

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

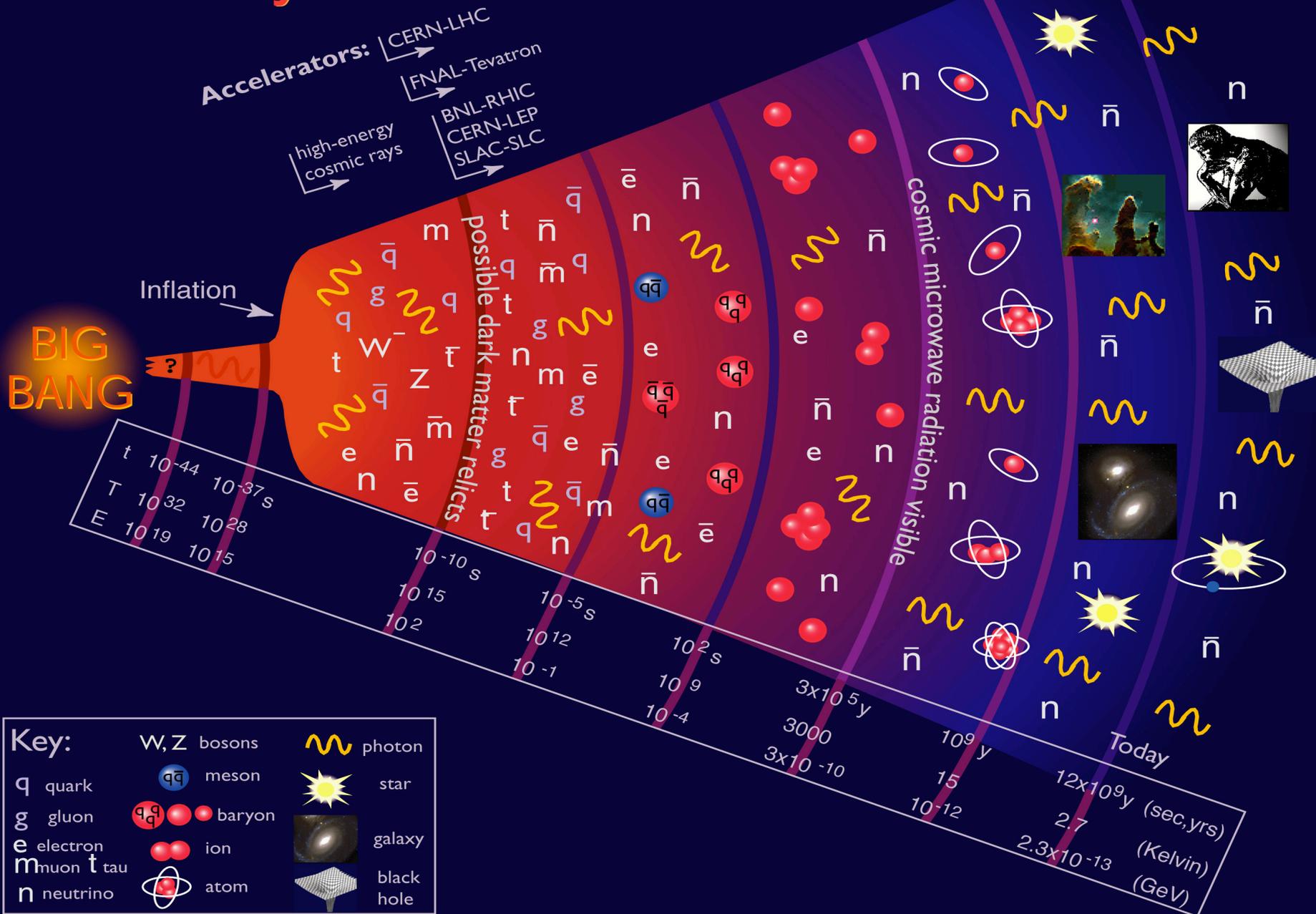
7. Vorlesung, 31.05.2017



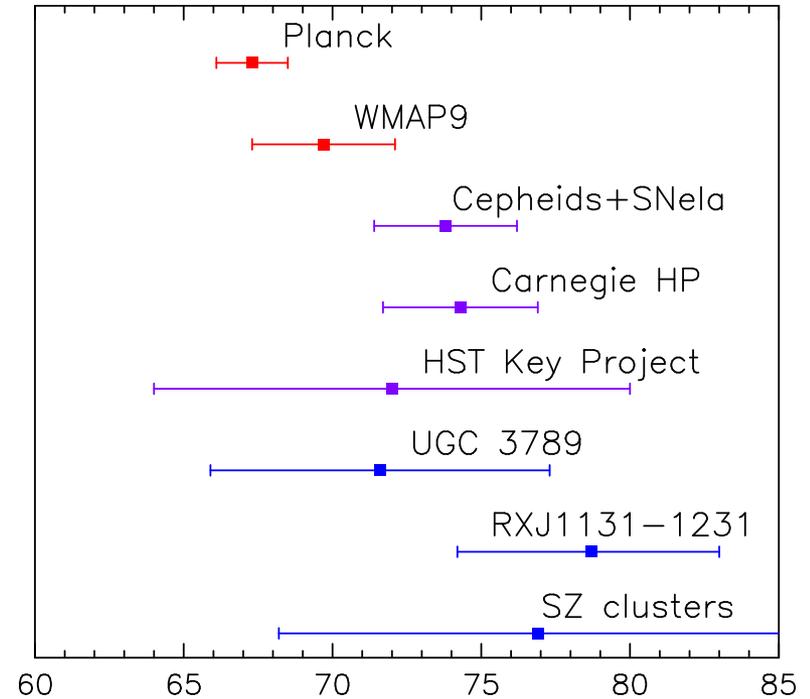
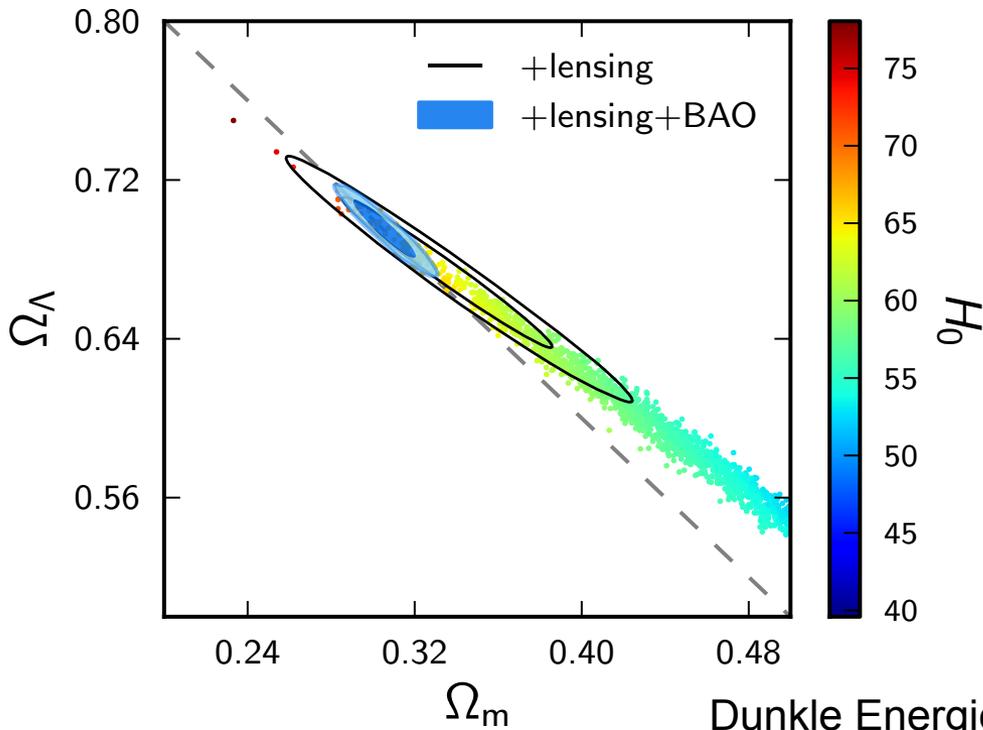
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN



History of the Universe

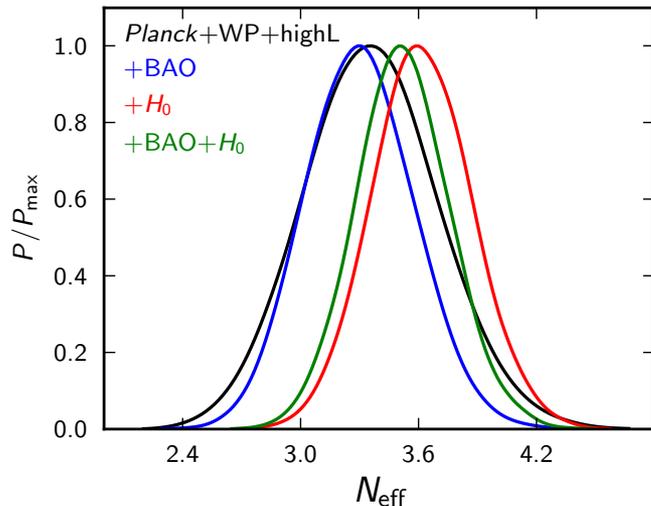


Planck-Satellit 2013: Kosmologische Schlussfolgerungen



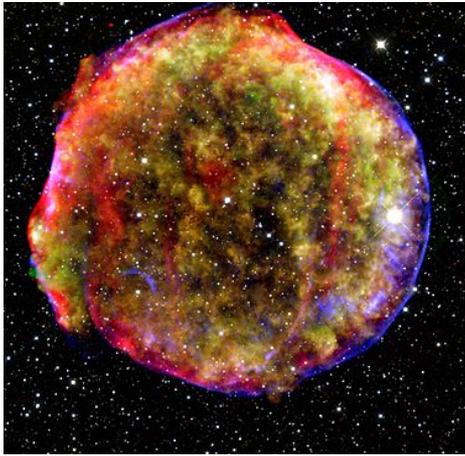
Dunkle Energie Ω_Λ versus Materie Ω_m

Hubble-Konstante H_0



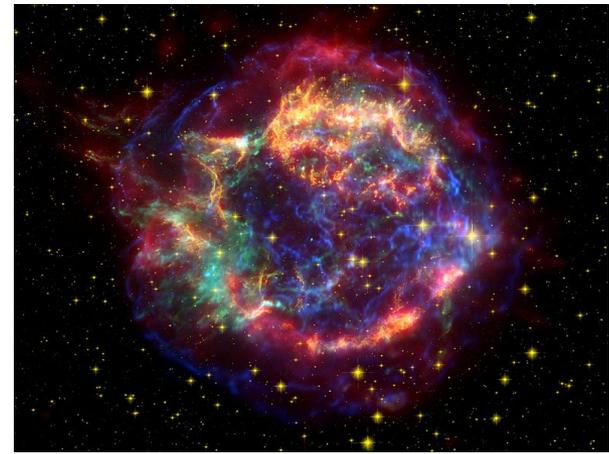
Anzahl der Neutrino-Flavours N_{eff}

Supernovae vom Typ Ia und II, Theorien... und Beobachtungen



Supernovae Typ Ia

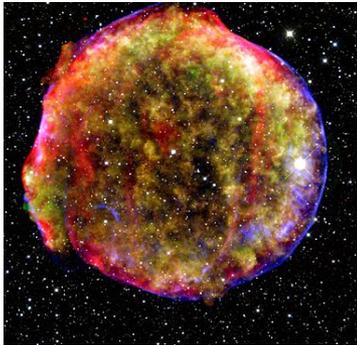
- Weißer Zwerg saugt Material von einem Begleiter auf
- Kurz vor Erreichen der Chandrasekhar-Masse zündet thermonukleares Brennen
- Keine H-Spektrallinien
- Kein Überrest
- Standardkerzen, aufgrund einer empirischen Kalibration
- Kosmologische Anwendung
→ Nobelpreis für Physik 2011



Supernovae Typ II

- Schwerer Stern erlebt einen Kernkollaps
- H-Spektrallinien beobachtet
- Überrest ist ein Neutronenstern

Supernovae vom Typ Ia und II, Vorgängersterne



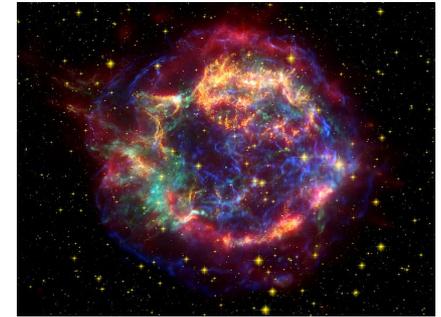
Typ Ia

Vorgänger

- Leichter Stern, ~ 1 Sonnenmasse
- Wasserstoff-, dann Heliumbrennen
- Asche: ^{12}C ($\sim 50\%$), ^{16}O ($\sim 50\%$), ^{22}Ne (2%)
- Weißer Zwerg

Supernova-Explosion (Typ Ia)

- Explosives thermonukleares Brennen (Kohlenstoff- und Sauerstoffbrennen)



Typ II

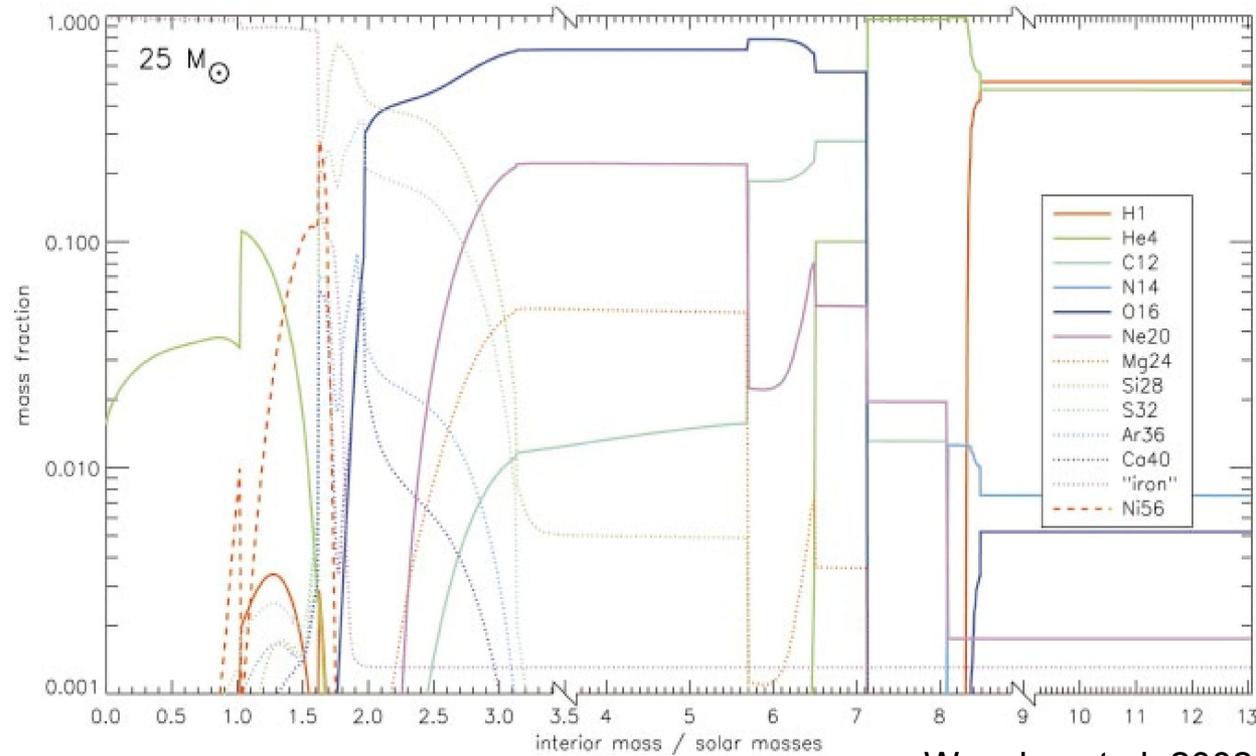
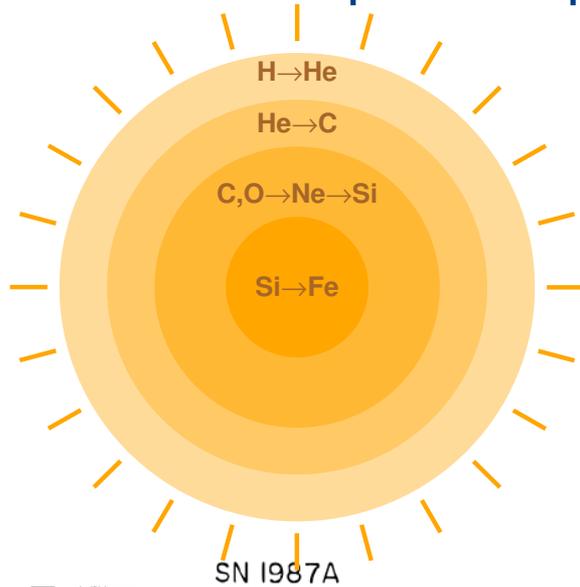
Vorgänger

- Schwerer Stern, ~ 25 Sonnenmassen
- H, He, C/O, Si - Brennen
- Zwiebelstruktur

Supernova-Explosion (Typ II)

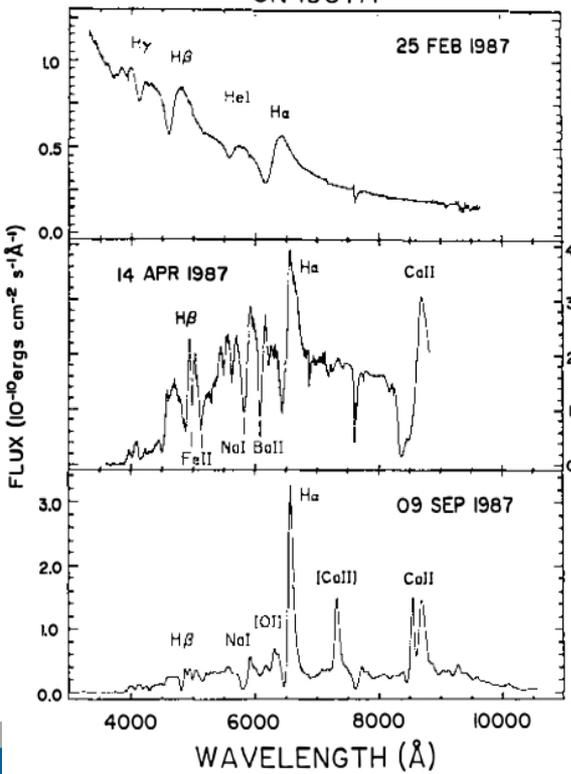
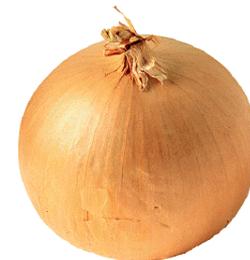
- Kernkollaps

core collapse - Supernova: SN 1987A



Woosley et al. 2002

- Massiver Stern
- Vor der Explosion Schalenbrennen



D. Arnett et al.

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 $\leq 10^3$ Lichtjahre

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

$$d = \frac{1 \text{ AU}}{\tan \alpha}$$

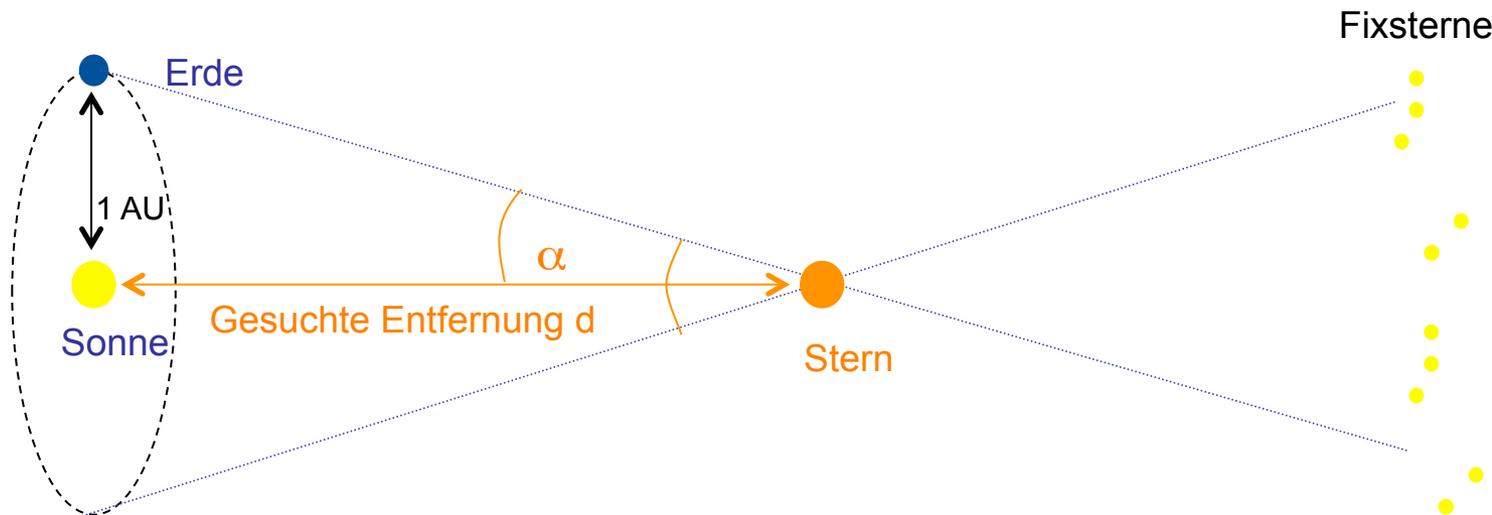
2. Standardkerze, geeignet für $\leq 10^{10}$ Lichtjahre

Vergleich der beobachteten Helligkeit m des Sterns mit Standard M

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

Entfernungsmessung mittels Parallaxe, Prinzip

Mittlerer Erdbahnradius = 1 AU (astronomical unit)



$$d = \frac{1 \text{ AU}}{\tan \alpha}$$

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

Bestimmung der Entfernung des 61^{sten} 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 Nutation herbeiführten, durch diese allein genügend zu erklären, ohne dazu der Annahme einer jährlichen Parallaxe der beob-

ist nicht zu bezweifeln; allein wenn eine Untersuchung über die jährliche Parallaxe eines Fixsterns unternommen werden soll, so sind sie dennoch die einzigen, welche seine Wahl leiten können.

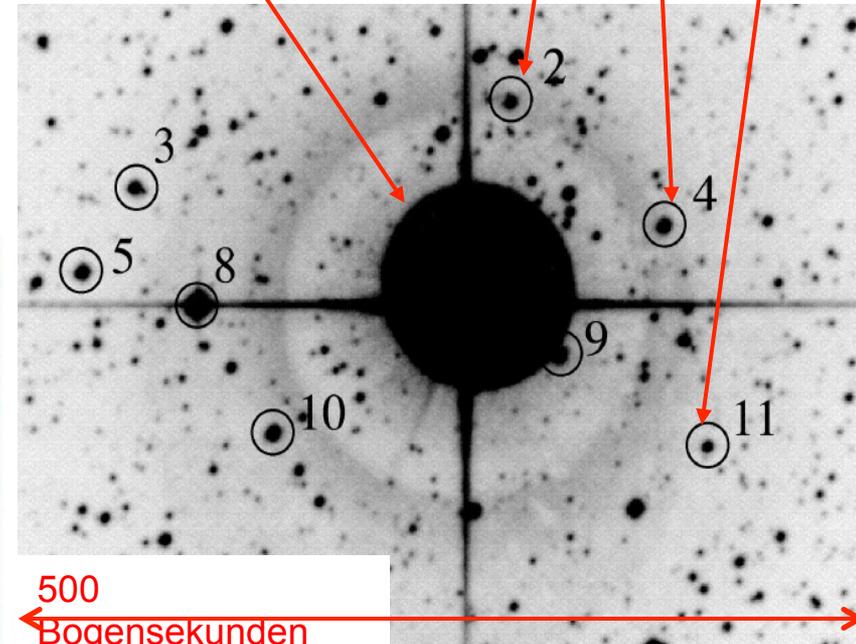
Entfernungsmessung mittels Parallaxe, moderne Anwendung



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

Zu bestimmender
variabler Stern (I Car)

Referenzsterne
2-11

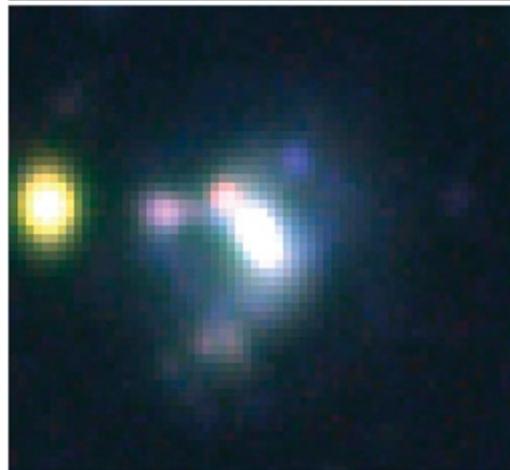


500
Bogensekunden

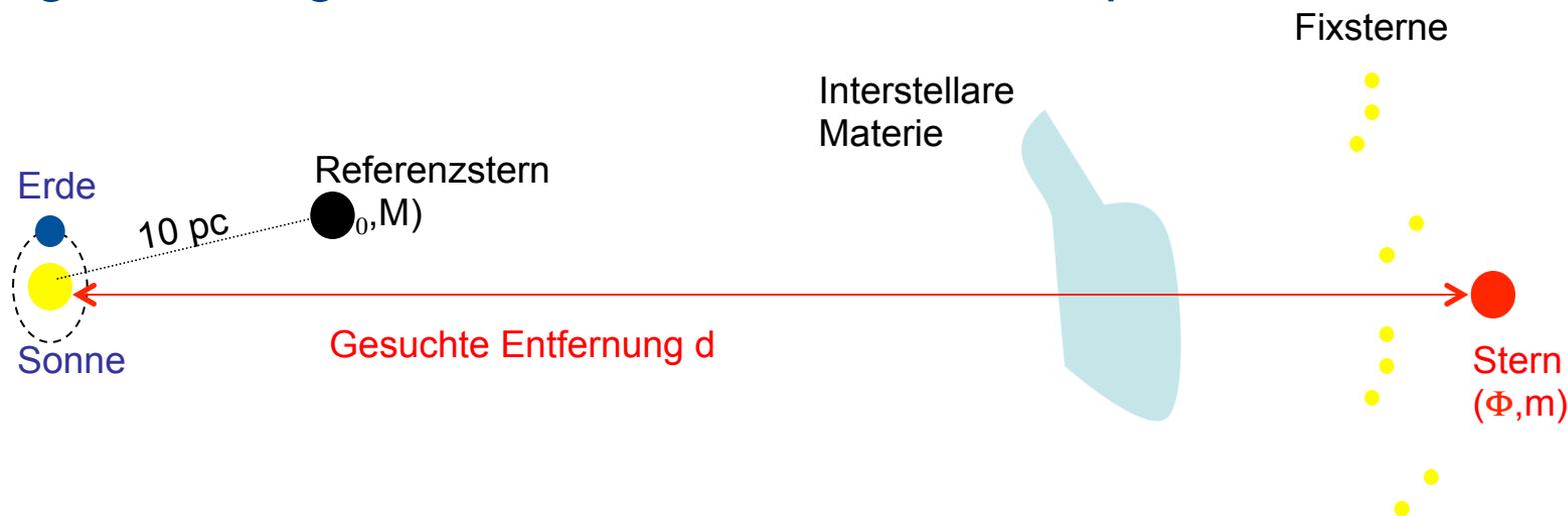
Karte aus Digital Sky Survey (nur zur Illustration)

Erdgestützt (8 m)

Hubble-Satellit (2.4 m)



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

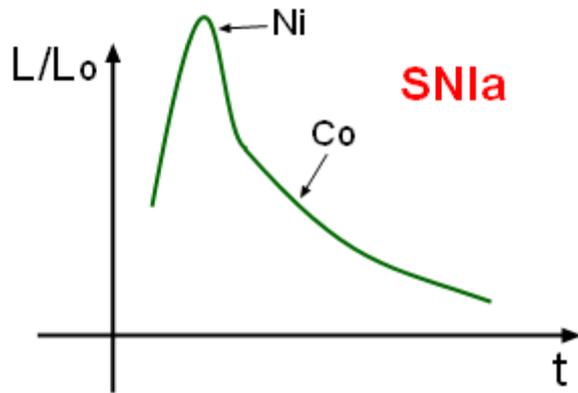
$$d = 10 \text{ pc} \cdot 10^{(m-M)/5}$$

Standardkerzen mit empirischer Kalibrierung sind zum Beispiel:

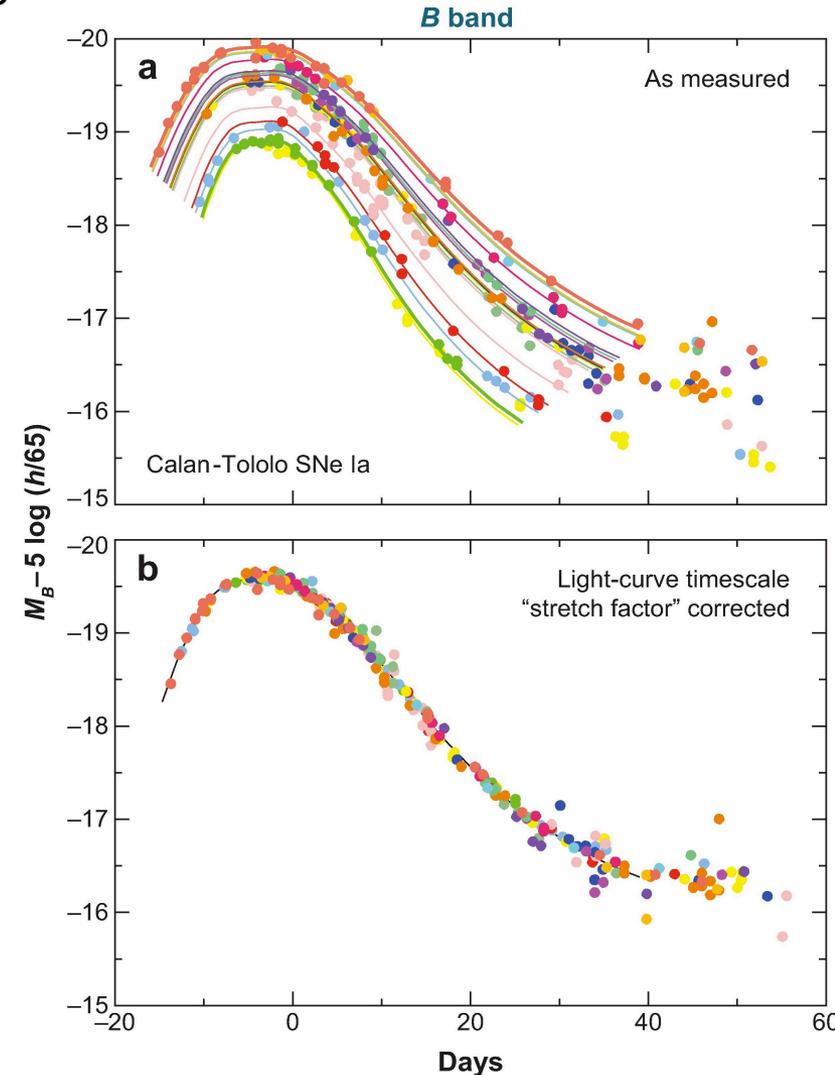
- Veränderliche Sterne (Cepheiden, M hängt linear von der Periode ab)
- Supernovae vom Typ Ia (Helligkeit M im Maximum hängt von der Form der Lichtkurve ab)

Standardisierung der Lichtkurve von Supernovae Ia

- Untersuchung einer Vielzahl von Supernovae vom Typ Ia
- Sehr helle, recht häufig auftretende Ereignisse
- Kalibrierung anhand der Form der Lichtkurve

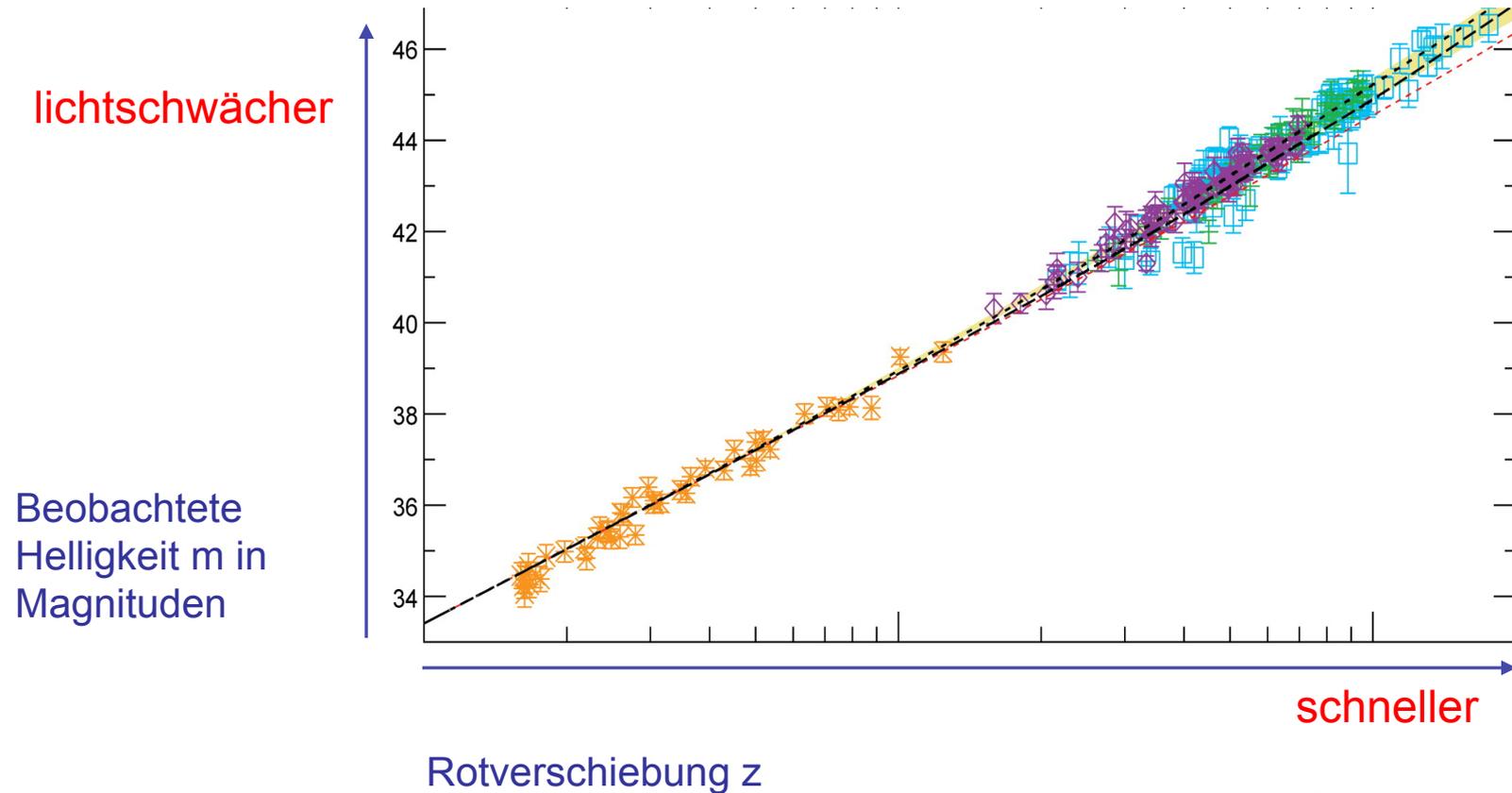


	^{56}Ni 6.075 D ε: 100.00%	^{57}Ni 35.60 H ε: 100.00%	^{58}Ni STABLE 68.077%
	^{55}Co 17.53 H ε: 100.00%	^{56}Co 77.236 D ε: 100.00%	^{57}Co 271.74 D ε: 100.00%
	^{54}Fe STABLE 5.845%	^{55}Fe 2.744 Y ε: 100.00%	^{56}Fe STABLE 91.754%
	^{53}Mn 3.74E+6 Y	^{54}Mn 312.12 D	^{55}Mn STABLE

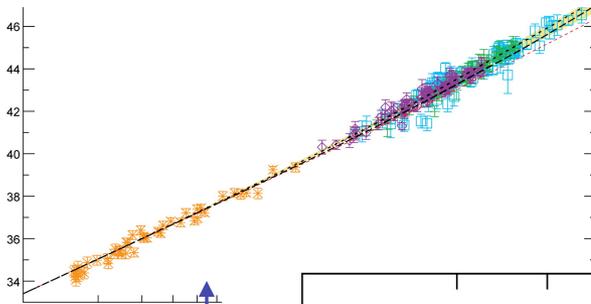


Entfernungsmessung mittels Standardkerze: Supernova Ia

- 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)



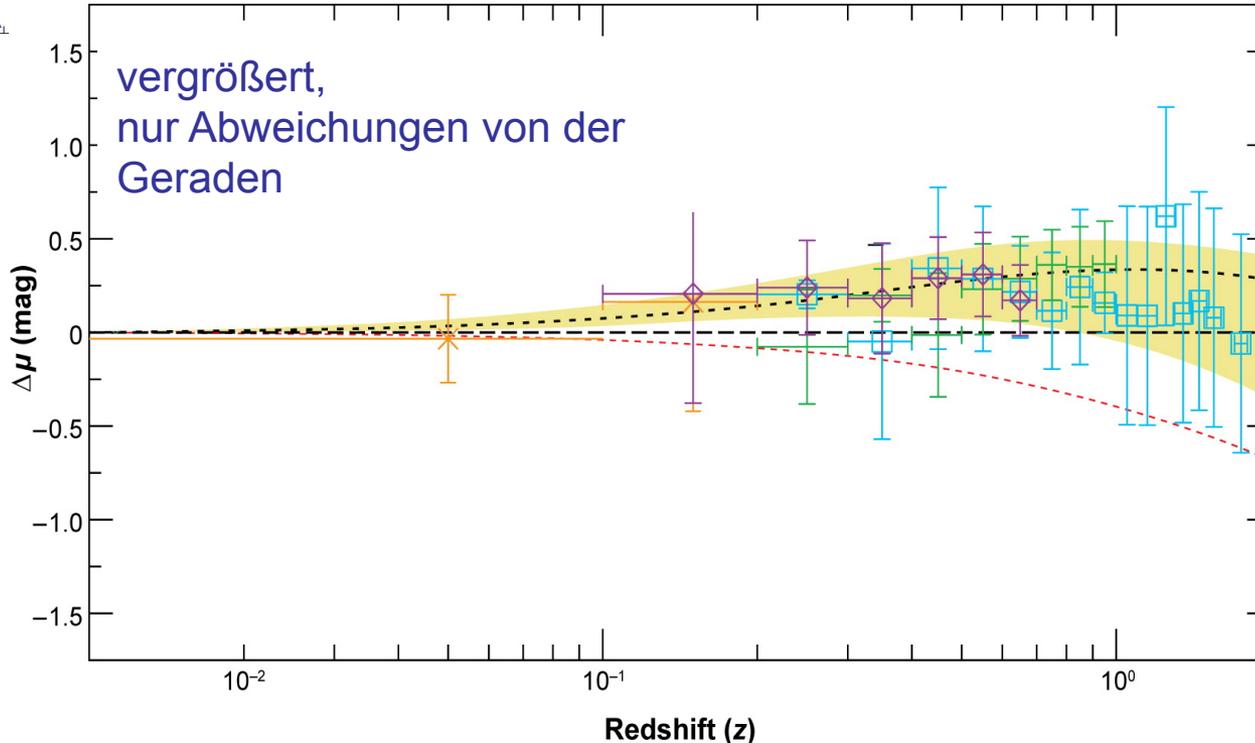
Entfernungsmessung und Kosmologie (1)



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



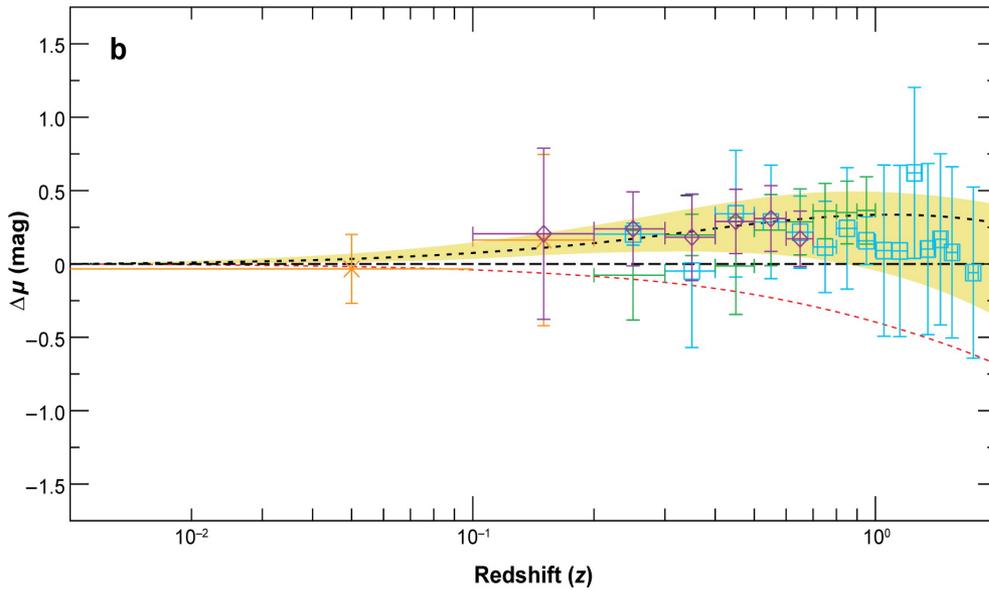
$$\Omega_M = 0.3, \Omega_\Lambda = 0.7$$

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

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

schneller

Entfernungsmessung und Kosmologie (2)



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

