

Die Zukunft des Universums

Perspektiven für Astrophysik und Kosmologie



© Stéphane Guisard

Bruno Leibundgut
European Southern Observatory

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

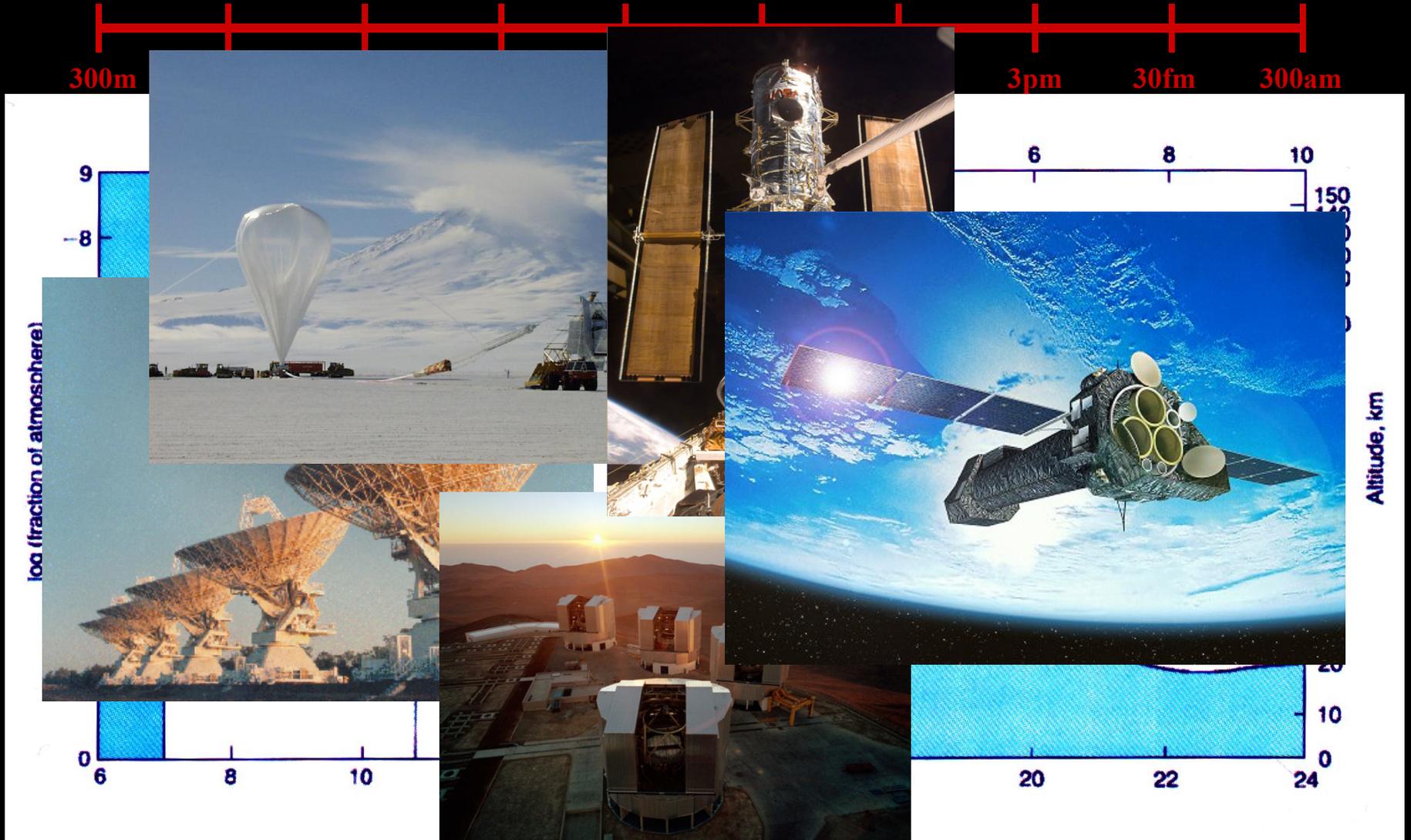
Ich denke nie an die Zukunft, sie kommt bald genug.

Albert Einstein

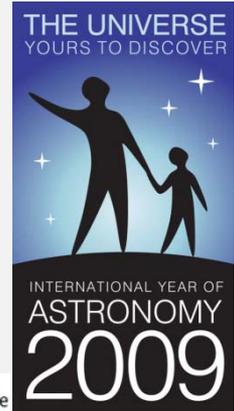
Astronomie ist anders ...

- Studium aller Objekte ausserhalb der Erde
- Keine direkten Experimente
 - Laborexperimente können nur beschränkt die Bedingungen im Universum erzeugen (e.g. Dichten, Entfernungen und Zeiträume, Temperaturen)
- Informationsträger
 - Photonen – elektromagnetische Strahlung
 - Neutrinos – bisher nur von zwei astronomischen Objekten beobachtet
 - Gravitationswellen – vorhergesagt, aber bis heute nur indirekt beobachtet

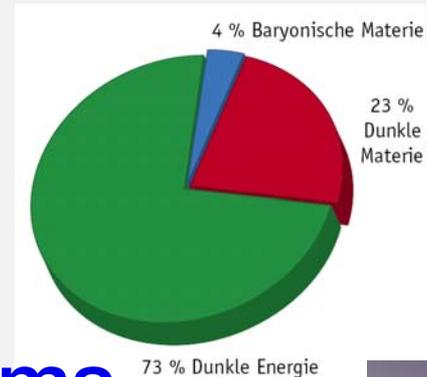
Die Erdatmosphäre



Unser Blick ins Universum

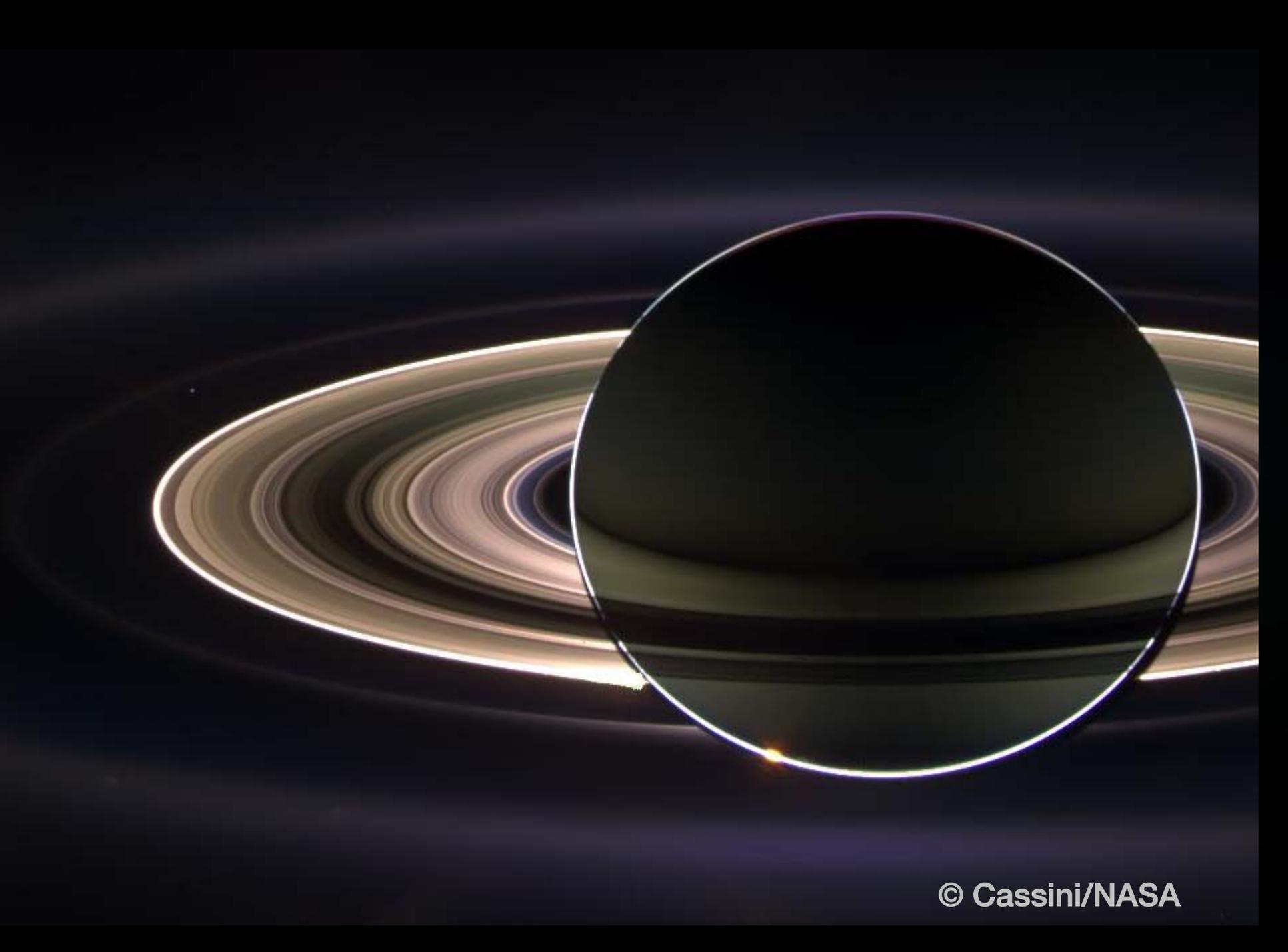


- **Raum und Zeit**
 - Unser Platz im Universum
 - Unsere Geschichte
- **Die Zukunft des Universums**
 - Evidenz für eine neue Komponente im Universum
- **Sternwarten heute und in der Zukunft**



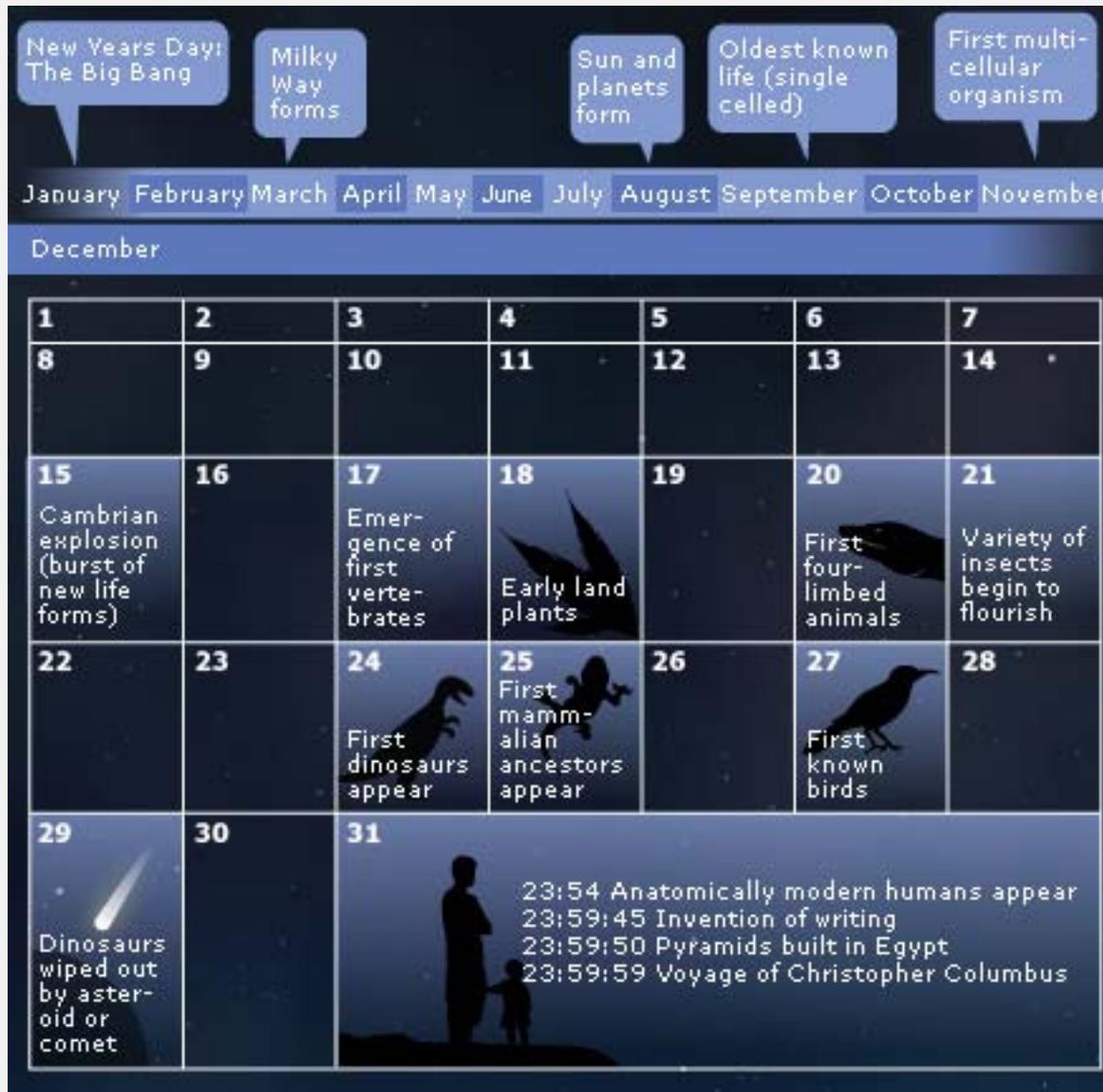
Unser Platz im Universum





© Cassini/NASA

Geschichte des Universums



Nach Carl Sagan

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.

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

Supernovae und Dunkle Energie

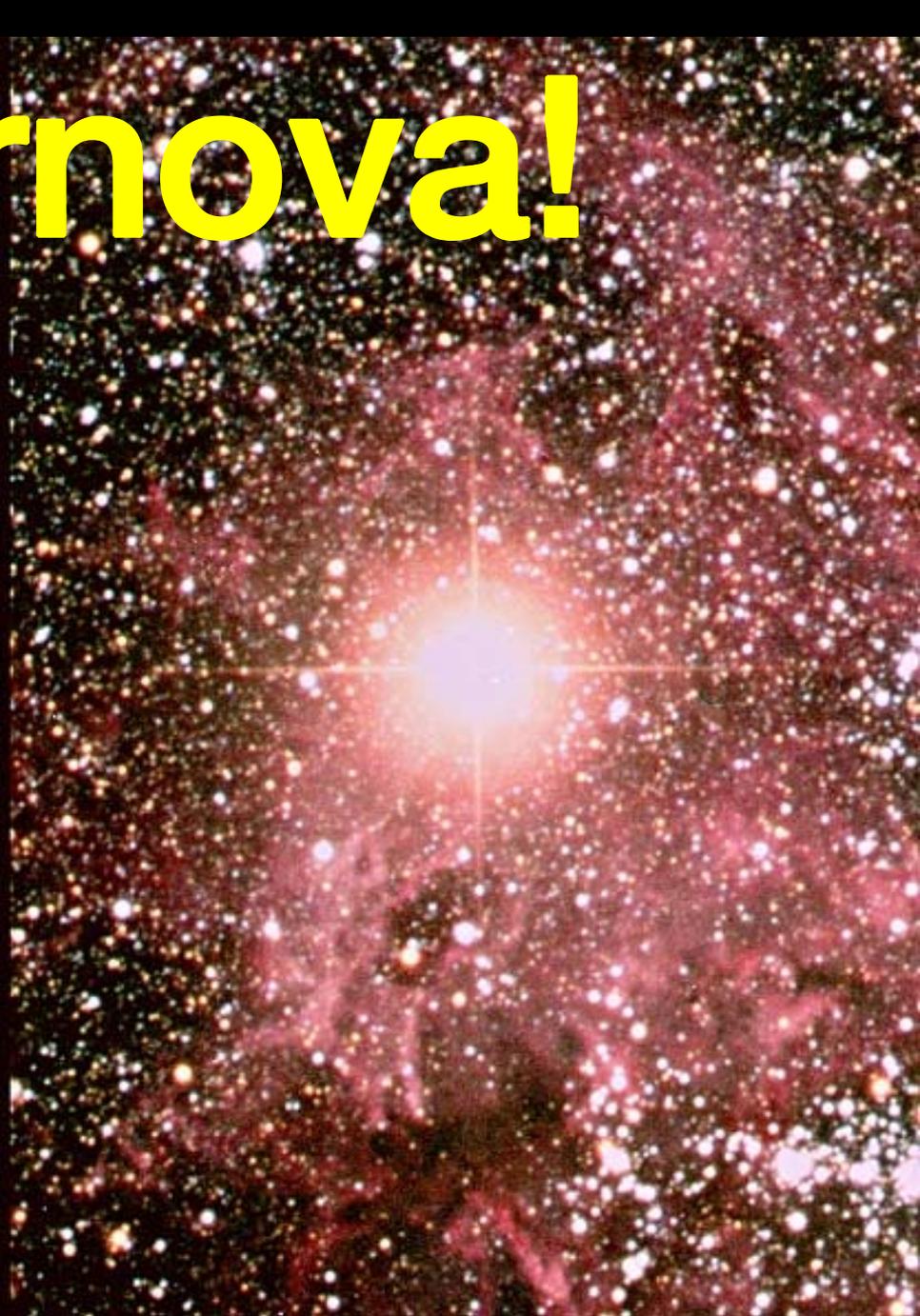
Die Expansion des Universums wird bestimmt von seinem **(Energie-/Masse-) Inhalt**.

Die einzige relevante Wechselwirkung für die Kosmologie ist die **Gravitation**.

Die Expansion kann durch genaue kosmologische Entfernungsmessungen bestimmt werden. **Supernovae** sind im Moment die besten bekannten kosmischen Massstäbe.



Supernova!



Helle Sterne

Stellare Explosionen – Supernovae –
sind die hellsten Sterne, die
beobachtet werden können.



Supernovae!



Supernovae

PERIODIC CHART OF THE ELEMENTS

Sterne (orange oval)

Urknall (blue oval)

Supernovae (red oval)

1	2											11	12																																																														
1	2											11	12																																																														
3	4											5	6	7	8	9	10																																																										
3	4											5	6	7	8	9	10																																																										
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36																																																		
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36																																																		
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112
87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112																																																		
87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112																																																		

Lanthanide Series

57	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

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	

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

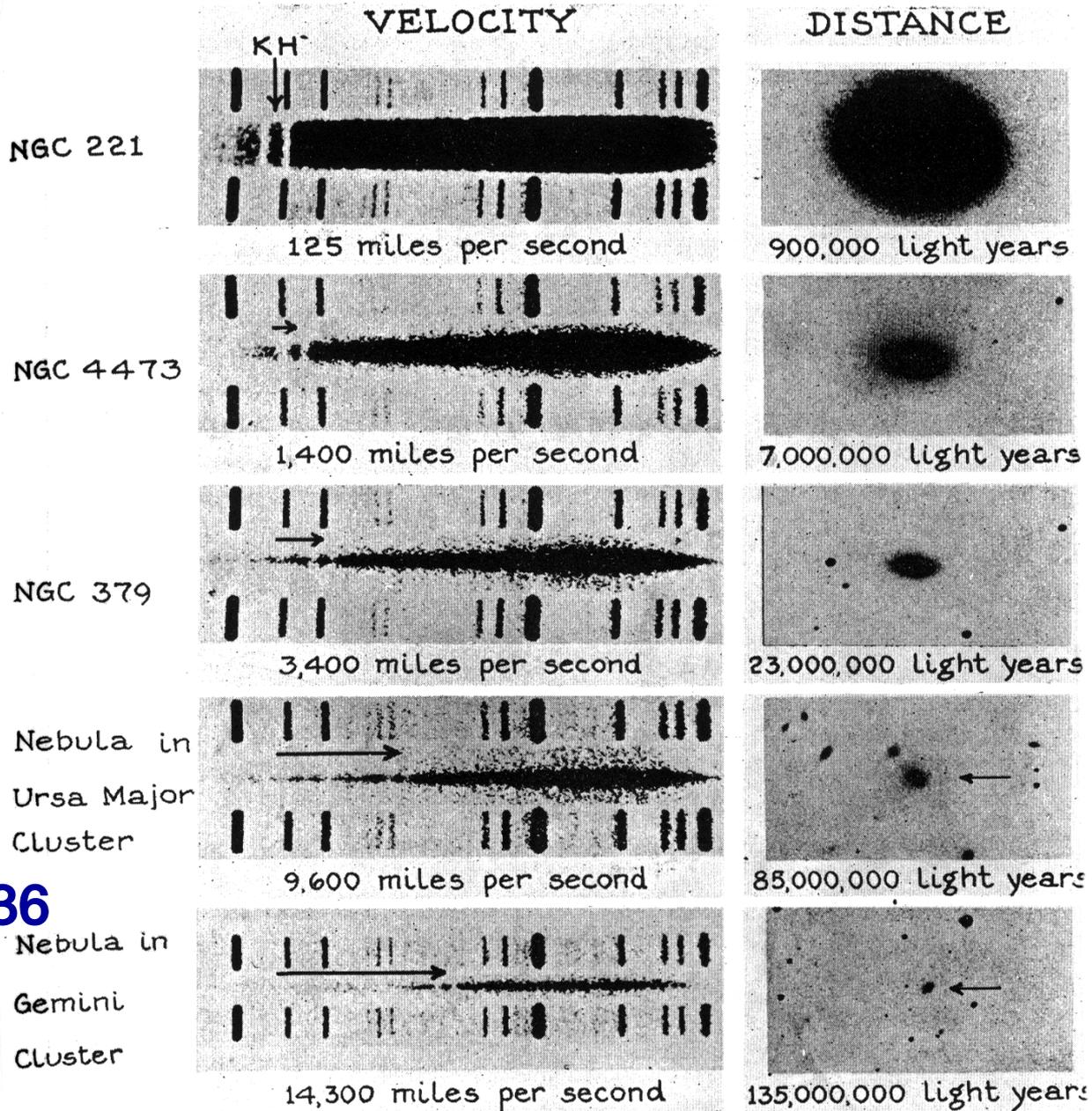
Um einen Apfelkuchen mit all seinen Zutaten zu backen, müssen Sie zuerst das Universum erzeugen.

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

E

IS

THE VELOCITY-DISTANCE RELATION FOR EXTRA-GALACTIC NEBULAE



Hubble 1936

Das Original Hubble Diagram

Geschwindigkeit

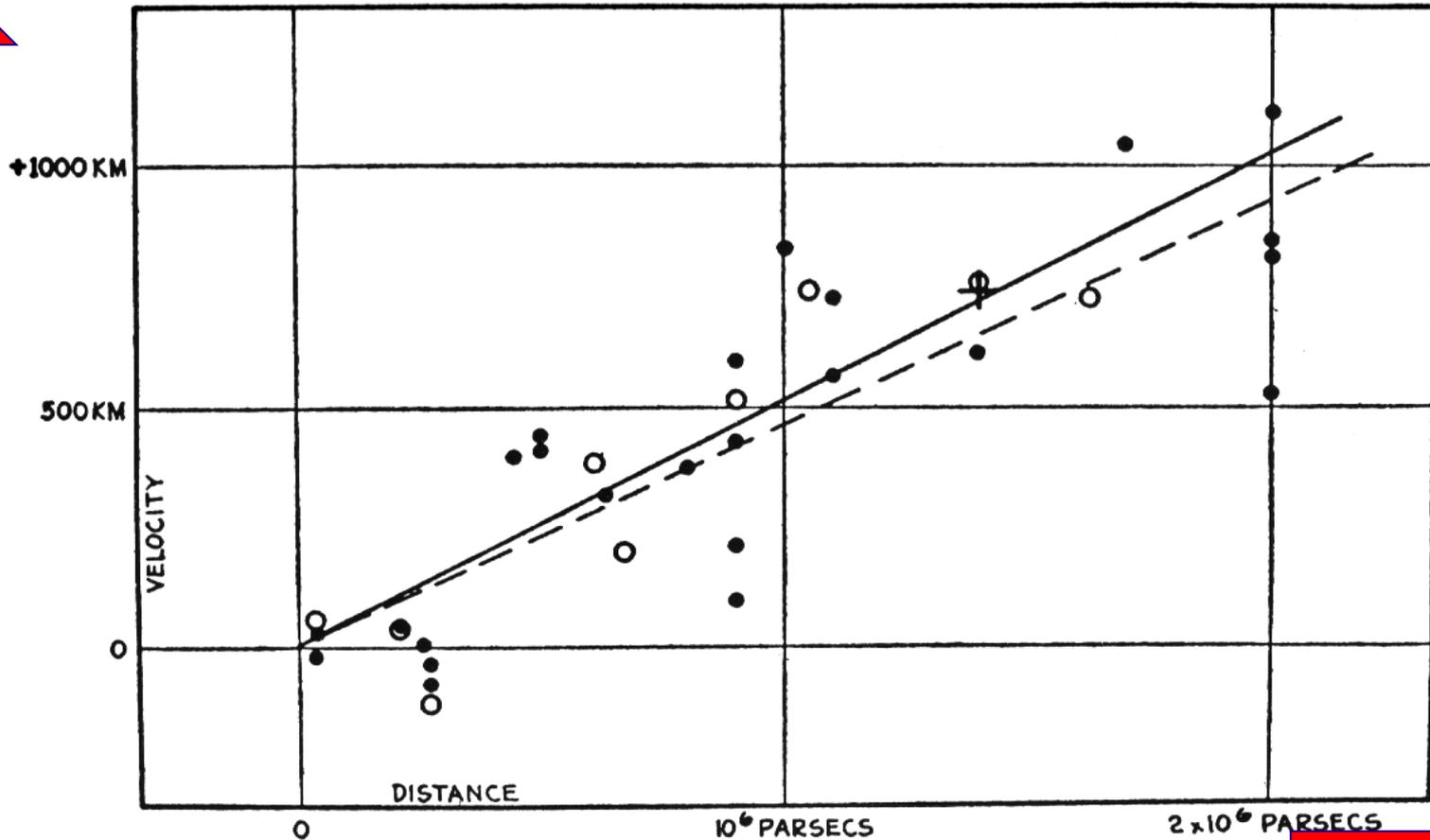
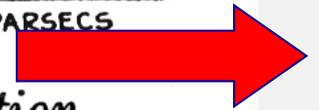


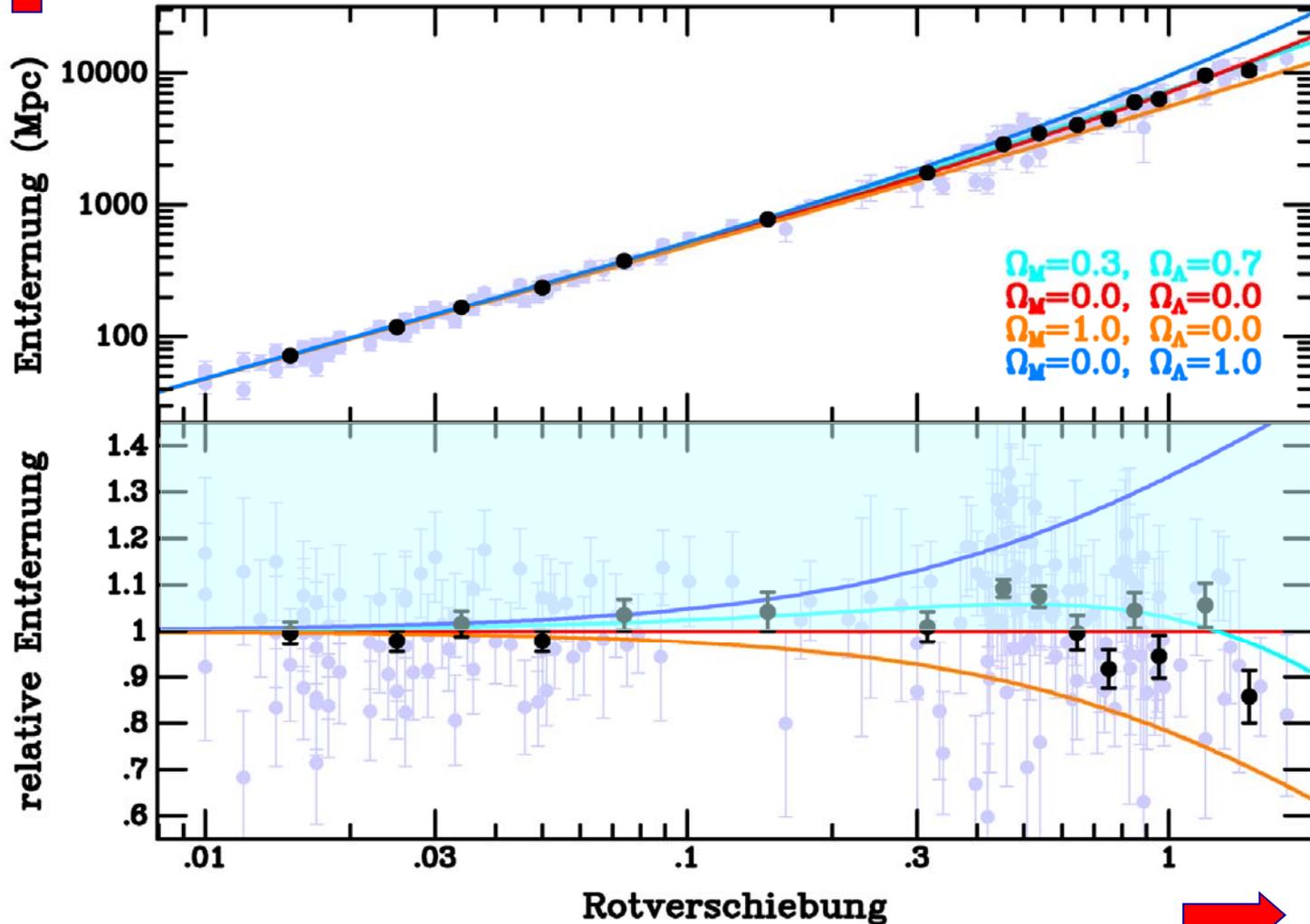
FIG. 9. *The Formulation of the Velocity-Distance Relation.*

Entfernung



Das vollständige Hubble Diagramm

Entfernung



“Geschwindigkeit”

Supernova Suche

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

Spektroskopie with VLT,
Gemini, Keck, Magellan

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

→ Bestimmung der
Eigenschaften der
Dunklen Energie



Das ESSENCE Team



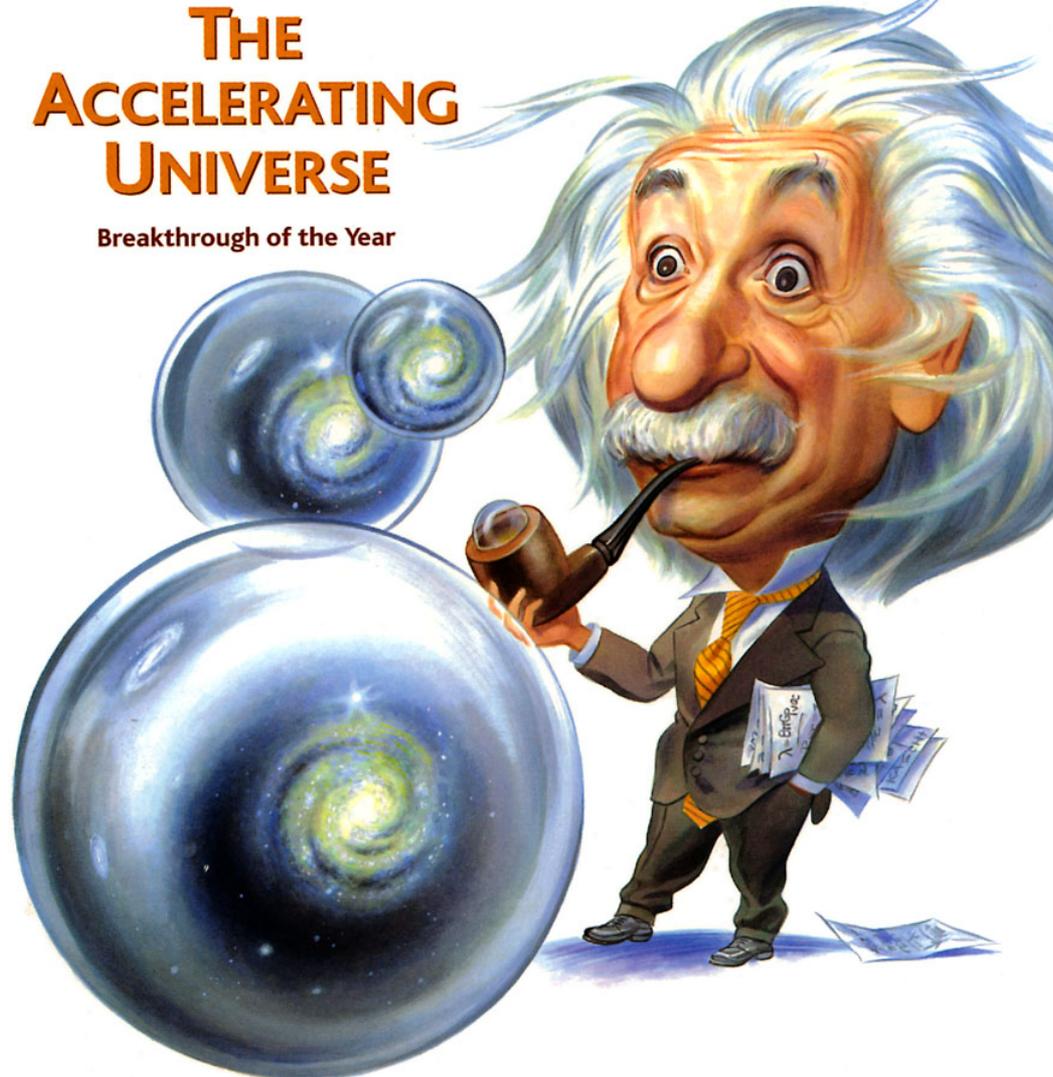
18 December 1998

Science

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

THE ACCELERATING UNIVERSE

Breakthrough of the Year



ne

Entfern
entfern
expans
Univers
abstos
werden

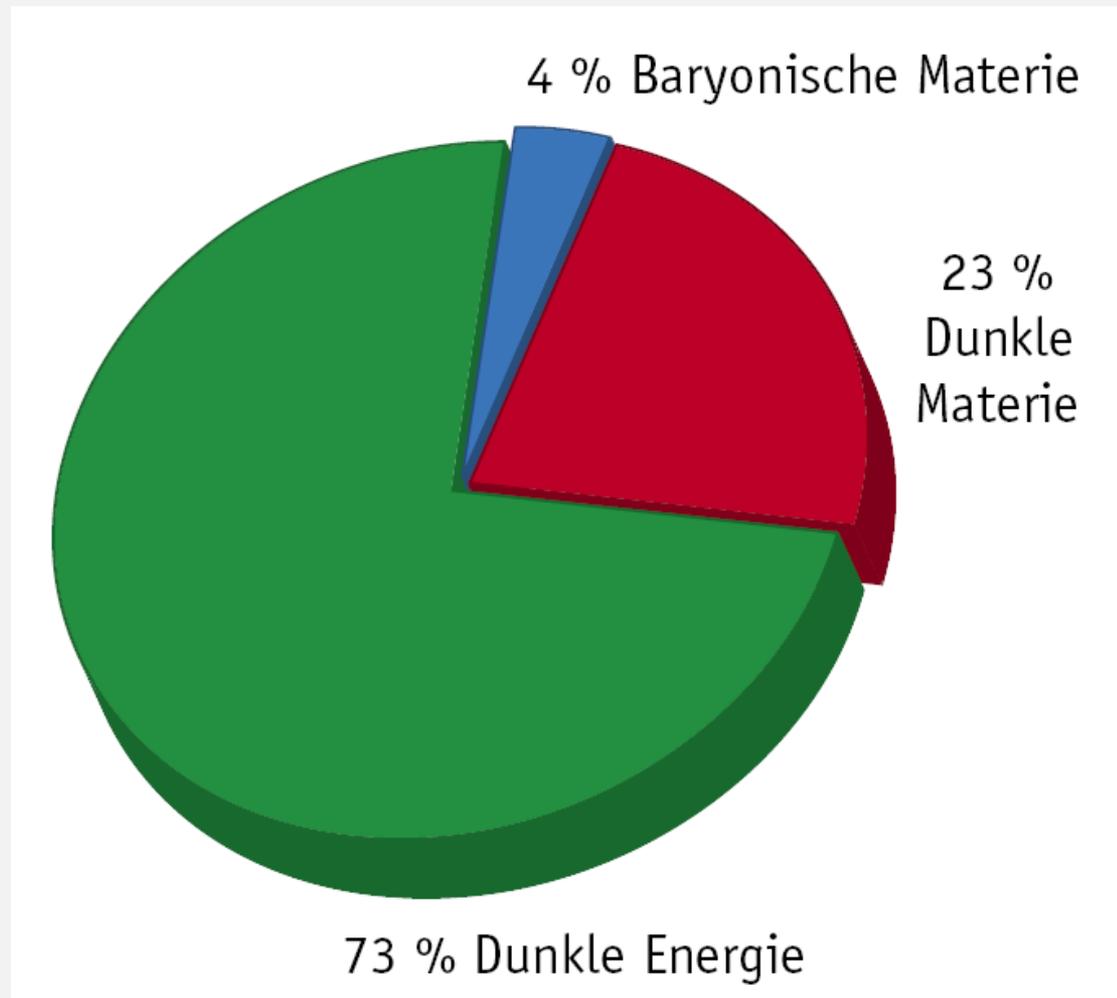


AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE

Der Inhalt des Universums

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

Was sind sie?



Was bedeutet das?

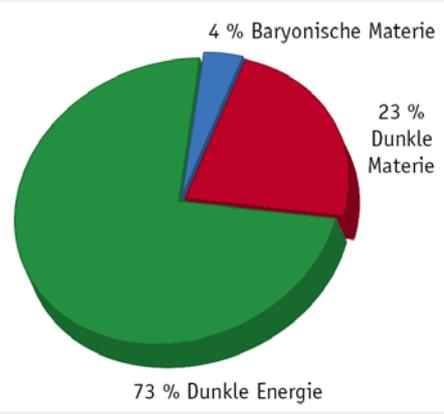
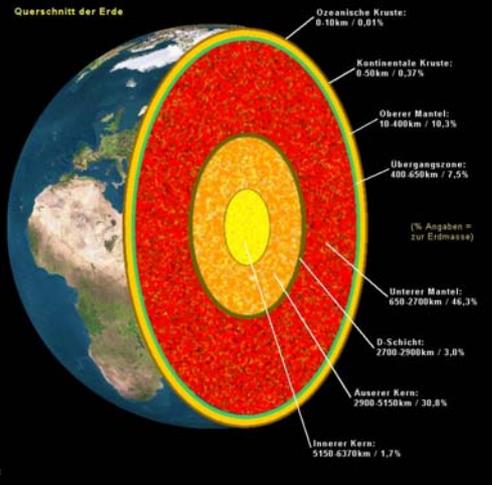
Das Universum besteht im wesentlichen
aus

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



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

Albert Einstein

John Quincy Adams, der 6. Präsident der Vereinigten Staaten, traf vor dem Kongress die Feststellung, dass das Niveau der Kultur und Zivilisation eines Landes am Zustand seiner Sternwarten abgelesen werden könne. Die Astronomie ist alles andere als eine abseitig weltfremde Wissenschaft, für die man sie manchmal glaubte halten zu müssen. Ihre enge Verbindung mit allen Zweigen der Physik, Mathematik und Geophysik und selbst mit vielen Gebieten der modernen Technologie macht sie zu einem integrierenden Teil der modernen Wissenschaft.

Otto Heckmann (1960)



ESO

European Organisation
for Astronomical
Research in the
Southern Hemisphere

Die Europäische Südsternwarte European Southern Observatory (ESO)

- **Aufgabe**
 - Entwicklung und Betrieb von erstklassigen Beobachtungseinrichtungen der astronomischen Forschung
 - Organisation von astronomischer Zusammenarbeit (vor allem in Europa)
- **Zwischenstaatliche Organisation**
 - 1962 von fünf Staaten gegründet
 - Inzwischen 14 Mitgliedsstaaten
- **Sternwarten in Chile**
 - Optisch und Infrarot: La Silla und Paranal
 - Sub-mm: APEX und ALMA Partner auf Chajnantor
- **Hauptquartier in Garching and Institut in Santiago**

ESO's Orte

Paranal
La Silla
Santiago

Chajnantor

Garching bei München

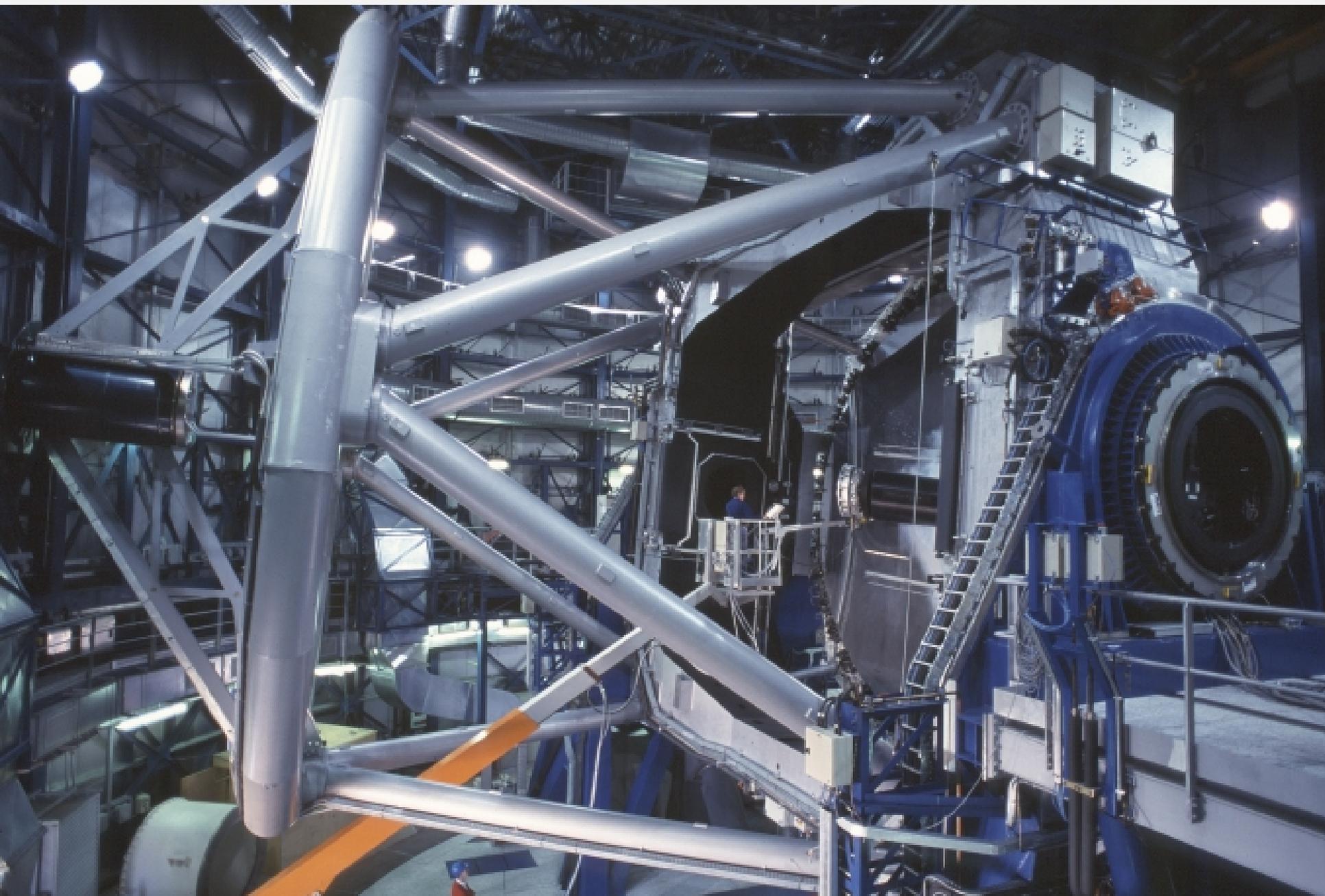
ESO



Repräsentation in Santi



Das Very Large Telescope (VLT) auf Paranal



APEX und ALMA

- **APEX**
 - 12m sub-millimeter Antenne
 - Zusammenarbeit zwischen ESO, MPG and Schweden
- **ALMA**
 - 66 Antennen auf 5050m
 - Betriebszentrum auf 2950m
 - Globales Projekt zusammen mit Nordamerika und Ostasien

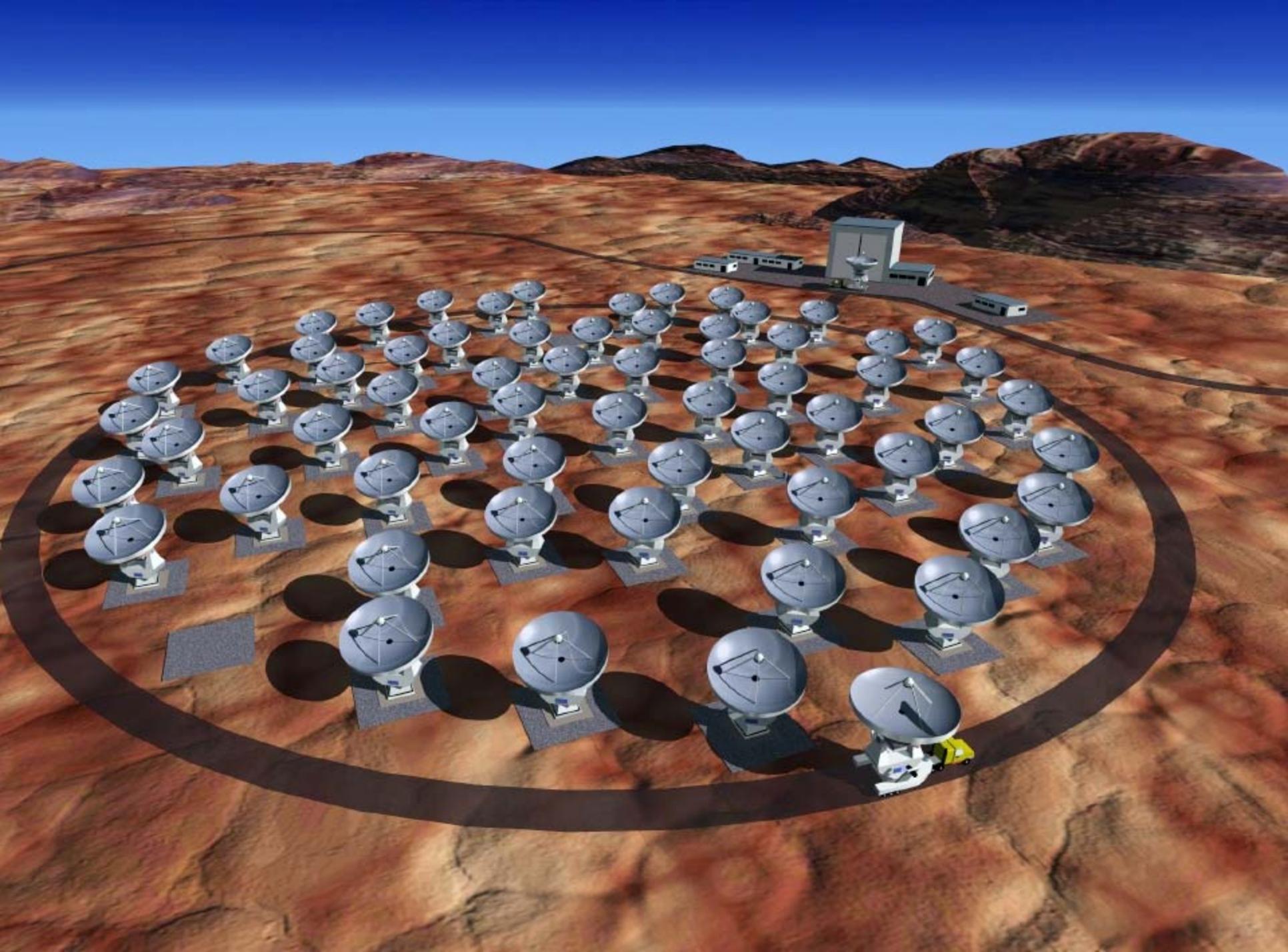


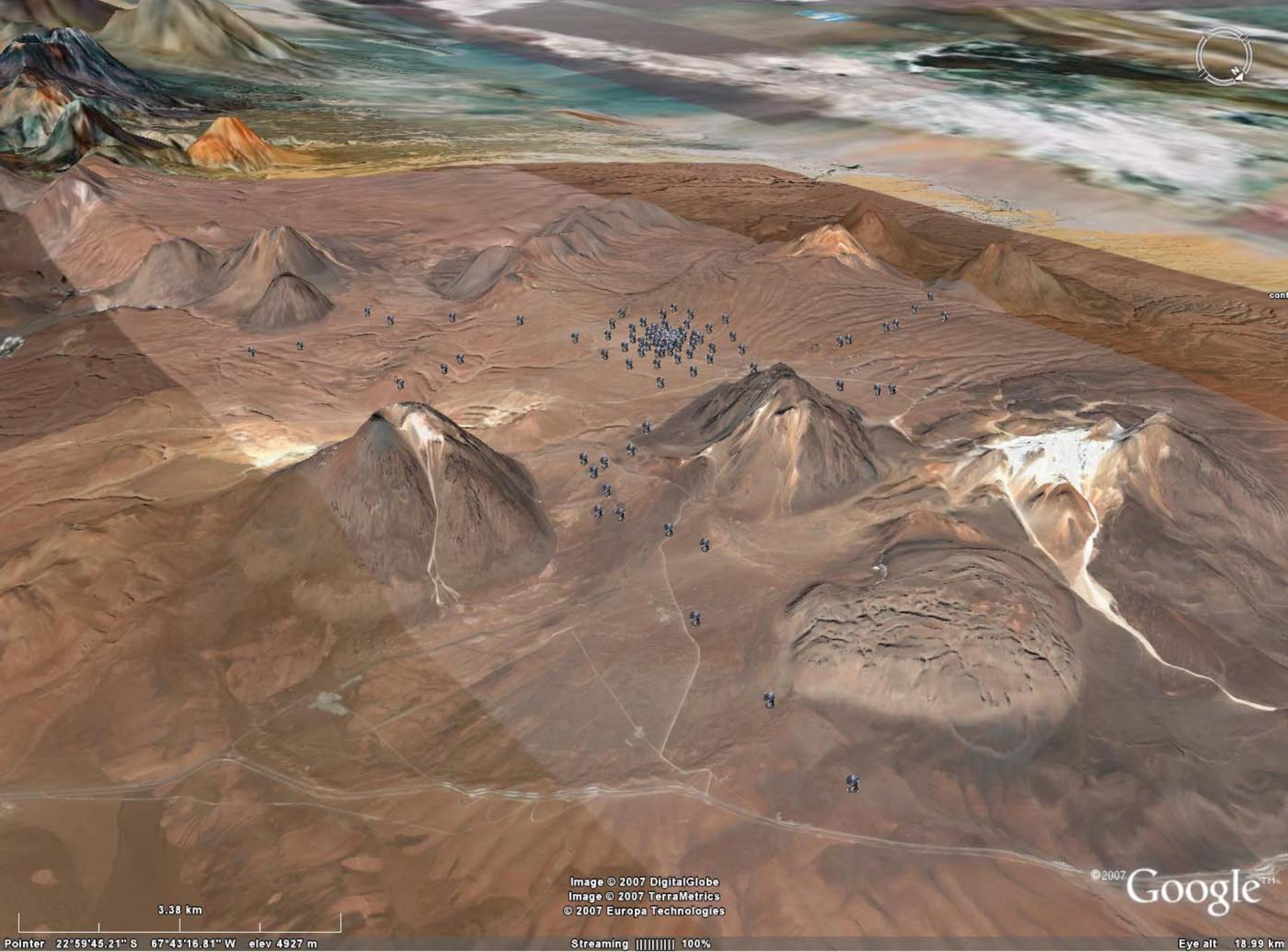


ESO
European Organisation
for Astronomical
Research in the
Southern Hemisphere

ALMA Transport







cont

Image © 2007 DigitalGlobe
Image © 2007 TerraMetrics
© 2007 Europa Technologies

© 2007 Google™

3.38 km

Pointer 22°59'45.21" S 67°43'16.81" W elev 4927 m

Streaming ||||| 100%

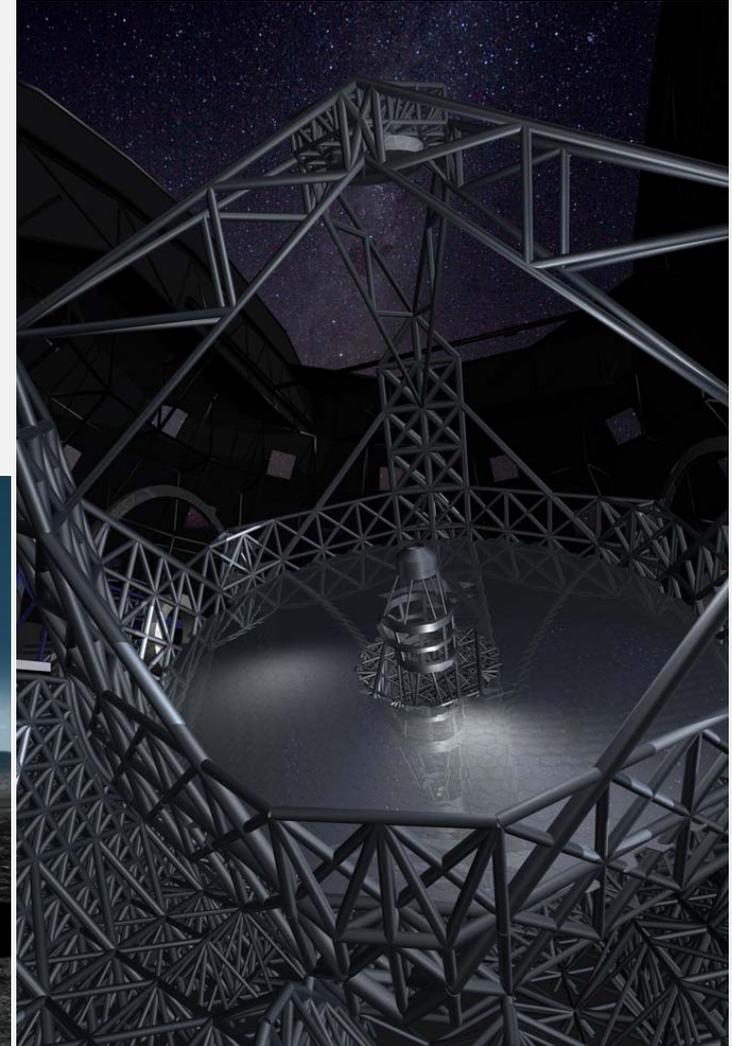
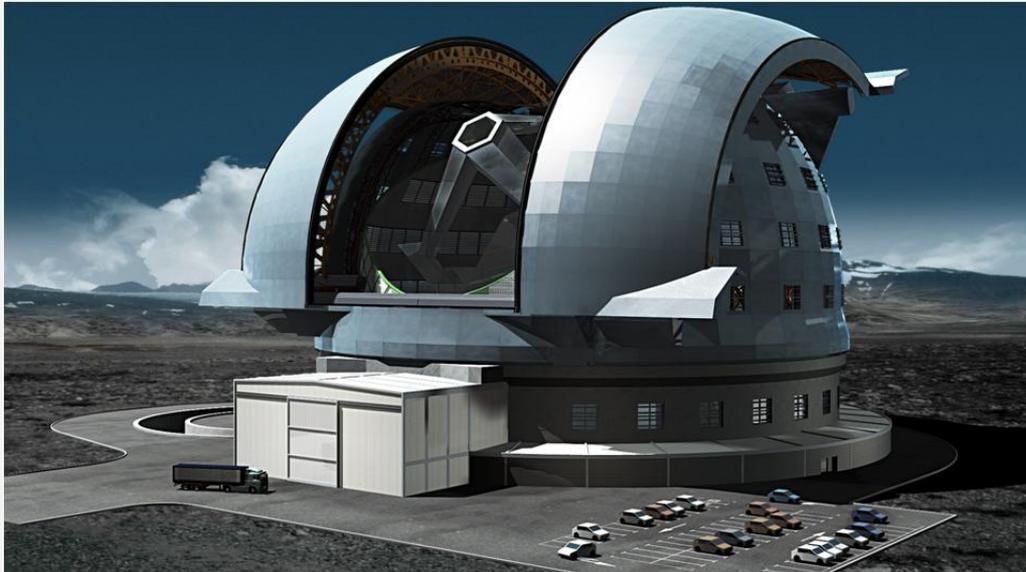
Eye alt 18.99 km



ESO
European Organisation
for Astronomical
Research in the
Southern Hemisphere

European Extremely Large Telescope (E-ELT)

- **Detaillierte Design Studie**
 - 42m Hauptspiegel
 - Adaptive Optik im Teleskop
- **Bau: 2011-2018**





ESO
European Organisation
for Astronomical
Research in the
Southern Hemisphere

Ausgezeichnete Wissenschaft

Planeten um andere Sterne und ihre Entstehung
Schwarze Löcher (Relativitätstheorie)
Physik der entferntesten Galaxien ('First Light')
Dynamik der kosmischen Expansion (Dunkle
Energie)





ESO
European Organisation
for Astronomical
Research in the
Southern Hemisphere

European Extremely Large Telescope

