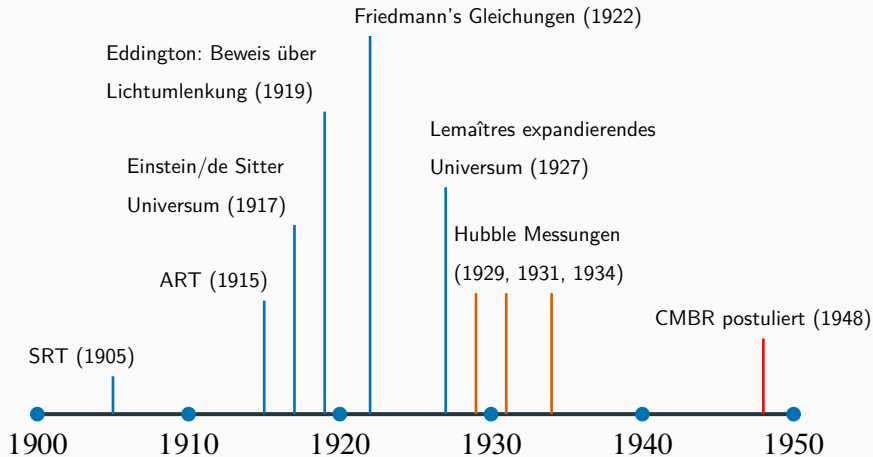


Das Hubble Gesetz

Alexander Helbok

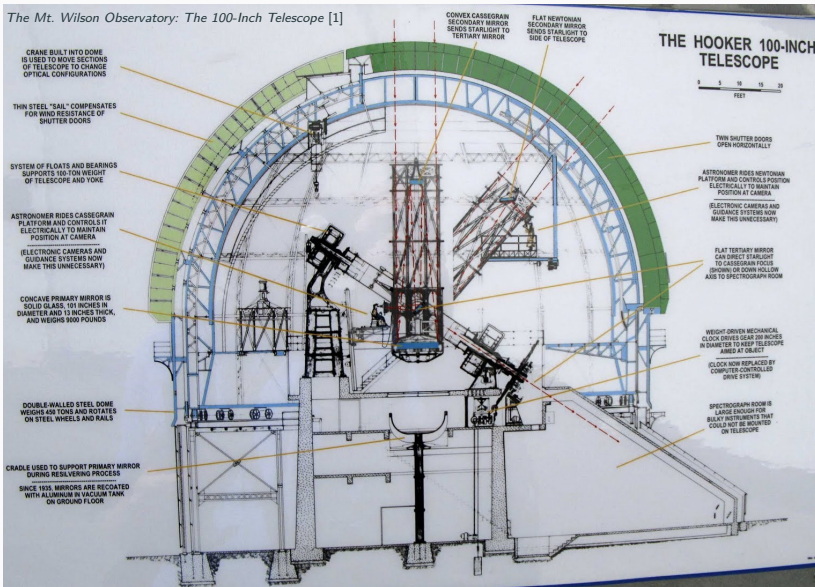
13. November 2023

Timeline



100—Zoll Hooker Teleskop

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



Geschwindigkeit von 46 Nebel von Slipher vermessen (Doppler) [2]

Entfernungsbestimmung (nur 24 Nebel) von Hubble über

- Cepheiden Perioden-Leuchtkraft-Beziehung (7)
- statistische Leuchtkraftverteilung von Sternen (13)
- statistische Leuchtkraftverteilung von Nebel (4)

Restlichen Nebel gemittelt betrachtet

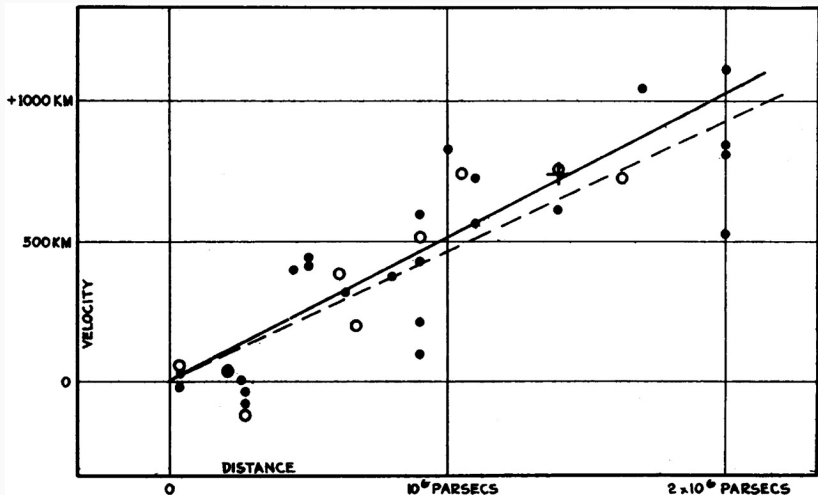
Analyse

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

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

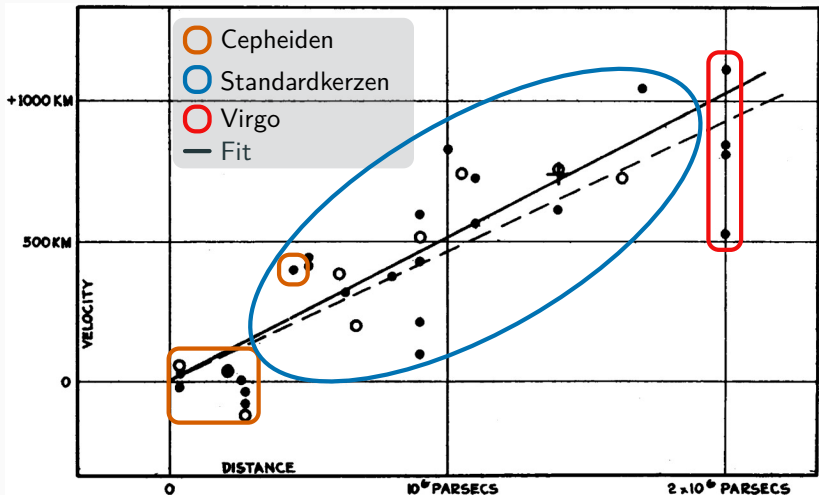
	24 OBJECTS	9 GROUPS	
<i>X</i>	− 65 ± 50	+ 3 ± 70	
<i>Y</i>	+226 ± 95	+230 ± 120	
<i>Z</i>	−195 ± 40	−133 ± 70	
<i>K</i>	+465 ± 50	+513 ± 60 km./sec. per 10 ⁶ parsecs.	
<i>A</i>	286°	269°	
<i>D</i>	+ 40°	+ 33°	
<i>V</i> ₀	306 km./sec.	247 km./sec.	(Hubble 1929)

Ergebnisse



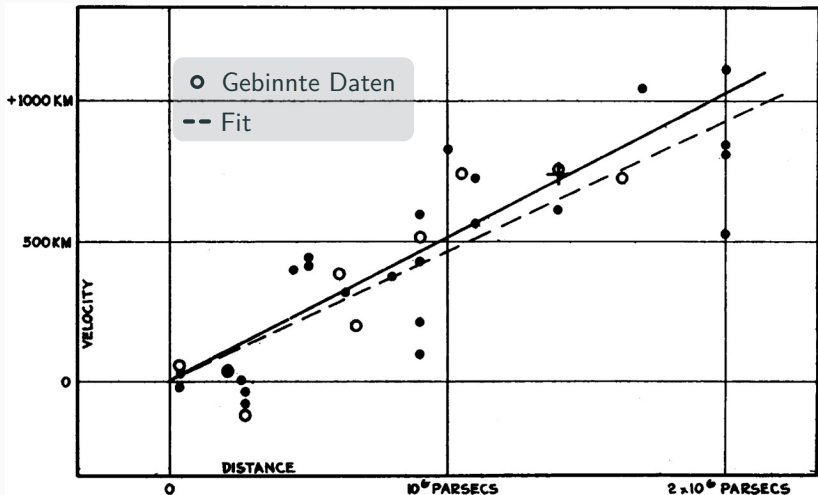
(Hubble 1929)

Ergebnisse



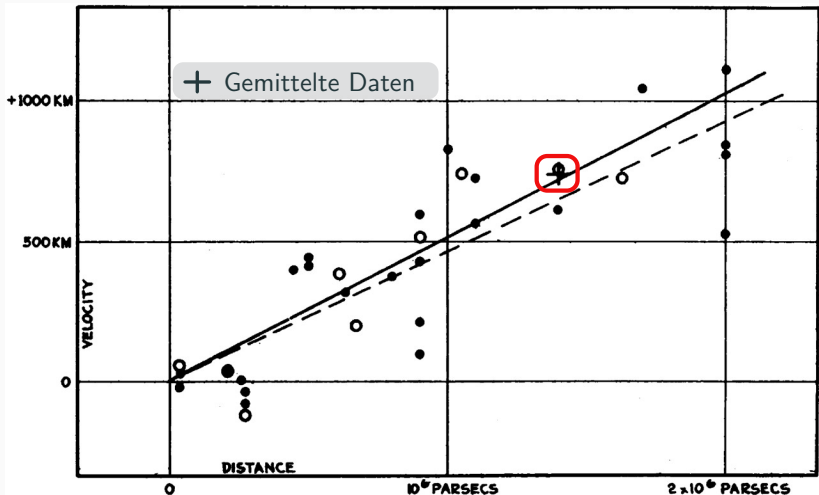
(Hubble 1929)

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]

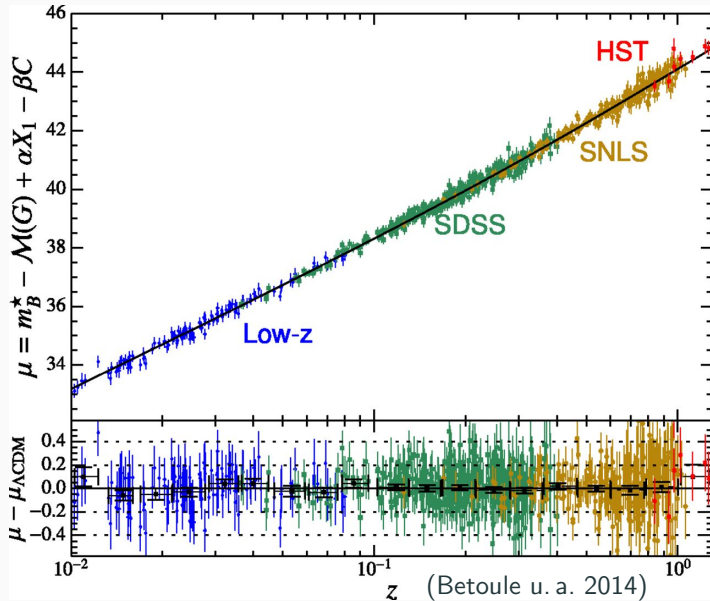
- Absolut Richtig
- viele Nachfolgeexperimente (bis heute noch)
- „crisis in cosmology“

Interpretation von Hubble

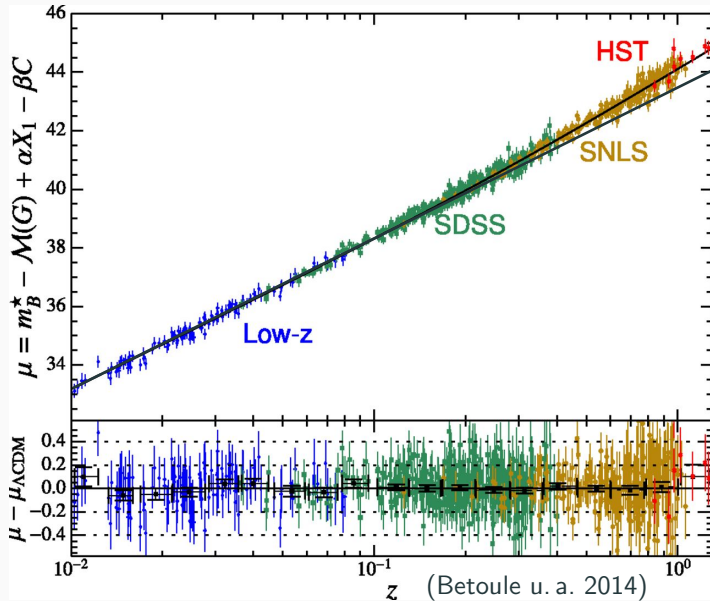
3) „The outstanding feature, however, is the possibility that the velocity-distance relation may represent the de Sitter effect, ...“
[3]

- deSitter Universum: statisch, keine (normale) Materie
- Redshift durch Zeitverlangsamung bei großen Entfernungen [4]
- „richtige“ Interpretation: dynamisches Universum (nach Friedman-Lemaître)

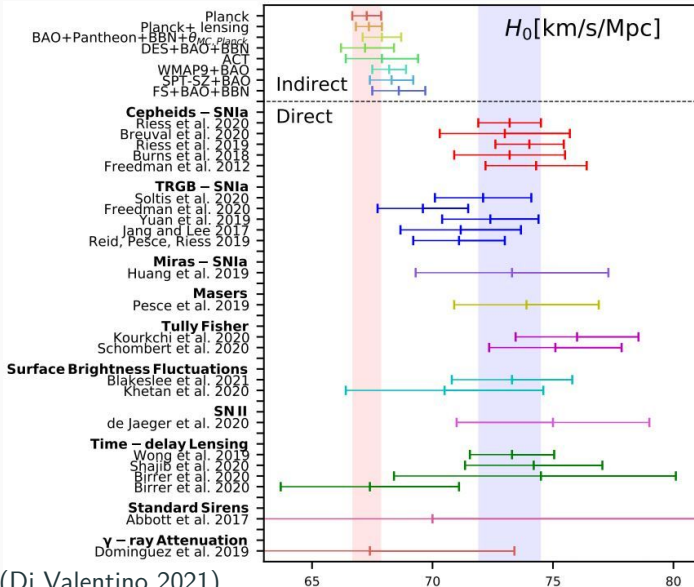
Messung über SN1a



Messung über SN1a



Inkonsistenz in H_0 ?



Recap

- Entfernungsbestimmung über Leuchtkraftrelationen
- Geschwindigkeit über Doppler shift

⇒ linearer Zusammenhang (obwohl systematische Abweichung)

- H_0 erlaubt Vergleich Modell, Experiment

Fragen?

Frage 1

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

- 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 1

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

- 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

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

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 ...

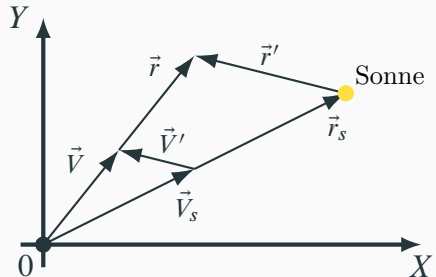
Frage 2

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

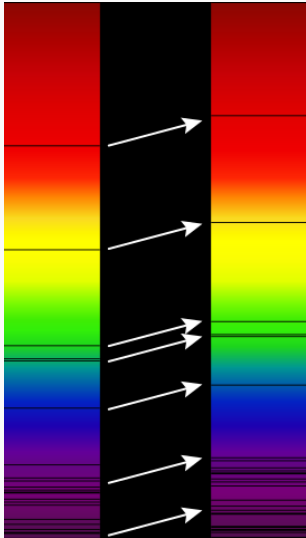
A) Ja, weil ...

B) Nein, weil ...

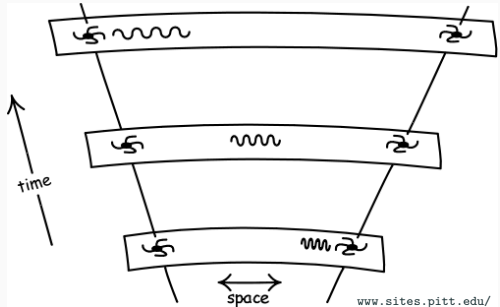
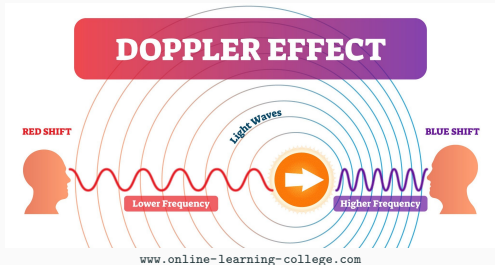
$$\vec{V}' = \vec{V} - \vec{V}_s = H_0(\vec{r} - \vec{r}_s) = H_0\vec{r}'$$



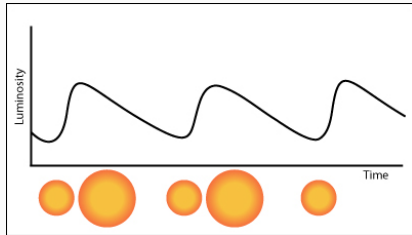
Doppler-Effekt / Kosmologischer Redshift



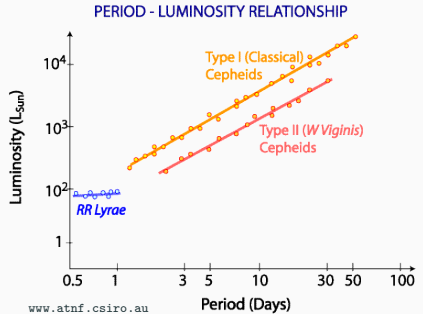
www.simple.wikipedia.org



Cepheiden Perioden-Leuchtkraft Beziehung



www.mso.anu.edu.au

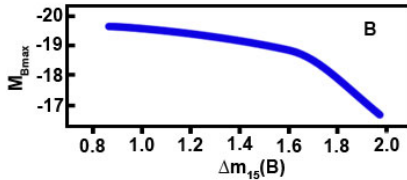
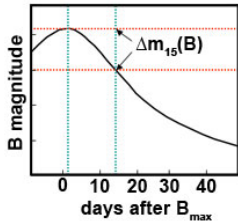


www.atnf.csiro.au

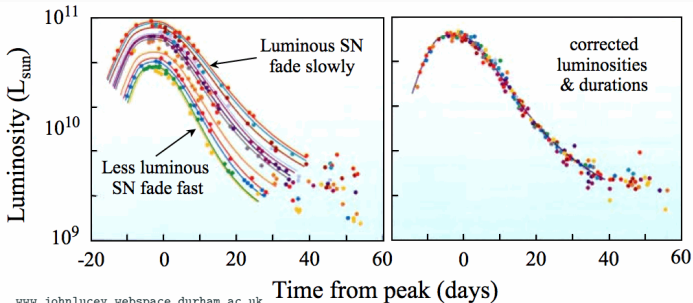
$$\text{Typ I Cepheiden: } M_v = -2.54 \log (P_{\text{days}}) - 1.61$$

$$M = m - 5 \log (d_{\text{pc}}) + 5$$

SN1a als Standardkerzen



www.astronomy.swin.edu.au



www.johnlucyey.webspace.durham.ac.uk

Literatur

- [1] *The Mt. Wilson Observatory: The 100-Inch Telescope*. 23. Juni 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), S. 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), S. 168–173.

- [4] S. Kent. ***What, Exactly, Is The "De Sitter Effect"?*** 23. Juni 2011. URL: <https://astro.uchicago.edu/~kent/fnal/effect.html>.
- [5] M. Betoule u. a. „**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), S. 2065–2073. URL: <https://doi.org/10.1093%2Fmnras%2Fstab187>.