

# 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
- Neutronensterne
- Entstehung und Nachweis kosmischer Strahlung
- **Altersbestimmung des Universums (heute)**
- Fundamentale Physik und die Sonne

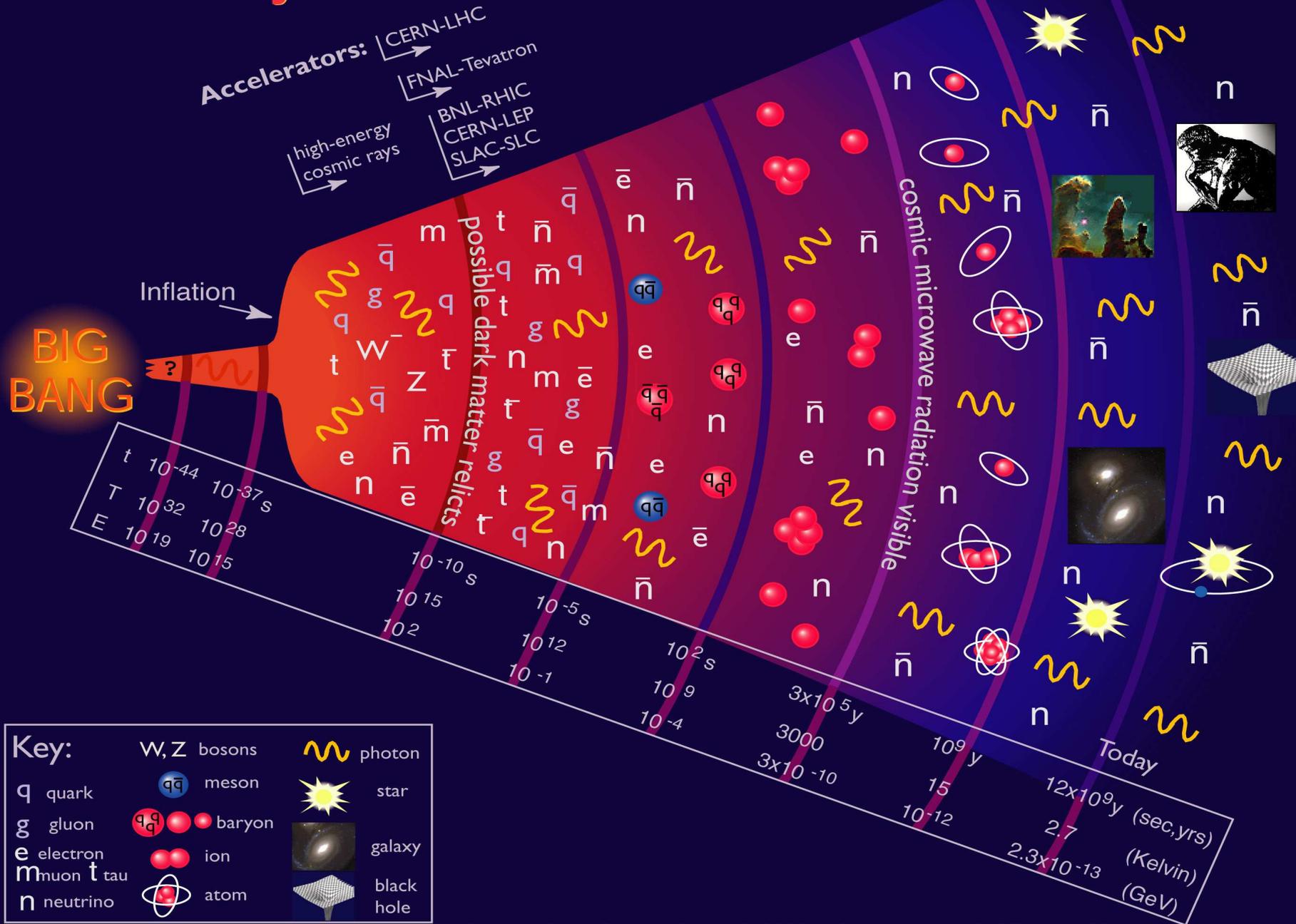
7. Vorlesung, 30.05.2011



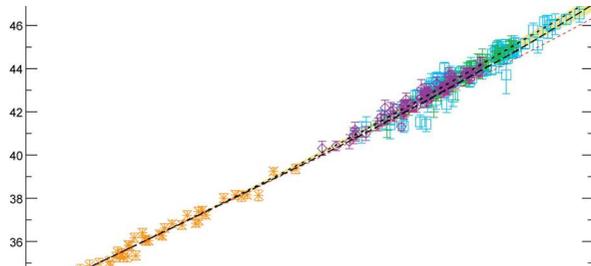
TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN



# History of the Universe



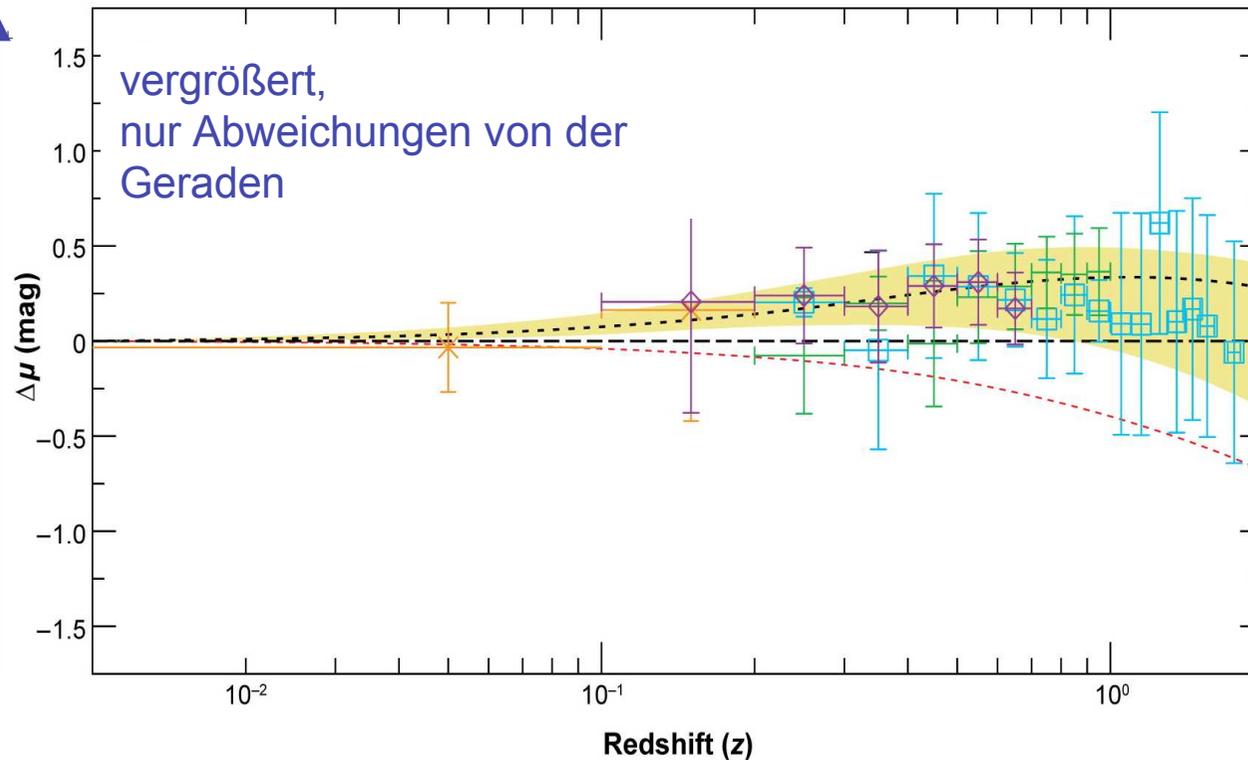
# Entfernungsmessung und Kosmologie



Weit entfernte Supernovae sind  
lichtschwächer als erwartet!  
Evidenz für eine kosmologische  
Konstante  $\Omega_\Lambda > 0$ .

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

Licht-  
schwächer



vergrößert,  
nur Abweichungen von der  
Geraden

$$\Omega_M = 0.3, \Omega_\Lambda = 0.7$$

$$\Omega_M = 0.3, \Omega_\Lambda = 0.0$$

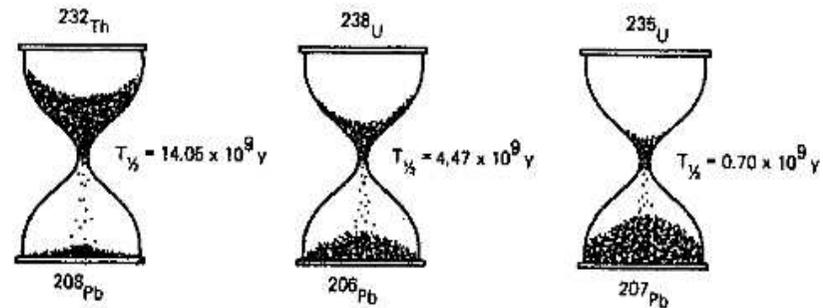
$$\Omega_M = 1.0, \Omega_\Lambda = 0.0$$

schneller

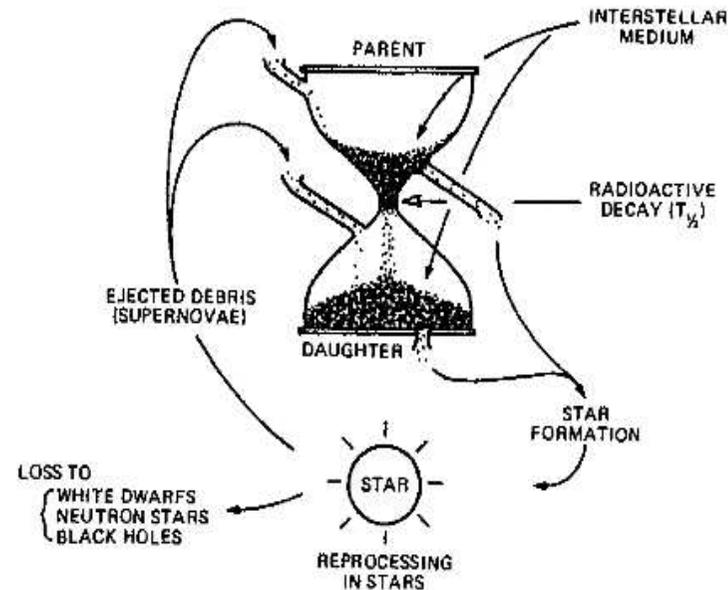
# Nukleokosmochronologie (1)

$^{233}\text{U}$ $1.592\text{E}+5 \text{ Y}$ $\alpha$ : 100.00% $\text{SF} < 6.0\text{E}-9\%$	$^{234}\text{U}$ $2.455\text{E}+5 \text{ Y}$ $0.0054\%$ $\alpha$ : 100.00% $\text{SF} 1.6\text{E}-9\%$	$^{235}\text{U}$ $7.04\text{E}+8 \text{ Y}$ $0.7204\%$ $\alpha$ : 100.00% $\text{SF} 7.0\text{E}-9\%$	$^{236}\text{U}$ $2.342\text{E}7 \text{ Y}$ $9.4\text{E}-8\%$	$^{237}\text{U}$ $6.75 \text{ D}$ $\beta$ -: 100.00%	$^{238}\text{U}$ $4.468\text{E}9 \text{ Y}$ $99.2742\%$ $\alpha$ : 100.00% $\text{SF} 5.5\text{E}-5\%$
$^{232}\text{Pa}$ $1.32 \text{ D}$ $\beta$ -: 100.00% $\epsilon$ : $3.0\text{E}-3\%$	$^{233}\text{Pa}$ $26.975 \text{ D}$ $\beta$ -: 100.00%	$^{234}\text{Pa}$ $6.70 \text{ H}$ $\beta$ -: 100.00%	$^{235}\text{Pa}$ $24.44 \text{ M}$ $\beta$ -: 100.00%	$^{236}\text{Pa}$ $9.1 \text{ M}$ $\beta$ -: 100.00%	$^{237}\text{Pa}$ $8.7 \text{ M}$ $\beta$ -: 100.00%
$^{231}\text{Th}$ $25.52 \text{ H}$ $\beta$ -: 100.00% $\alpha$ : $4\text{E}-11\%$	$^{232}\text{Th}$ $1.40\text{E}10 \text{ Y}$ $100\%$ $\alpha$ : 100.00% $\text{SF} 1.1\text{E}-9\%$	$^{233}\text{Th}$ $21.83 \text{ M}$ $\beta$ -: 100.00%	$^{234}\text{Th}$ $24.10 \text{ D}$ $\beta$ -: 100.00%	$^{235}\text{Th}$ $7.2 \text{ M}$ $\beta$ -: 100.00%	$^{236}\text{Th}$ $37.3 \text{ M}$ $\beta$ -: 100.00%
$^{230}\text{Ac}$ $122 \text{ S}$ $\beta$ -: 100.00% $\beta$ -: $1.2\text{E}-6\%$	$^{231}\text{Ac}$ $7.5 \text{ M}$ $\beta$ -: 100.00%	$^{232}\text{Ac}$ $119 \text{ S}$ $\beta$ -: 100.00%	$^{233}\text{Ac}$ $145 \text{ S}$ $\beta$ -: 100.00%	$^{234}\text{Ac}$ $44 \text{ S}$ $\beta$ -: 100.00%	$^{235}\text{Ac}$ $60 \text{ S}$ $\beta$ -: 100.00%
141	142	143	144	145	146

## THE RADIOACTIVE AEON GLASSES

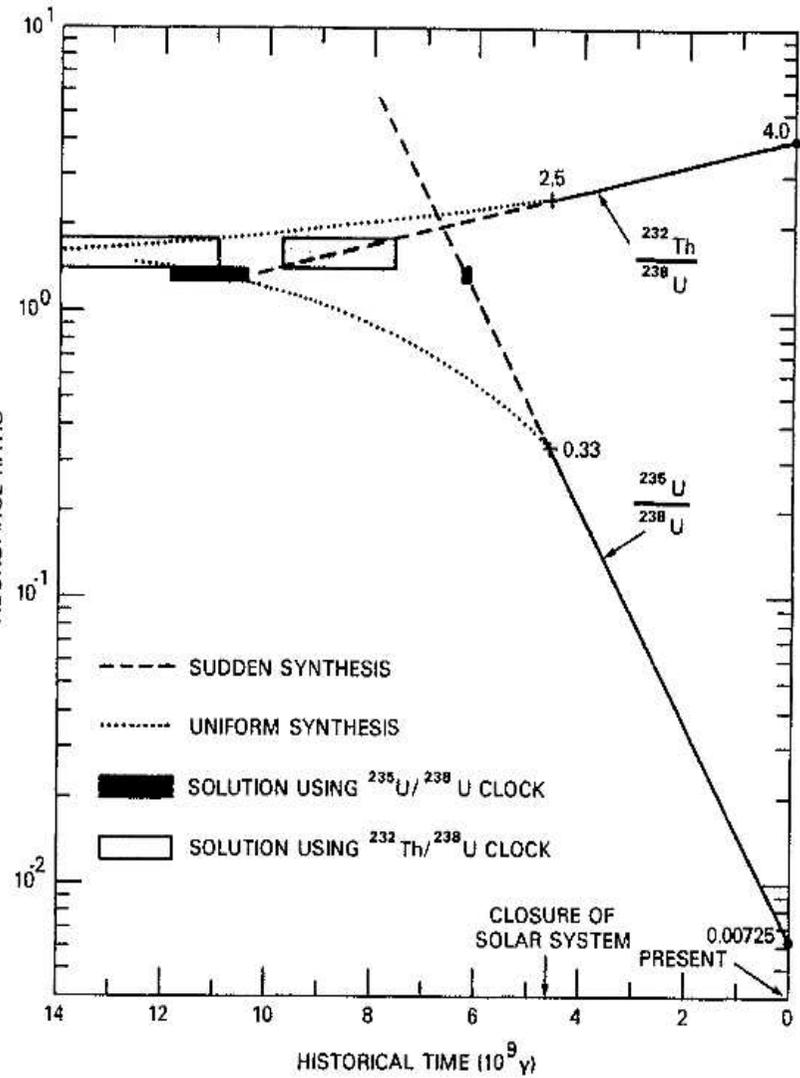
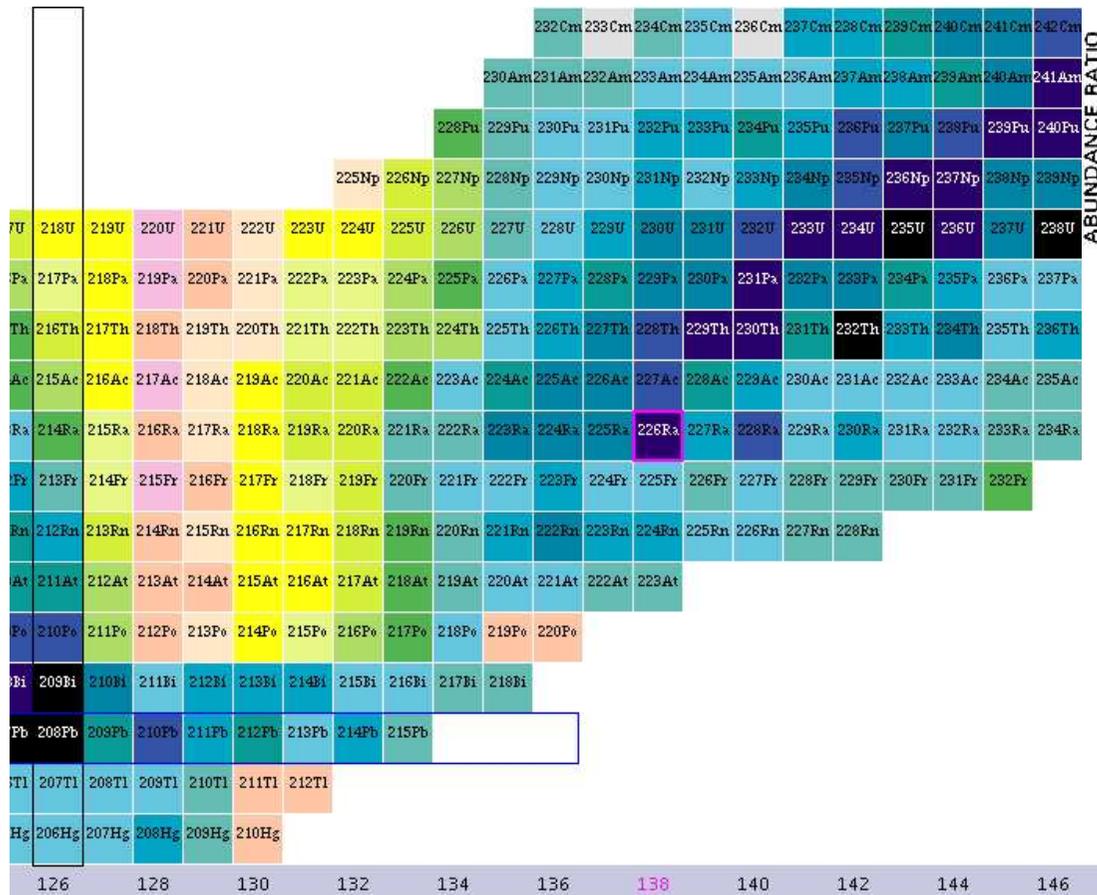


## COMPLICATIONS IN NUCLEOCOSMOCHRONOLOGY



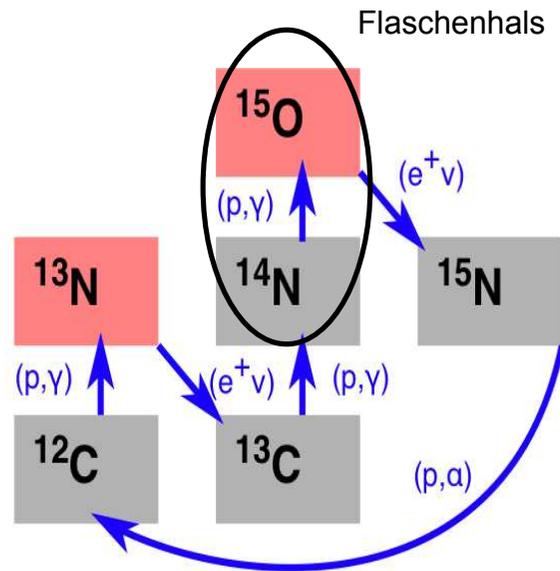
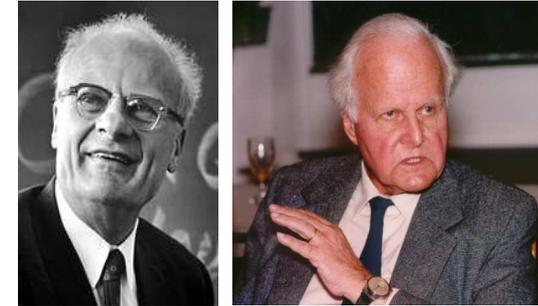
ildrons  
38

# Nukleokosmochronologie (2)



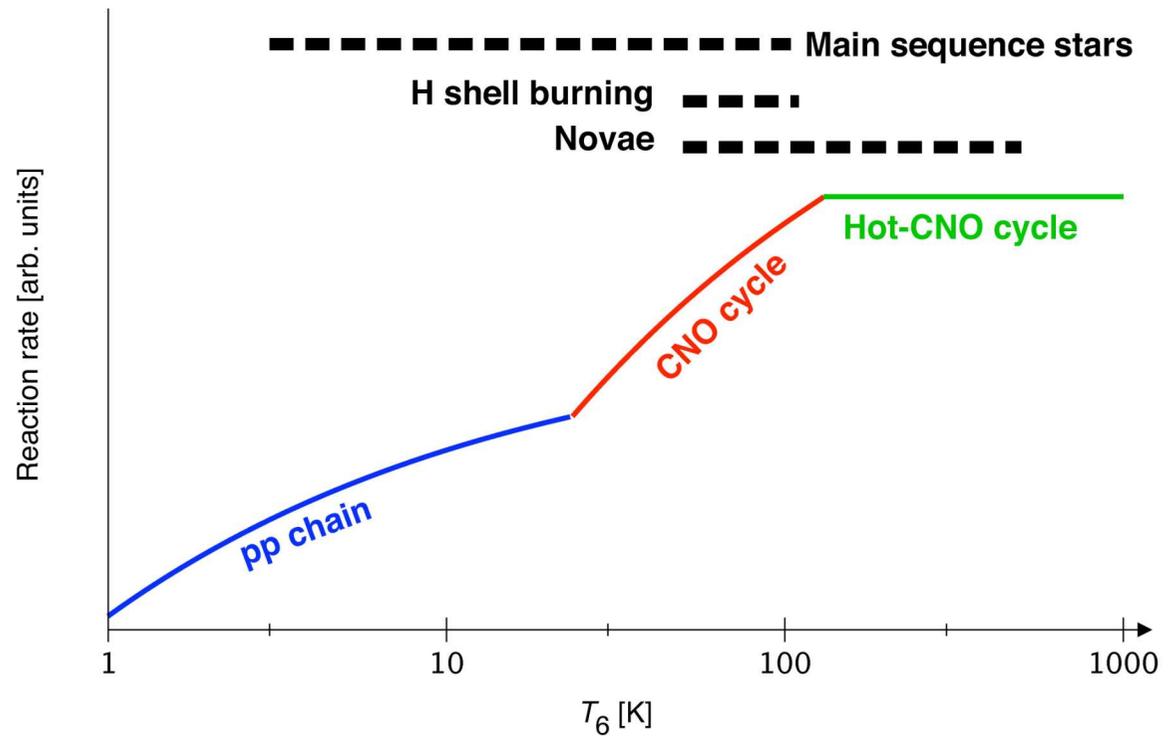
Rolf/Rodney, Cauldrons in the Cosmos, 1988

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

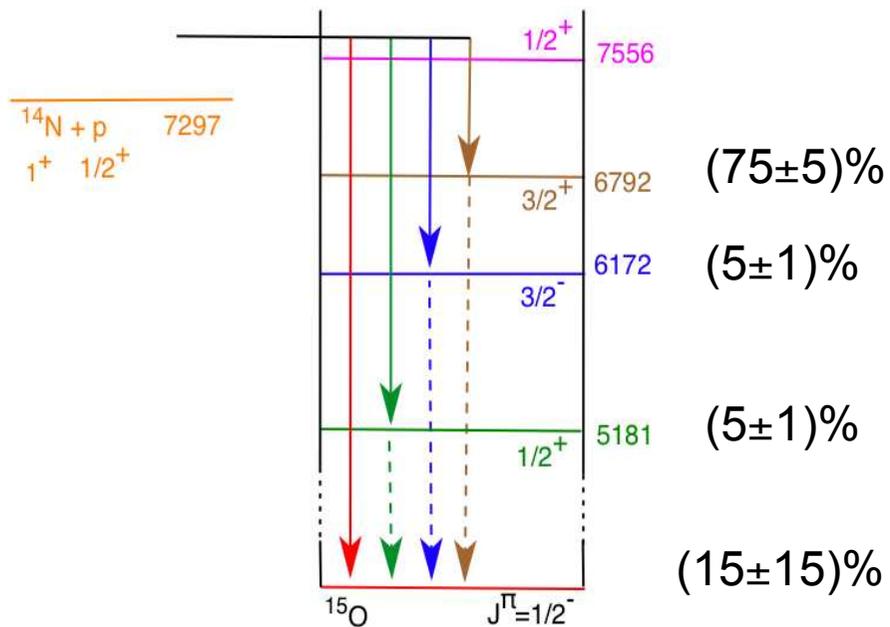


1938 postuliert

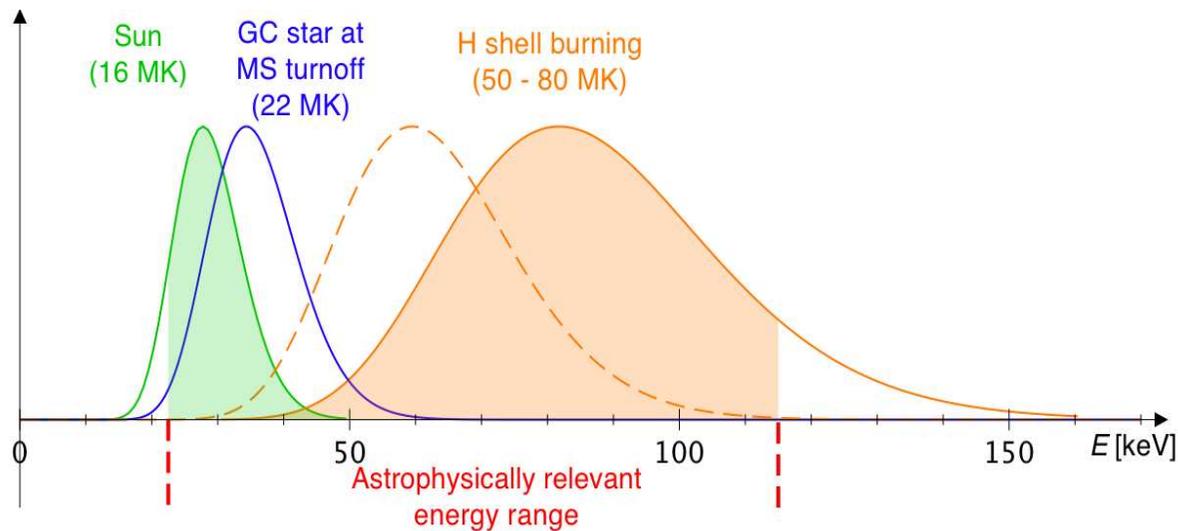
- Flaschenhals:  $^{14}\text{N}(p,\gamma)^{15}\text{O}$
- 0.8% der Energieproduktion der Sonne
- Bestimmung des Alters von Kugelsternhaufen



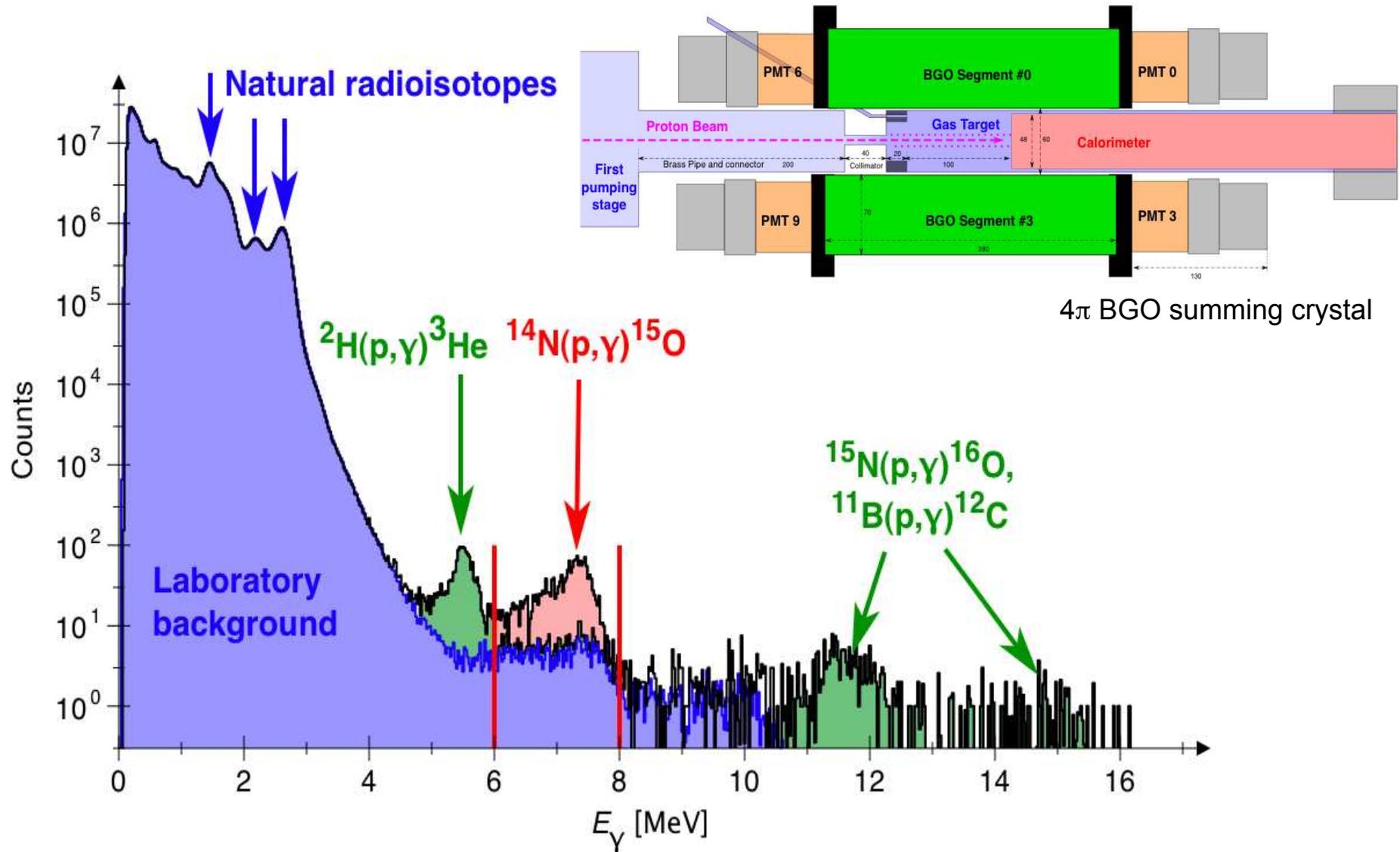
# $^{14}\text{N}(p,\gamma)^{15}\text{O}$ , wie sieht es im Detail aus?



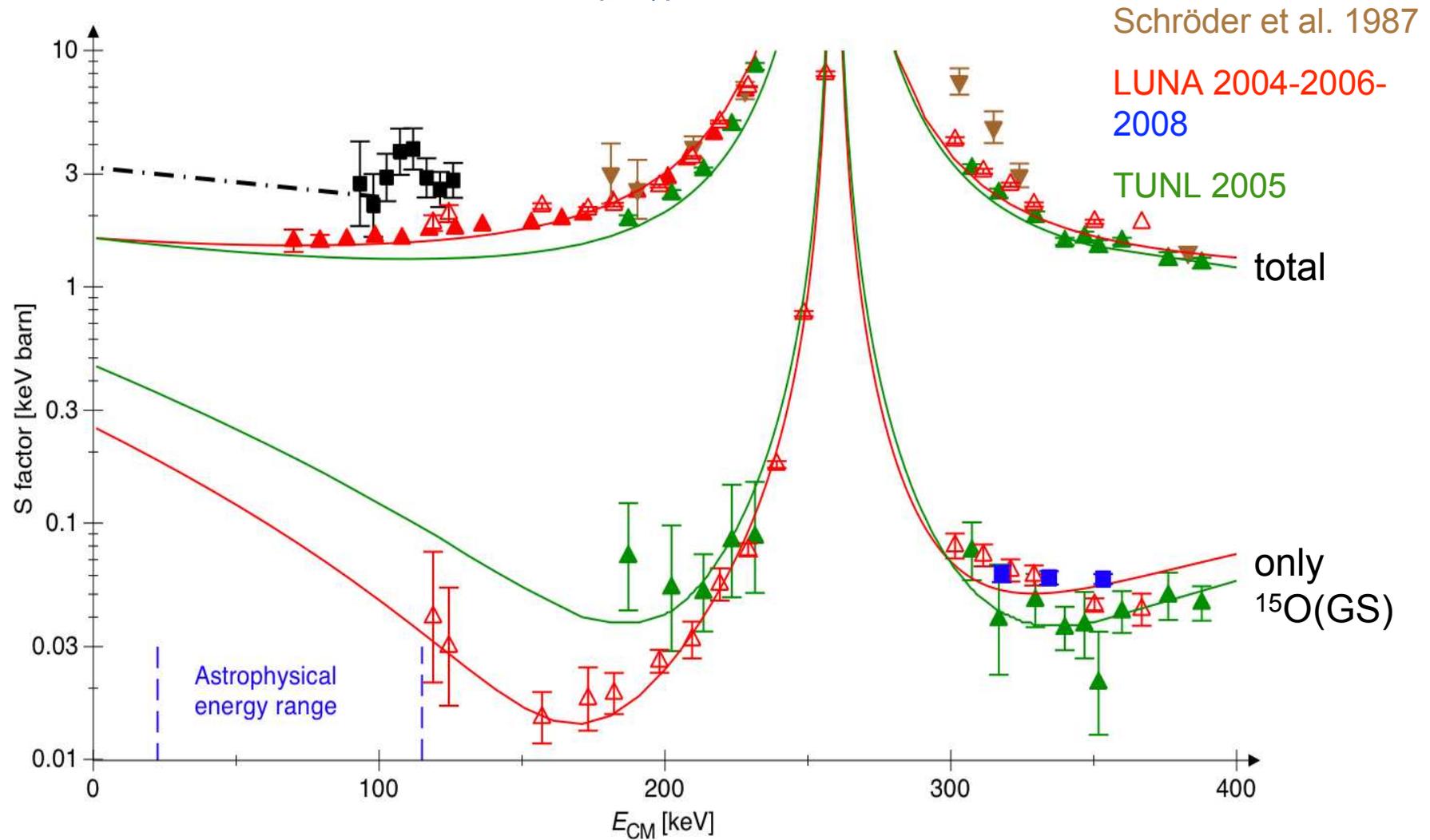
- Zwei mögliche Ansätze für Experimente
1. Untersuche Einfang in jeden Level im Einzelnen, dann extrapoliere.
  2. Untersuche alle Levels gleichzeitig in einem Summendetektor, aber verzichte (gezwungenermaßen) auf die Extrapolation



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



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

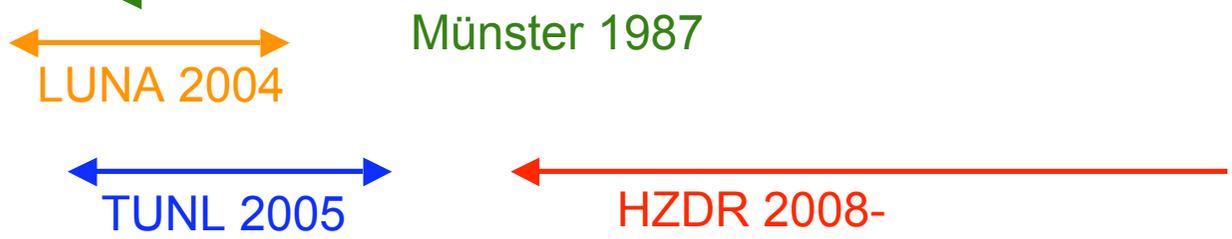
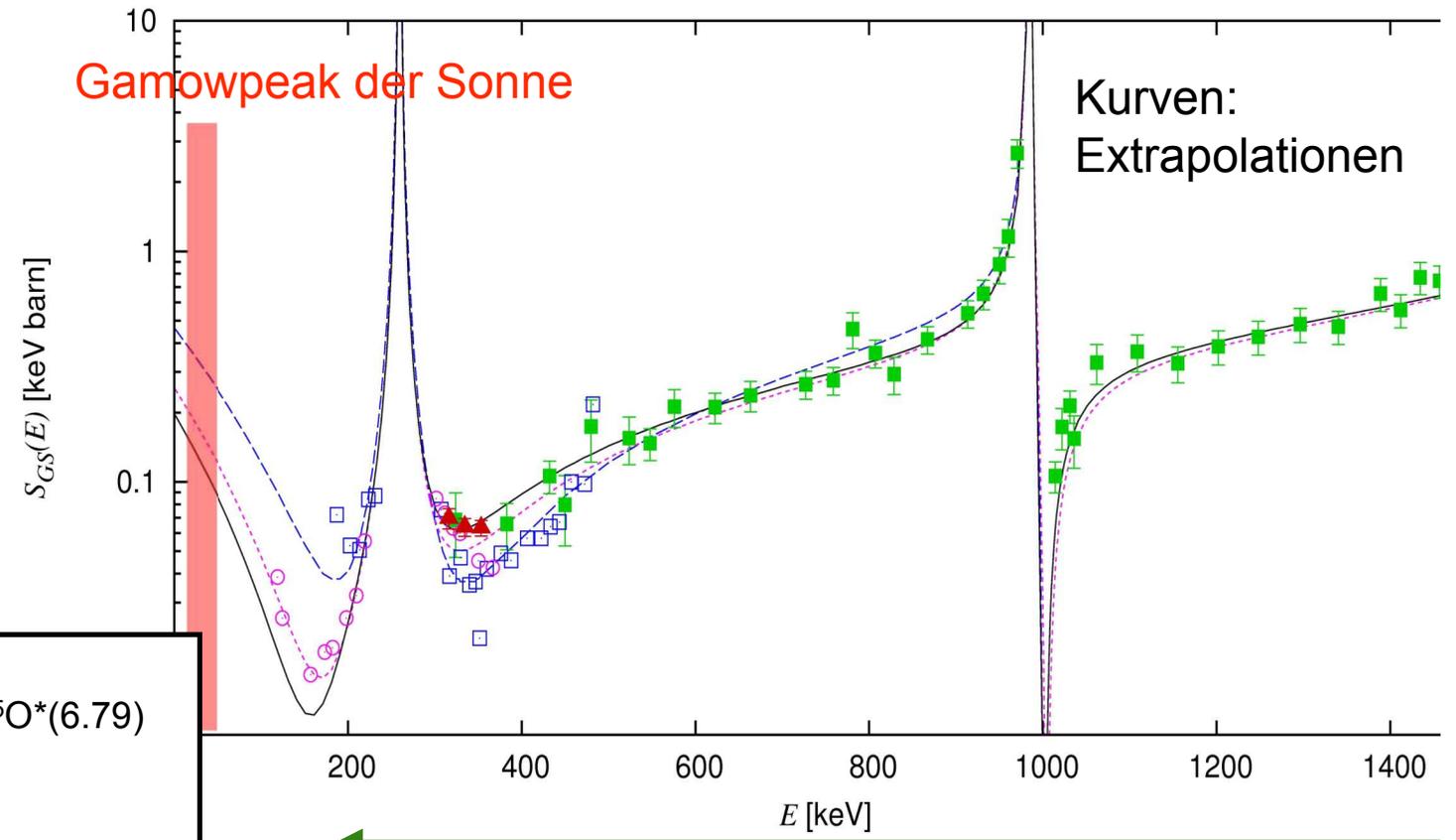


# Die $^{14}\text{N}(p,\gamma)^{15}\text{O}$ -Reaktion: Einfang in angeregte Zustände von $^{15}\text{O}$

$Q$ [keV]	$E$ [keV]	$E_x$ [keV]	$J^\pi$
987	→	8284	$3/2^+$
	→	7556	$1/2^+$
7297	→	7276	$7/2^+$
	→	6859	$5/2^+$
$^{14}\text{N} + p$	→	6791	$3/2^+$
	→	6172	$3/2^-$
		5241	$5/2^+$
		5181	$1/2^+$
			$1/2^-$

$^{15}\text{O}$

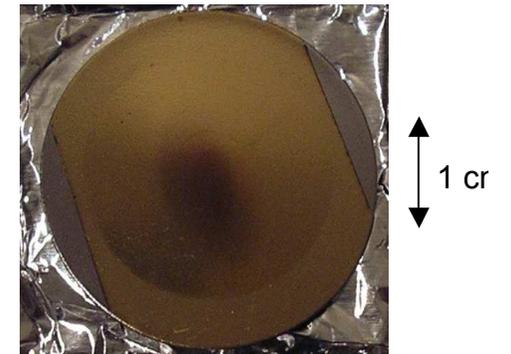
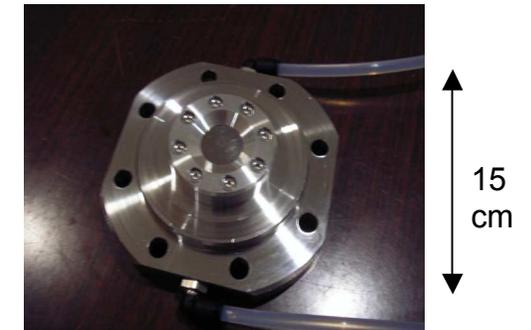
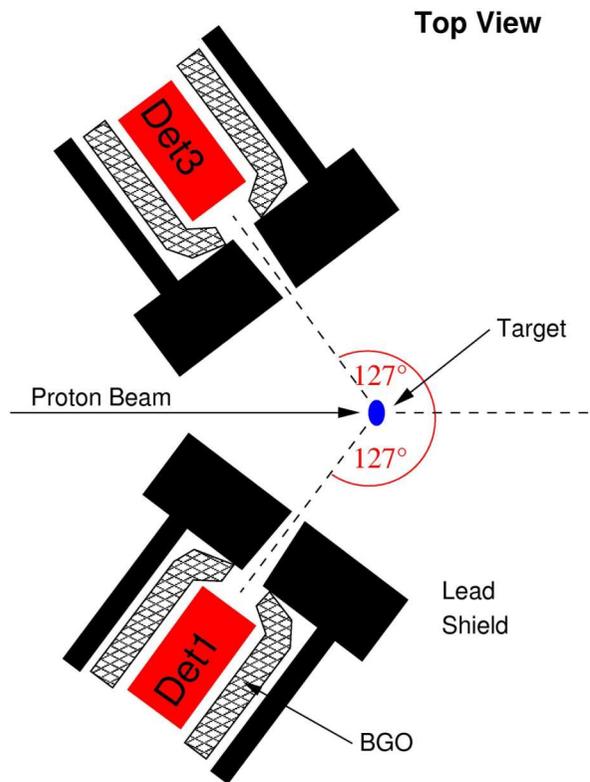
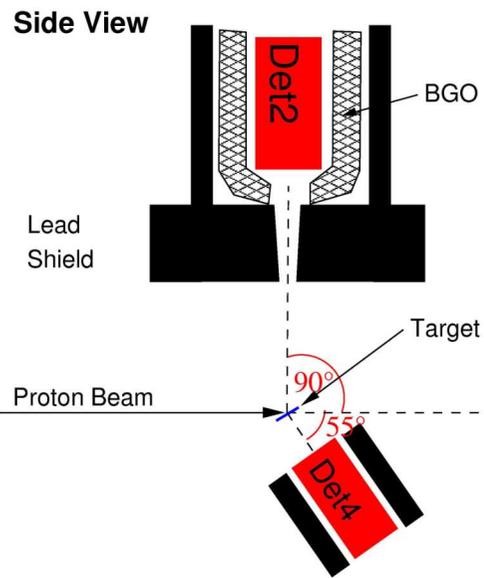
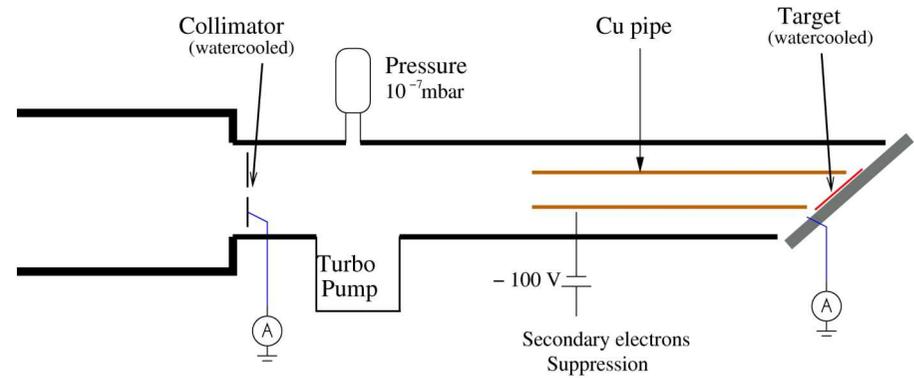
- Wichtige Niveaux**
- $E = -0.504$  MeV,  $^{15}\text{O}^*(6.79)$
  - $E = 0.259$  MeV
  - $E = 0.987$  MeV
  - $E = 2.187$  MeV
  - "background pole"



# Versuchsaufbau am HZDR Tandetron, Dresden



# Detektoren und Targets



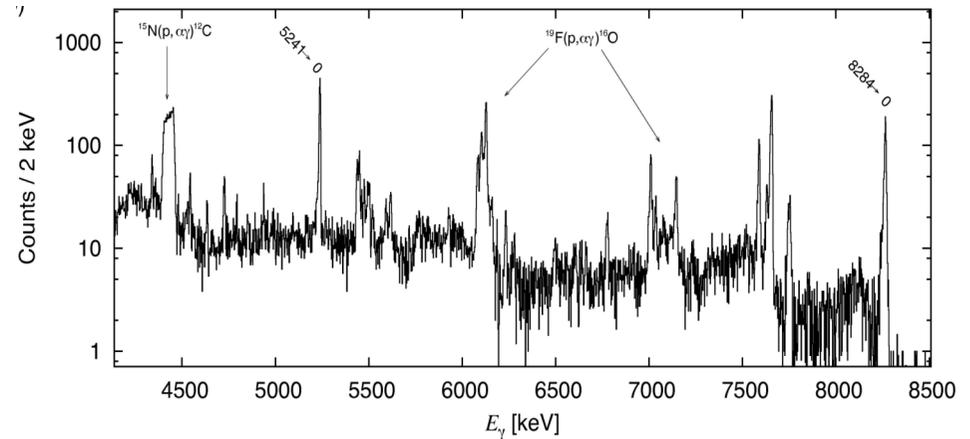
# Resonanzstärken $\omega\gamma$ in den $^{14}\text{N}(p,\gamma)^{15}\text{O}$ - und $^{15}\text{N}(p,\alpha\gamma)^{12}\text{C}$ -Reaktionen

278 keV

Normierungspunkt:

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

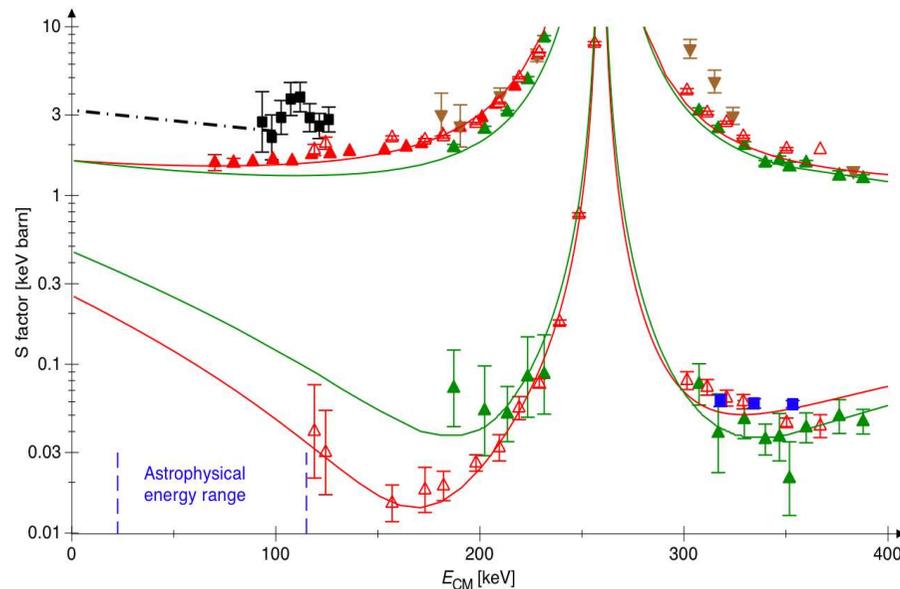
$$Y = \frac{\lambda^2}{2} \frac{1}{SP_{\text{eff}}} \omega\gamma$$



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

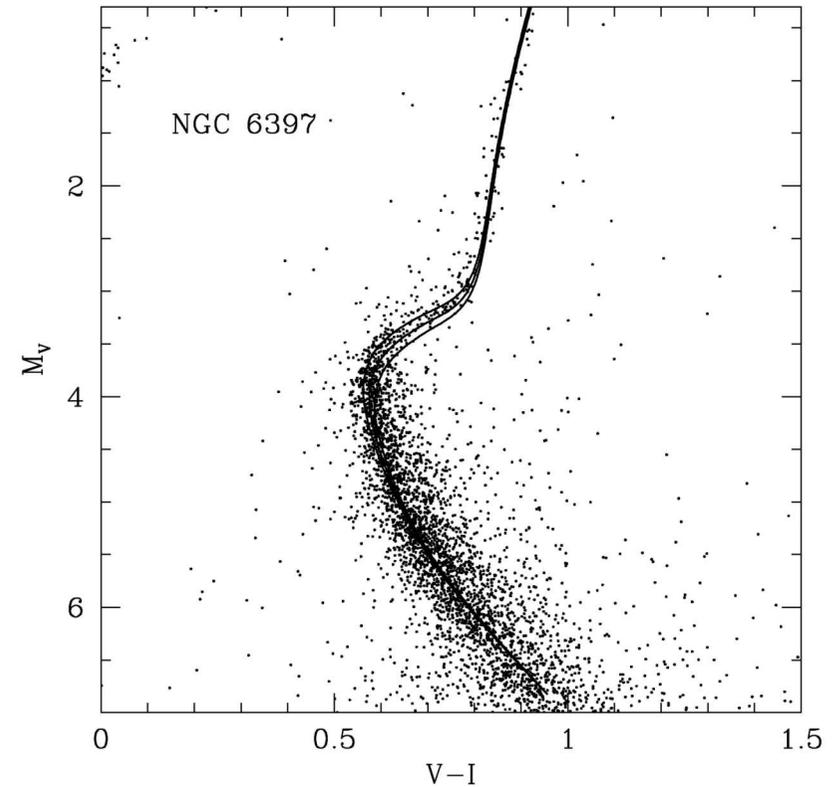
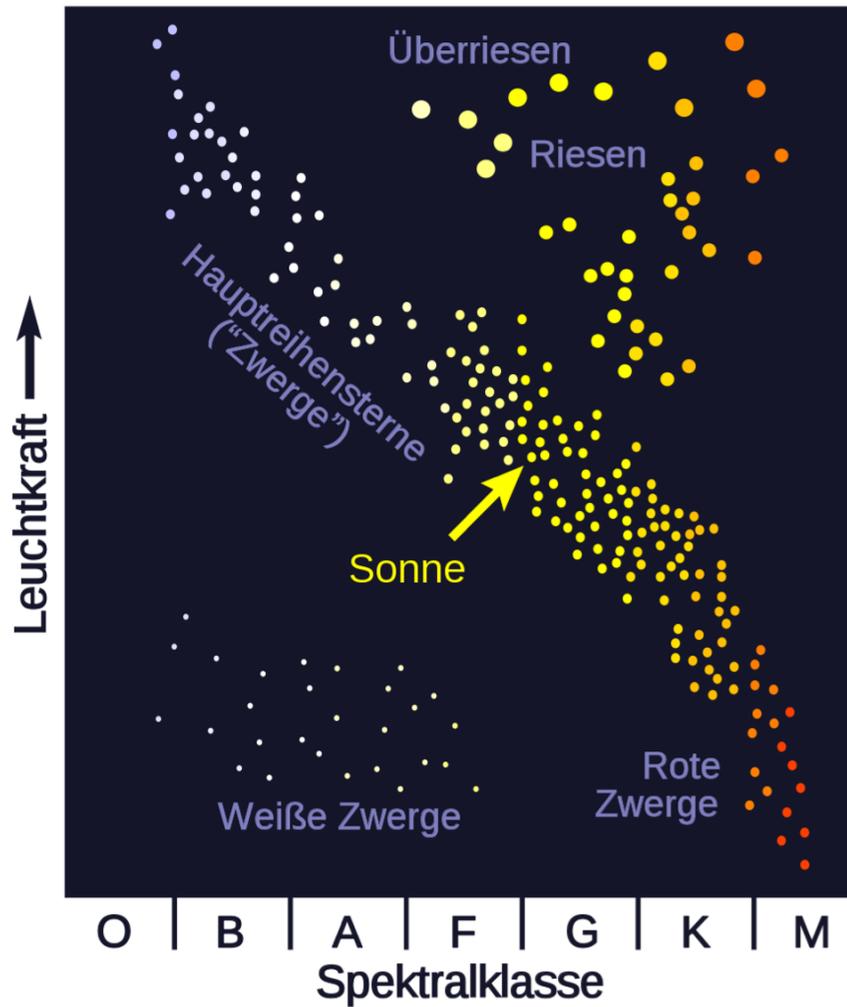
- A. Formicola et al., Phys. Lett. B 591, 61 (2004)
- A. Lemut et al., Phys. Lett. B 634, 483 (2006)
- M. Marta et al., Phys. Rev. C 78, 022802 (R) (2008)

$S(0) = 3.2$  keV barn (1998)

→  $1.72 \pm 0.12$  keV barn (2009)

1. Unabhängige untere Schranke für das Alter des Universums:  $14 \pm 2$  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)



→ Hertzsprung-Russel-Diagramm, Abzweigen von der Hauptreihe

# Zusammenfassung

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

