

Entdeckungen im Universum

Instrumente der Kosmologie



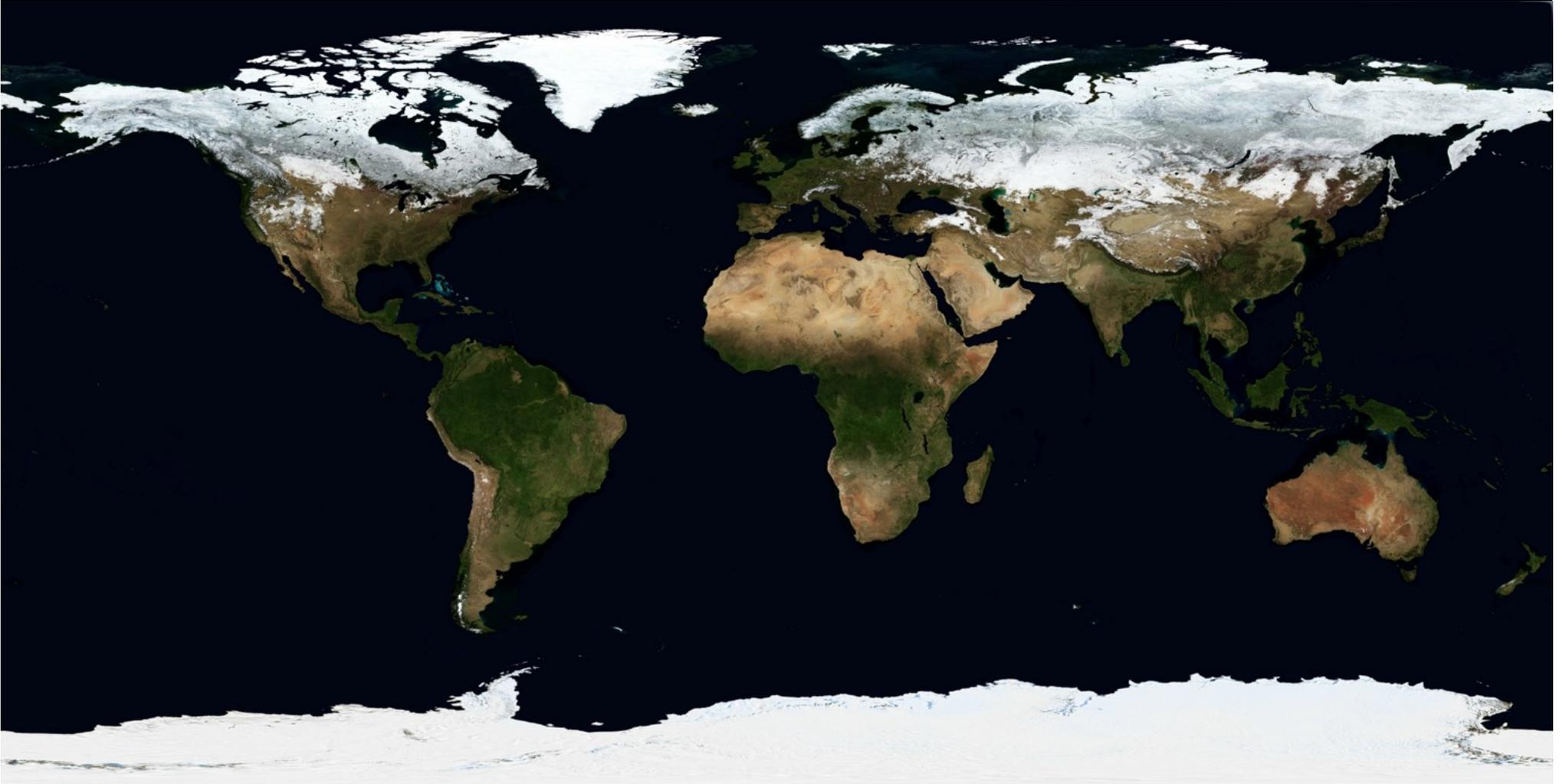
© Stéphane Guisard

Bruno Leibundgut
European Southern Observatory (ESO)

Wie sehen wir die Welt?



Die Welt ändert sich



Die dunkle Erde

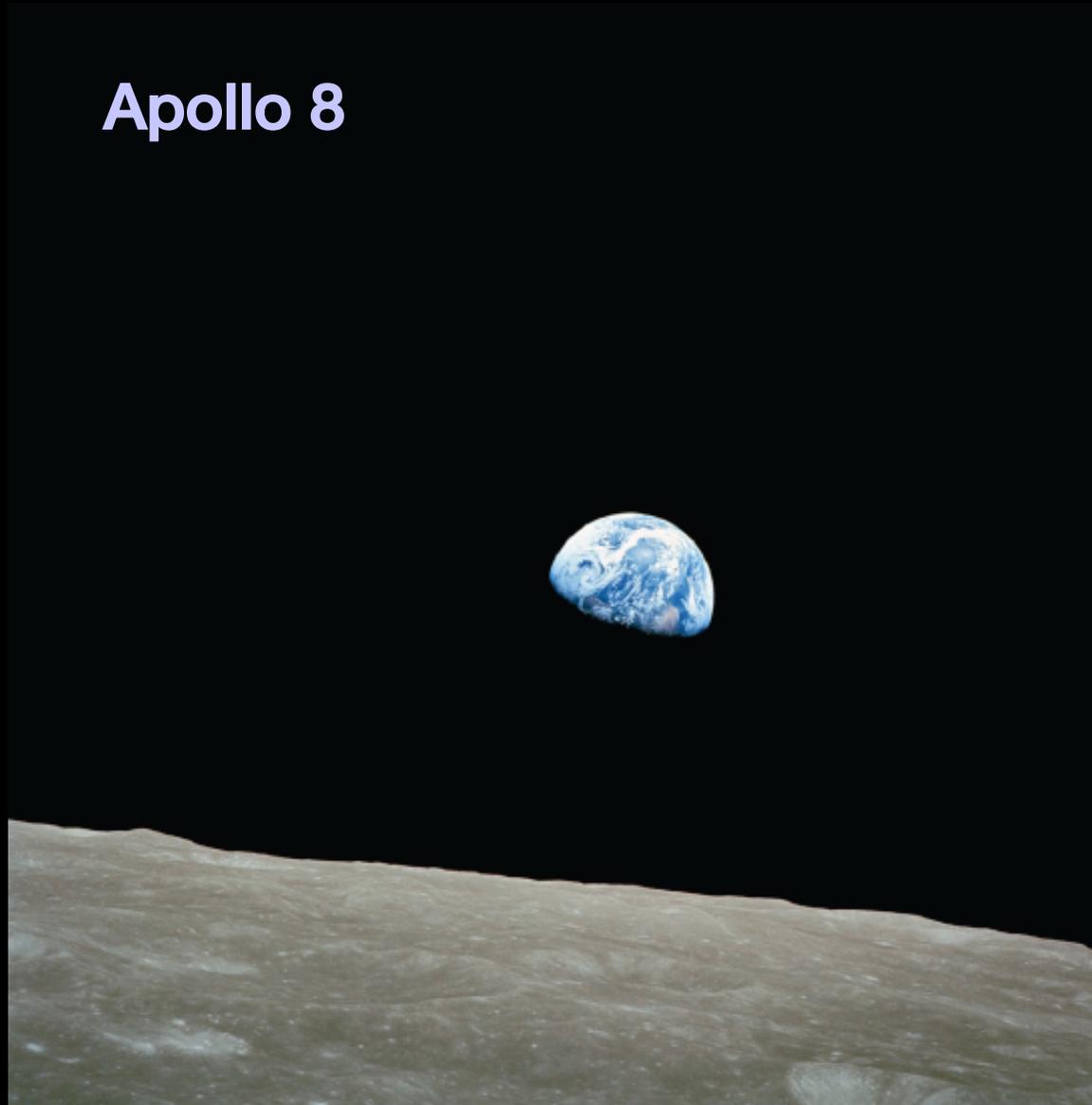


Unser Ort im Universum



Unsere Heimat

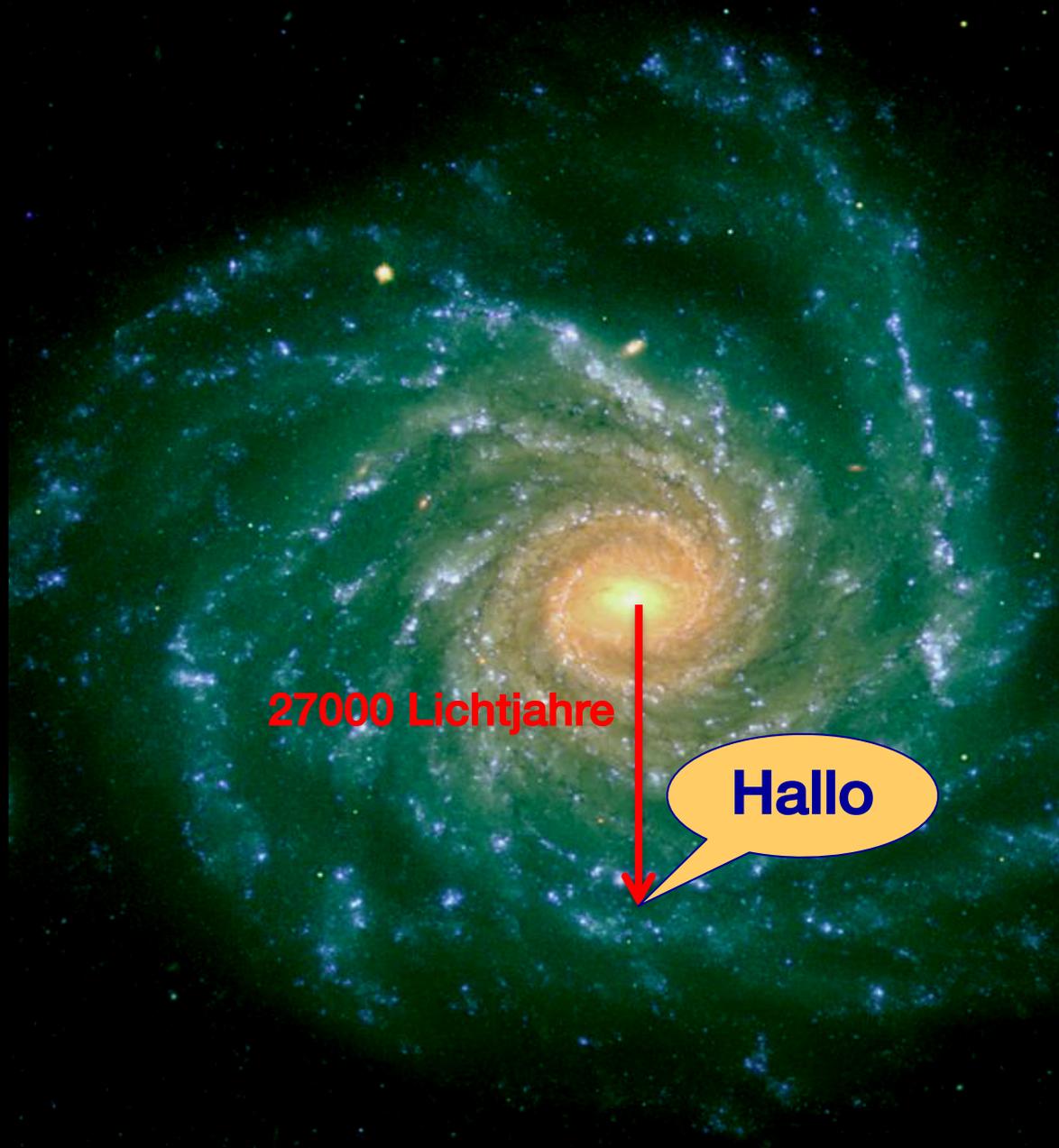
Apollo 8





© Cassini/NASA

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

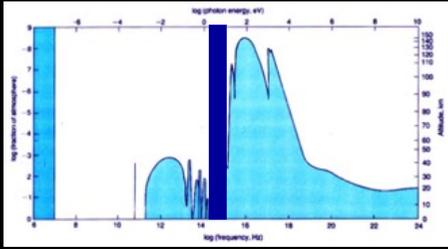


Dinosaurier haben die Alpen nie gekannt!
(vor 65 Millionen Jahren ausgestorben)

Die Erdatmosphäre

Schutzschild und Fenster zum All

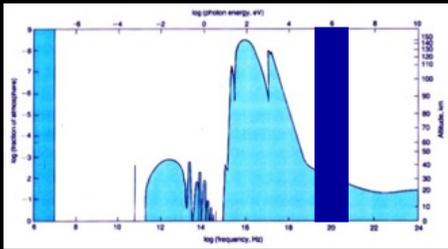




„Sichtbar“

1. Januar: Ultraviolett	Die Milchstraße erscheint	Sonne und Planeten entstehen	Erste Ersterbe	Erste mehrzellige Lebewesen					
Januar	Februar	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November
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	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	1	2	3	4	5	6	7	8
18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31	1	2	3	4	5	6
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	1	2	3
5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30	31	1	2
4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29	30	31	1
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
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	113	114	115	116	117	118	119	120	121
122	123	124	125	126	127	128	129	130	131
132	133	134	135	136	137	138	139	140	141
142	143	144	145	146	147	148	149	150	151
152	153	154	155	156	157	158	159	160	161
162	163	164	165	166	167	168	169	170	171
172	173	174	175	176	177	178	179	180	181
182	183	184	185	186	187	188	189	190	191
192	193	194	195	196	197	198	199	200	201
202	203	204	205	206	207	208	209	210	211
212	213	214	215	216	217	218	219	220	221
222	223	224	225	226	227	228	229	230	231
232	233	234	235	236	237	238	239	240	241
242	243	244	245	246	247	248	249	250	251
252	253	254	255	256	257	258	259	260	261
262	263	264	265	266	267	268	269	270	271
272	273	274	275	276	277	278	279	280	281
282	283	284	285	286	287	288	289	290	291
292	293	294	295	296	297	298	299	300	301
302	303	304	305	306	307	308	309	310	311
312	313	314	315	316	317	318	319	320	321
322	323	324	325	326	327	328	329	330	331
332	333	334	335	336	337	338	339	340	341
342	343	344	345	346	347	348	349	350	351
352	353	354	355	356	357	358	359	360	361
362	363	364	365	366	367	368	369	370	371
372	373	374	375	376	377	378	379	380	381
382	383	384	385	386	387	388	389	390	391
392	393	394	395	396	397	398	399	400	401
402	403	404	405	406	407	408	409	410	411
412	413	414	415	416	417	418	419	420	421
422	423	424	425	426	427	428	429	430	431
432	433	434	435	436	437	438	439	440	441
442	443	444	445	446	447	448	449	450	451
452	453	454	455	456	457	458	459	460	461
462	463	464	465	466	467	468	469	470	471
472	473	474	475	476	477	478	479	480	481
482	483	484	485	486	487	488	489	490	491
492	493	494	495	496	497	498	499	500	501
502	503	504	505	506	507	508	509	510	511
512	513	514	515	516	517	518	519	520	521
522	523	524	525	526	527	528	529	530	531
532	533	534	535	536	537	538	539	540	541
542	543	544	545	546	547	548	549	550	551
552	553	554	555	556	557	558	559	560	561
562	563	564	565	566	567	568	569	570	571
572	573	574	575	576	577	578	579	580	581
582	583	584	585	586	587	588	589	590	591
592	593	594	595	596	597	598	599	600	601
602	603	604	605	606	607	608	609	610	611
612	613	614	615	616	617	618	619	620	621
622	623	624	625	626	627	628	629	630	631
632	633	634	635	636	637	638	639	640	641
642	643	644	645	646	647	648	649	650	651
652	653	654	655	656	657	658	659	660	661
662	663	664	665	666	667	668	669	670	671
672	673	674	675	676	677	678	679	680	681
682	683	684	685	686	687	688	689	690	691
692	693	694	695	696	697	698	699	700	701
702	703	704	705	706	707	708	709	710	711
712	713	714	715	716	717	718	719	720	721
722	723	724	725	726	727	728	729	730	731
732	733	734	735	736	737	738	739	740	741
742	743	744	745	746	747	748	749	750	751
752	753	754	755	756	757	758	759	760	761
762	763	764	765	766	767	768	769	770	771
772	773	774	775	776	777	778	779	780	781
782	783	784	785	786	787	788	789	790	791
792	793	794	795	796	797	798	799	800	801
802	803	804	805	806	807	808	809	810	811
812	813	814	815	816	817	818	819	820	821
822	823	824	825	826	827	828	829	830	831
832	833	834	835	836	837	838	839	840	841
842	843	844	845	846	847	848	849	850	851
852	853	854	855	856	857	858	859	860	861
862	863	864	865	866	867	868	869	870	871
872	873	874	875	876	877	878	879	880	881
882	883	884	885	886	887	888	889	890	891
892	893	894	895	896	897	898	899	900	901
902	903	904	905	906	907	908	909	910	911
912	913	914	915	916	917	918	919	920	921
922	923	924	925	926	927	928	929	930	931
932	933	934	935	936	937	938	939	940	941
942	943	944	945	946	947	948	949	950	951
952	953	954	955	956	957	958	959	960	961
962	963	964	965	966	967	968	969	970	971
972	973	974	975	976	977	978	979	980	981
982	983	984	985	986	987	988	989	990	991
992	993	994	995	996	997	998	999	1000	1001

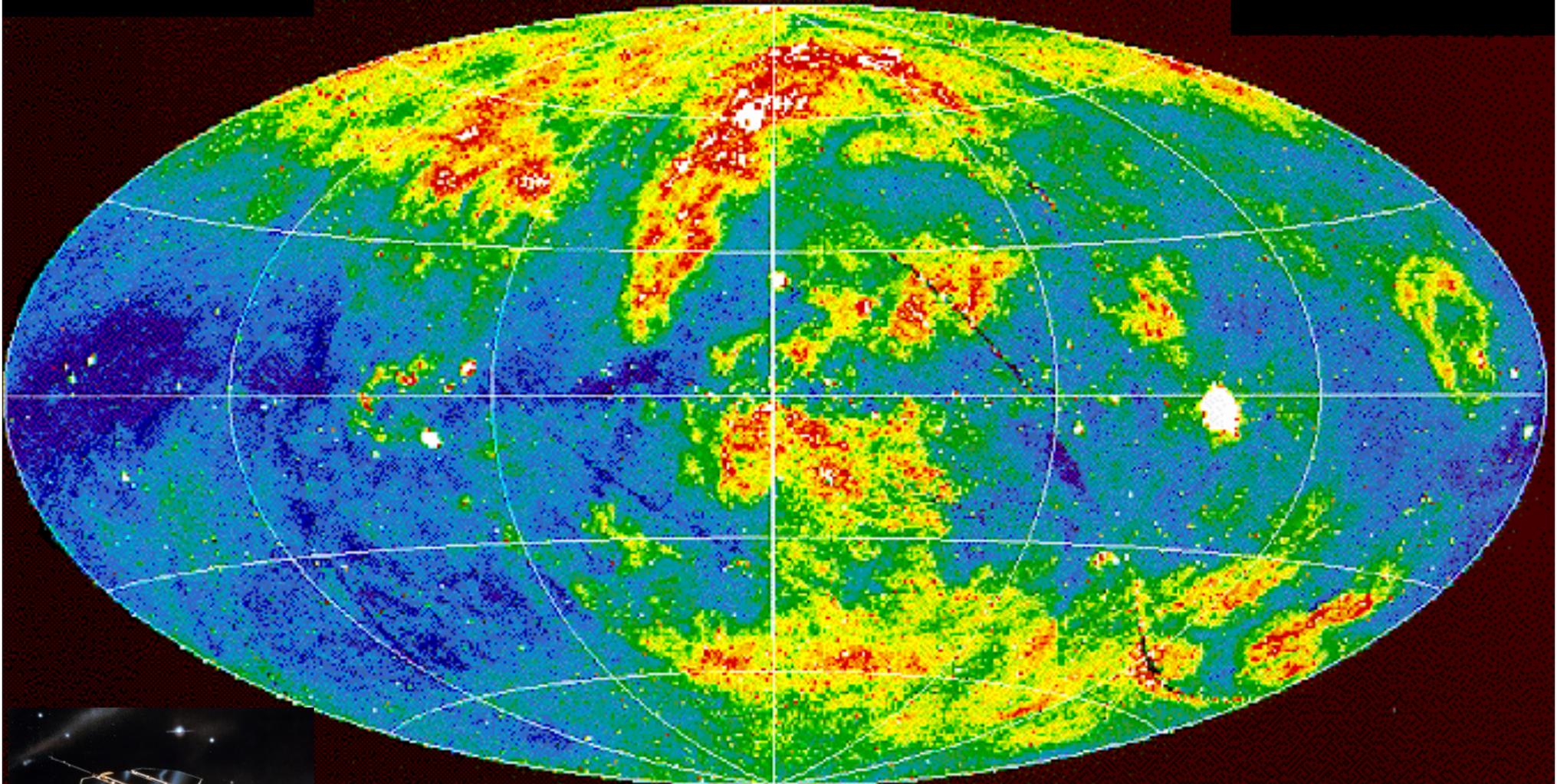




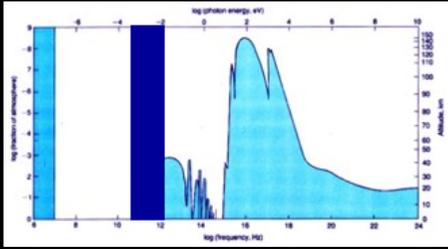
„Unsichtbar“

1. Januar: Ultraviolett	Die Milchstraße erscheint	Sonne und Planeten entstehen	Erste Erbsen	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									

15: Kambriische Explosion
 16: Erste Wirbeltiere
 17: Erste Landpflanzen
 18: Erste Landpflanzen
 19: Erste vierfüßige Tiere
 20: Erste vierfüßige Tiere
 21: Insekten entwickeln sich
 22: Erste Dinosaurier erscheinen
 23: Erste Dinosaurier erscheinen
 24: Erste Dinosaurier erscheinen
 25: Die ersten Vorgänger der Säugtiere
 26: Erste bekannte Vögel
 27: Erste bekannte Vögel
 28: Erste bekannte Vögel
 29: Dinosaurier sterben aus
 30: Dinosaurier sterben aus
 31: Dinosaurier sterben aus
 2254: Moderne Menschen (homo sapiens) erscheinen
 2369-45: Erfindung der Schrift
 2369-50: Pyramiden in Ägypten werden gebaut
 2369-59: Galileo beobachtet den Himmel mit einem Fernrohr

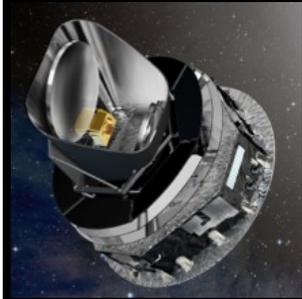
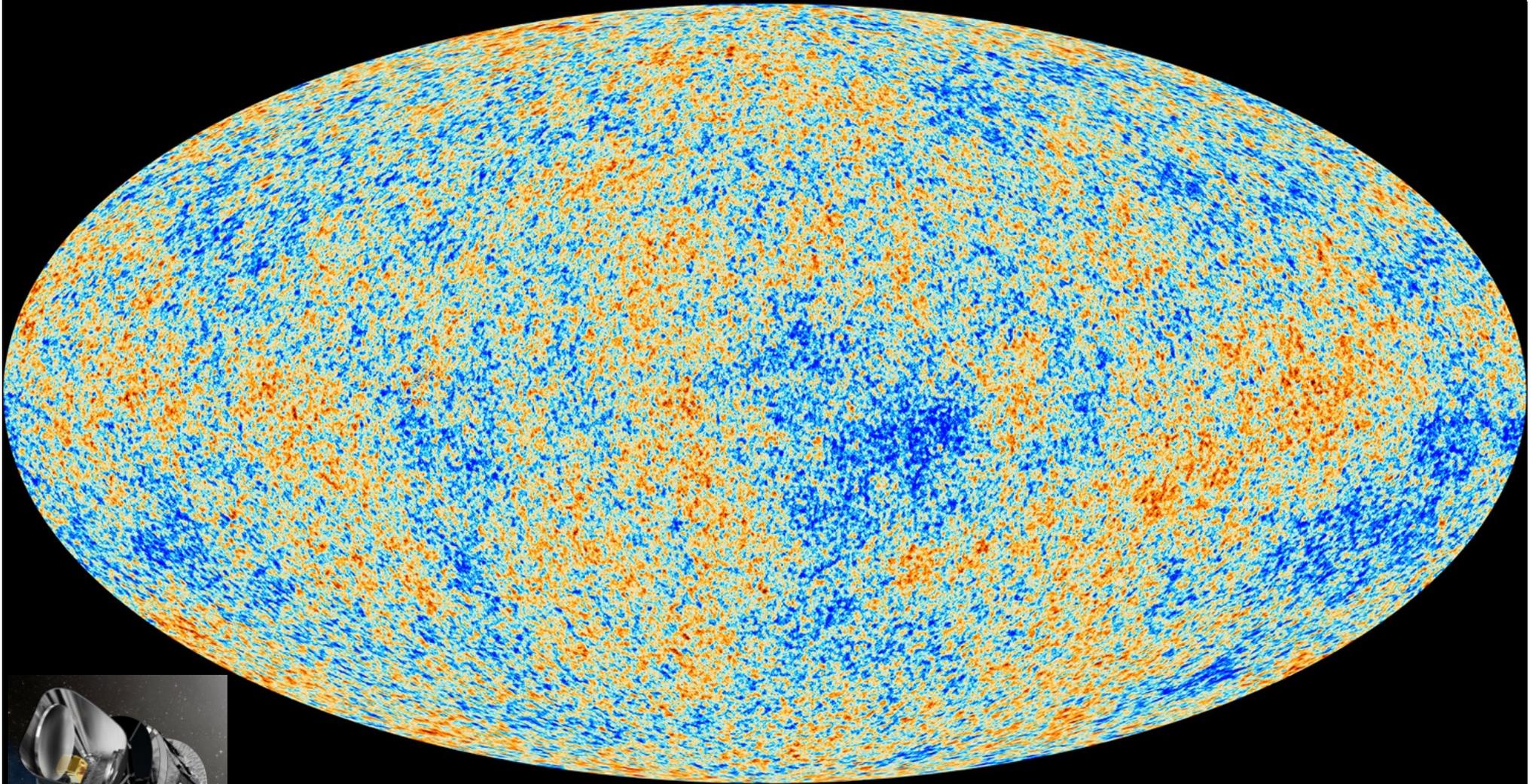


ROSAT



„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 2369-20 Pyramiden in Ägypten werden gebaut 2369-20 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

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

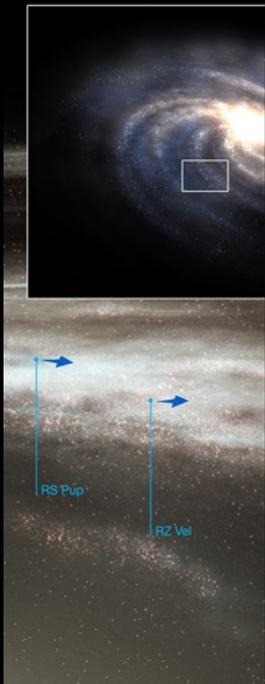
A. EINSTEIN

E. RAN S. ALBA

INDAM
VOLK

Was ist im Universum?

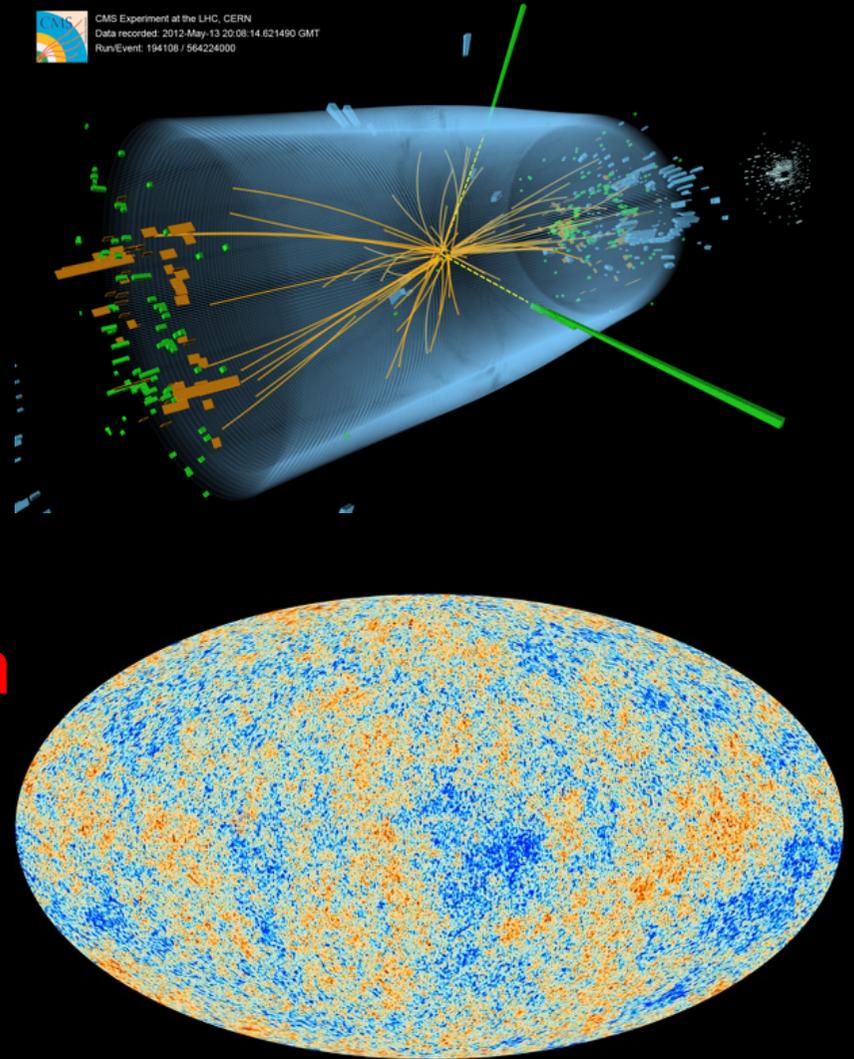
- Wir!



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?

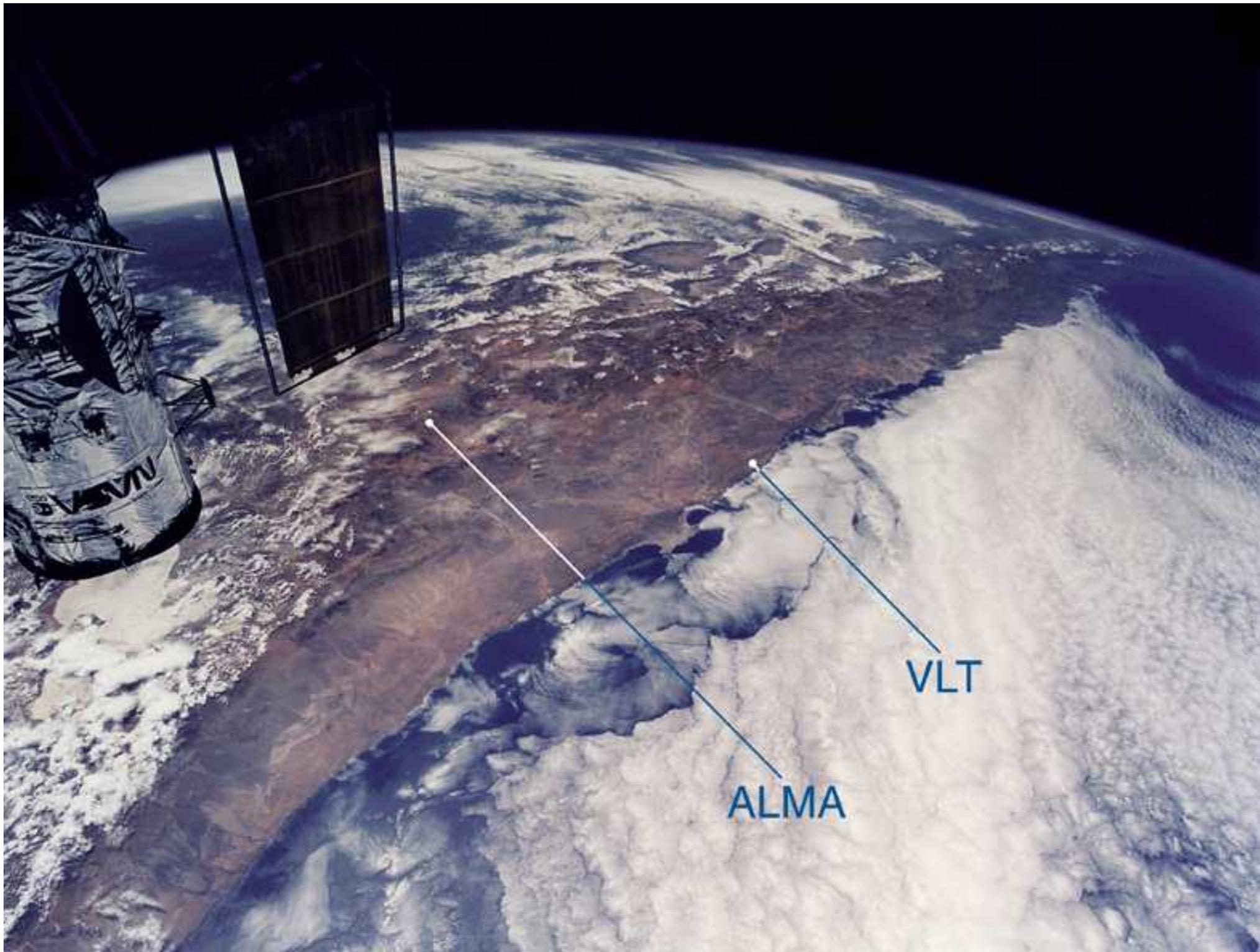


ESOs Welt

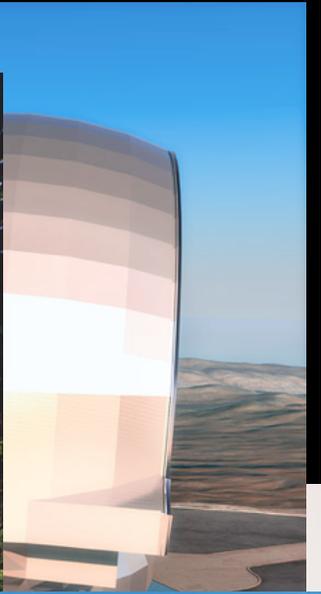


Paranal
La Silla
Santiago
Chajnantor

Garching bei München



Sternwa
8 Tele
APEX in

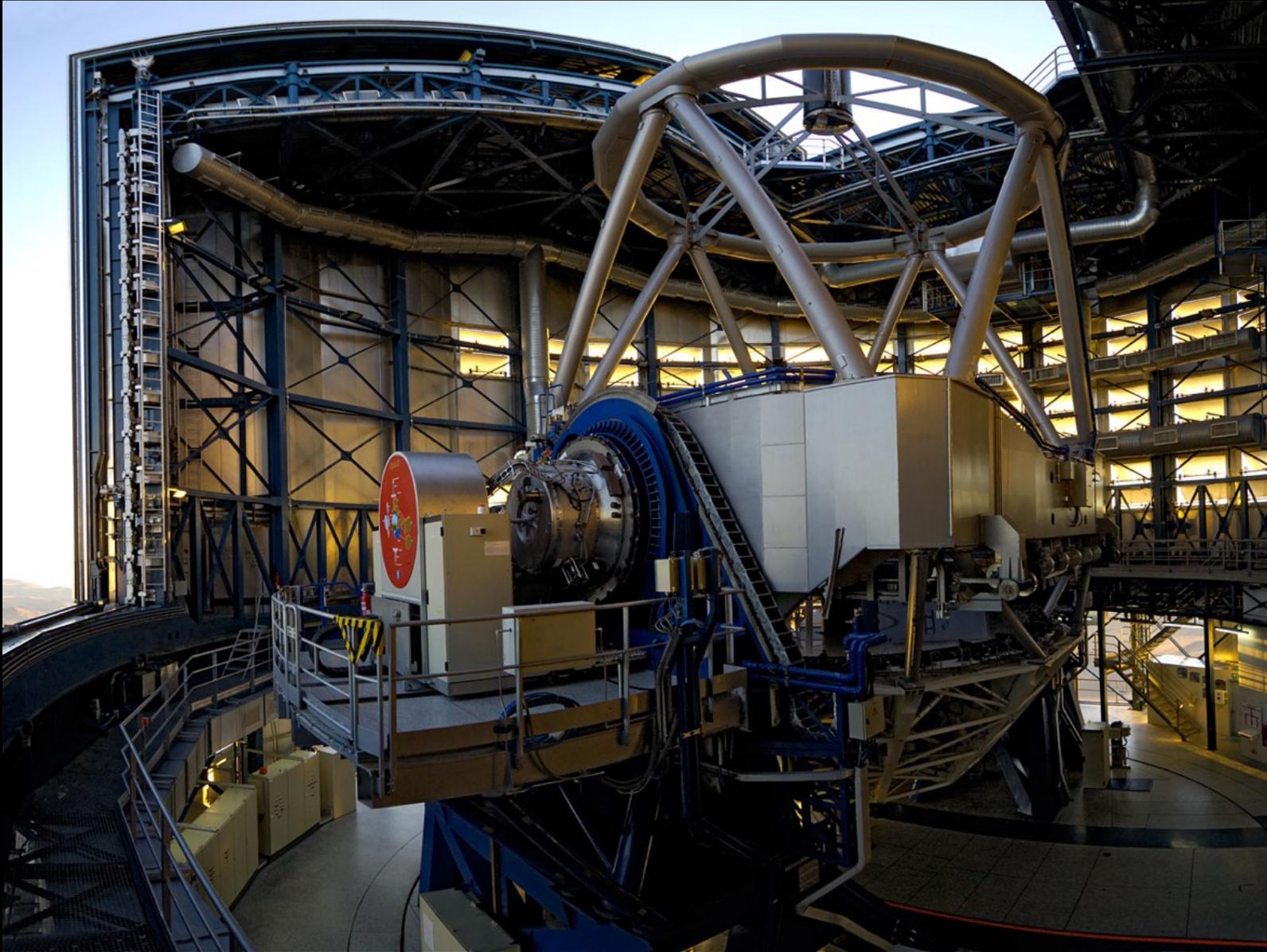


© Julien Girard 2018

© Hochtief

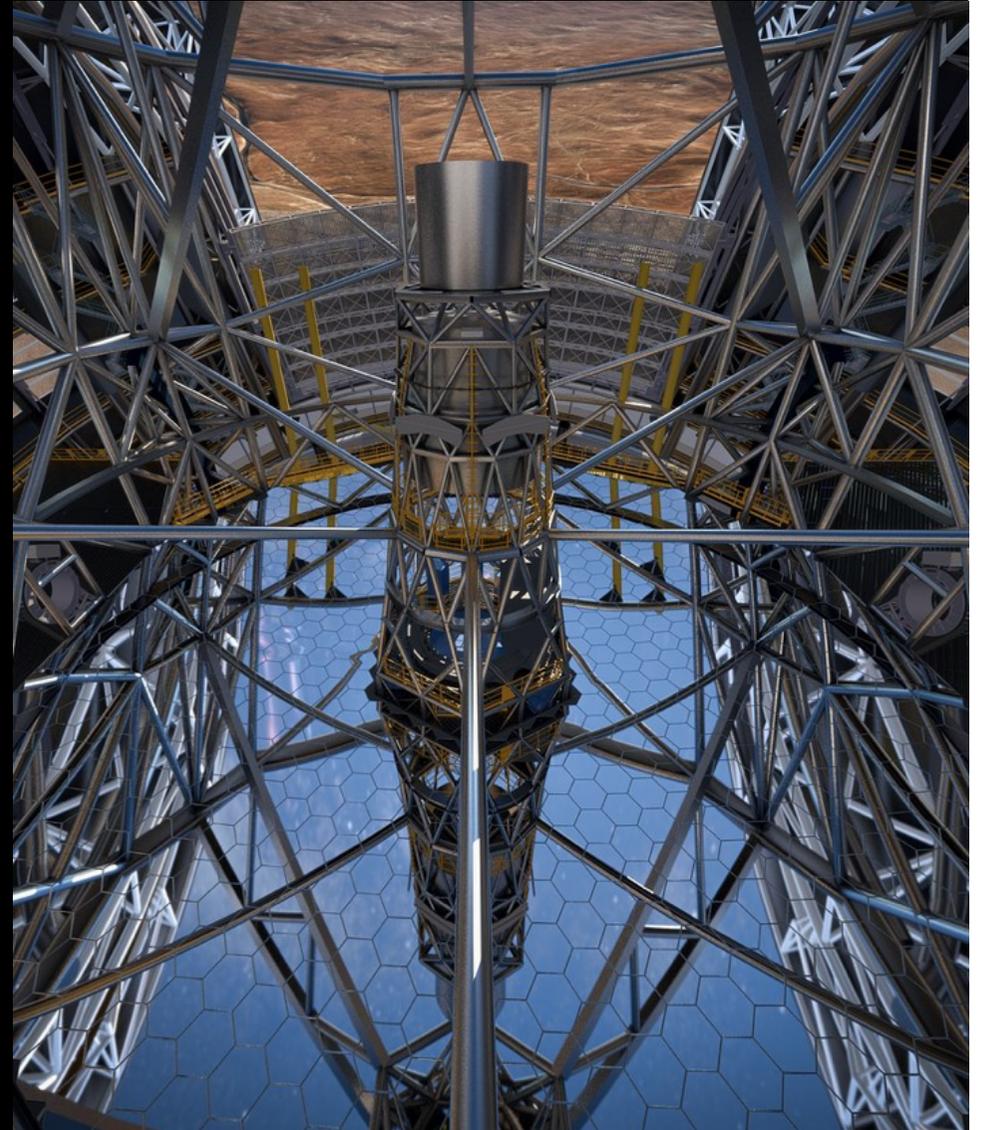


Eines der 8m Teleskope

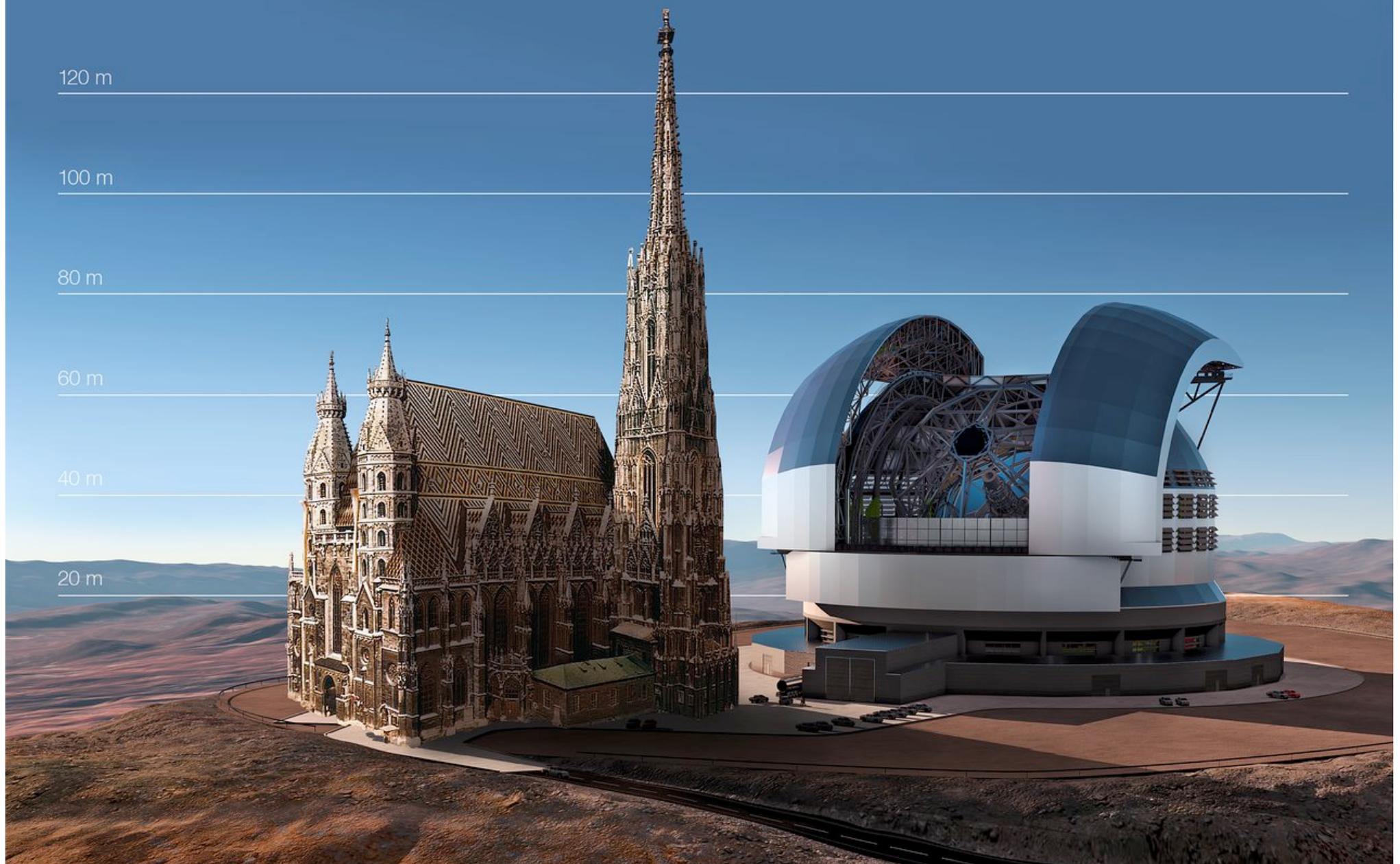


Das ELT

- 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!

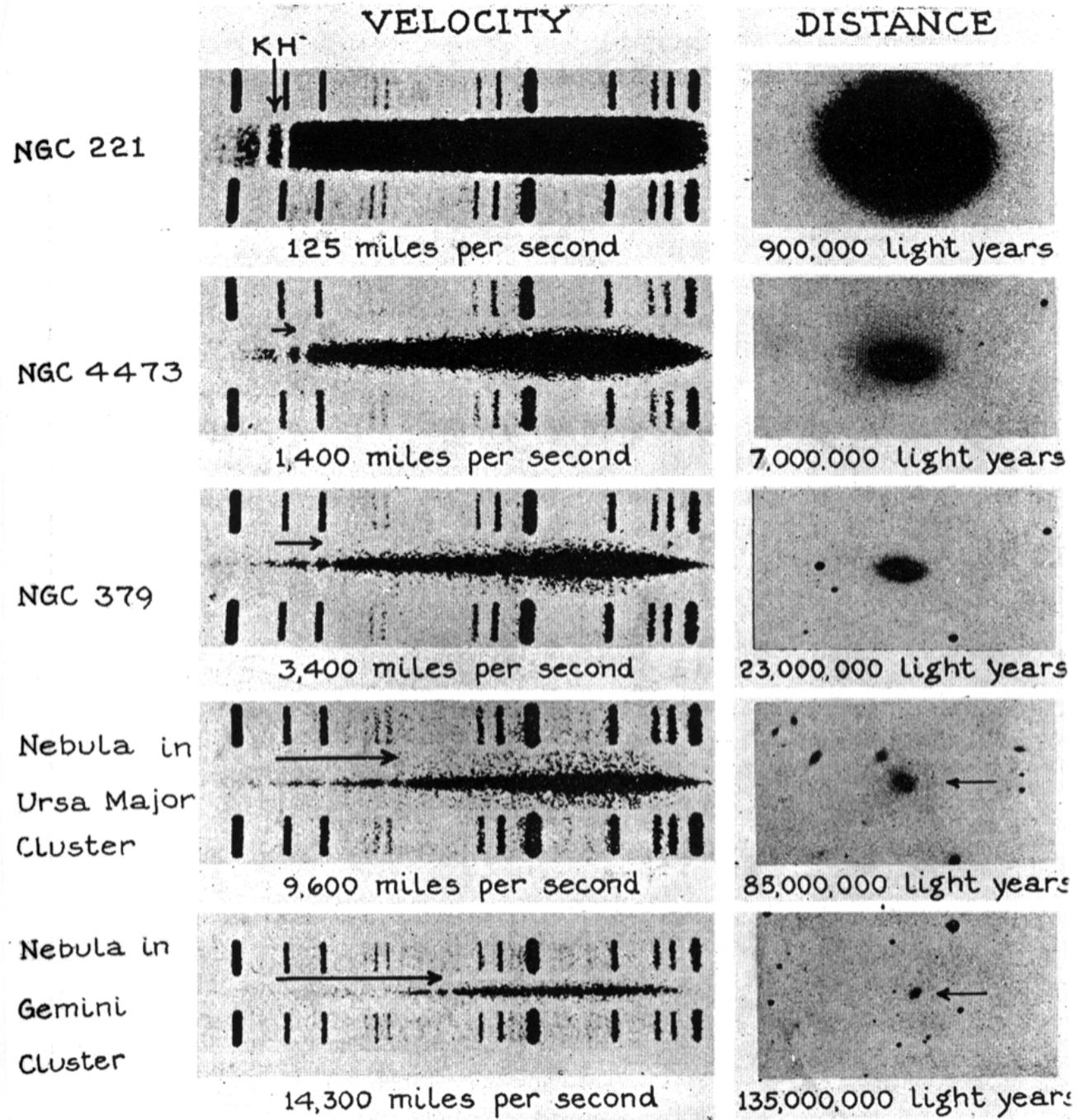


Kosmologie mit Supernovae

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 Entfernungskennzeichen, die im nahen Universum geeicht werden.

THE VELOCITY-DISTANCE RELATION FOR EXTRA-GALACTIC NEBULAE



Hubble

Das Original Hubble Diagramm

Geschwindigkeit

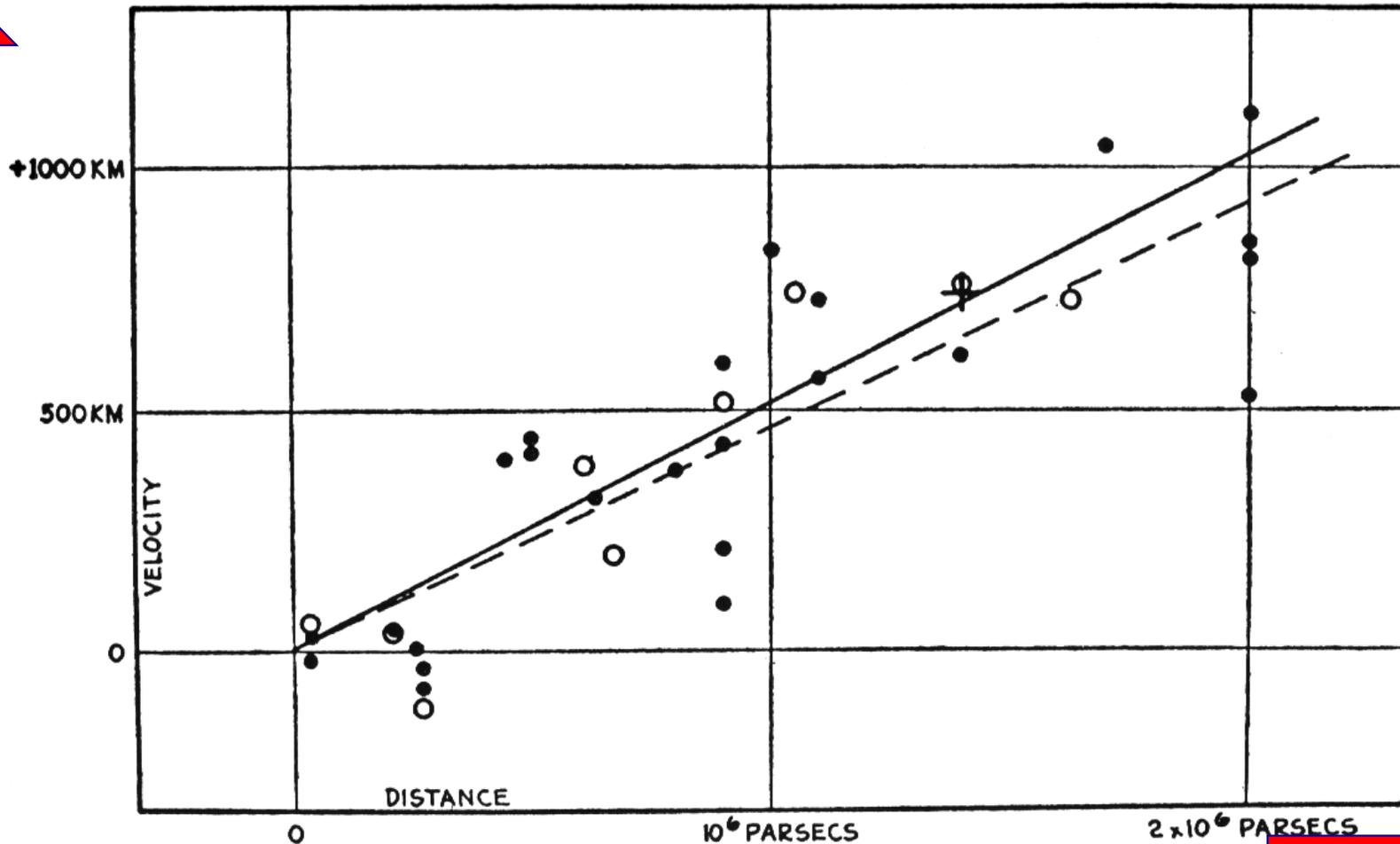
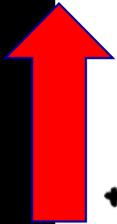


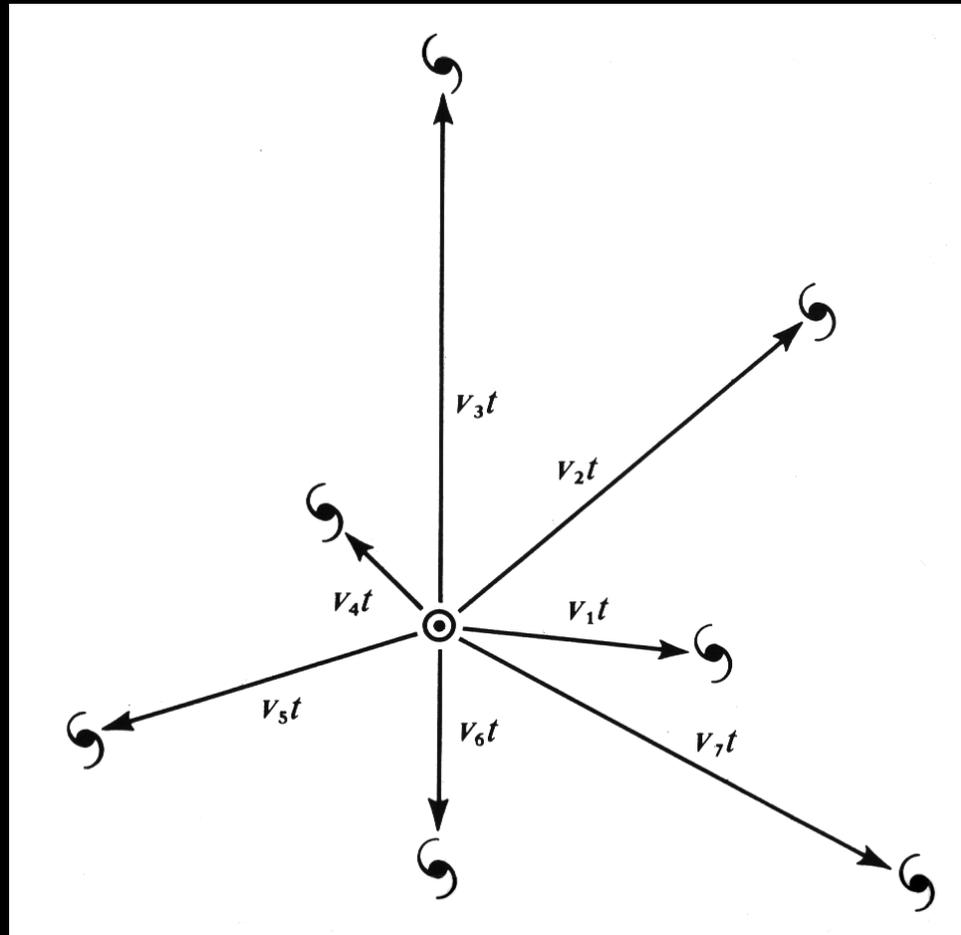
FIG. 9. *The Formulation of the Velocity-Distance Relation.*

Entfernung

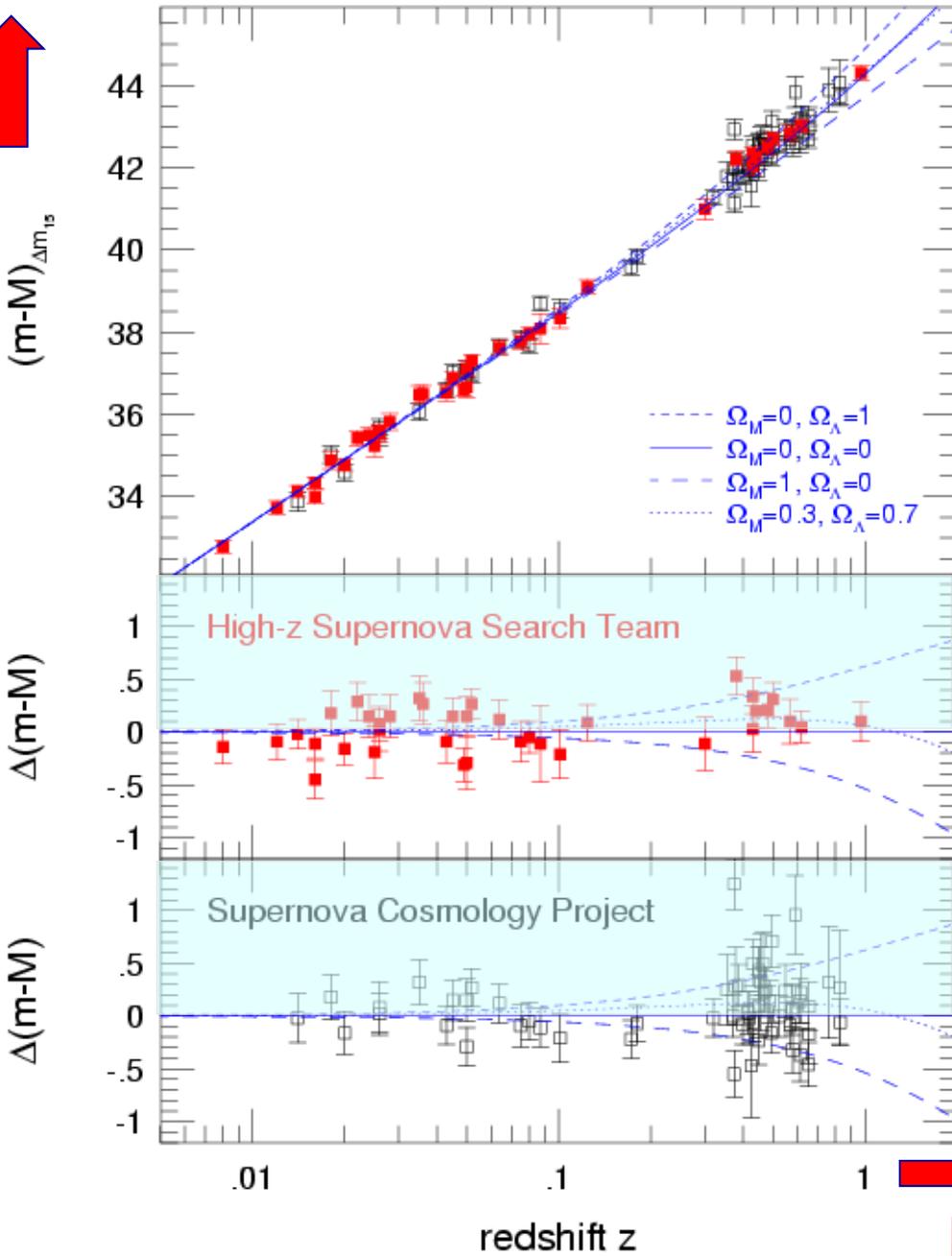
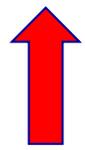


Das Alter des Universums

Alle Galaxien starten am selben Punkt

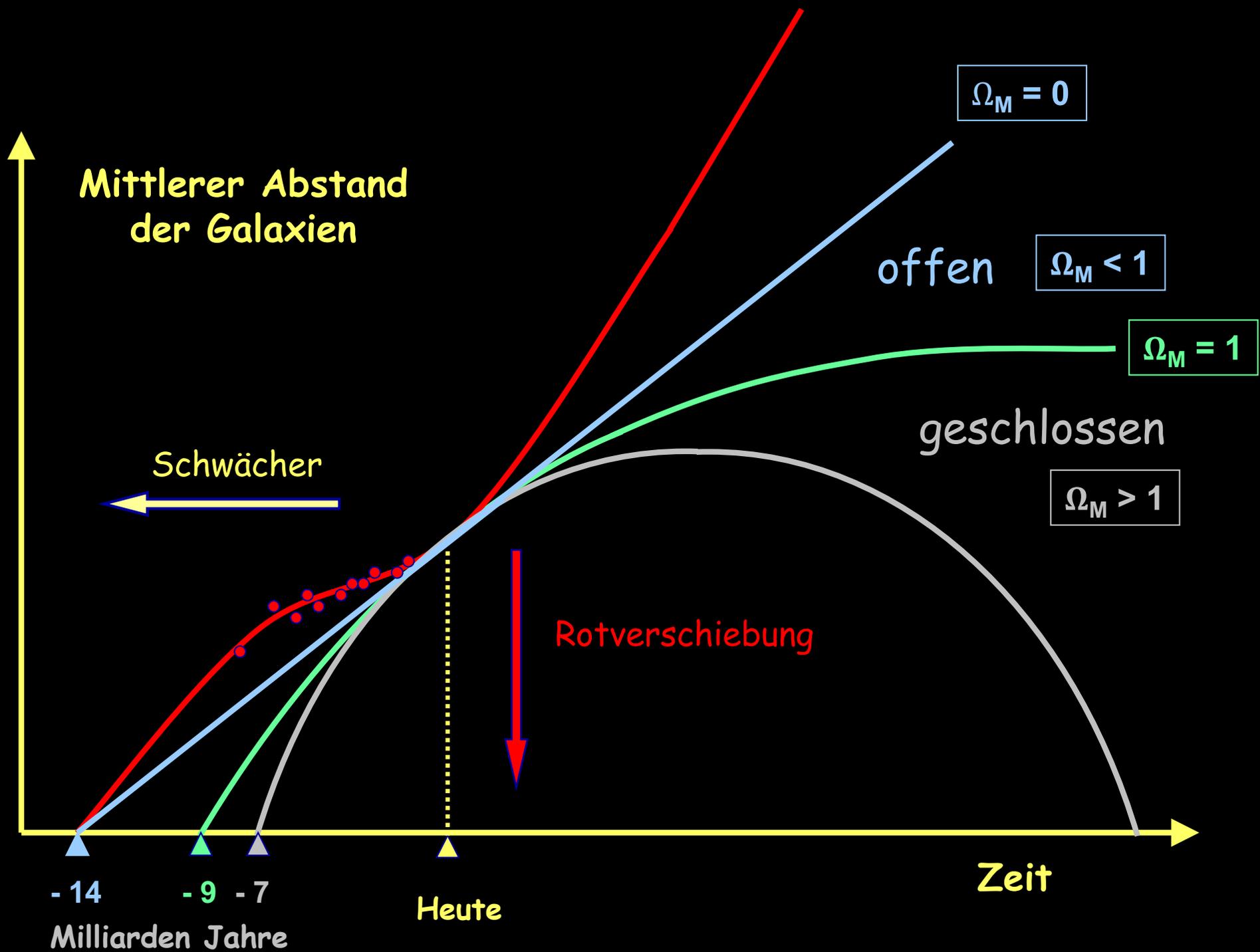


Entfernung



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



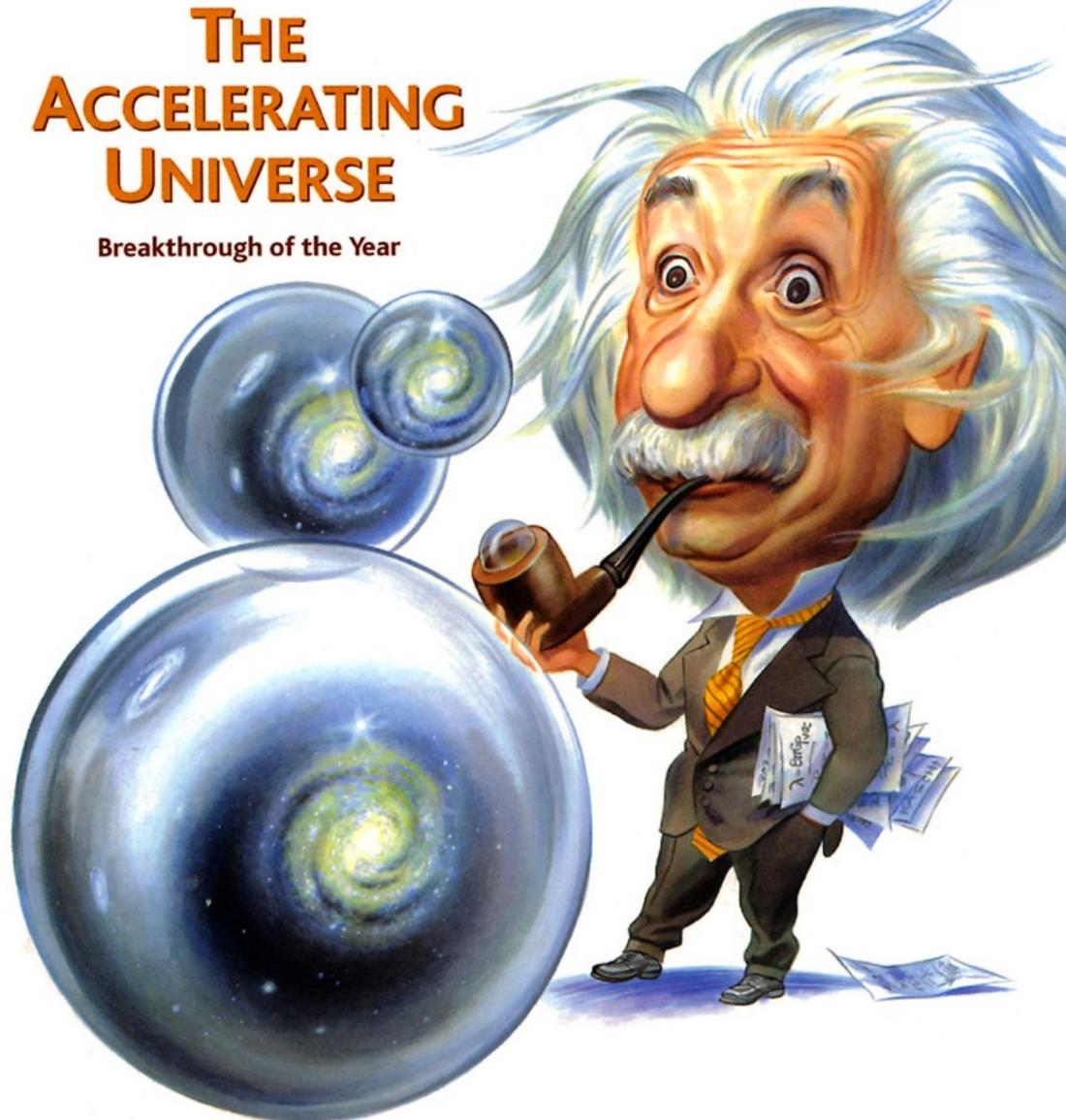
Science

18 December 1998

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

THE ACCELERATING UNIVERSE

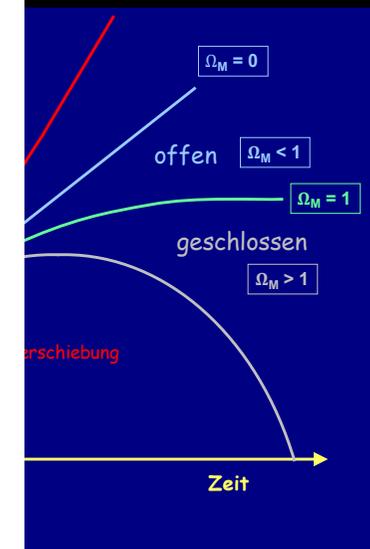
Breakthrough of the Year



AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE

Entfernung
entfernt
expansion
Universum
Dies kann
Komponente

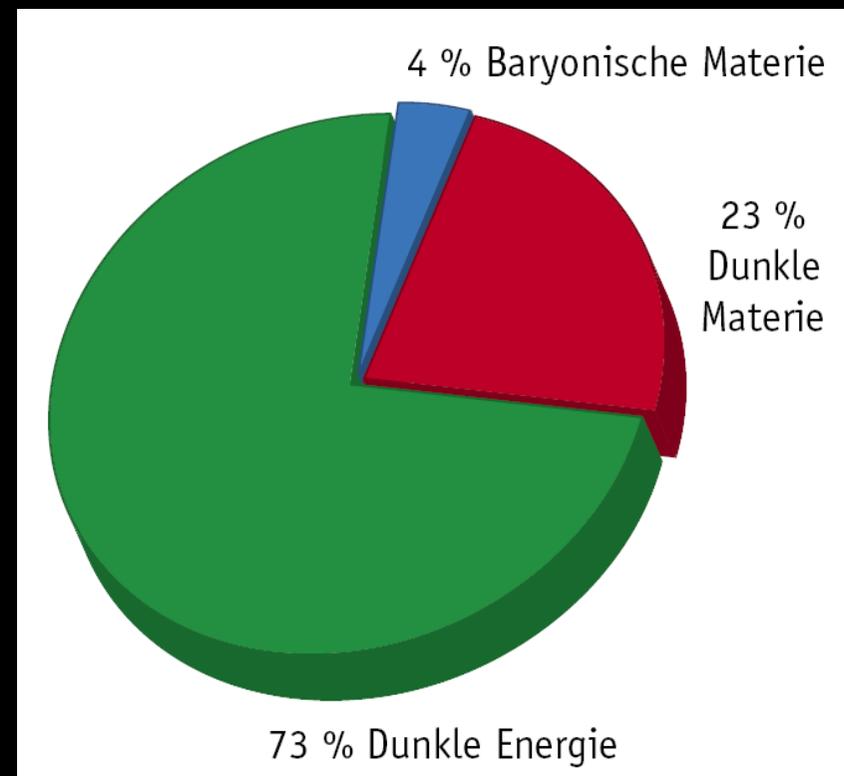
nde



Der Inhalt des Universums

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

Was sind sie?



Was bedeutet das?

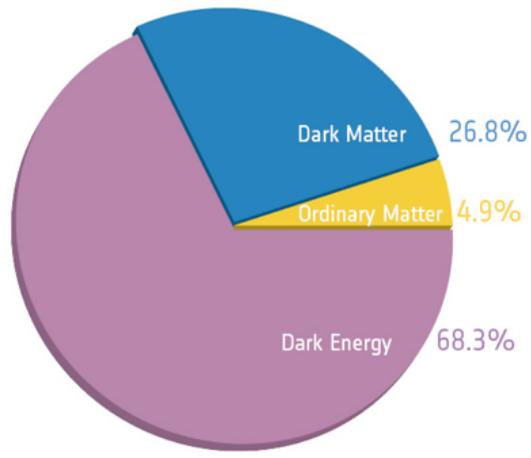
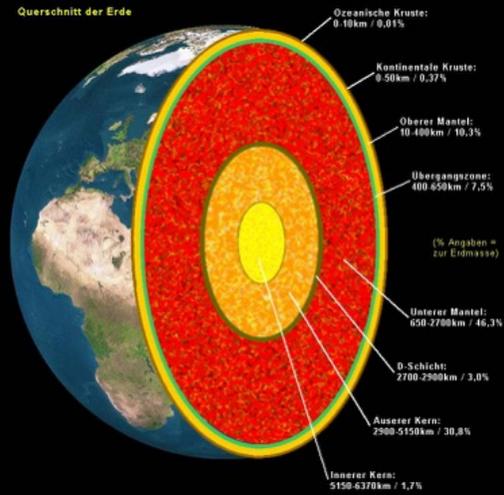
Das Universum besteht im wesentlichen
aus

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

