

Bausteine der Materie und ihre Entstehung – Von Quarks bis zum Sandstrand



**Professor Dr. Andreas Zilges – Universität zu Köln
MINT-Laborpraktikum 2008**

Das Auge von Säugetieren

Vorne zu sitzen

ist manchmal gefährlich.

Aber dafür bekommt man manchmal auch mehr mit,

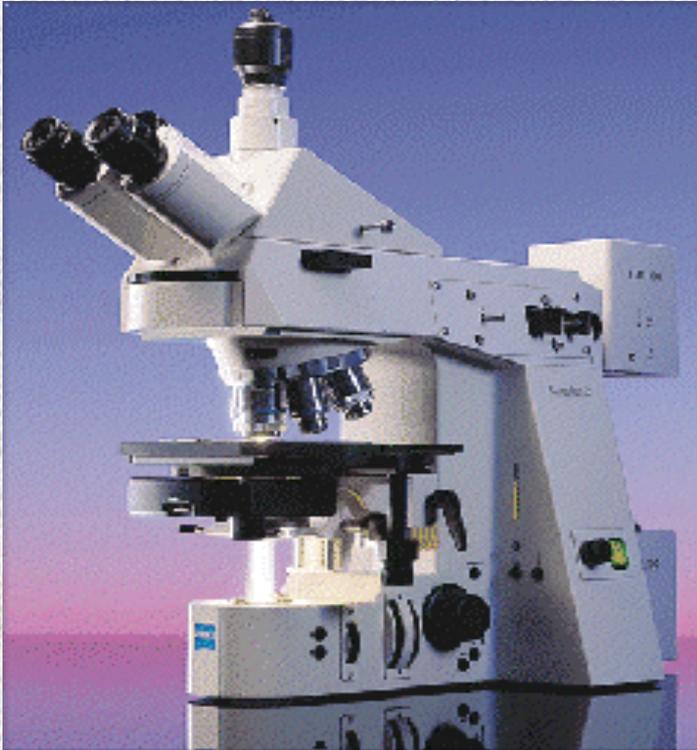
als die in den hinteren Reihen !

Das Auge von Säugetieren



- Auflösungsvermögen: 0.07 mm auf 25 cm
- Länge des optischen Systems: ca. 25 mm

Das Lichtmikroskop



- Auflösungsvermögen bis ca. 0.000 2 mm.
- Passt auf einen kleinen Tisch.

Vom Sandstrand zum Silizium-Atom



Sandstrand
1 Meter



Siliziumdioxid-Kristalle
0.05 mm

Auflösungsvermögen und Wellenlänge

Kleinste beobachtbare Struktur
(Auflösungsvermögen)



Wellenlänge der verwendeten Strahlung

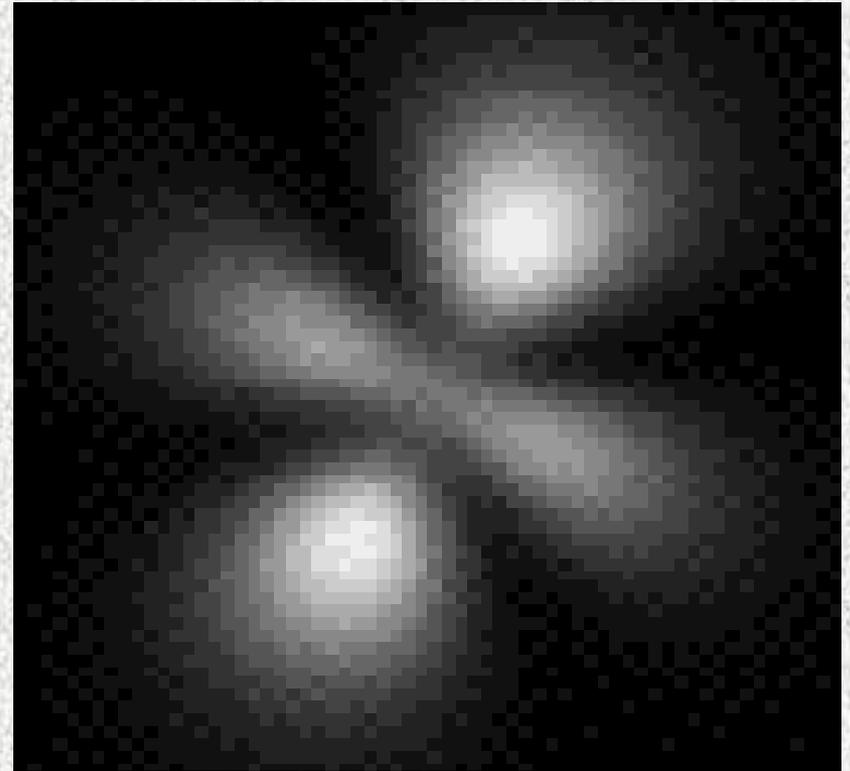
Auch Teilchen haben eine Wellenlänge:

$$\lambda = h/p$$

mit $h = 6.6 \times 10^{-34}$ Js

und $p =$ Impuls des Teilchens $\sim E/c$

Das Elektronenmikroskop



- Aufösungsvermögen bis ca. 0.000 000 1 mm.
- Passt auf einen großen Tisch.

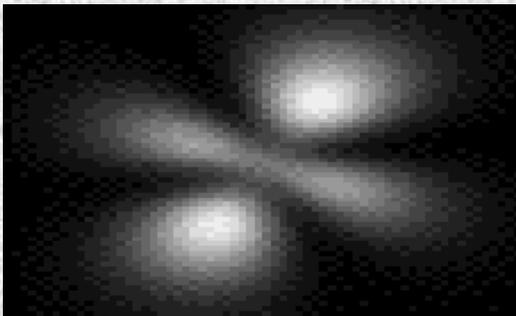
Vom Sandstrand zum Silizium-Atom



Sandstrand
1 Meter



Siliziumdioxid-Kristall
0.05 mm



Si-Atom
 10^{-10} m pro Atom

Eine alternative Energieskala

Makroskopische Systeme:
(1 kg Masse 10 cm hochheben)

$$E = 1 \text{ Joule} = 1 \text{ J}$$

Mikroskopische Systeme:
(1 Elektron mit 1 Volt beschleunigen)

$$E = 1 \text{ Elektronvolt} = 1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1000 \text{ eV} = 10^3 \text{ eV} = 1 \text{ keV}$$

$$1\,000\,000 \text{ eV} = 10^6 \text{ eV} = 1 \text{ MeV}$$

Elektrostatische Beschleuniger



Ein Blick in das Innere...



Elektrostatische Elektronenbeschleuniger

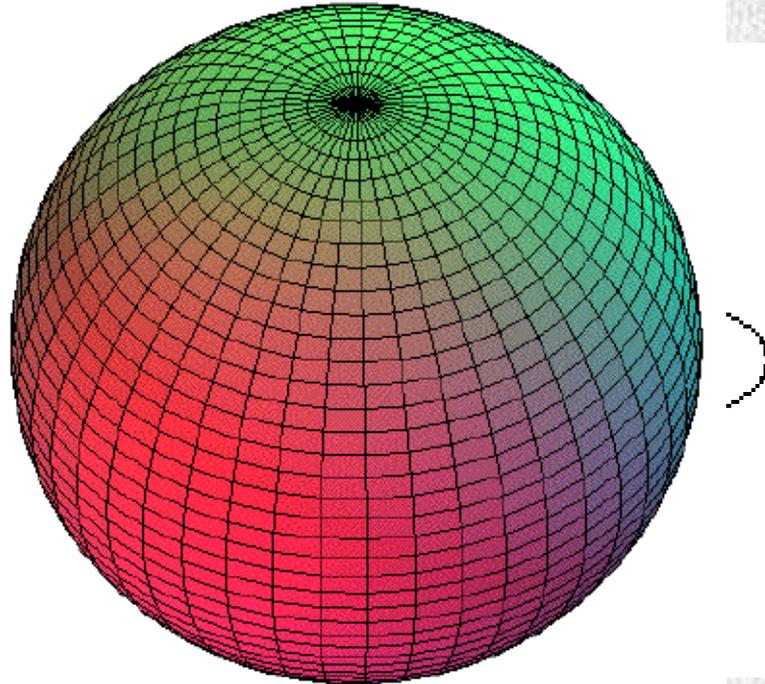


- Ca. 10 Meter Beschleunigungsstrecke.
- Geladene Teilchen mit bis zu 20 MV beschleunigen.

Im Inneren des Atoms

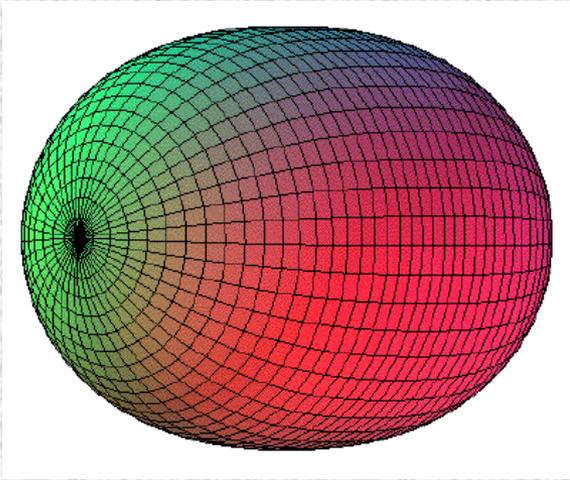
Im Zentrum jedes Atoms sitzt ein ATOMKERN.
Dessen Radius ist etwa 100 000 mal kleiner
als der Atomradius:

Sind alle Atomkerne
kugelrund ?

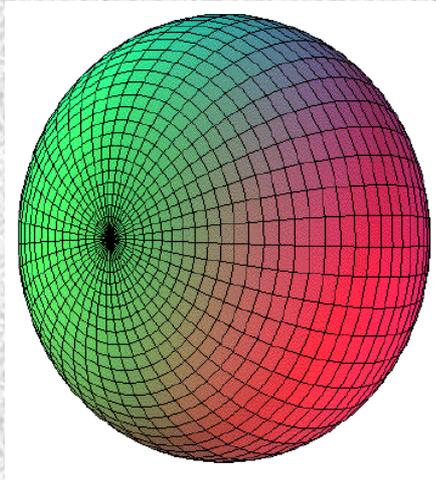


Atomkern

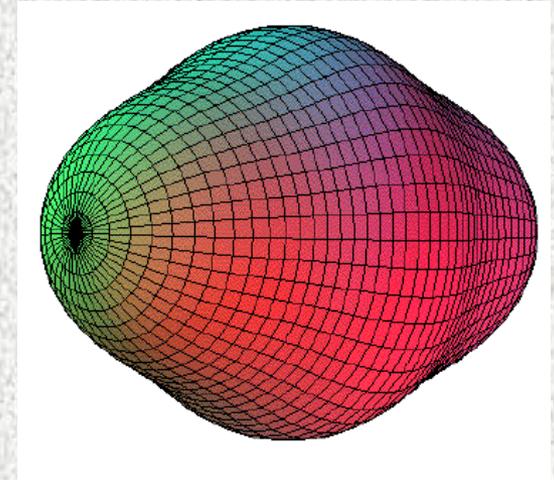
Verschiedene Formen von Atomkernen



Prolater Kern
„Zigarre“
z.B. Silber (Ag)



Oblater Kern
„Diskus“
z.B. Gold (Au)



Hexadekupol
„Zitrone“
z.B. Silizium (Si)

Physik in sehr kleinen Systemen

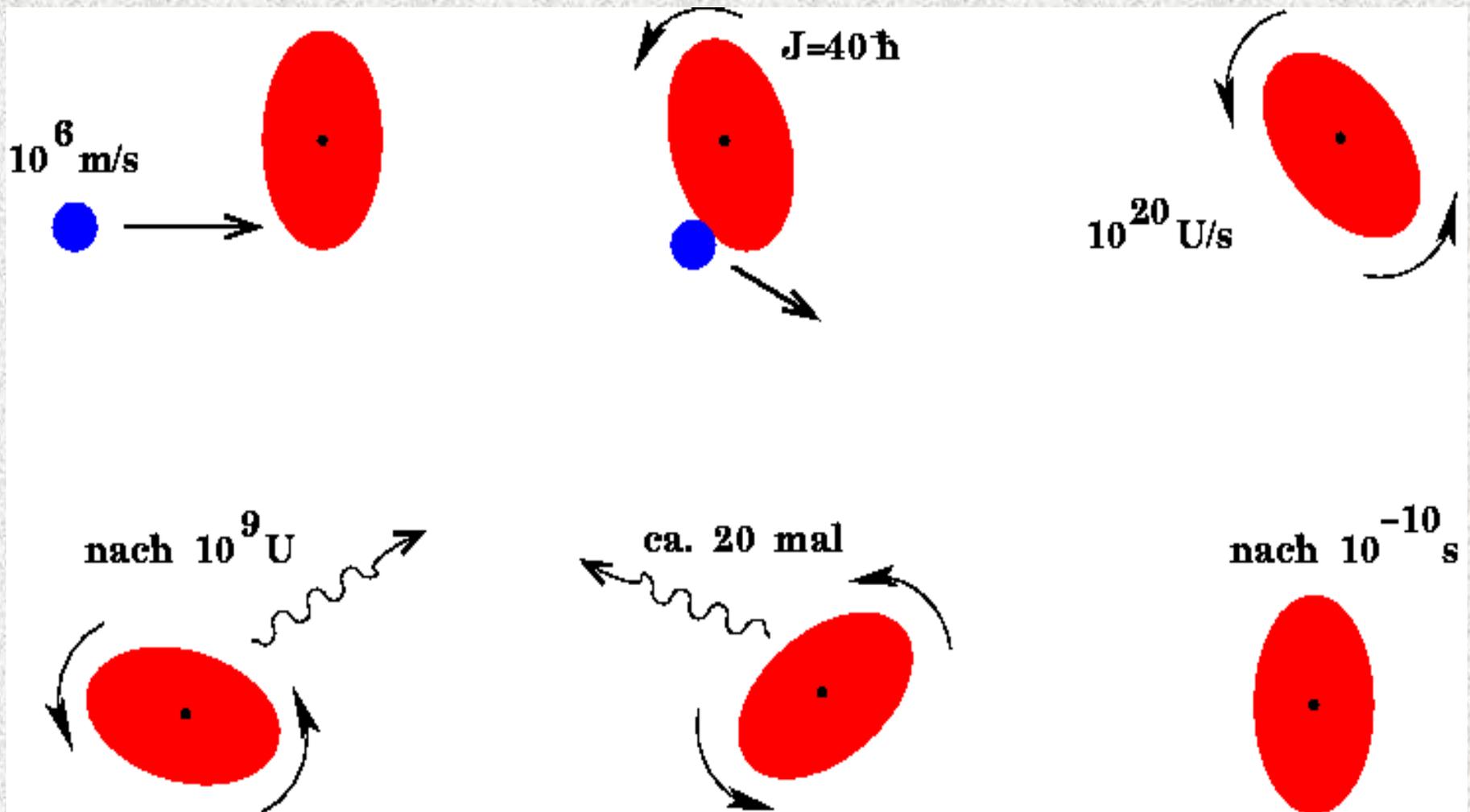
**ENERGIE, IMPULS und DREHIMPULS
bleiben erhalten.**

Sie sind in kleinste Einheiten quantisiert.

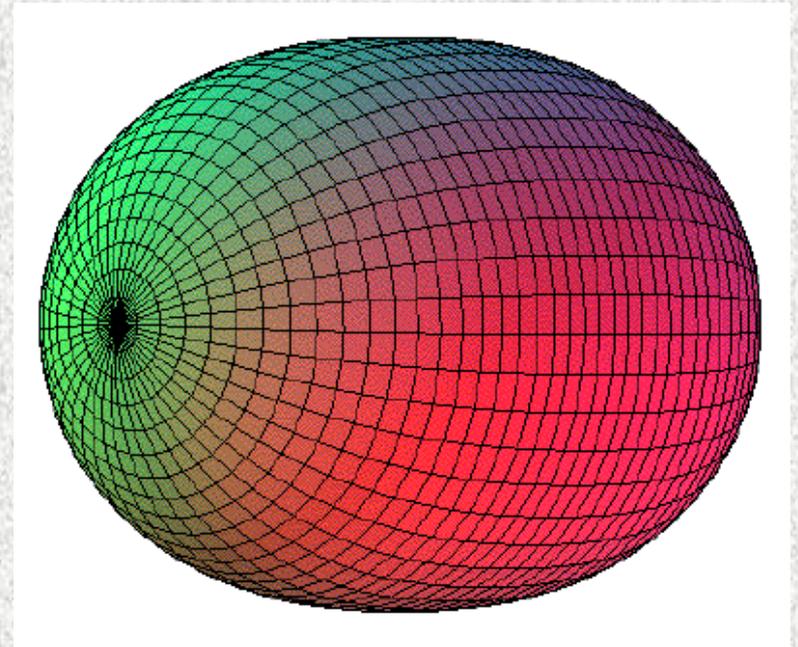
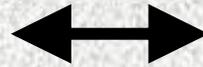
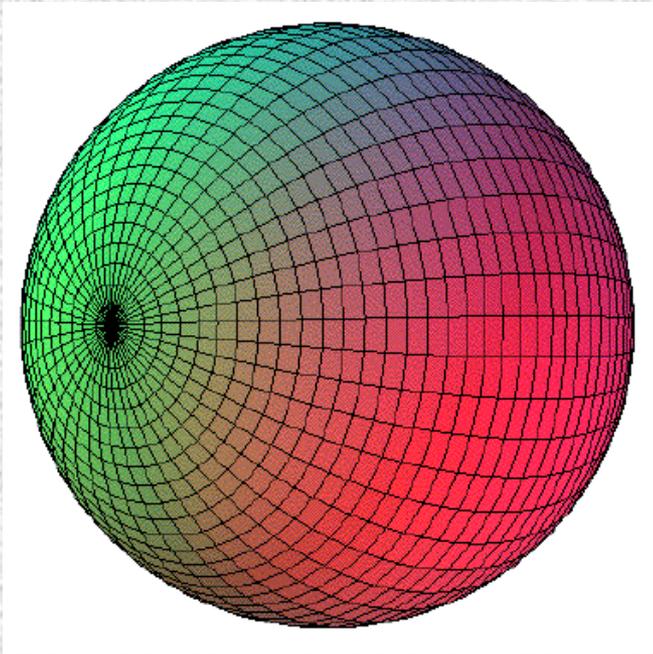
Auch ein Photon hat einen Impuls:

$$p = h / \lambda \quad \text{mit } h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

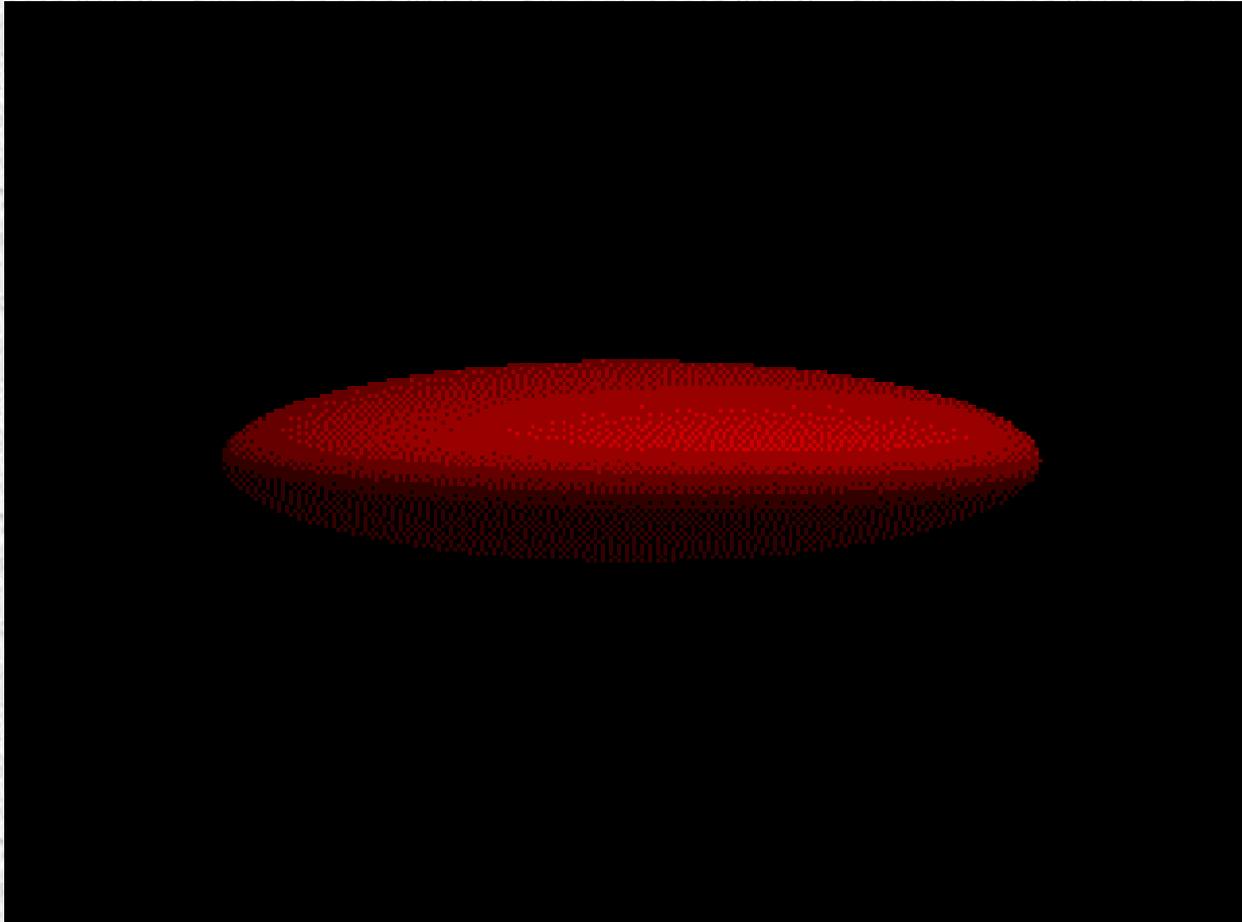
Was macht ein Zigarrenkern, der von einem Projektil getroffen wird ?



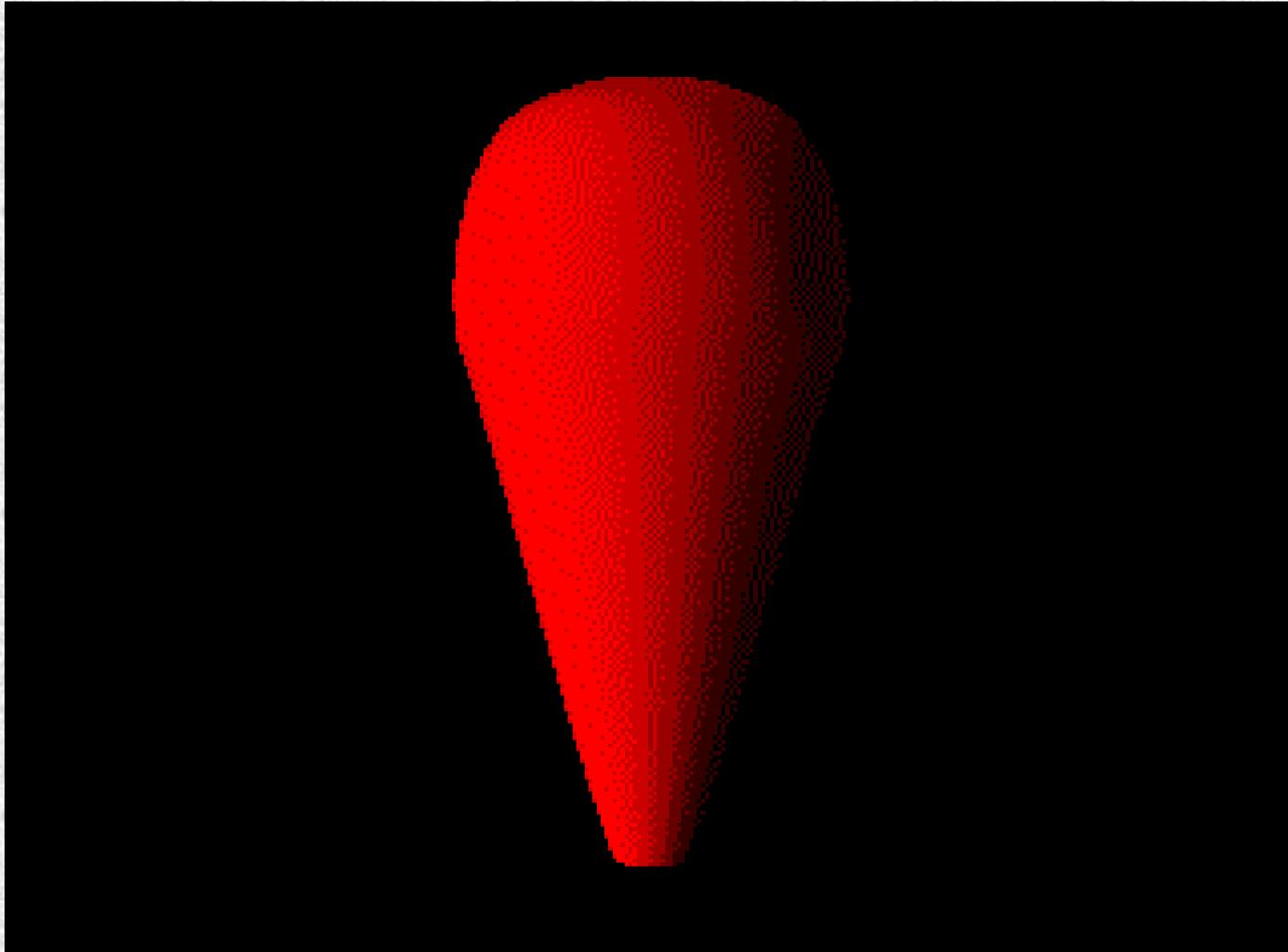
Dynamische Deformationen von Kernen



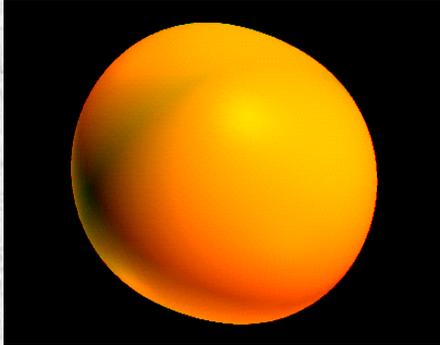
Verschiedene Formen von Atomkernen



Verschiedene Formen von Atomkernen



Vom Silizium-Atomkern zu den Quarks



Si-Atomkern

$3 \times 10^{-15} \text{ m}$

Ein supraleitender Beschleuniger (S-DALINAC an der TU Darmstadt)

**Ca. 25 Meter Beschleunigerstrukturen.
Elektronen mit Energien von 130 MeV.**



Im Inneren des Atomkerns

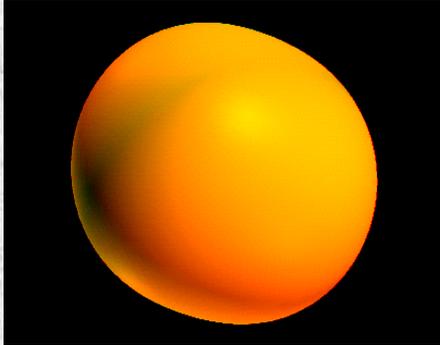
Atomkerne setzen sich aus **PROTONEN** und **NEUTRONEN** zusammen.

Diese beiden Kernbausteine nennt man auch **NUKLEONEN**.

PROTONEN haben die Ladung $+e$,
NEUTRONEN sind ungeladen.

Protonen und Neutronen sind etwa gleich schwer, $m = 1.5 \times 10^{-27}$ kg.

Vom Silizium-Atomkern zu den Quarks



Si-Atomkern

3×10^{-15} m

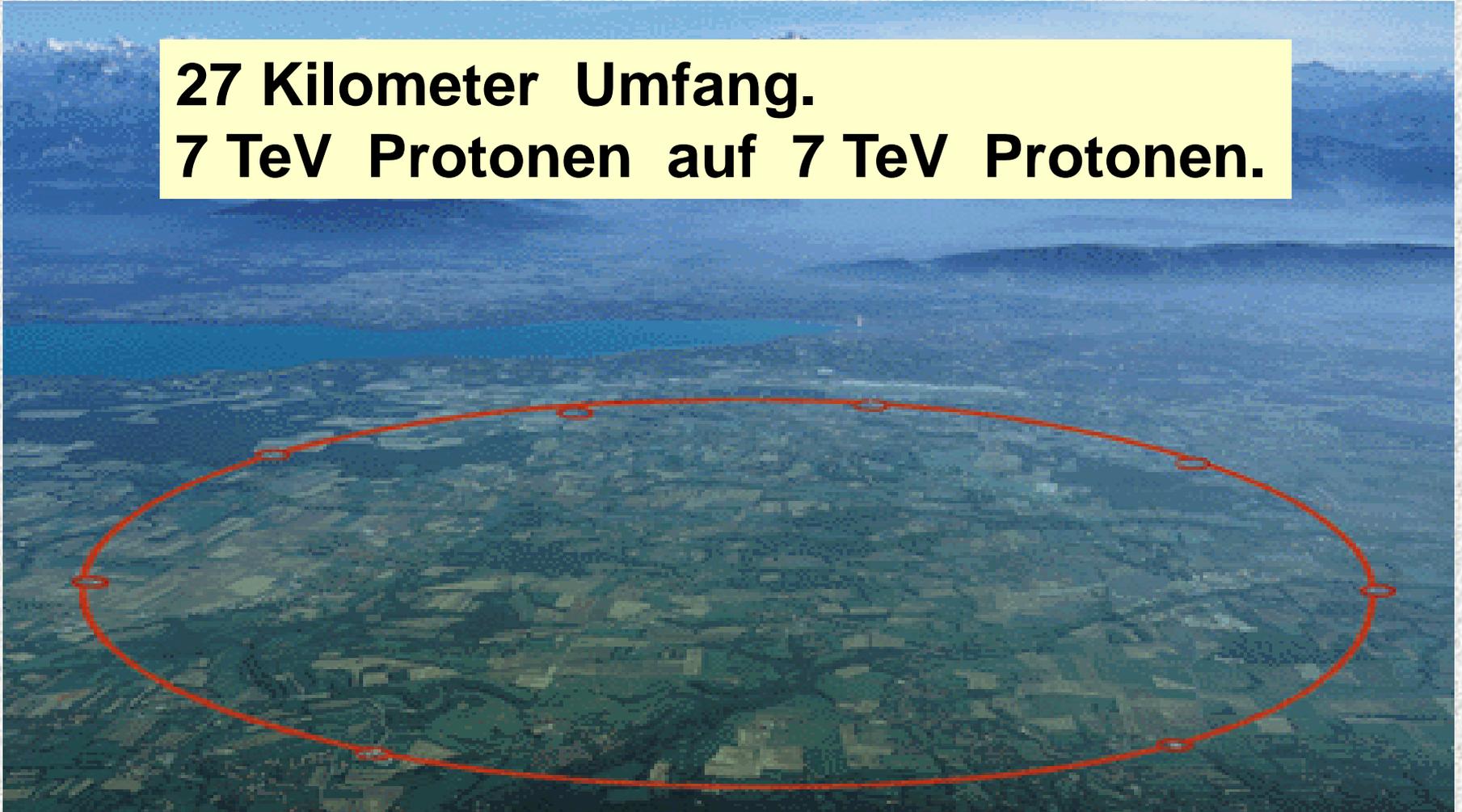


14 Protonen, 14 Neutronen

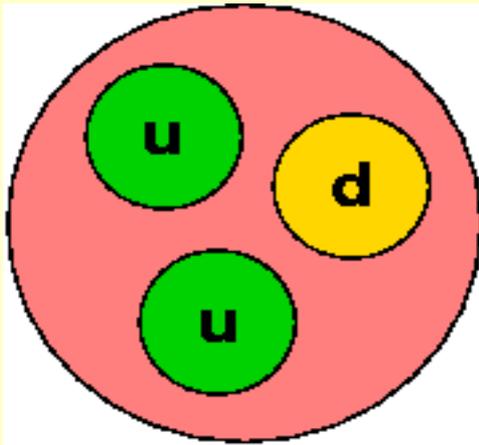
1×10^{-15} m pro Nukleon

Der Large Hadron Collider (LHC) am CERN in Genf, Schweiz

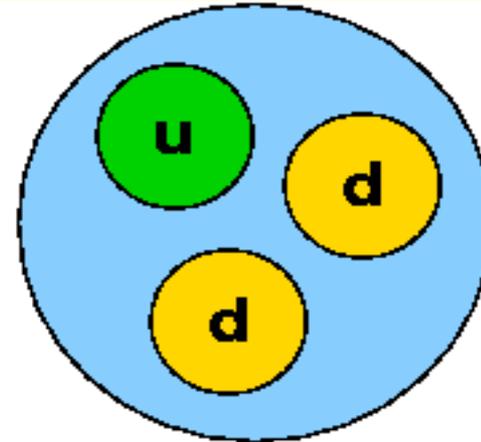
**27 Kilometer Umfang.
7 TeV Protonen auf 7 TeV Protonen.**



Im Inneren der Nukleonen



Proton = (u u d)



Neutron = (d d u)

UP-Quarks (u) tragen die Ladung $+ 2/3 e$.

DOWN-Quarks (d) tragen die Ladung $- 1/3 e$.

Vom Silizium-Atomkern zu den Quarks



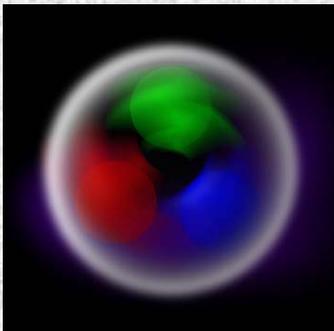
Si-Atomkern

3×10^{-15} m



14 Protonen, 14 Neutronen

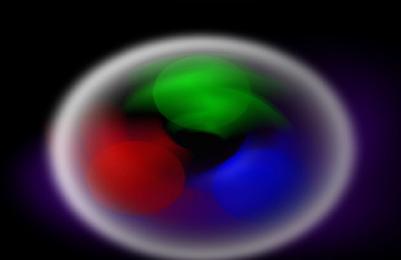
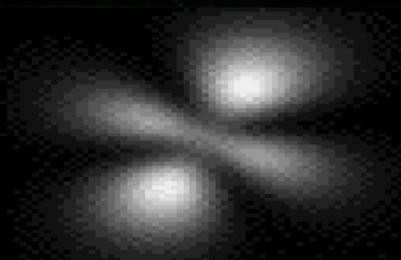
1×10^{-15} m pro Nukleon



42 u-Quarks, 42 d-Quarks

$< 10^{-18}$ m pro Quark

Vom Sandstrand zum Atomkern



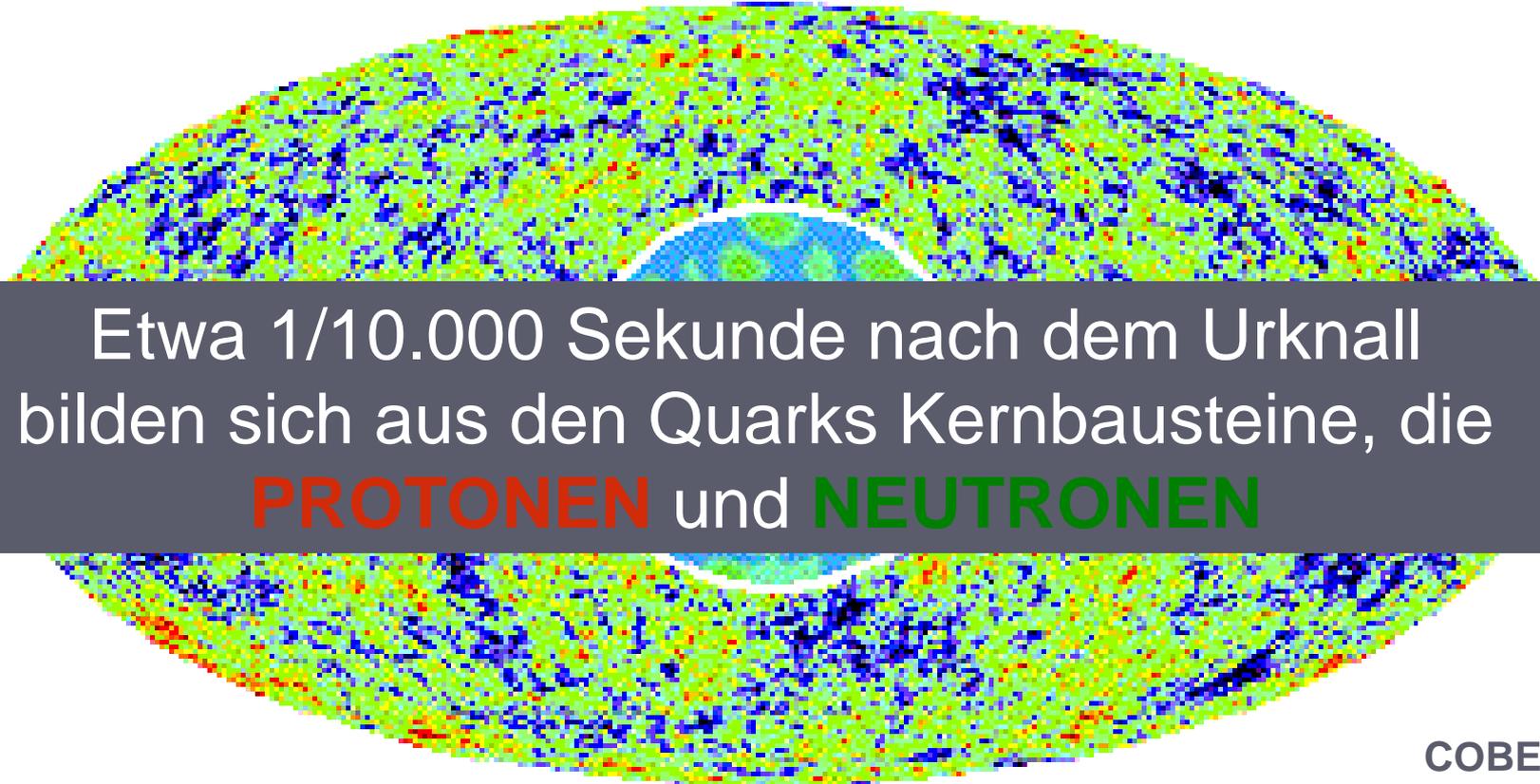
**18 Größenordnungen:
1.000.000.000.000.000.000
(eine Milliarde Milliarden)**

Und wie ist nach dem Urknall der Sandstrand entstanden ?

Die Energie des Urknalls wird unter anderem
in Quarks und Antiquarks umgewandelt.



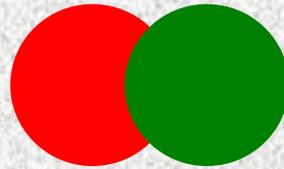
Entstehen der Elemente nach dem Urknall



(Nobelpreis 2006: John C. Mather, George F. Smoot)

Wie entstanden die ersten Atomkerne ?

Beim Zusammenprall von Proton und Neutron können diese zu einem neuen Kern fusionieren:

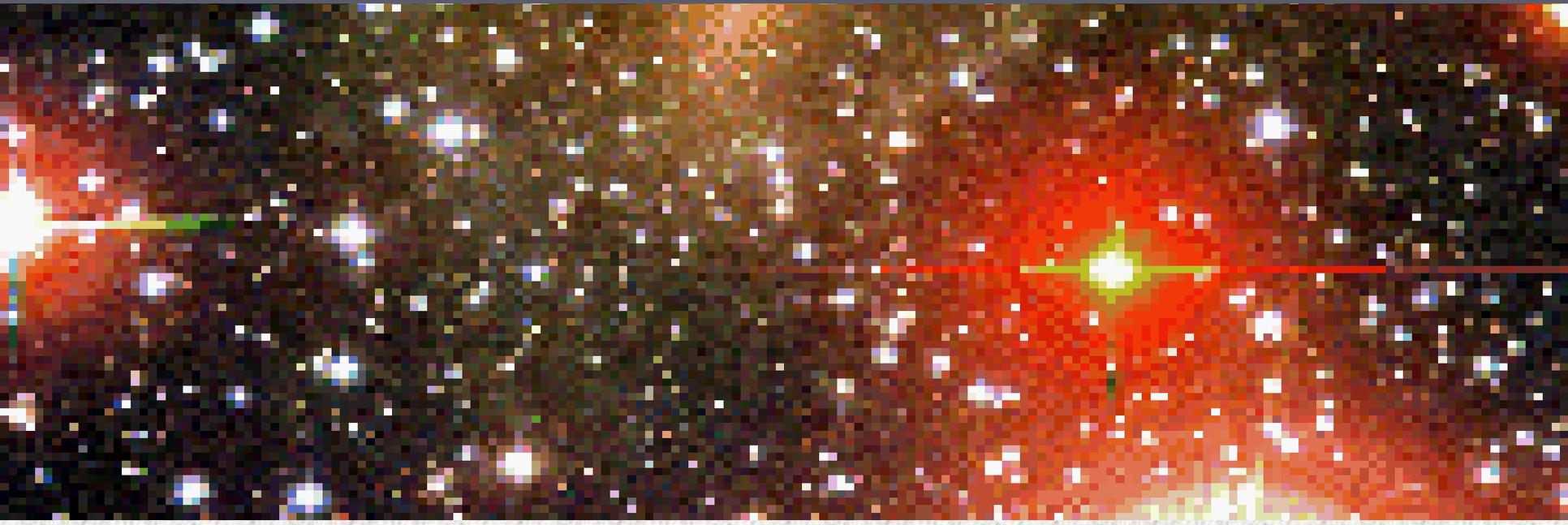


**Dieser neue Kern bleibt stabil, wenn die Temperatur nicht zu hoch ist.
($T < 1$ Milliarde Grad Celsius)**

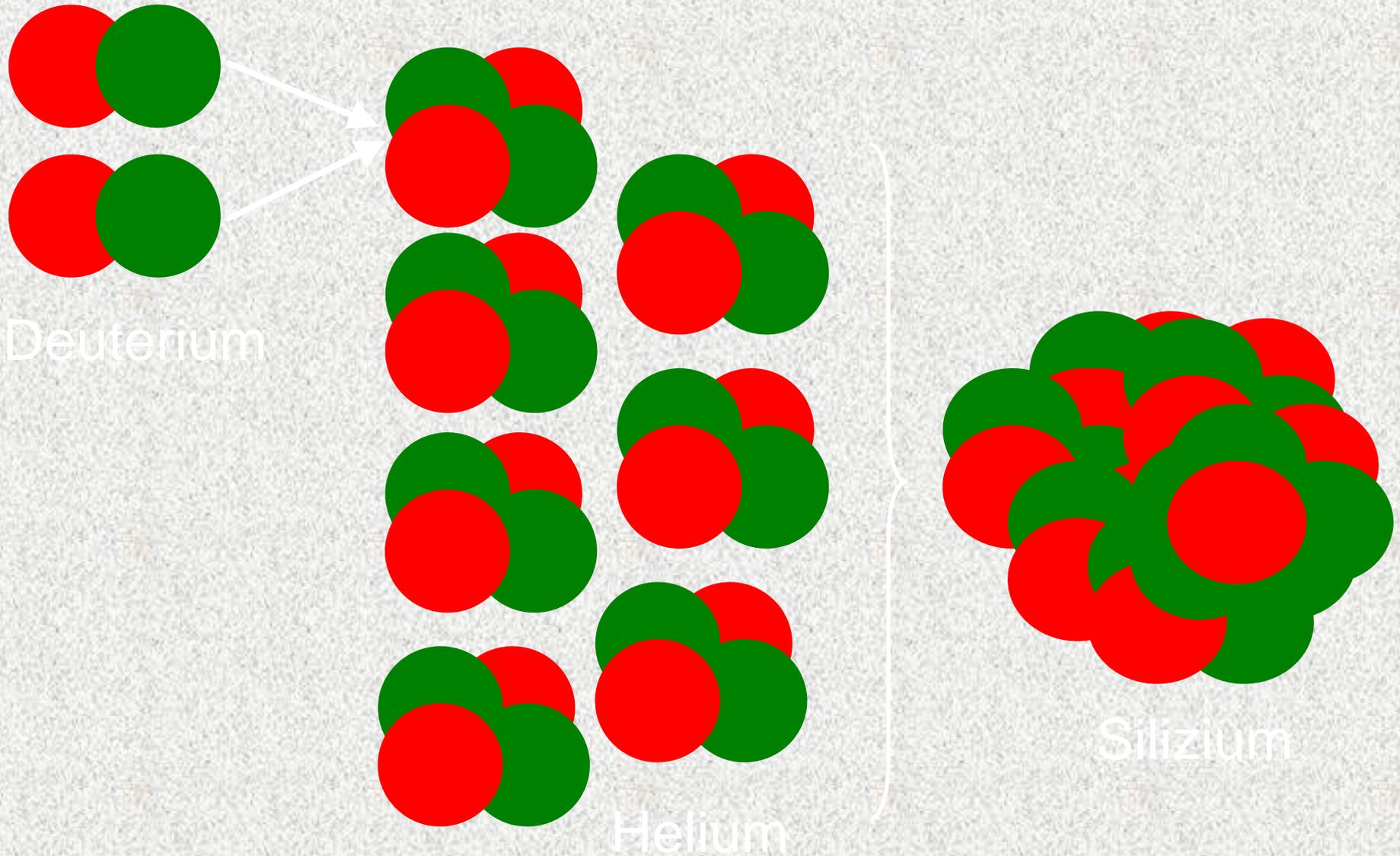
Die Synthese schwerer Elemente

Erst nach etwa 200 Millionen Jahren entstehen die ersten Sterne (Gravitation).

Jetzt können auch schwere Kerne bis zum Eisen durch Fusionsprozesse erzeugt werden.



Aus Deuterium wird Silizium



Das Ende der Fusionskette

Diese direkten Fusionen sind nur bis zum Element Eisen energetisch möglich.

6
C
12.01
— Ordnungszahl
— Symbol
— Atommasse

Metall
 Halbmetall
 Nichtmetall

1	1 H 1.008	2											13	14	15	16	17	18
2	3 Li 6.941	4 Be 9.012											5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.00	10 Ne 20.18
3	11 Na 22.99	12 Mg 24.31											13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.07	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95
4	19 K 39.10	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.88	23 V 50.94	24 Cr 52.00	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.39	31 Ga 69.72	32 Ge 72.61	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.90	36 Kr 83.80
5	37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc 98.91	44 Ru 101.1	45 Rh 102.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.9	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.8	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.3
6	55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	71 Lu 175.0	72 Hf 178.5	73 Ta 180.9	74 W 183.8	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.1	79 Au 197.0	80 Hg 200.6	81 Tl 204.4	82 Pb 207.2	83 Bi 209.0	84 Po 209.0	85 At 210.0	86 Rn 222.0
7	87 Fr 223.0	88 Ra 226.0	103 Lr 262.1	104 Rf 261.1	105 Db 262.1	106 Sg 263.1	107 Bh 264.1	108 Hs 265.1	109 Mt 268	110 Uun 269	111 Uuu 272	112 Uub 277	113 Uut 289	114 Uuq 289	115 Uup 289	116 Uuh 289	117 Uus 289	118 Uuo 293
6			57 La 138.9	58 Ce 140.1	59 Pr 140.9	60 Nd 144.2	61 Pm 146.9	62 Sm 150.4	63 Eu 152.0	64 Gd 157.3	65 Tb 158.9	66 Dy 162.5	67 Ho 164.9	68 Er 167.3	69 Tm 168.9	70 Yb 173.0		
7			89 Ac 227.0	90 Th 232.0	91 Pa 231.0	92 U 238.0	93 Np 237.0	94 Pu 244.1	95 Am 243.1	96 Cm 247.1	97 Bk 247.1	98 Cf 251.1	99 Es 252.0	100 Fm 257.1	101 Md 258.1	102 No 259.1		

Die Synthese schwerer Elemente

Für die Synthese vieler schwerer Elemente sind ruhige Brennphasen von Sternen bei Temperaturen um 100 Millionen Grad verantwortlich.

(Neutroneneinfang, radioaktive Zerfälle)

Die Synthese schwerer Elemente

Die Existenz mancher Elemente lässt sich aber nur durch Vorgänge bei Temperaturen von über einer Milliarde Grad erklären.

→ SUPERNOVA-EXPLOSION

Die Supernova 1987A

22.02.1987

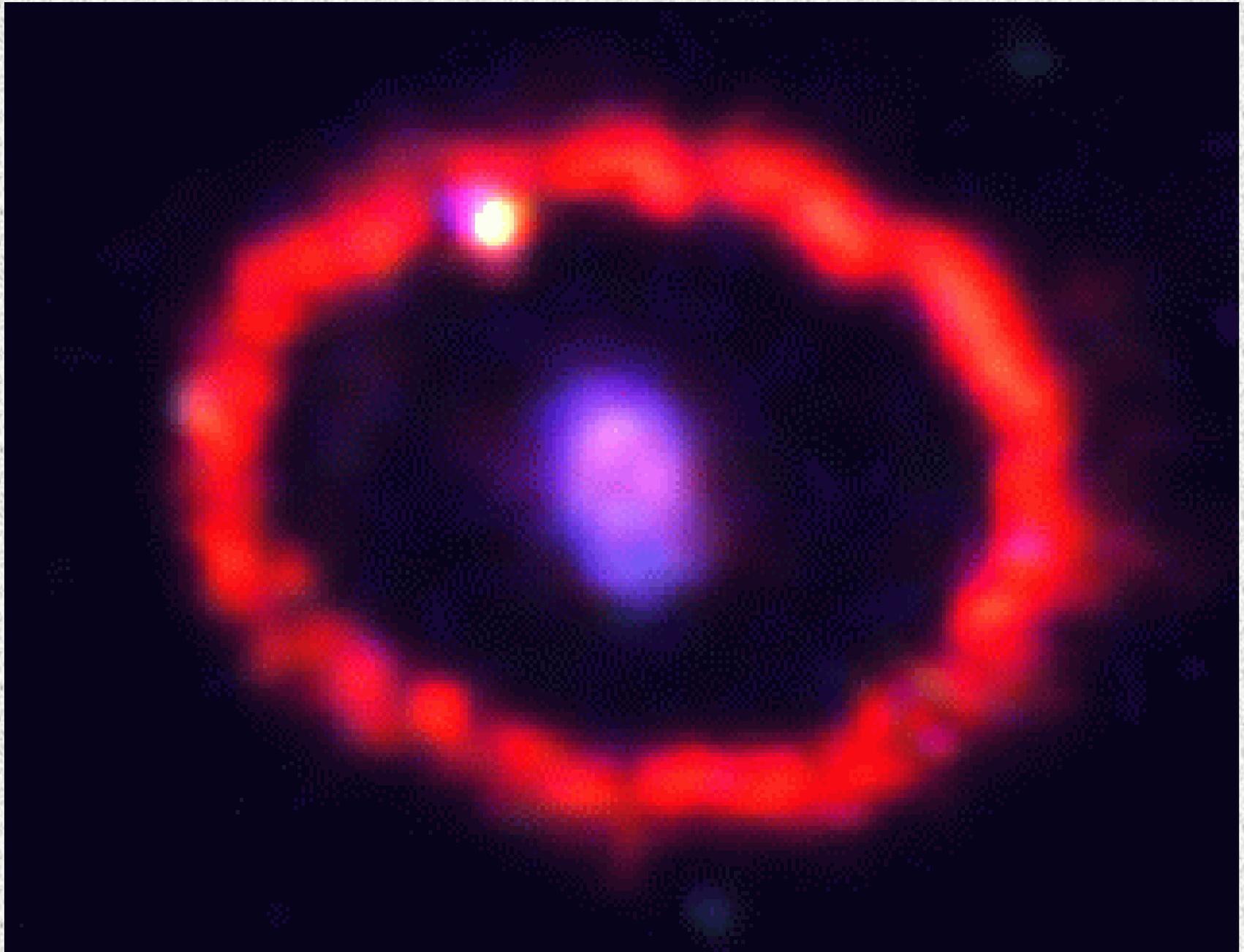


vorher

23.02.1987

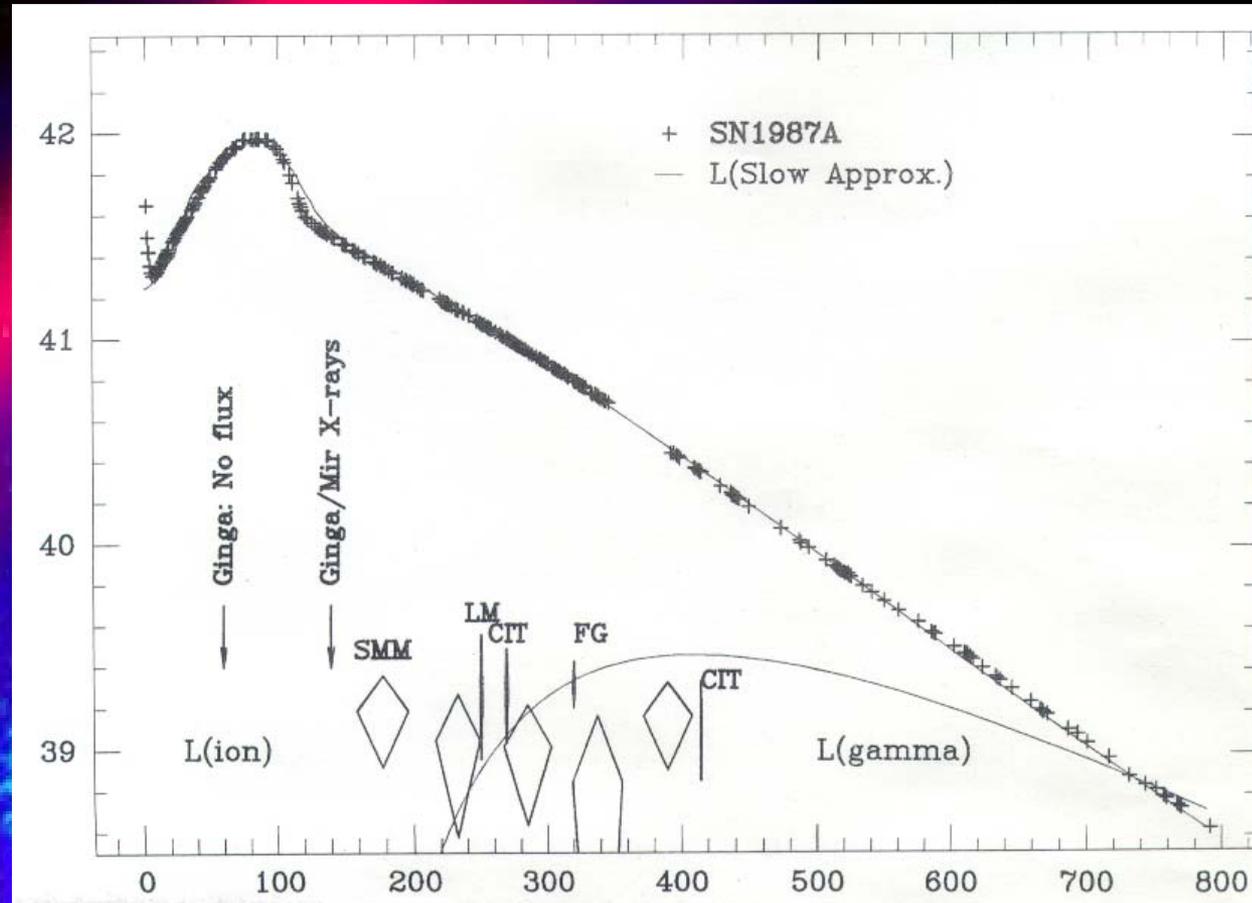


Die Supernova 1987A im Jahr 2002



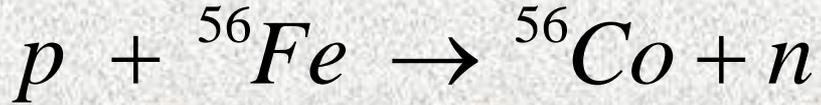
Leuchtkurve einer Supernova

Helligkeit ↑

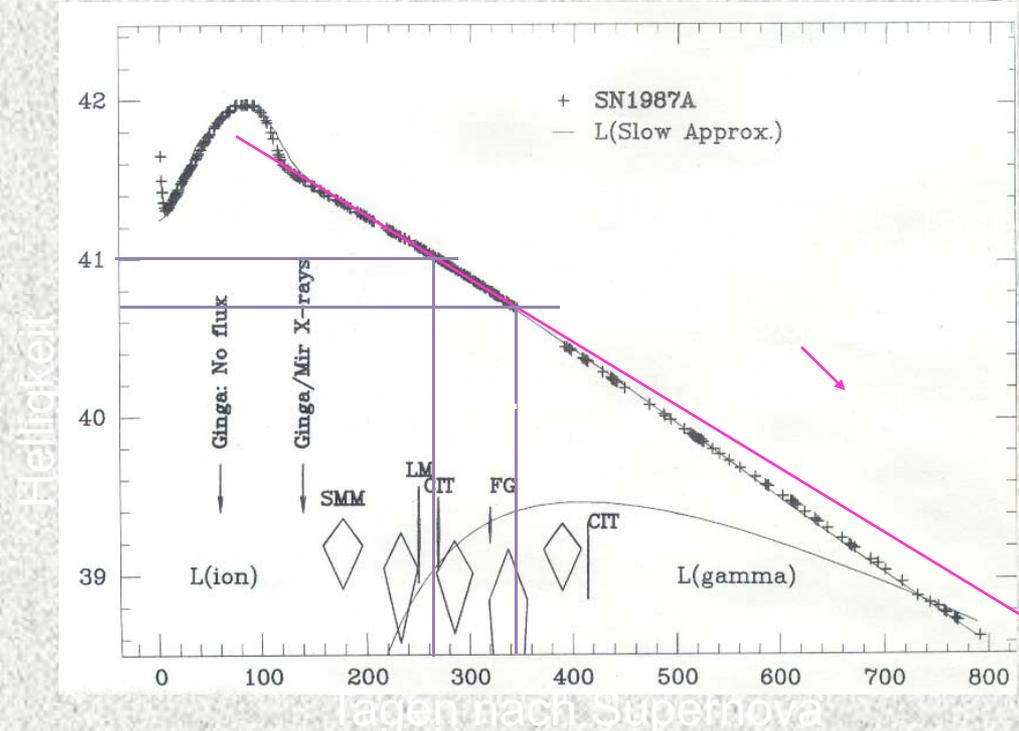
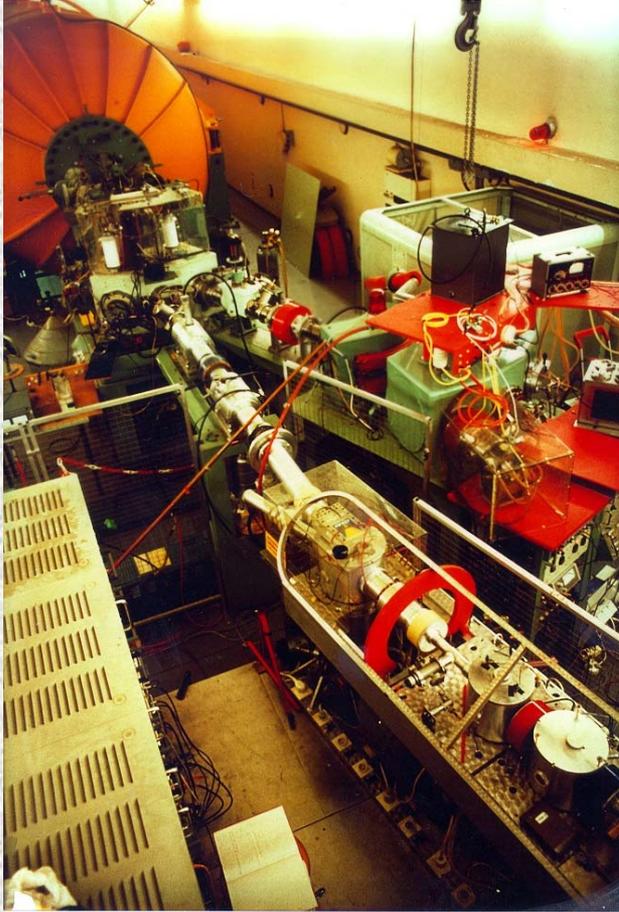
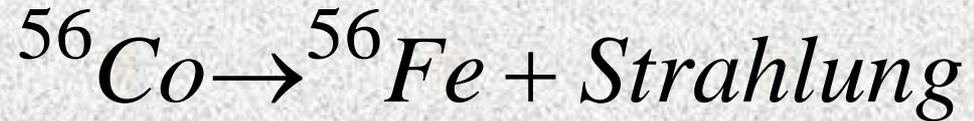


Zeit (Tage) →

Experiment dazu am Kölner Beschleuniger



Halbwertszeit: $T_{1/2} = 77.5$



Liste aller beobachteten Supernovae

SN	Host Galaxy	Date	R.A.	Decl.	Offset	Mag.	Disc. Ref.	SN Position	Type SN	Discoverer(s)
2006kd	Anon.	2006 10 13	01 07.8	+00 50 21.2		01 07 50.00	+00 49 41.5		Ia	2006kd Sloan Digital Sky Survey II
2006kc	Anon.	2006 10 12	22 30.2	-00 24 21.0		22 30 10.61	-00 24 28.2		Ia	2006kc Sloan Digital Sky Survey II
2006kb	Anon.	2006 10 12	20 19.2	-01 04 20.2		20 19 10.21	-01 03 52.2		Ia	2006kb Sloan Digital Sky Survey II
2006ka	Anon.	2006 10 11	02 18.4	+00 14 21.9		02 18 26.68	+00 13 36.0		Ia	2006ka Sloan Digital Sky Survey II
2006jz	Anon.	2006 10 11	00 11.4	+00 42 21.9		00 11 24.80	+00 42 09.8		Ia	2006jz Sloan Digital Sky Survey II
2006jy	Anon.	2006 10 04	01 02.9	+00 11 21.7		01 02 56.34	+00 10 59.2		Ia	2006jy Sloan Digital Sky Survey II
1987B	NGC 5850	1987 02 24	15 07.1	+01 32	75W 120S 15	IAUC 4321	15 07 02.99	+01 30 13.3	IAUC 4322	1987B Evans
1987A Jones		1987 02 24	05 35.4	-69 16		4.5 IAUC 4316	05 35 27.99	-69 16 11.5	IAUC 4327	Ilp 1987A Shelton, Duhalde,
1986P	NGC 5763	1986 07 02	14 49.0	+12 29	8W 6S 17	IAUC 6470				1986P Mueller
1901B	NGC 4321	1901 03 17	12 22.9	+15 49	110W 4N 15.6					1901B Curtis
1901A	NGC 2535	1901 01 10	08 11.2	+25 11	19E 7N 14.7		08 11 15.05	+25 12 30.6	AN 221,47	1901A Reinmuth
1895B	NGC 5253	1895 07 07	13 39.9	-31 39	16E 23N 8.0					1895B Fleming (Z Cen)
1895A	NGC 4424	1895 03 16	12 27.2	+09 25	75E 11S 12.5					1895A Wolf (VW Vir)
1885A	NGC 224	1885 08 17	00 42.7	+41 16	15W 4S 5.8					1885A Hartwig (S And)
(V843) (V843 Oph)	Milky Way	1604 10 09		-3		17 30 38.6	-21 28 52	Clark & Steph. I	(V843)	Altobelli; Brunowski; Asian observers
B Cas	Milky Way	1572 11 06		-4		00 24 48.6	+64 08 49	Dreyer		
	Milky Way	1054 08 27		-4		05 34 31.89	+22 00 52.0	AA 1997	I?	Chinese observers

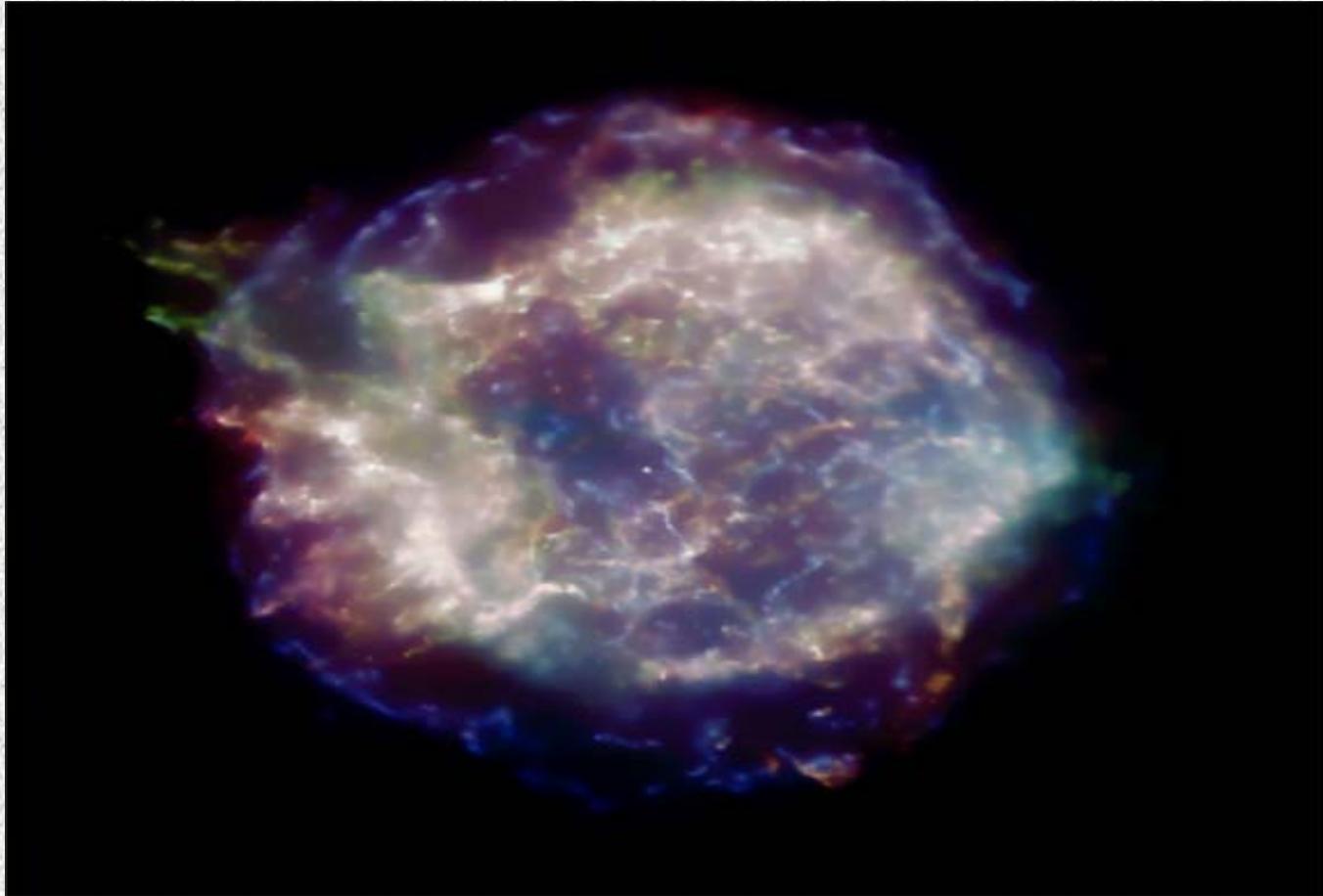
Die Elementsynthese

Urknall + Sternbrennen + Supernova =
Qualitatives Verständnis der Elementsynthese

		Ordnungszahl																																																				
		6																																																				
		C																																																				
		12.01																																																				
		Symbol																																																				
		Atommasse																																																				
		Metall		Halbmetall		Nichtmetall																																																
1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18																																			
1	H	Li	Be	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																									
	1.008	6.941	9.012	22.99	24.31	26.98	28.09	30.97	32.07	35.45	39.95	39.10	40.08	44.96	47.88	50.94	52.00	54.94	55.85	58.93	58.69	63.55	65.39	69.72	72.61	74.92	78.96	79.90	83.80																									
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	32	33	34	35	36																				
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe										
4	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		
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn				
6	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				
7	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
8	85	86	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
9	Fr	Ra	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun	Uuu	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb								
	223.0	226.0	262.1	261.1	262.1	263.1	264.1	265.1	268	269	272	277	289	289	289	289	289	293	138.9	140.1	140.9	144.2	146.9	150.4	152.0	157.3	158.9	162.5	164.9	167.3	168.9	173.0	138.9	140.1	140.9	144.2	146.9	150.4	152.0	157.3	158.9	162.5	164.9	167.3	168.9	173.0								
	87	88	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102						
	Fr	Ra	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun	Uuu	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb								
	223.0	226.0	262.1	261.1	262.1	263.1	264.1	265.1	268	269	272	277	289	289	289	289	289	293	227.0	232.0	231.0	238.0	237.0	244.1	243.1	247.1	247.1	251.1	252.0	257.1	258.1	259.1	227.0	232.0	231.0	238.0	237.0	244.1	243.1	247.1	247.1	251.1	252.0	257.1	258.1	259.1								

Für ein quantitatives Verständnis benötigt man Experimente!

Bausteine der Materie und ihre Entstehung – Von Quarks bis zum Sandstrand



Professor Dr. Andreas Zilges – Universität zu Köln
MINT-Laborpraktikum 2008