Kosmologie und Astroteilchenphysik

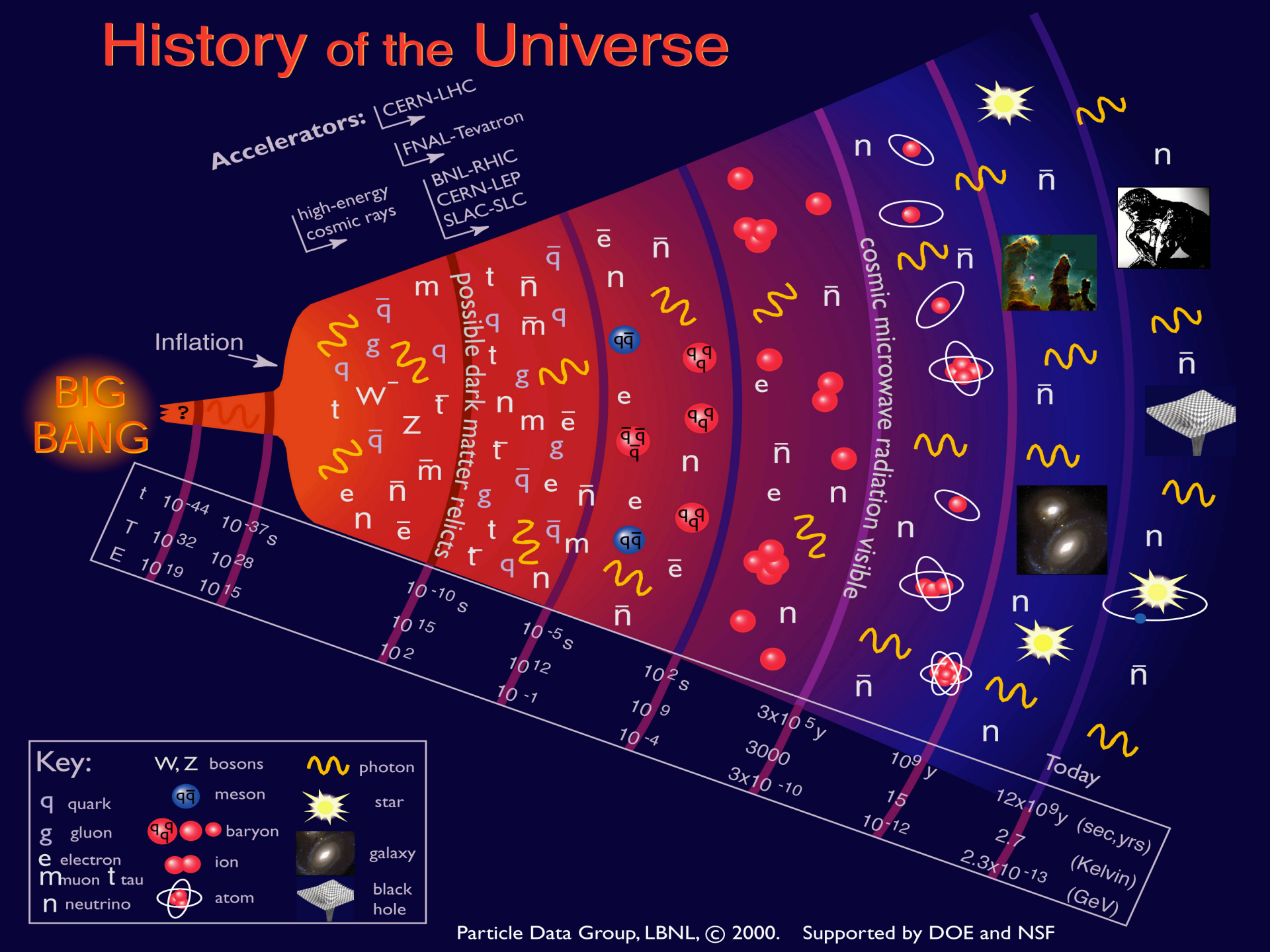
Prof. Dr. Burkhard Kämpfer, PD Dr. Daniel Bemmerer

- 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**
- Neutrinos aus der Sonne und ihre Oszillationen

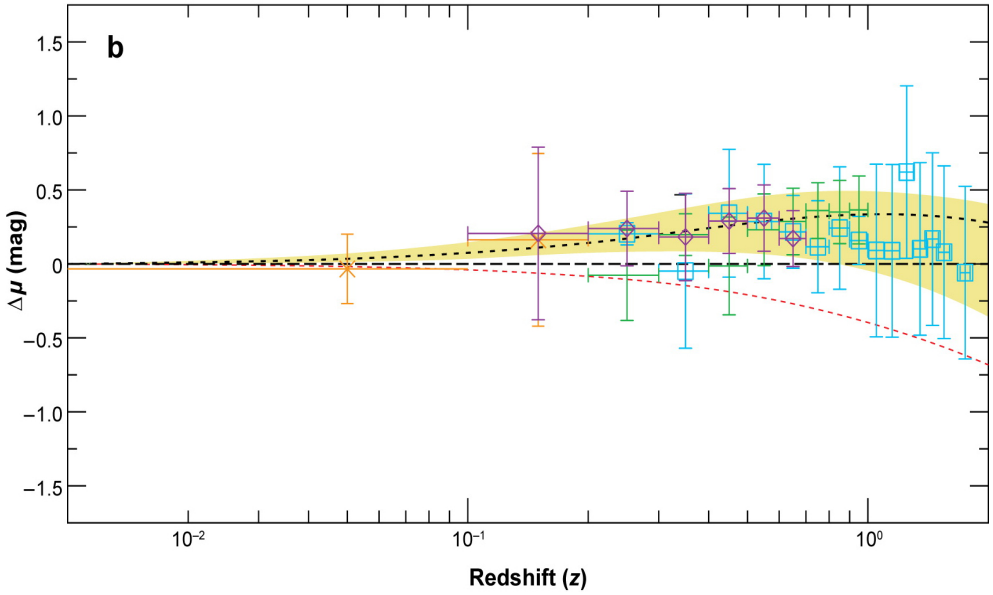
8. Vorlesung, 14.06.2017

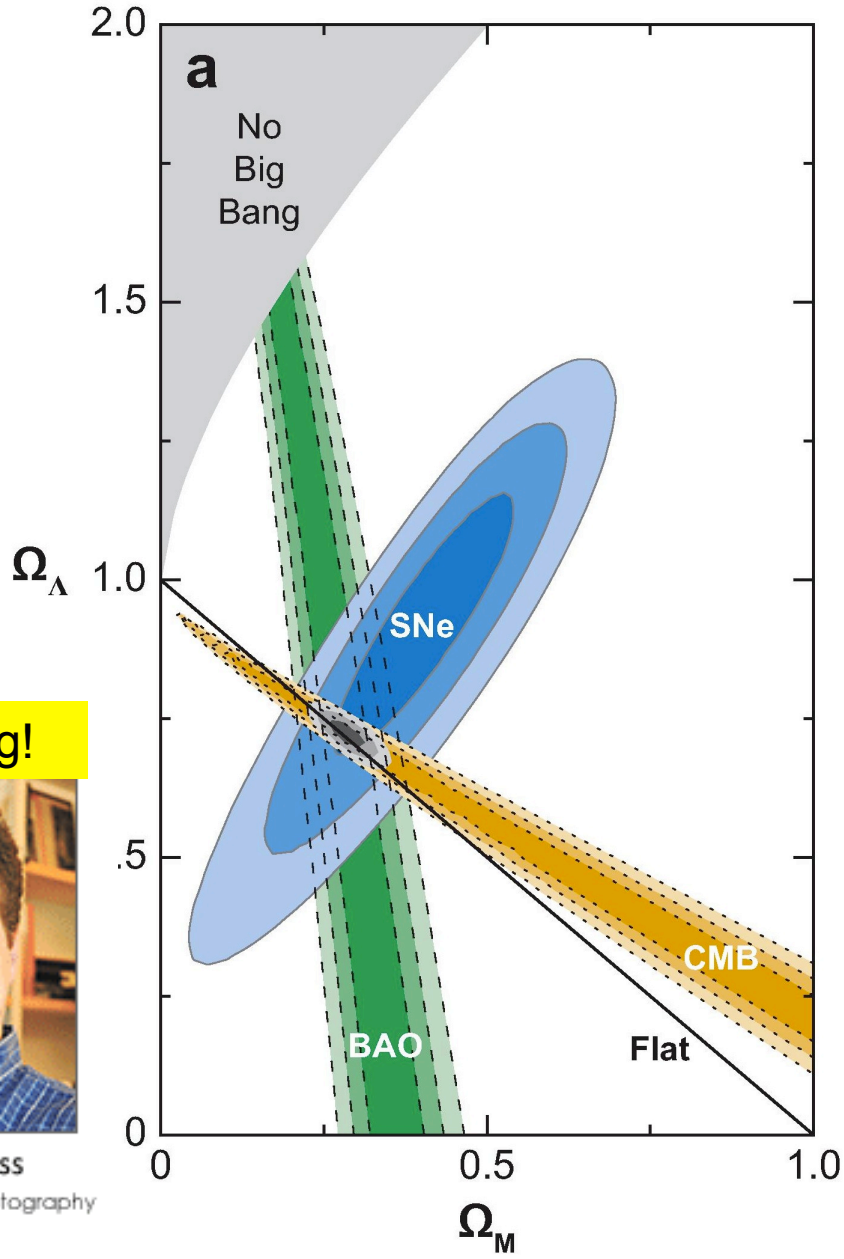
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN
Partner von DRESDEN concept exzellenz-dresden.de
HZDR
HELMHOLTZ ZENTRUM DRESDEN ROSSENDORF
Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

History of the Universe



Entfernungsmessung und Kosmologie: Supernovae vom Typ Ia





Physik-Nobelpreis 2011 für diese Entdeckung!

Saul Perlmutter

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

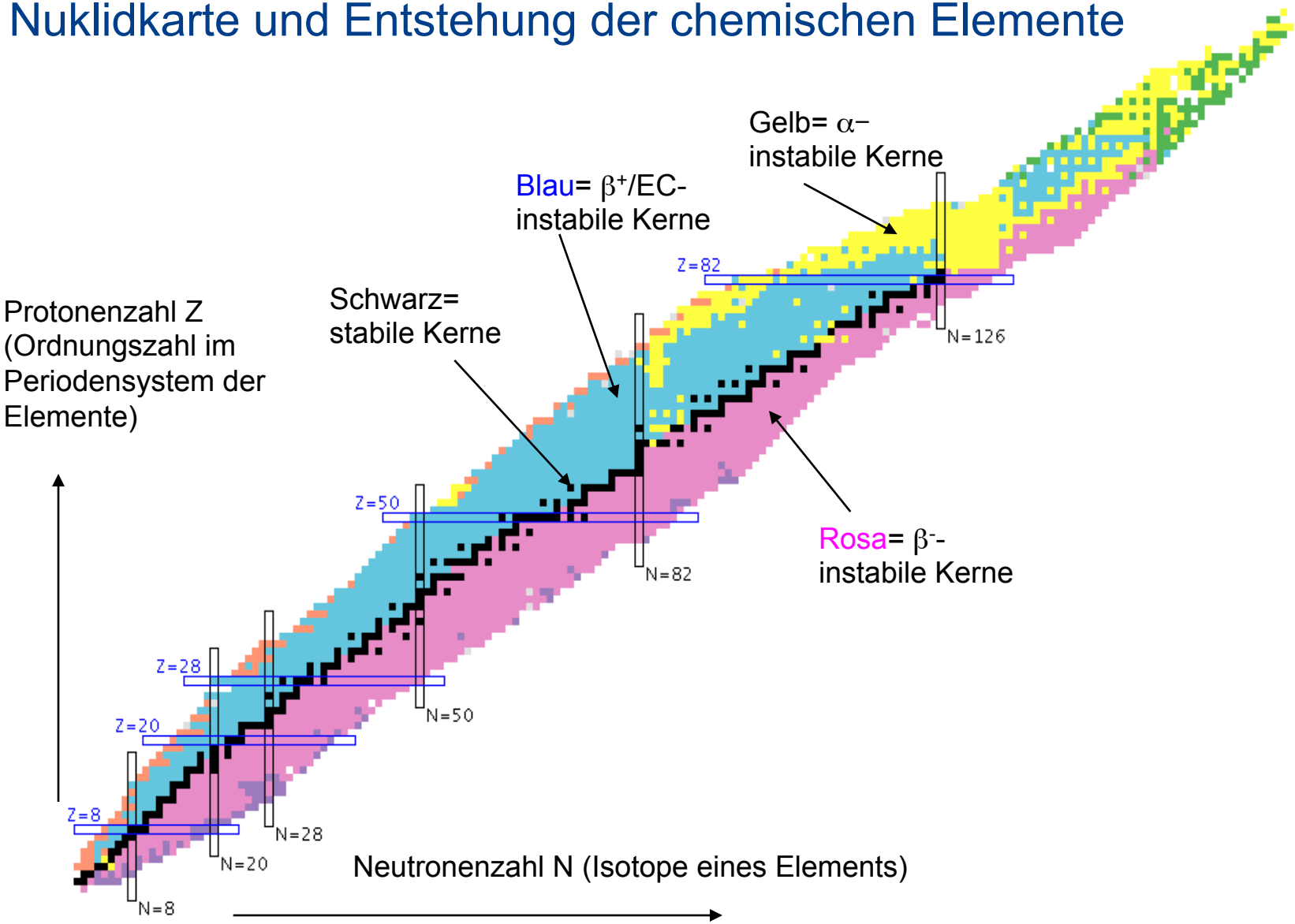
Brian P. Schmidt

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

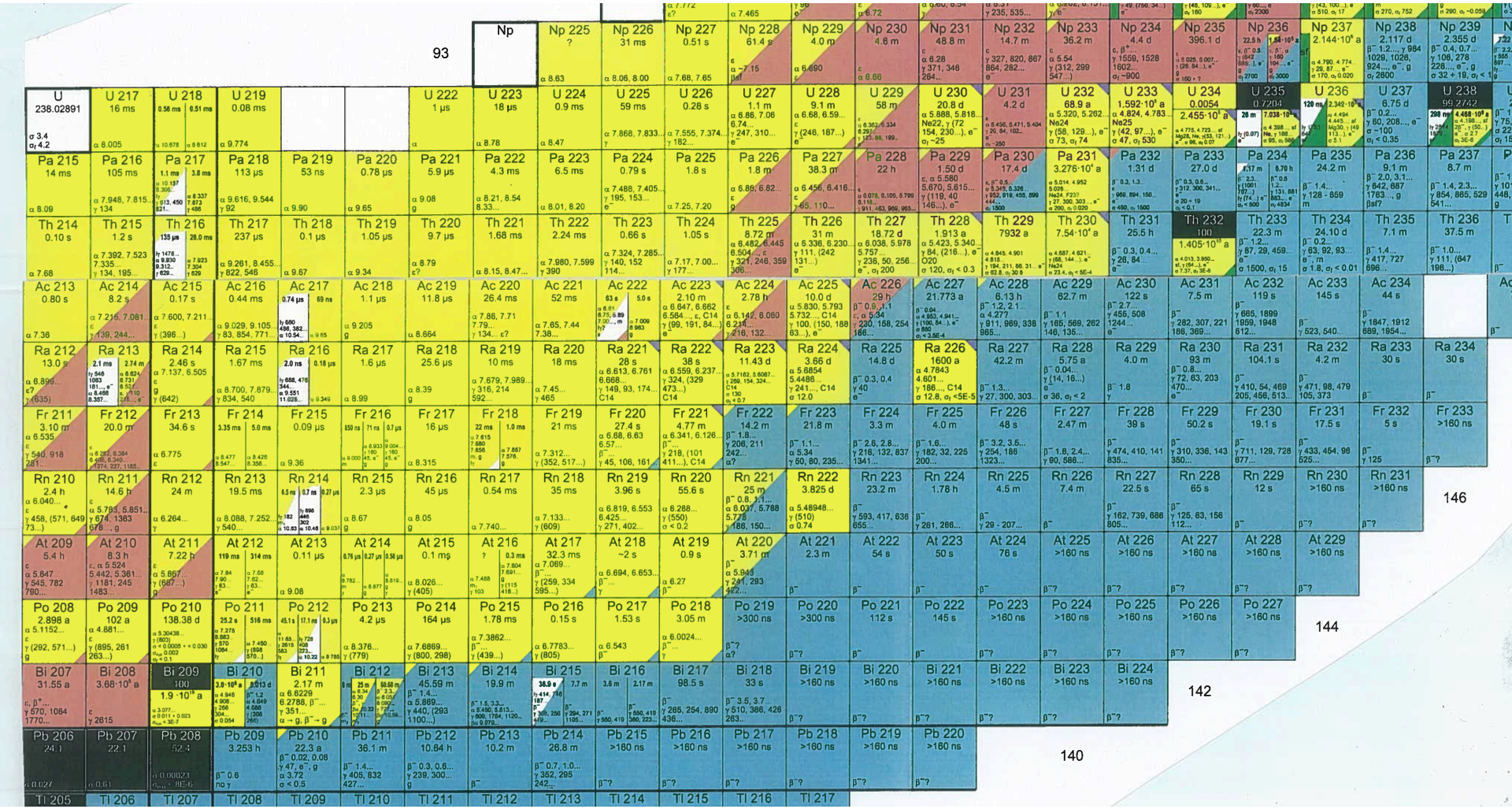
Adam G. Riess

Credit: Homewood Photography

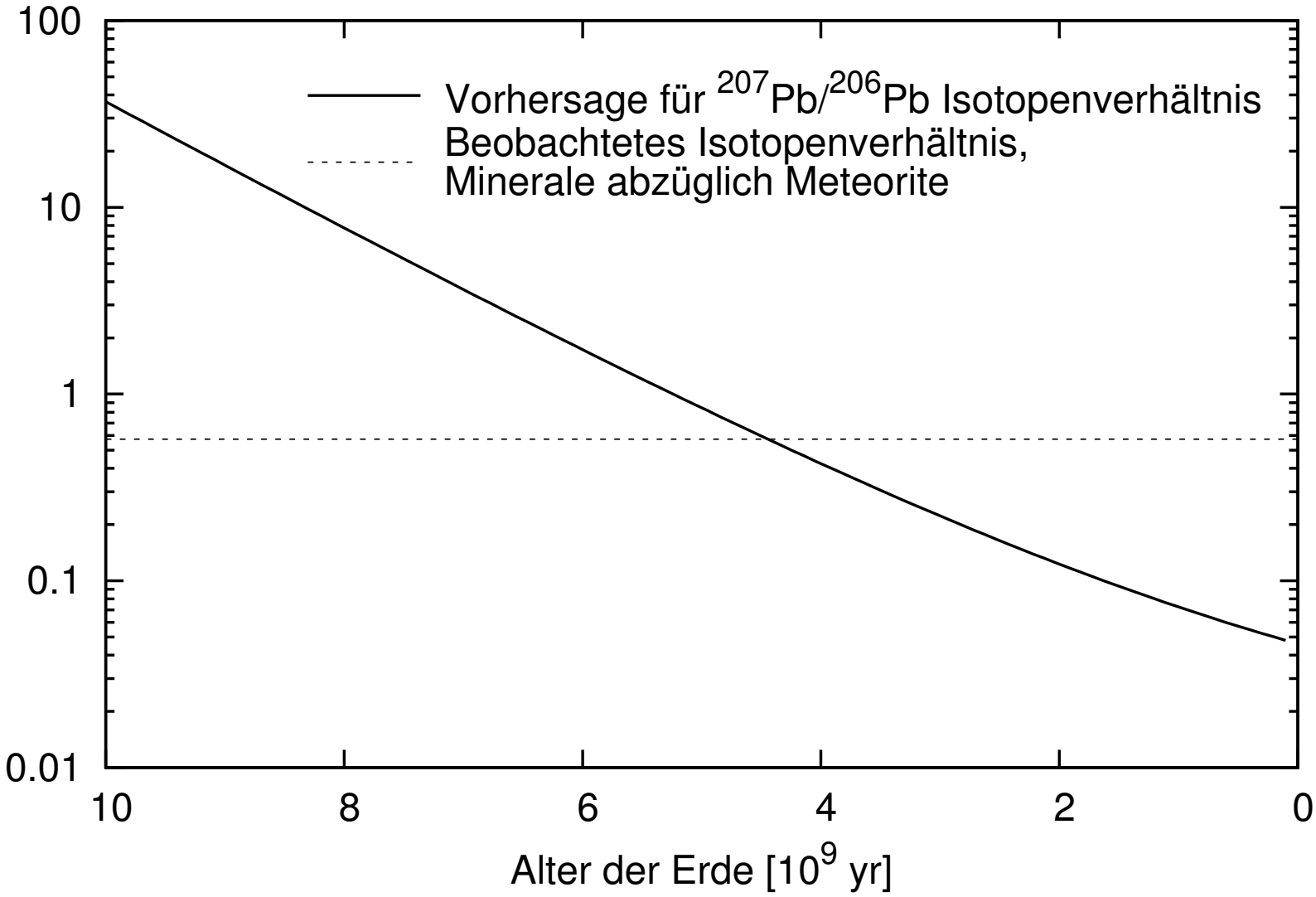
Nuklidkarte und Entstehung der chemischen Elemente



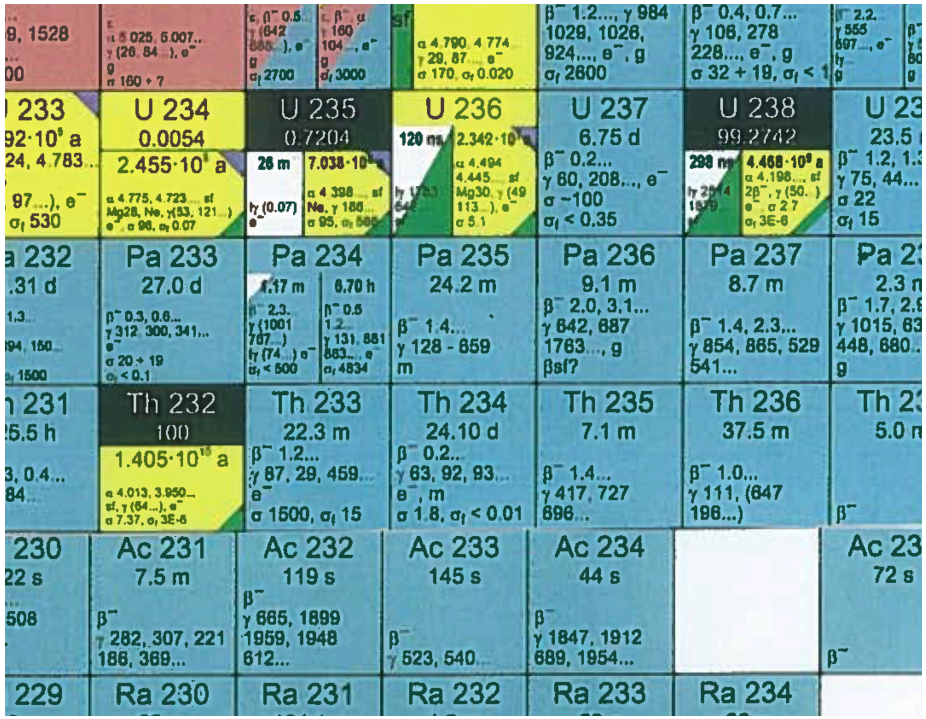
Nuklidkarte am Ende des Tals der Stabilität und Nukleokosmochronologie

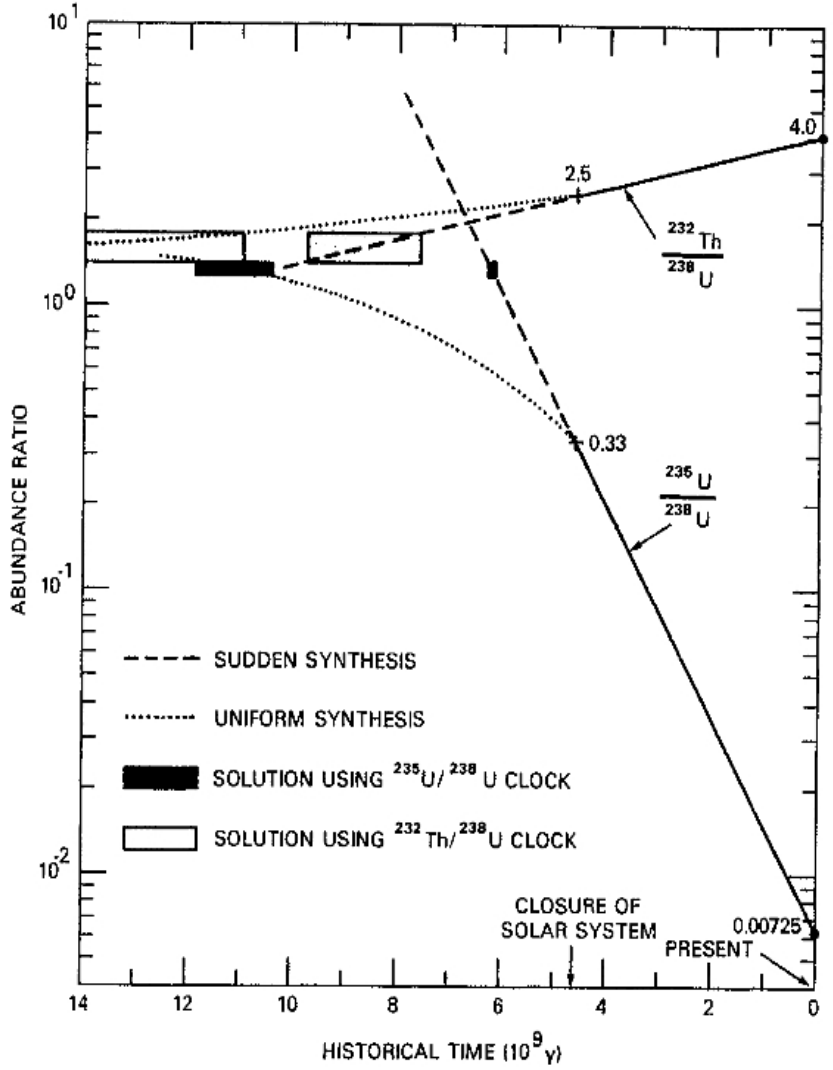


Blei-Isotopenverhältnisse



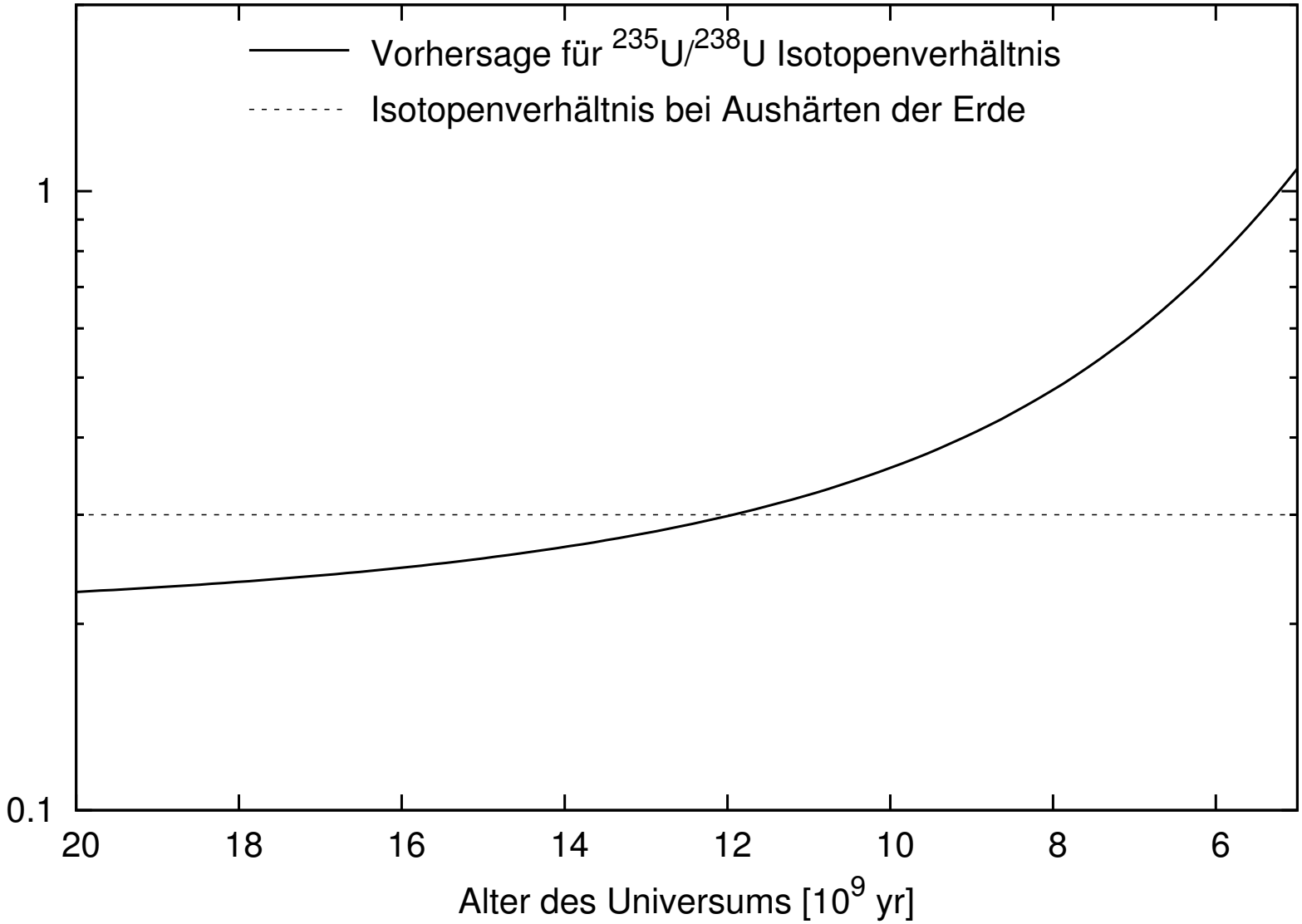
Uran-Thorium-Uhr



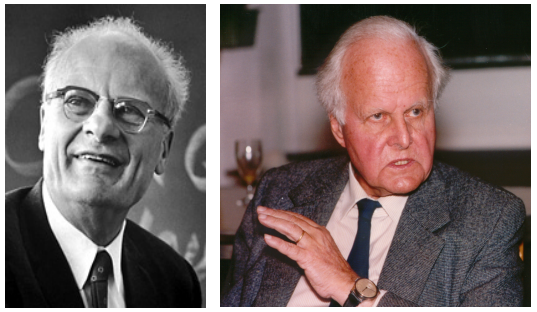


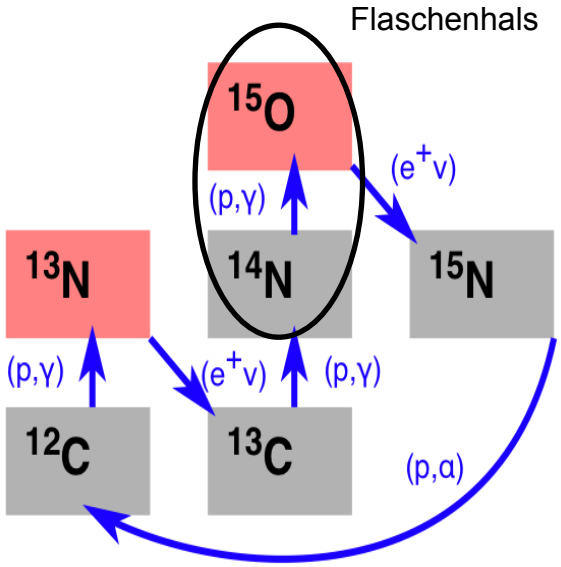
Rolfs/Rodney, Cauldrons in the Cosmos, 1988

Uran-Isotopenverhältnisse



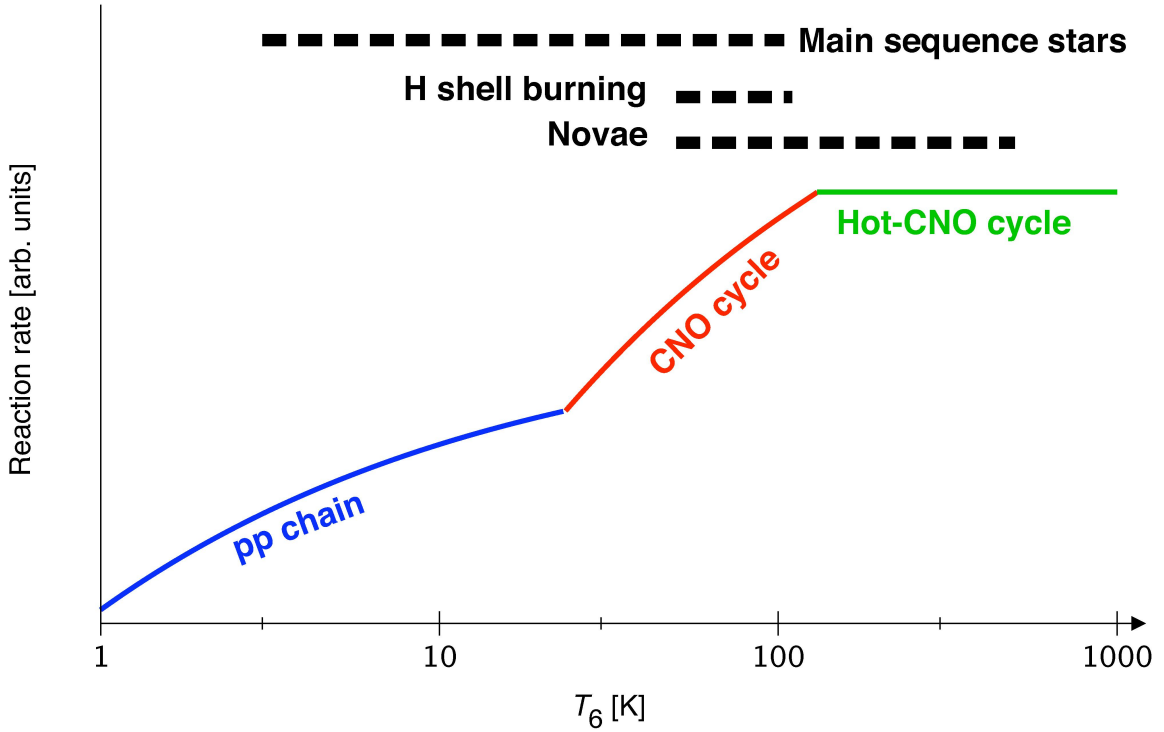
Wasserstoffbrennen: Bethe-Weizsäcker-Zyklus (CNO-Zyklus)



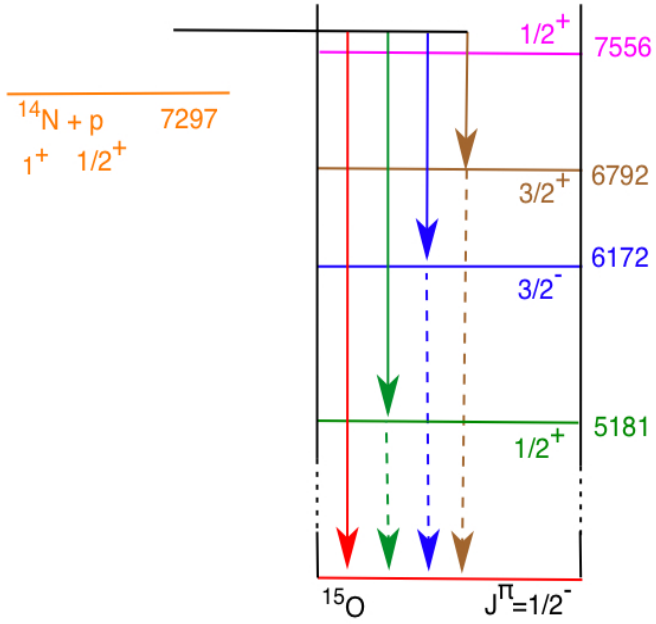


1938 postuliert

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



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



(75±5)%

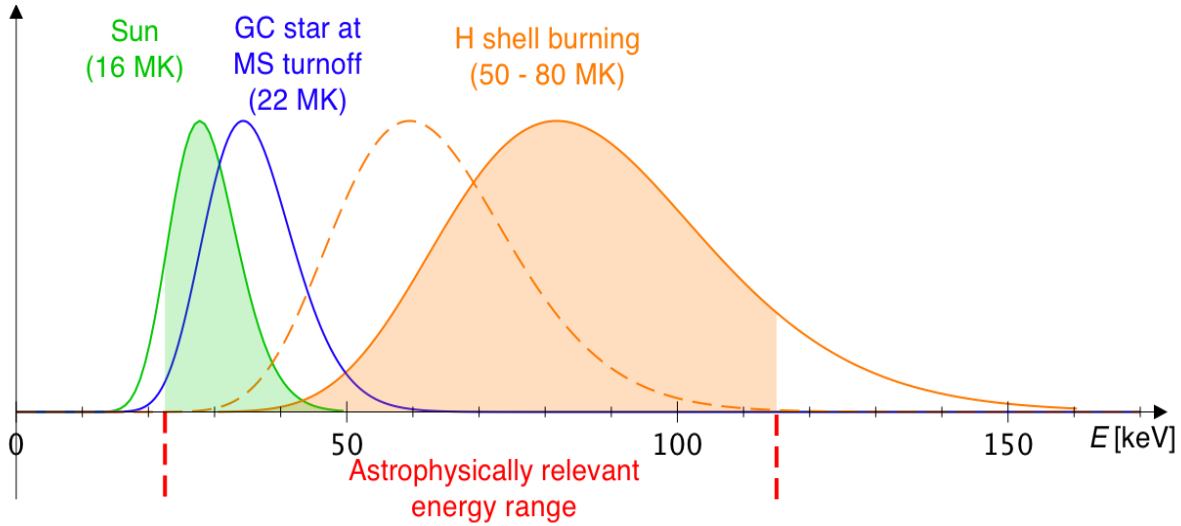
(5±1)%

(5±1)%

(15±15)%

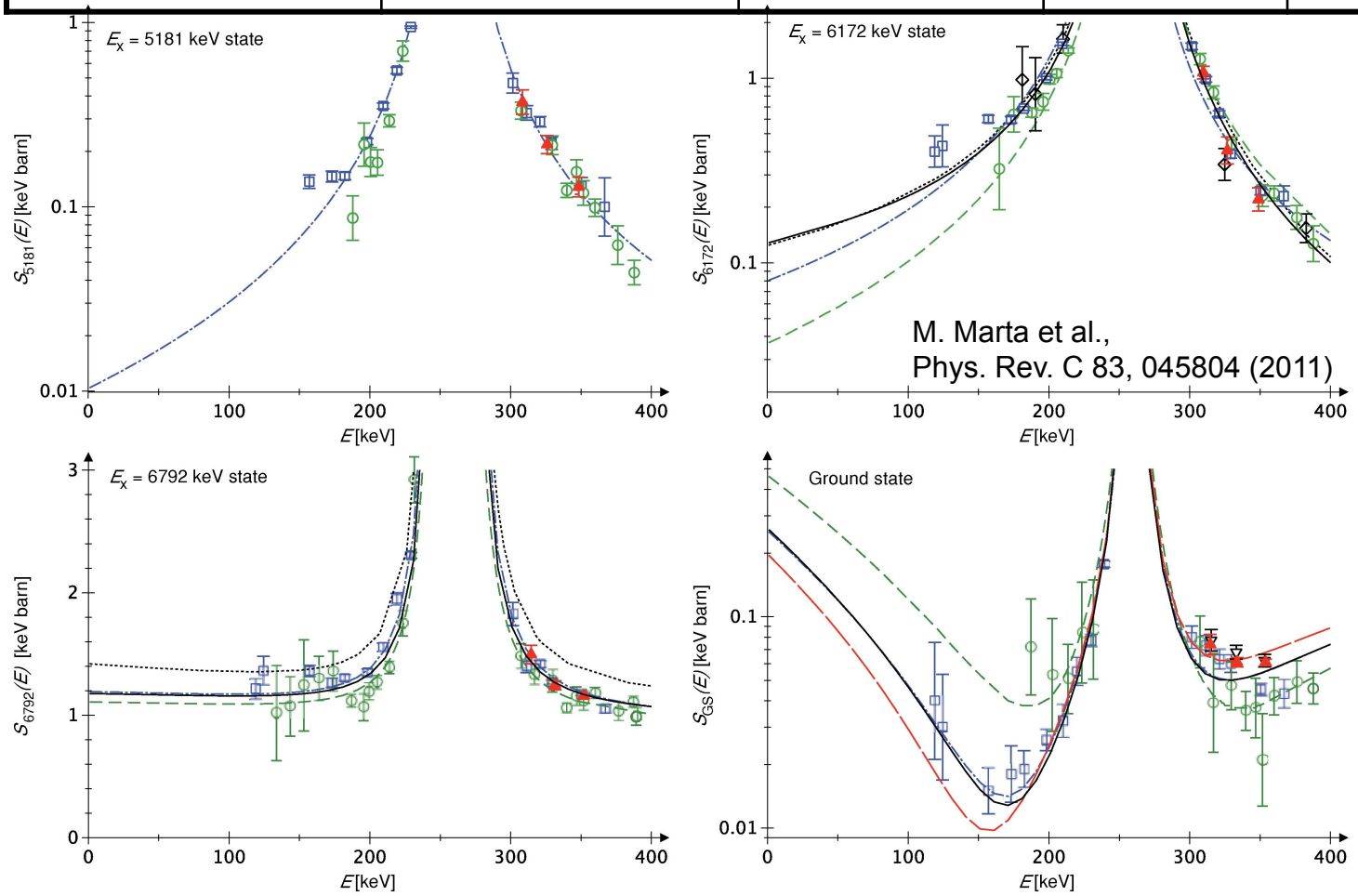
Zwei mögliche Ansätze für Experimente

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

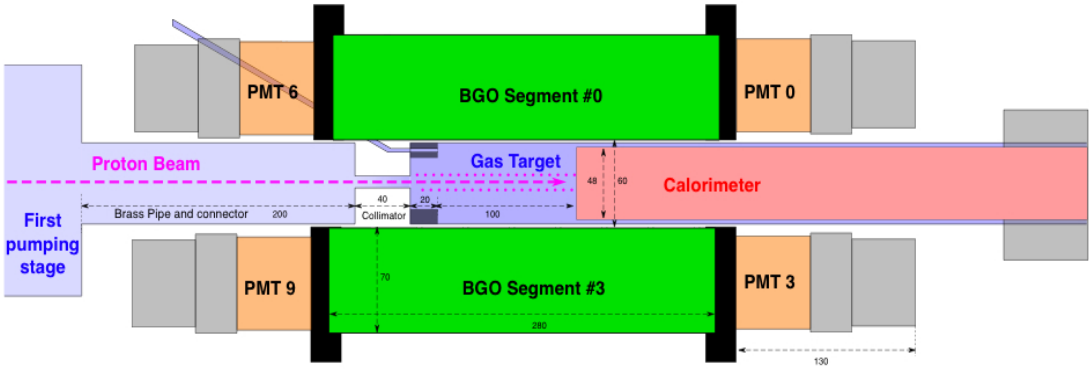


LUNA halbierte den $^{14}N(p,\gamma)^{15}O$-Wirkungsquerschnitt!

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)

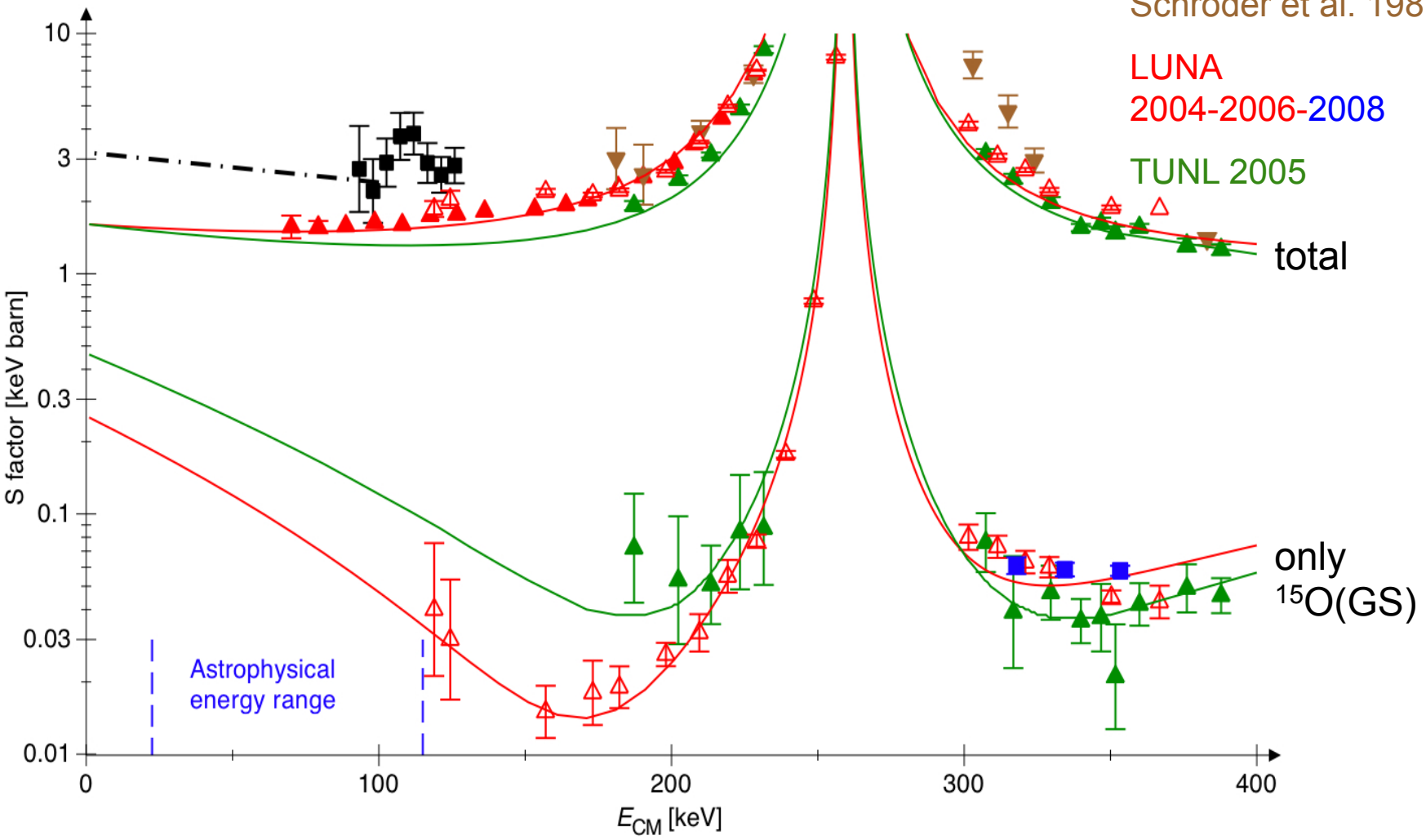


$^{14}N(p,\gamma)^{15}O$, Messung aller Übergänge mit einem Summendetektor

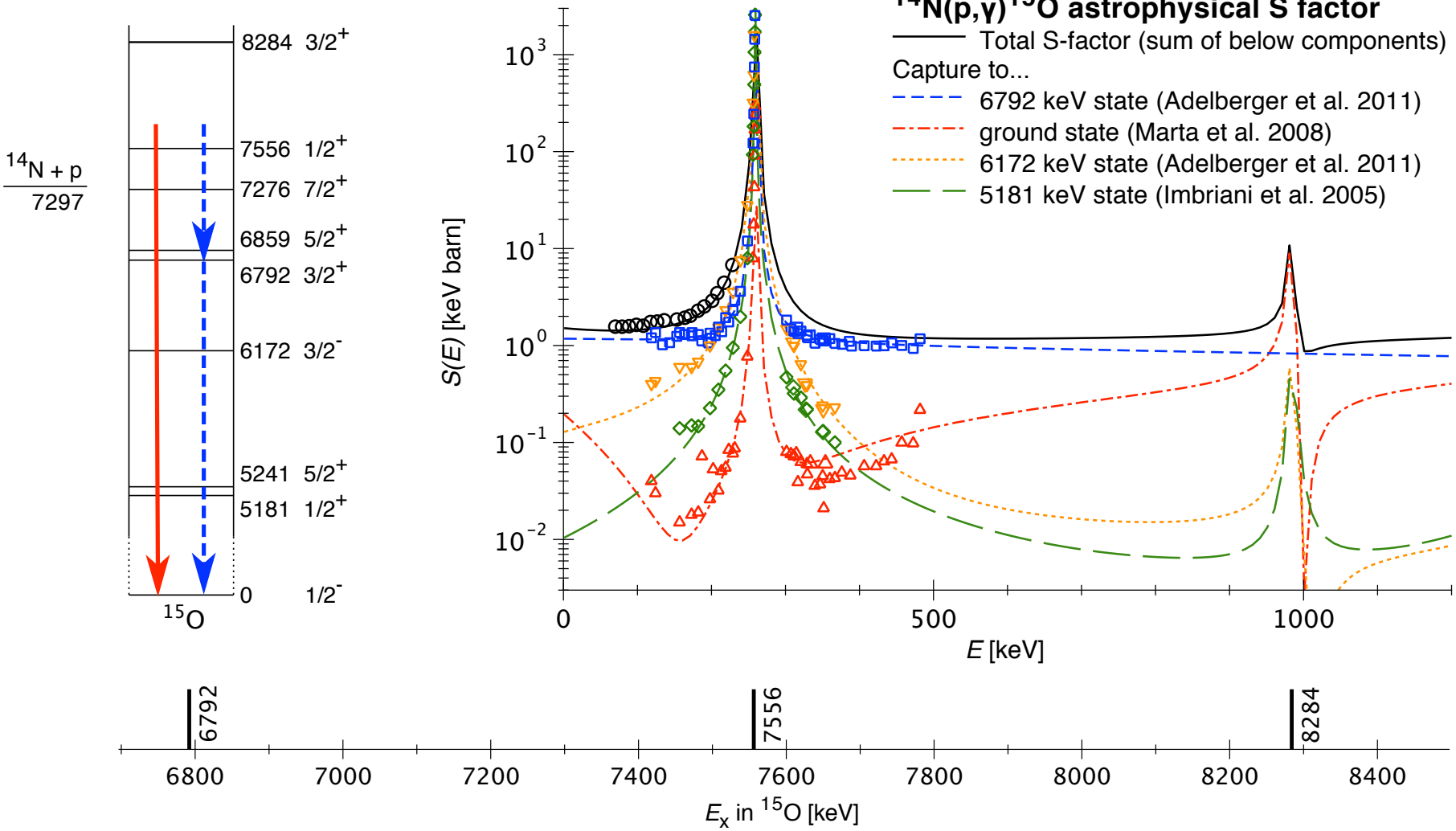


4π BGO summing crystal

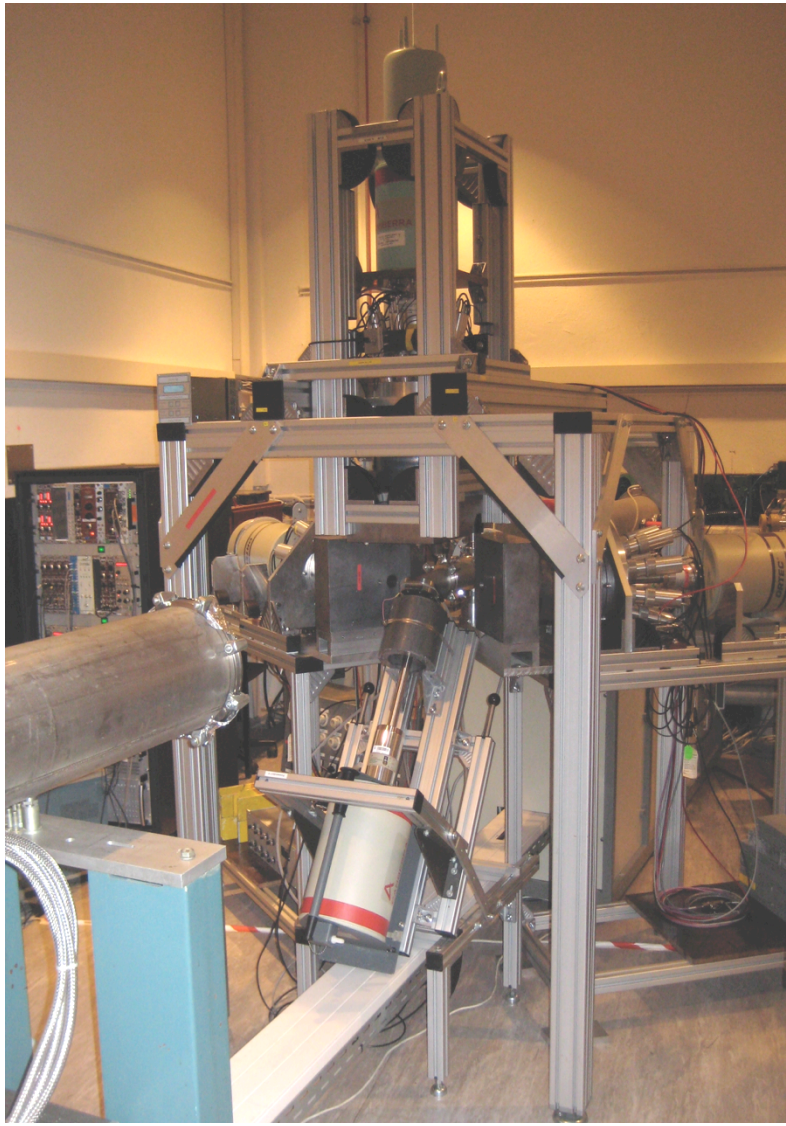
Gesamter S-Faktor von $^{14}N(p,\gamma)^{15}O$



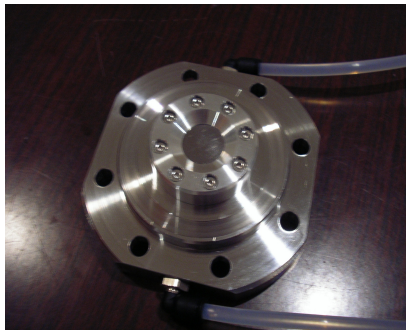
Gesamter S-Faktor von $^{14}N(p,\gamma)^{15}O$, über einen weiten Energiebereich

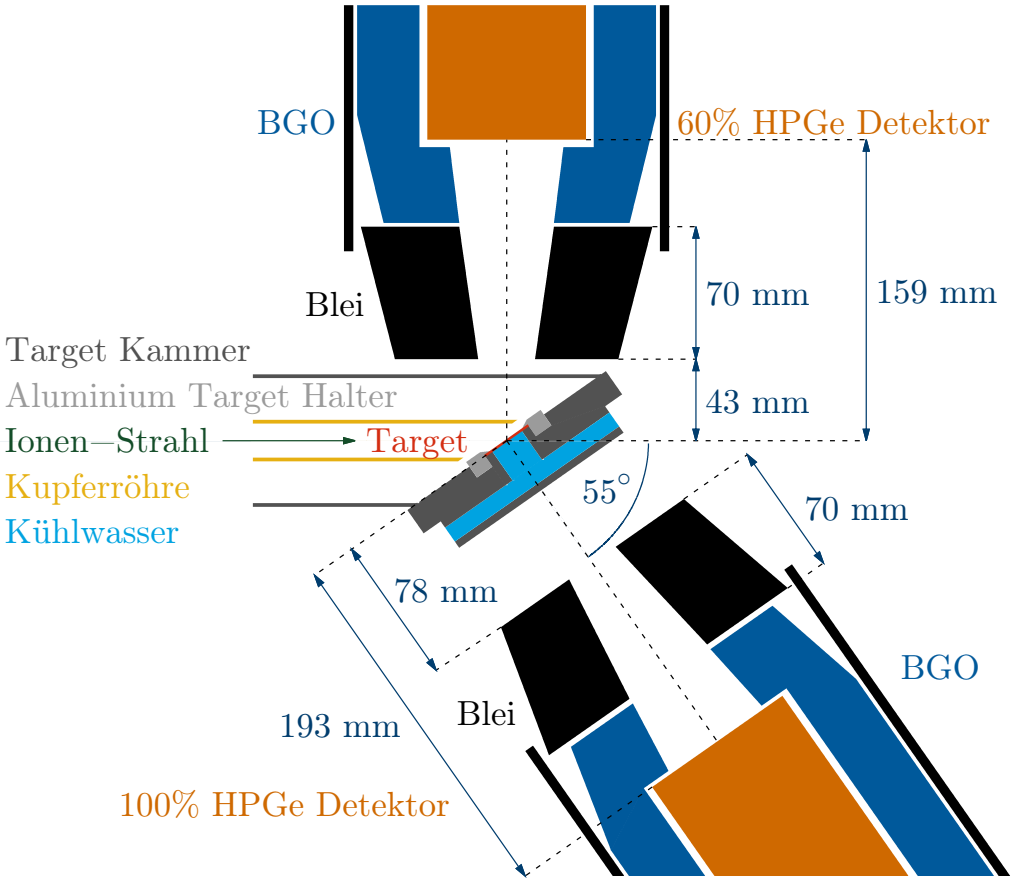


Versuchsaufbau am HZDR Tandetron, Dresden

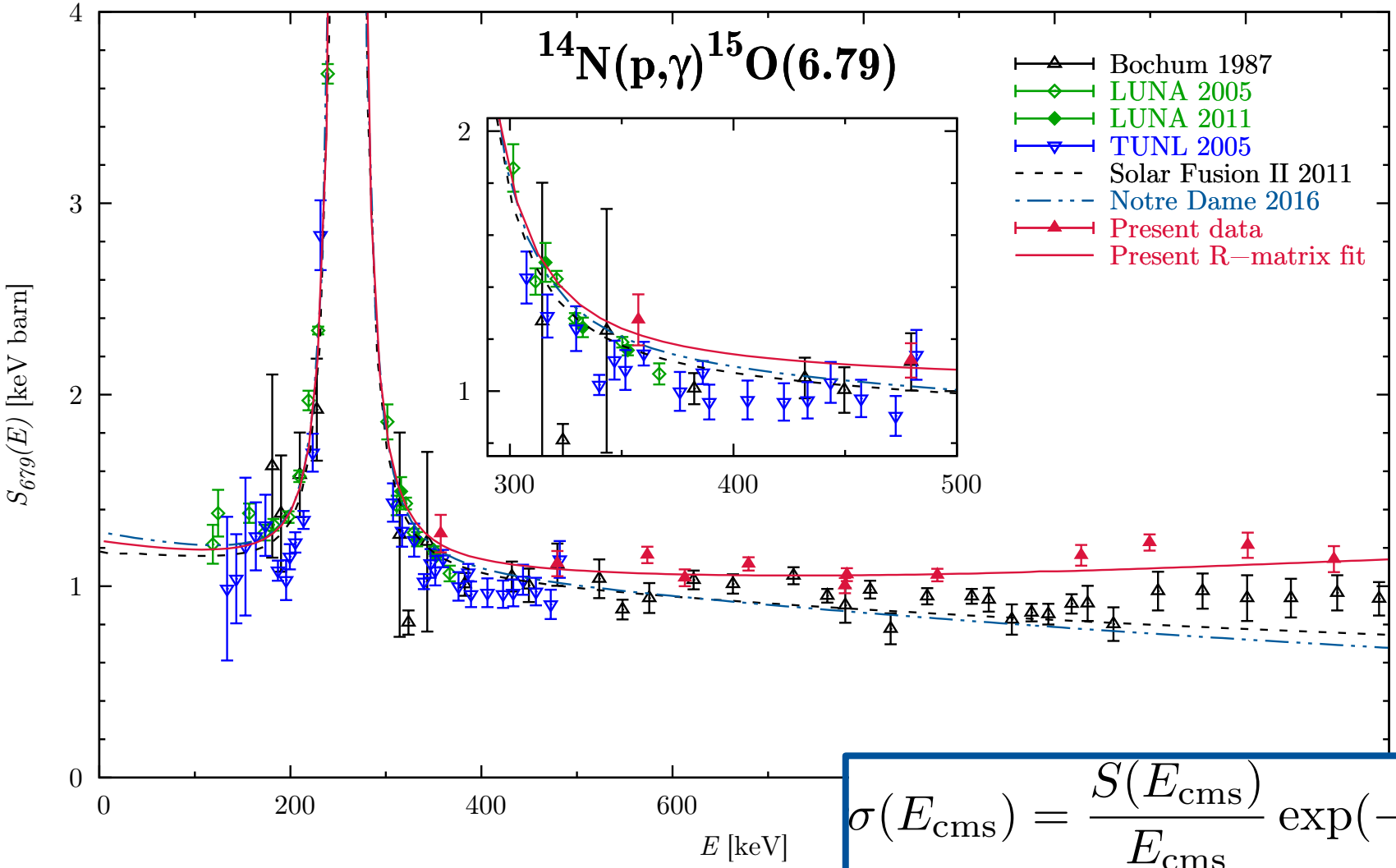


Detektoren und Targets





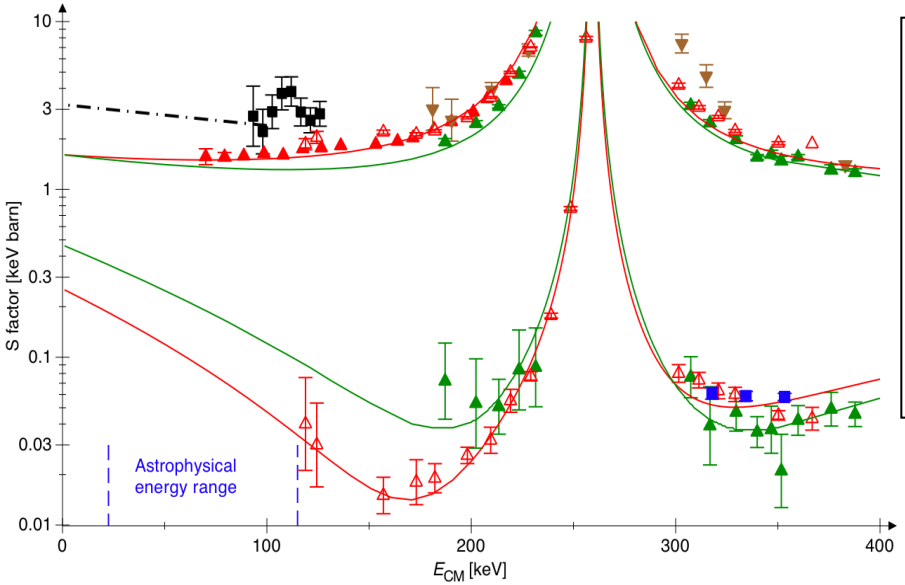
Wirkungsquerschnitt (als S-Faktor) der $^{14}N(p,\gamma)^{15}O(6.79\ MeV)$-Reaktion



$$\sigma(E_{\mathrm{cms}}) = \frac{S(E_{\mathrm{cms}})}{E_{\mathrm{cms}}} \exp(-2\pi\eta)$$

$$-2\pi\eta = -\frac{2\pi}{\hbar}\sqrt{\frac{m}{2E_{\mathrm{cms}}}} Z_0 Z_1 e^2$$

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



$^{14}N(p,\gamma)^{15}O$ 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)

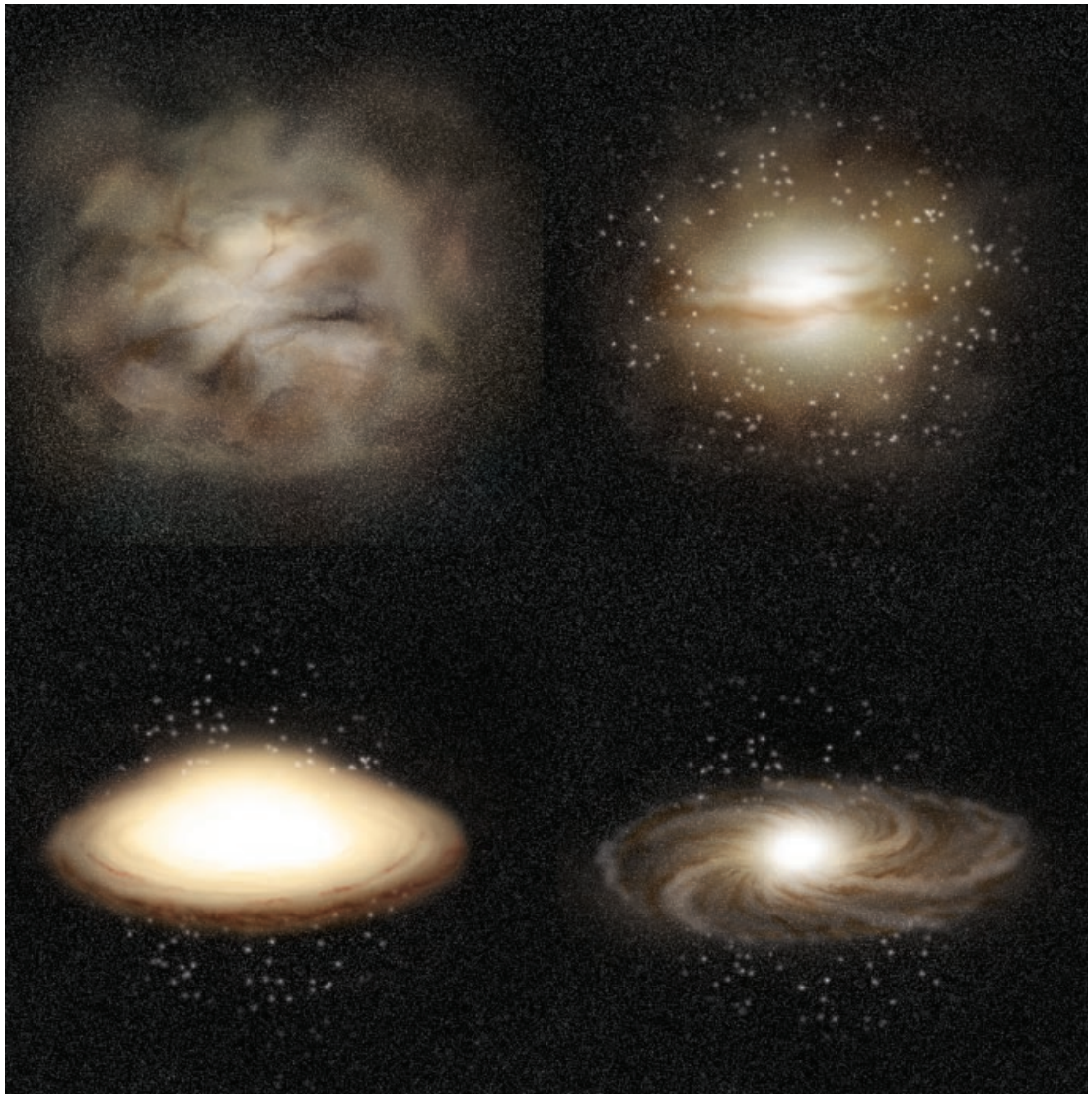
S(0) = 3.2 keV barn (1998)
→ 1.72±0.12 keV barn (2009)

1. Unabhängige untere Schranke für das Alter des Universums: 14±2 Ga.

2. Bessere Reproduktion der Kohlenstoffhäufigkeiten in Roten Riesen.

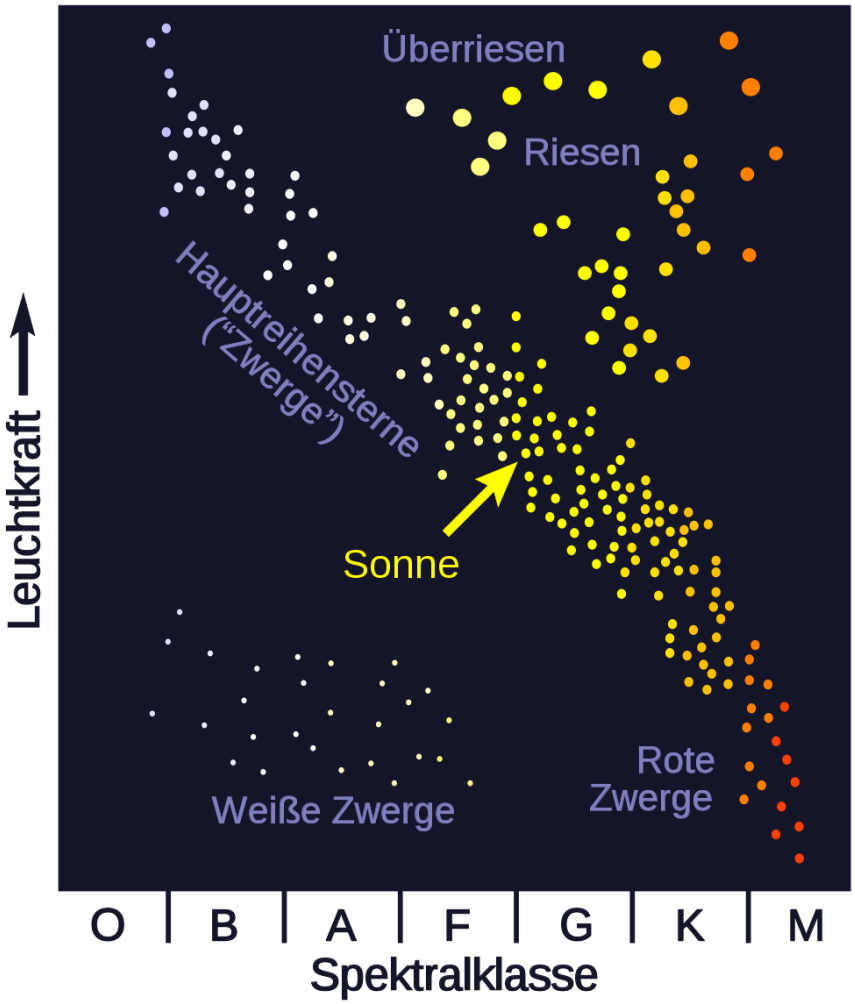
3. Es ist möglich, den Stickstoffgehalt im Kern der Sonne über die emittierten CNO-Neutrinos zu bestimmen.

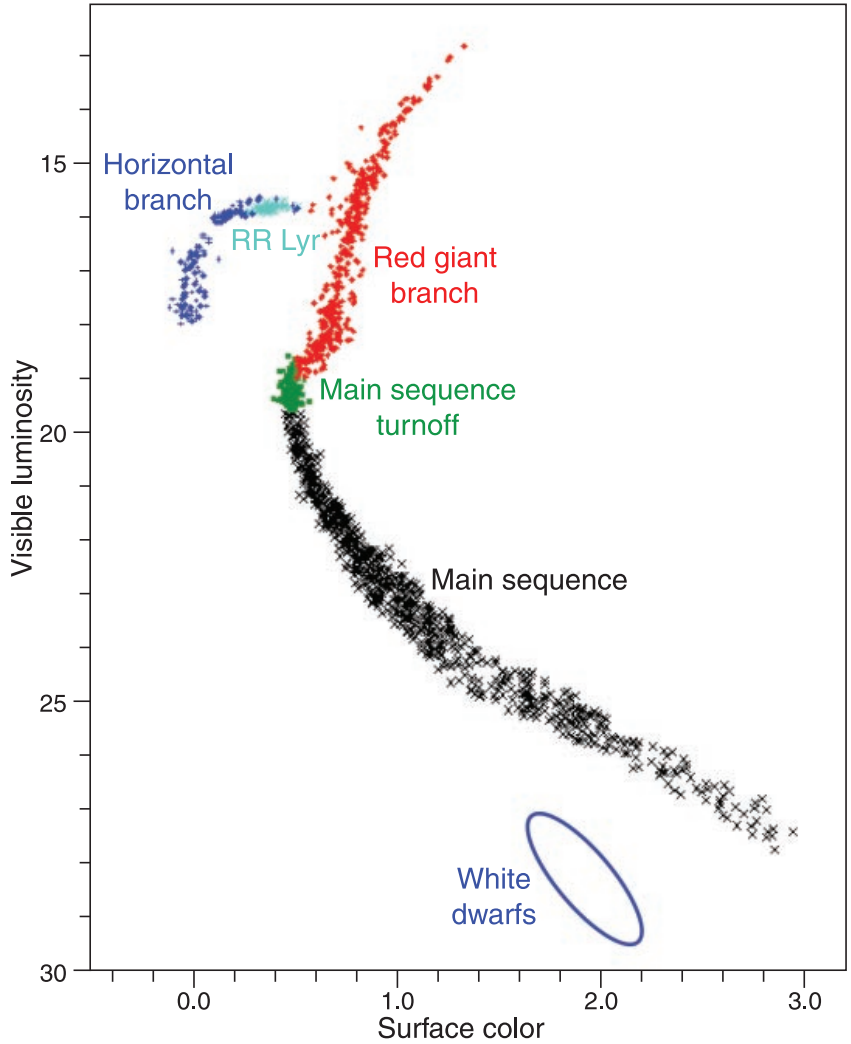
Altersbestimmung sehr alter Sterne (in Kugelsternhaufen)



Krauss & Chaboyer (2003)

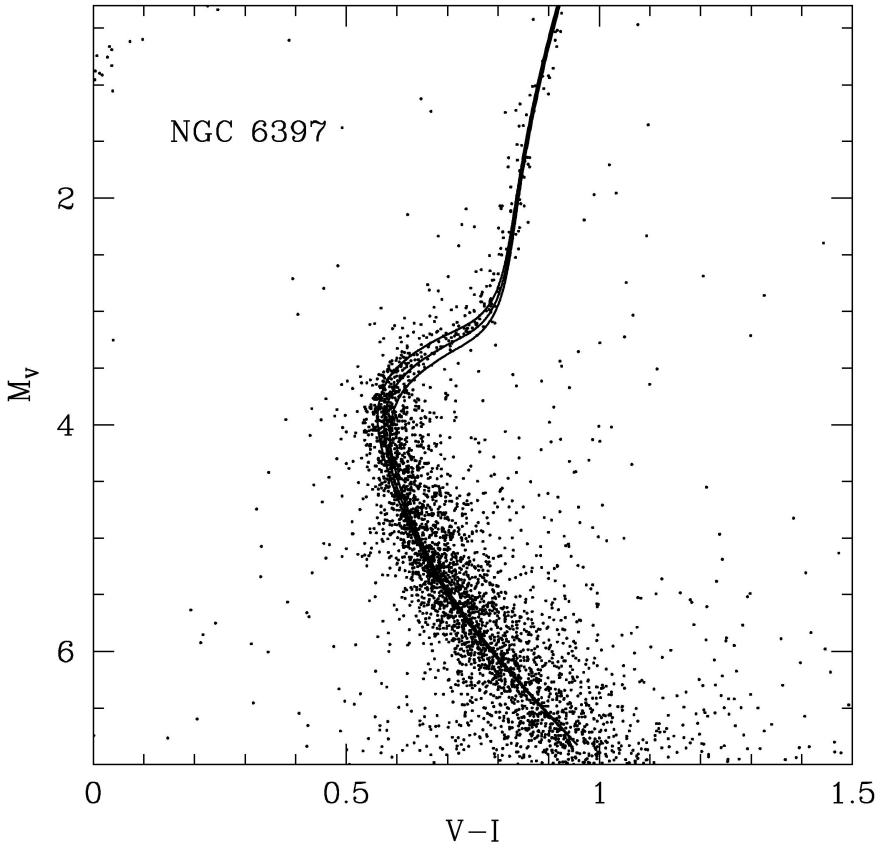
Altersbestimmung sehr alter Sterne (in Kugelsternhaufen)



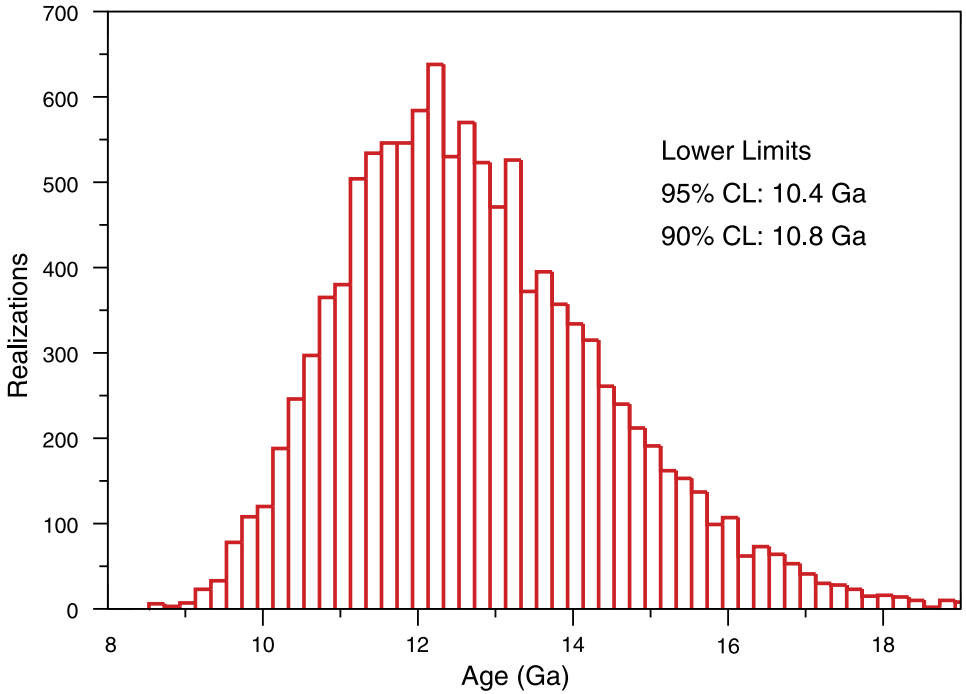


→ Hertzsprung-Russel-Diagramm, Abzweigen von der Hauptreihe Krauss & Chaboyer (2003)

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