

Kosmologie und Astroteilchenphysik

Prof. Dr. Burkhard Kämpfer, Dr. Daniel Bemmerer

- Einführung in die Kosmologie
- Weltmodelle und kosmologische Inflation
- Thermische Geschichte des Universums
- Urknall-Nukleosynthese
- Dunkle Energie, dunkle Materie und die beschleunigte Expansion des Universums
- Kosmische Mikrowellen-Hintergrundstrahlung
- Supernovae als kosmische Standardkerzen (heute)
- Neutronensterne
- Entstehung und Nachweis kosmischer Strahlung
- **Altersbestimmung des Universums (heute)**
- Fundamentale Physik und die Sonne

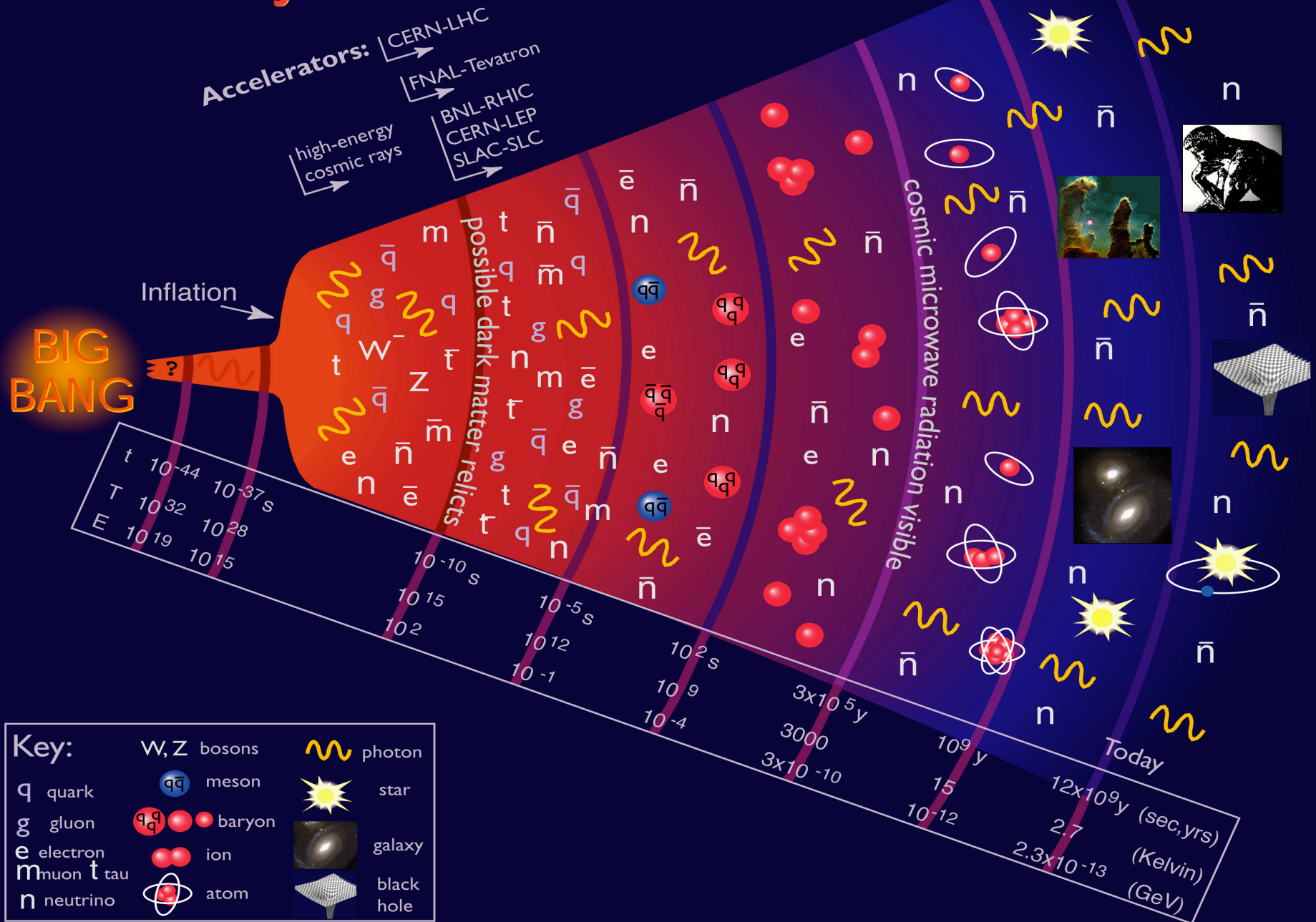
10. Vorlesung, 17.06.2014



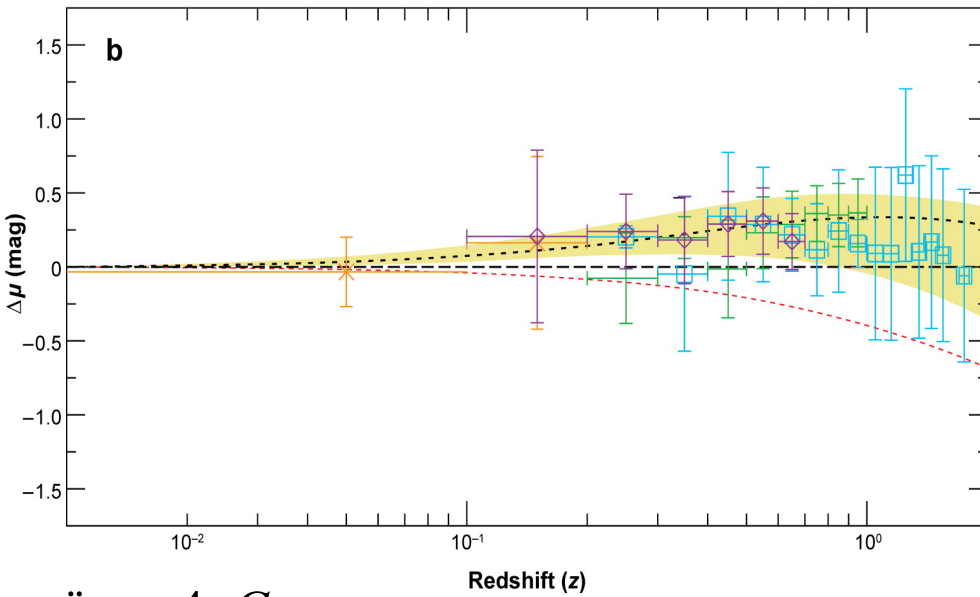
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN



History of the Universe



Entfernungsmessung und Kosmologie (2)



$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3c^2}(\rho c^2 + 3p)$$

Physik-Nobelpreis 2011 für diese Entdeckung!



Saul Perlmutter

Credit: Lawrence Berkeley Nat'l Lab
Roy Kalschmidt, photographer



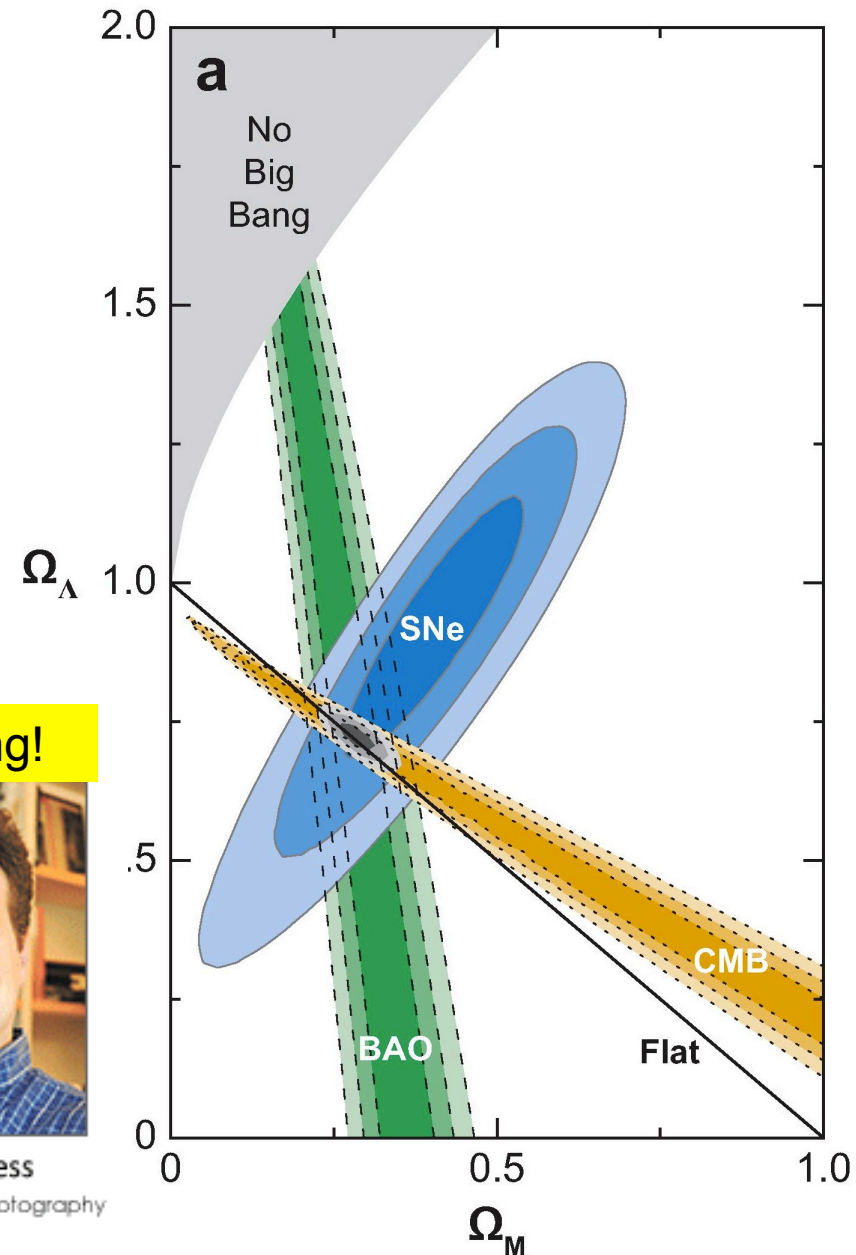
Brian P. Schmidt

Credit: Research School of
Astronomy and Astrophysics,
Australian National University



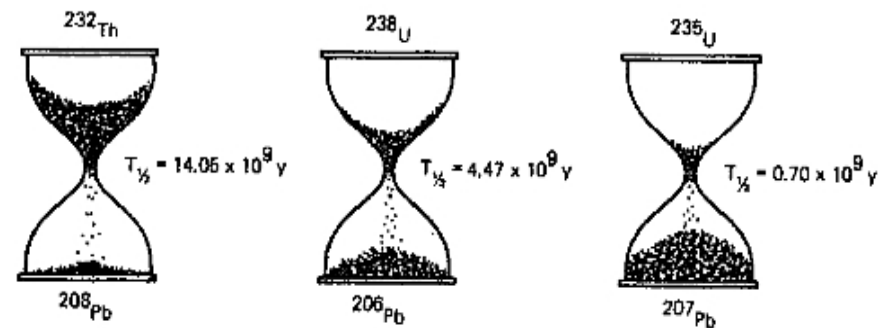
Adam G. Riess

Credit: Homewood Photography

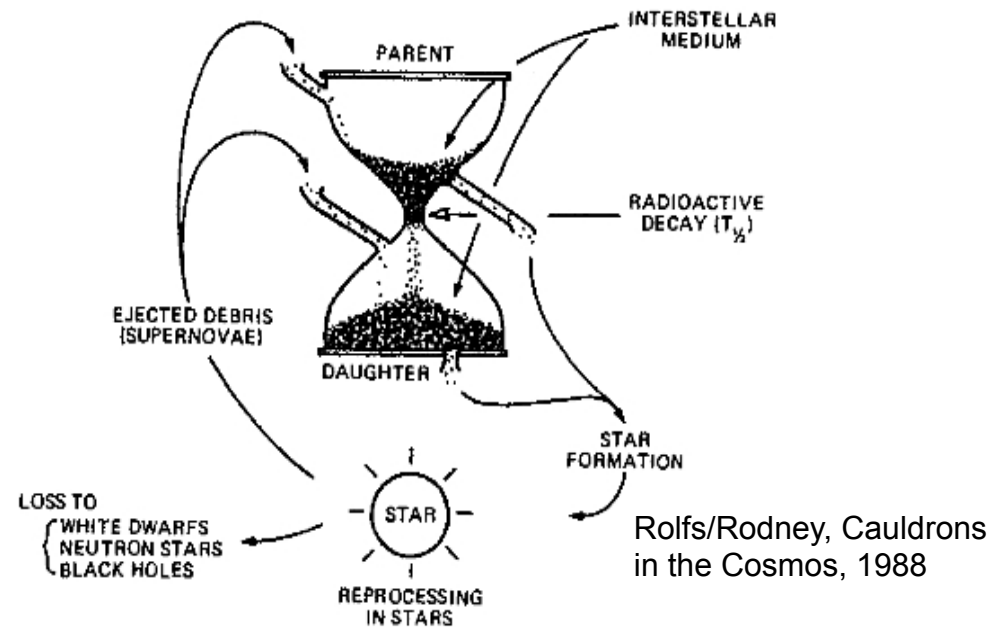


Nukleokosmochronologie (1)

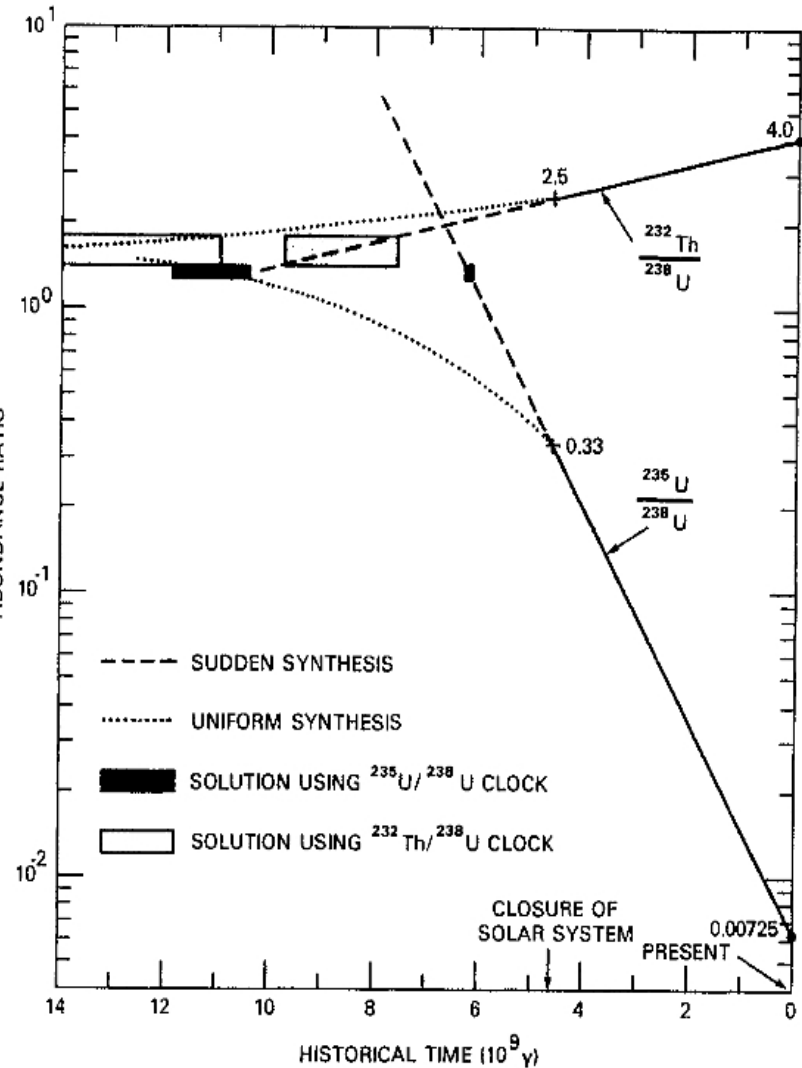
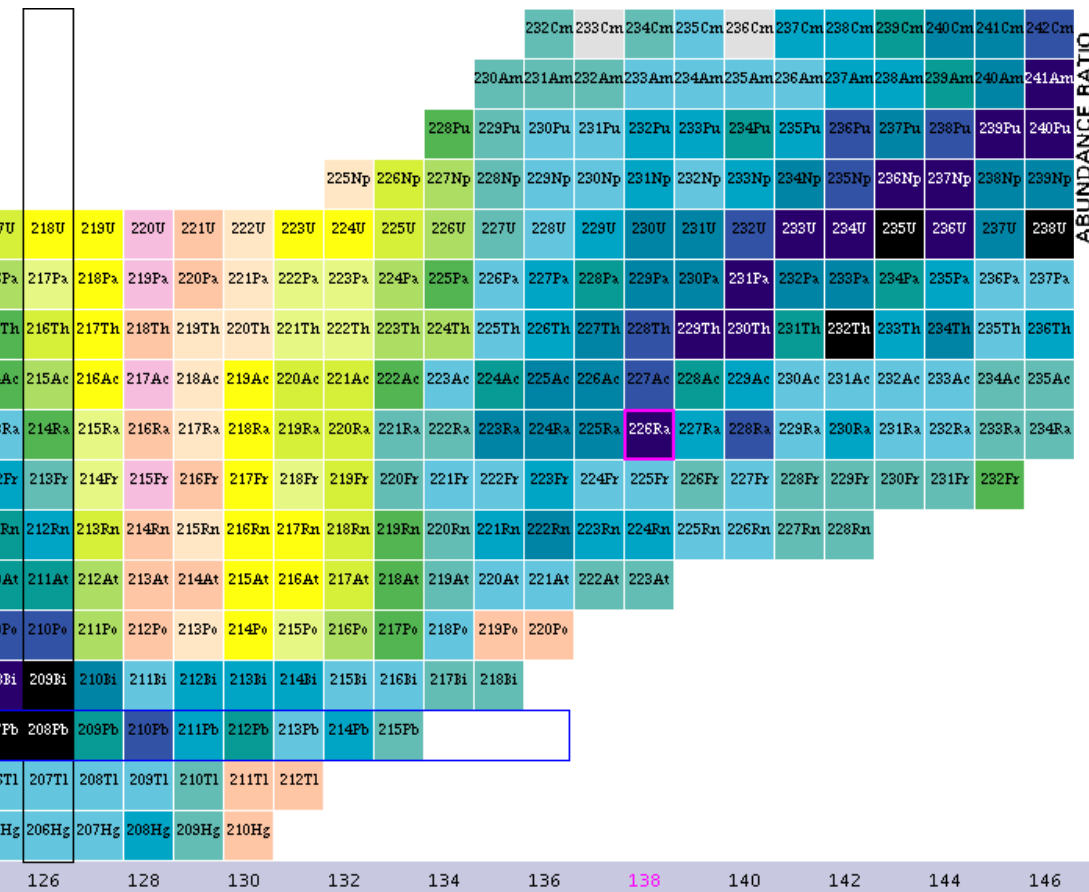
233U 1.592E+5 Y α : 100.00% SF: 6.0E-9%	234U 2.455E+5 Y 0.0054% α : 100.00% SF: 1.6E-9%	235U 7.04E+8 Y 0.7204% α : 100.00% SF: 7.0E-9%	236U 2.342E7 Y α : 100.00% SF: 9.4E-8%	237U 6.75 D β ~: 100.00%	238U 4.468E9 Y 99.2742% α : 100.00% SF: 5.5E-5%
232Pa 1.32 D β ~: 100.00% α : 3.0E-3%	233Pa 26.975 D β ~: 100.00%	234Pa 6.70 H β ~: 100.00%	235Pa 24.44 M β ~: 100.00%	236Pa 9.1 M β ~: 100.00%	237Pa 8.7 M β ~: 100.00%
231Th 25.52 H β ~: 100.00% α : 4E-11%	232Th 1.40E10 Y 100% α : 100.00% SF: 1.1E-9%	233Th 21.83 M β ~: 100.00%	234Th 24.10 D β ~: 100.00%	235Th 7.2 M β ~: 100.00%	236Th 37.3 M β ~: 100.00%
230Ac 122 S β ~: 100.00% β ~: 1.2E-6%	231Ac 7.5 M β ~: 100.00%	232Ac 119 S β ~: 100.00%	233Ac 145 S β ~: 100.00%	234Ac 44 S β ~: 100.00%	235Ac 60 S β ~: 100.00%
141	142	143	144	145	146



COMPLICATIONS IN NUCLEOCOSMOCHRONOLOGY

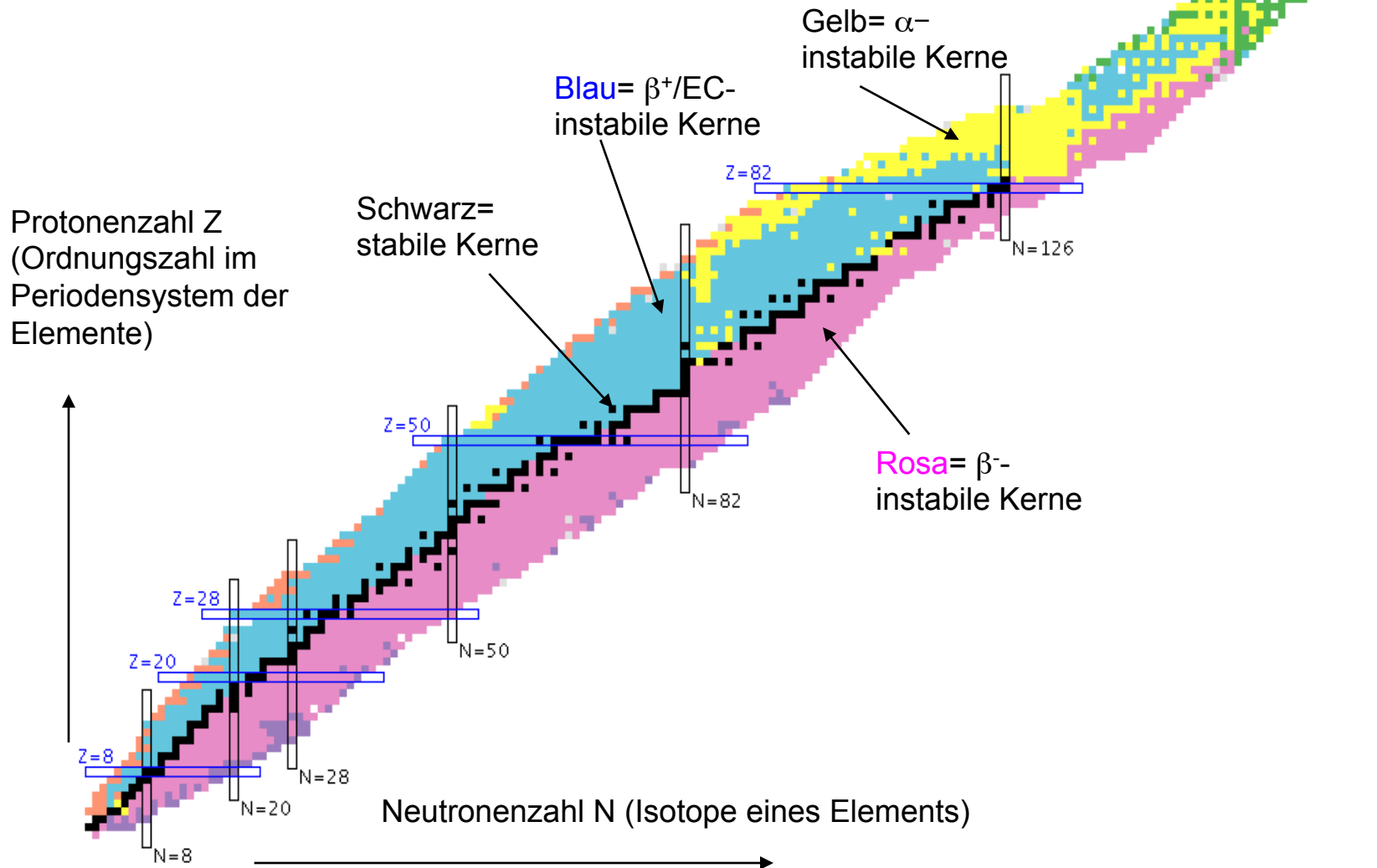


Nukleokosmochronologie (2)

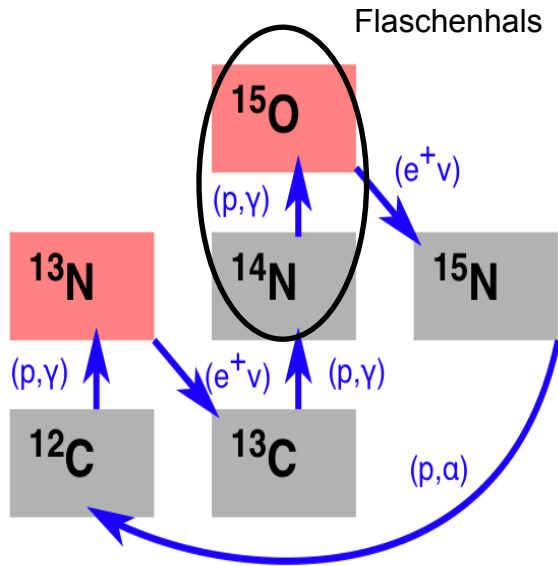
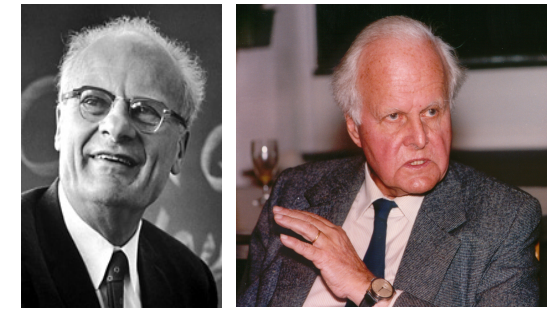


Rolfs/Rodney, Cauldrons in the Cosmos, 1988

Nuklidkarte

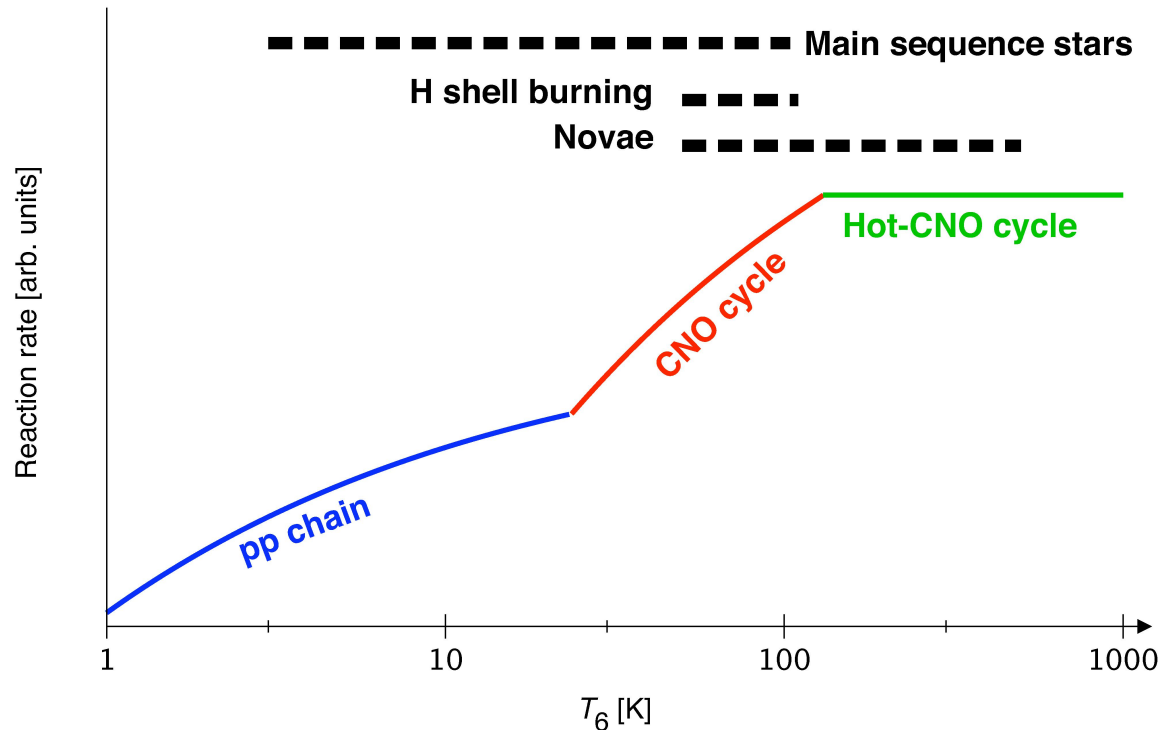


Wasserstoffbrennen: Bethe-Weizsäcker-Zyklus (CNO-Zyklus)

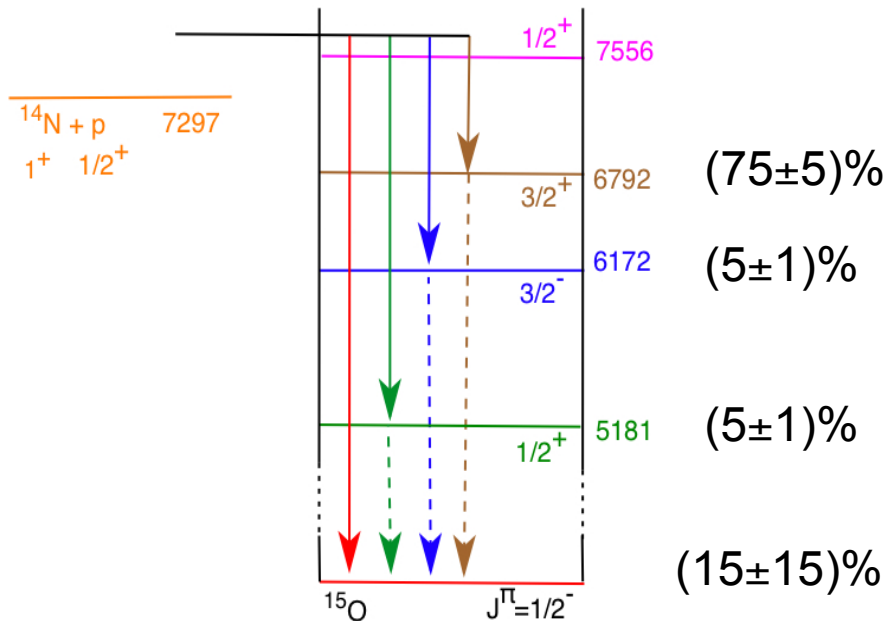


1938 postuliert

- Flaschenhals: $^{14}\text{N}(p, \gamma)^{15}\text{O}$
- 0.8% der Energieproduktion der Sonne
- Bestimmung des Alters von Kugelsternhaufen

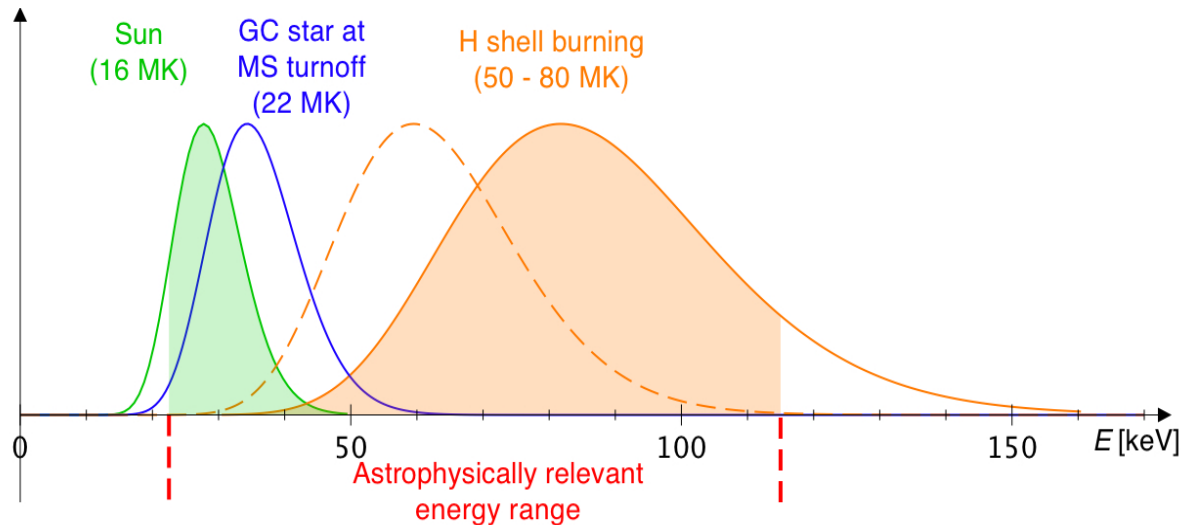


$^{14}\text{N}(p,\gamma)^{15}\text{O}$, wie sieht es im Detail aus?



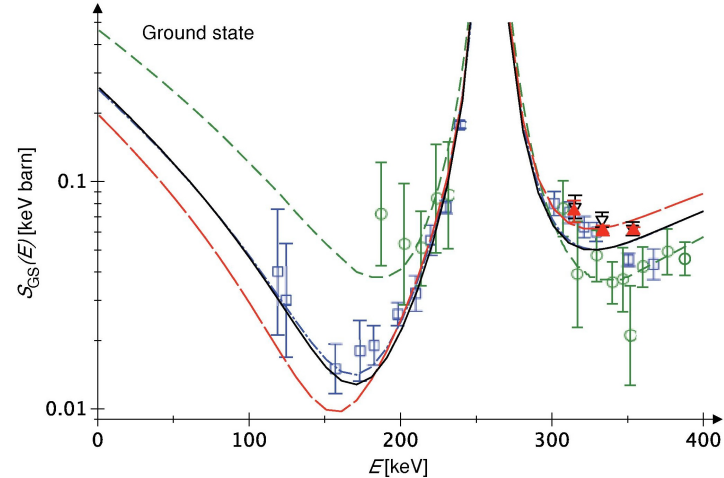
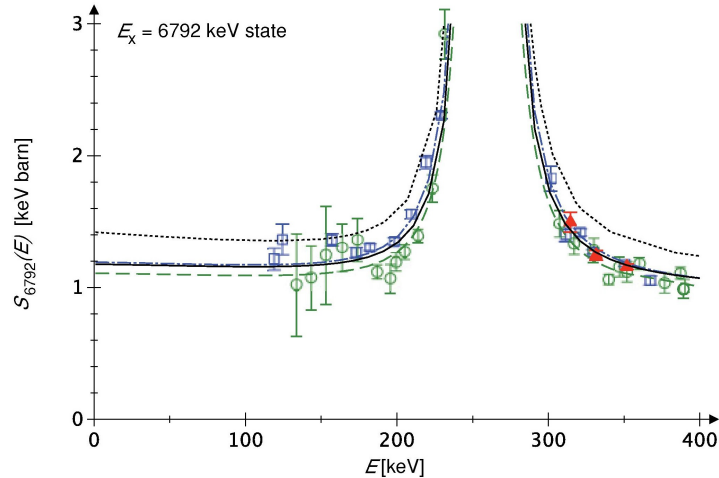
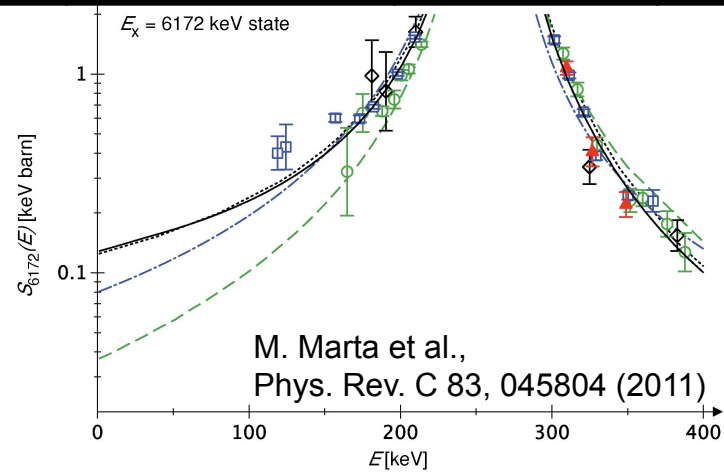
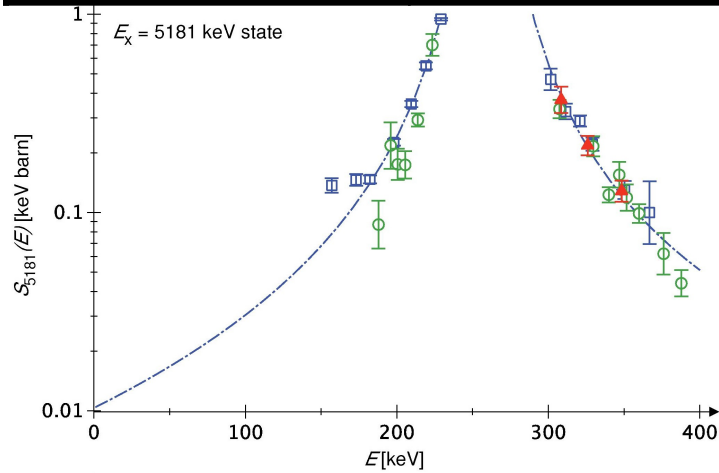
Zwei mögliche Ansätze für Experimente

1. Untersuche Einfang in jeden Level im Einzelnen, dann extrapoliere.
2. Untersuche alle Levels gleichzeitig in einem Summendetektor, aber verzichte (gezwungenermaßen) auf die Extrapolation

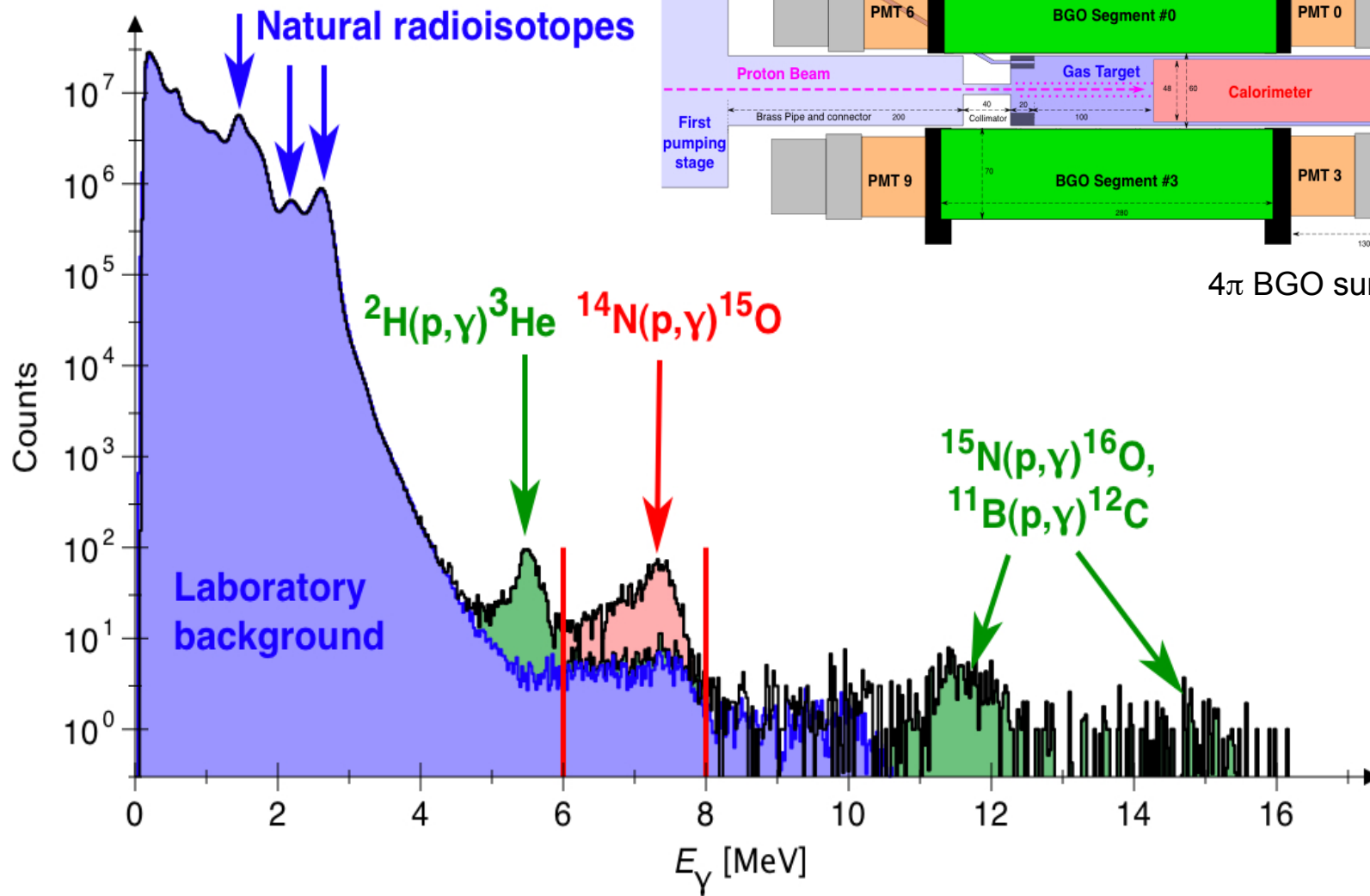


LUNA halbierte den $^{14}\text{N}(p,\gamma)^{15}\text{O}$ -Wirkungsquerschnitt!

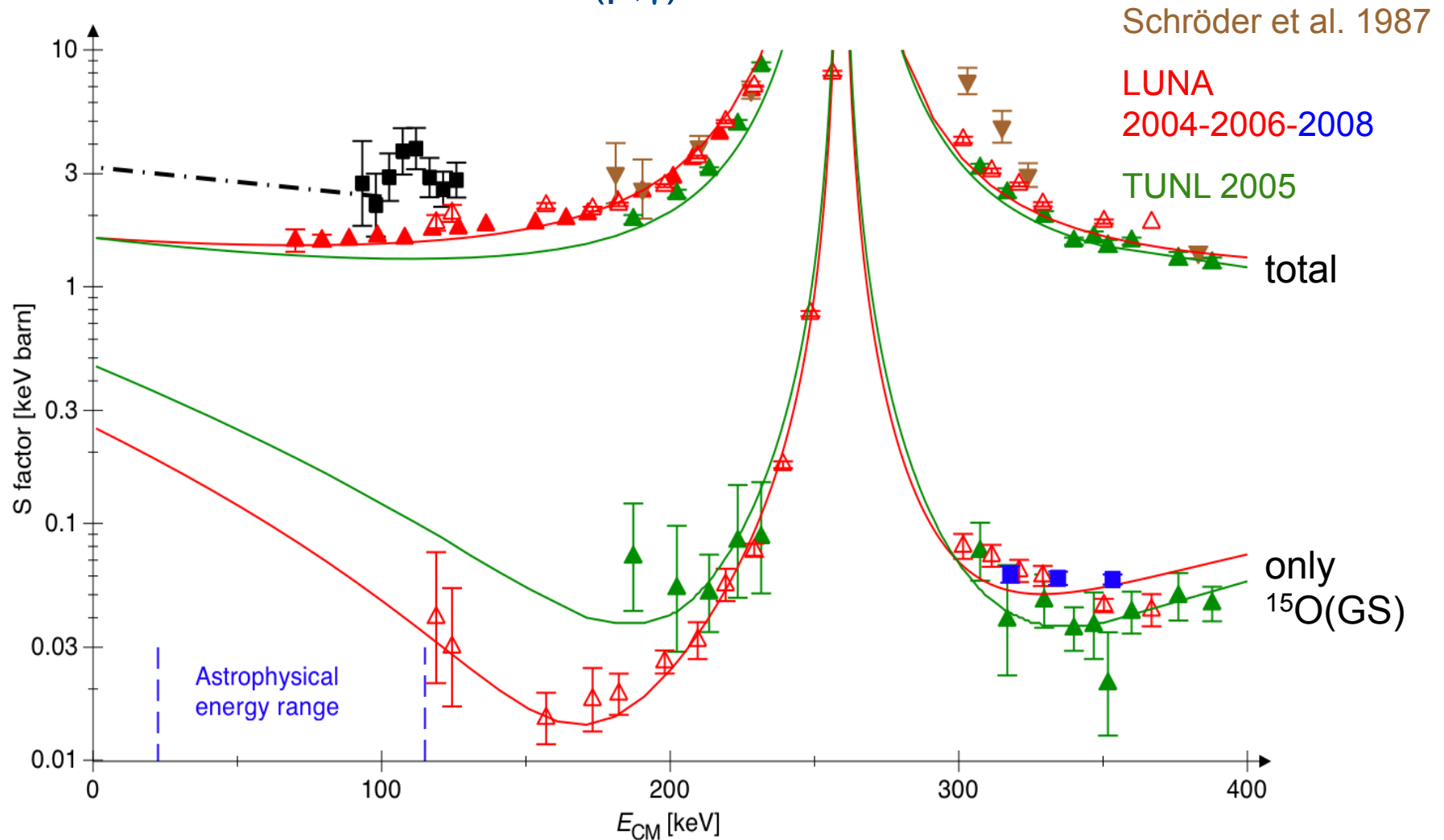
Einfang in...	NACRE compilation 1999	LUNA, phase 1 2004	TUNL 2005	LUNA, phase 3 2008+2011
... ^{15}O Grundzustand	1.55 ± 0.34	0.25 ± 0.06	0.49 ± 0.08	0.27 ± 0.05
... ^{15}O angeregte Zust.	1.65 ± 0.05	1.36 ± 0.05	1.27 ± 0.05	(1.39 ± 0.05)
S(0) in keV barn	3.2 ± 0.5 (tot)	1.6 ± 0.2 (tot)	1.8 ± 0.2 (tot)	1.66 ± 0.12 (tot)



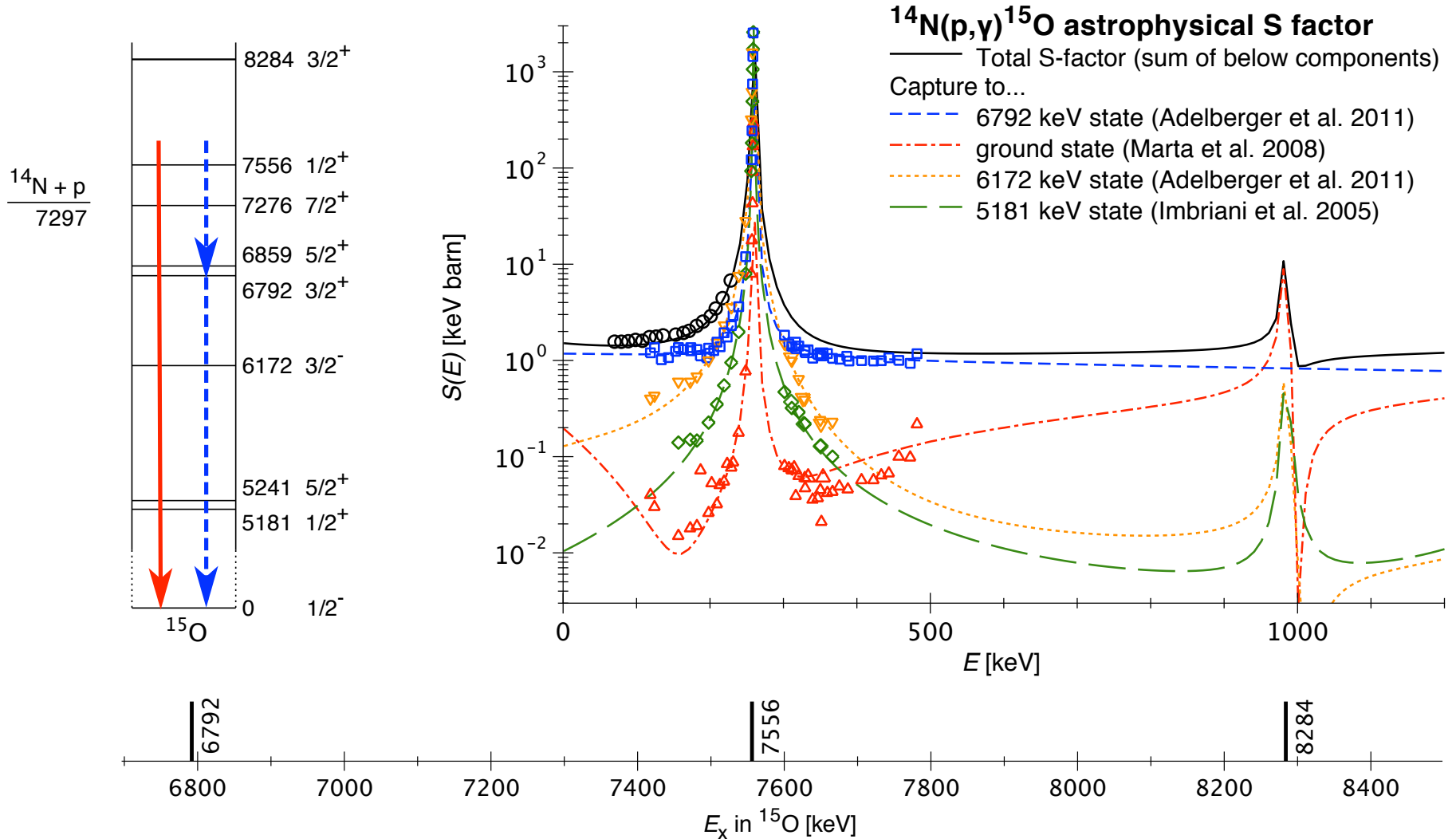
$^{14}\text{N}(p,\gamma)^{15}\text{O}$, Messung aller Übergänge mit einem Summendetektor



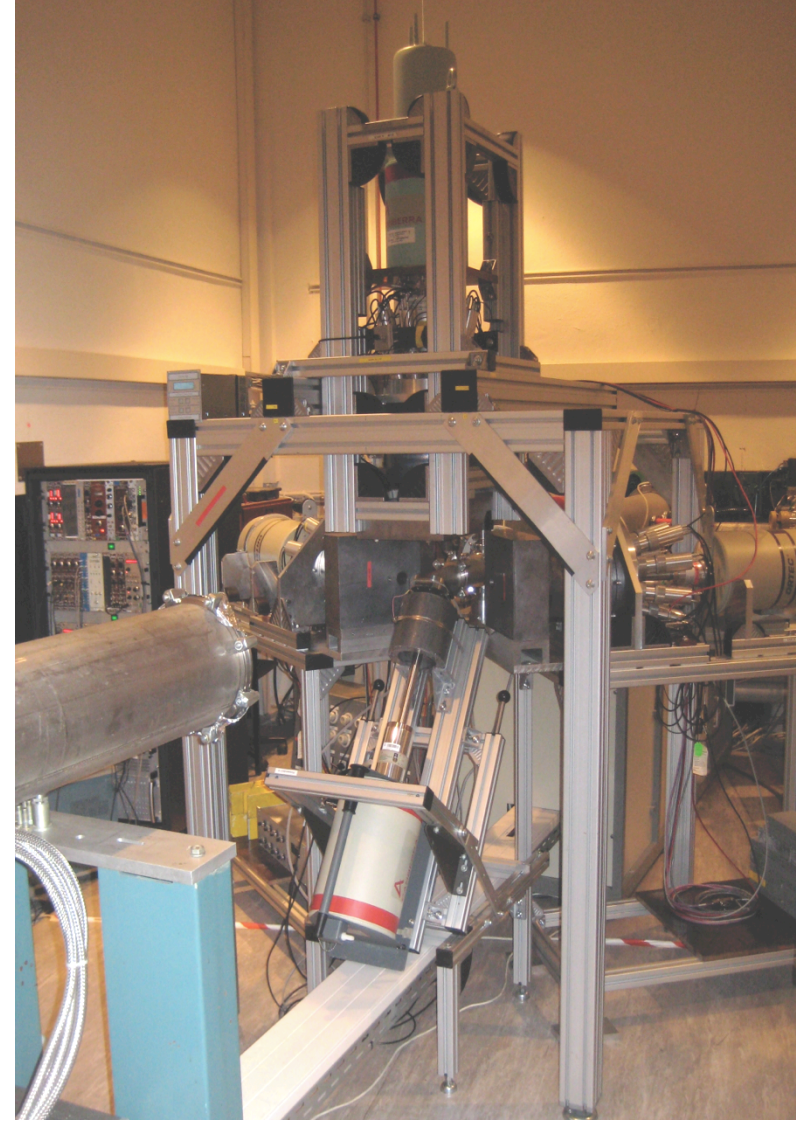
Gesamter S-Faktor von $^{14}\text{N}(p,\gamma)^{15}\text{O}$



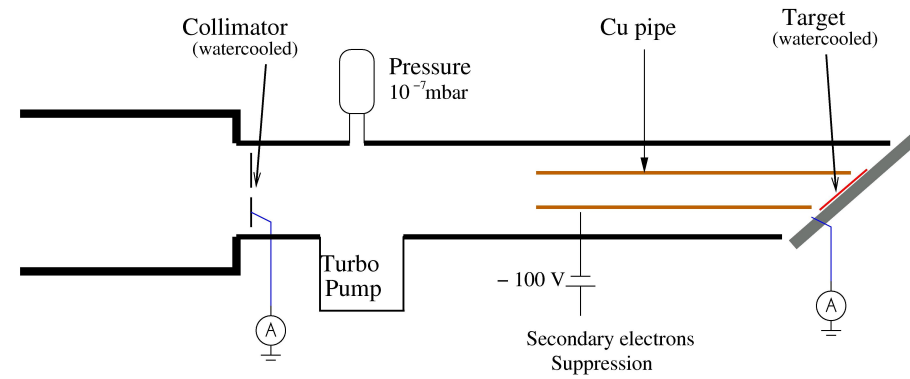
Gesamter S-Faktor von $^{14}\text{N}(p,\gamma)^{15}\text{O}$, über einen weiten Energiebereich



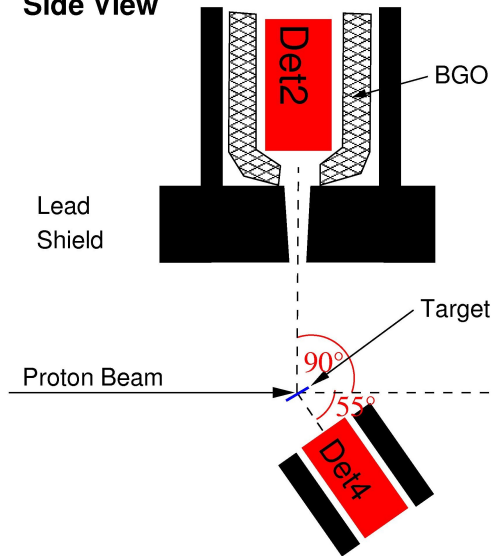
Versuchsaufbau am HZDR Tandetron, Dresden



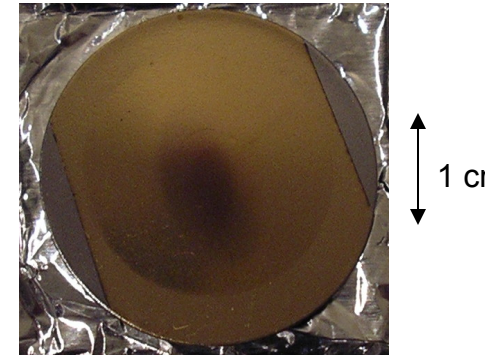
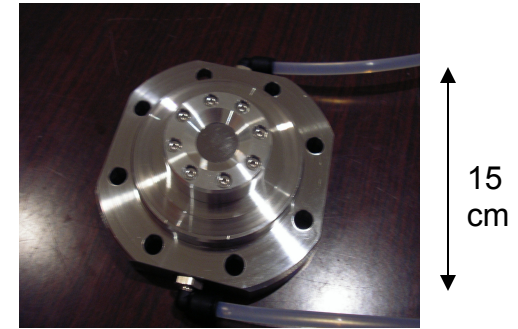
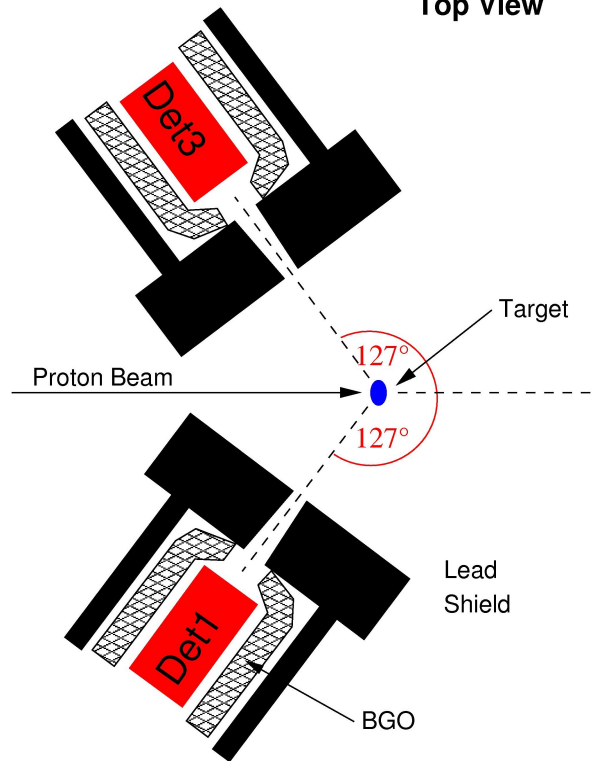
Detektoren und Targets



Side View



Top View



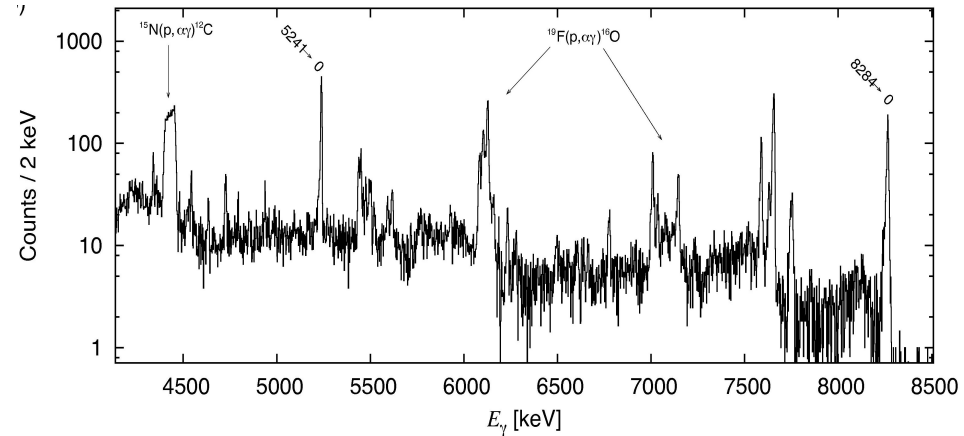
Resonanzstärken $\omega\gamma$ in den $^{14}\text{N}(p,\gamma)^{15}\text{O}$ - und $^{15}\text{N}(p,\alpha\gamma)^{12}\text{C}$ -Reaktionen

278 keV

Normierungspunkt:

$$\omega\gamma = (13.1 \pm 0.6) \text{ meV}$$

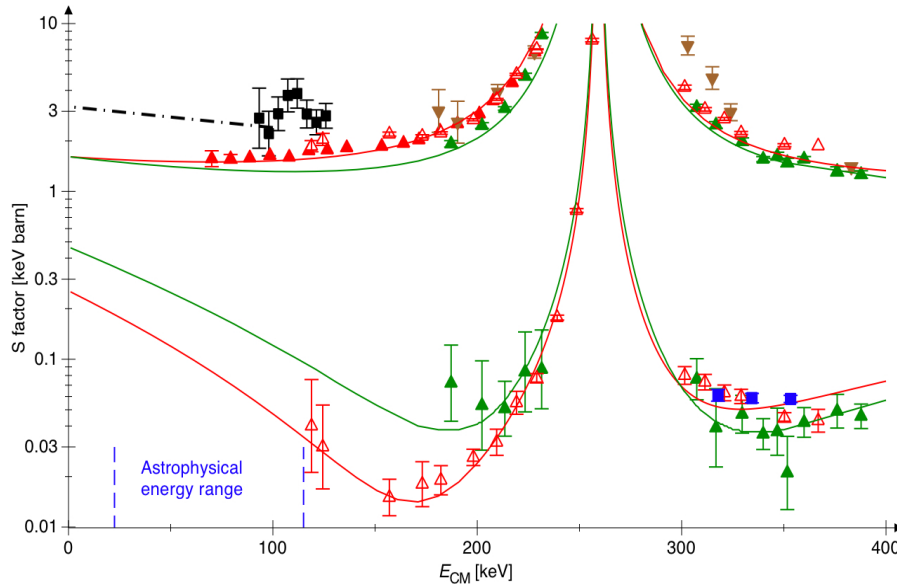
$$Y = \frac{\lambda^2}{2} \frac{1}{SP_{\text{eff}}} \omega\gamma$$



Reaction	Literature [23, 52]		Present		Literature
	E_p [keV]	Γ_{lab} [keV]	$\omega\gamma_n/\omega\gamma_{278}$	$\omega\gamma$ [eV]	$\omega\gamma$ [eV]
$^{14}\text{N}(p,\gamma)^{15}\text{O}$	278	1.12^a	$\stackrel{\text{Def}}{=} 1$	—	0.0131 ± 0.0006^b
$^{14}\text{N}(p,\gamma)^{15}\text{O}$	1058	3.8^c	27.8 ± 0.9	0.364 ± 0.020	0.31 ± 0.04 [25]
$^{15}\text{N}(p,\alpha\gamma)^{12}\text{C}$	430	0.1	$(1.73 \pm 0.07) \cdot 10^3$	22.7 ± 1.4	21.1 ± 1.4 [46]
$^{15}\text{N}(p,\alpha\gamma)^{12}\text{C}$	897	1.57	$(2.77 \pm 0.08) \cdot 10^4$	362 ± 20	293 ± 38 [63]

→ M. Marta et al., Phys. Rev. C (2010)

Auswirkungen des niedrigeren $^{14}\text{N}(p,\gamma)^{15}\text{O}$ -Wirkungsquerschnitts



$^{14}\text{N}(p,\gamma)^{15}\text{O}$ Wirkungsquerschnitt halbiert!

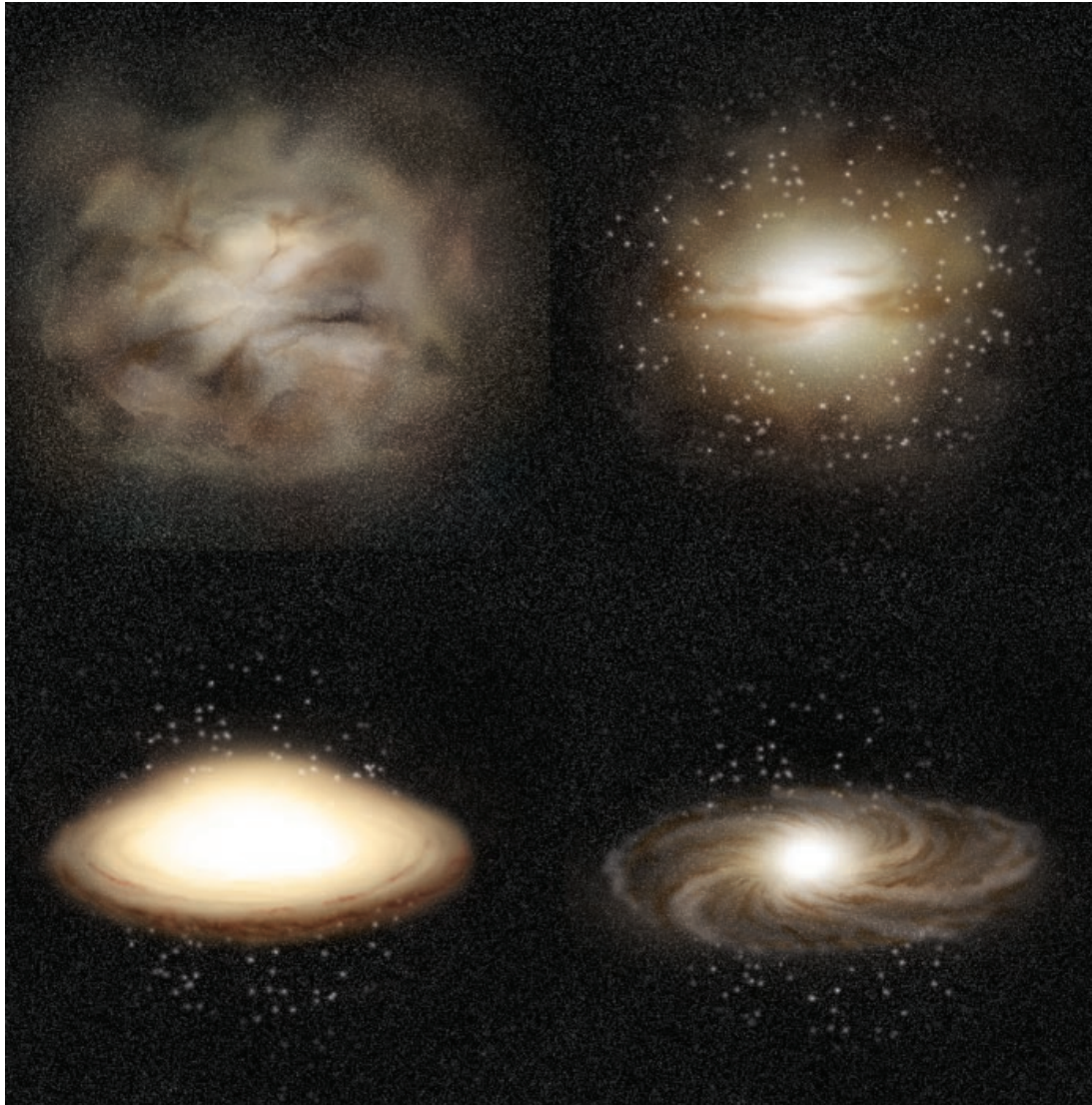
- A. Formicola et al., Phys. Lett. B 591, 61 (2004)
- A. Lemut et al., Phys. Lett. B 634, 483 (2006)
- M. Marta et al., Phys. Rev. C 78, 022802 (R) (2008)

$S(0) = 3.2 \text{ keV barn (1998)}$

$\rightarrow 1.72 \pm 0.12 \text{ keV barn (2009)}$

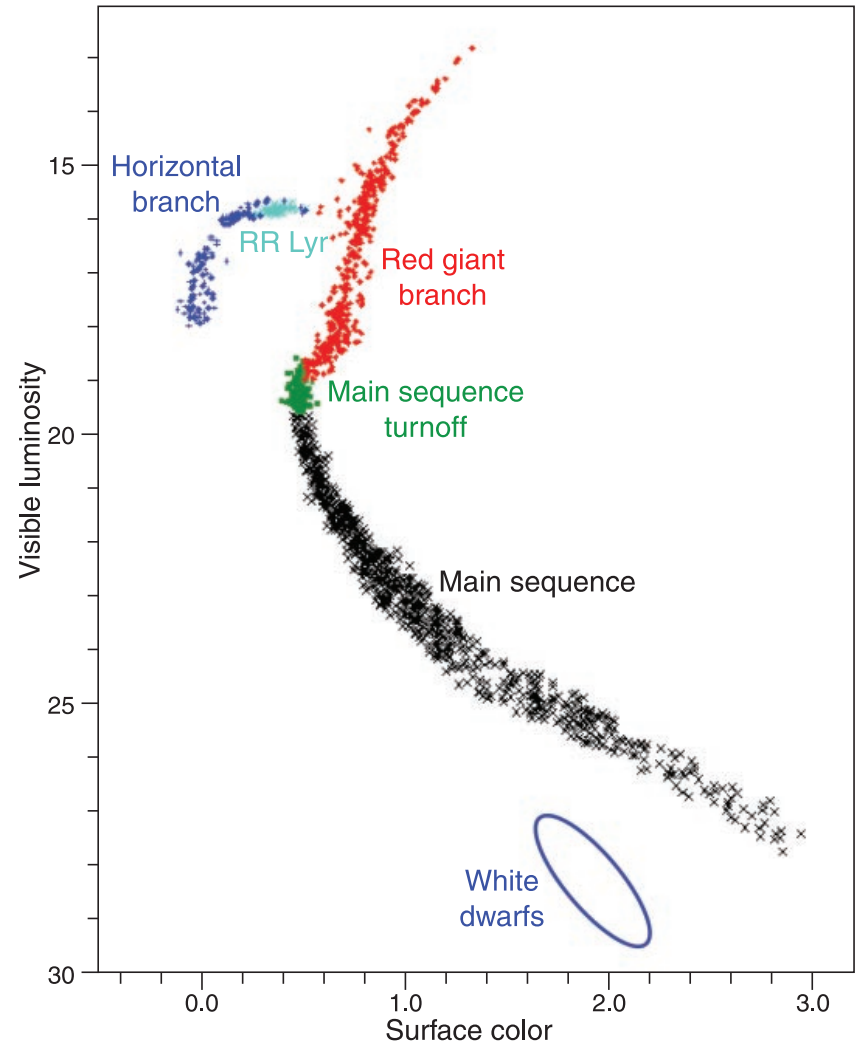
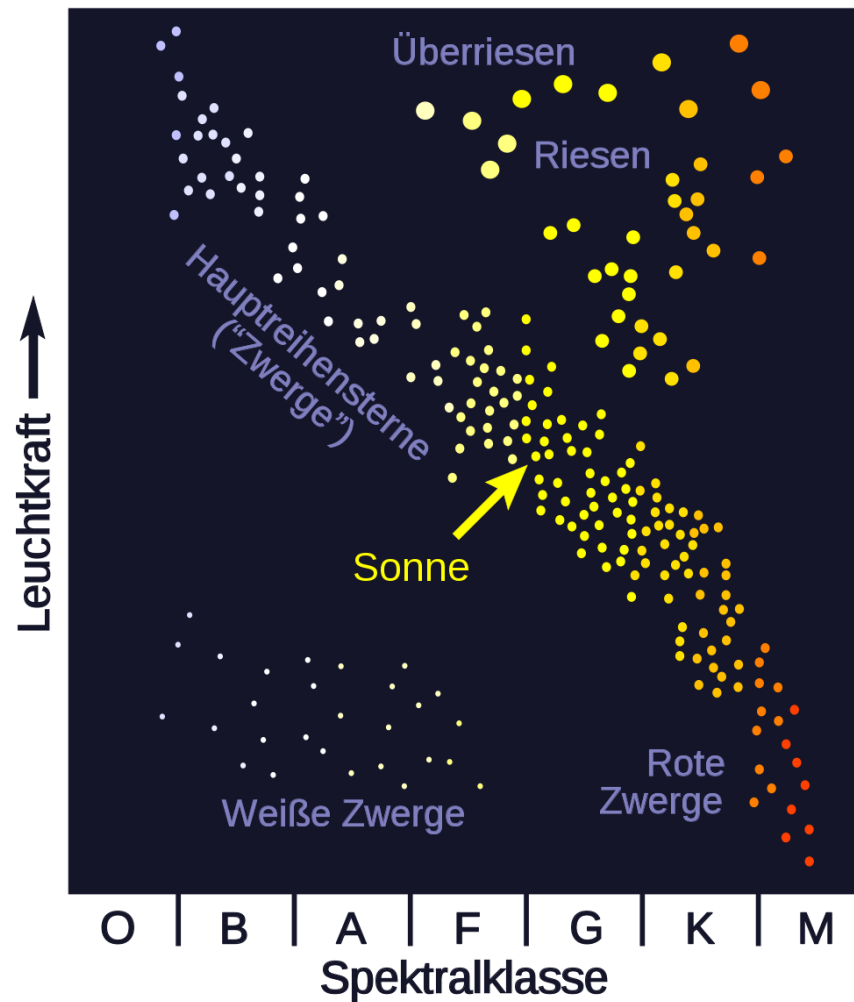
1. Unabhängige untere Schranke für das Alter des Universums: $14 \pm 2 \text{ Ga}$.
2. Bessere Reproduktion der Kohlenstoffhäufigkeiten in Roten Riesen.
3. Es ist möglich, den Stickstoffgehalt im Kern der Sonne über die emittierten CNO-Neutrinos zu bestimmen.

Altersbestimmung sehr alter Sterne (in Kugelsternhaufen)



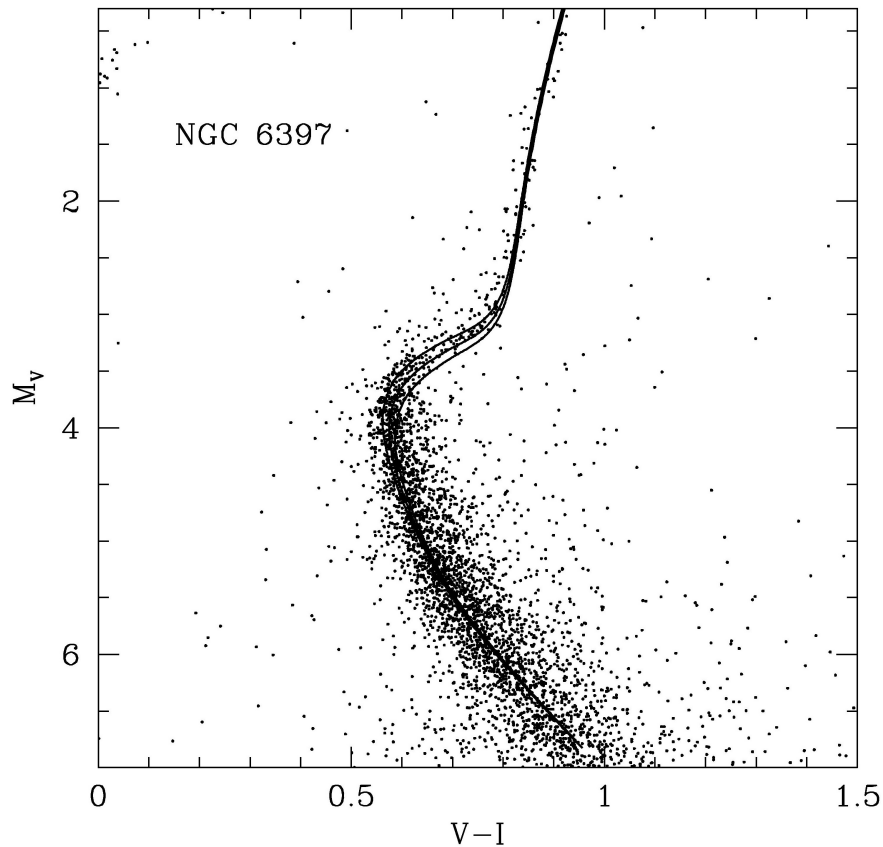
Krauss & Chaboyer (2003)

Altersbestimmung sehr alter Sterne (in Kugelsternhaufen)

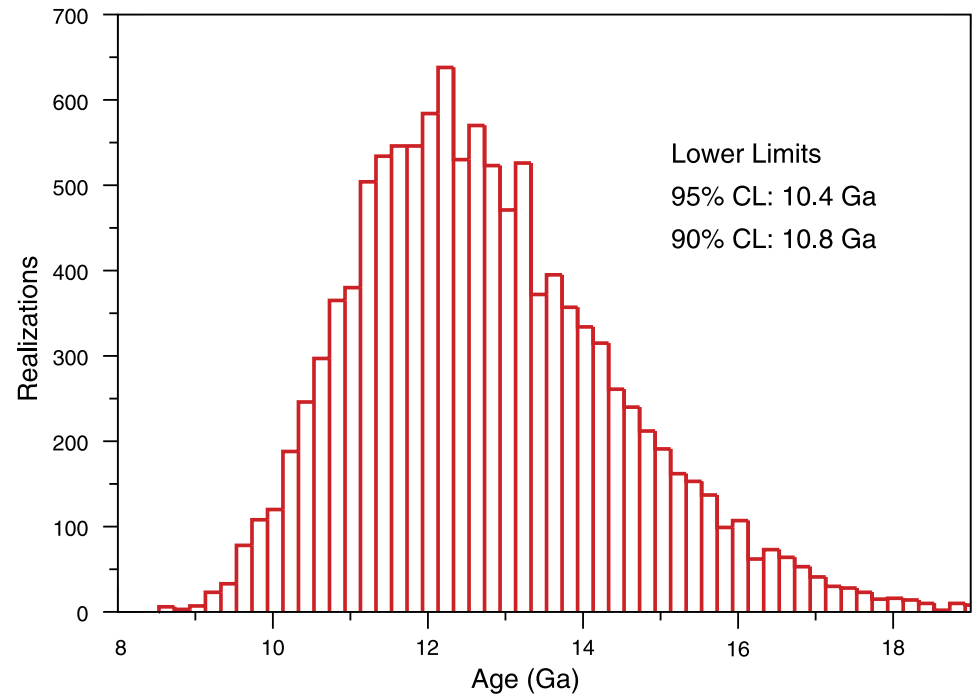


→ Hertzsprung-Russel-Diagramm, Abzweigen von der Hauptreihe Krauss & Chaboyer (2003)

Altersbestimmung sehr alter Sterne (in Kugelsternhaufen)



Imbriani et al. (2004)



Krauss & Chaboyer (2003)

→ Hertzsprung-Russel-Diagramm, Abzweigen von der Hauptreihe

Zusammenfassung

- Nukleokosmochronologie mithilfe von Uran und Thorium
- Bestimmung des Alters von Kugelsternhaufen mittels des CNO-Zyklus

