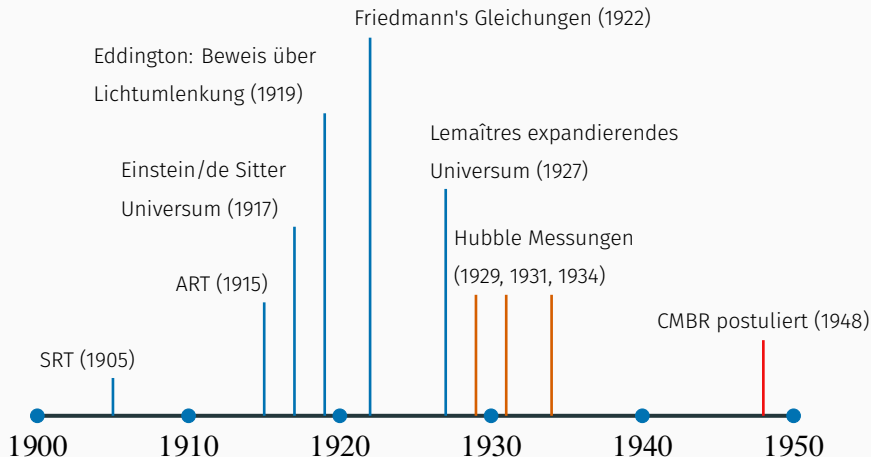


Das Hubble Gesetz

Alexander Helbok

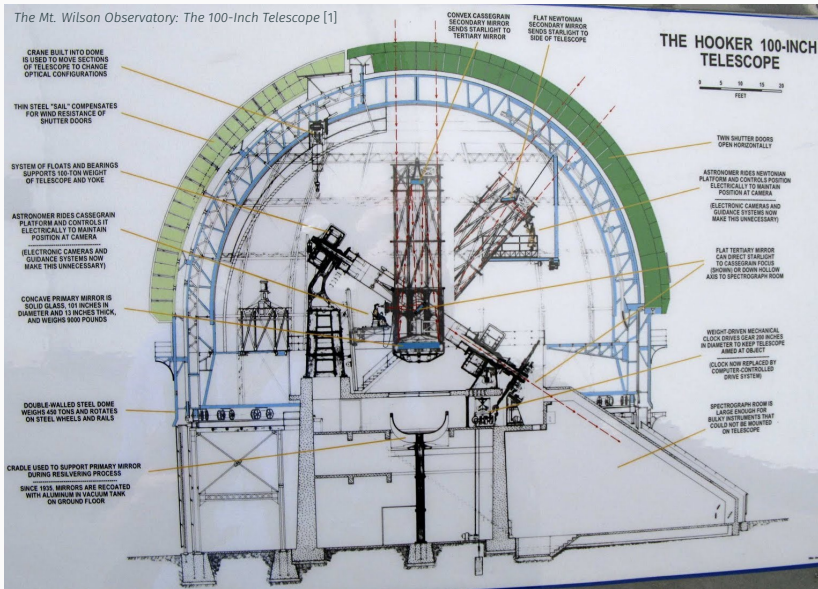
November 7, 2023

Timeline



100—Zoll Hooker Teleskop

The Mt. Wilson Observatory: The 100-Inch Telescope [1]



Enternungsbestimmung der Nebulae

Geschwindigkeit von 46 Nebel von Slipher vermessen (Doppler-shift)

[2]

Entfernungsbestimmung von Hubble über

- Cepheiden Perioden-Leuchtkraft-Beziehung (7)
- Vergleich mit bekannten Galaxien (13)
- statistische Leuchtkraftverteilung von Nebel (4)

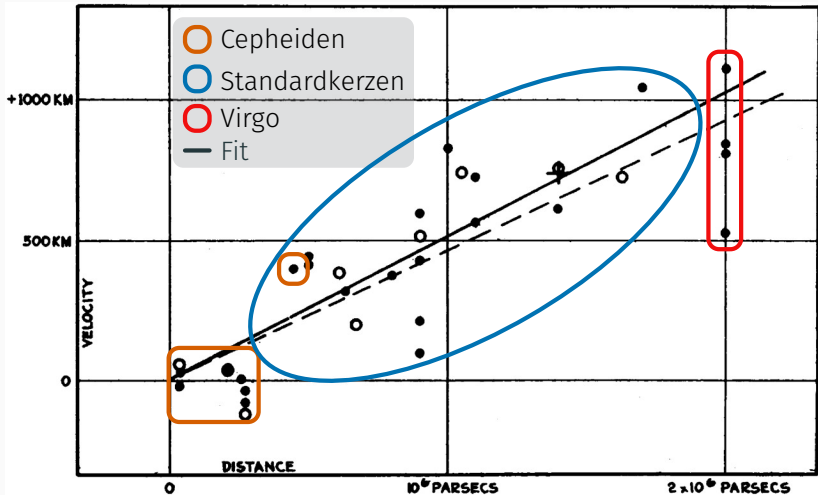
Analyse

$$v = rK + \underbrace{X \cos(\delta) \cos(\alpha) + Y \cos(\delta) \sin(\alpha) + Z \sin(\delta)}_{\text{Relativgeschwindigkeit } V_0}$$

“Two solutions have been made, ...” [3]

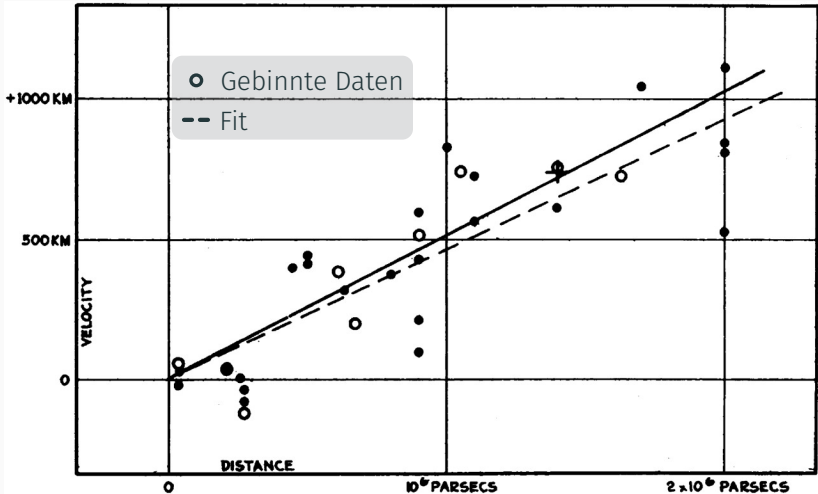
	24 OBJECTS	9 GROUPS	
<i>X</i>	$- 65 \pm 50$	$+ 3 \pm 70$	
<i>Y</i>	$+226 \pm 95$	$+230 \pm 120$	
<i>Z</i>	-195 ± 40	-133 ± 70	
<i>K</i>	$+465 \pm 50$	$+513 \pm 60$ km./sec. per 10^6 parsecs.	
<i>A</i>	286°	269°	
<i>D</i>	$+ 40^\circ$	$+ 33^\circ$	
<i>V₀</i>	306 km./sec.	247 km./sec.	(Hubble 1929)

Ergebnisse



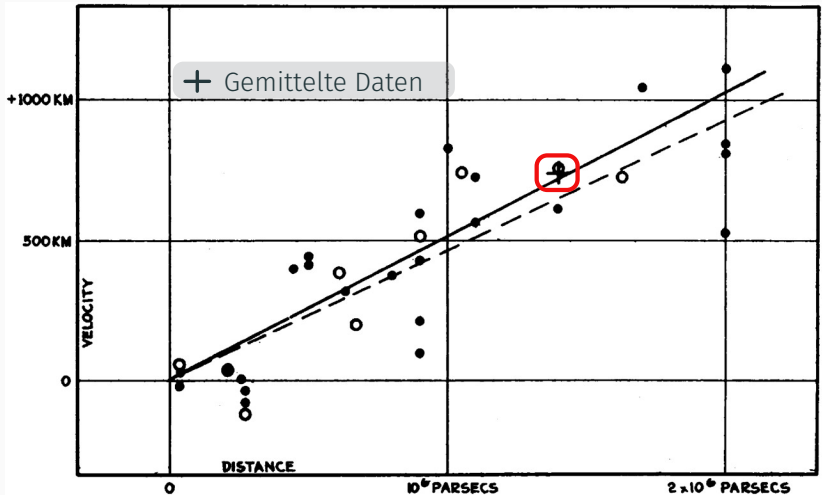
(Hubble 1929)

Ergebnisse



(Hubble 1929)

Ergebnisse



(Hubble 1929)

Interpretation von Hubble

1) “The results establish a roughly linear relation between velocities and distances among nebulae ...” [3]

Mit Faktor $K = 465(50)$ bzw. $513(60)$ km/s/Mpc

- linearer Zusammenhang deutlich sichtbar
- keine statistischen Fehler
- dafür Entfernungen systematisch zu klein (Faktor 7!)
- keine Fitgüte im Paper

Intpretation von Hubble

2) "New data to be expected in the near future may modify the significance of the present investigation or, if confirmatory, will lead to a solution having many times the weight." [3]

- Absolut Richtig
- viele Nachfolgeexperimente (bis heute noch)
- "crisis in cosmology"

Intpretation von Hubble

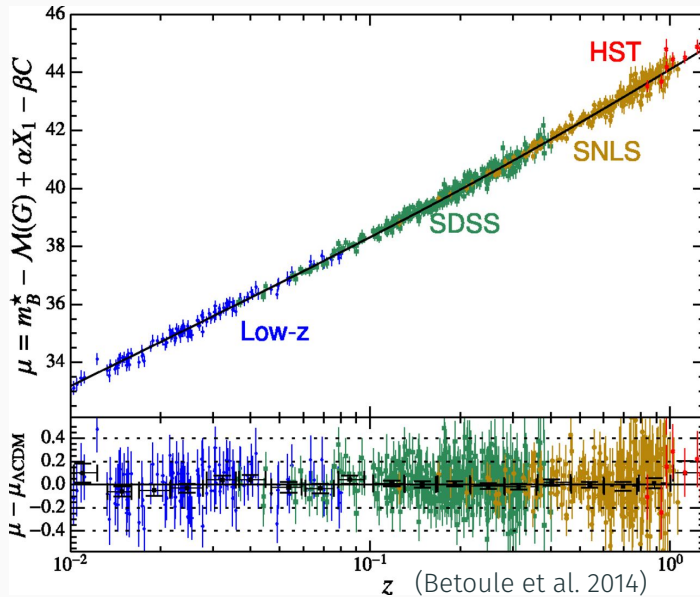
3) “The outstanding feature, however, is the possibility that the velocity-distance relation may represent the de Sitter effect, ...” [3]

- deSitter Universum: statisch, keine Materie
- Redshift durch Zeitverlangsamung bei großen Entfernungen [4]
- γ

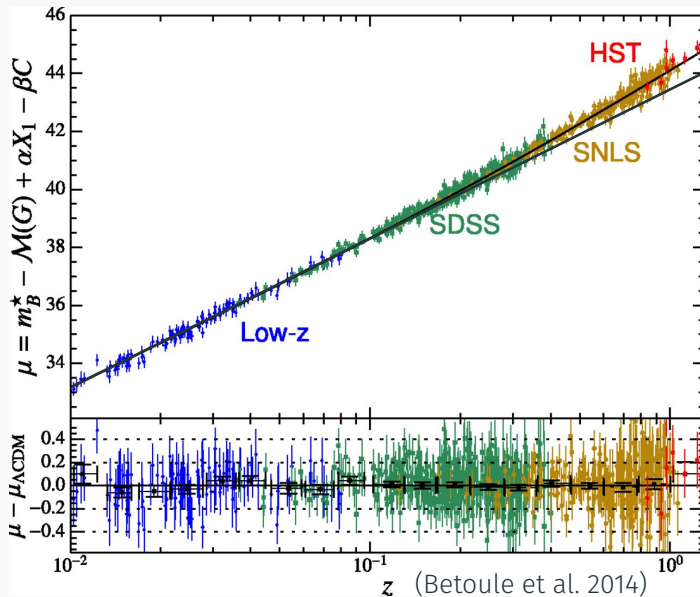
Typ1a Supernovae

Theorie und leuchtkraftrelation

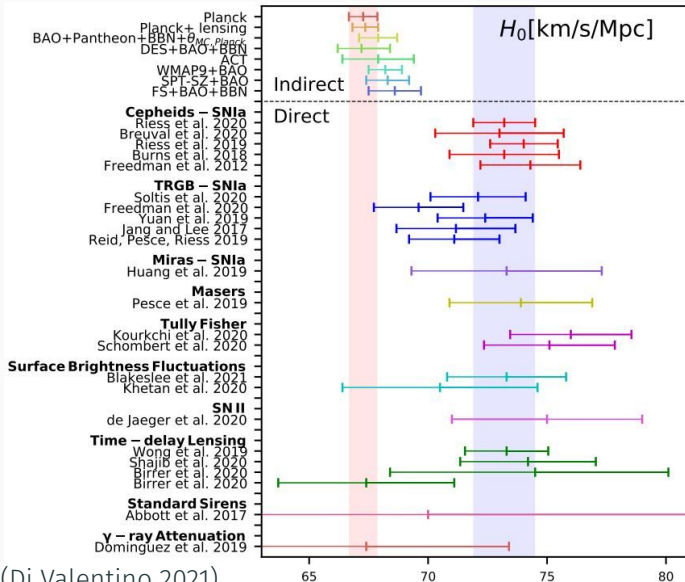
Messung über SN1a



Messung über SN1a



Krise



(Di Valentino 2021)

Recap

- Entfernungsbestimmung von Nebeln über verschiedene Leuchtkraftrelationen
 - Geschwindigkeit über Doppler shift
- ⇒ Linearer Zusammenhang (obwohl systematische Abweichung)
-

Fragen?

Frage 1

Wenn jetzt alle Galaxien von uns wegfliegen, heißt das, dass wir uns im Zentrum des Universums befinden wo der Urknall stattfand?

A) Ja, weil ...

B) Nein, weil ...

Frage 2

Warum habe ich H_0 immer Hubble Parameter und nicht Hubble Konstante (wie man es in vielen Lehrbüchern und sieht) genannt?

- A) Die beiden Begriffe sind ja Synonyme
- B) Naja, H_0 ist ja zeitlich nicht konstant geblieben
- C) Man kann H_0 nicht aus Naturkonstanten ableiten, also ist es selber keine Konstante

Frage 2

Warum habe ich H_0 immer Hubble Parameter und nicht Hubble Konstante (wie man es in vielen Lehrbüchern und sieht) genannt?

- A) Die beiden Begriffe sind ja Synonyme
- B) Naja, H_0 ist ja zeitlich nicht konstant geblieben
- C) Man kann H_0 nicht aus Naturkonstanten ableiten, also ist es selber keine Konstante

Backup/Theory slide

cepehid relation, SN1a relation

References

- [1] *The Mt. Wilson Observatory: The 100-Inch Telescope*. June 23, 2011. URL: <https://the-great-silence.blogspot.com/2011/06/mt-wilson-observatory-100-inch.html>.
- [2] V. M. Slipher. “Spectrographic observations of nebulae.” In: *Popular Astronomy*, Vol. 23, p. 21-24 23 (1915), pp. 21–24.
- [3] E. Hubble. “A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae.” In: *Proceedings of the national academy of sciences* 15.3 (1929), pp. 168–173.

Sources ii

- [4] S. Kent. *What, Exactly, Is The "De Sitter Effect"?* June 23, 2011. URL: <https://astro.uchicago.edu/~kent/fnal/effect.html>.
- [5] M. Betoule et al. "Improved cosmological constraints from a joint analysis of the SDSS-II and SNLS supernova samples." In: *Astronomy & Astrophysics* 568 (2014), A22.
- [6] E. Di Valentino. "A combined analysis of the H_0 late time direct measurements and the impact on the Dark Energy sector." In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 502.2 (Jan. 2021), pp. 2065–2073. URL: <https://doi.org/10.1093%2Fmnras%2Fstab187>.