Astroteilchenphysik und Kosmologie

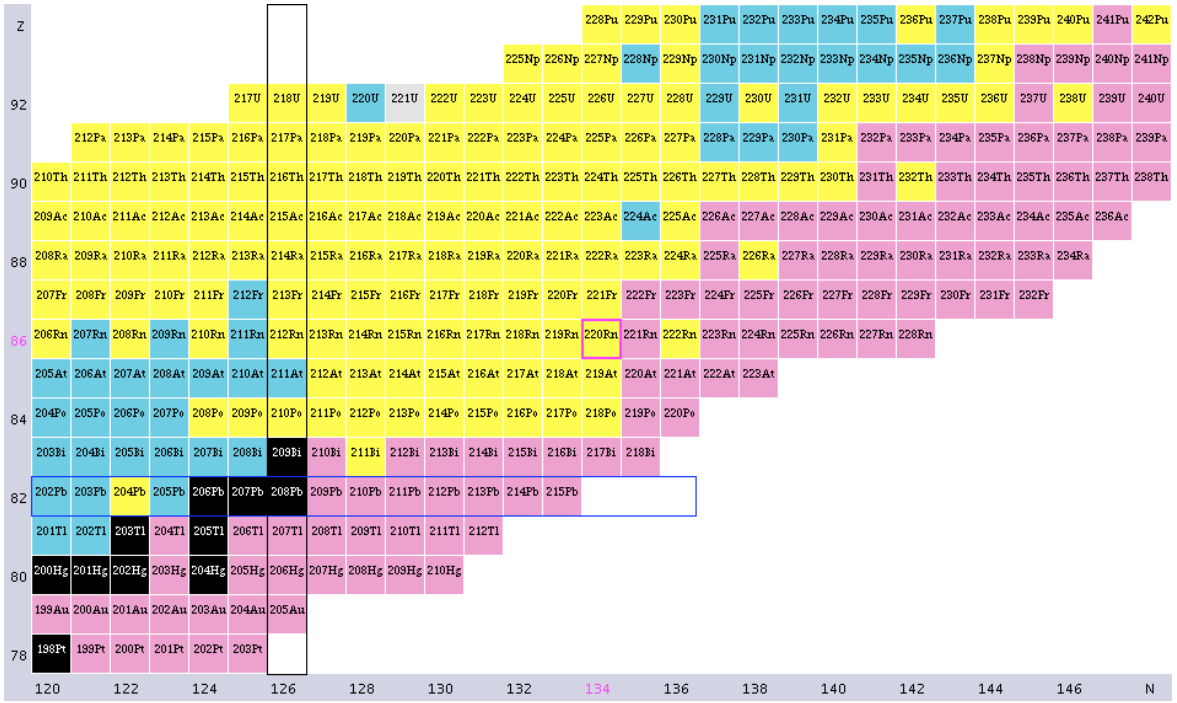
Prof. Dr. B. Kämpfer und Dr. D. Bemmerer

- Kernphysikalische Grundbegriffe zur Elemententstehung
- Entstehung chemischer Elemente im Urknall und durch kosmische Strahlen
- Teilchenphysik in Sternen (heute)
- Boten aus dem All: Neutrinos von **Supernovae** und aus der Sonne
- Kosmische Teilchenbeschleuniger – schneller als der CERN-LHC
- Urknall und kosmologische Inflation
- Dunkel-Energie und Dunkel-Materie als wichtig(st)e Materieformen im Universum
- Kosmische Teilchen und das Standardmodell
- Weltmodelle und Alternativen

7. Vorlesung, TU Dresden 31.05.2010

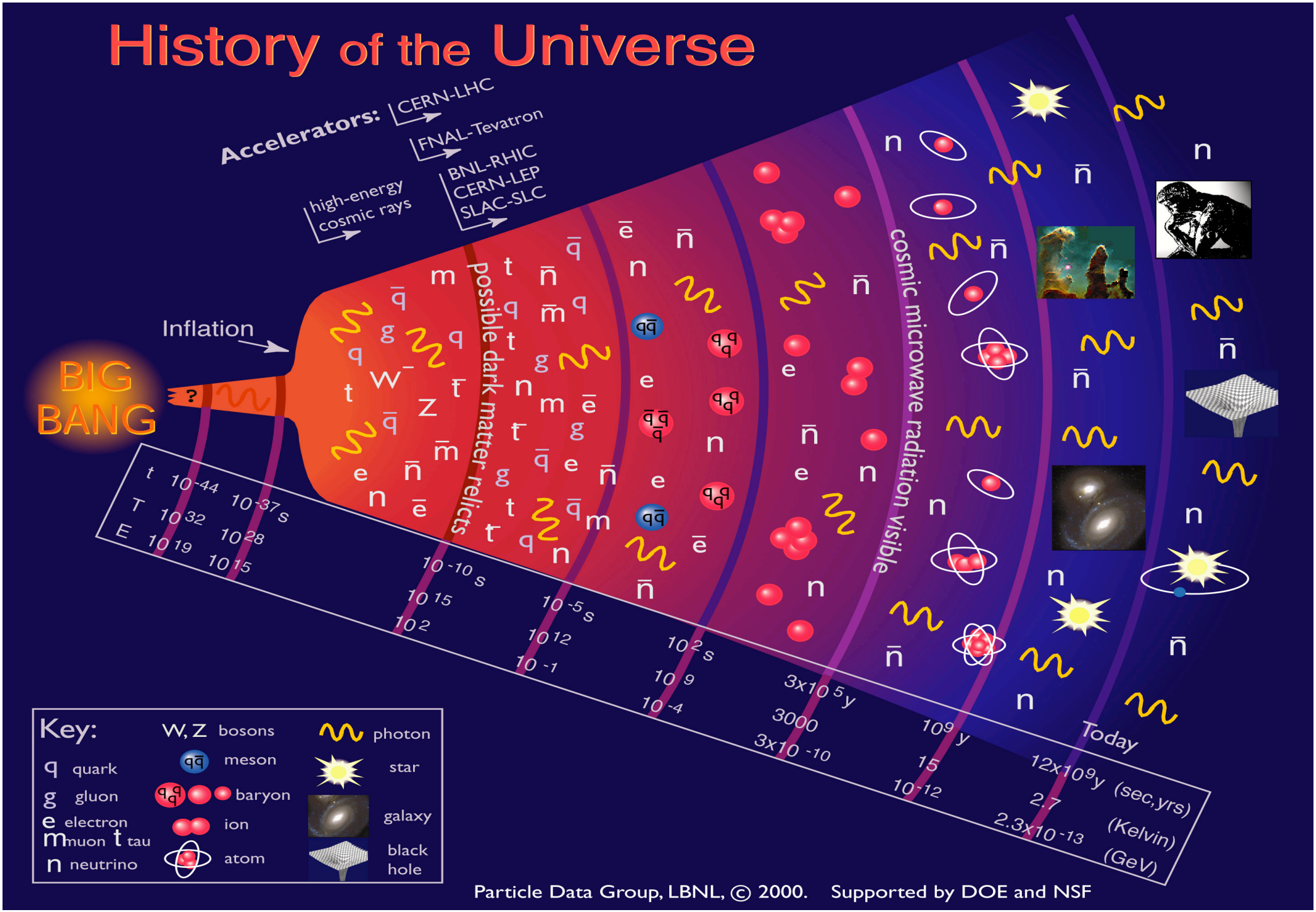
Zusammenfassung der 6. VL (letzte Woche)

- Entstehung von Elementen durch Neutroneneinfang
  - s-Prozess
  - r-Prozess

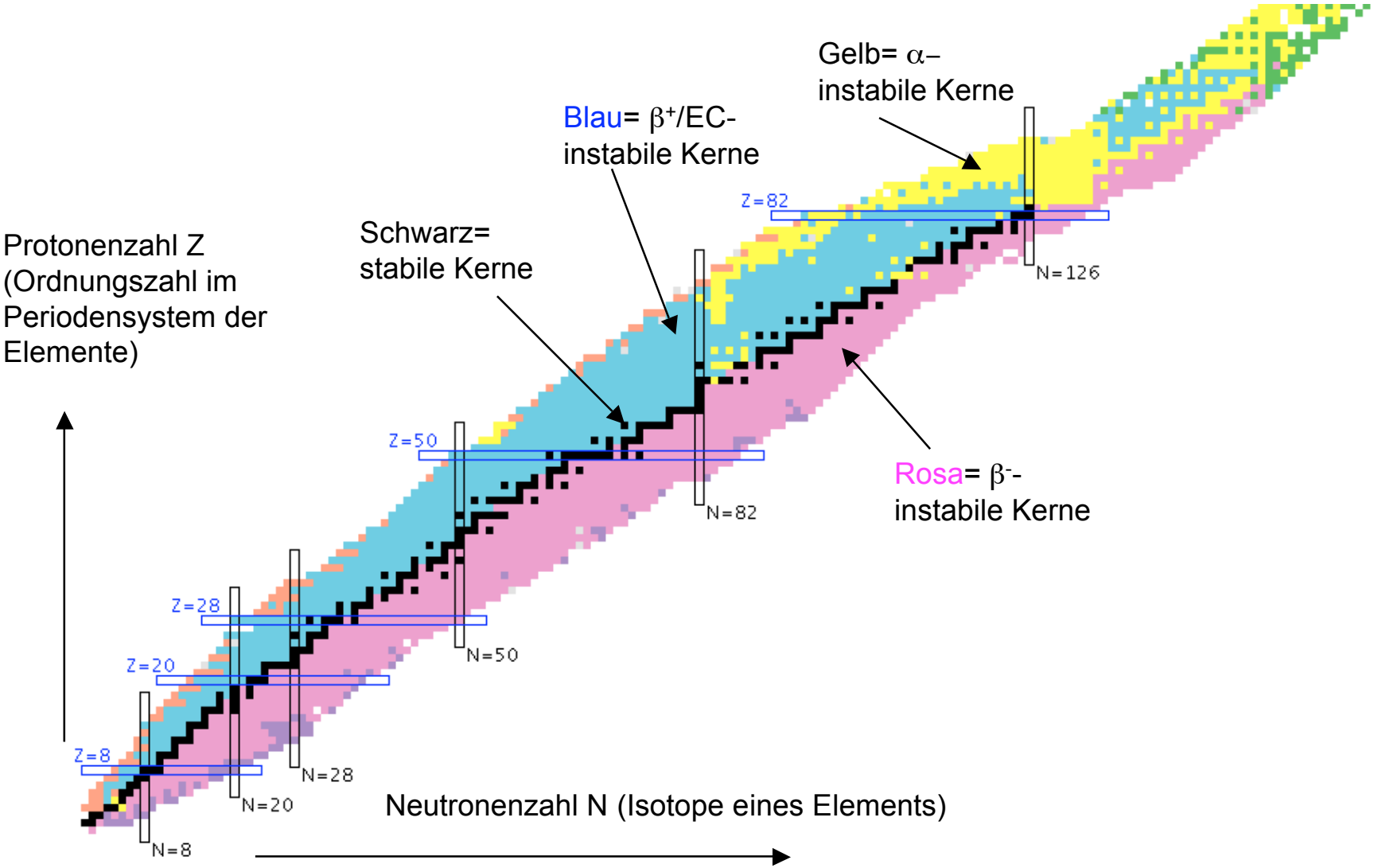


Heute

- Supernovae
- core collapse - Supernovae
- Thermonukleare Supernovae (Typ Ia)
- Entfernungsmessung im Universum
- Altersmessung des Universums

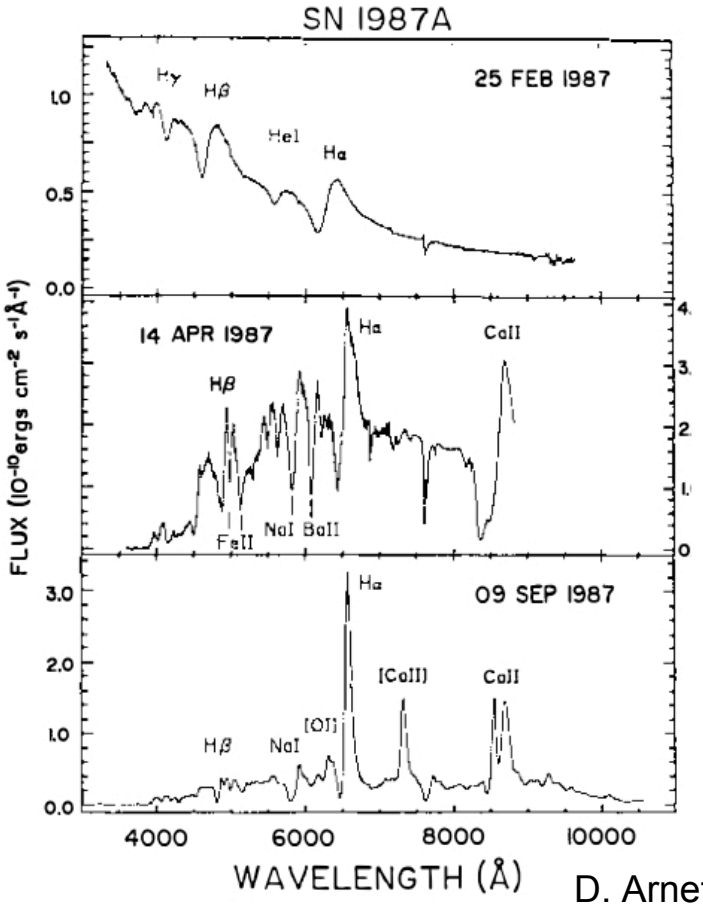

History of the Universe
Accelerators:
CERN-LHC
FNAL-Tevatron
BNL-RHIC
CERN-LEP
SLAC-SLC
high-energy cosmic rays
Inflation
BIG BANG
?
possible dark matter relicts
cosmic microwave radiation visible
t 10-44 10-37 s
T 10 32 10 28
E 10 19 10 15
10 -10 s
10 15
10 2
10 -5 s
10 12
10 -1
10 2 s
10 9
10 -4
3x10 5 y
3000
3x10 -10
10 9 y
15
10 -12
12x10 9 y (sec,yrs)
2.7 (Kelvin)
2.3x10 -13 (GeV)
Today
Key:
q quark
g gluon
e electron
m muon t tau
n neutrino
W, Z bosons
meson
baryon
ion
atom
photon
star
galaxy
black hole
Particle Data Group, LBNL, © 2000. Supported by DOE and NSF

Nuklidkarte

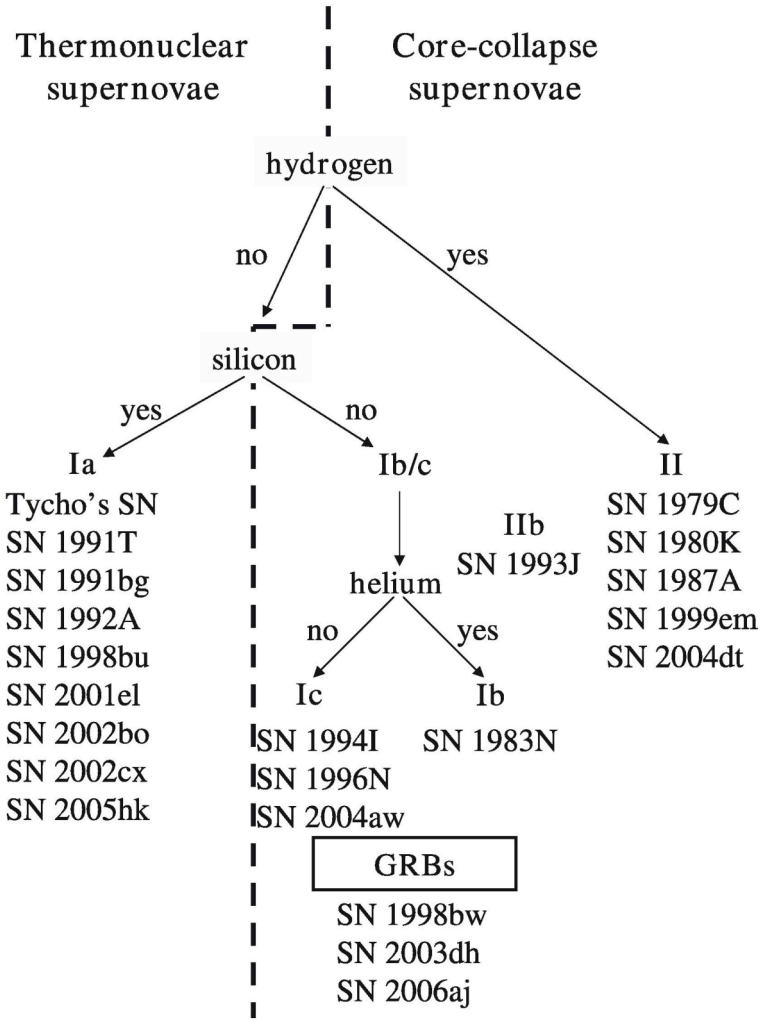


Supernovae: Klassifizierung

- Klassifizierung anhand der Spektallinien
- Wasserstoff aus äußerster Zwiebelschale oder nicht?



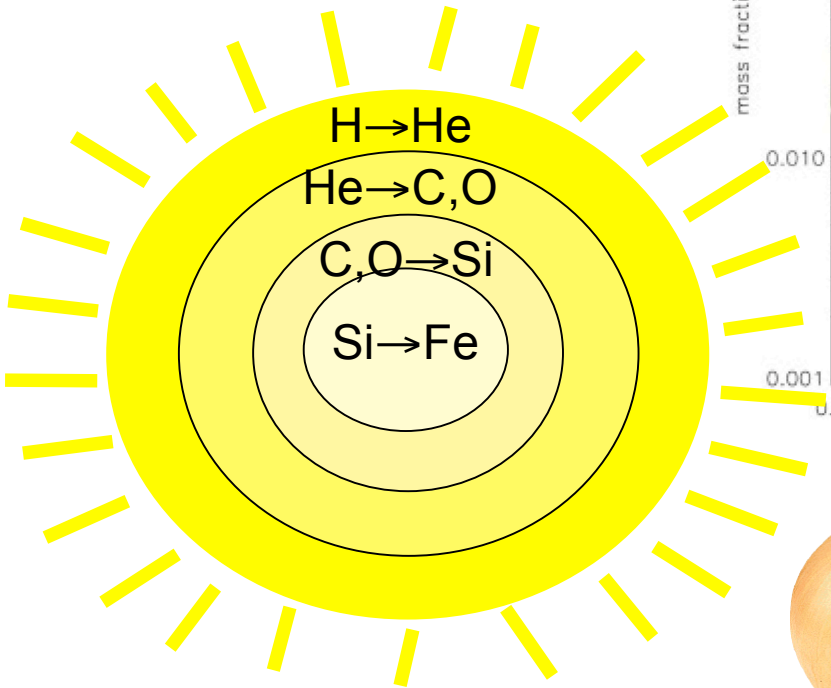
D. Arnett et al.

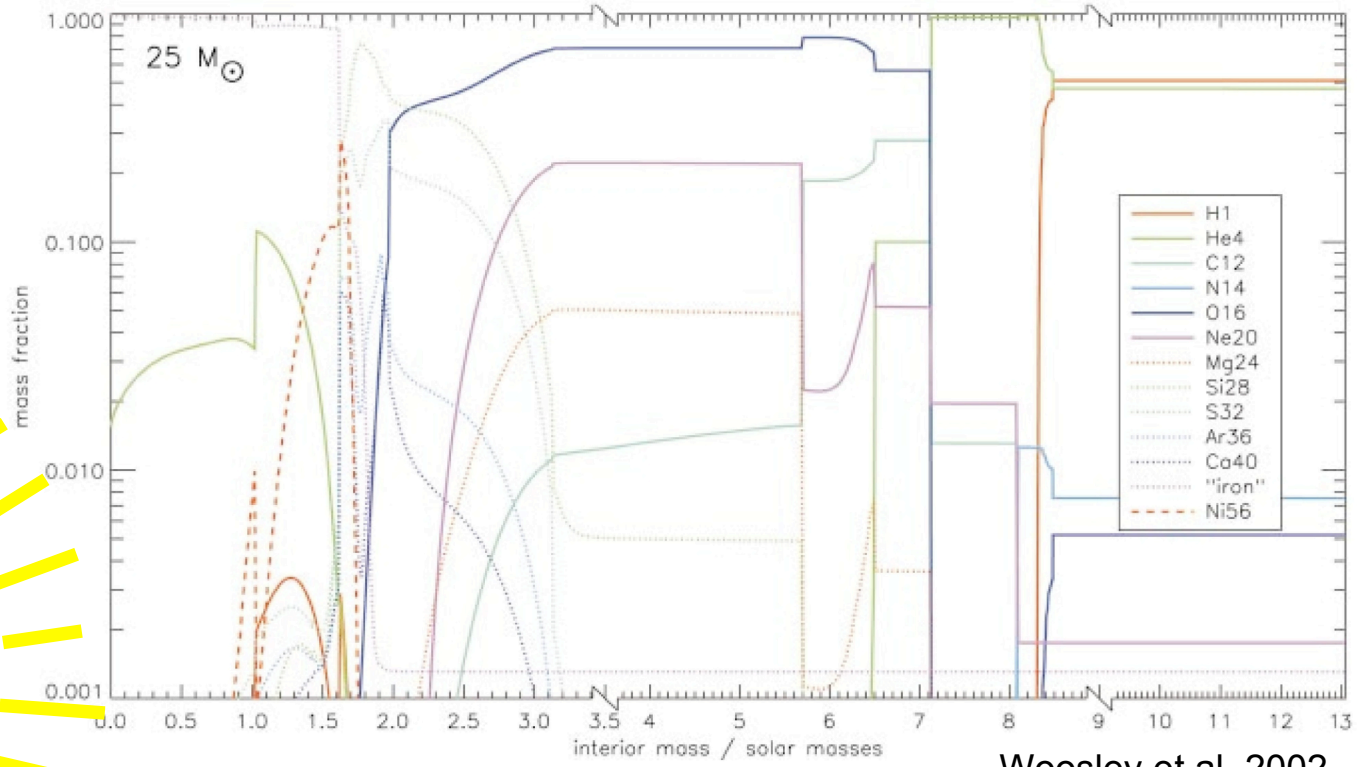


B. Leibundgut

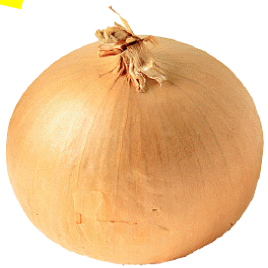
core collapse - Supernova: SN 1987A

- Massiver Stern
- Vor der Explosion Schalenbrennen





Woosley et al. 2002



Entfernungsmessung im Universum

- Gehören nahe beieinander erscheinende Sterne zusammen?
- Wie groß ist unser Universum?
- Was ist die Zukunft des Universums?

Zwei prinzipielle Verfahren zur Bestimmung der Entfernung d

1. Parallaxe, geeignet für ≤ 10^3 Lichtjahre

   Beobachtung des Sterns von zwei verschiedenen Orten aus,
   Bestimmung des Winkels α zwischen beiden Beobachtungen

$$d = \frac{1\,\mathrm{AU}}{\tan\alpha}$$

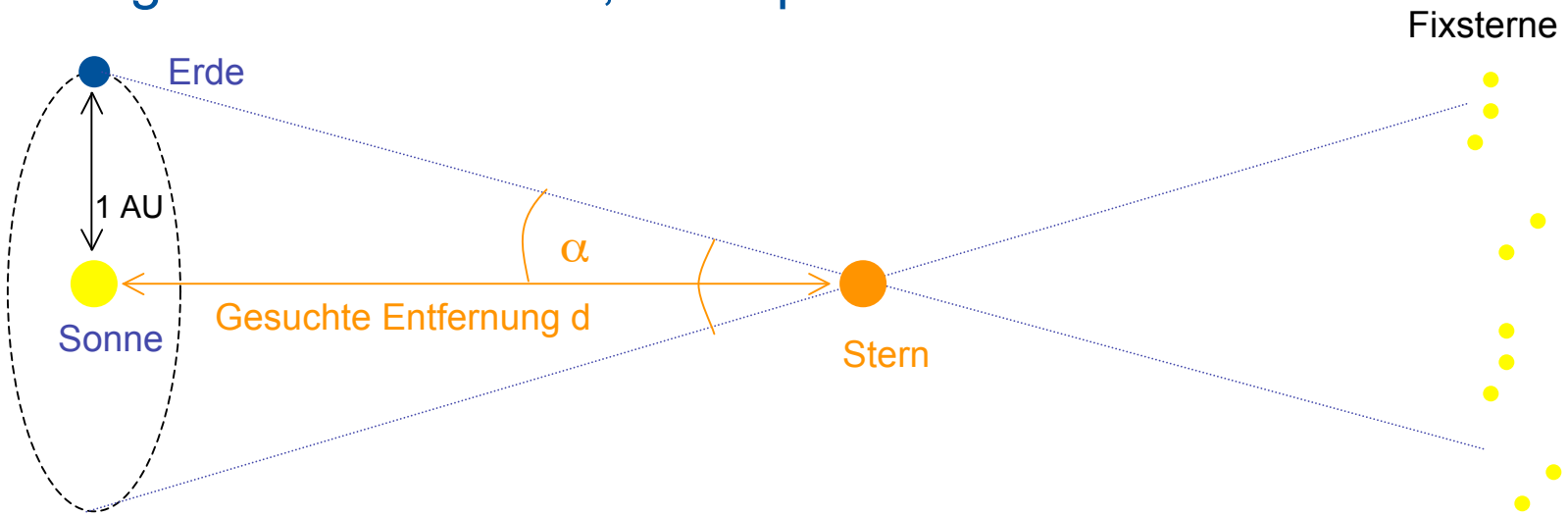
2. Standardkerze, geeignet für ≤ 10^{10} Lichtjahre

   Vergleich der beobachteten Helligkeit m des Sterns mit Standard M

$$d = 10\,\mathrm{pc} \cdot 10^{(m-M)/5}$$

Entfernungsmessung mittels Parallaxe, Prinzip

Mittlerer Erdbahnradius = 1 AU (astronomical unit)



$$d = \frac{1\,\mathrm{AU}}{\tan\alpha}$$

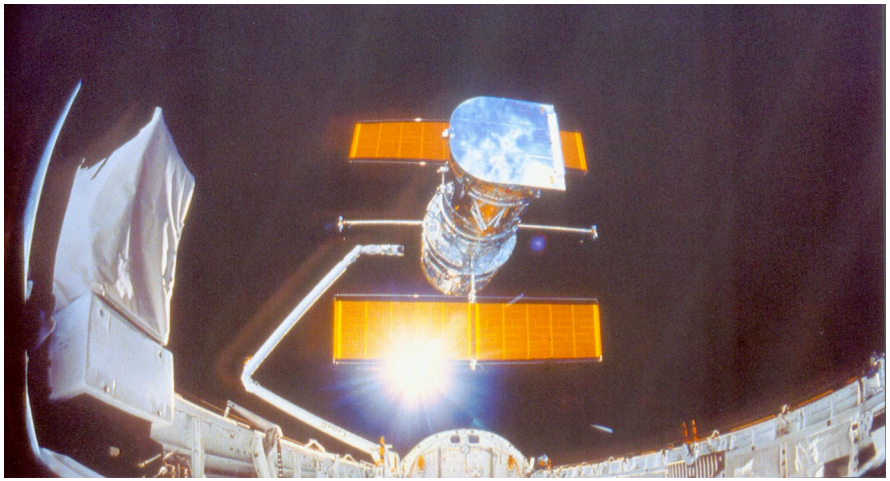
- Gute Winkelauflösung vonnöten
- Lange Basislinie hilft (→säkulare Parallaxe)
- Definition der Längeneinheit parsec (pc, Parallaxsekunde):
  1 pc = 1 AU / tan 1'' (Bogensekunde) = 2.06 * 10^5 AU = 3.26 Lichtjahre
- 1838 von Bessel auf 61 Cyg angewendet: α = 0.314''
  d = 1 / 0.314 pc = 3.18 pc = 10.4 Lichtjahre

Bestimmung der Entfernung des 61sten Sterns des Schwans.

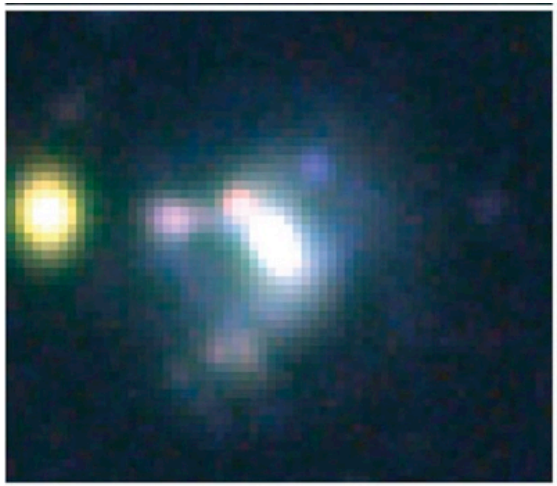
Von Herrn Geheimen-Rath und Ritter *Bessel*.

Als es *Bradley* gelungen war, seine Beobachtungen in *Kew* und *Wansted*, welche die Entdeckungen der Aberration und ist nicht zu bezweifeln; allein wenn eine Untersuchung über die jährliche Parallaxe eines Fixsterns unternommen werden soll,

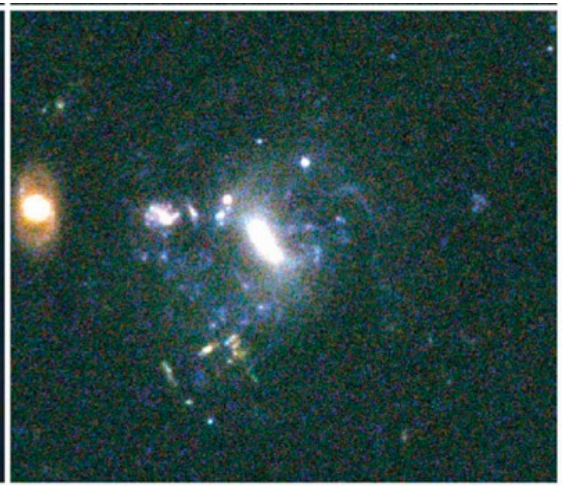
Entfernungsmessung mittels Parallaxe, moderne Anwendung



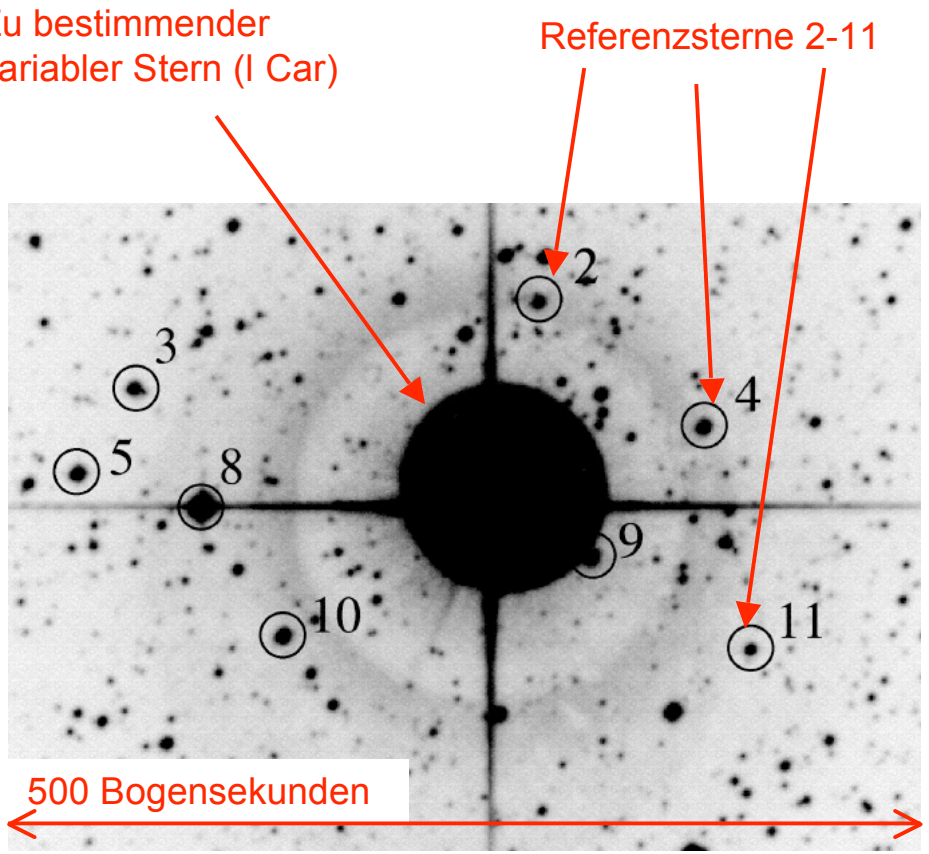
Parallaxenmessungen mit Hubble Space Telescope,
auf 10^{-4} Bogensekunden genau:
G. Benedict et al., Astron. J. 133, 1810 (2007)



Erdgestützt (8 m)

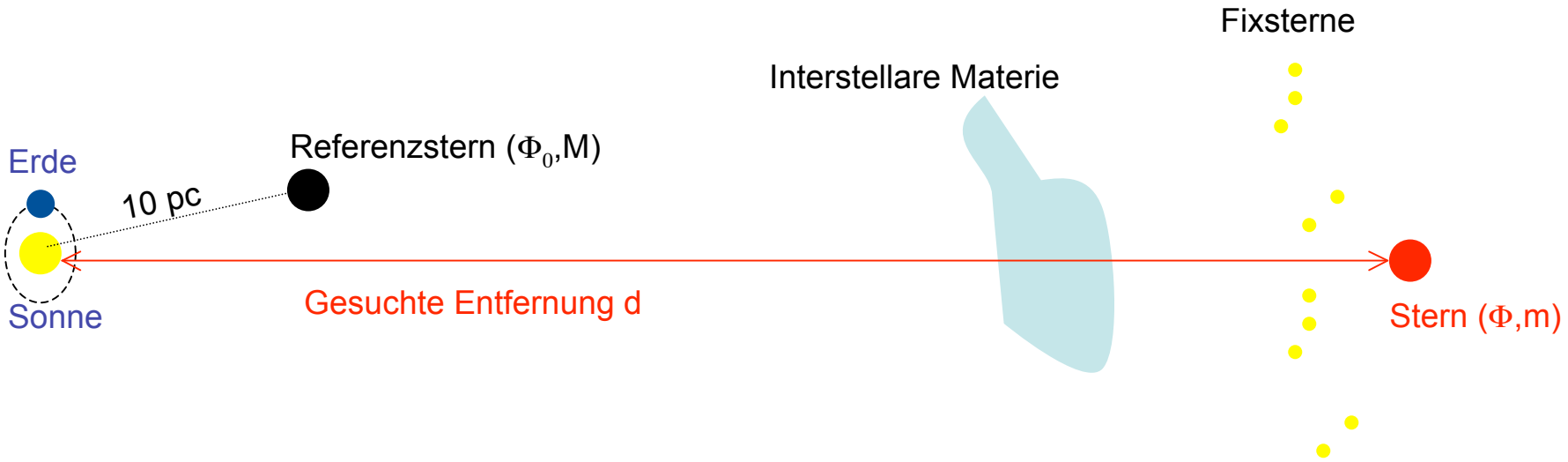


Hubble-Satellit (2.4 m)



Karte aus Digital Sky Survey (nur zur Illustration)

Entfernungsmessung mittels Standardkerze: Prinzip



- Quadratisches Abstandsgesetz: $\Phi \sim d^{-2}$
- Helligkeit in Magnituden m: $m = -2.5 \log_{10}\Phi + C$
- Referenzstern in 10 pc Abstand: Fluss Φ_0, Helligkeit M

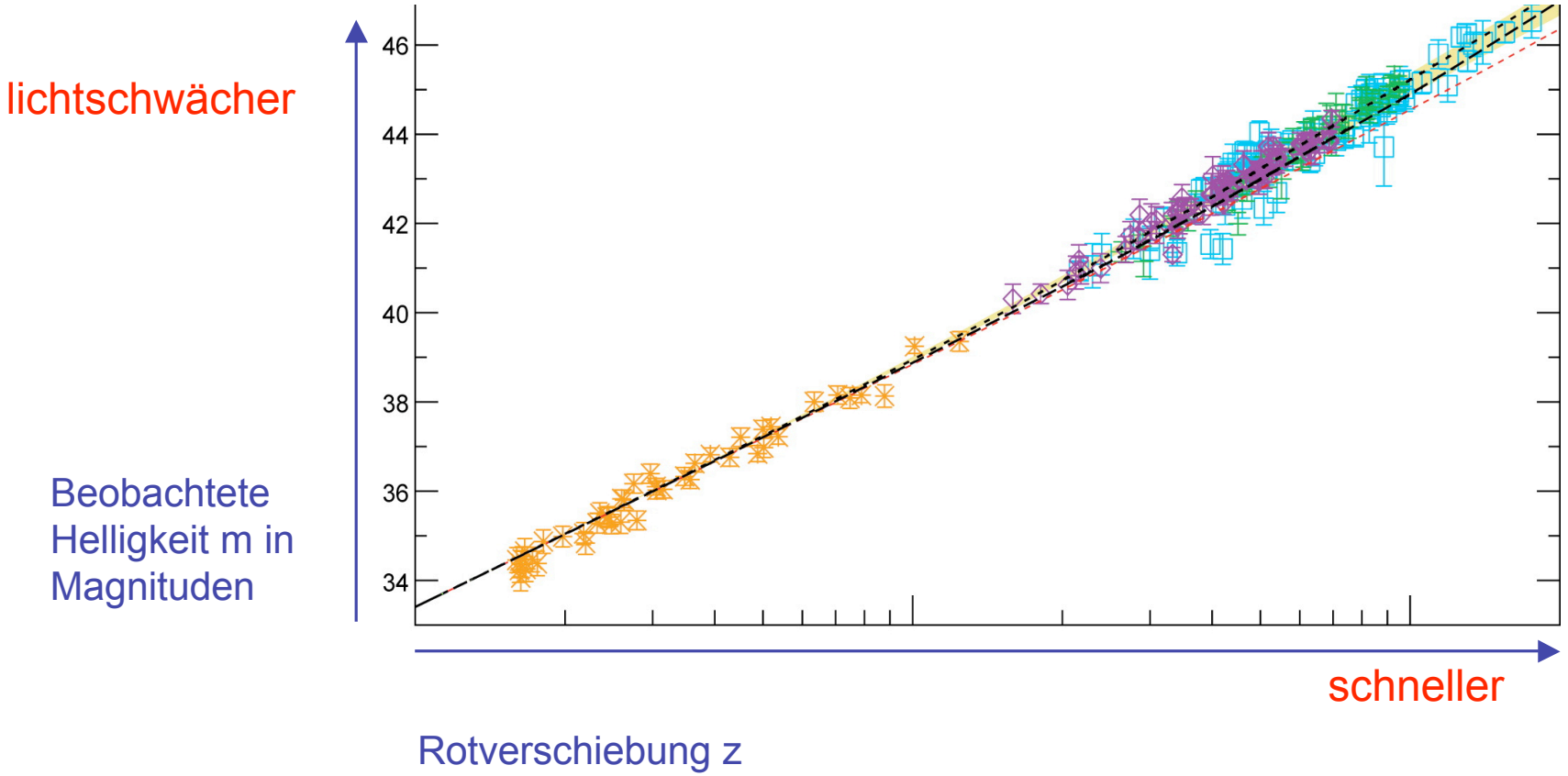
$$d = 10\,\mathrm{pc} \cdot 10^{(m-M)/5}$$

Standardkerzen mit empirischer Kalibrierung sind zum Beispiel:

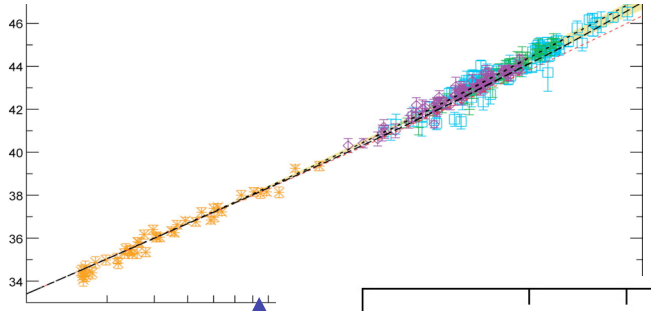
- Veränderliche Sterne (Cepheiden, M hängt linear von der Periode ab)
- Supernovae vom Typ Ia (Helligkeit M im Maximum hängt von der Form der Lichtkurve ab)

Entfernungsmessung mittels Standardkerze: Supernova Ia

- Supernova vom Typ Ia = Weißer Zwerg, der Material von einem Begleitstern ansaugt
- Explosives Kohlenstoff- und Sauerstoff-Brennen
- Sehr helle, recht häufig auftretende Ereignisse
- Referenzhelligkeit M empirisch kalibrierbar (durch Lichtkurve, Infrarotemission)



Entfernungsmessung und Kosmologie



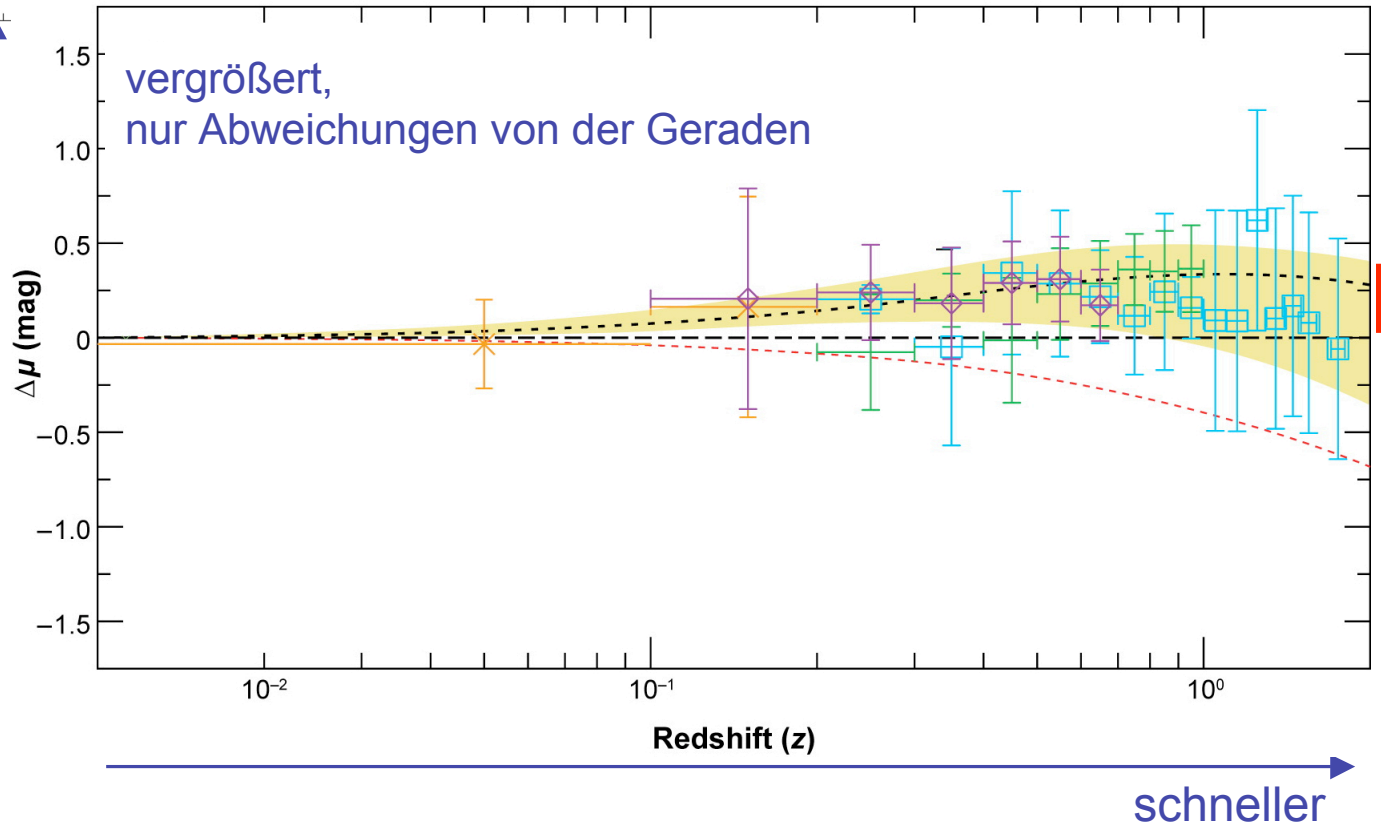
Weit entfernte Supernovae sind lichtschwächer als erwartet!

Evidenz für eine kosmologische Konstante $\Omega_\Lambda > 0$.

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

Licht-
schwächer

vergrößert,
nur Abweichungen von der Geraden



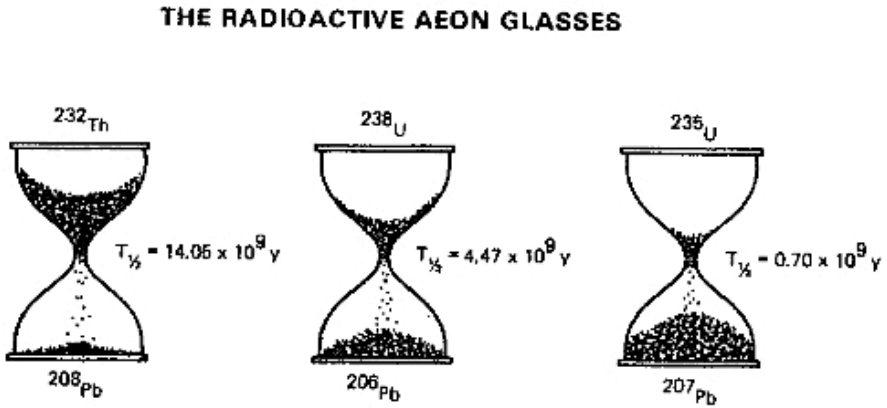
$\Omega_M=0.3$, $\Omega_\Lambda=0.7$

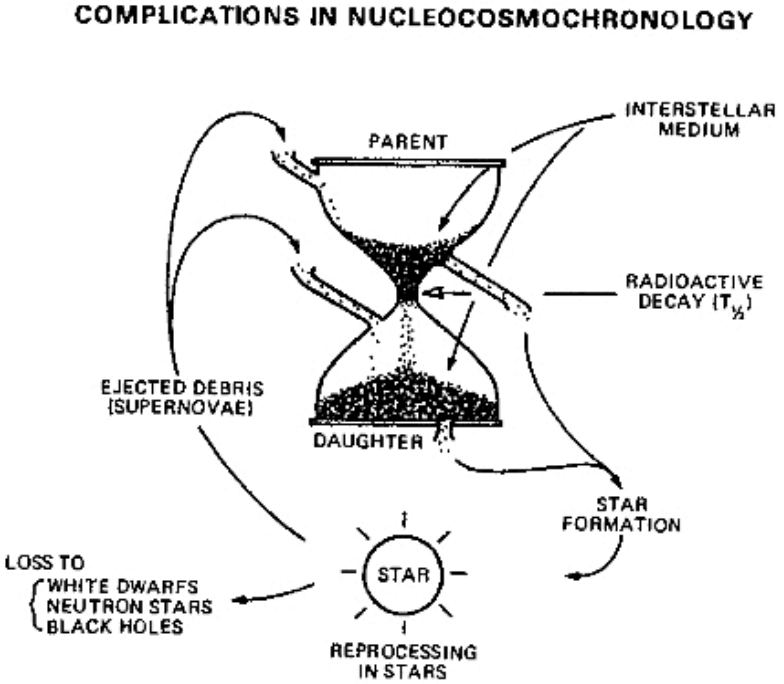
$\Omega_M=0.3$, $\Omega_\Lambda=0.0$

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

schneller

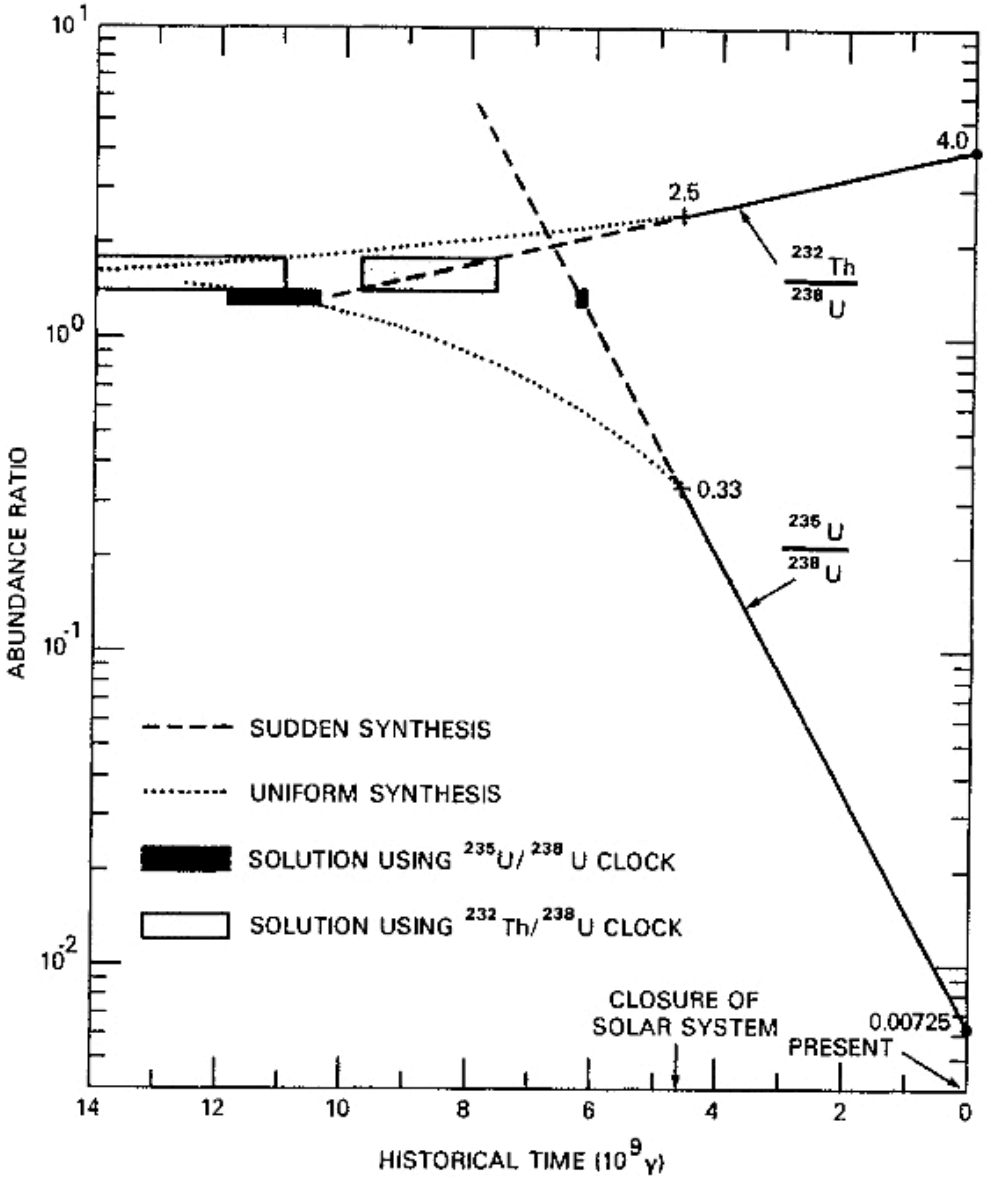
Nukleokosmochronologie (1)





Rolfs/Rodney, Cauldrons in the Cosmos, 1988

Nukleokosmochronologie (2)



Rolfs/Rodney, Cauldrons in the Cosmos, 1988

Zusammenfassung

- Supernovae
- core collapse - Supernovae
- Thermonukleare Supernovae (Typ Ia)
- Entfernungsmessung im Universum
- Altersmessung des Universums