

Entdeckungen im Universum

Instrumente der Kosmologie



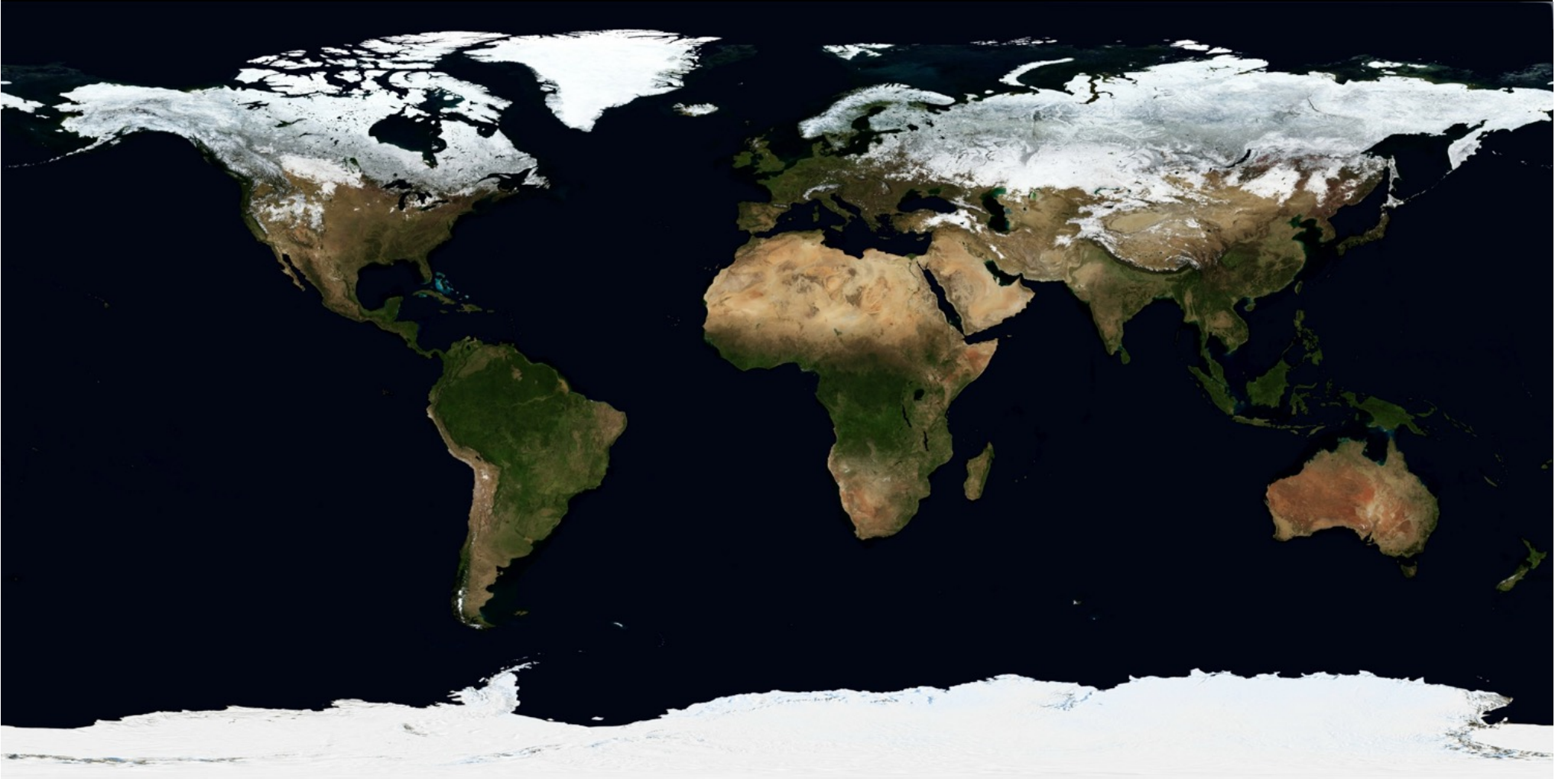
© Stéphane Guillard

Bruno Leibundgut
European Southern Observatory (ESO)

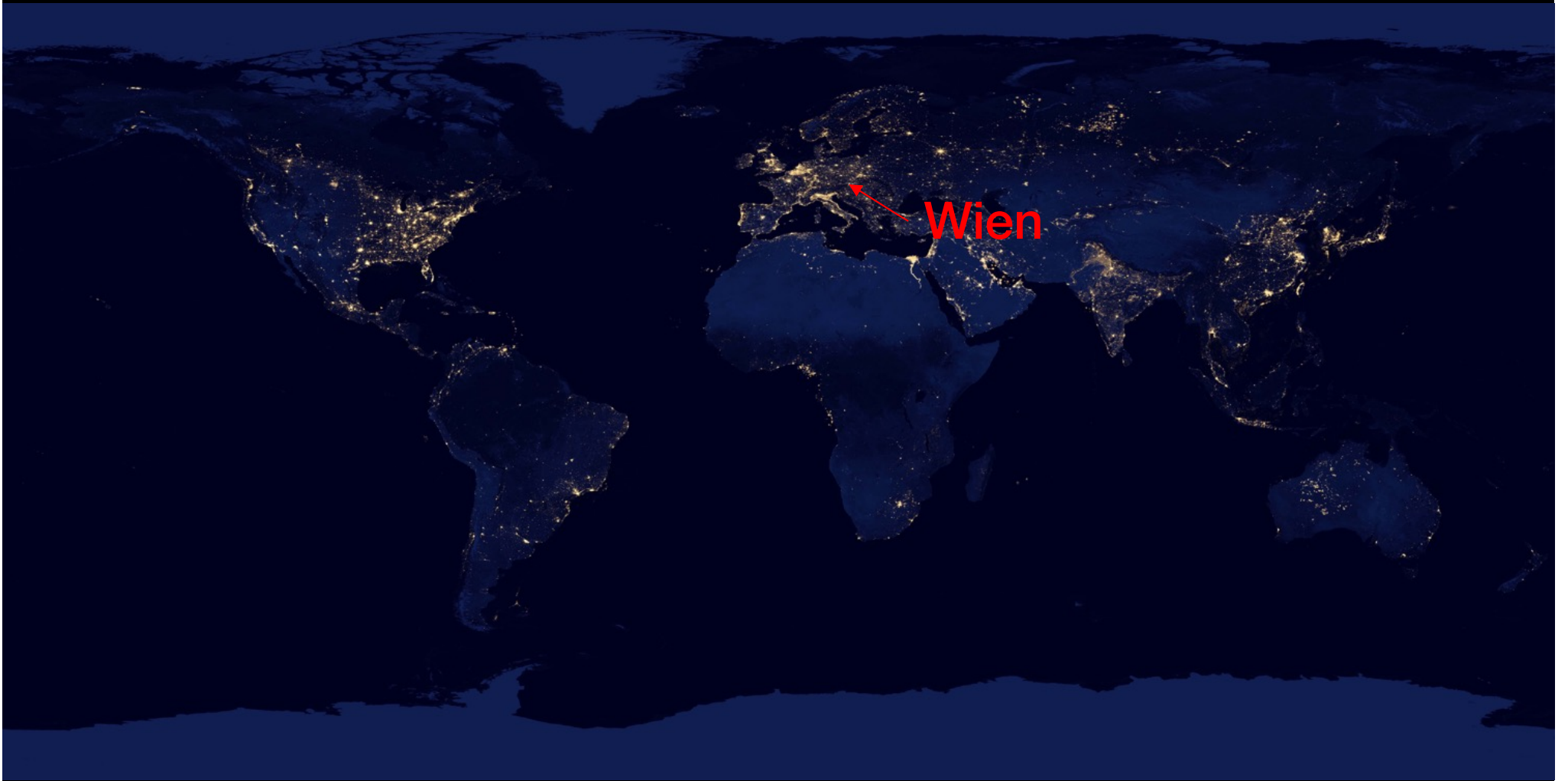
Wie sehen wir die Welt?



Die Welt ändert sich



Die dunkle Erde



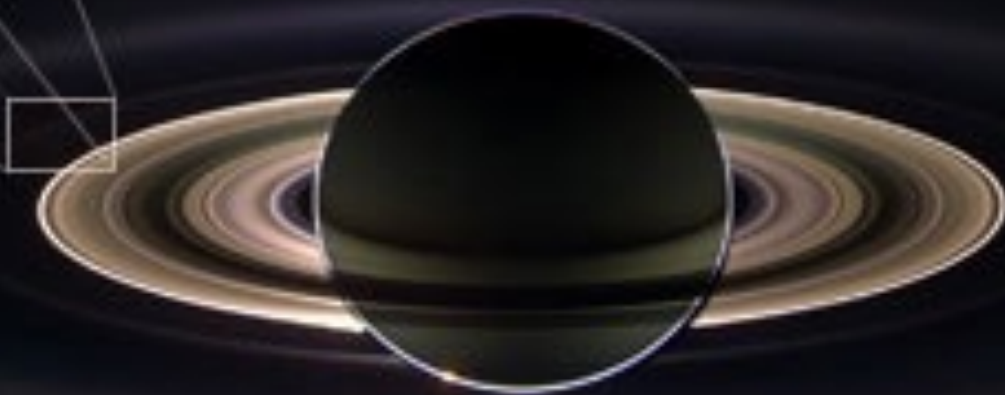
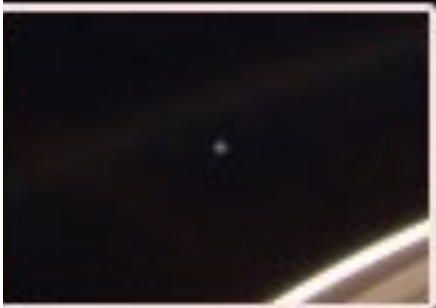
Unser Ort im Universum



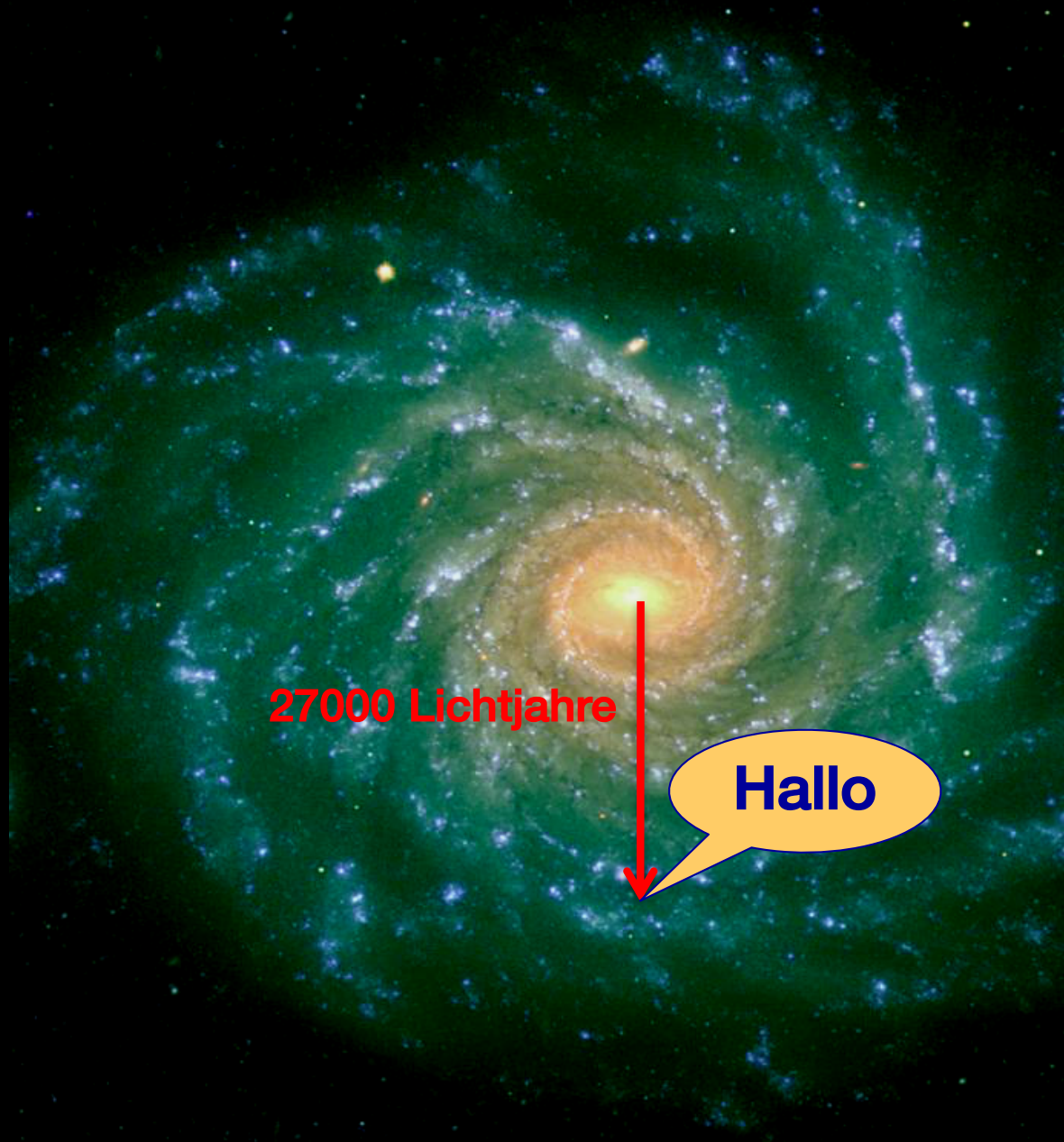
Unsere Heimat

Apollo 8





Unser Platz in der Milchstraße



27000 Lichtjahre

Hallo

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

Dezember

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15
Kambrische
Explosion

16

17
Erste
Wirbeltiere

18
Erste Land-
pflanzen

19

20
Erste
Tiere

22

23

24
Erste
Dinosaurier
erscheinen

25
Die ersten
Vorgänger
der
Säugetiere

26

27
Erste
Vögel

29
Dinosaurier
sterben aus

30

31
23:54 Moderne Menschen (homo sapiens)
23:59:45 Erfindung der Schrift
23:59:50 Pyramiden in Ägypten werden gebaut
23:59:59 Galileo beobachtet den Himmel mit einem Fernrohr



Alter der Alpen

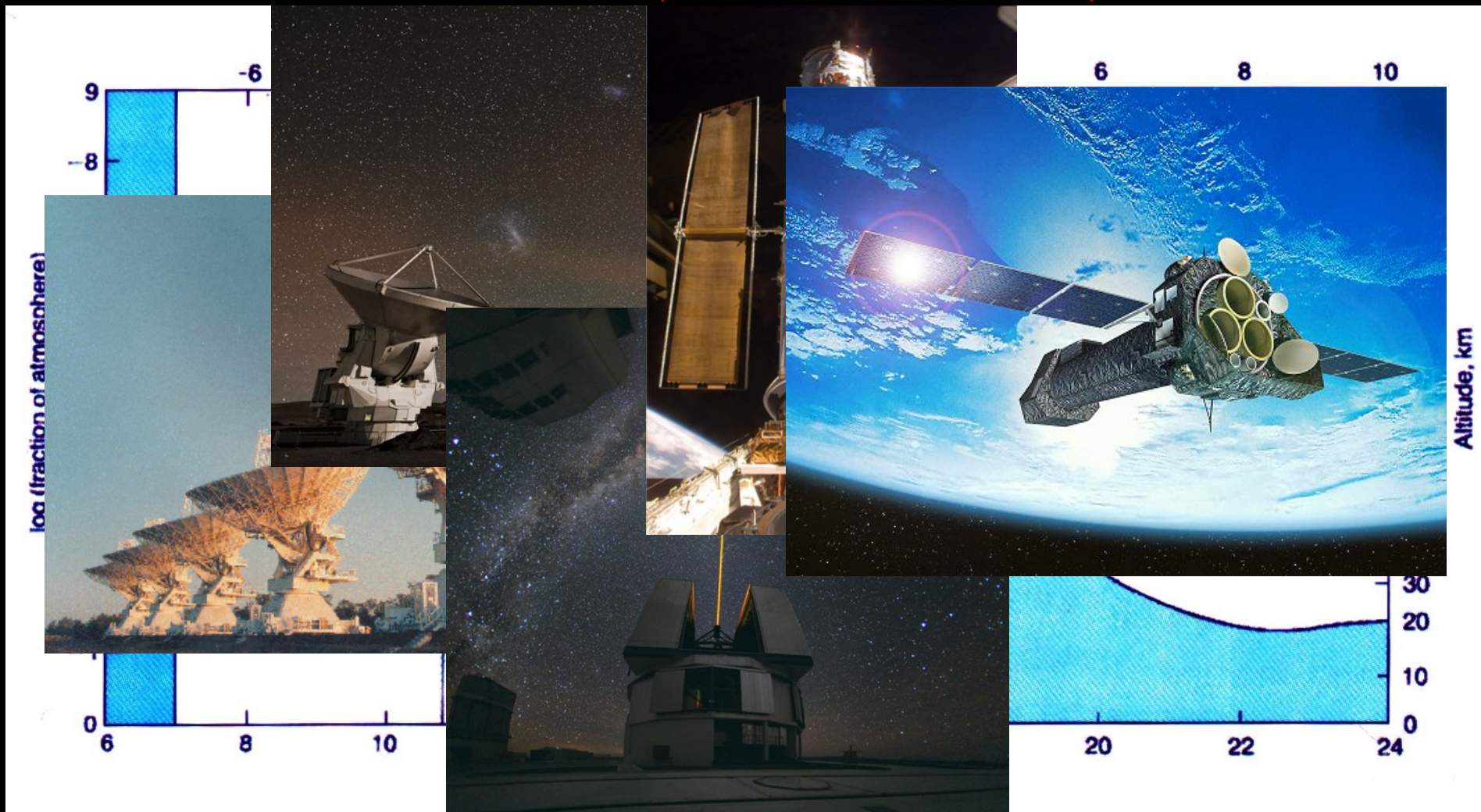
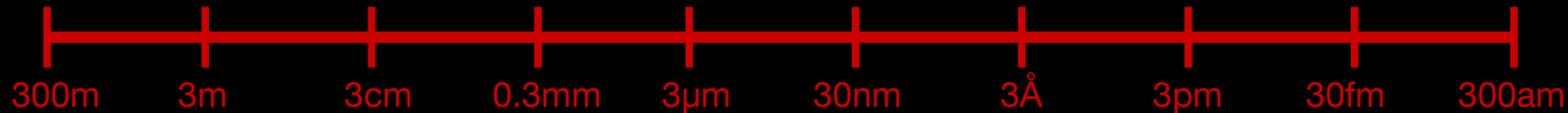
Entstanden vor etwa 30 bis 35 Millionen Jahren

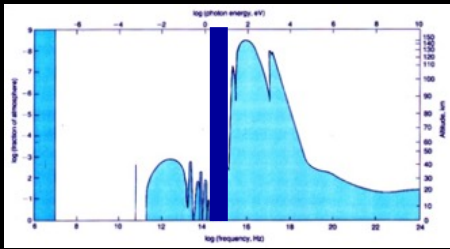


Dinosaurier haben die Alpen nie gekannt!
(vor 65 Millionen Jahren ausgestorben)

Die Erdatmosphäre

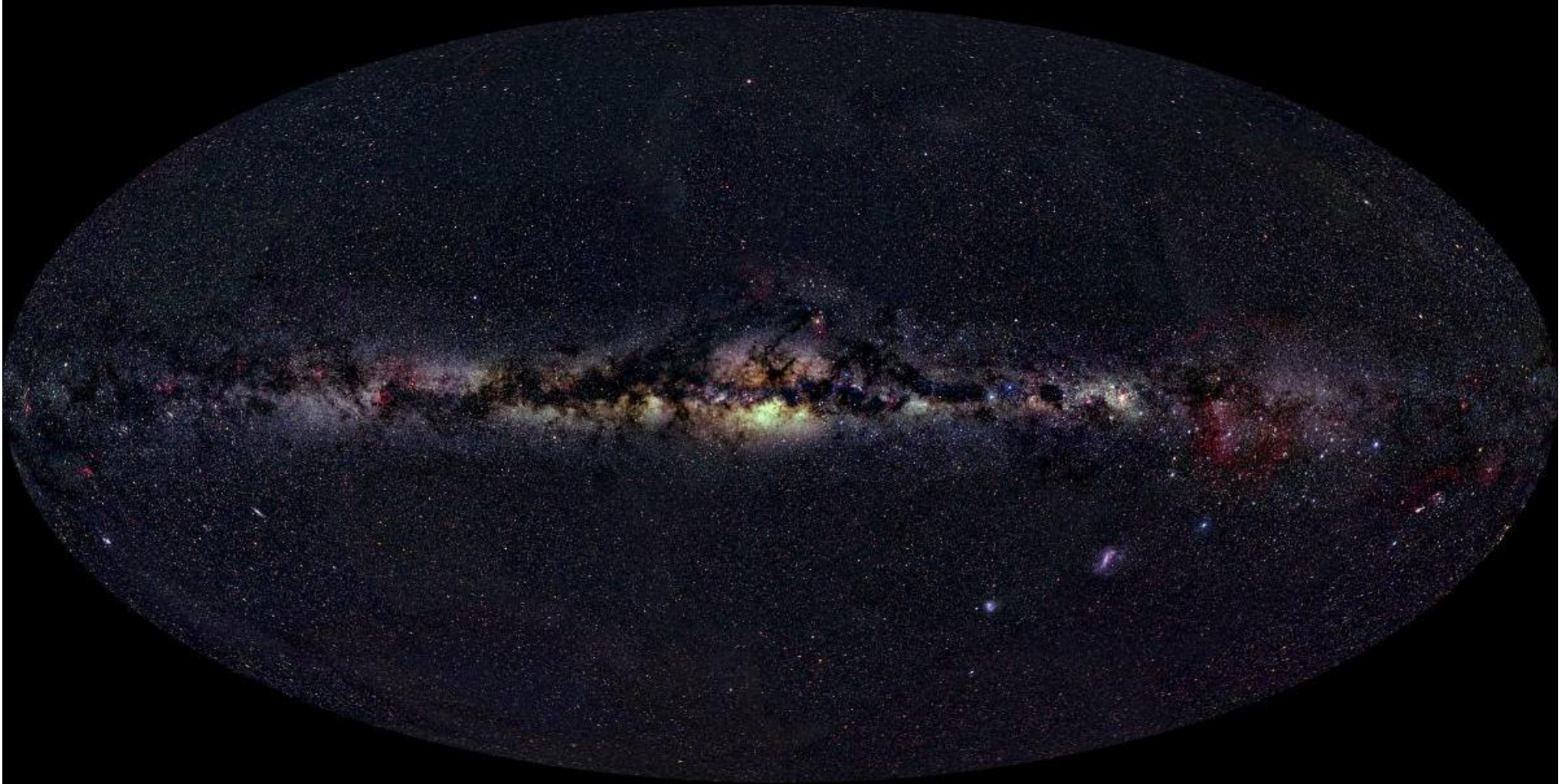
Schutzschild und Fenster zum All

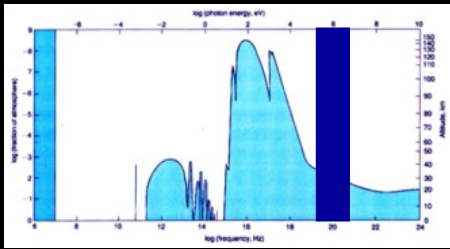




„Sichtbar“

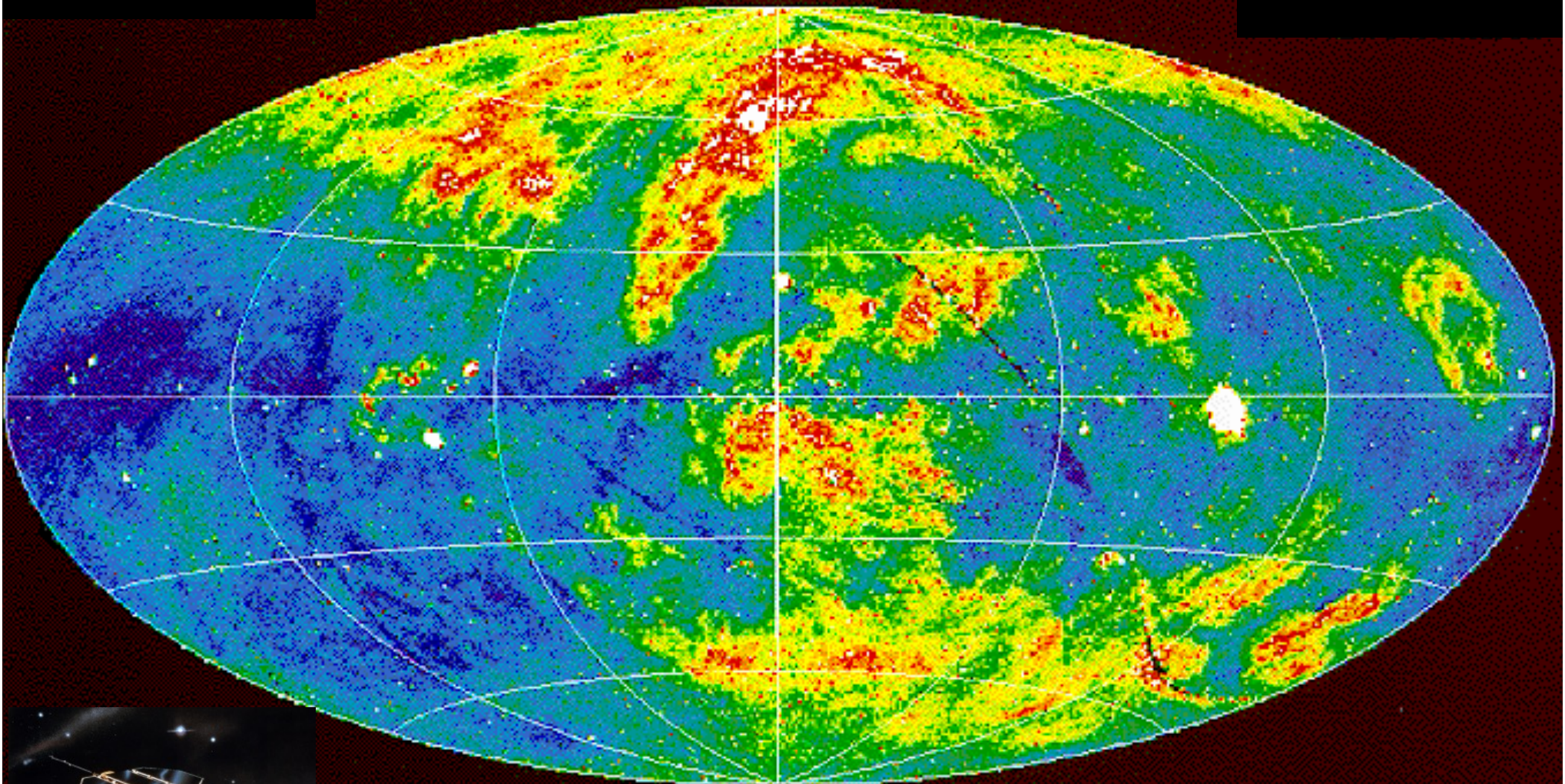
1. Januar: Ultrahl		Die Milchstraße entsteht		Sonne und Planeten entstehen		Erste Erster		Erste mehrzellige Lebewesen	
Januar	Februar	April	Ma	Juni	Juli	August	September	Oktober	November
Dezember									
1	2	3	4	5	6	7			
8	9	10	11	12	13	14			
15	16	17	18	19	20	21			
22	23	24	25	26	27	28			
29	30	31	2354 Moderne Menschen (homo sapiens) erscheinen						
Dinosaurier sterben aus									
2369-45 Erfindung der Schrift									
2369-50 Pyramiden in Ägypten werden gebaut									
2369-59 Galileo beobachtet den Himmel mit einem Fernrohr									



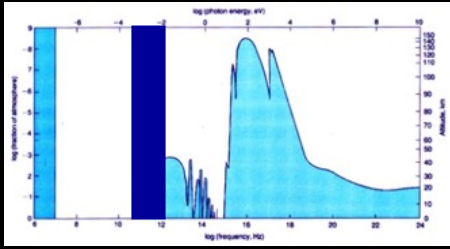


„Unsichtbar“

1. Januar: Ultraviolett	Die Milchstraße erscheint	Sonne und Planeten entstehen	Erste Ersterbe	Erste mehrzellige Lebewesen							
Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9

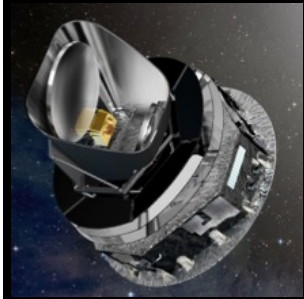
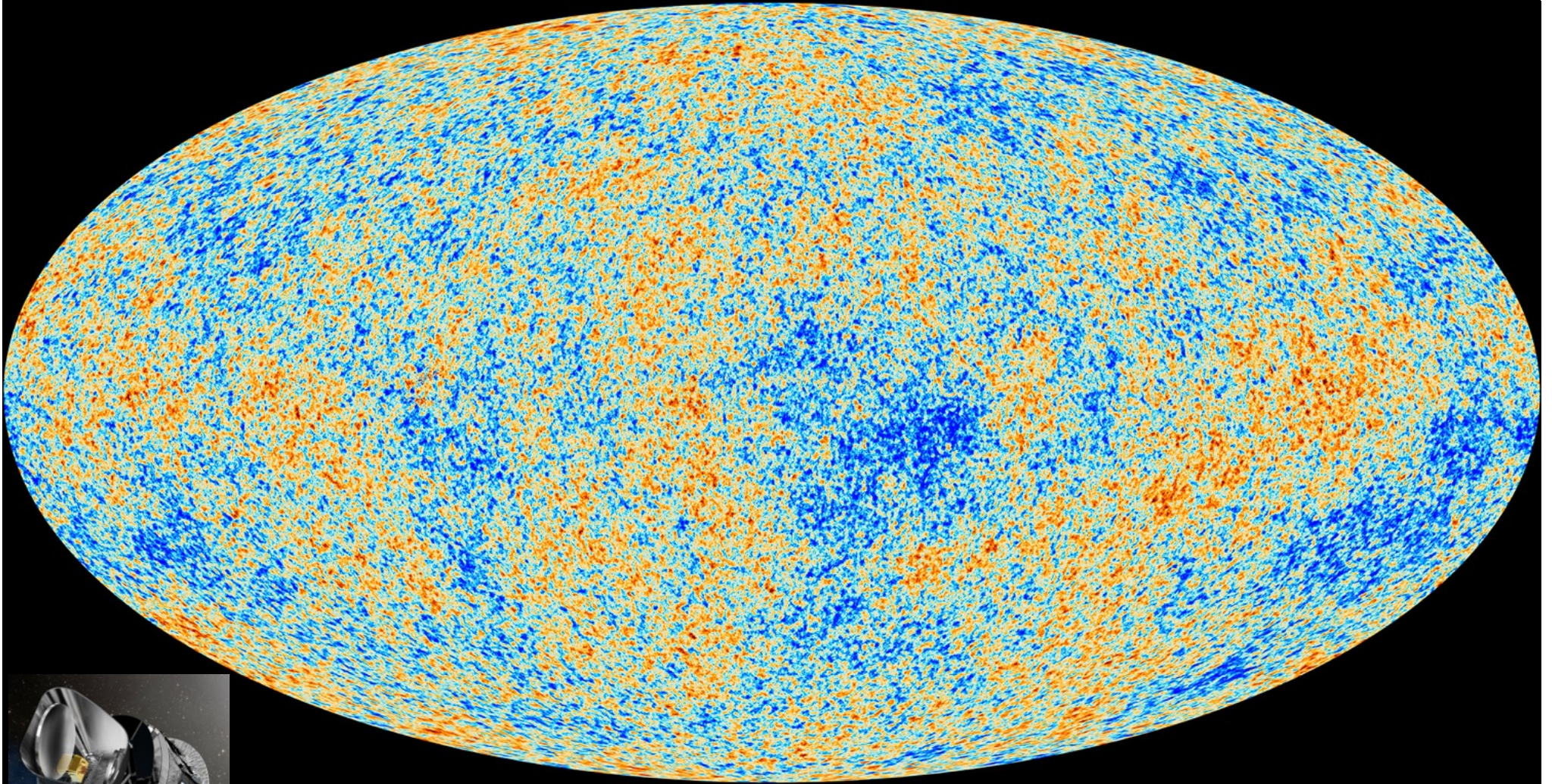


ROSAT




„Unsichtbar“

1. Januar: Ultraviolett	Die Milchstraße entsteht	Sonne und Planeten entstehen	Erste Ersterbe	Erste mehrzellige Lebewesen					
Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November
Dezember									
1	2	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	2254 Moderne Menschen (<i>homo sapiens</i>) erscheinen 2369-45 Erfindung der Schrift 2369-50 Pyramiden in Ägypten werden gebaut 2369-59 Galileo beobachtet den Himmel mit einem Fernrohr								



Planck/ESA



Die dunkle Seite des Universums

Aus was besteht das Universum?

Wie verstehen wir das Universum?

Was sind Dunkle Materie und Dunkle Energie?

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
 - ➔ Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie

Fundamente der Kosmologie

Gravitationstheorie

Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie

Isotropie

**Es gibt keine bevorzugte Richtung im
Universum**

Homogenität

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

Anthropisches Prinzip

Das Universum hat uns erzeugt

Gravitation!

Eine der vier fundamentalen Wechselwirkungen

Gravitation, Elektromagnetismus, Schwache und Starke Kernkraft

Nur Gravitation entscheidend für die Entwicklung
des Universums



S116E07141





WALL OF
ALL BENCHES
FOR WORLD
CUP
L10, MAX 2003

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

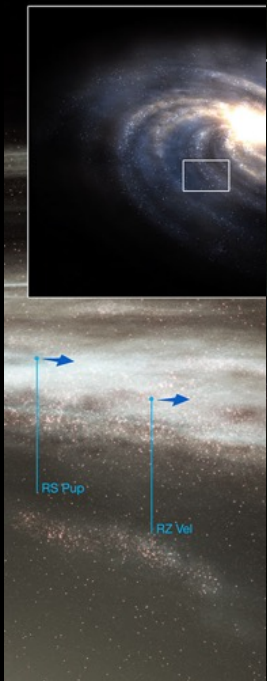
A. EINSTEIN

E. RAN S. ALBA

INDAM
VOLK

Was ist im Universum?

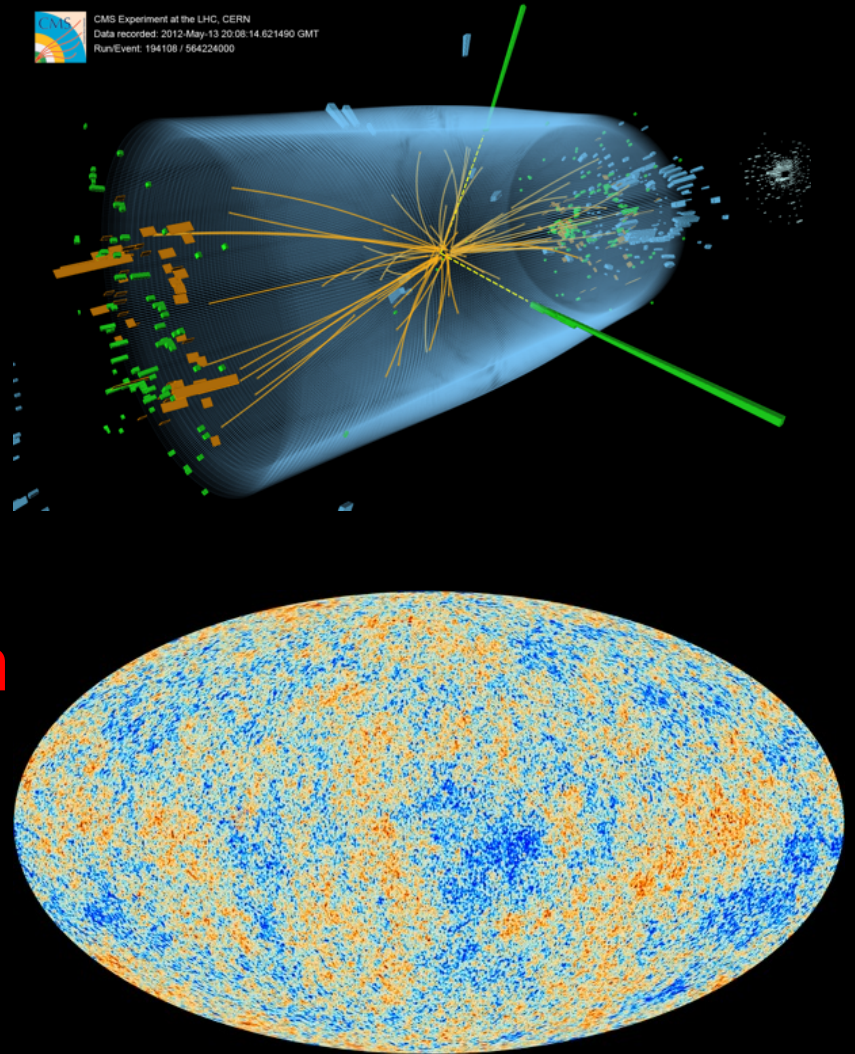
- Wir!



Was ist im Universum?

- Was sonst?
 - **Elementarteilchen**
 - Neutrinos
 - Higgs Teilchen
 - bisher unbekannte Teilchen
 - **Andere Energieformen**
 - Strahlung
 - ?????

CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT
Run/Event: 194108 / 584224000



Wie sehen wir unsere Welt?

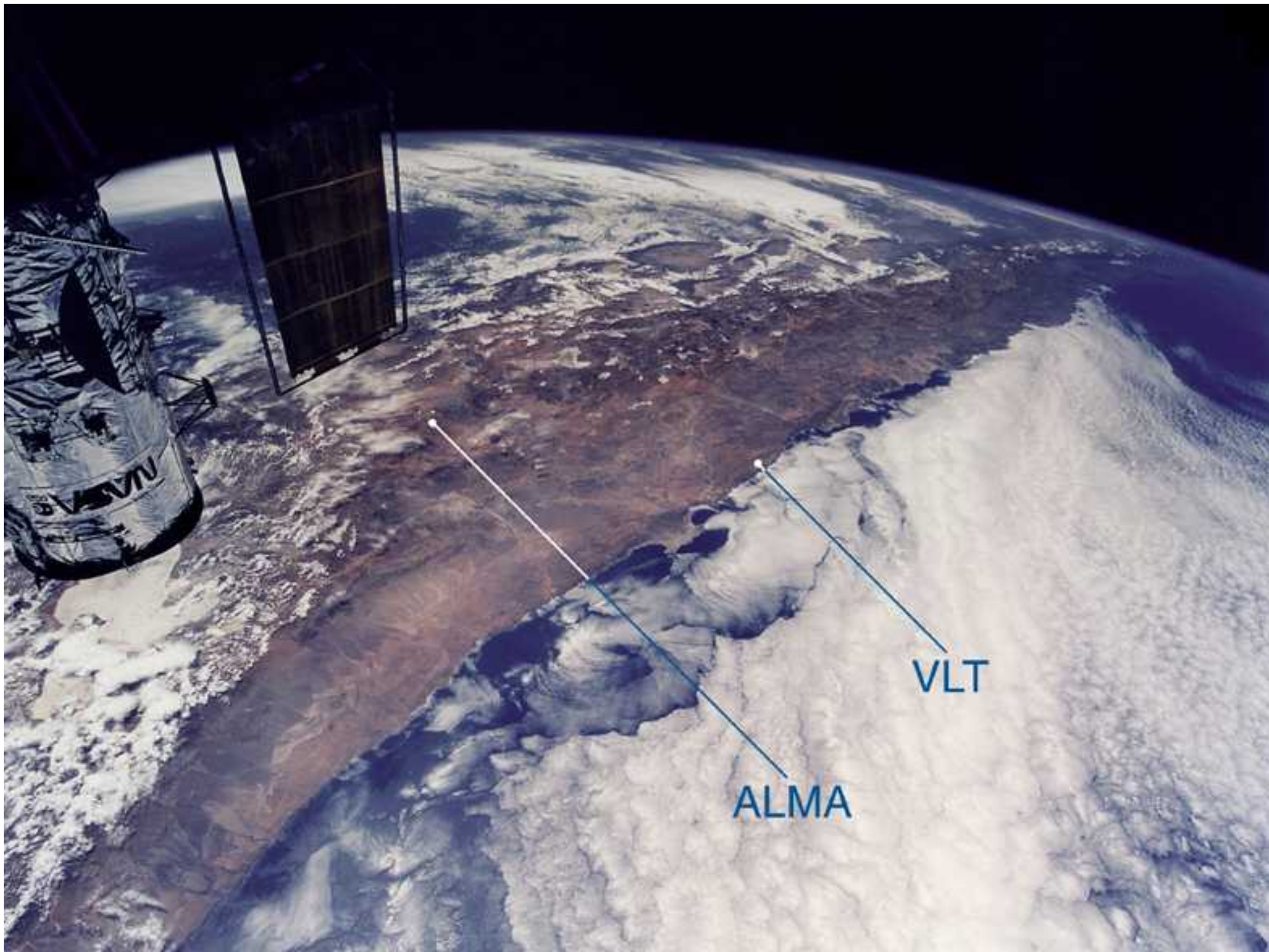


ESOs Welt

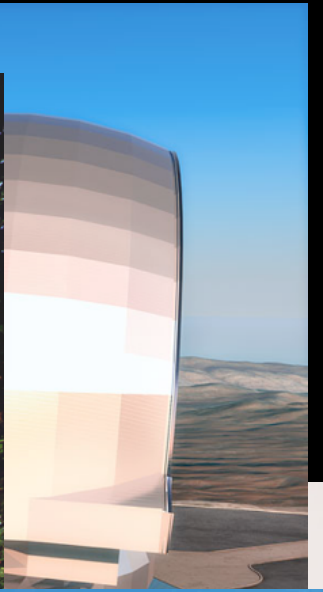


Paranal
La Silla
Santiago
Chajnantor

Garching bei München



Sternwa
8 Tele
APEX in

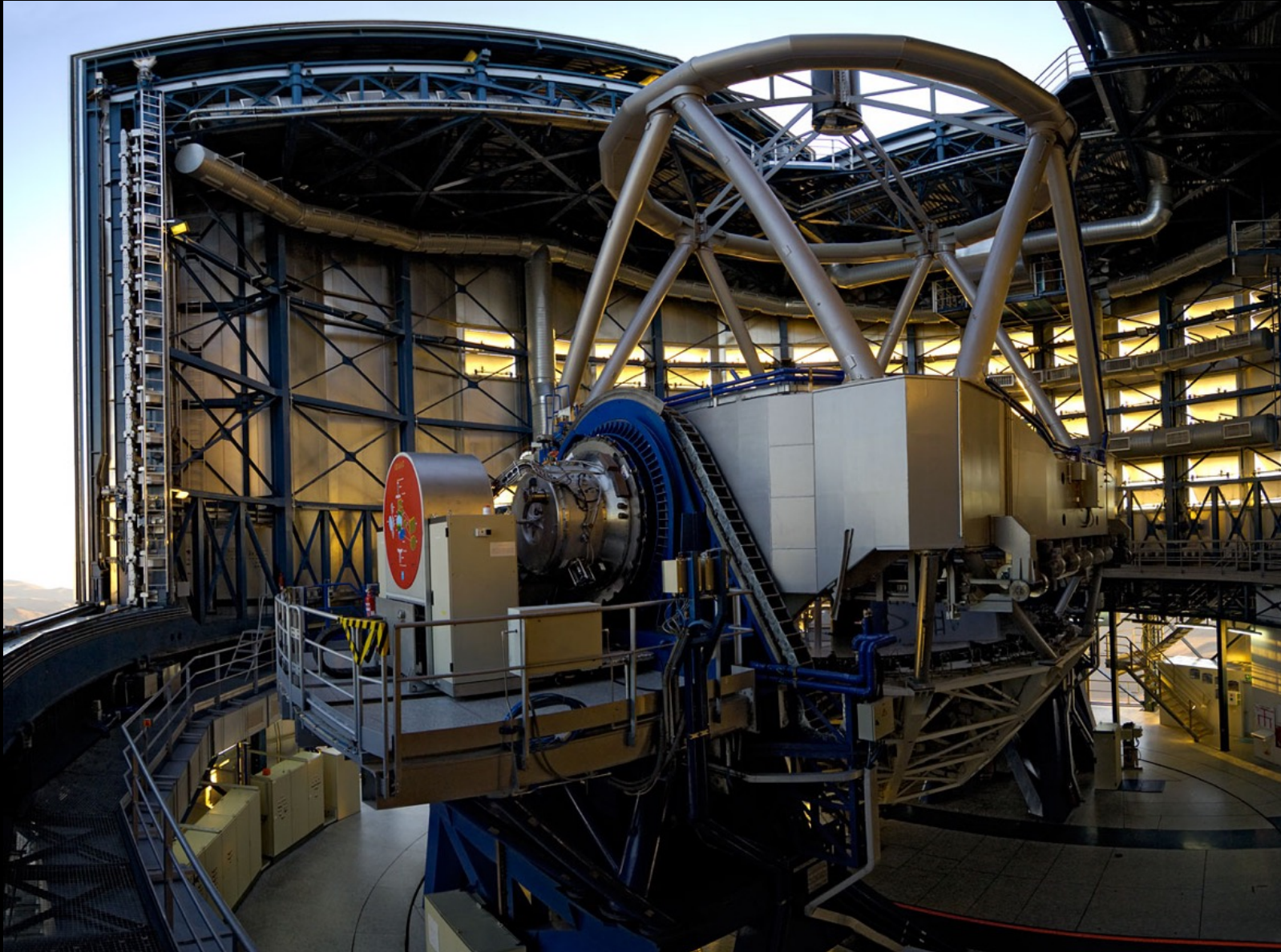


© Julien Girard 2018

© Hochtief

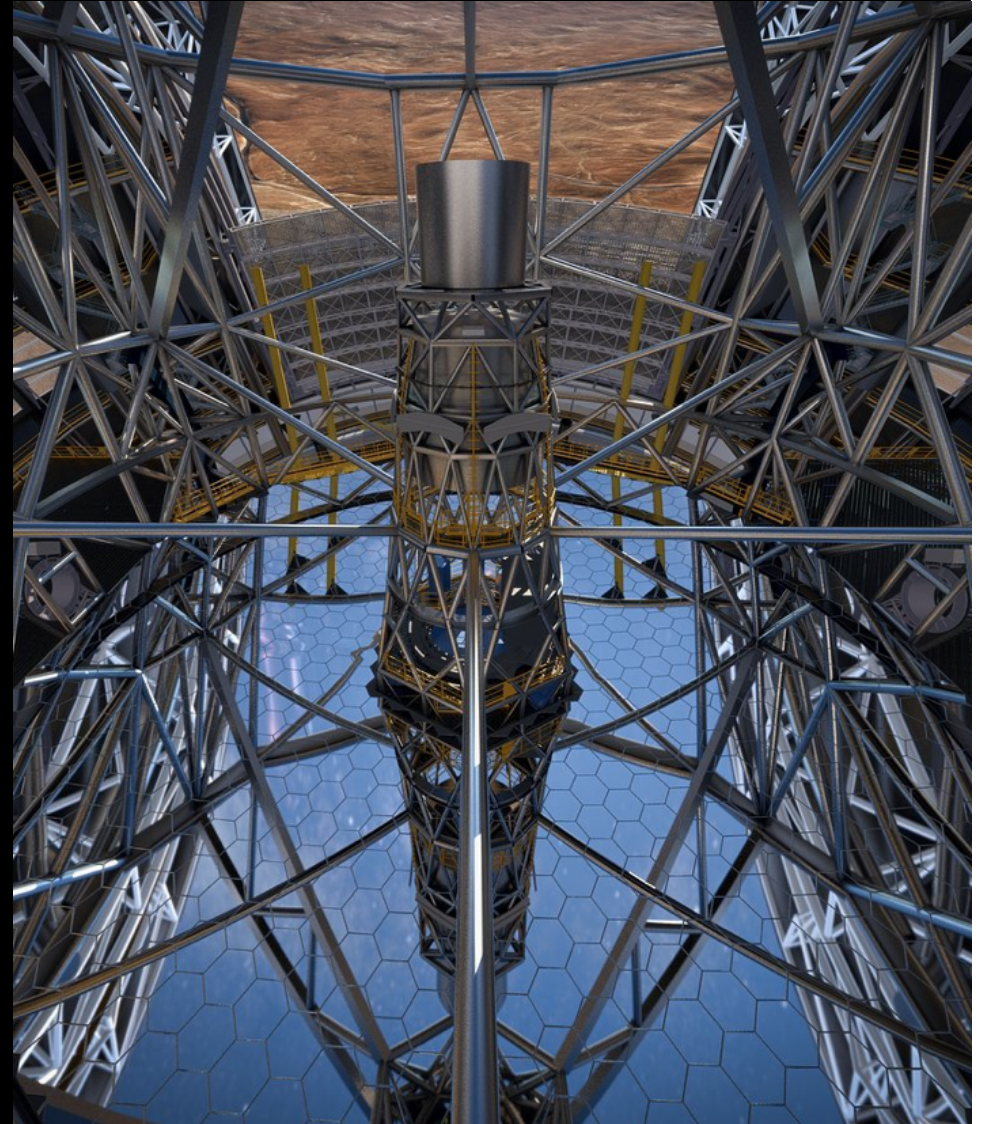


Eines der 8m Teleskope

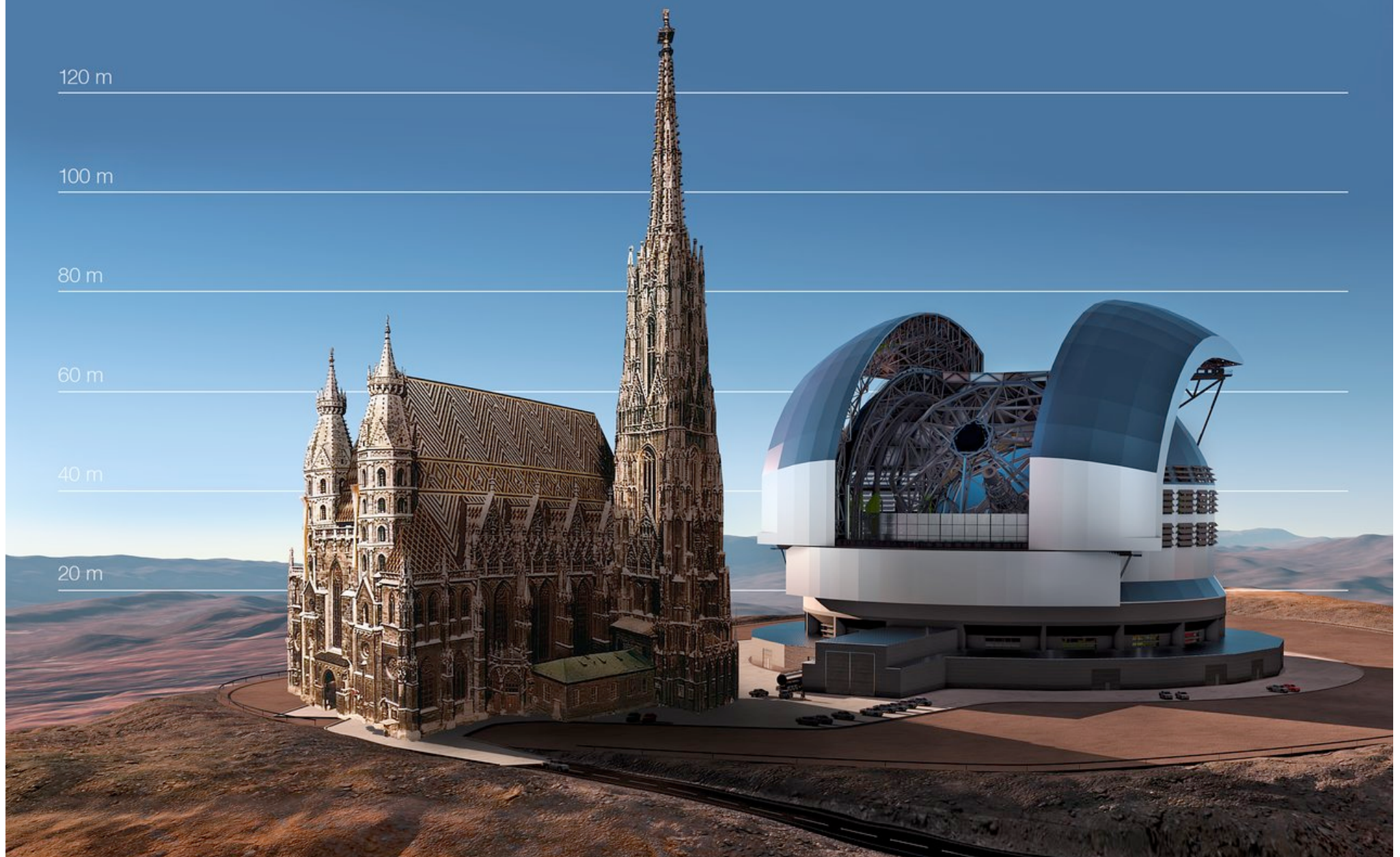


Das ELT

- 39m Teleskop
 - größtes optisches Teleskop
 - 798 einzelne Spiegelsegmente
 - adaptive Optik
 - umfassende Instrumentensuite
- Konstruktion vom ESO Rat für die erste Phase bewilligt
- First Light in 2024



Extremely Large Telescope



Supernova!

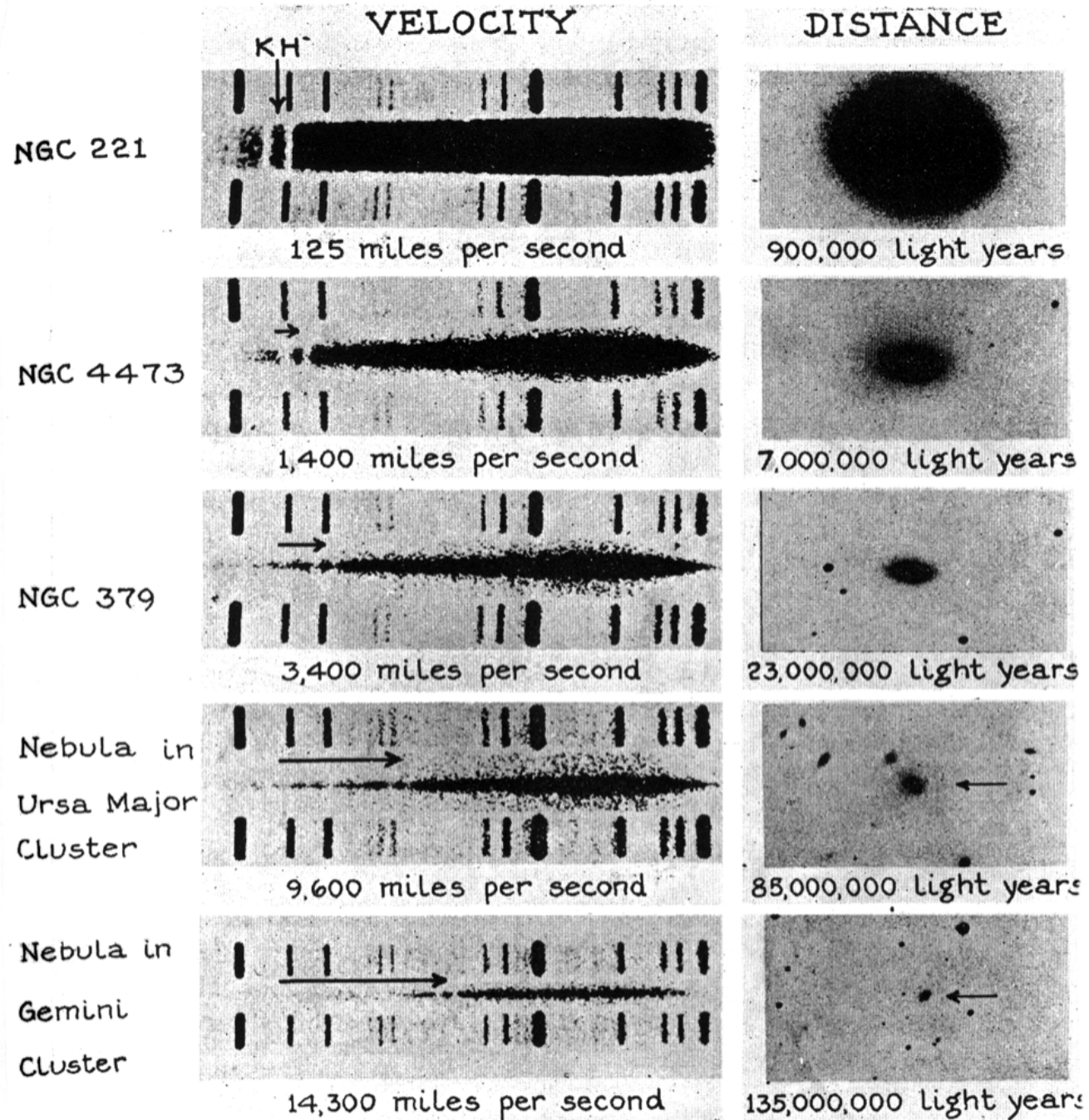


Kosmologie mit Supernovae

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 Entfernungssindikatoren, die im nahen Universum geeicht werden.

THE VELOCITY-DISTANCE RELATION FOR EXTRA-GALACTIC NEBULAE



Hubble

Das Original Hubble Diagramm

Geschwindigkeit

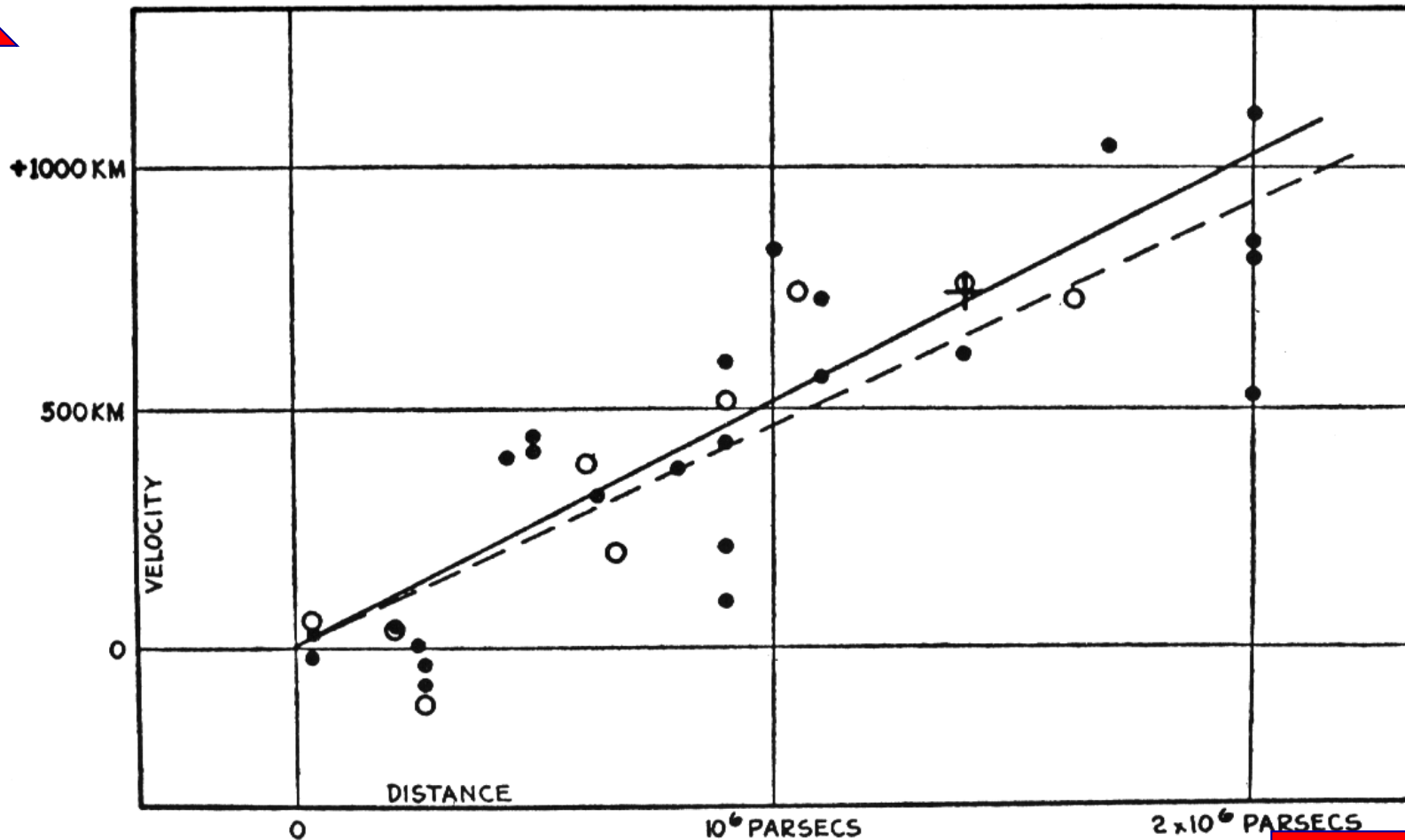
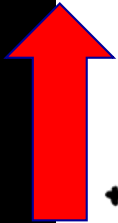
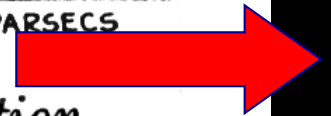


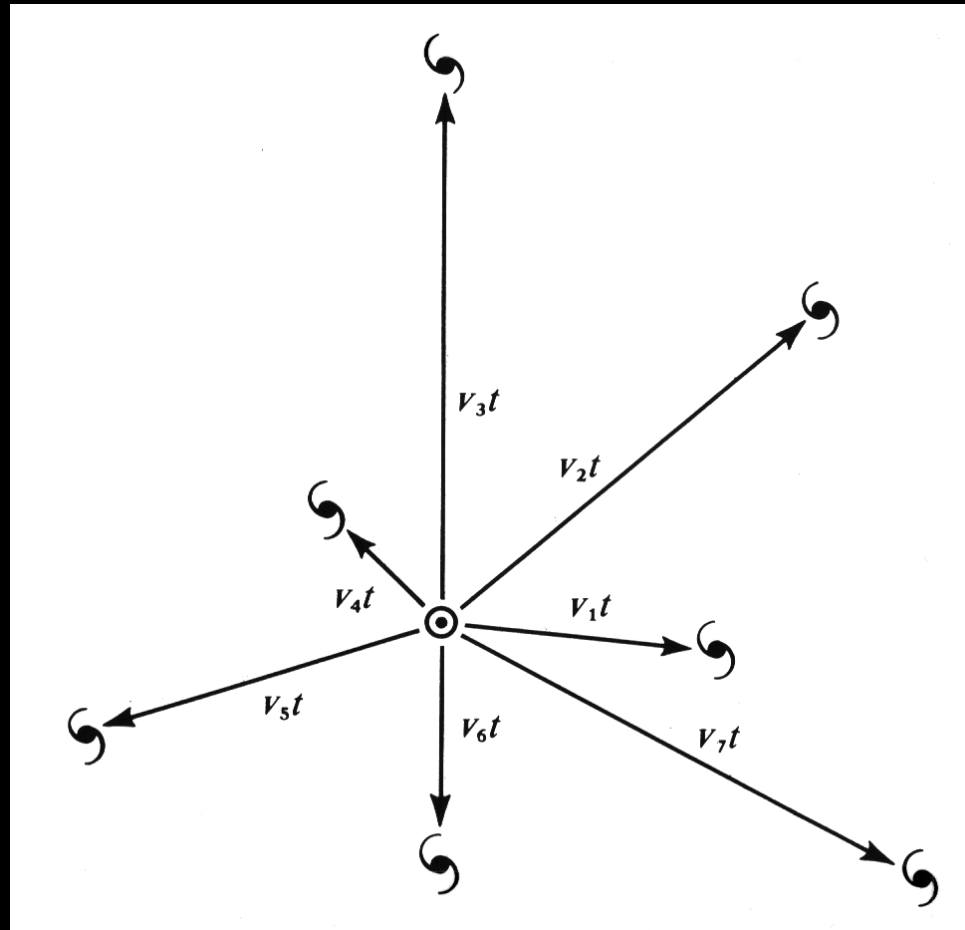
FIG. 9. *The Formulation of the Velocity-Distance Relation.*

Entfernung

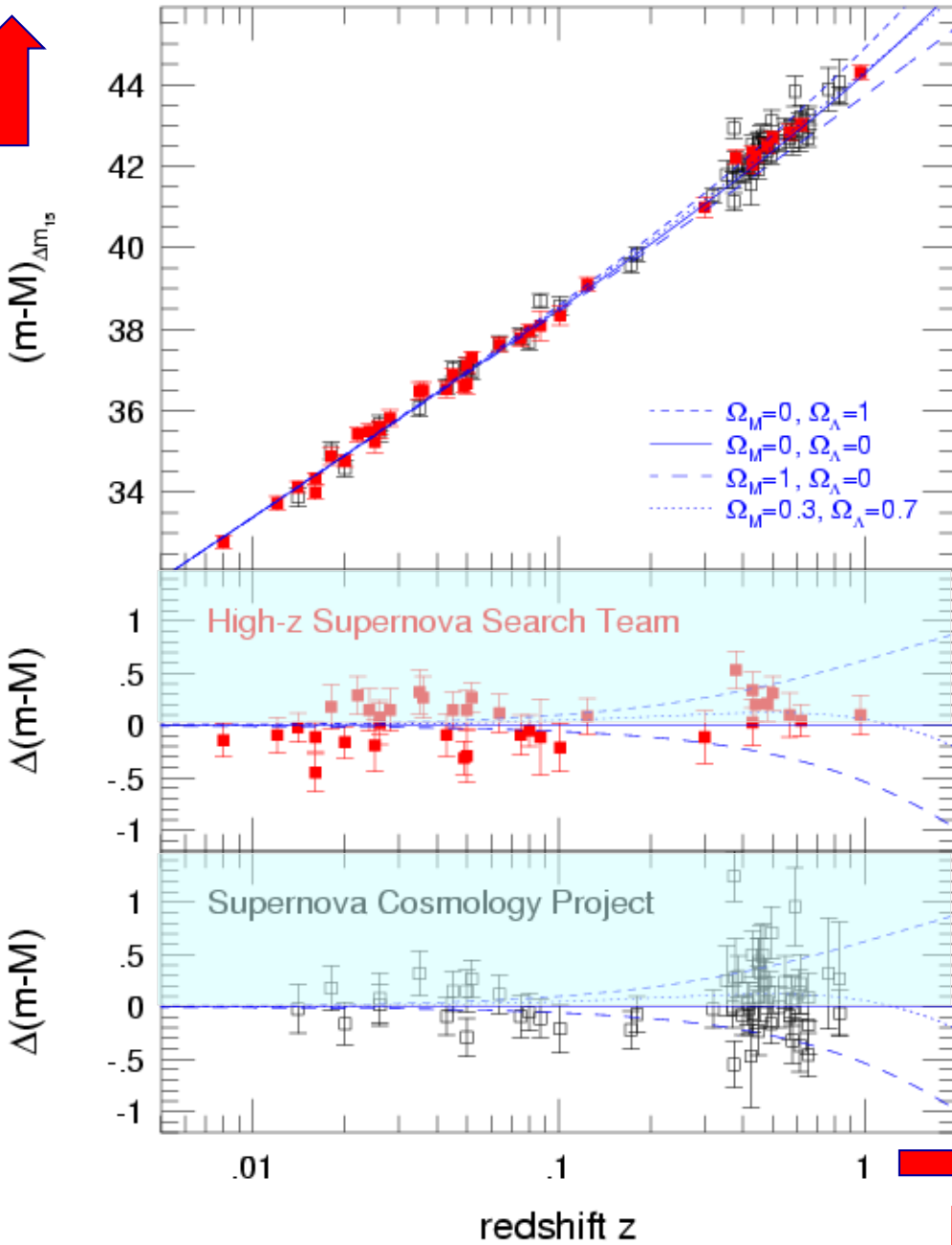
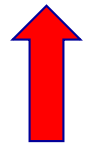


Das Alter des Universums

Alle Galaxien starten am selben Punkt



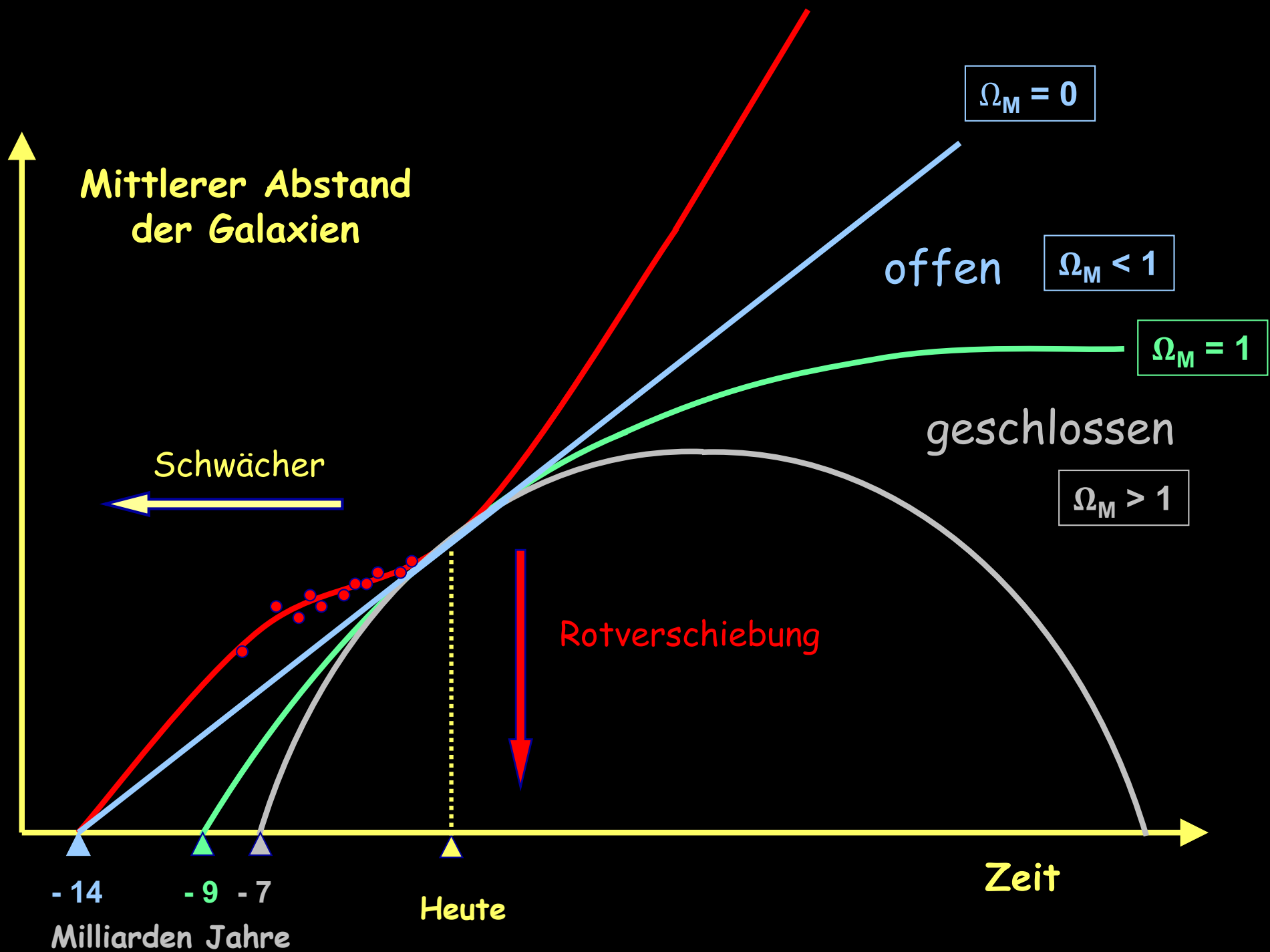
Entfernung



Expansion

Das SN Hubble Diagramm





Physik Nobelpreis 2011



Saul Perlmutter



Brian Schmidt



Adam Riess

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

Physik Nobelpreis 2011



Dezember 2011

Das High-z Supernova Search Team Dezember 2011



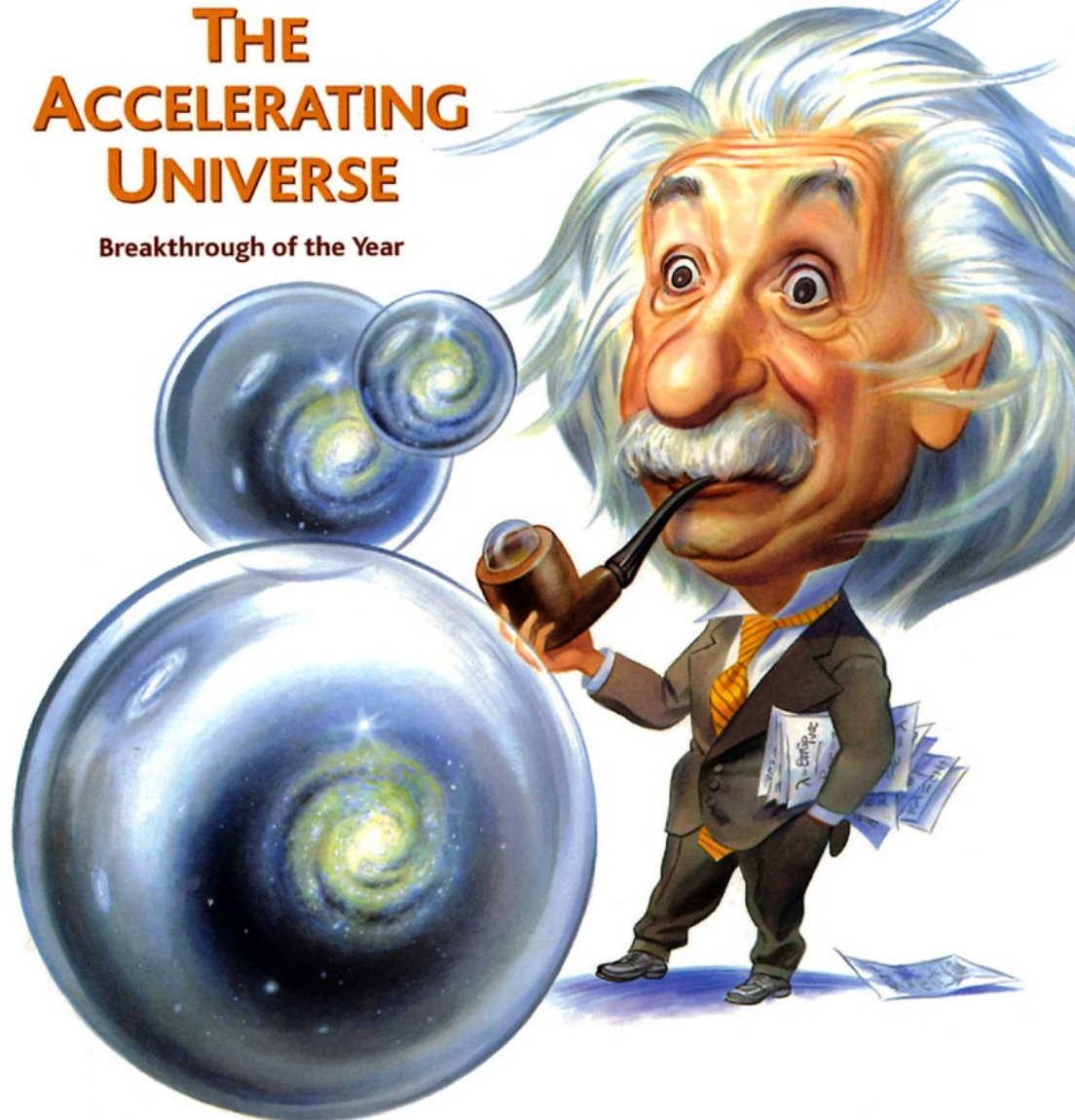
Science

18 December 1998

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

THE ACCELERATING UNIVERSE

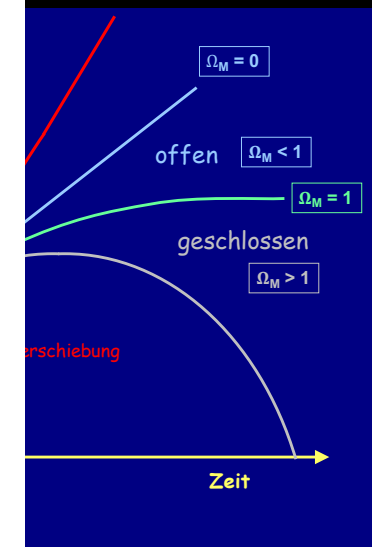
Breakthrough of the Year



AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE

Entfernt
entfernt
expand
Univers
Dies ka
Kompo

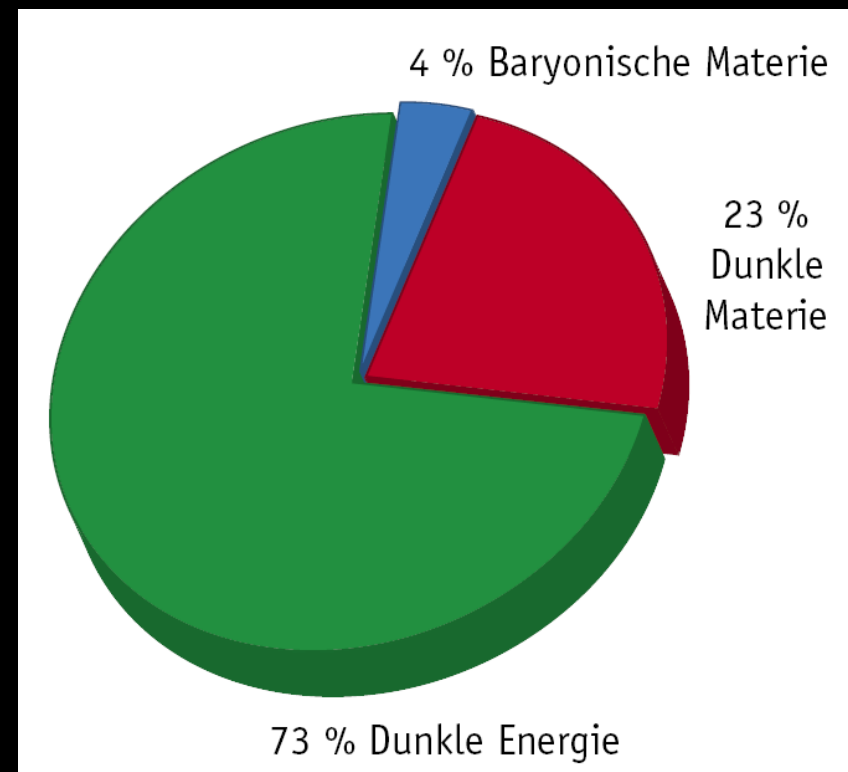
nde



Der Inhalt des Universums

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

Was sind sie?



Was bedeutet das?

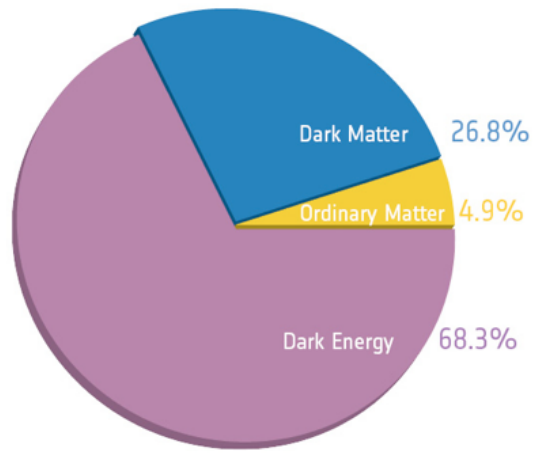
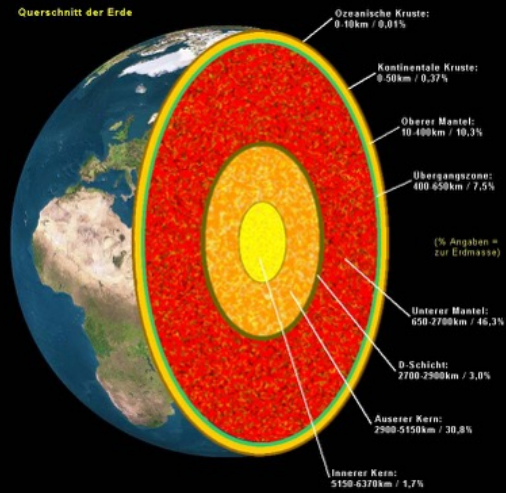
Das Universum besteht im wesentlichen
aus

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

