

Das dynamische Universum

**terra
incognita.**

Weltbilder –
Welterfahrungen

29.10.2011 bis 3.2.2012



Bruno Leibundgut
European Southern Observatory (ESO)

Die beleuchtete Erde





Unser Platz im Universum



Unsere Heimat

Apollo 8



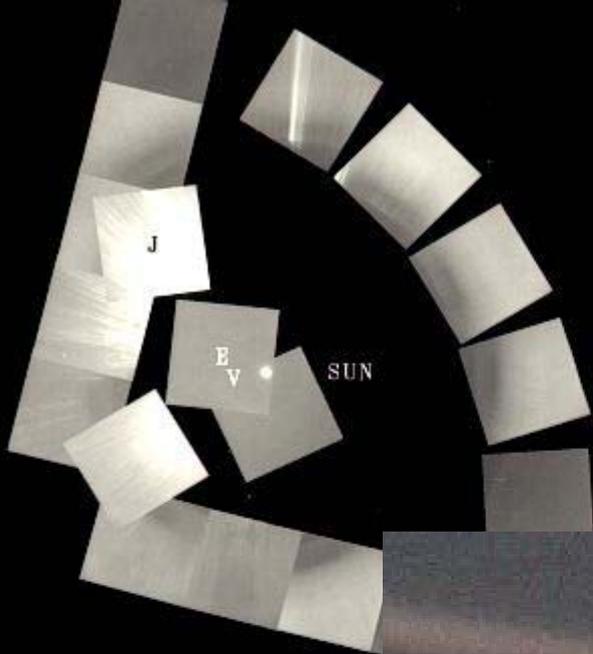
Unsere Erde





Der Blick ins Sonnensystem

Voyager 1



JUPITER



EARTH



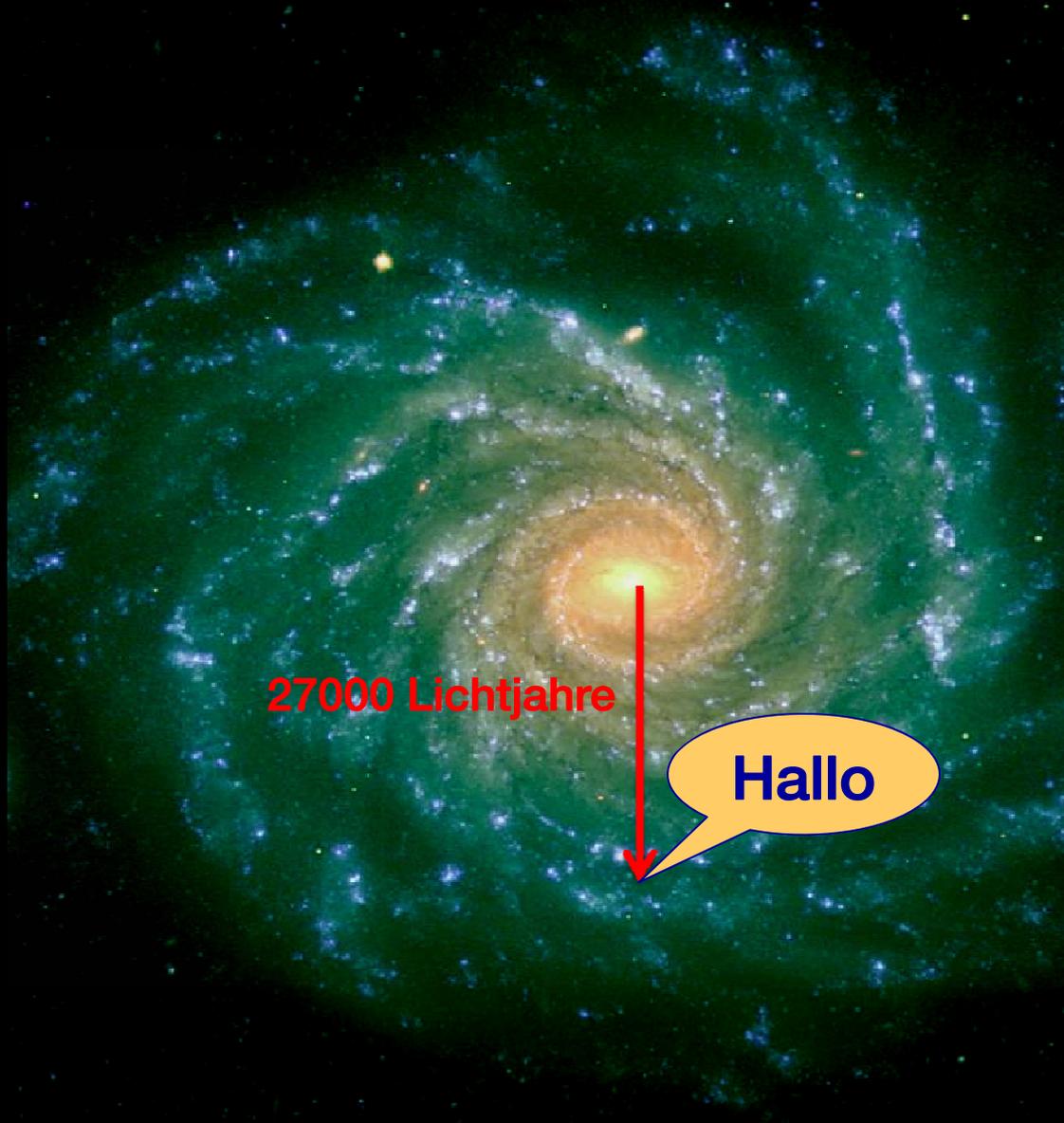
VENUS

Beobachtungen des Unsichtbaren



Reise zum Zentrum der Milchstrasse

Unser Platz in der Milchstrasse

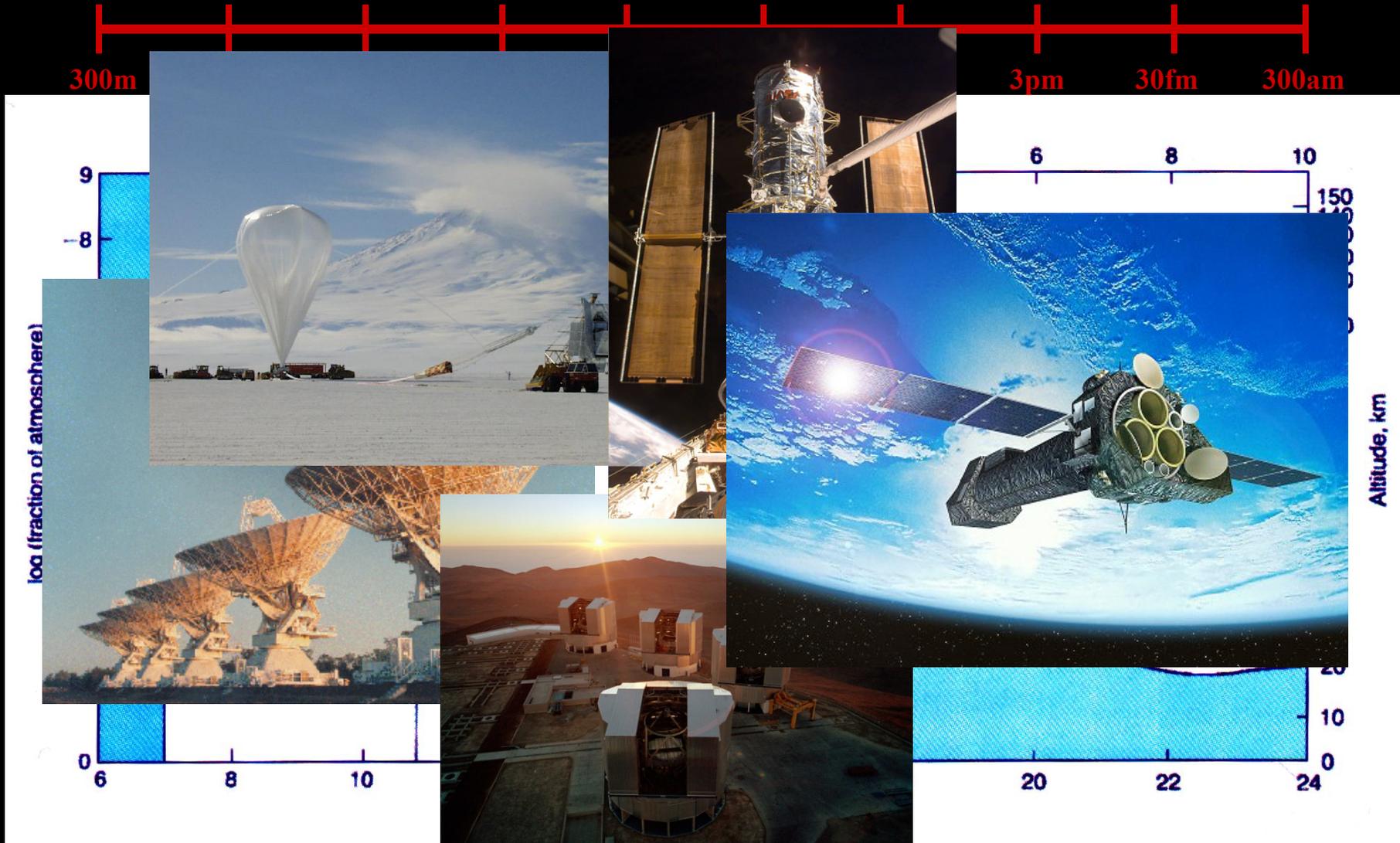


27000 Lichtjahre

Hallo

Die Erdatmosphäre

Schutzschild und Fenster zum All



Mehr als die Vergangenheit interessiert mich die Zukunft, denn in ihr gedenke ich zu leben.

Ich denke nie an die Zukunft, sie kommt bald genug.

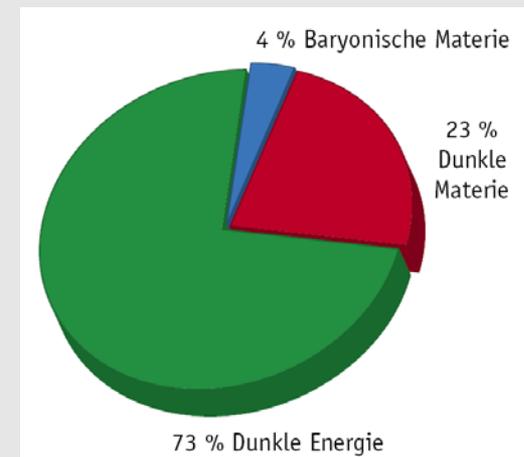
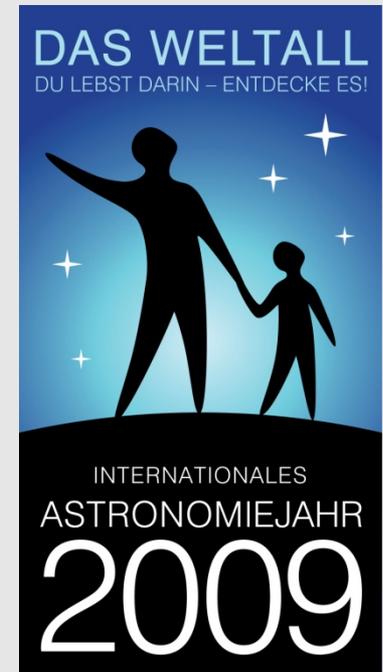
Albert Einstein

Gedanken zur Zukunft

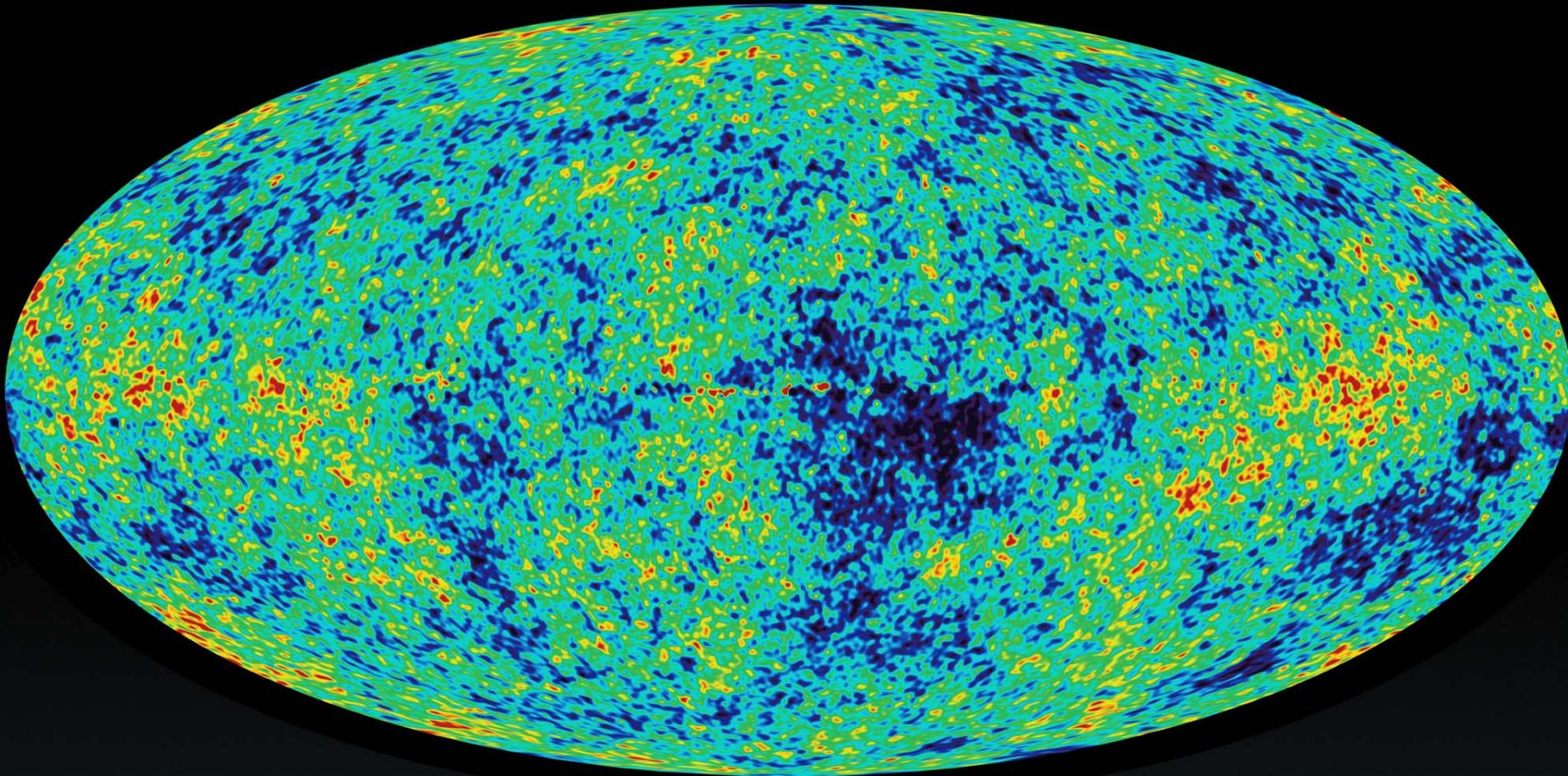
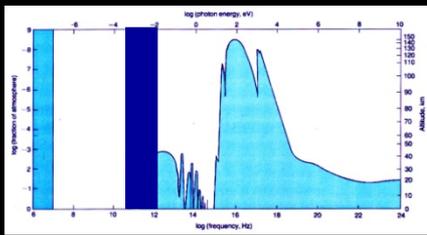
- Die Zukunft basiert auf den Erfahrungen der Vergangenheit
 - Physikalische Vorhersagen basieren immer auf Extrapolationen von vergangenen Prozessen und Zuständen

Das unbekannte Universum

- Aus was besteht das Universum?
- Wie hat sich das Universum entwickelt?
- Was ist die Zukunft des Universums?
- Wie vermessen wir das Universum?
 - **Supernovae**
 - Feuerwerk im Universum



„Unsichtbar“



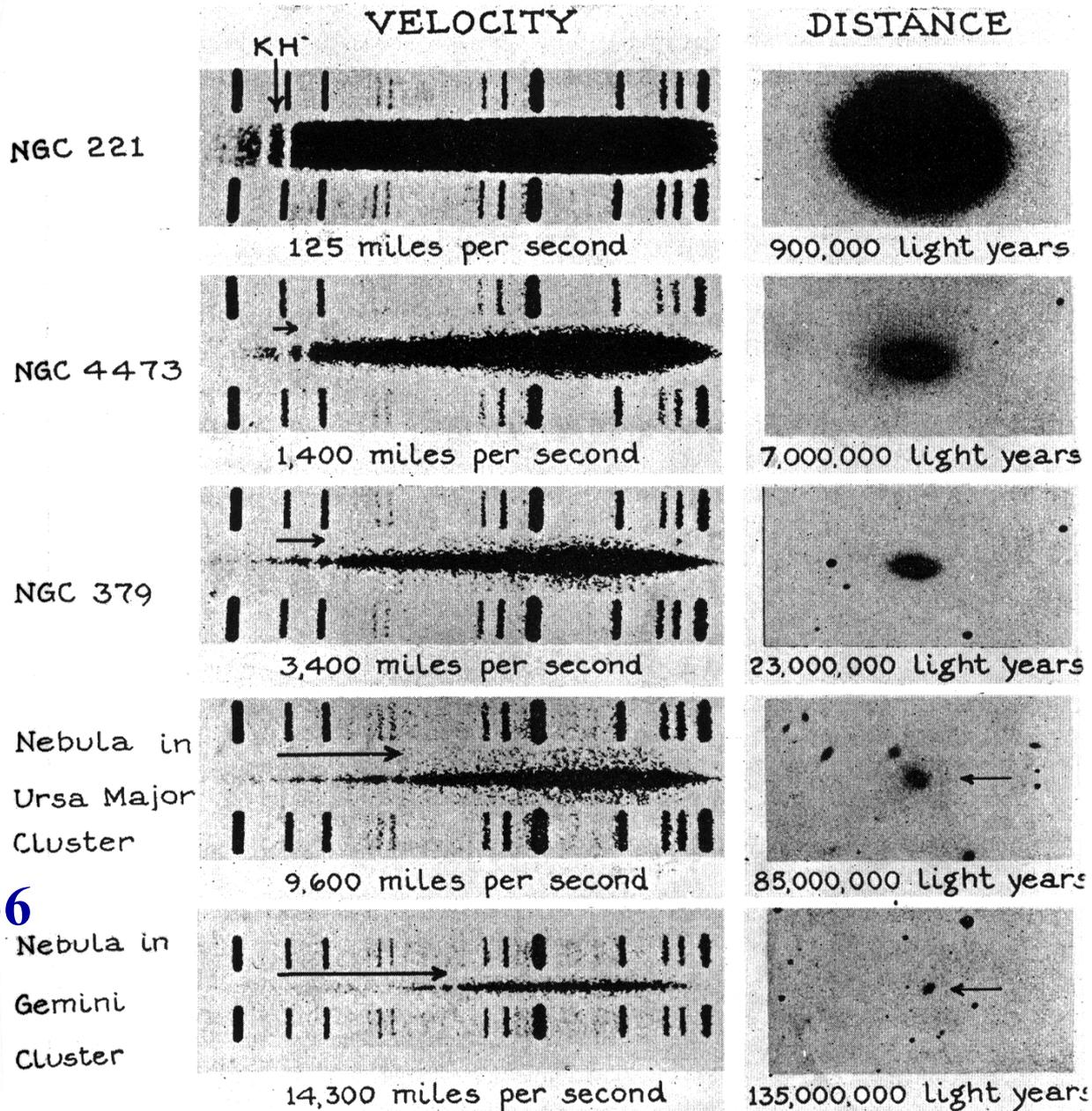
Das „unsichtbare“ Universum

- Große Teile des Universums sind dunkel
- „Dunkle“ (nicht leuchtende Materie) ist überall
 - e.g. Planeten, Moleküle, Staub, kühles Gas
- Messungen durch indirekte Phänomene
 - ▶ Gravitation!
 - ▶ Model für die Entwicklung des Universums
 - ▶ Einstein's Relativitätstheorie

Beobachtende Kosmologie

- Entfernungsmessung
- Rotverschiebung
- Veränderung/Entwicklung
 - Galaxien
 - Aufbau der chemischen Elemente
 - Abkühlung der kosmischen Hintergrundstrahlung

THE VELOCITY-DISTANCE RELATION FOR EXTRA-GALACTIC NEBULAE



Hubble 1936

Das Original Hubble Diagramm

Geschwindigkeit

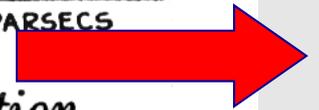
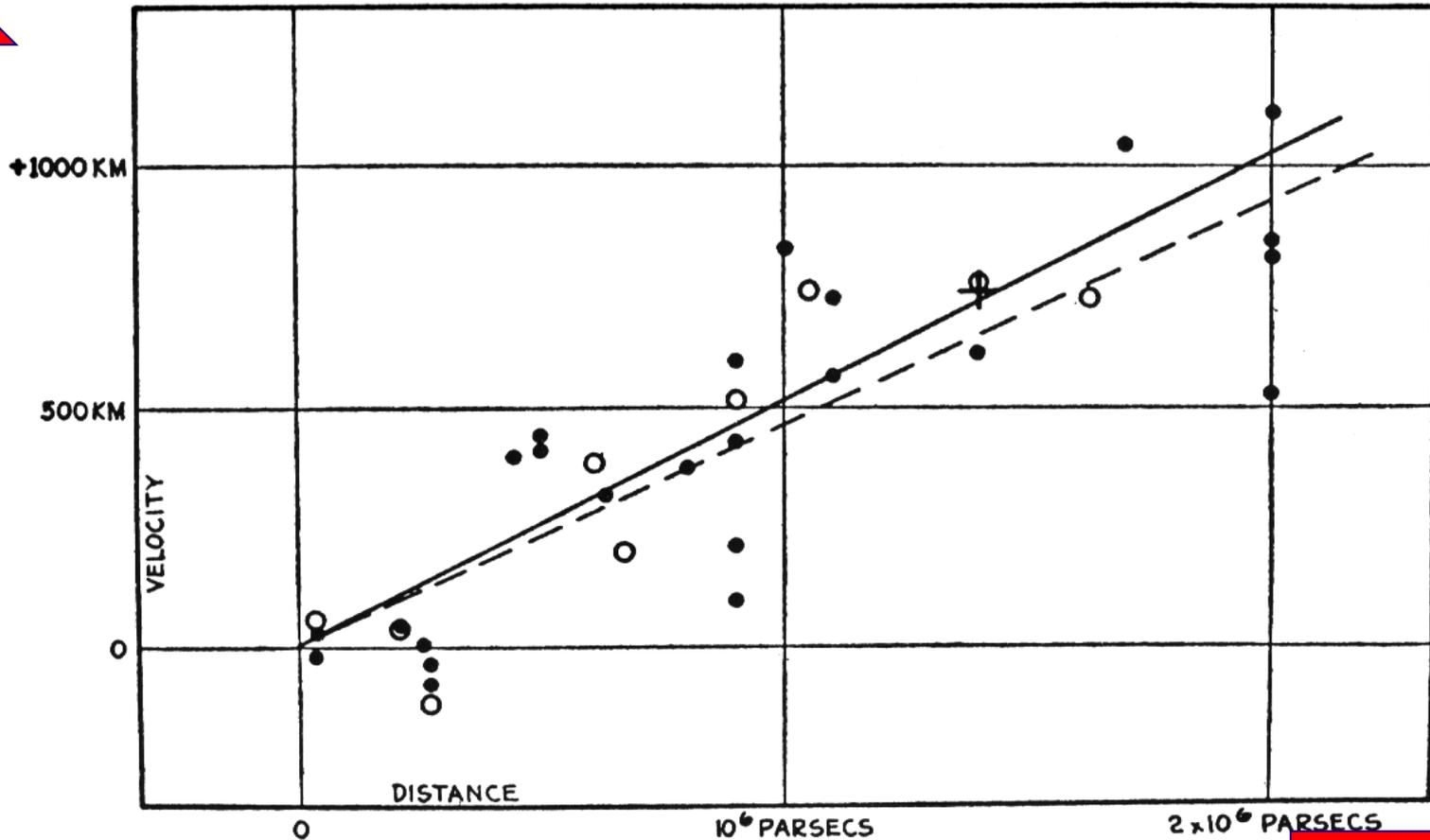
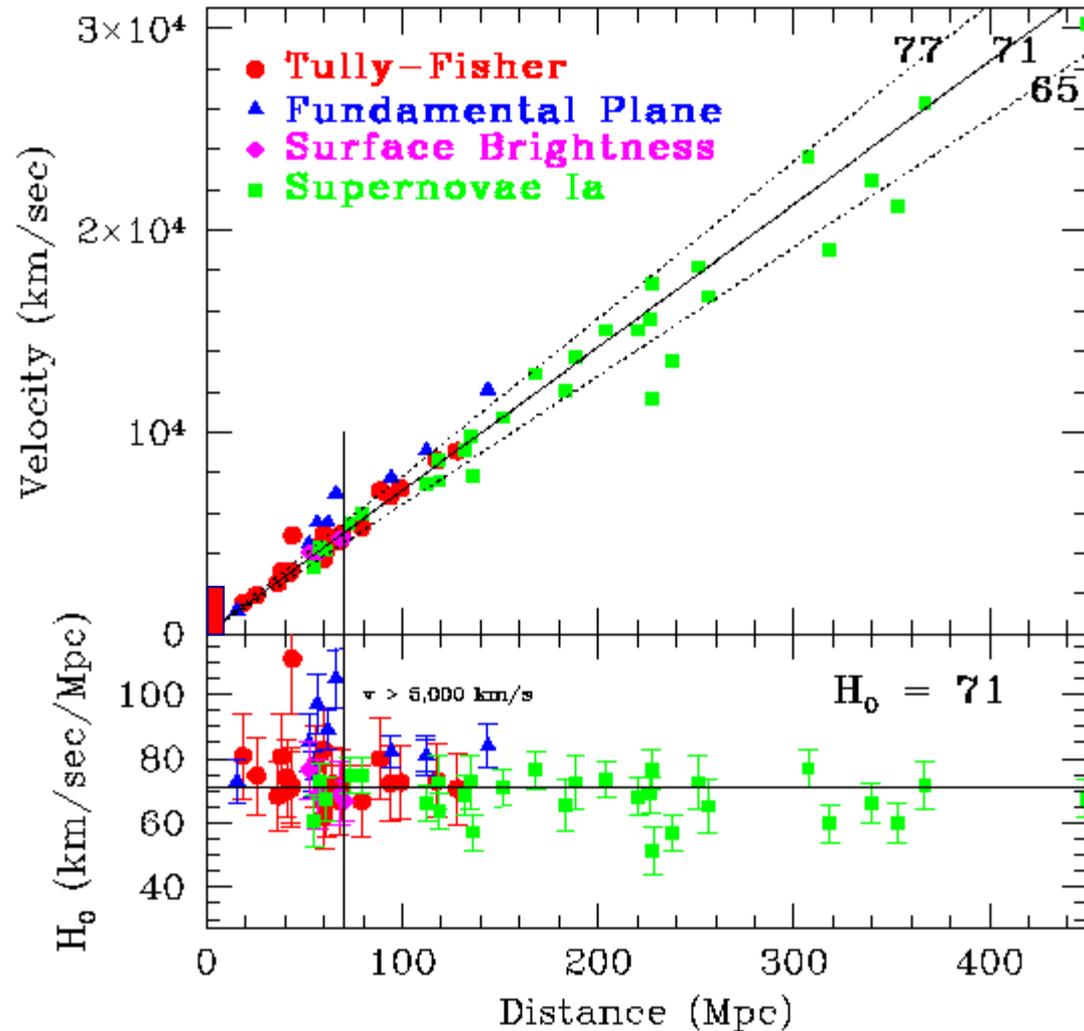


FIG. 9. *The Formulation of the Velocity-Distance Relation.*

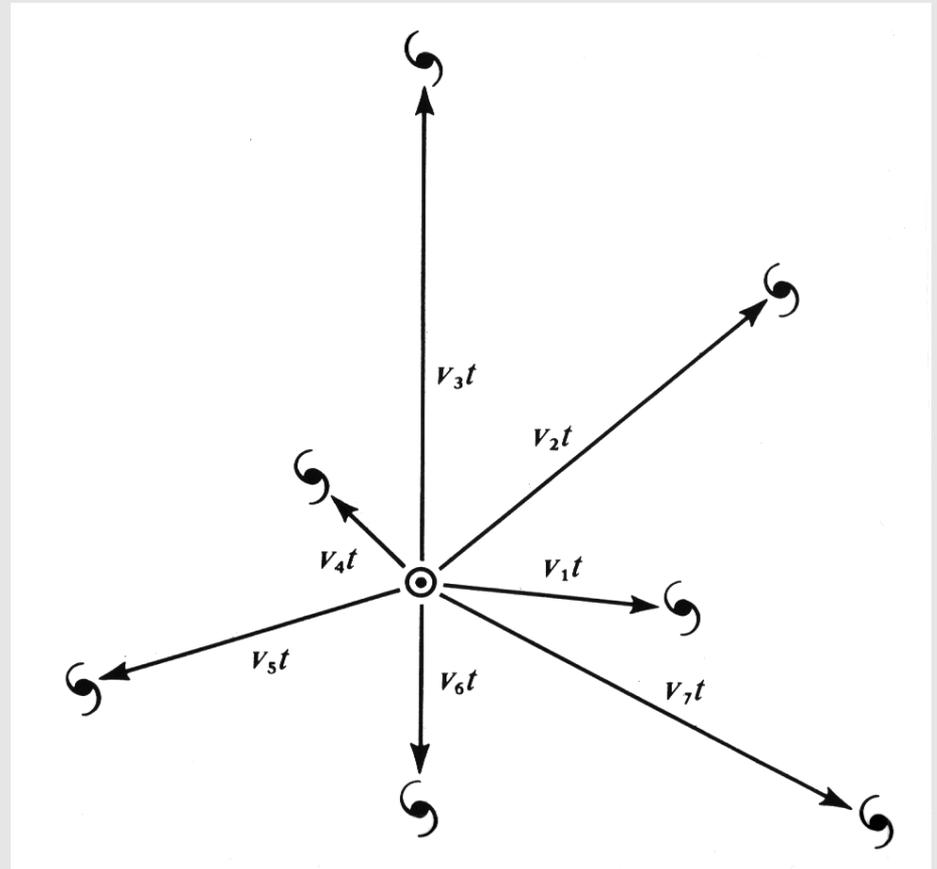
Entfernung

Ein modernes Hubble Diagramm

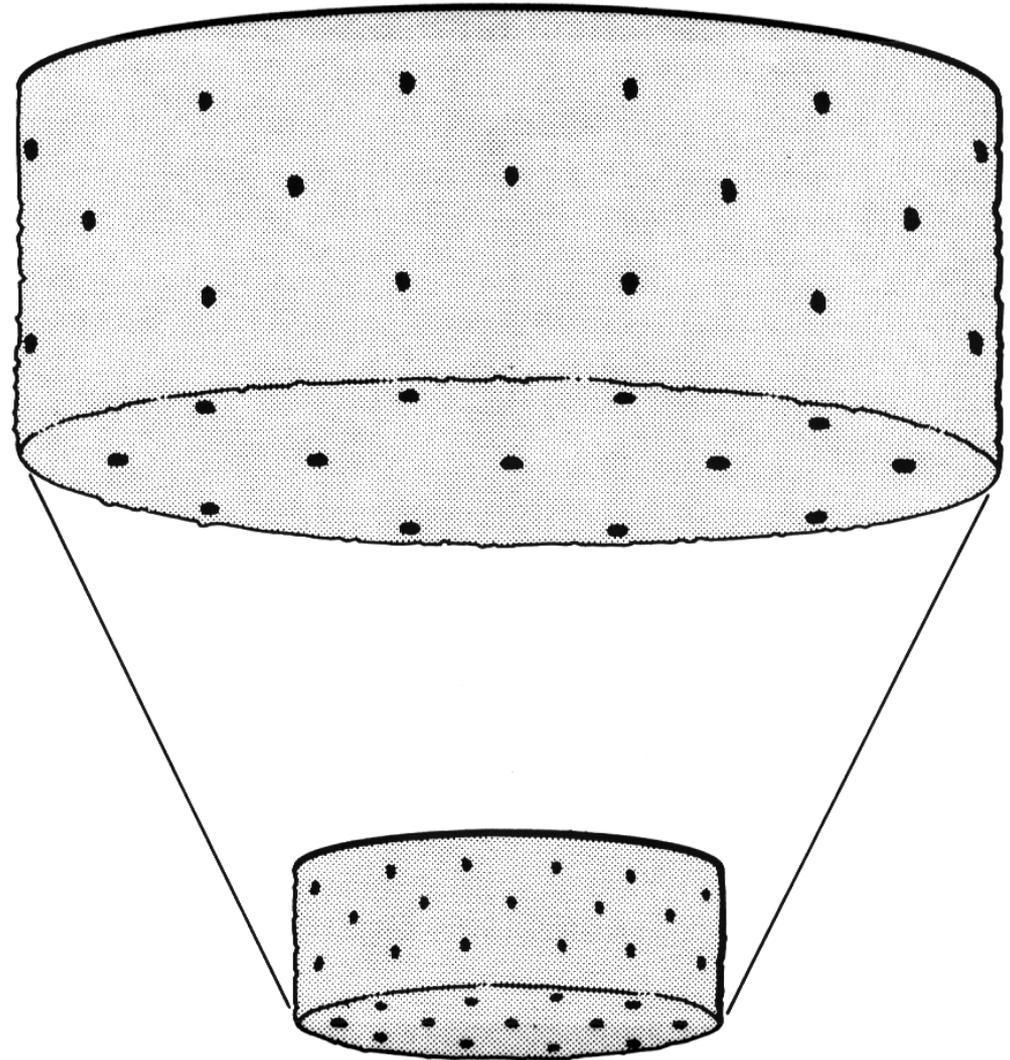
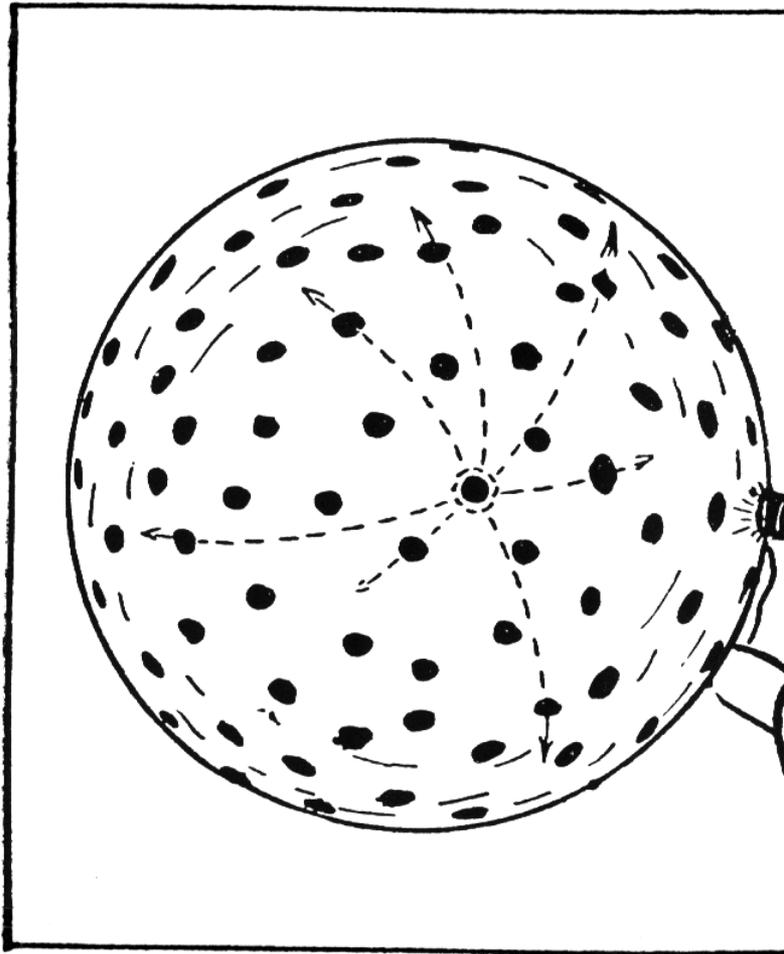


Das Alter des Universums

Wenn alle Galaxien am selben Ort angefangen haben, ergibt sich folgendes Bild:



Die Expansion ist für alle diesselbe (Isotropie)



Fundamente der Kosmologie

Gravitationstheorie

Einstein'sche Relativitätstheorie

Isotropie

**Es gibt keine bevorzugte Richtung im
Universum**

Homogenität

**Es gibt keine bevorzugte Region
(e.g. es gibt kein Zentrum des Universums)**

Anthropisches Prinzip

Das Universum hat uns erzeugt



WALL TO WALL
ALL BENEFIT
FOR WORLD
CUP
LHO, M... 2003

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

A. EINSTEIN

INDAM
VOLF

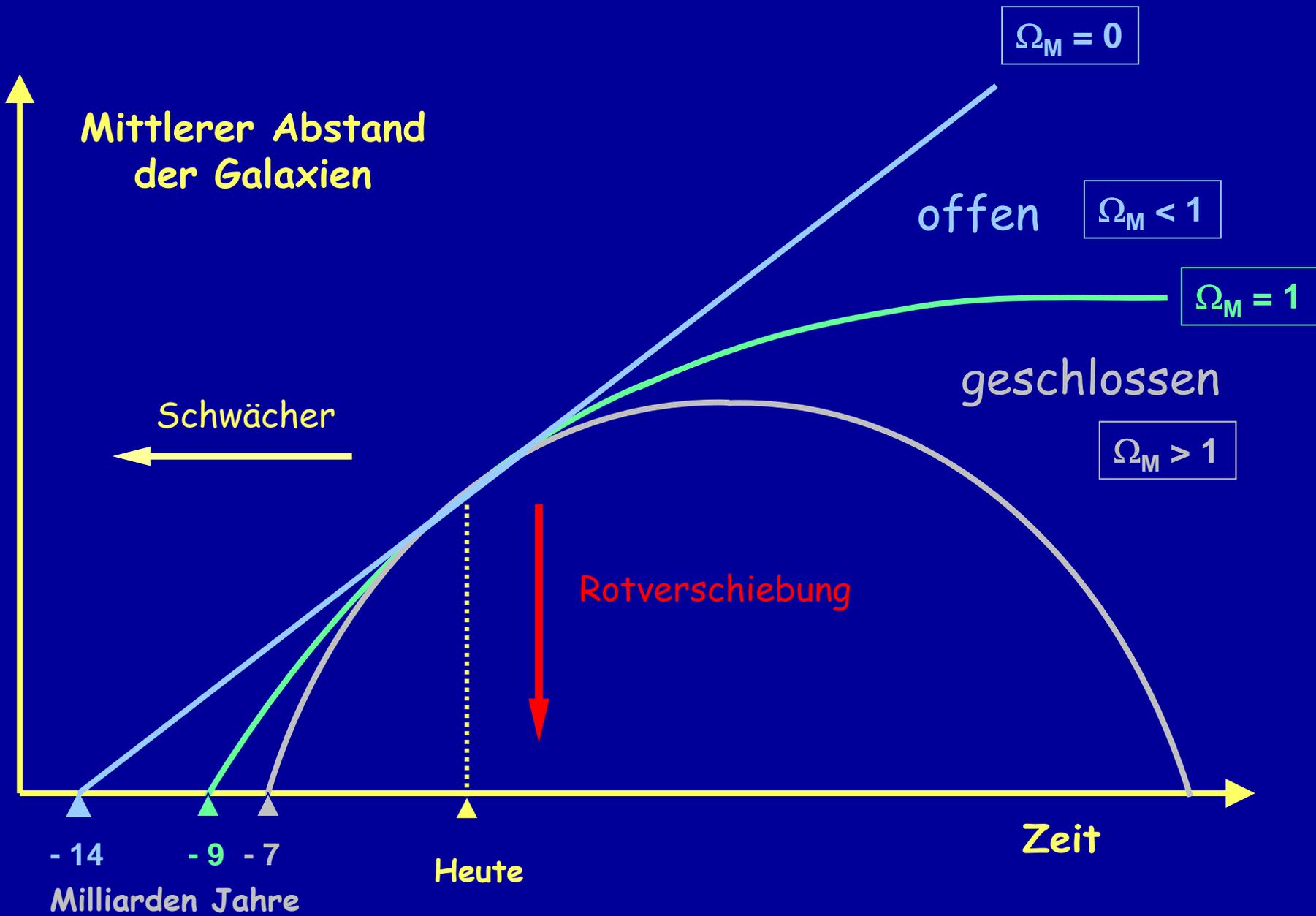
ERWIN S. ALBA

Vergangenheit und Zukunft

Die Zukunft des Universums wird von seiner Vergangenheit und seinem Inhalt bestimmt.

Seit dem Urknall dehnt sich der Raum kontinuierlich aus. Diese Ausdehnung wird von der gravitationellen Anziehung abgebremst.

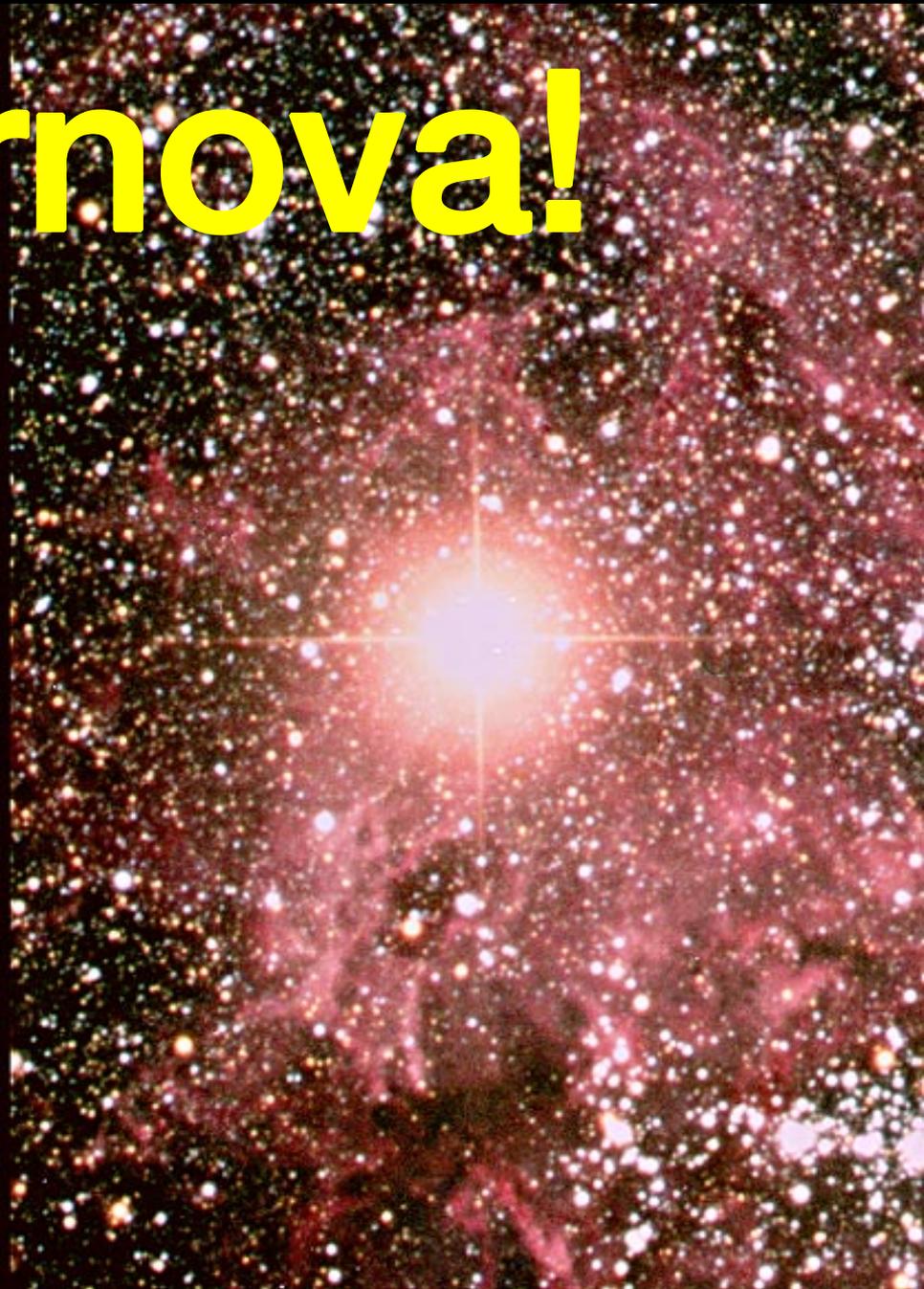
Mehr Materie bewirkt eine langsamere Ausdehnung und möglicherweise einen Lankru.



Der Energieinhalt dominiert das entfernte Universum

Die Expansionsgeschichte wird vom Energieinhalt des Universums bestimmt. Materie, wegen $E=mc^2$, ist auch Energie und aufgrund der anziehenden Gravitation müsste sich die Expansion mit der Zeit verlangsamen. Dies ist in den **Einsteinschen Feldgleichungen** kodiert.

Supernova!



Historische Bedeutung von Supernovae

- Historische Supernovabeobachtungen vor allem im asiatischen Raum (China, Korea)
 - Zusammen mit “Haarsternen” (Kometen) als himmlische Zeichen (typischerweise schlechte) interpretiert
- Erscheinungen am Fixsternhimmel
 - Im Widerspruch zum Ptolemäischen Weltbild der Himmelsphären

Historische Bedeutung von Supernovae

- SN1572 beobachtet von Tycho Brahe
 - De stella nova
 - Keine messbare Parallaxe → außerhalb des Sonnensystems
- SN1604 Kepler's Supernova
- Beobachtung von S Andromeda (SN1885B)
 - Lundmark (1925) schlägt vor, dass Andromeda extra-galaktisch ist

Supernovae

group											13	14	15	16	17	18	
1*											IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	0	
Ia**																	
1																2	
H																He	
2																	
3	4											5	6	7	8	9	10
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	4	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Na	Mg	IIIb	IVb	Vb	VIb	VIIb	VIIIb	IXb	Xb	XIb	XIIb	Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	(Uub)	(Uut)	(Uuq)	(Uup)	(Uuh)		118
																	(Uuo)
lanthanide series	6	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	7	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		

Urknall

Sterne

Supernovae

* Numbering system adopted by the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)
 ** Numbering system widely used, especially in the U.S., from the mid-20th century.
 *** Discoveries of elements 112–116 and 118 are claimed but not confirmed. Element names and symbols in parentheses are temporarily assigned by IUPAC.

If you want to make an apple pie from scratch, you must first create the universe.

Um einen Apfelkuchen mit all seinen Zutaten zu backen, müssen Sie zuerst das Universum erzeugen.

**Carl Sagan
quoted in
Big Bang by Simon Singh (2004)**

Supernova Suche

Mit den größten
Teleskopen



4m CTIO



Keck



Magellan



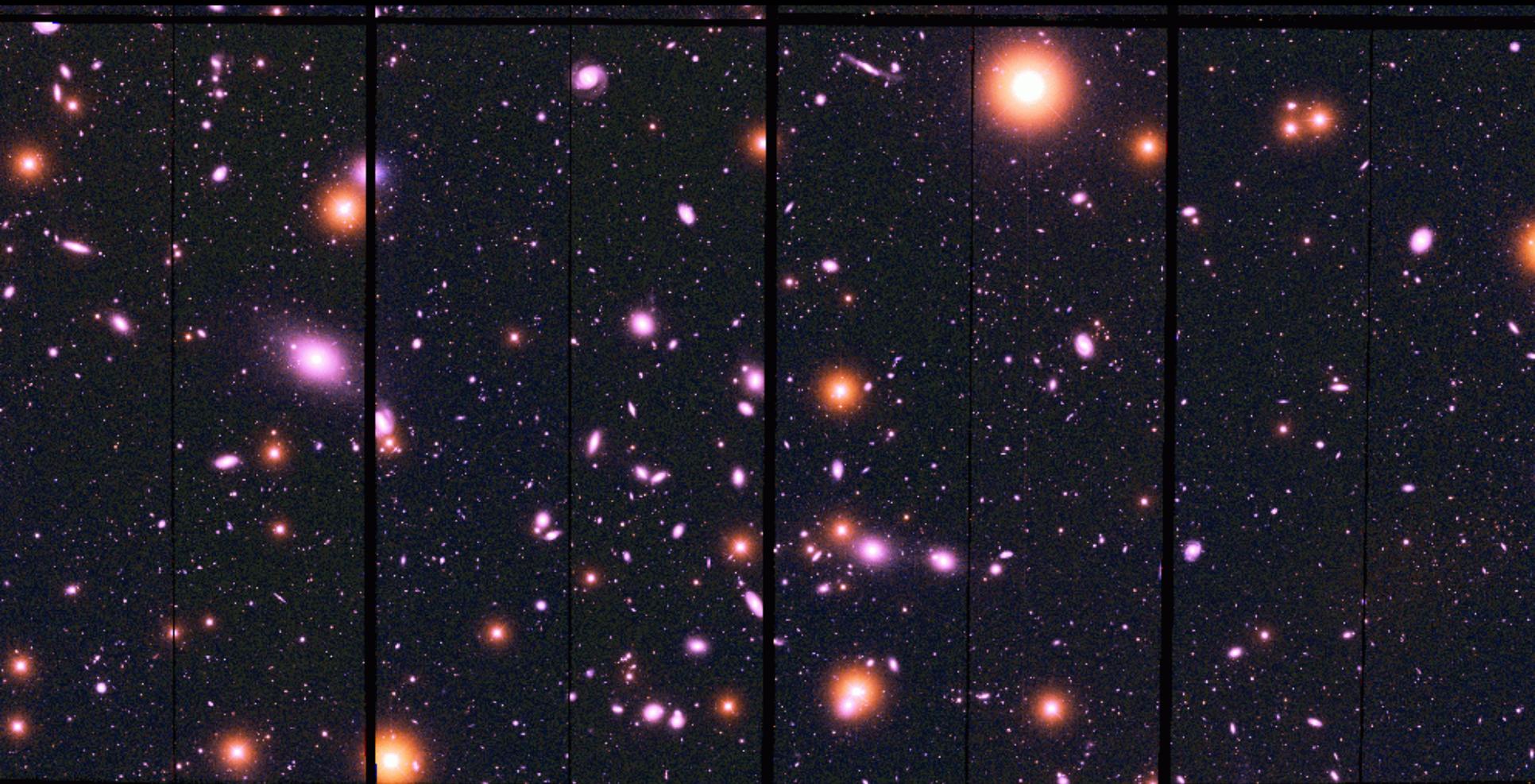
Gemini



ESO VLT

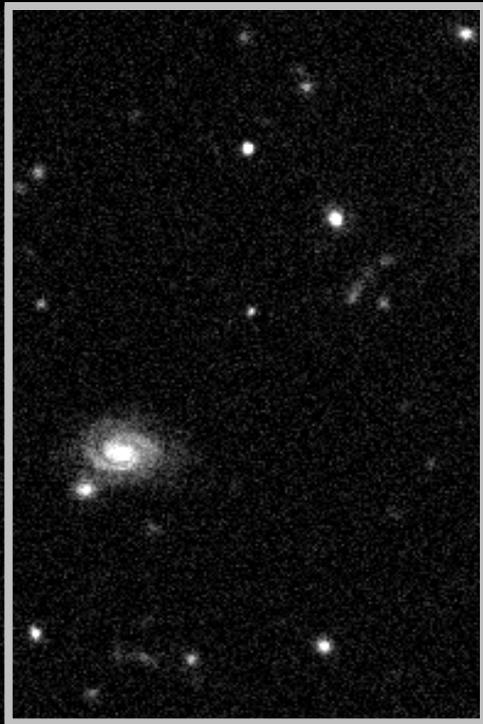
Supernova Suche

Die Nadel(n) im Weltall

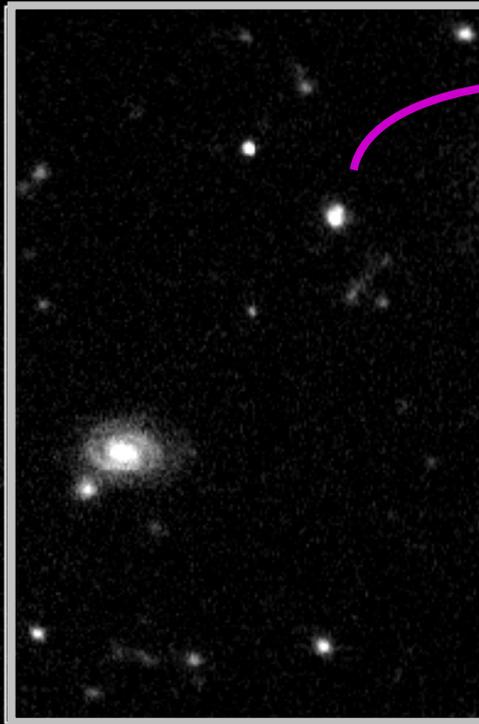


Supernova Suche

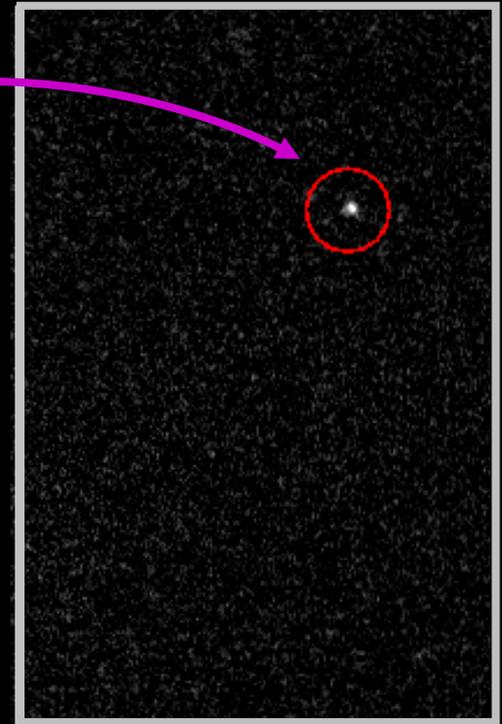
Epoch 1



Epoch 2 (3 weeks later)



Epoch 2 - Epoch 1



(High-z Supernova Team)

Supernovae

Extrem helle Sternexplosionen

Wichtig für die Produktion von schweren chemischen Elementen

Endprodukt der Sternentwicklung

- für massive Sterne als Kernkollaps mit nachfolgendem Neutronenstern oder Schwarzem Loch
- für kleine Sterne in engen Doppelsternsystemen
- (der Rest der Sterne erlischt langsam)

Supernovae

Extrem helle Sternexplosionen

Wichtig für die Produktion von schweren
chemischen Elementen

Beste Entfernungsindikatoren im
Universum

Kosmologie mit Supernovae

Entfernungen sind im Universum schwer zu messen. Sie sind aber essentiell, um die Expansionsrate und deren Geschichte bestimmen zu können.

Typ Ia Supernovae sind ausgezeichnete Entfernungskennzeichner, die im nahen Universum geeicht werden.

Entfernungsmessung mittels einer Lichtquelle

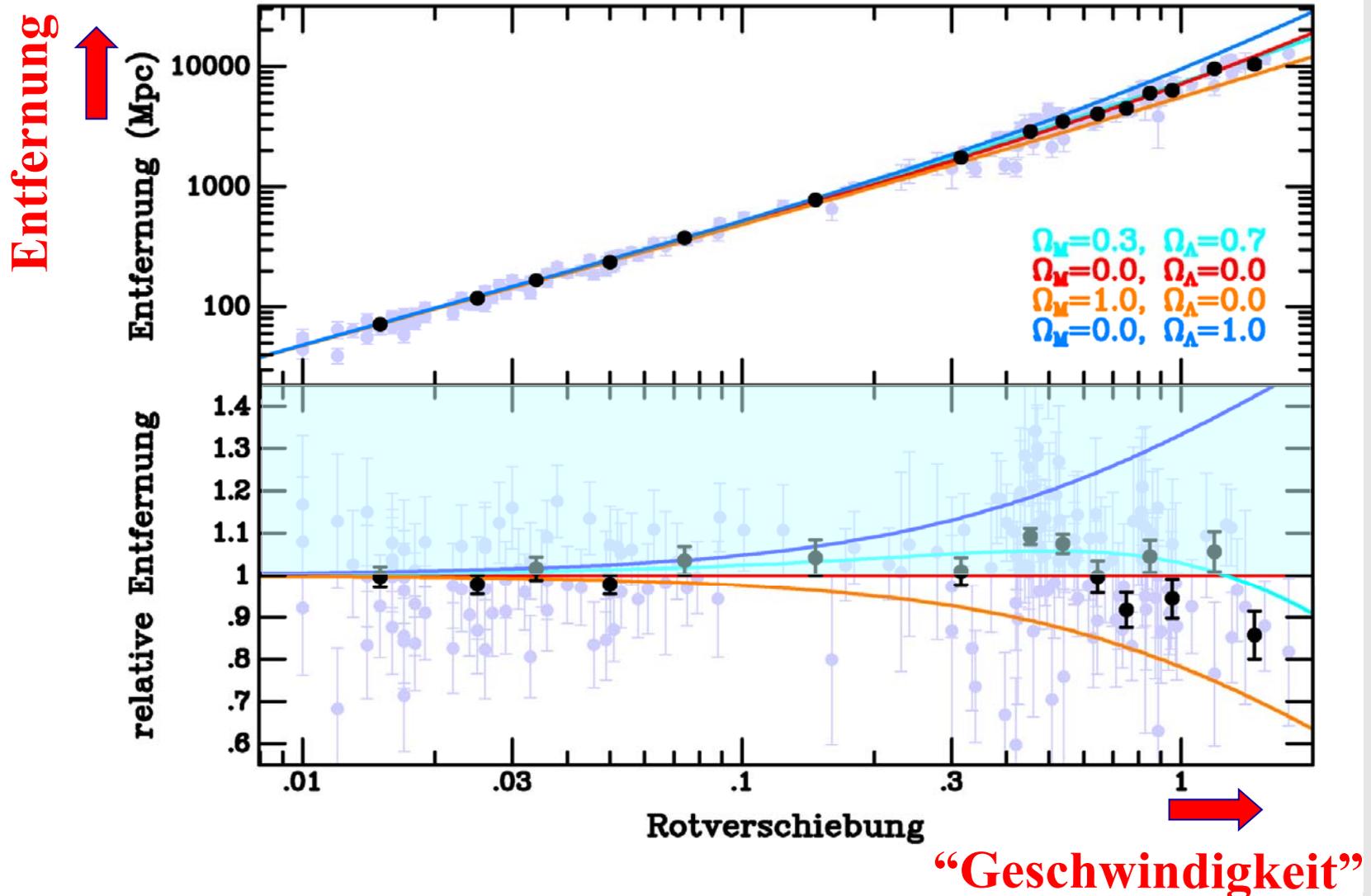


1000w

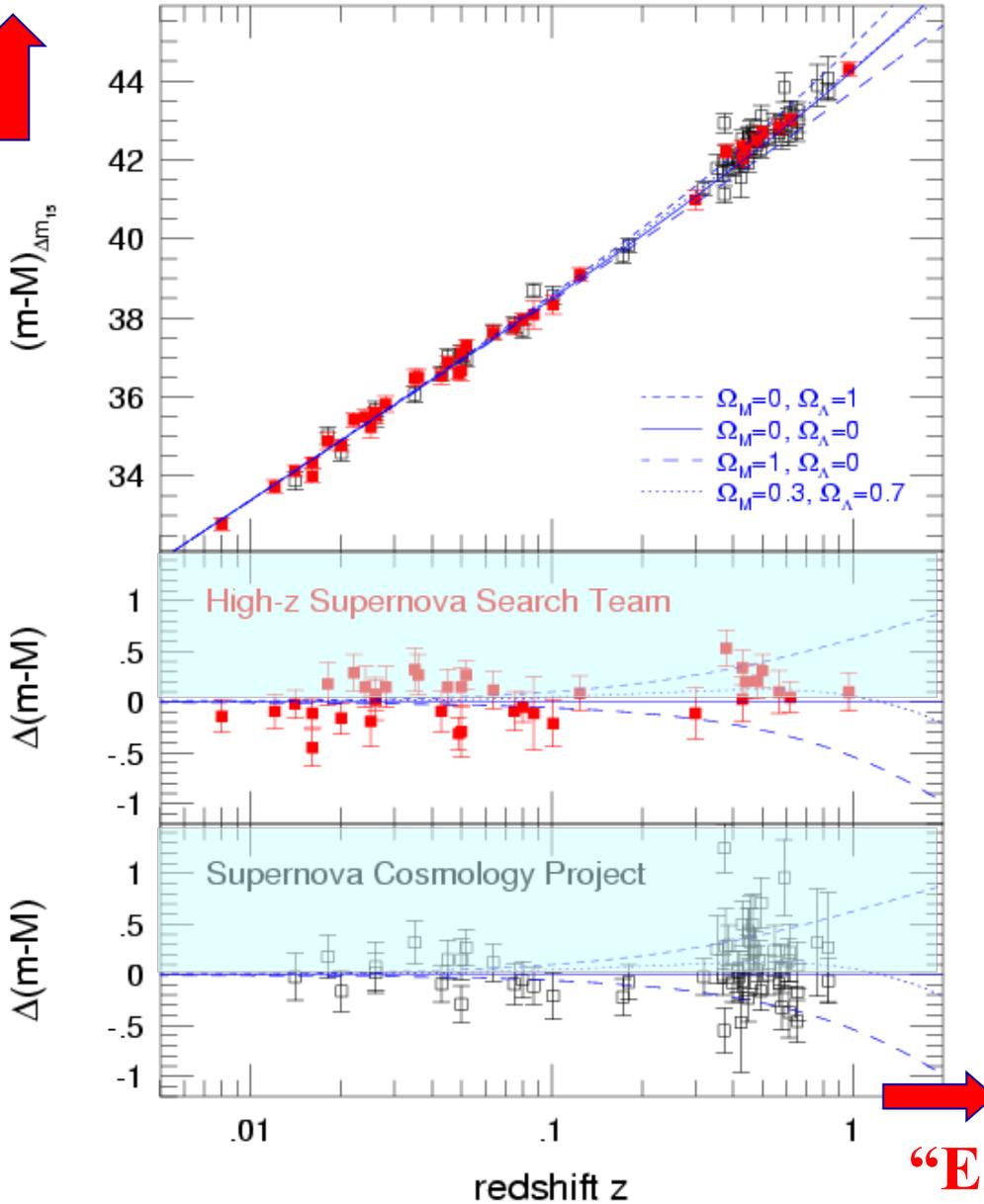
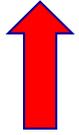


1000w

Das Supernova Hubble Diagramm



Entfernung



Das SN Hubble Diagramm



“Expansion”



Gratulation!



Saul Perlmutter



Brian Schmidt



Adam Riess

"for the discovery of the accelerating expansion of the Universe through observations of distant supernovae"

Brian Schmidt and Adam Riess



Das High-z Supernova Search Team December 2011



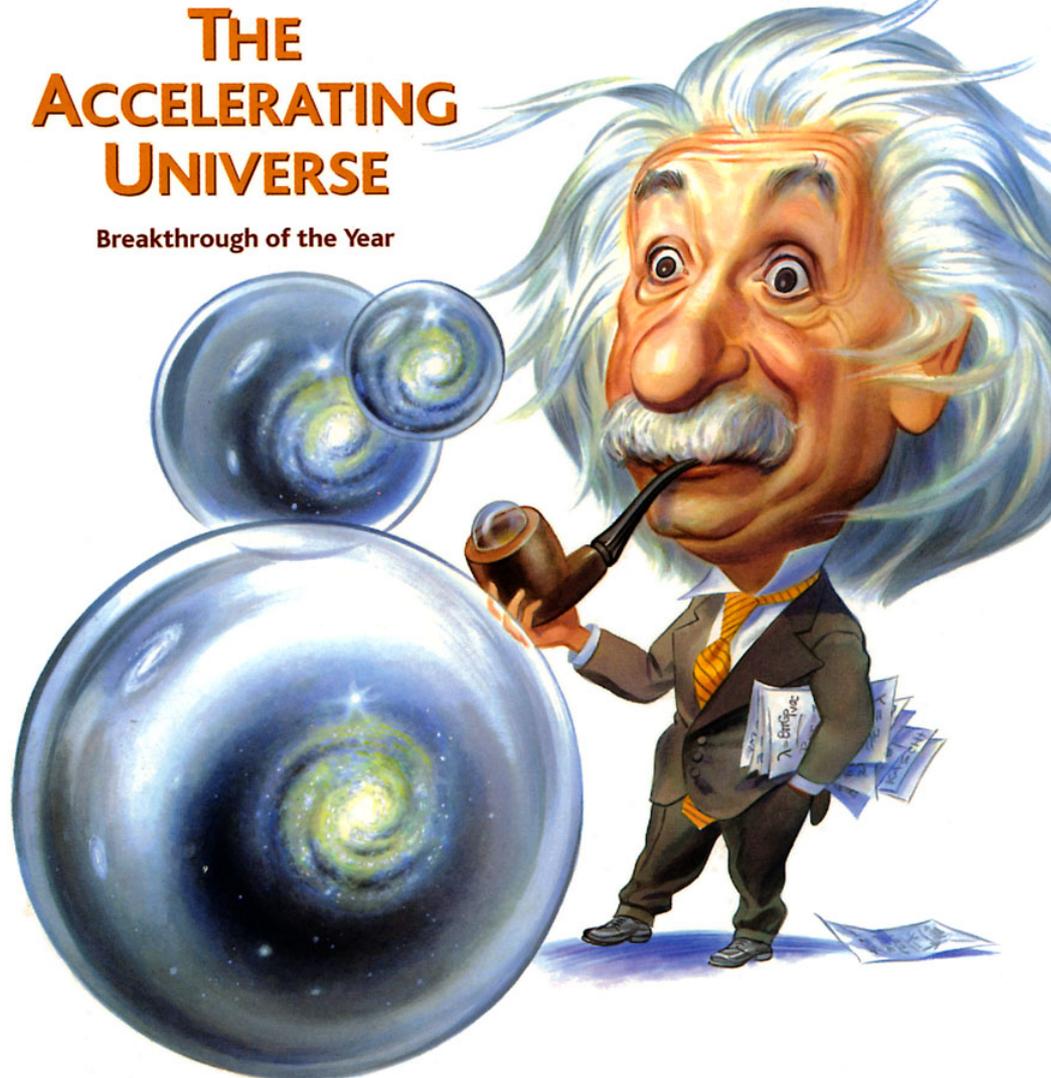
Science

18 December 1998

Vol. 282 No. 5397
Pages 2141-2336 \$7

THE ACCELERATING UNIVERSE

Breakthrough of the Year



AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE

Entfern
entfern
expand
Univers
abstoss
werden

ne

Einstein zur Kosmologischen Konstante

Wir geben hierfür zunächst einen Weg an, der an sich nicht beansprucht, ernst genommen zu werden; er dient nur dazu, das Folgende besser hervortreten zu lassen.

Im folgenden führe ich den Leser auf dem von mir selbst zurückgelegten, etwas indirekten und holperigen Wege, weil ich nur so hoffen kann, daß er dem Endergebnis Interesse entgegenbringe. Ich komme nämlich zu der Meinung, daß die von mir bisher vertretenen

[Die Kosmologische Konstante] haben wir nur nötig, um eine quasi-statische Verteilung der Materie zu ermöglichen, wie es der Tatsache der kleinen Sterngeschwindigkeiten entspricht.

zeitlich und örtlich variabel, läßt sich aber im großen durch einen sphärischen Raum approximieren. Jedenfalls ist diese Auffassung logisch widerspruchsfrei und vom Standpunkte der allgemeinen Relativitätstheorie die naheliegendste; ob sie, vom Standpunkt des heutigen astronomischen Wissens aus betrachtet, haltbar ist, soll hier nicht untersucht werden. Um zu dieser widerspruchsfreien Auffassung zu gelangen, mußten wir allerdings eine neue, durch unser tatsächliches Wissen von der Gravitation nicht gerechtfertigte Erweiterung der Feldgleichungen der Gravitation einführen.

Einstein (1917)

EINSTEIN ARCHIVES, UNIVERSITY OF ZURICH

Absender:

Die Sitten laufen ganz unendlich
voneinander auf beide entgegengesetzte
Punkte hin ab, und man sieht
kaum, dass man sich in der
Welt, die man um sich hat,
bewegt. Die Sitten sind
von den
A. Einstein.



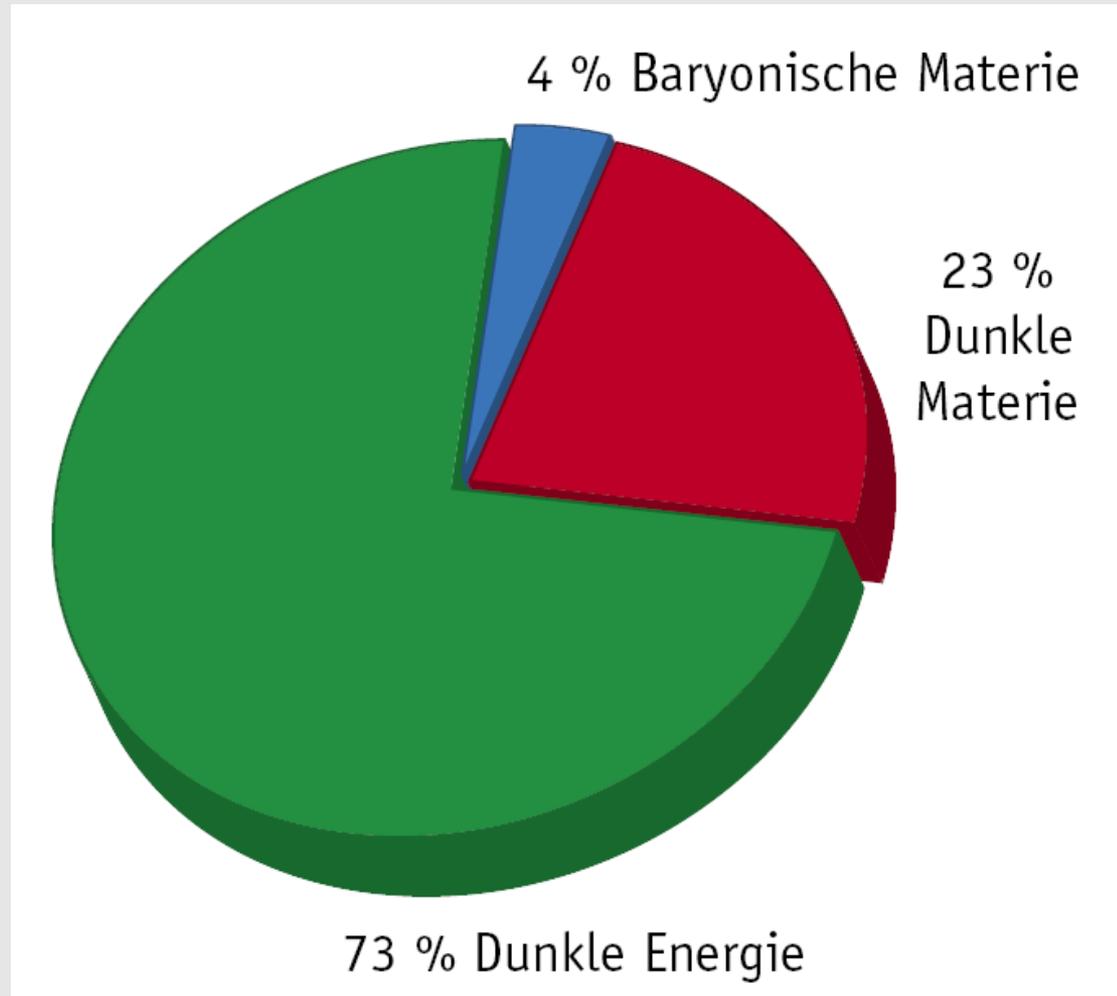
Prof. Dr. H. Weyl
Technische Hochschule
Zürich (Schweiz)
B. 14. 52. 52

C 154 (s. 10)

Der Inhalt des Universums

Dunkle Materie und Dunkle Energie sind die bestimmenden Energiebeiträge des Universums.

Was sind sie?



Was bedeutet das?

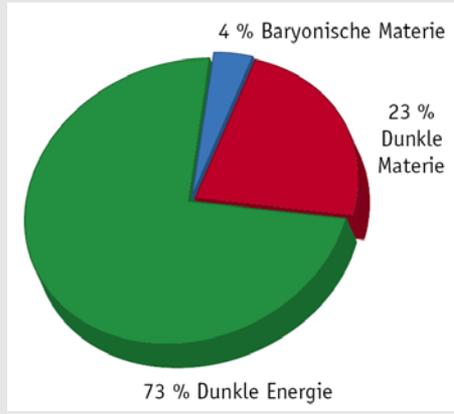
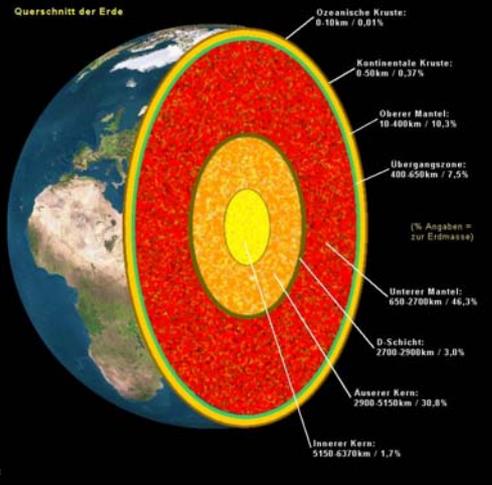
Das Universum besteht im wesentlichen
aus

nichts.

Das Universum expandiert für immer.

Im Moment existiert keine überzeugende
physikalische Interpretation der
Vakuumsenergie (**Dunkle Energie**).

Nur 4% des Universums sind aus
demselben „Stoff“ wie wir (und alles, das
wir kennen).



Unser Universum Unsere Welt



Interpretationen/Spekulationen

Einstein's Kosmologische Konstante

Bisher kein "Platz" im Standard Model der Teilchenphysik

Quintessence

Quantenmechanisches Teilchenfeld, das Energie in das Universum entlässt

Anzeichen einer höheren Dimension

Gravitation ist am besten beschrieben in einer Theorie mit mehr als vier Dimensionen

Phantom Energie

Die Dunkle Energie ist so stark, dass das Universum auseinander fällt (Big Rip)

**Das Unverständlichste am
Universum ist im Grunde, das wir
es verstehen können.**

Albert Einstein

**I can never look upon the Stars without
wondering why the whole World does not
become Astronomers ...**

**Wann immer ich die Sterne betrachte, fällt es mir
schwer zu verstehen, wieso nicht alle Leute
Astronomen werden ...**

**Thomas Wright of Durham (1750)
An Original Theory or New Hypothesis of the Universe
(as quoted by Martin Rees in *Our Final Hour*, 2003)**

terra incognita.

Weltbilder –
Welterfahrungen

