

Die Zukunft des Universums



© Stéphane Guisard

Bruno Leibundgut
European Southern Observatory

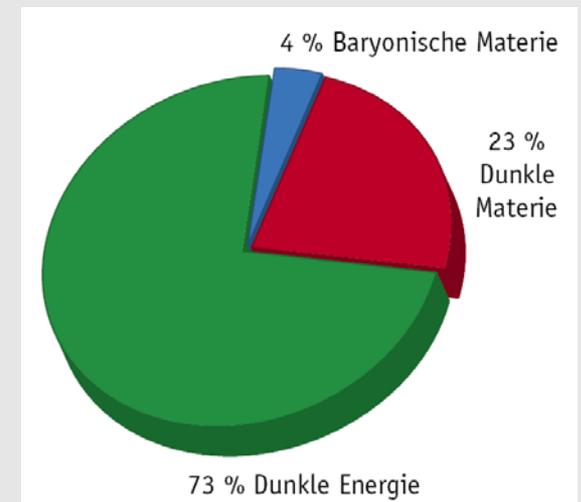
Mehr als die Vergangenheit interessiert mich die Zukunft, denn in ihr gedenke ich zu leben.

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

Albert Einstein

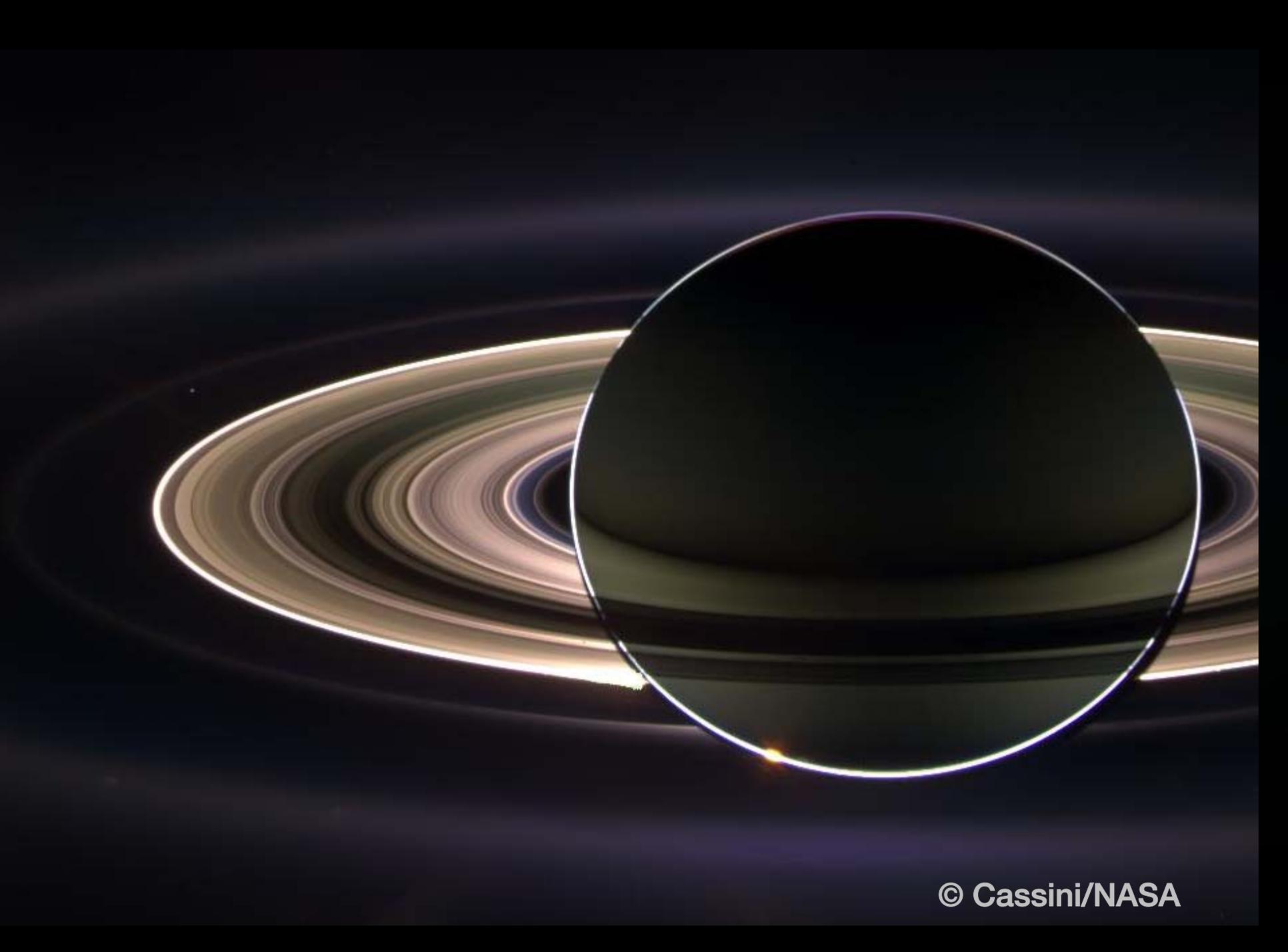
Unser Blick ins Universum

- Raum und Zeit
 - Unser Platz im Universum
 - Unsere Geschichte
- Die Zukunft des Universums
 - Hinweise für eine neue Komponente im Universum
 - Supernovae
 - Feuerwerk im Universum



Unser Platz im Universum





© Cassini/NASA

1. Januar:
Urknall

Die Milchstrasse
entsteht

Sonne und
Planeten entstehen

Erste
Einzeller

Erste mehrzellige
Lebewesen

Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November
December										
1	2	3	4	5	6	7				
8	9	10	11	12	13	14				
15 Kambrische Explosion	16	17 Erste Wirbel- tiere	18 Erste Land- pflanzen	19	20 Erste vierfüssige Tiere	21 Insekten entwickeln sich				
22	23	24 Erste Dinosaurier erscheinen	25 Die ersten Vorgänger der Säugetiere	26	27 Erste bekannte Vögel	28				
29 Dinosaurier sterben aus	30	31 23:54 Moderne Menschen (homo sapiens) erscheinen 23:59:45 Erfindung der Schrift 23:59:50 Pyramiden in Ägypten werden gebaut 23:59:59 Galileo beobachtet den Himmel mit einem Fernrohr								

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.

Das dunkle Universum

Weshalb ist es nachts dunkel?



Supernova!



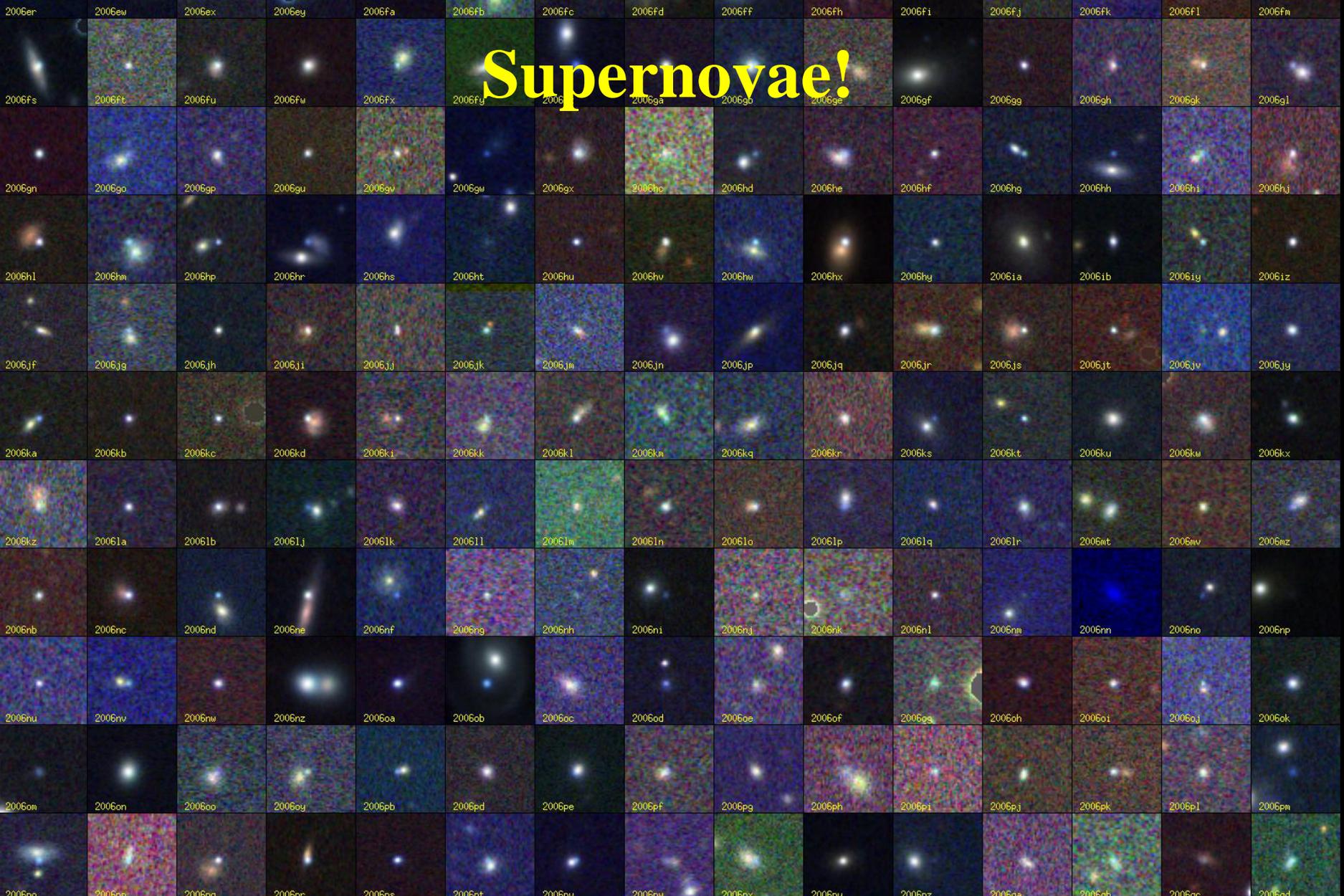
Die Supernova von 1054

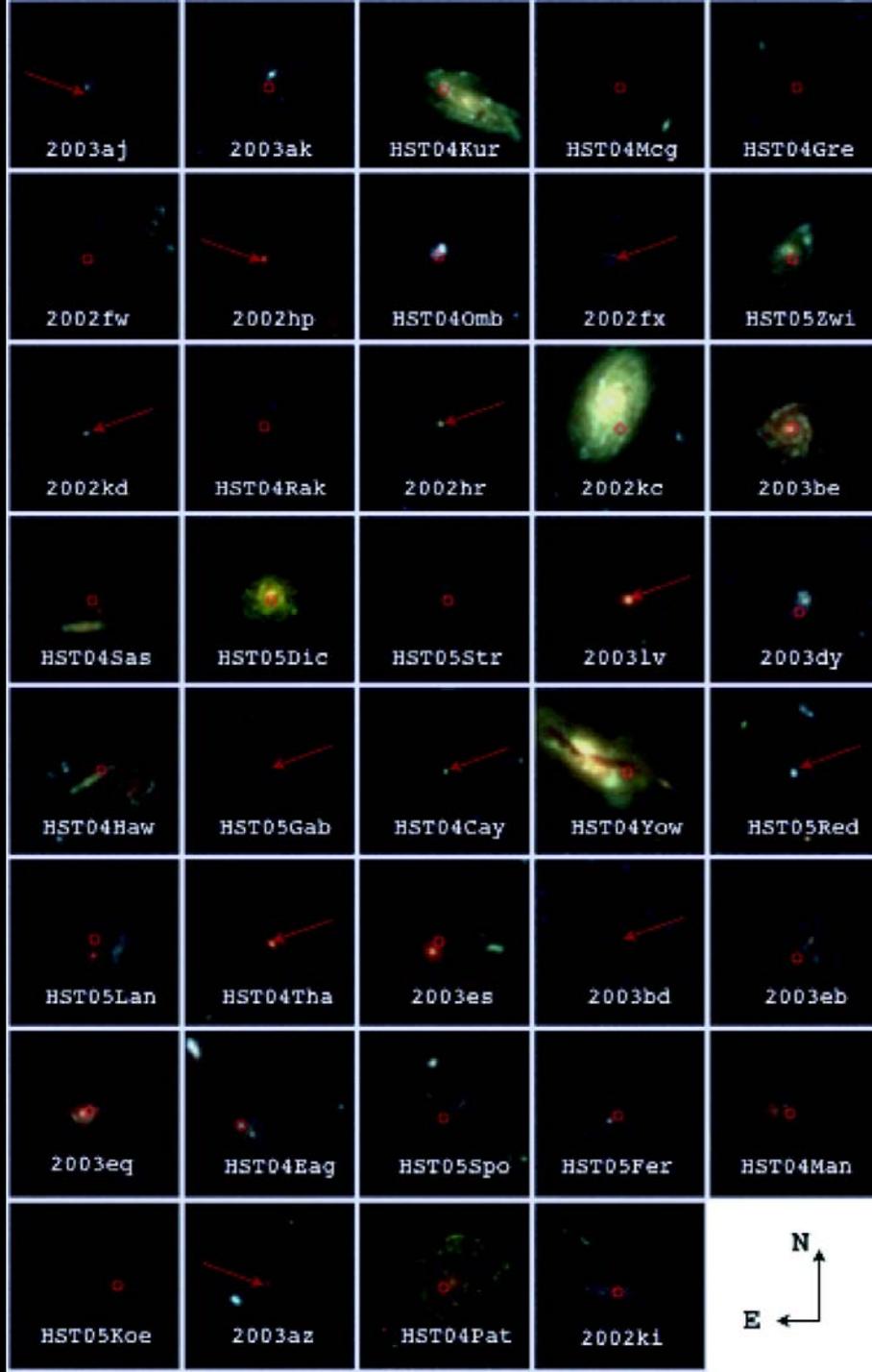


Supernova Beobachtungen

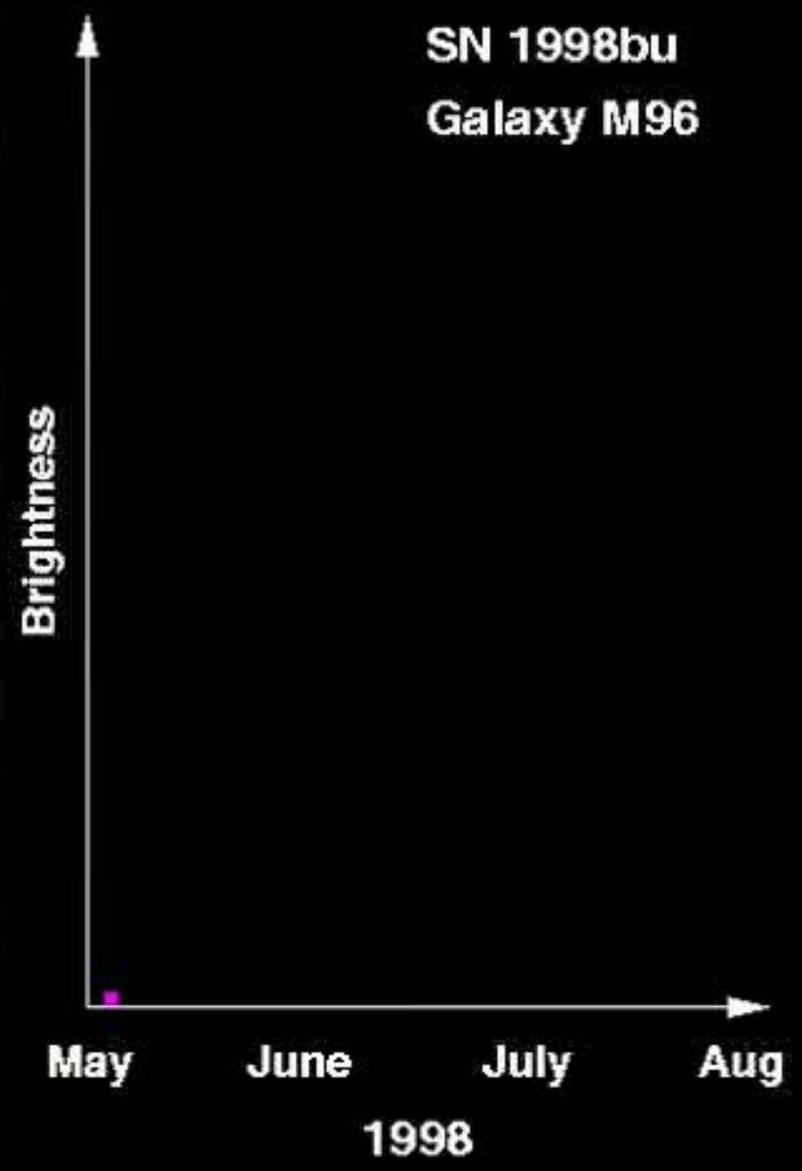


Supernovae!

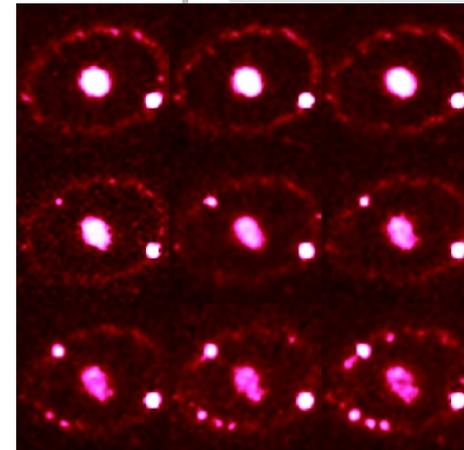
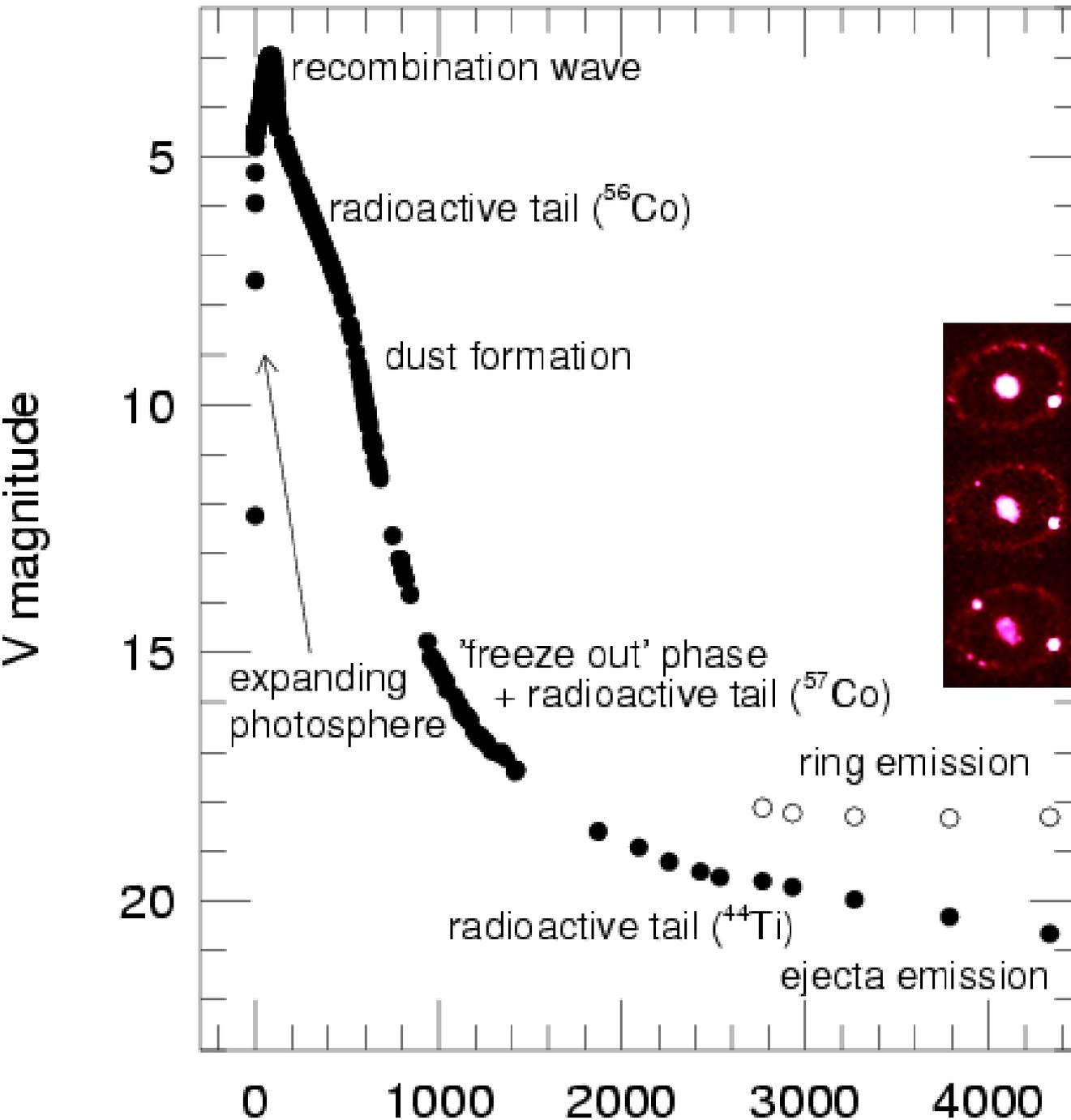




Riess et al. 2007



SN 1987A



Suntzeff (2003)

Supernova Suche

Weltweite Zusammenarbeiten um Typ Ia Supernovae im entfernten Universum zu finden und zu beschreiben

Spektroskopie mit den größten Teleskopen: VLT, Gemini, Keck, Magellan

Ziel: Entfernungsmessung zu **200** SNe Ia → 6 Jahre Beobachtungen benötigt.

→ Bestimmung der Eigenschaften der Dunklen Energie



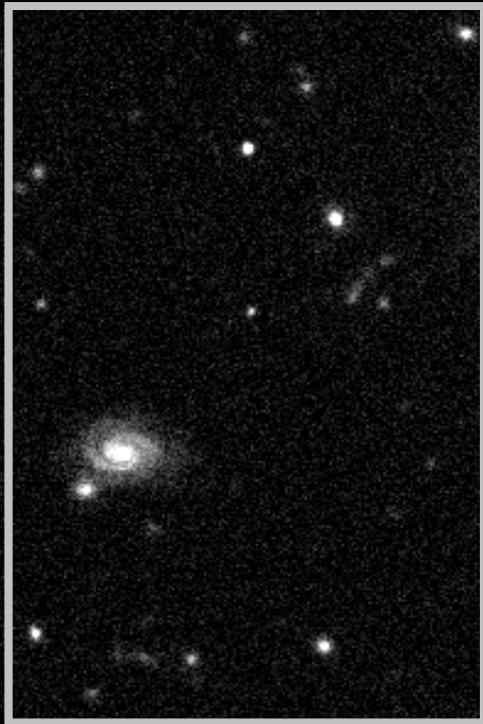
Supernova Suche

Die Nadel(n) im Weltall

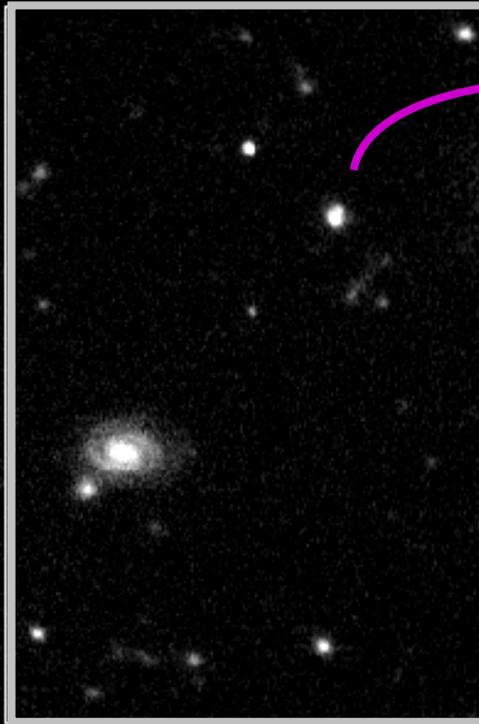


Supernova Suche

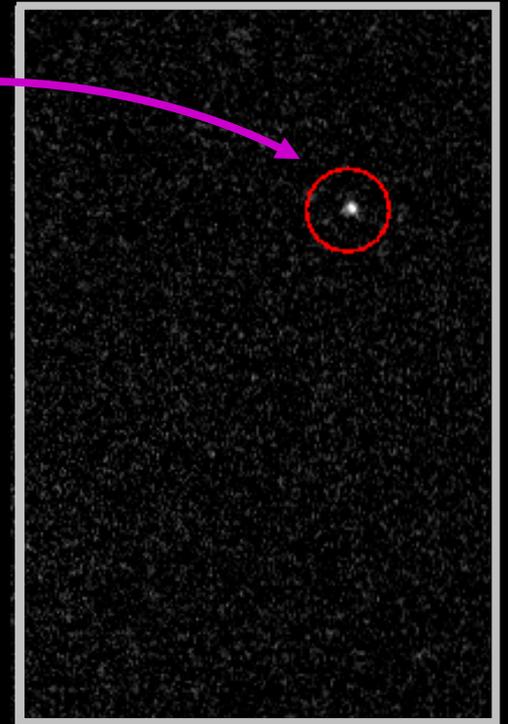
Epoch 1



Epoch 2 (3 weeks later)



Epoch 2 - Epoch 1



(High-z Supernova Team)

Das ESSENCE Team



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

Magnesium

XMM-Newton

Silizium

EPIC

Histori

SN 1

SN 1

SN 1

De s

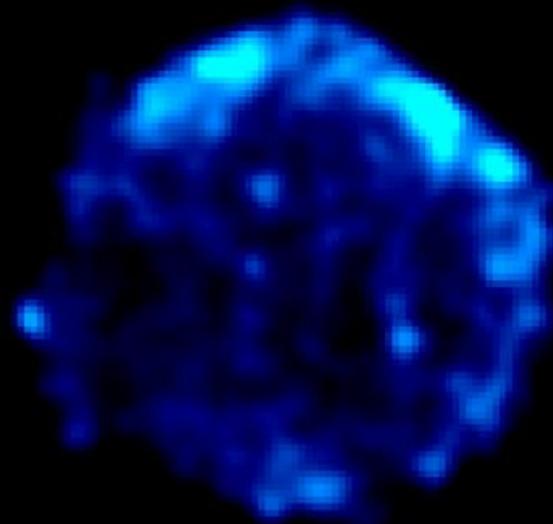
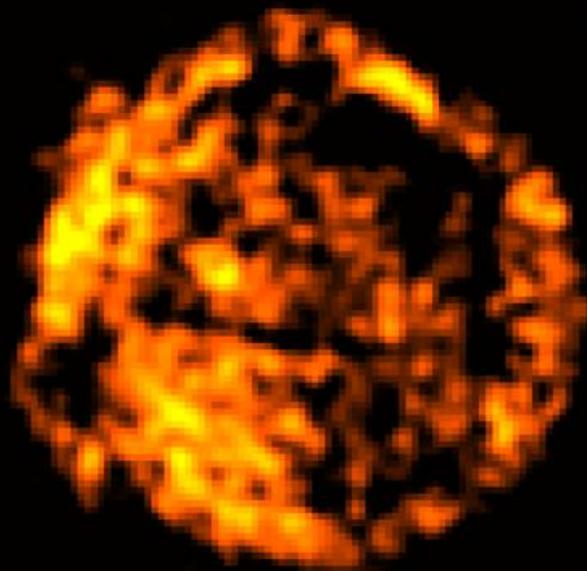
Kepl

Cass

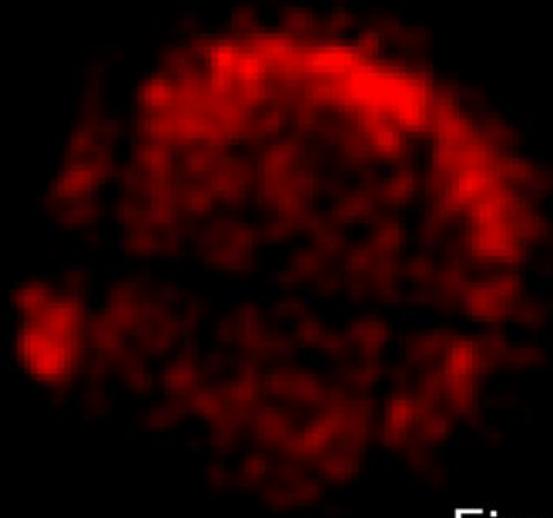
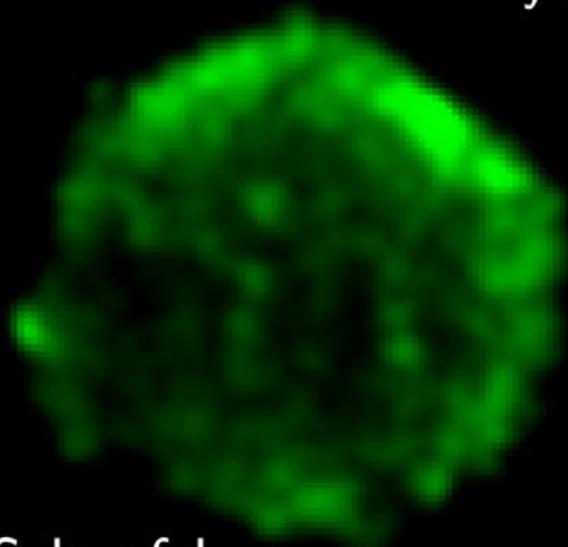
S An

SN 1

Wo



Tycho's SNR



Schwefel

Eisen

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)		(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.

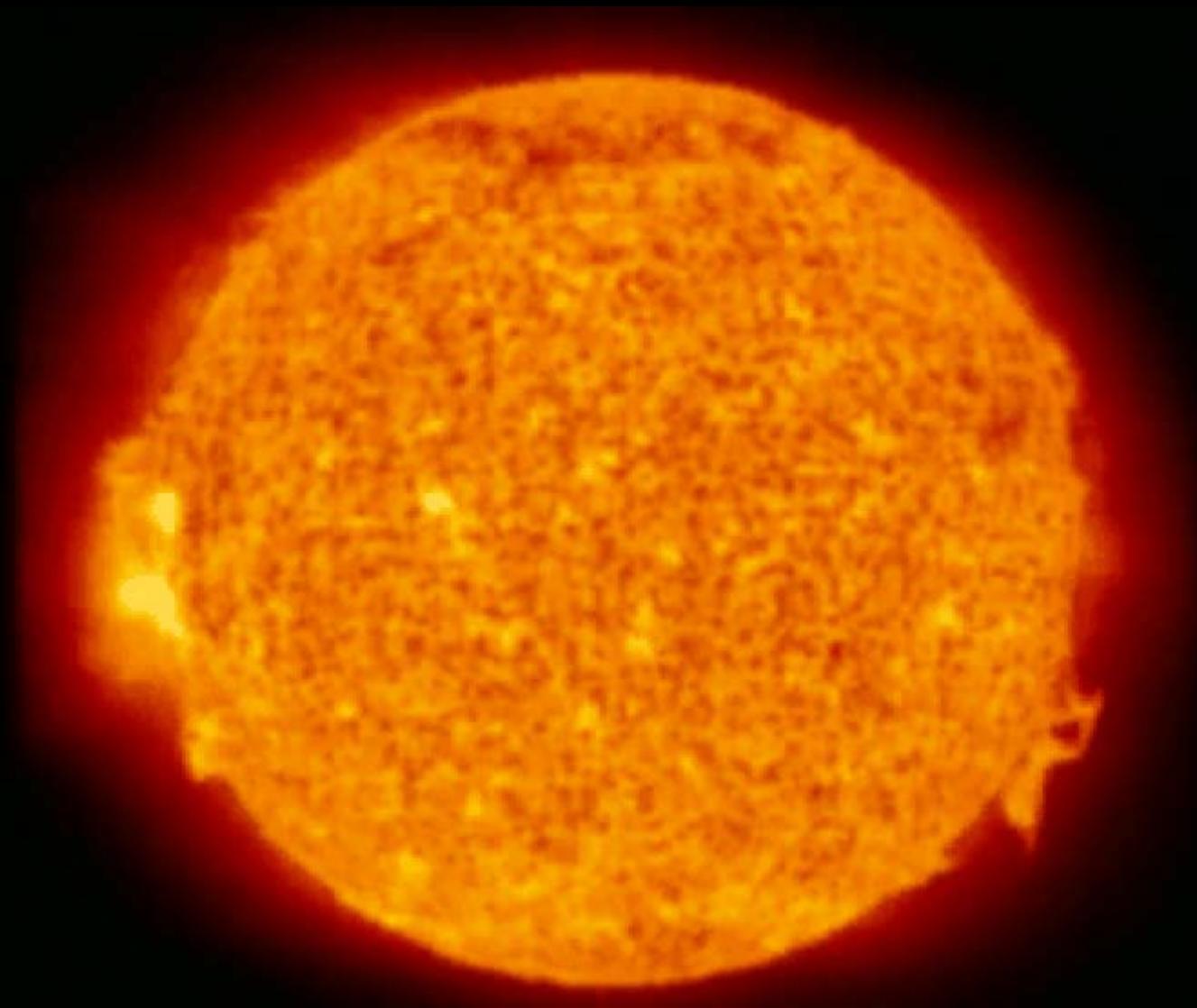
If you want to make an apple pie from scratch, you must first create the universe.

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)**

Energie Quellen

- **Gravitation** → **Typ II Supernovae**
 - Kollaps einer Sonnenmasse der mehr in einen Neutronenstern
 - Freisetzung von 10^{46} Joule
 - vor allem Elektron Neutrinos ν_e
 - 10^{44} Joule in kinetischer Energie (Expansion des Sternmaterials)
 - 10^{42} Joule in Strahlung
- **Nukleare (Bindungs-)Energie** → **Typ Ia**
 - explosives Kohlenstoff- und Sauerstoff-Brennen von etwa einer Sonnemasse
 - Freisetzung von 10^{42} Joule



Die Entwicklung eines Sternes

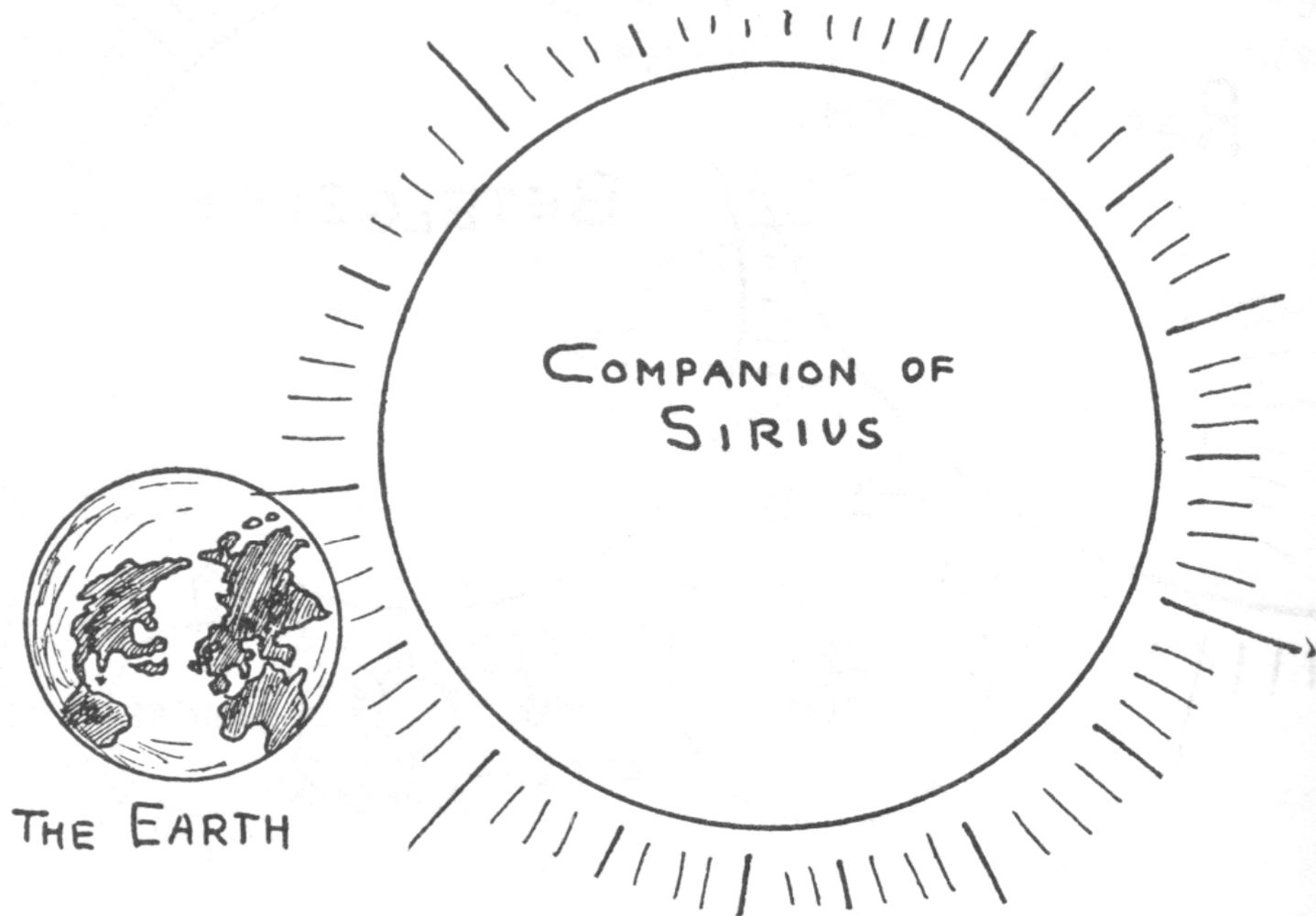


FIGURE 124

White dwarf stars as compared with the Earth.

Thermonukleare Supernovae

Das “Standartmodel”



Weisser Zwerg in
einem
Doppelsternsystem

Durch den
Massentransfer wächst
der Weisse Zwerg zu
einer kritischen Masse
(Chandrasekhar Masse,
 $M_{\text{Chand}} = 1.4 M_{\odot}$)

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

The only reliable way of determining extragalactic distances is through supernova investigations.

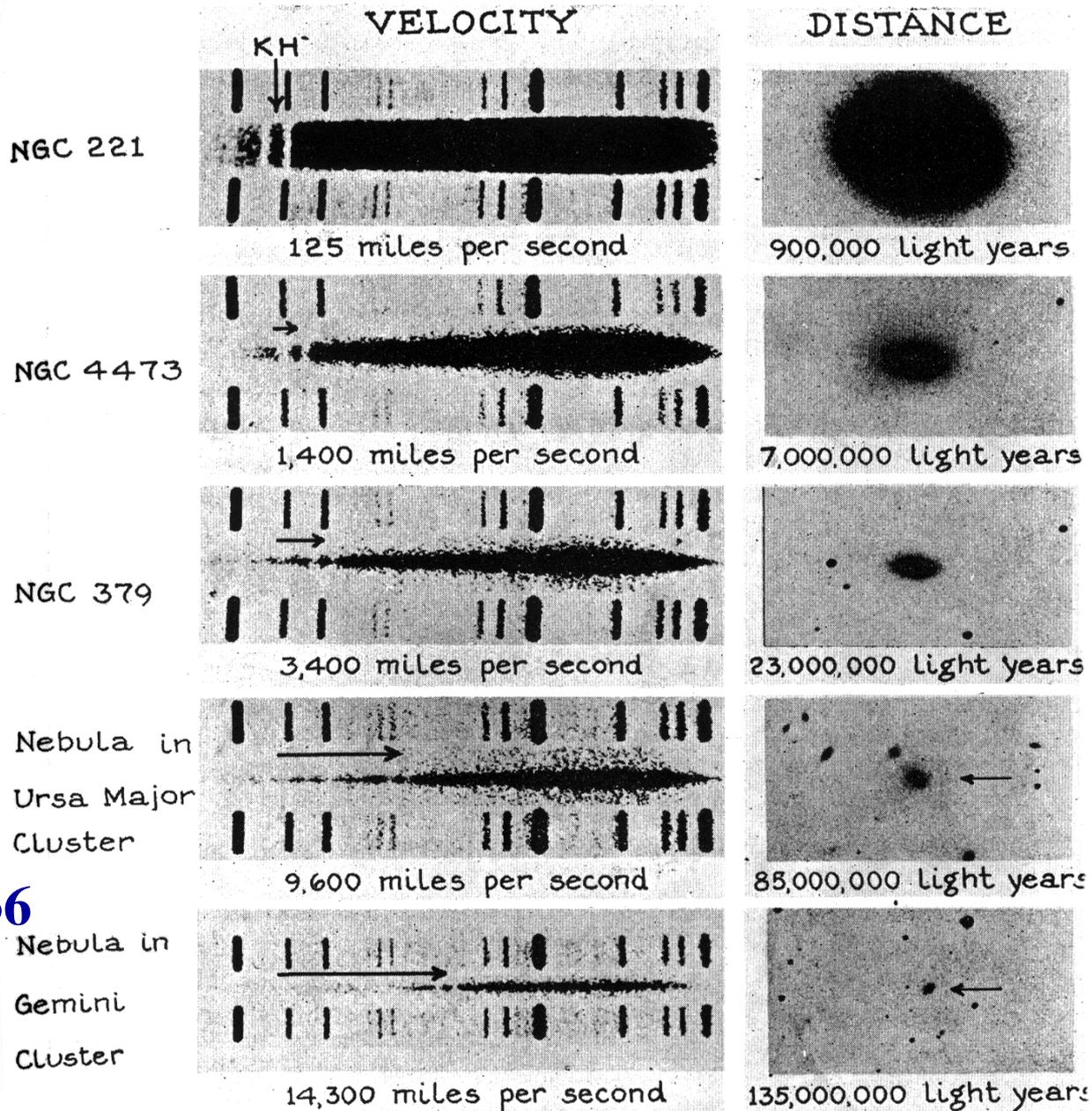
F. Zwicky

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.

THE VELOCITY-DISTANCE RELATION FOR EXTRA-GALACTIC NEBULAE



Hubble 1936

Das original Hubble Diagram

Geschwindigkeit

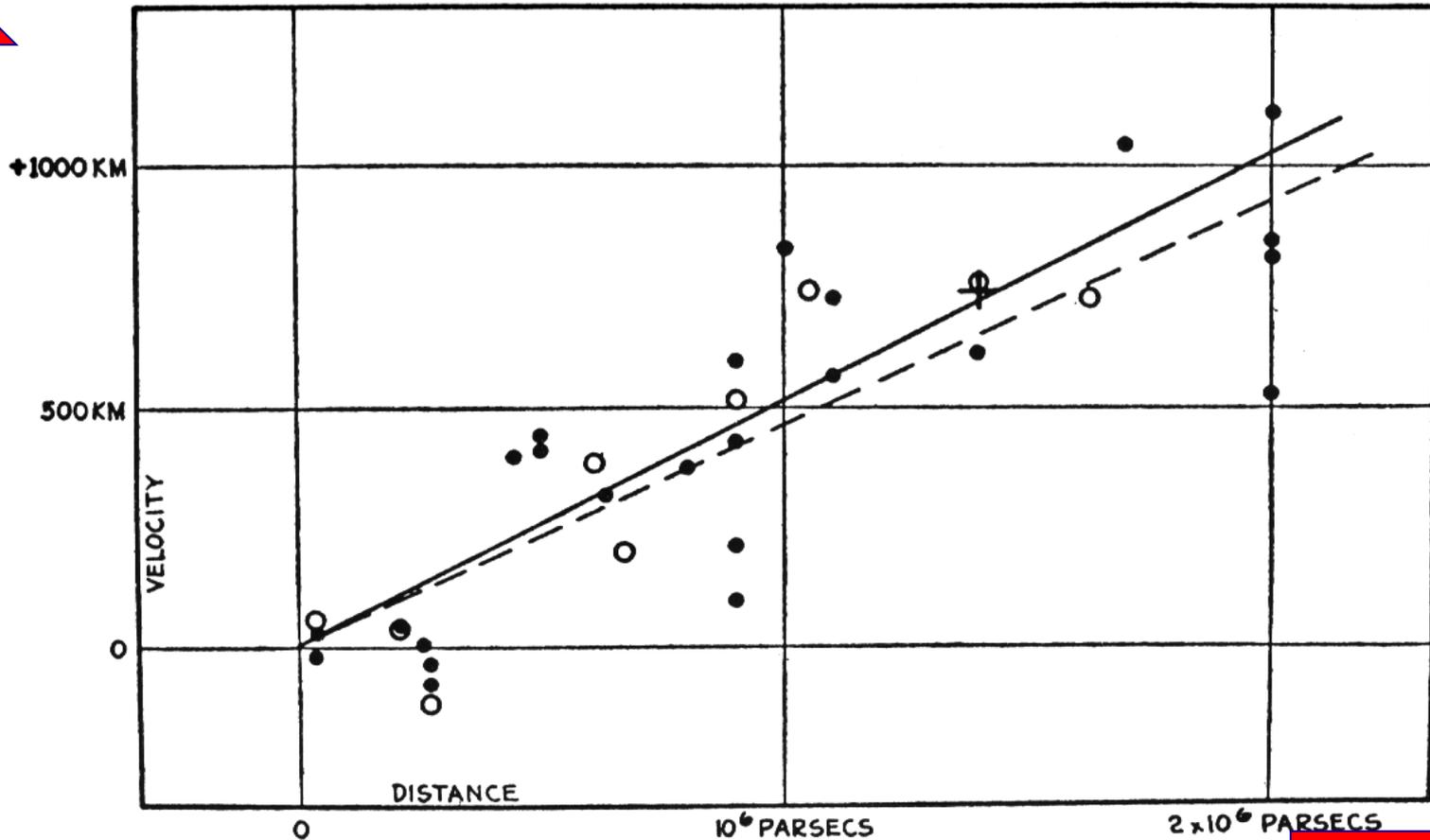
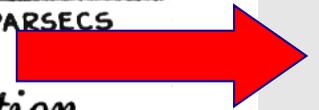
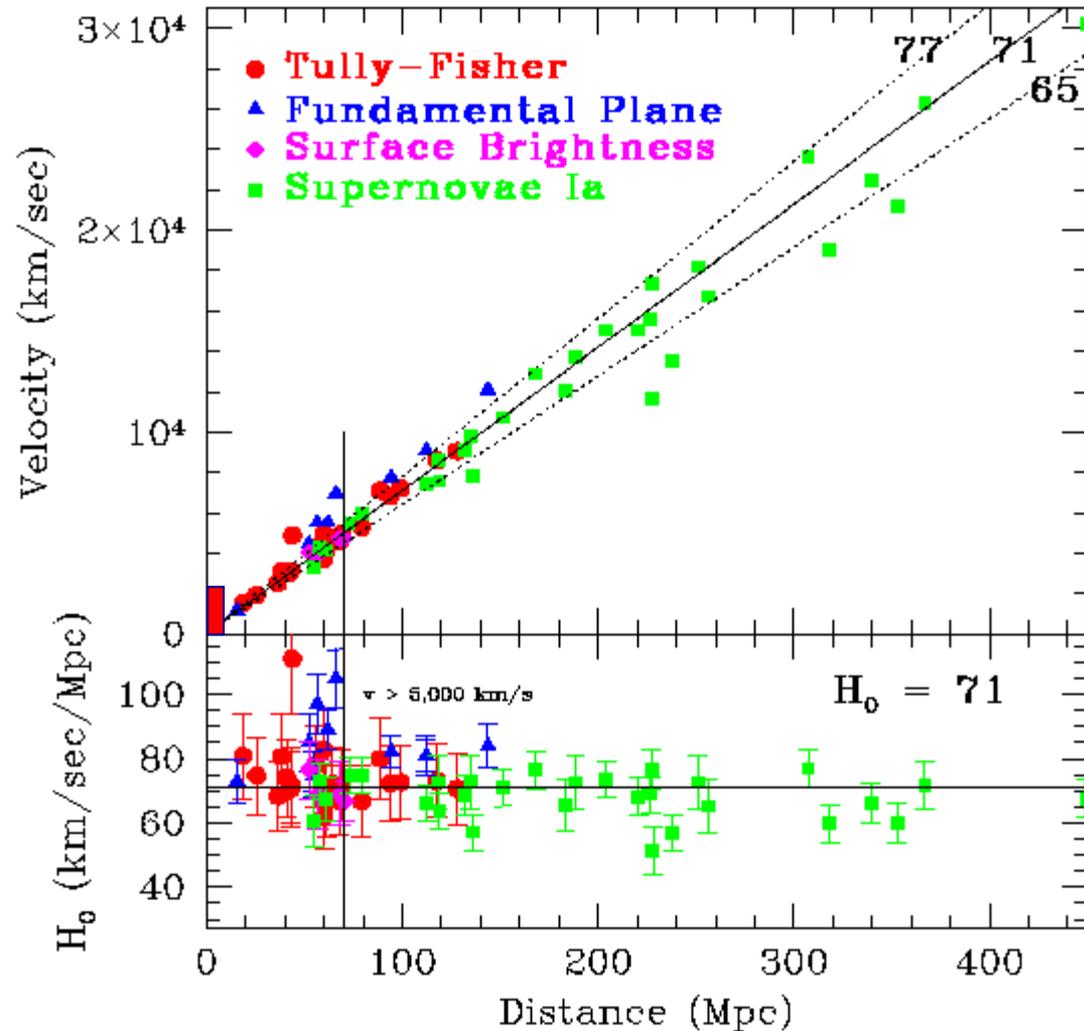


FIG. 9. *The Formulation of the Velocity-Distance Relation.*

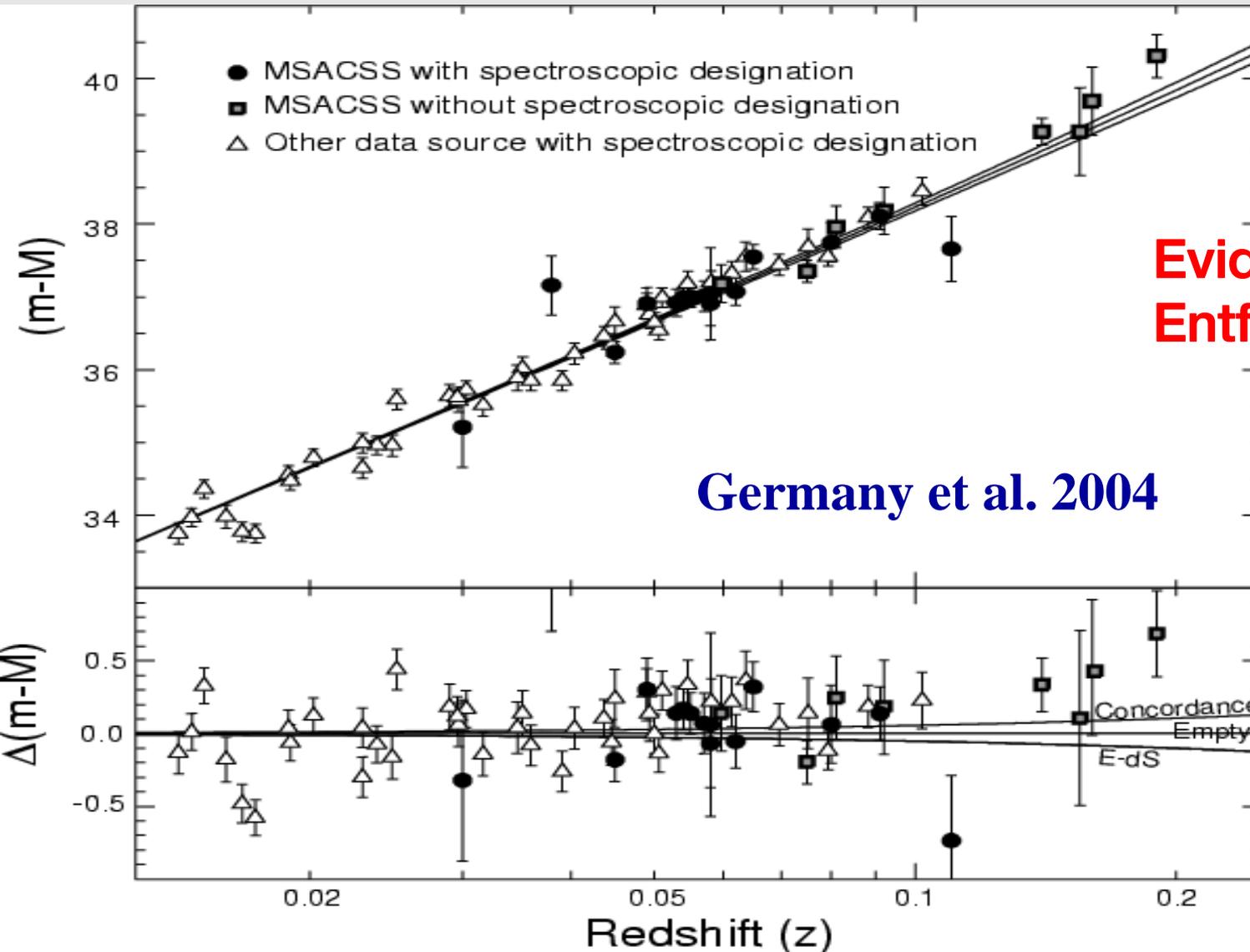
Entfernung



Ein modernes Hubble Diagramm



Die nahen SNe Ia



Evidenz für gute
Entfernungen

Entfernungsmessung mittels einer Lichtquelle



1000w



1000w

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.

Einsteins Feldgleichungen





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

Fundamente der Kosmologie

Gravitationstheorie

Einstein'sche Relativitätstheorie

Isotropie

**Es gibt keine bevorzugte Richtung im
Universum**

Homogeneität

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

Anthropisches Prinzip

Das Universum hat uns erzeugt

Friedmann-Lemaître Kosmologie

Annahme:

ein homogenes und isotropes Universum

Nullgeodesie in der Friedmann-Robertson-Walker Metrik:

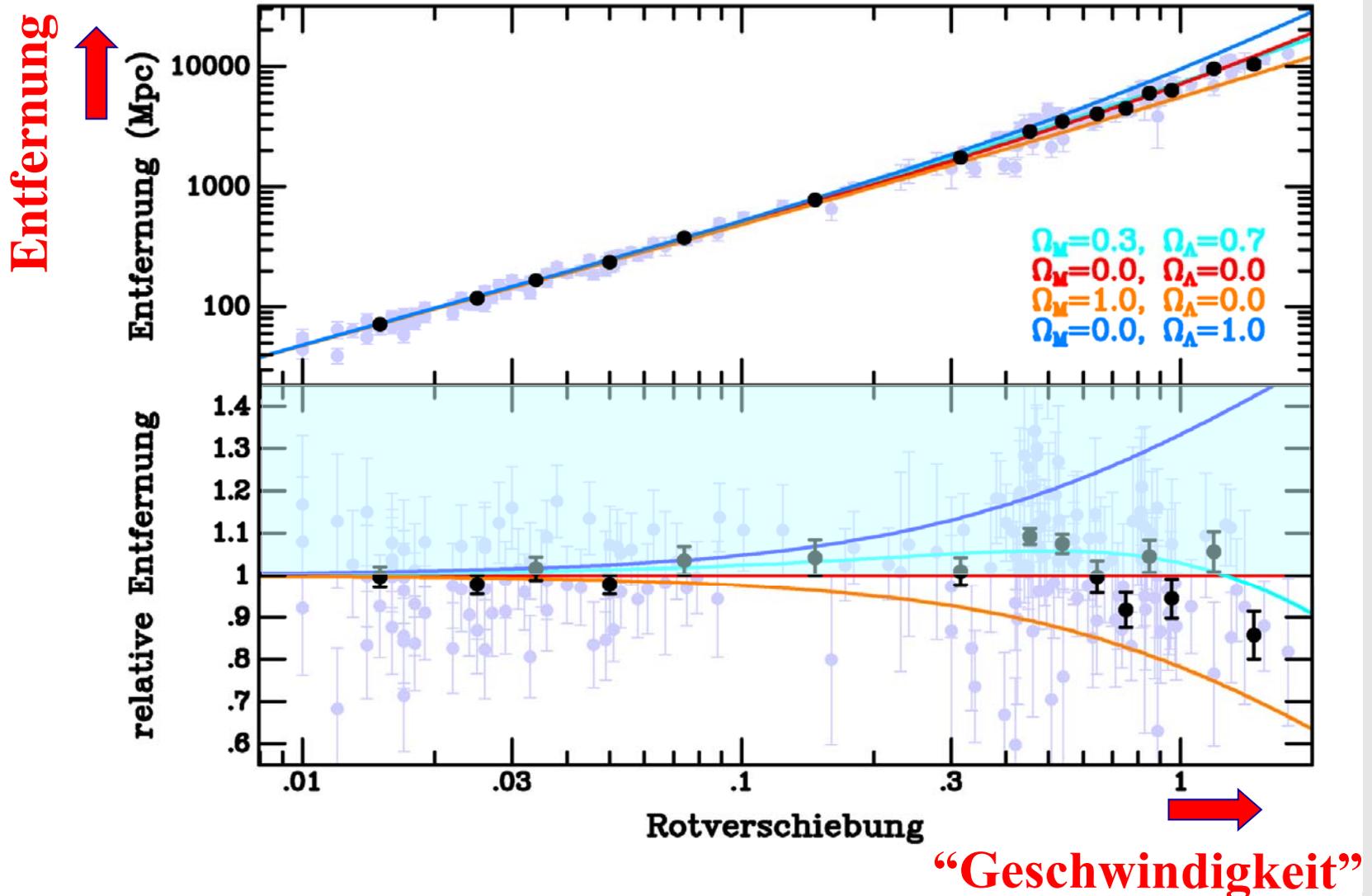
$$D_L = \frac{(1+z)c}{H_0 \sqrt{|\Omega_k|}} \mathcal{S} \left\{ \sqrt{|\Omega_k|} \int_0^z \left[\Omega_k (1+z')^2 + \Omega_M (1+z')^3 + \Omega_\Lambda \right]^{-1/2} dz' \right\}$$

$$\Omega_M = \frac{8\pi G}{3H_0^2} \rho_M$$

$$\Omega_k = -\frac{kc^2}{R^2 H_0^2}$$

$$\Omega_\Lambda = \frac{\Lambda c^2}{3H_0^2}$$

Das vollständige Hubble Diagramm





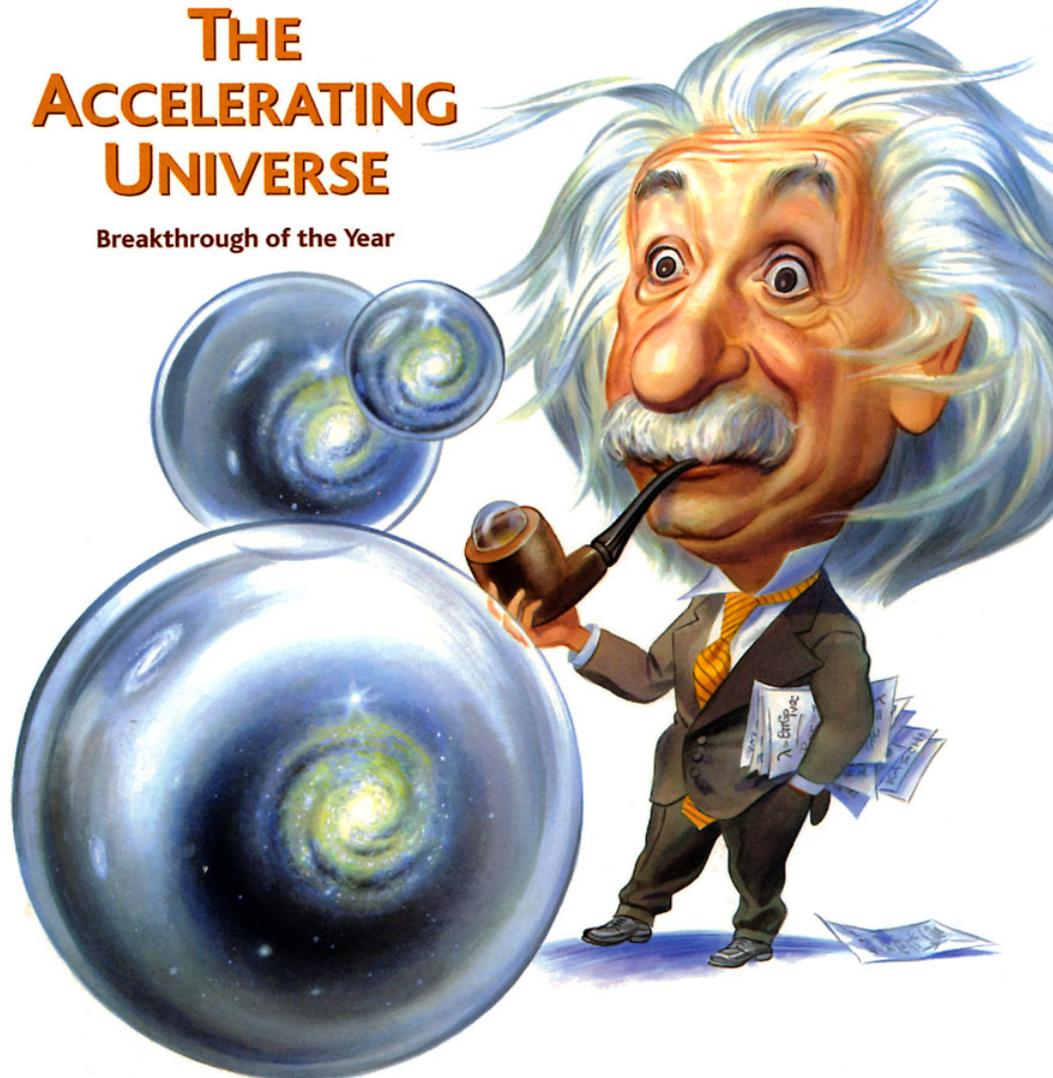
Science

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 hinab, und man sieht
keine genau - statische Welt,
denn fast mit dem Prozess -
logischen Gesetz,
haben die Sitten sich gegenseitig
von ihnen
A. Einstein.



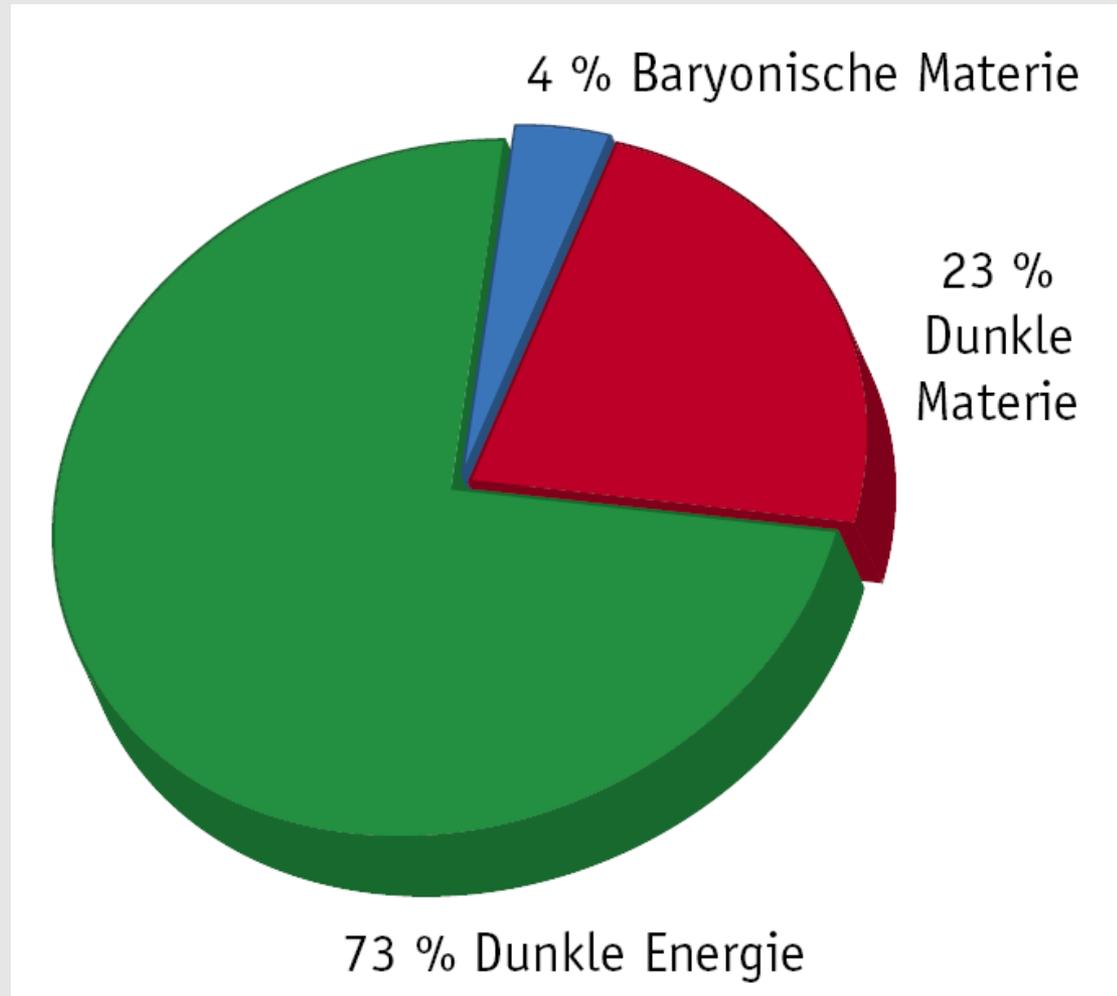
Prof. Dr. H. Weyl
Technische Hochschule
Zürich (Schweiz)
Bald 12.5%

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?

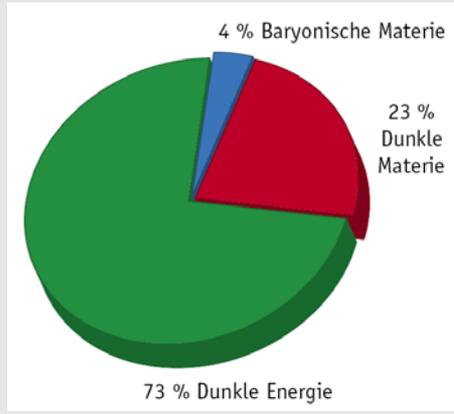
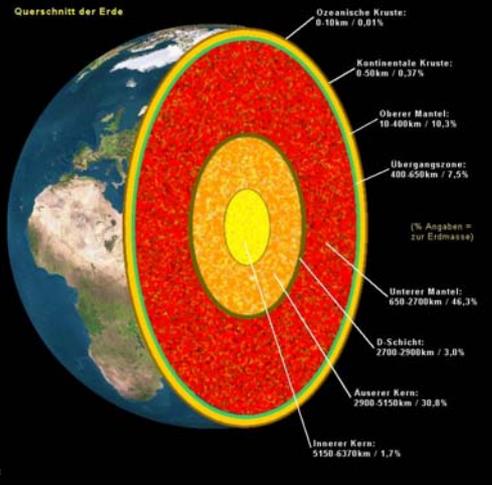
Das Universum besteht im wesentlichen
aus

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)

**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)**