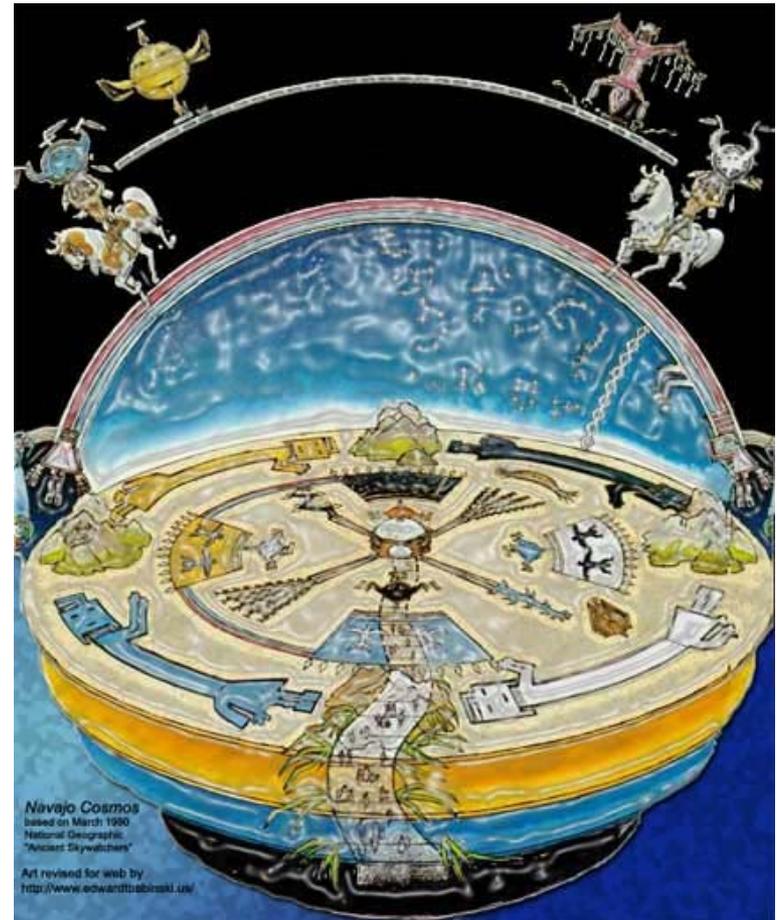
The mythological world view



Inka-Kultur

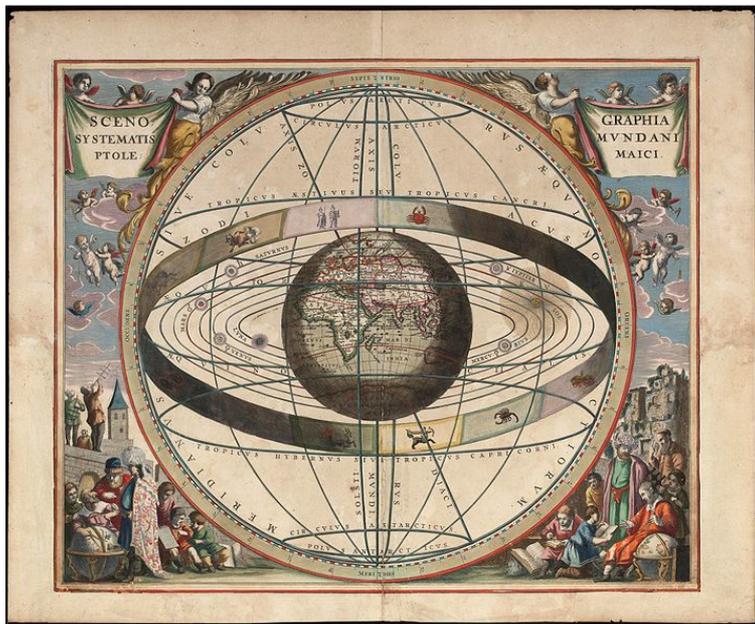


Navajo-Indianer

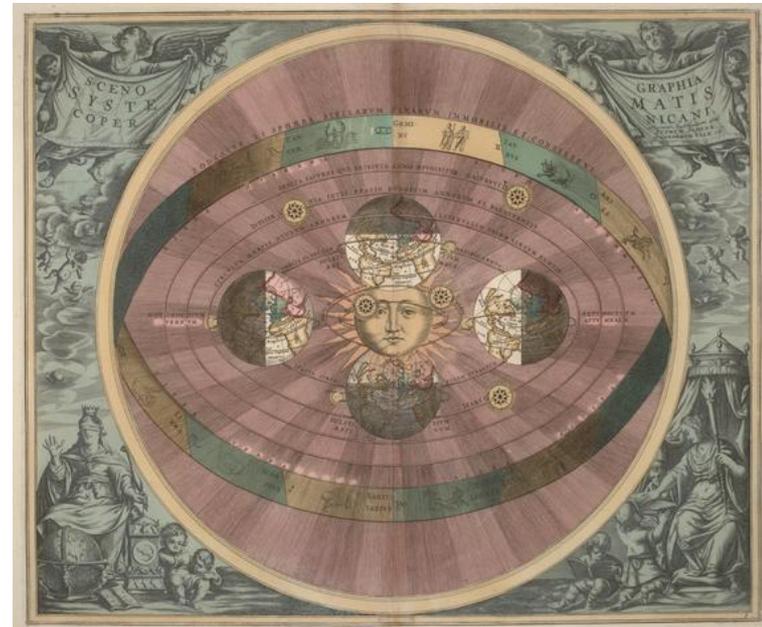


Weltmodelle im Mittelalter

Geozentrisch



Heliozentrisch





Wie alt ist das Universum?

Mindestens so alt wie die Erde...
also wie alt ist die Erde?

Mindestens so alt wie die ältesten Steine...
also wie alt sind die ältesten Steine?



Nord Quebec (Kanada)
nahe der Hudson Bay

Alter: 4.3 Milliarden Jahre!!!

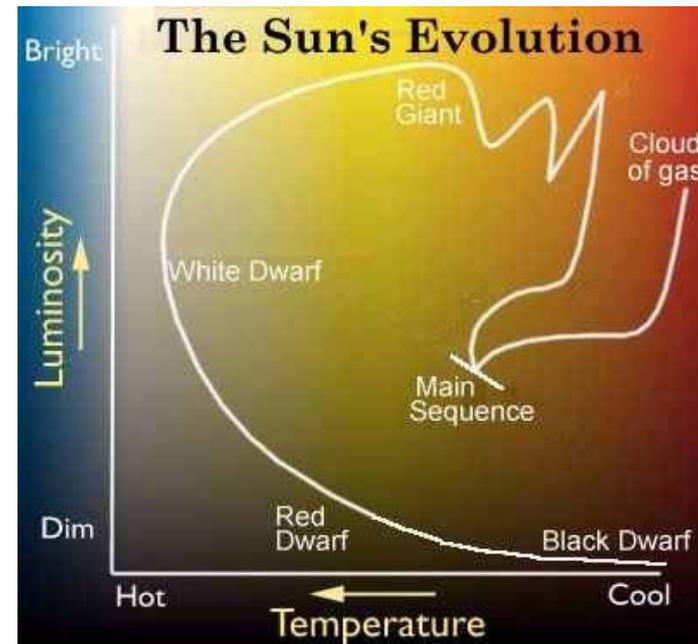
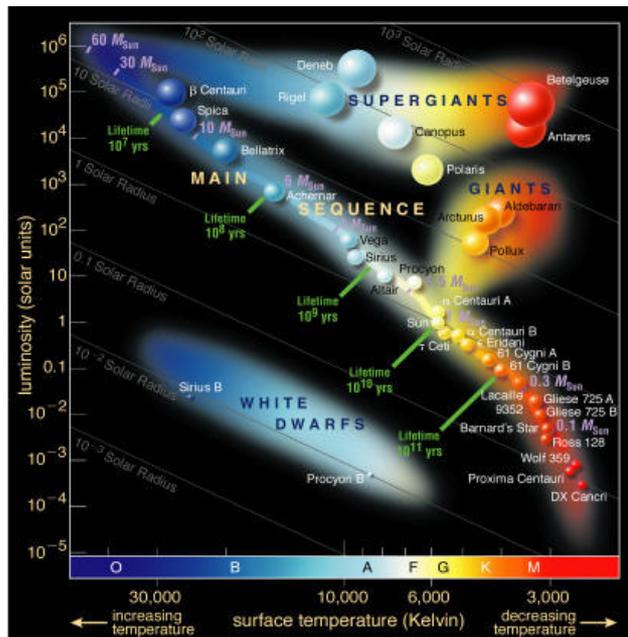
**Veröffentlicht:
September 2008**

Das Alter der Erde

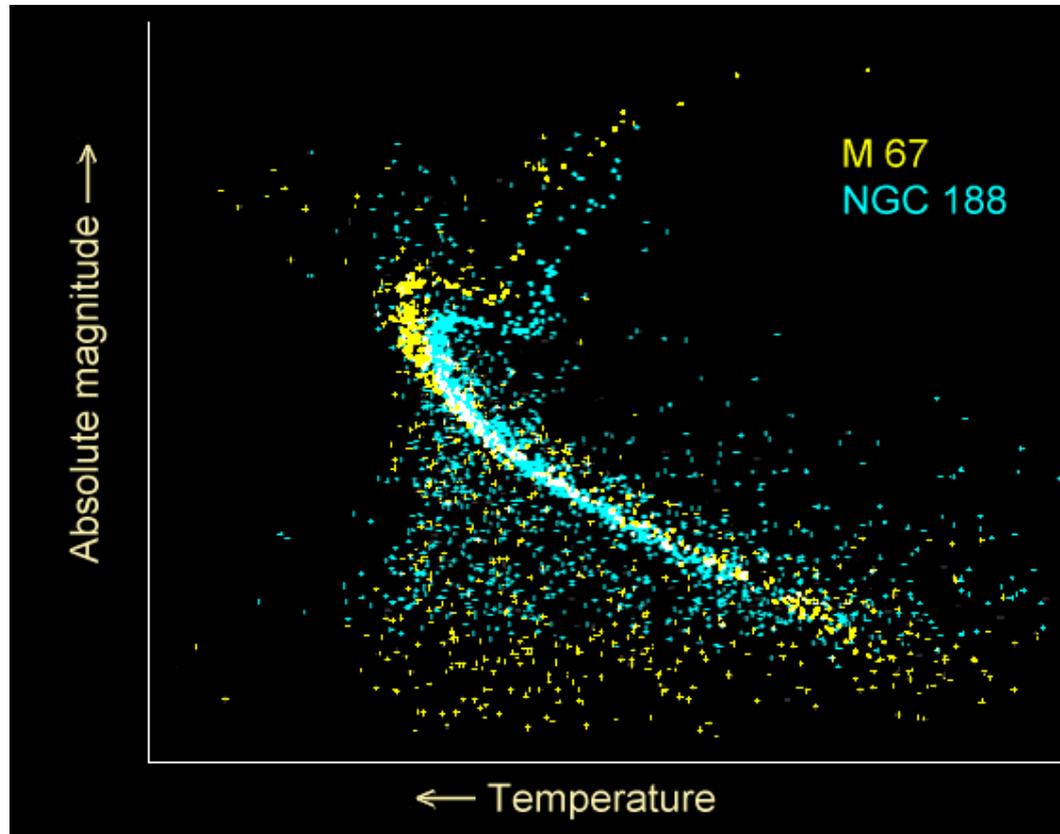
Die Erde ist so alt wie das Sonnensystem....
also wie alt ist die Sonne?

Modelle der Sterne und Altersbestimmungen von
Meteoriten sagen **4.53 Milliarden Jahre!**

Kann man generell Sterne benutzen um das Alter des
Universums zu bestimmen?



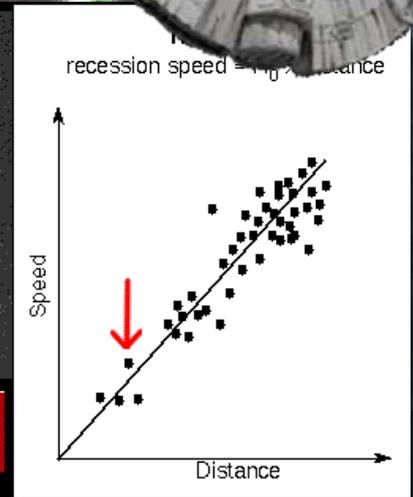
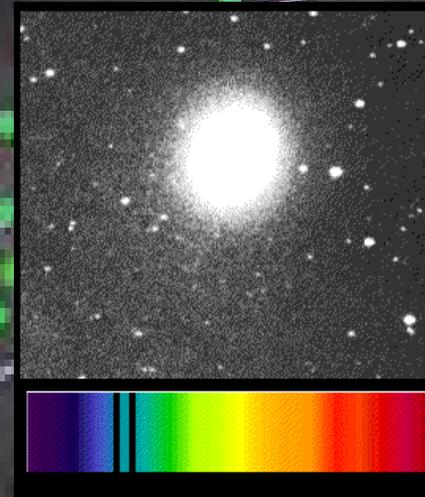
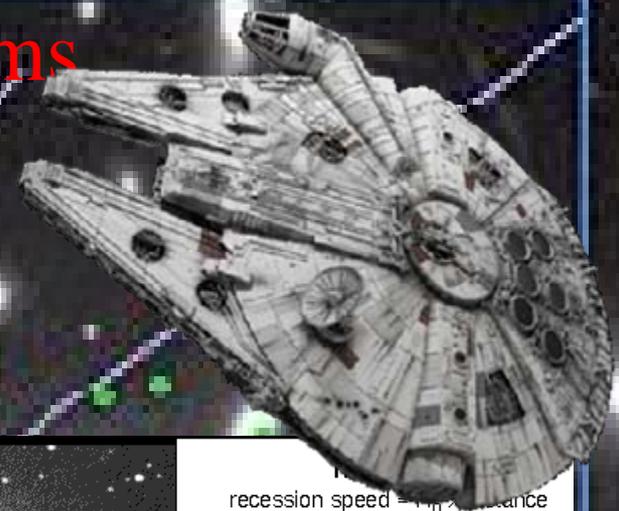
Kugelsternhaufen: Ansammlung von Sternen, die gleichzeitig entstanden sind



Abschätzung Alter des Universums: etwa 14 Milliarden Jahre

Die Expansion des Universums

$$H_0 = 100$$



$$v = cz = H_0 \cdot r$$

Je weiter weg, desto schneller

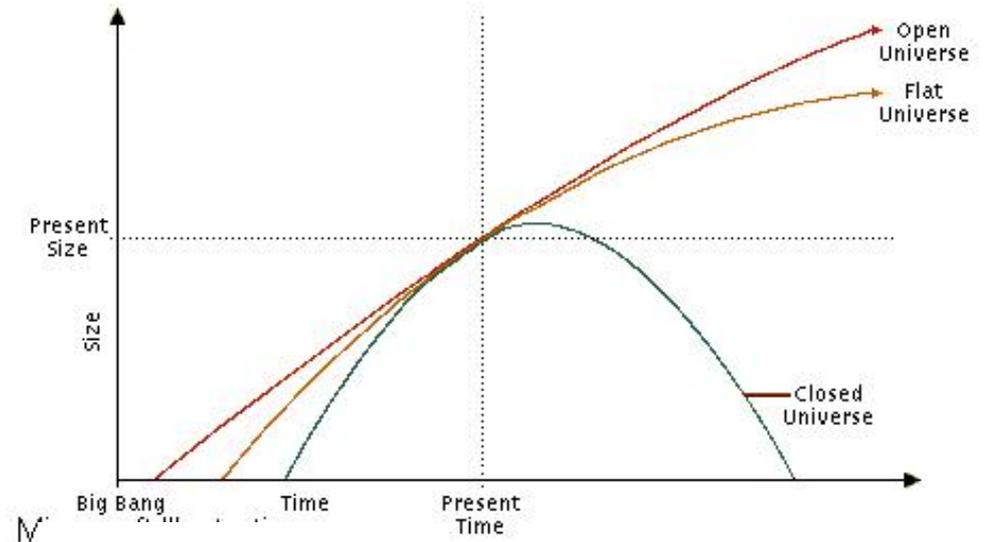
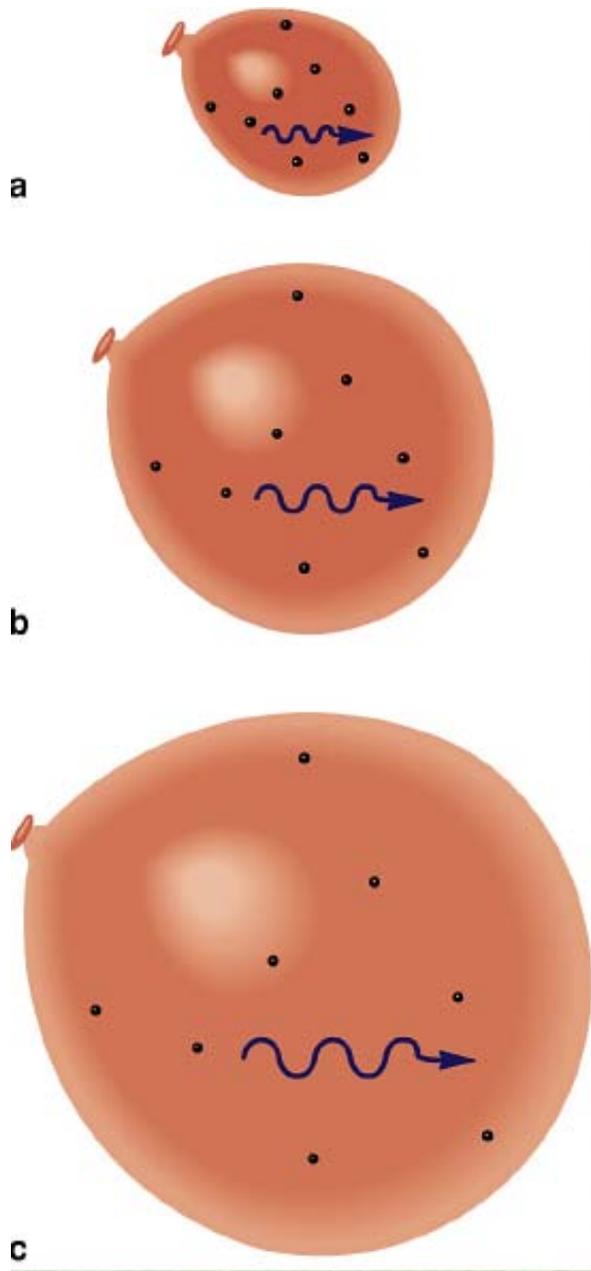
Velocity V_c (km s⁻¹)

13,000
12,000
11,000
10,000
9,000
8,000
7,000
6,000
5,000
4,000
3,000
2,000
1,000

0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200

Distance d (Mpc)

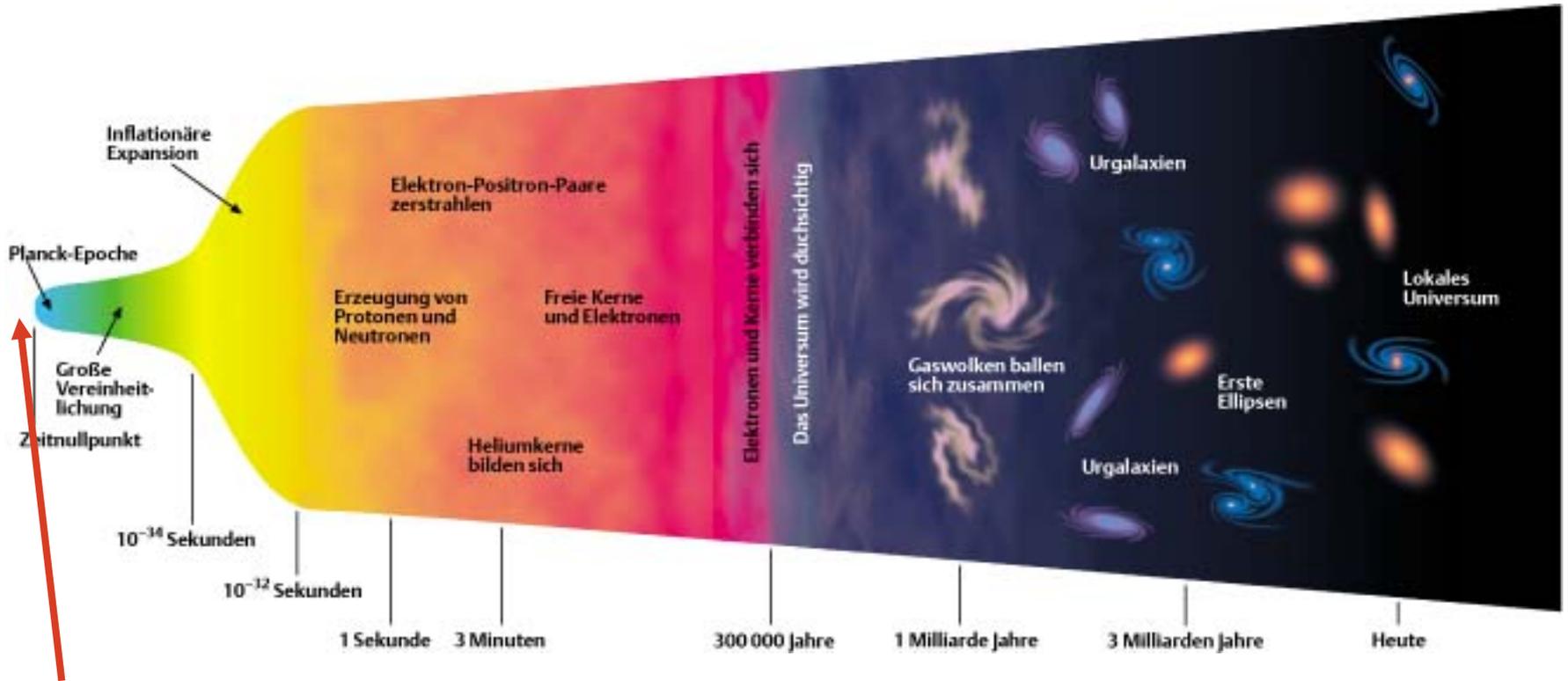
Die Entwicklung des Universums



Die entscheidende Größe ist die Materiedichte im Universum!

Kritische Dichte = flaches Universum

Die Evolution des Universums



↑
Entstehung
leichter
Atomkerne

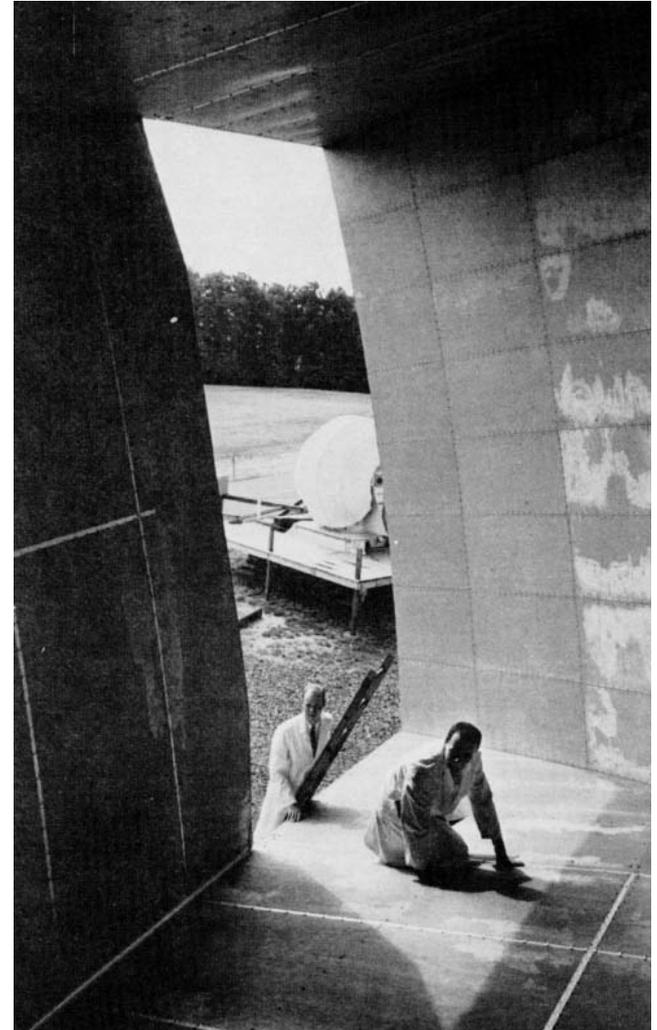
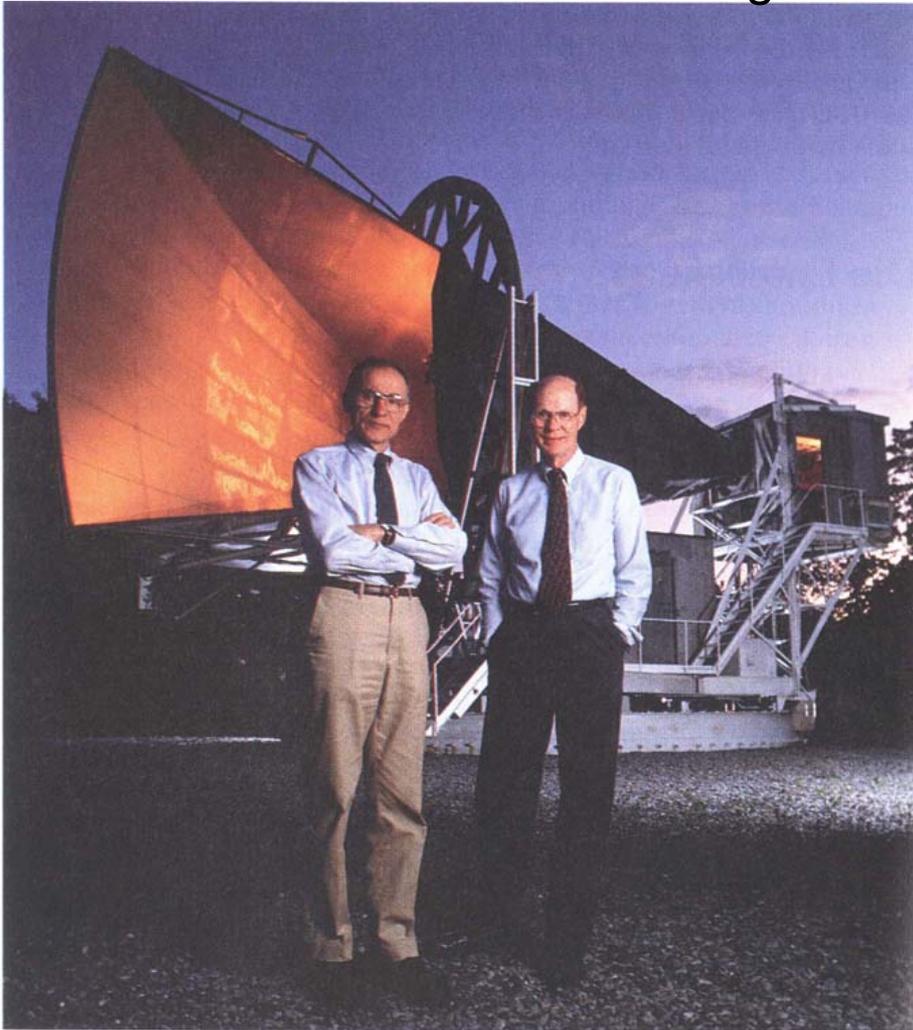
↑
Entstehung
leichter
Atome

↑
Beobachtung von
großen Strukturen
(Galaxienhaufen)

Die kosmische Hintergrundstrahlung

Das Nachglühen des Urknalls

Zufallsentdeckung durch Penzias & Wilson 1964



Die Temperatur beträgt in alle Richtungen etwa 3 K

1965



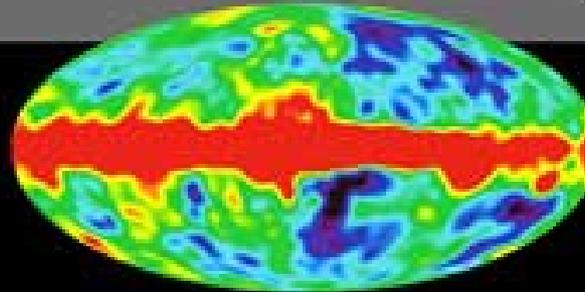
Penzias and
Wilson



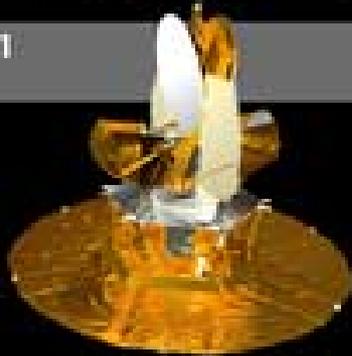
1992



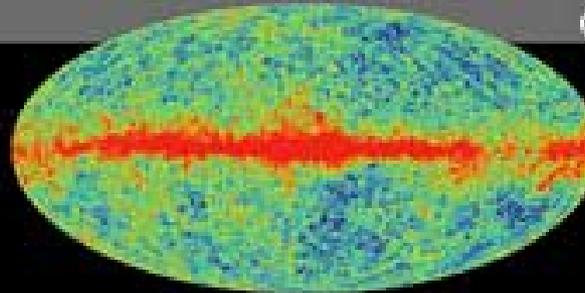
COBE



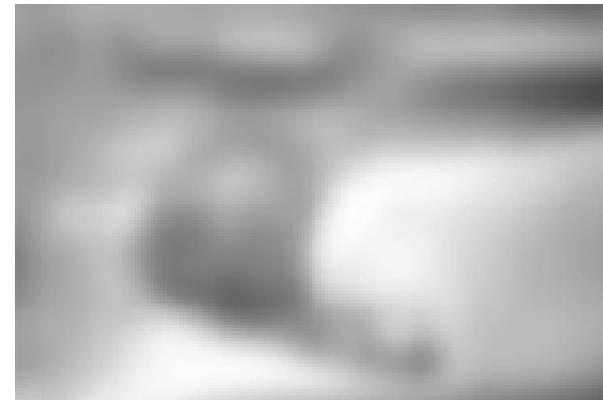
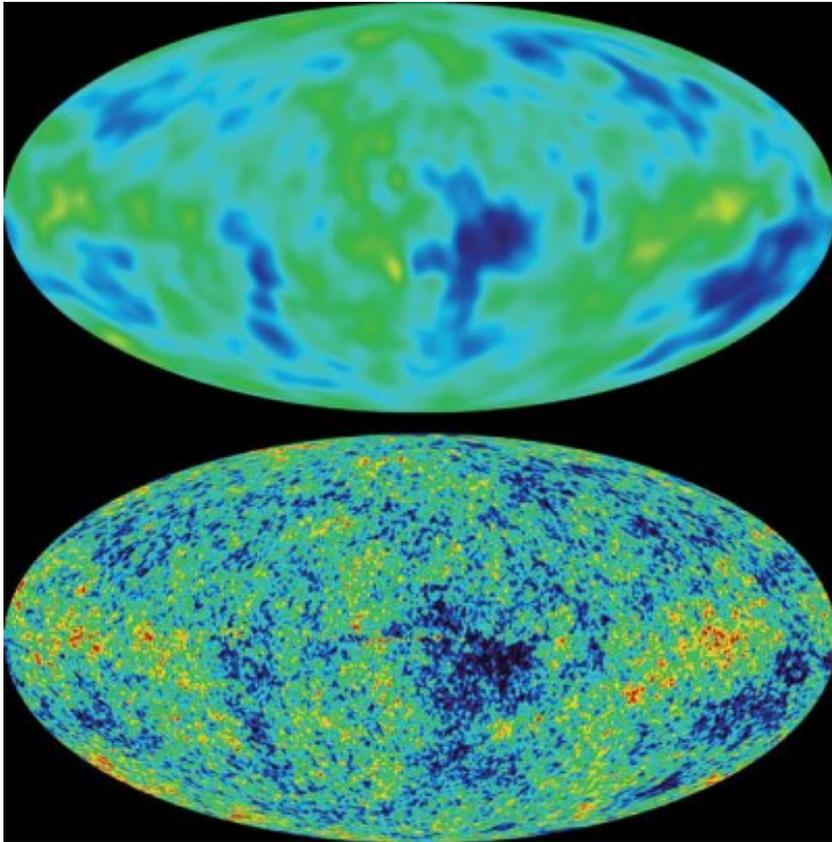
2001



MAP
(Simulated)



Nach Abzug aller bekannten Quellen sieht man jedoch Schwankungen im Bereich von $0,00001$ K



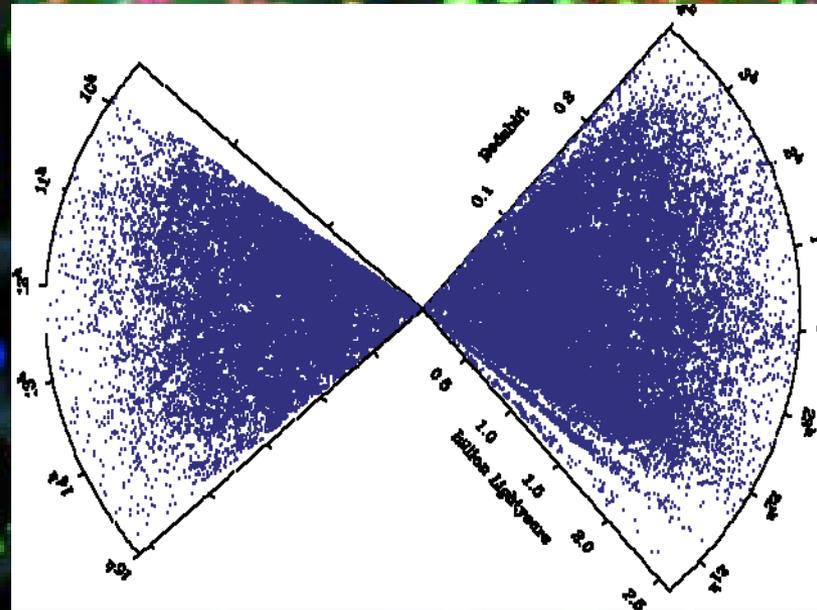
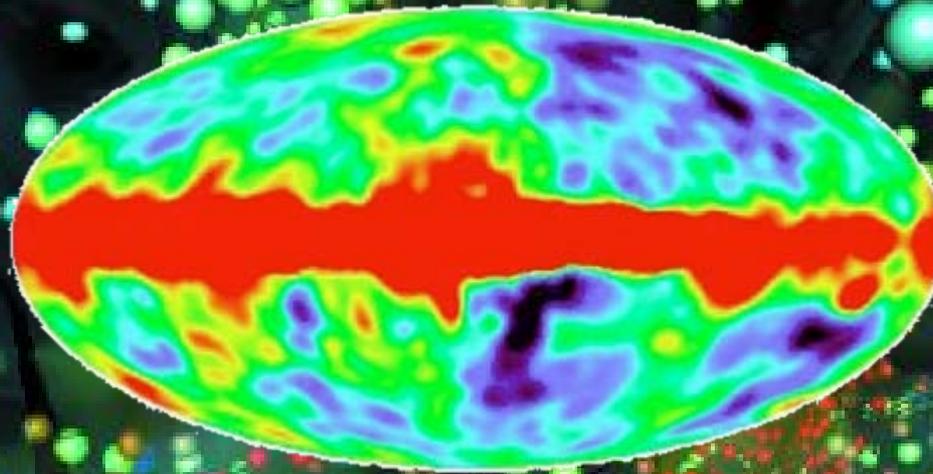
COBE
1994



WMAP
2007

Aus diesen Schwankungen formen sich später Galaxien

Struktur Formation



Wie schafft man das???

Primordiale Nukleosynthese

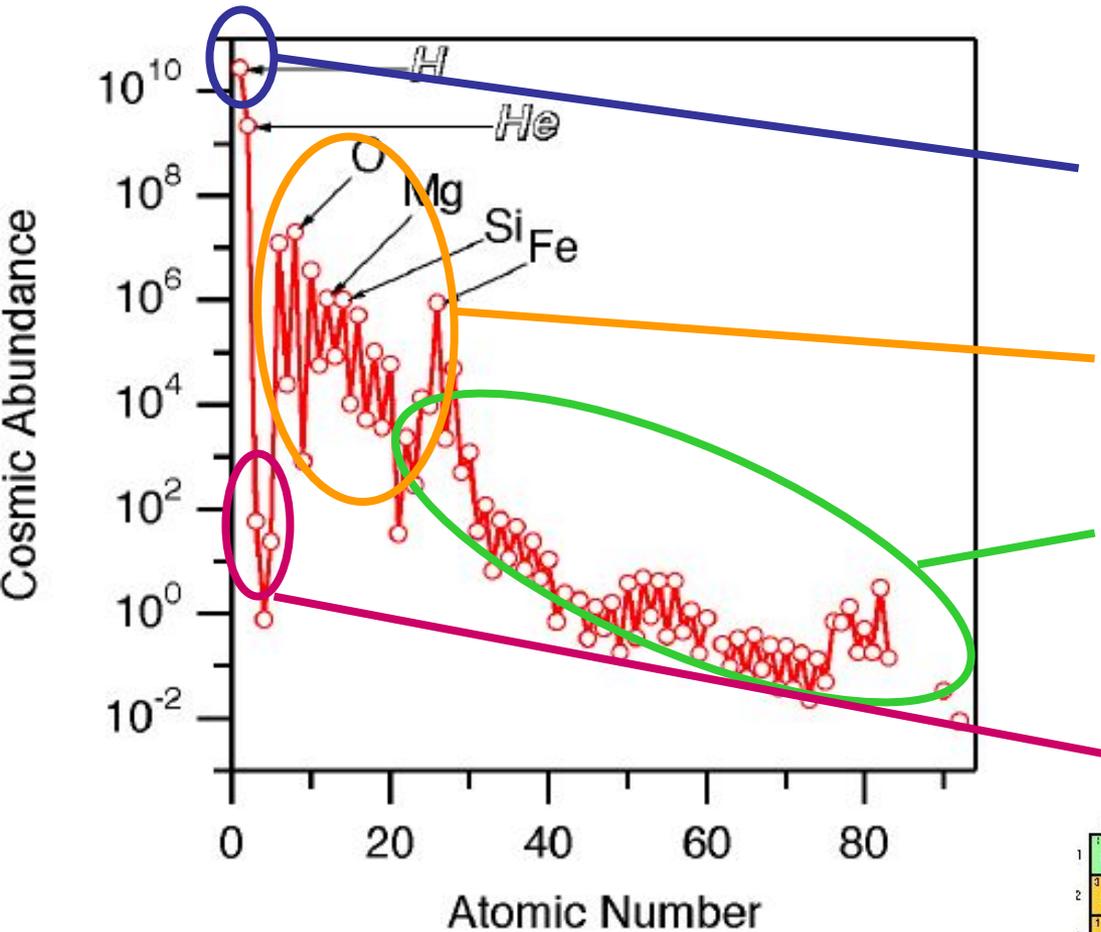
Die ersten 3 Minuten...



Produktion des Atomkerns von Helium und Lithium

Daraus ist alle normale Materie, die wir kennen, später entstanden!!!!

Ursprung der Elemente



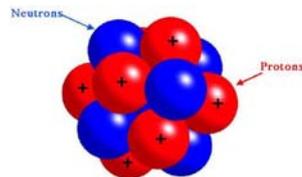
entstanden in:

Primordial Nucleosynthese

Heißen Sternen

Supernova Explosionen

Wechselwirkung der kosmischen Strahlung



Periodic Table of the Elements

1	IA																2	0
1	H	IIA																He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	Y	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	*La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	+Ac	Rf	Ha	Sg	Ns	Hs	Mt	110	111	112	113					

* Lanthanide Series

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu

+ Actinide Series

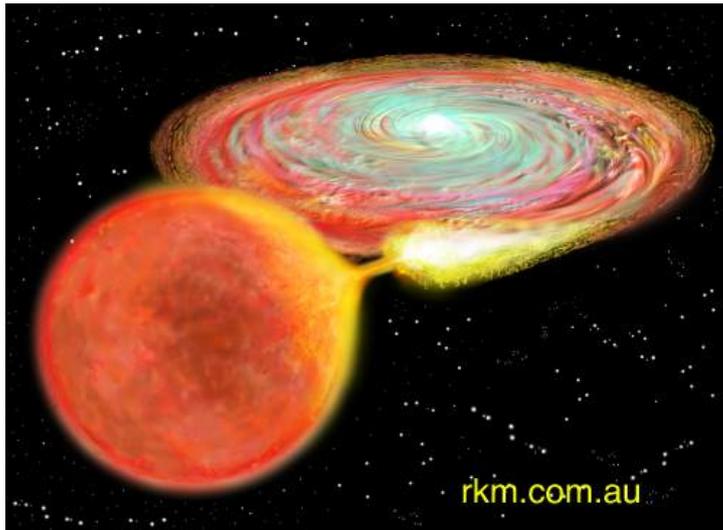
88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

Stand der Dinge (ca. 1995)

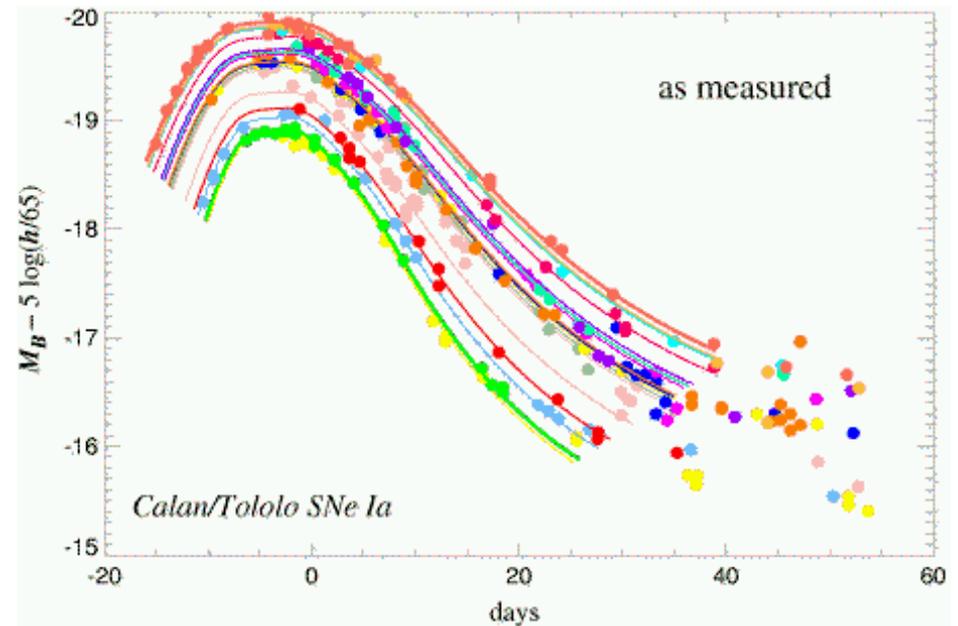
- Aus der kosmischen Hintergrundstrahlung und der großräumigen Struktur wusste man, dass die Dichte im Universum praktisch der kritischen Dichte entspricht
- Aus der primordialen Nukleosynthese und der Hintergrundstrahlung wusste man, dass nur ca. 10% davon normale Materie ist
- Mit dieser Zusammensetzung hätte man es nie geschafft, aus den Schwankungen in der Hintergrundstrahlung das heutige Universum zu produzieren

Einführung von dunkler Materie (in Form von Teilchen)

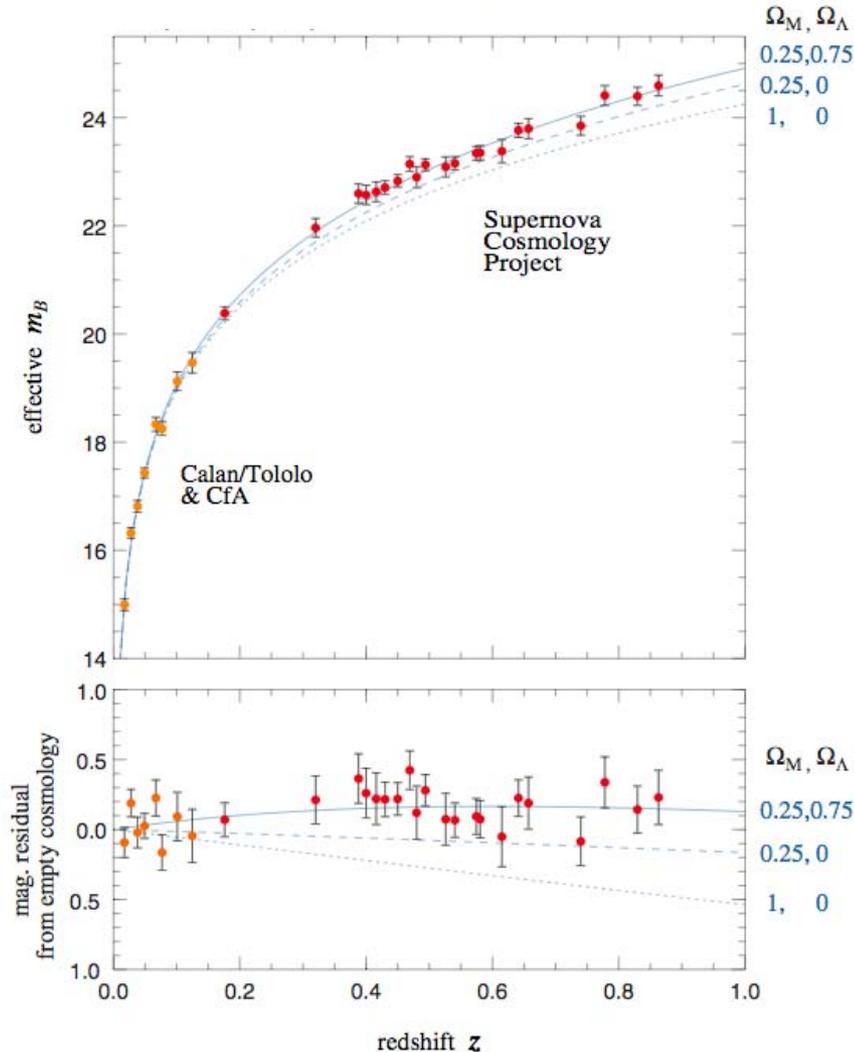
Supernova Typ Ia als Standardkerze



Die gleiche Explosionsart
immer die gleiche
Lichtkurve



Wir schreiben das Jahr 1996....



Beobachtung von
Supernova mit großer
Entfernung

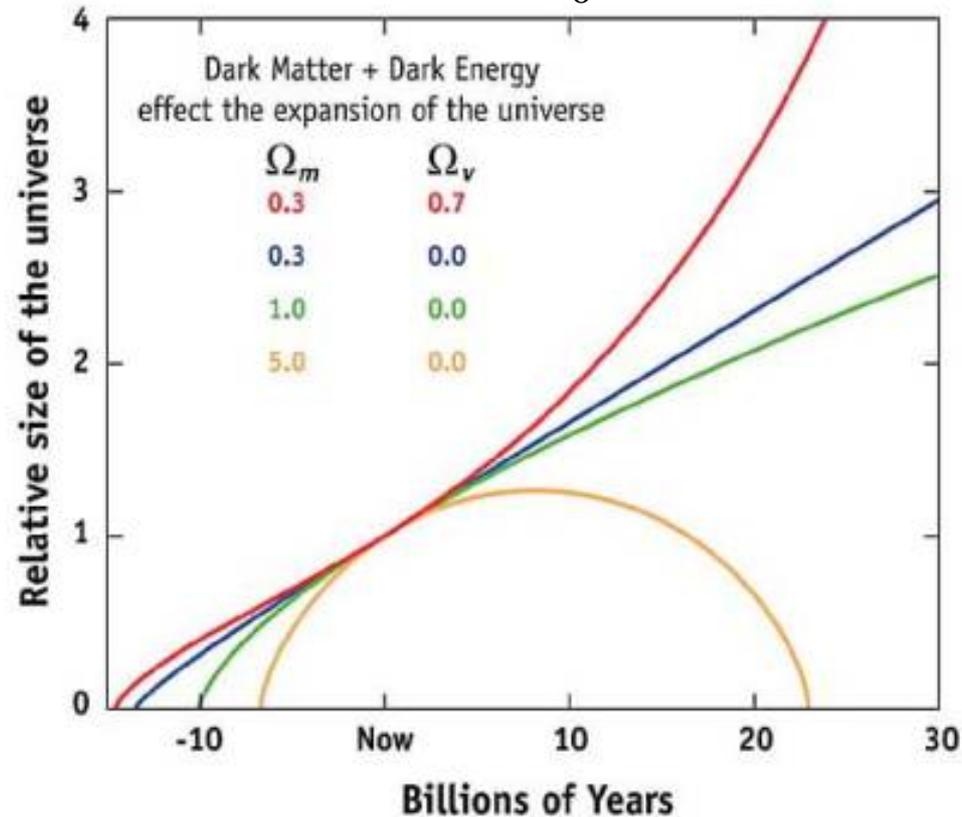
Ist nicht mit den damaligen
kosmologischen Modellen
vereinbar

Erfordert neuen Beitrag
zur Dichte im Universum
Bester Kandidat:

Die kosmologische
Konstante = die Energie des
Vakuums (dunkle Energie)

Kosmologische Konstante = Energiedichte des Vakuums

$$\Omega_{\Lambda} \approx \frac{\Lambda}{3H_0^2}$$



MAP990350

$p = -\rho \rightarrow$ beschleunigte Universen

Wir schreiben das Jahr 1916...



Allgemeine Relativitätstheorie

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = -\frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu} + \Lambda$$

Mit der neuen Konstante ist ein statisches Universum möglich!

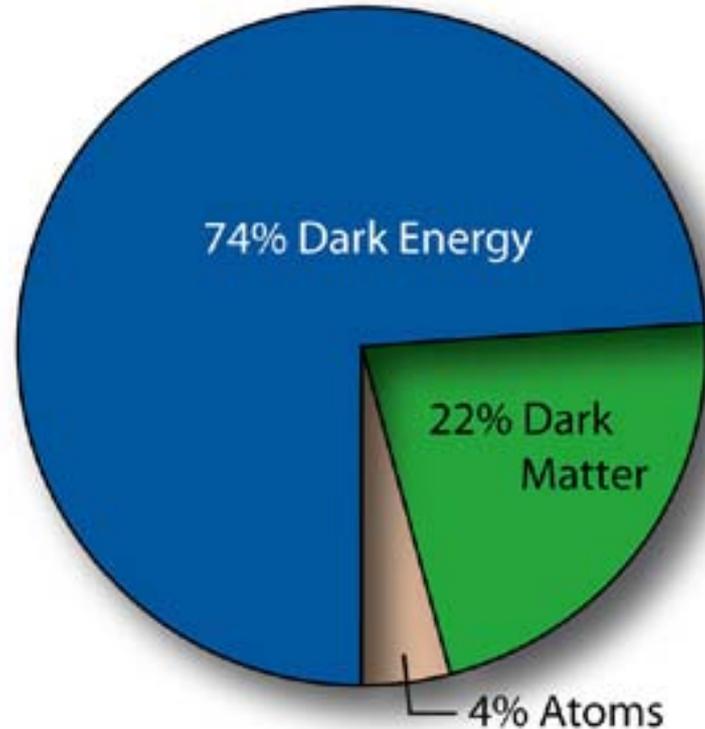
1929 beweist Hubble Expansion des Universums!

Das kosmologische Standard Modell (Λ CDM Modell) Version 2008

$$\Omega_0 = 1.03 \pm 0.06$$

$$\Omega_m = 0.3 \pm 0.1$$

$$\Omega_\Lambda = 0.7 \pm 0.3$$



Das Universum ist dominiert von der dunklen Seite

Die Dunkle Materie Teilchen



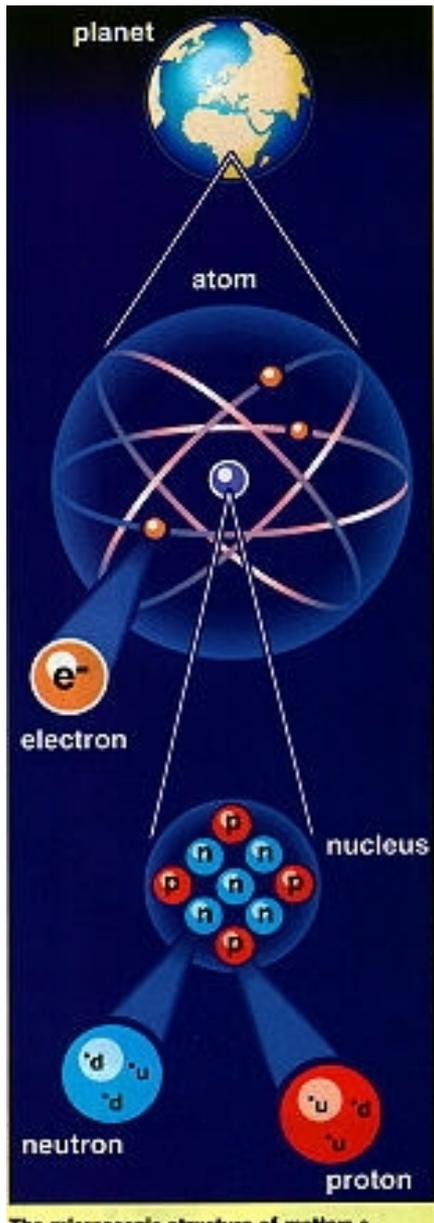
Aus welchen Teilchen besteht die Dunkle Materie?

Das ist eine gute Frage....

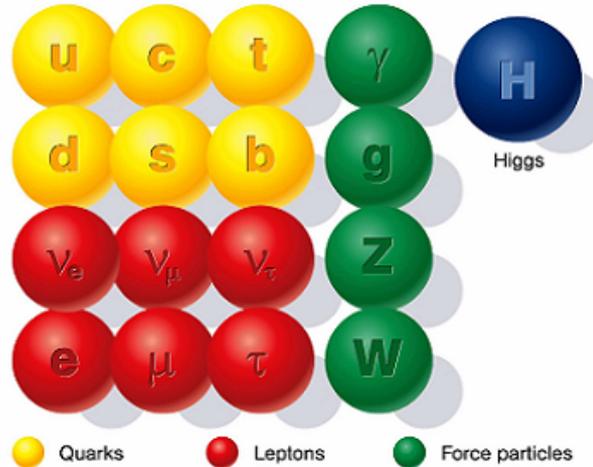
Wie kann man diese Teilchen nachweisen?

Die Frage ist noch besser, vor allem wenn man gar nicht weiß, wonach man eigentlich sucht...

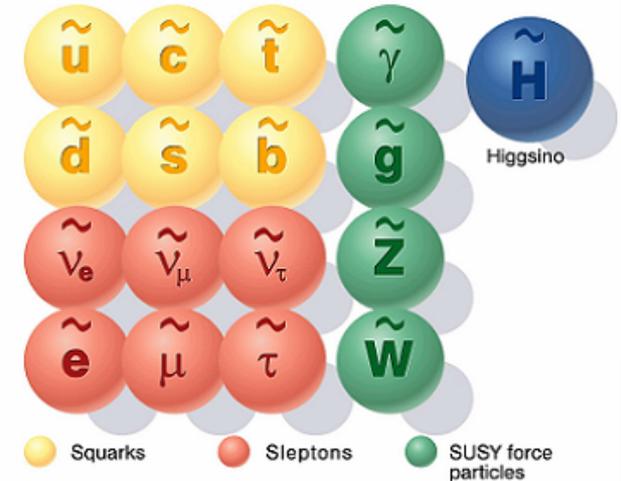
Die Welt der kleinsten Teilchen



Standard particles

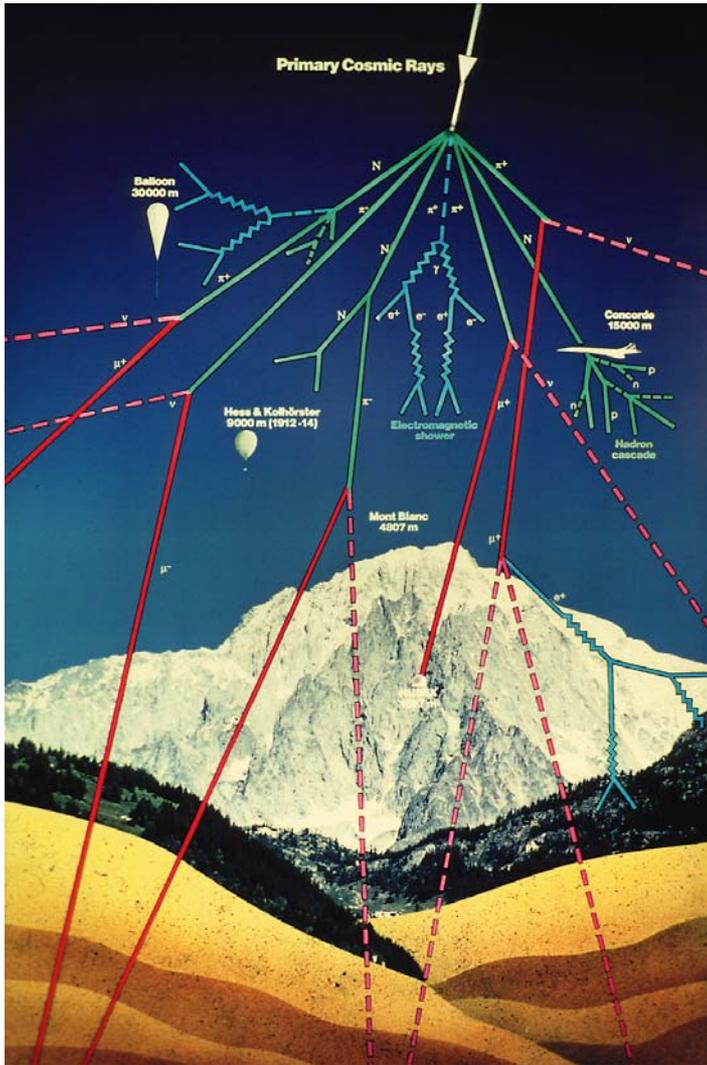


SUSY particles

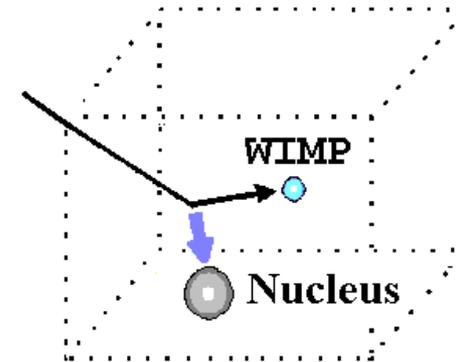


Der beste Dunkle Materie Kandidat ist das leichteste SUSY Teilchen, produziert im Urknall und seitdem als Dunkle Materie im All

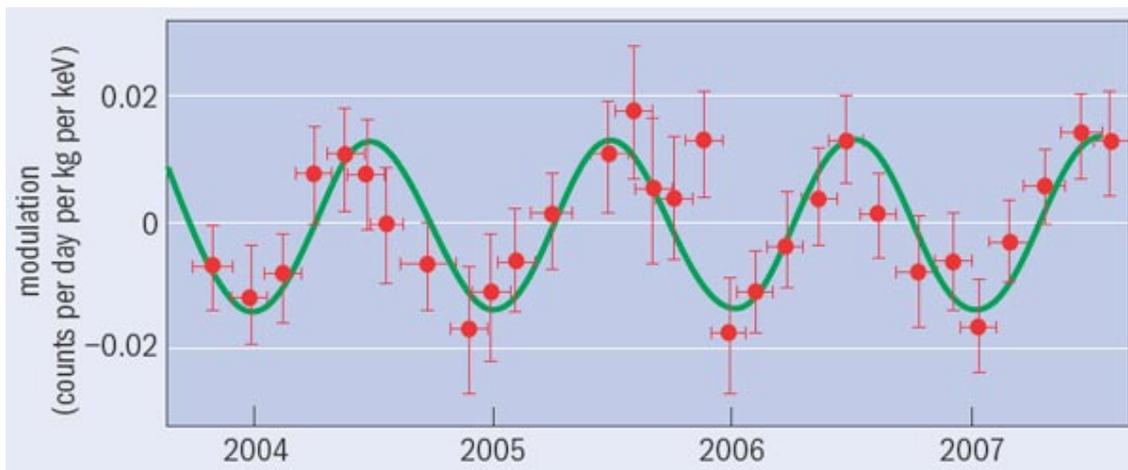
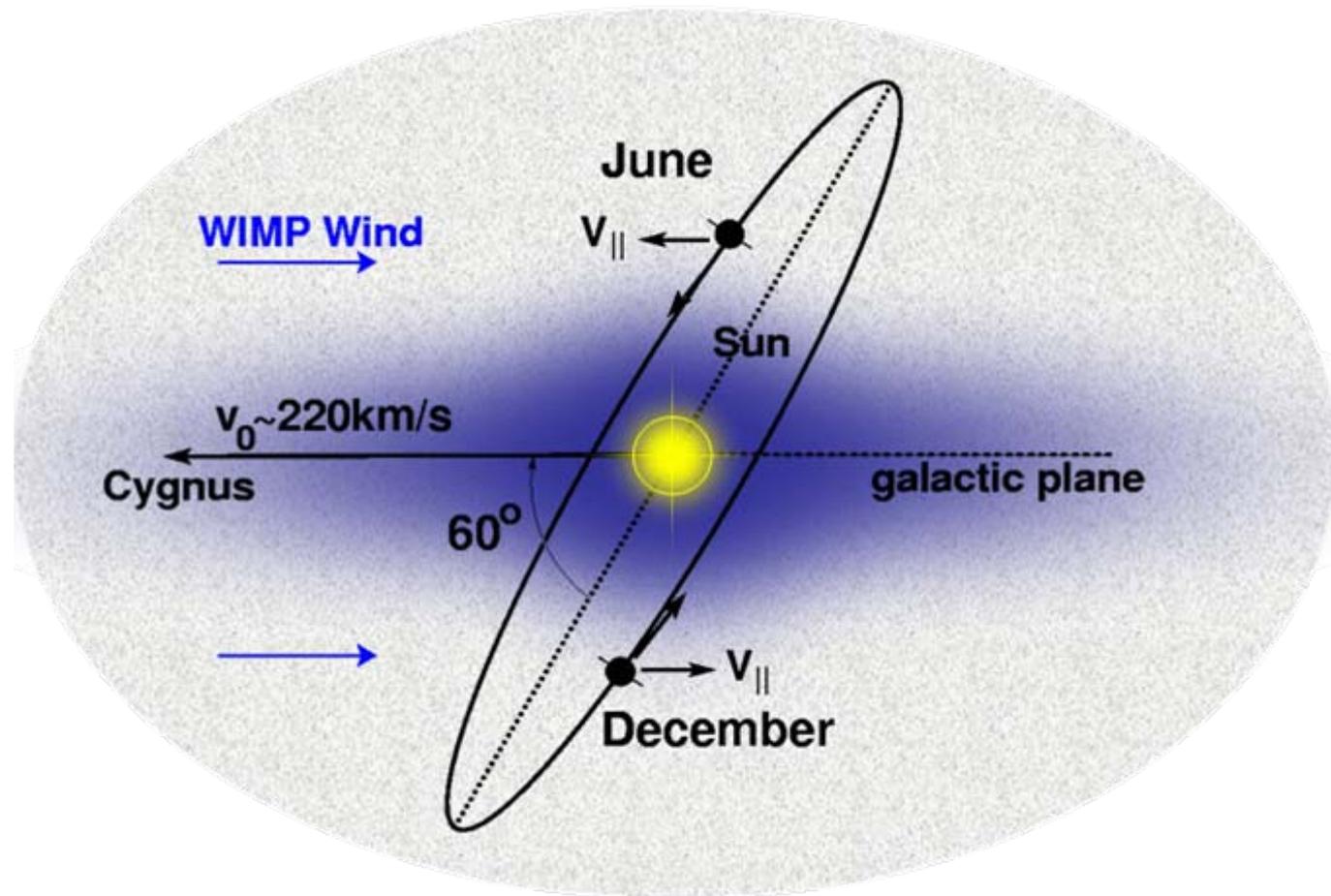
Der direkte Nachweis dunkler Materie Teilchen aus dem All....



Dunkle Materie Teilchen spielen Billiard!



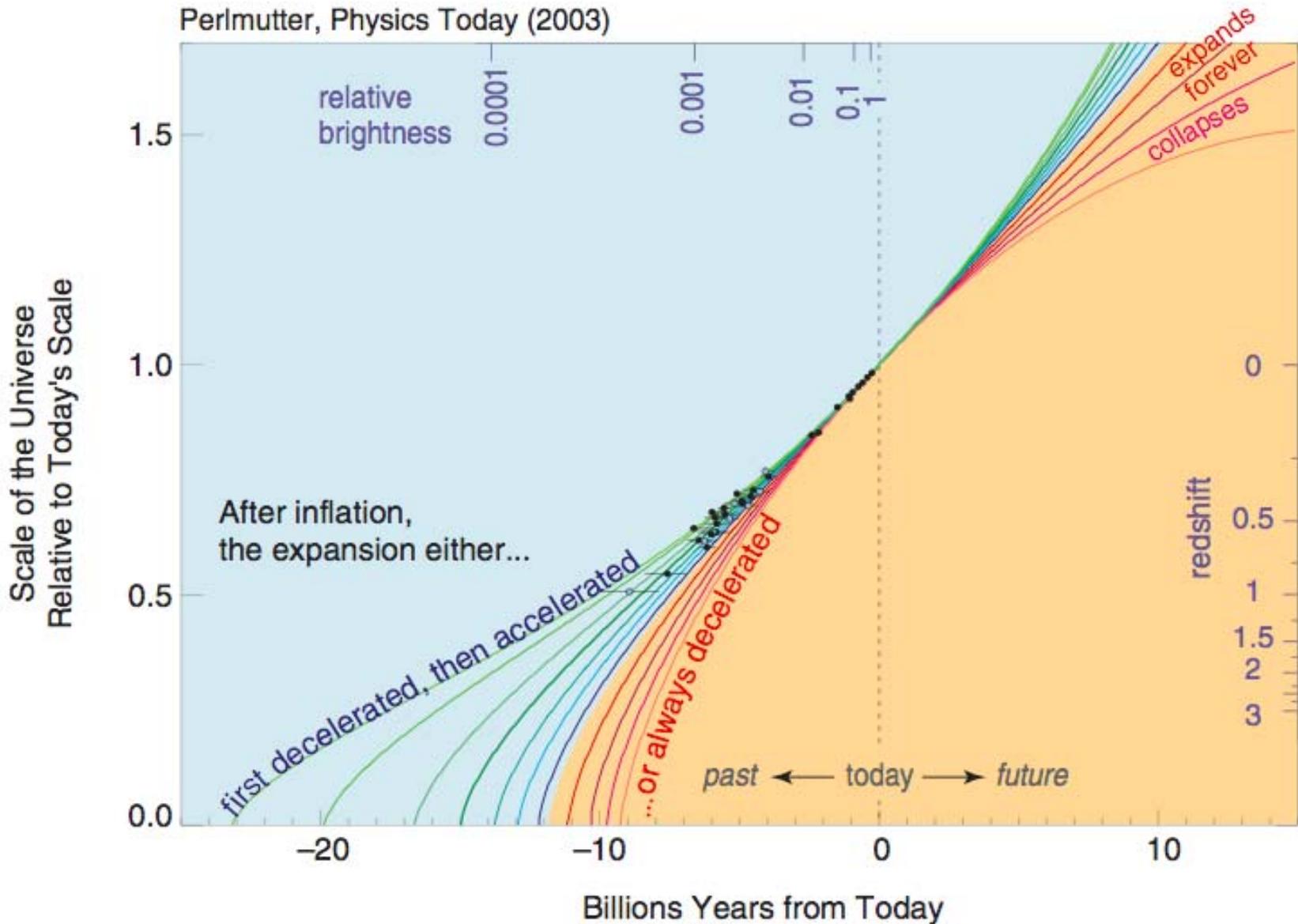
gelingt nur unter Tage



Ist das der Nachweis?????

Expansion History of the Universe

Perlmutter, Physics Today (2003)



Die Vorstellungen über unser Universum haben sich in den letzten 15 Jahren stark verändert.

95% der gesamten Dichte im Universum liegen in einer bislang unbekanntem, dunklen Form vor.

Die kosmologische Konstante und unbekannte Teilchen scheinen am ehesten geeignet zu sein, diese dunkle Seite zu erklären.



Der Fortschritt in der Kosmologie

