Andreas Zilges Institut für Kernphysik

Crab Nebula, CHANDRA 10/2006



Empedokles (ca. 450 v. Chr.): Alle Elemente sind Mischungen von Erde, Luft, Feuer und Wasser.

- Synthese schwerer Atomkerne
- Kerne im Photonenbad
- Reaktionen mit Ionen
- Beschleuniger-Massenspektrometrie

Wie entstanden die Elemente?

Fusion von Protonen und Neutronen zu Wasserstoff, Helium, Lithium

					~ .													18
1	1 H 1.008	2		c –	Ordn Svml	ungs: bol	zahl			Metal Halbr	l netall		13	14	15	16	17	He 4.003
2	3 Li 6.941	4 Be 9.012	1	<u>2.01</u>	Atom	mass	se			Nichtr	metall		5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 0 16.00	9 F 19.00	10 Ne 20.18
3	11 Na 22.99	12 Mg 24.31	3	4	5	6	7	\$	9	10	11	12	13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.07	17 C1 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	Zei	t: c	a. 3	8 Mi	nut	en	nac	h d	em	Url	kna	b	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 T1 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	114 Uuq 289	115 Uup	116 Uuh 289	117 Uus	118 Uuo 293
•		6	57 La 138.9 89 Ac	58 Ce 140.1 90 5 Th	59 Pr 140.9 91 Pa	60 No 144.3 92 U 238	61 Pn 146.9 93 N 0 237	62 Sm 150.4 94 Pu 244	63 1 Eu 152.0 95 1 An	64 1 Gd 157.3 96 1 Cn 1 247	65 1 Tb 158.9 97 B 1 247	66 Dy 162. 98 Cf	67 H 5 164.99 E 5 1 252	68 9 167. 100 5 Fn 0 257	69 T 3 168. 103 1 103 1 105 103	n 70 9 173. 1 102 d No		(-)1998

Das Ende der Fusionskette



Synthese schwerer Atomkerne



Synthese schwerer Atomkerne

Pb 188	Pb 189 51 s	Pb 190	Pb 191	Pb 192 3.5 m	Pb 193	Pb 194 12.0 m	Pb 195	Pb 196 36.4 m	Pb 197	Pb 198 2.40 h	Pb 199	Pb 200 21.5 b	Pb 201	Pb 202	Pb 203	Pb 204
с. р ⁺ . « 5.960 у 165; 758 g	* α 5,72 γ 271 - 1107 ≠ → m	c: β ⁺ c 5,577 γ 942; 142; 151; g	4 12.87 8 712. 8,523 614. 1957. 8 4.42	c: 9* a 5,112 7 1195: 906; 168; g	6 5 212 8 348, 7 368, 776, 241., 1 9	c u 4,64 > 592: 1619; 204g	8.2 [°] 3.554 576 576 385. 753., 11 3	€ 1 253; 502 867; 102 9	4117082 (123 77 1237., 17392 14/35.1 Mil; 14 ⁻¹ Tits	* γ 290; 865; 173 9	1+432 (1) (1) A (1) - 310 -	× 140; 257 208; 286	t 27 5 527 361, 361, 346,	H- 561, 422 137 - 4 9-481 - 1 462 - 996 - 10 1 1222	H- 525, 51273 - 521 431	1×3%; 912; 375
TI 187	TI 188	TI 189	TI 190	TI 191	TI 192	TI 193	TI 194	TI 195	TI 196	TI 197 2.84 h	TI 198	TI 199 7.42 h	TI 200	TI 201	TI 202	TI 203 29.524
fr 300 6. 5 5.00 7.768. 5 500 162. 107 1620	6 17402: L 552: 27 554 0413	e: 5* y 208; 4 S18 y 334 2031, 342, 9 3	4 9 ⁴ 42 9476 853 951.	- od	er γ·	-Pro	ozes	S (5) (5) (5) (5) (5) (5) (5) (5) (5) (5)	1 429 5 1 429 5 1 430 7 430 1 430 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	B+	C. (167), 5 412 pt., 64 667., 9412, 67 67 607., 67 67	\$ 455 247: 8 S	-Pro	zes	S 5201	er 11
Hg 186 1,4 m	Hg 187	Hg 188 3 m	8,7 m 7,7 m	20,0 m	50.8 m ~ 50 m	4,9 h	11.1 h 3.5 h	520 a	Hg 195 40h 9.5	Hg 196 0,15	Hg 197	H(9,97	42,6 m 16,87	23,10	201 13,18	Hg 202 29,86
*; f) ⁺ > 5.098 > 112; 252; 192; 228	, c.17. , 273 - c.5.04 176 v.203.	c u 4.6 5 67; 190, 83; 115	1.321: 7" 72.942; -733; 425 247 71 - 4	143; 171 155	β ¹ γ 1981; (.253) 575; (96) π.α. 3.0	* γ 275: 157, 307	- 438 078, y 166 1+ 190,) 79 1	* 30 7	71.5 5551 97881 884. 61. 7 9	a 110 - 3000		 − C,017 + 2 	5, 158; 174. 4° c. 2100	a < 60	ur < 60	a 50
Au 185 4,2 m	Au 186 10,7 m	Au 187	AUTO	Au 189	Au 190	Au 191	Au 192 5,0 h	Au 193	Au 194 38,0 h	Au 100 30,5 s 100,1 d	Au 196	Au 197	AU 198	Au 199 3,139 d	Au 200	Au 201 26,4 m
 k) 3¹ b 5,050 y 310; 248; 332 	u; 9 [†] a 4,653 γ 192; 296; 765; 416	γ (101) φ ⁺ φ ⁺ (1408, 1408, 515)	s - 255: 340; 606	γ - 713; β' - 213; γ 107 - 648; 320	β 34 5298, 30 598	1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1	μ ⁺ 2,5. γ 317: 298 612	H= 258. 0" 258. 4 258. 11 2	6 9* 1.5 9 328; 294; 1468	1,102 4	4 (1 2 2 (2 2 2 (4 2) (2 2) (4 2) (2 2) (2 2) (4 2) (2 2) (2 2) (4 2) (2	1+275 9 194	97 14. 183 14. 224. 15000	87 0,3; 0,5 9 158; 208 9 	1 () - 38 89 158 151 481 - 381 181	p 1.3. 5543; 517 813: 167
Pt 184 17.3 m	Pt 185	Pt 1.6 2 J h	Pt 187 2,35 h	Pt 188 10,2 d	Pt 189 11 h	21 190	Pt 191 2,8 d	Pt 192 0,79	Pt 193	Pt 194 32,9	Pt 195	Pt 196 25,3	Pt 197	Pt 198 7.2	Pl 199	Pt 200 12,5 h
α α 4,50 γ 166; 192; 648; 731	40 3 4944 7 9 2303 - 3 4944 7 108 - 3 480 157	α 4,23 γ 689; 612 m	* ~ 106: 202; 110; 285 706	* 4.8,92 7.188,195; 382,424	* 721 - 806 589 - 245: 545	6,5 1011 a.3,17 o 150	× 599: • 0. •	11 20 16	My (128) M ²	+: 0,1 + 1,1	1×28) 136 ef = 1×23	# 0.045 + 0.55	μ	e 0.027 - 4	er der bild forst und bilden an fo	0 - 0.8: 0.7 y 78: 136: 244: 60: 227 5 - 0
Ir 183 55 m	Ir 184 3,0 h	Ir 185 14,4 h	Ir 186	Ir 187 10,5 h	Ir 188 41,5 h	13,3 d	Ir 190 \$16 1.25 11,80	Ir 191	Ir 192 2016 14m 1500	Ir 193	Ir 194	Ir 195 38h 2,5h	196	n 101 8,9 m 5.8 m	¥ 198	
*: j)** 7 (380): 229 80: 200). #1: g	с p ⁺ 2.9 у 264; 120; 390	ς γ 264; 1829. 60; 97; 1958	416 ¹ 2.1771 107 602 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10	* y 018; 427; 401; 611	8 ¹ 9 155, 2215; 833, 478.	* y 245-70:59. g. m		1129 : 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 150 F 101 7 F 150 F 101 1 150 F 100 1 150 F 100	191831 - 112 - 112	6" - 132; 7.402 - 132; 381 19	10.4 3117 11. 1.1 1300 432 -56 500 552. 211. 211. 0	6-15 1 204 124 202 467 202 467 203 203	(*************************************	0=4.0 7507;407	
Os 182 22.1 h	Os 183	Os 184 0.02	Os 185 94 d	s 186 .58	Os 187 1.6	Os 188	Os 189	Os 190	Os 191	Os 192	Os 193 30,11 h	Os 194	Os 195 6.5 m	Os 196		
510; 180, 263, 56 M	1 9 5182 9 168 9882 108 118 5070 0 188	# 3000	с у 646; 875 680; 717	2,0 - 1010 c a 2,76 a - 80	e 200	e-2	is (84) 6	917: 917: 901: 187:		hy 663 206 452 552 465.	171,1 189: 460; 3 g w40	β ⁺ 0,1. 342 9	р-2 9	β. 0.8 5 408; 128. 9		122
Re 181 20 h	Re 182	Re 183 71 d	Re 184	Re 185 37,40	Re 186	Re 187 62.60	Re 188	Re 189 24,3 h	Re 190	9,8 m	Re 192					
(······································	* 5 182: 46; 292; 209: 110: 99 9	γ 105 4 γ 200; γ 203 750 11; 217; 050 121 σ - 5000	11 0.54 + 114	1,58, 17, 48, -177,	5 - 10 ¹⁰ а в 0.000 по с = 2.0 + 72	H- 84, 5 - 2.1, . 106 5 - 105. 0	p=1,0 7217(218) 245 g.m	97-13, 9718 hy177 138 y197, 598 588, 525, 488, y a	8-1,9	β ⁺⁺ 4 9 487; 76 206 . 3	118	\sim	120		
W 180 0,13	W 181 121,2 d	W 182 26,3	W 183	W 184 30,67	W 185	W 186 28,6	W 187 23,72 h	W 188 69 d	W 189	W 190 30,0 m						
	7_(6)	- 20	11.10% 73 93 98	» C.002 + 2.0	(12) + (121) (74) - (121)	ur 36	β ⁺ 0.6; 1,3 72 π70	γ(291:227) P	y238; 417; 550	7158; 162			-Pr	ozes	SS	
Statement of the local division in which the local division in the							And an other statements and	Station of the second s		Statement and statement of the local statement						

E.M. Burbridge, G.R. Burbridge, W.A. Fowler, and F. Hoyle (B²FH) Rev. Mod. Phys. **29** (1957) 547

Synthese schwerer Atomkerne



Häufigkeit der Elemente und Isotope



F. Käppeler, Prog. Part. Nucl. Phys. 43 (1999) 419

Kernreaktionen und Zerfälle im p-Prozess

Ту	oisc	he γ	∕-En	erg	ien:	5-1	0 M	eV	Pb 197	Pb 198 2.40 h *7250; 865; 175	Pb 199 122 m 15 h 1-12	Pb 200 21,5 h	Pb 201 61 s 84 h 52 537 381. 381.	Pb 202	Pb 203	Pb 204 67.2 m 1.4
TI 187	TI 188 12m 1,2m	TI 189 14 m 2.0 m ? 515 515 1 234	TI 190 3.7 m 2.6 m pt 42 y-416 pt 5.5.7	TI 191 5,4 m ? 4.1 ^{4*} *21% 5.5	TI 192 10.8 m 8.6 m 5.1 ⁴ 1423 1.422	TI 193	TI 194 33 m	TI 195 36s 1,13h c(p ¹¹³ - 50c) 665	TI 196 1.4h 1.8h	TI 197 2,84 h	TI 198 1.87 + 5.3 h 5.1675 s 412 567. s 412 567. s 412. s	TI 199 7,42 h	TI 200 26,1 h	TI 201 73,1 h	TI 202 12,23 d	TI 203 29,524
Hg 186 1,4 m	Hg 187 28m 22m	Hg 188	Hg 189 8.7 m 7,7 m	Hg 190 20,0 m	Hg 191 50.8 m ~ 50 m	4,9 h	11.1 h 25 h	Hg 194	Hg 195 40h 95	Hg 196 0,15	Hg 197	Hg 198 9,97	Hg 199 42,6 m 16.67	Hg 200 23,10	440; (520) Hg 201 13,18	+ 11 Hg 202 29,86
5.098. 5112; 252; 192; 228	10,37 1577 0 2 104	4.0 567 90 1 5	1.221: 3 ¹ 72.962; 4.132 425 3 ¹ 71. 4	143; 17.	6" 1.6%1 (.5%) 57% (%) 7.6 1.6 1.6	* 7 275; 157; 307	- 438 072, 1, 168, 19 (300, 1) 19	* 20.7	5 9 8 9 782. 5 851 9 782. 5 85. 61 9 9	p 110 - 3000			N 158 374 €**** 2100	ir < 60	ur < 80	#50
Au 18 4,2 m 5,059 7 310: 248;	(γ,p)	A 187	At d	Au 189 4.6 m 28,3 m	Au 190 12,8 m ⁶ 3.4 γ 298, 300 508	Au 191	Au 192 5,0 h	Au 193 3,9 a 17,65 h h 25%. y 185 y 25%. 25%. 25%.	Au 194 38,0 h 9* 1.5. 9 938; 284;	700 100 30,1 a 100,1 d	Au 196 8,7h 8,2s 8,2d 1/2s 8,2d 1/2s 8,2d 1/2s 8,2d 1/2s 8,2d	Au 197 7,73 s 103	Au 198 2,30 d 2,6943 d 1+215 p ⁺ 12 2 ⁰ 14. 153 14.2.5	Au 199 3,139 d 810,3;0,5 9158;208 9	Au 200 18,7 h 48,4 m	Au 201 26,4 m 2543; 517
Pt 184 17,3 m	Pt 185 38 m 1.2 h	h 1 6 2 J h	Pt 2,3	,α)	Pt 189 11 h	21 190 0.01	Pt 191 2,8 d	Pt 192 0,79	Pt 193 4,33 d - 50 m	Pt 194 32,9	Pt 195	Pt 196 25,3	Pt 197 94.4 m 15,3 h	Pt 198 7.2	Pl 199 13,8 s 50.8 m	Pt 200 12,5 h
α α 4,50 γ 166; 192; 548; 731	413,444,57 9,230; 3,4,44,7 128 3,480 137 341	ς α 4,23 γ 689; 612 m	* y 106: 202; 110; 285-706	* * 8,92 * 188, 195; 382, 424,	* 721 a08 589 243: 545	6,5 a.3,17 o 150	2 (39) 10. 4	# 20 - G	ly (128) 10.5 10.5 10.5	er 0,1 + 1,1	15 22; 150 4 153	ır 0.045 + 0.55	1-326. 57. κ , 77. β 181. π κ 0	σ 0.027 – 4 0	1-362 (5-17) 35 (5-16) 372(16) 4 - 16	(1 0,8; 0,7 y 78; 136; 244; 90; 227 5°; g
Ir 183 55 m e p ⁼ y 383; 229 8e: 203. m: 0	Ir 184 3,0 h s ⁺ 2.9 y 264; 120; 360.	B ⁺	Ir 186	Ir 187 10,5 h	Ir 188 41,5 h * * * * * * * * * * * * * * * * * *	13,3 d	Ir 190 316 1,28 11,24 344 84 85	Ir 191 4,94 s 37,3 9,129: 12,014 12,01	Ir 192 2018 1,4 n 70,00 d r 100 h 20	Ir 193 10,53 d text	Ir 194 171 d 19,15 h 171 d 19,15 h 172,2 - 385 241 241 241 241 241 241 241 241 241 241	Ir 195	Ir 196 1,40 h 52 s 1,24 D1 ,24 D1 32 447 78 447 78 447	Ir 197 8,9 m 5.8 m (*24 r - 472:431:415	Ir 198 8 s	
Os 182 22,1 h 510,180 263,56 m	Os 183 89h 130h 5182 188 188 188 188 188	0,02	Os 185 94 d	s 186 1.58 2,0 - 10 ¹⁹ a 7 - 80	Os 187 1.6	Os 188 13,3	Os 189 8h 16,1	Os 190 8.9 m 284 915 301: 11 31: 11 31: 11	Os 191 13,10h 15,4 d	Os 192 6,1 e 41,0 h est 228, 433 322 433, 425	Os 193 30,11 h 5 ⁻¹ ,1 5 ^{-189,460} 739 144	Os 194 6.0 a #************************************	Os 195 6.5 m	Os 196 34,9 m	Total and	122
Re 181 20 h	Re 182 13h 84 h 17 105 - 396 110 105 - 196 110 105 105	Re 183 71 d \$ 182:46;282; 209:110:99 9	Re 184	Re 185 37,40	Re 186 2 · 10 ⁵ a 89,25 h 1,5% 45 82 107	Re 187 62,60 5 - 10 ¹⁰ a 8 0.000 m g = 2.0 + 72	Re 188 18,8 m 18,96 h h st. 16,6 + 121, 16,6 + 121, 16,7 + 162, 188,	Re 189 24,3 h 5 1.0 7 ^{217,218;} 245 0.m	Re 190 3,9 h 3,1 m 97-18, p118 9197 138 9197 558 558, 558	Re 191 9,8 m	Re 192 16 s μ ⁴ γ467, 761; 200	118		120		
W 180 0,13	W 181 121,2 d	W 182 26,3	W 183 5,36 14,3 5,7% 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20	W 184 30,67	W 185 1,67 m 76.1 d 1,67 m 76.1 d	W 186 28,6 ^{ar 36}	W 187 23,72 h β ⁺ 0,6; 1,3 1696; 480, 72 π70	W 188 69 d	W 189 11 m y ²⁵ y ²⁵⁶ ; 417; 560	W 190 30,0 m						

Für leichtere Kerne können weitere Prozesse konkurrieren: (n, γ), (p, γ), (α , γ), ν p-process

Was bestimmt die Elementsynthese im p-Prozess?

p-Prozess

Astrophysikalische Parameter:

- Sternmasse
- Temperatur
- Dichten
- Dynamik, z.B. Massentransport

Kernphysikalische Parameter:

- Grundzustandsmassen
- Zustandseigenschaften
- Zustandsdichten
- Optische Potenziale
- → Reaktionsraten,
 - **z.B.** (γ,*n*), (γ,α), (γ,p)

Kernphysikalische Parameter im p-Prozess

- Grundzustandsmassen
- Zustandseigenschaften
- Zustandsdichten
- Optische Potenziale
- →Reaktionsraten,
 z.B. (γ, n), (γ, α), (γ, p)

Probleme:

- Mehrere tausend Isotope
- Radioaktive Isotope
- Über 20.000 Reaktionsraten



Reaktionsraten für (γ,n)

- Grundzustandmassen
- Zustandseigenschaften
- Zustandsdichten
- Optische Potenziale
- → Reaktionsraten,
 z.B. (γ, n), (γ, α), (γ, p)

Was ist der relevante Energiebereich?

Woher kommen die hochenergetischen Photonen?

CASSIOPEIA A, CHANDRA 01/2000

Temperaturen bis zu 10¹⁰ K ~ 800 keV

"Photonenbad" bei 1000° Celsius



Photonenbad bei 2.5 Milliarden Kelvin



Relevanter Energiebereich für (γ, n)-Reaktionen



Details der Kernstruktur haben sehr großen Einfluss!

Erzeugung hochenergetischer Photonen im Labor



Review: U. Kneissl, H.H. Pitz, and A.Z., Prog. Part. Nucl. Phys. **37** (1996) 349

Produktion eines Planck-Spektrums



A. Z. et al., Prog. Part. Nucl. Phys. **44** (2000) 39 P. Mohr et al., Phys. Lett. B **488** (2000) 127

Aktivierung des Targets im Photonenbad



Messung der Aktivierung

z.B.: ¹⁹⁷Au (γ,n) ¹⁹⁶Au → ¹⁹⁶Pt*







Grundzustand-Reaktionsraten bei 2.5x10⁹ K

Isotope	λ _{exp,gs}	Reference	λ _{NONS,gs}	λ _{MOST,gs}	
¹⁸⁶ W	310(40)	K. Sonnabend et al., ApJ 583 (2003) 506	260	250	
¹⁸⁵ Re	19(7)	S. Müller et al.,	19	44	
¹⁸⁷ Re	76(7)	Phys. Rev. C 73 (2006) 025804	72	70	M. Arnould and
¹⁹⁰ Pt	0.4(2)	K. Vogt et al	0.18	0.29	S. Goriely,
¹⁹² Pt	0.5(2)	Phys. Rev. C 63	0.58	0.56	Phys. Rep. 384 (2003) 1
¹⁹⁸ Pt	87(21)	(2001) 055802	50	110	(2000) 1
¹⁹⁷ Au	6.2(8)	K. Vogt et al., Nucl. Phys. A 707 (2002) 241	4.81	5.6	T. Rauscher and FK. Thielemann, ADNDT 75 (2000) 1
¹⁹⁶ Hg	0.42(7)		0.32	0.58	(() ,
¹⁹⁸ Hg	2.0(3)	K. Sonnabend et al.,	1.36	2.1	
²⁰⁴ Hg	57(21)	(2004) 035802	73.3	170	
²⁰⁴ Pb	1.9(3)		1.53	3.0	
¹⁹¹ lr	4.3(5)	J. Hasper et al.,	4.6	-	
¹⁹³ lr	13.5(16)	to be published	14.6	-	

Grundzustand-Reaktionsraten bei 2.5x10⁹ K



А

Optische Potenziale

- Grundzustandmassen
- Zustandseigenschaften
- Zustandsdichten
- Optische Potenziale

Reaktionsraten,
 z.B. (γ, n), (γ, α), (γ, p)

Wie ist die Wechselwirkung z.B. zwischen einem α -Teilchen und einem Kern?

→ Vorhersage für (γ,α), (α,γ), (α,n), ...

Welchen Weg nimmt der p-Prozess?

Relevanter Energiebereich für (α,γ)



S-Faktor für α - Einfang

 112 Sn(α,γ) 116 Te



N. Özkan et al., Phys. Rev. C **75** (2007) 025801 P.Demetriou et al., Nucl. Phys. A **707** (2002) 253

S-Faktor für α - Einfang



N. Özkan et al., Phys. Rev. C **75** (2007) 025801 P.Demetriou et al., Nucl. Phys. A **707** (2002) 253

Messung sehr kleiner Wirkungsquerschnitte

- Erhöhung der Anzahl produzierter Kerne
- Optimierung der Nachweiswahrscheinlichkeit



Beschleuniger-Massen-Spektrometrie (AMS)



Hohe Sensitivität: Isotopenverhältnis bis 10-15

Hohe <u>Effizienz</u>: < 10⁵ Kerne nachweisbar

Beschleuniger-Massen-Spektrometrie (AMS)

Typische Anwendung: Nachweis kleinster Mengen von radioaktivem ¹⁴C (Datierung)

Weitere Anwendung: Nachweis kleinster Mengen kosmogener Nuklide





Beschleuniger-Massen-Spektrometrie (AMS)

Aber auch: Nachweis kleinster Mengen im Labor erzeugter Atomkerne



- Ausschreibung der DFG im März 2007: "6 MV Hochleistungs-Massenspektrometer"
- Juli 2007: Zuschlag für die Universität zu Köln

10 MV Tandem-Beschleuniger (1. Tiefkeller)



Universität zu Köln

Neue 6 MV Tandem-AMS-Maschine (2. Tiefkeller)



Gefördert durch die **DFG** und die



Universität zu Köln

Eine vollständige Beschreibung der Nukleosynthese benötigt:

Astrophysik UND Kernphysik

Robuste, extrapolationsfähige Modelle zur Kernstruktur

Schlüsselexperimente zum Test der Modelle

M. Büssing*, M. Elvers*, J. Endres*, M. Fritzsche, J. Hasper, L. Schnorrenberger, K. Lindenberg, S. Müller, D. Savran, V. Simon, <u>K. Sonnabend</u> *Institut für Kernphysik, TU Darmstadt*

* Seit Oktober 2007: Institut für Kernphysik, Universität zu Köln

Unterstützt durch die **DFG** (SFB 634) und das BMBF

Mehr Informationen und Publikationen: www.zilges.de