

Beschleunigte Expansion des Universums

Max-Lennart Katzberg Niklas Ottovordemgenschefelde

University of Bielefeld

Physikalisches Proseminar, 10.05.2023

Inhalt

- 1 Gewinner
- 2 Motivation und Bedeutung
- 3 Methodik der Messung
- 4 Aktueller Forschungsstand

Gewinner Nobelpreis 2011 (Share:1/2)



Saul Perlmutter (* 22.09.1959)^[7]

Gewinner Nobelpreis 2011 (Share:1/4)



Brian P. Schmidt (* 24.02.1967)^[7]

Gewinner Nobelpreis 2011 (Share:1/4)



Adam G, Riess (* 24.02.1967)^[7]

Eine antike Frage

- Hat das Universum eine unendliche Ausdehnung in Raum und Zeit?
- Wo kommt es her und wohin wird es sich entwickeln??
 - Albert Einsteins allgemeine Relativitätstheorie (1916)
Feldgleichungen ergaben dynamische Lösung (Friedmann Gleichungen)
 - Edwin Hubbles Entdeckungen (1929)

⇒ **Dynamisches Universum**

Modellartige Beschreibung

- Modell basierend auf den Gesetzen der ART
- 2 Forderungen/ Überlegungen :
 - homogenes, isotropes Universum
 - Materie ist proportional zu dem Volumen, welches es im Raum einnimmt, $P \propto V$
 - ⇒ Herleitung des Hubble-Gesetzes und der Friedmann-Gleichung
- Ziel nun: Ultimatives Schicksal des Universums ermitteln

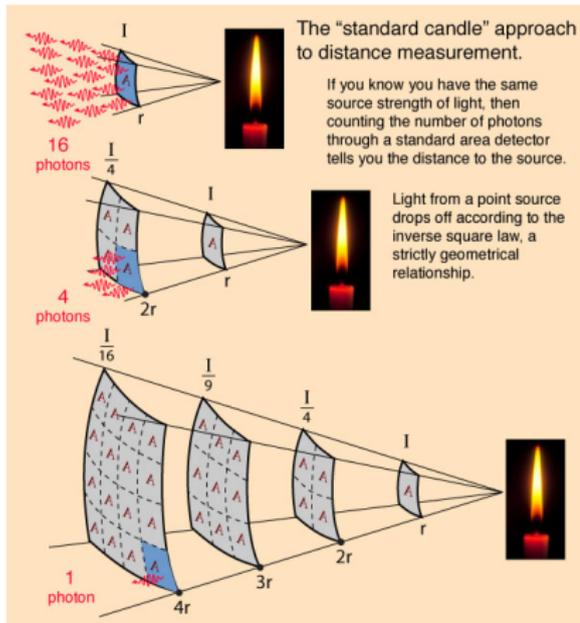
Geometrie

- die Dichte des Universums steht in Relation zur Ausbreitungsgeschwindigkeit und Geometrie
- Dichte Parameter definiert als :

$$\Omega_j = \frac{\rho_j}{\rho_{crit}} = \frac{\rho_j}{\left(\frac{3H_0^2}{8\pi G}\right)}$$

- ρ_{crit} genau die Dichte welche eine flache Geometrie erzeugt
- ρ_j durchschnittliche Dichte des Universums

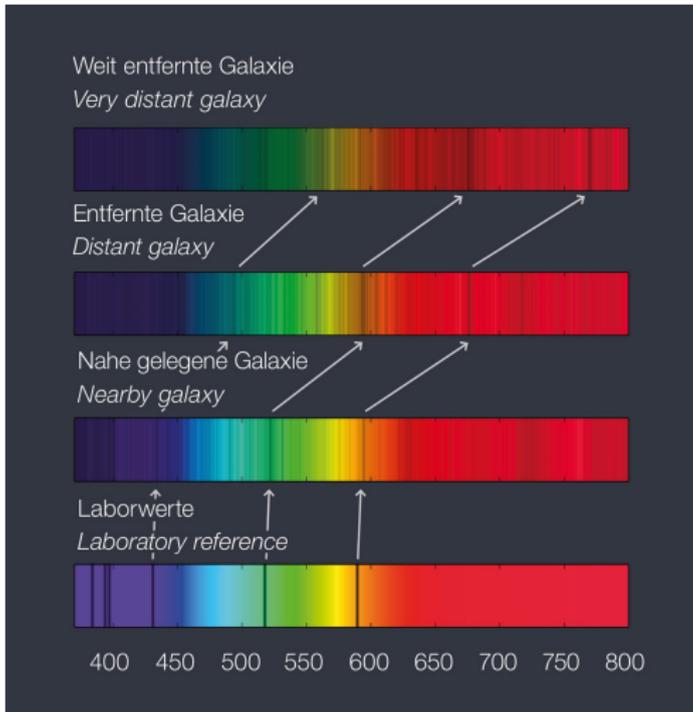
The Standard Candle (Distanzbestimmung)



- Simple Geometrie einer Punkt-Lichtquelle
Intensität fällt mit $1/r^2$ ab.

Abbildung: Modell einer Standard-Candle [3]

Rotverschiebung (Geschwindigkeitsbestimmung)



Rotverschiebung (Geschwindigkeitsbestimmung)

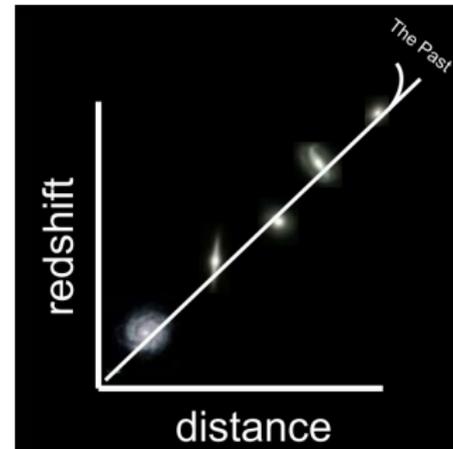
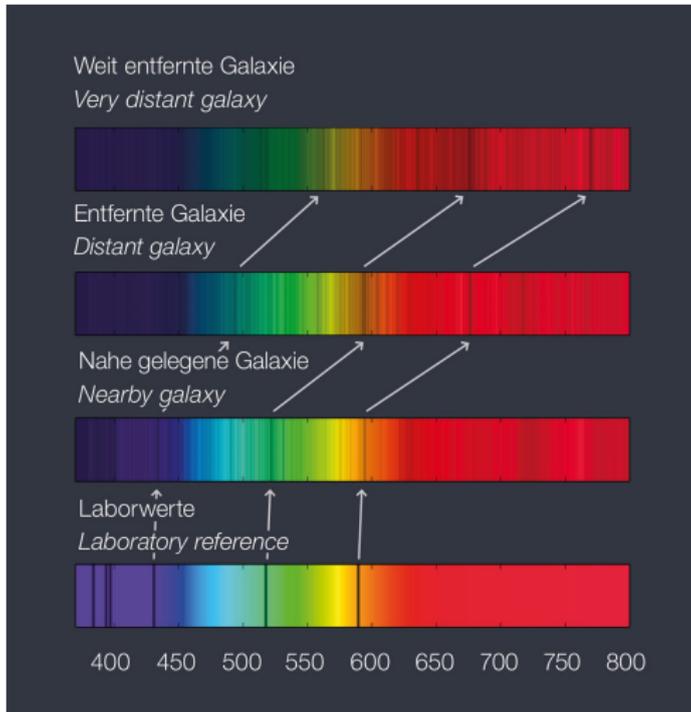


Abbildung: ↑ Relation RS und Distanz^[6]

← Schema der Rotverschiebung^[5]

Hubbles Law

- Die beobachtete Distanz und die Rotverschiebung von beobachteten Galaxien stehen in Verbindung miteinander
- Diese Beobachtung wurde in jede Raumrichtung gemacht

Abbildung:
Rosinenbrot-Modell^[1]

- Expansion des Universums ist Ausbreitung des Raums selbst

Hubbles Law

- Galaxien entfernen sich mit Geschwindigkeit (Redshift) proportional zu ihrer Entfernung (Lichtintensität)

$$\Rightarrow v = H_0 D$$

- $H_0 \approx 73 \pm 2 \frac{\text{km/s}}{\text{Mpc}}$
- Friedmann Gleichung :
- beschreibt die Ausdehnung des Universums

$$H^2 = \left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2 = \frac{8\pi G\rho}{3} - \frac{k}{a^2}$$

Vergleich zum Ballon: Rot-Verschiebung

Abbildung: Animation der
Expansion^[2]

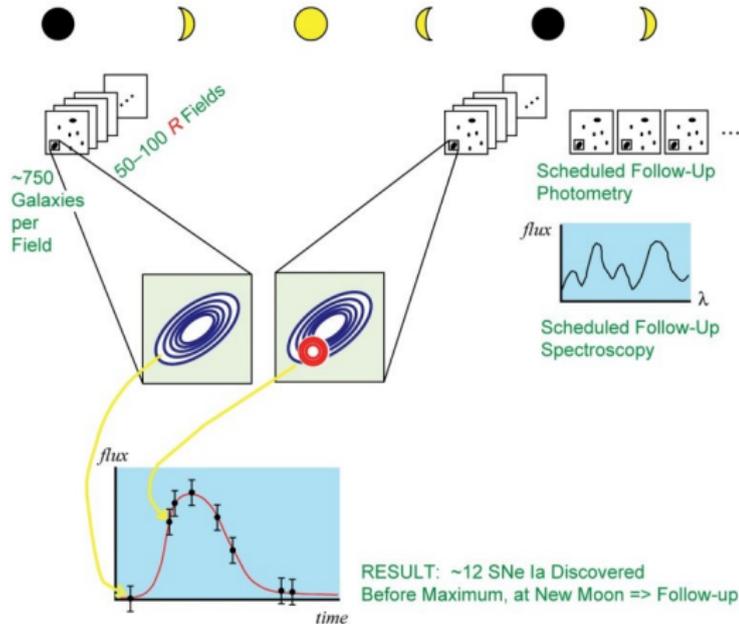
Die Neuerung

- Bekannt: Universum dehnt sich aus
Annahme: Die Ausdehnung verlangsamt sich aufgrund der Gravitation
- Neues Forschungsobjekt: Supernovae Type Ia mit hoher Rotverschiebung
- Vorteil: SNe Type Ia verhalten sich wie "Standard Candles"

Die Neuerung

- Bekannt: Universum dehnt sich aus
Annahme: Die Ausdehnung verlangsamt sich aufgrund der Gravitation
- Neues Forschungsobjekt: Supernovae Type Ia mit hoher Rotverschiebung
- Vorteil: SNe Type Ia verhalten sich wie "Standard Candles"
- Problem:
 - Selten ($\sim 1/500\text{yr/galaxy}$)
 - Zufällig und nicht vorhersehbar
 - Zügige Entwicklung der Lichtpeaks

Such Strategie



- Planung der Teleskop-Beobachtungszeiten



- Hellsten SNe
⇒ Typ Ia
- Lichtkurven & Spektren
ähnlich
- Abwesenheit
von H und He
- Explodierende
weiße Zwerge
(H-Hülle völlig
erschöpft)

Supernova (Typ Ia)

1994D in GALAXY NGC 4526

[8]



Messbare Groessen

- Dehnung des Universums als Redshift zu messen

$$1 + z = \frac{\lambda_{obs} - \lambda_{emit}}{\lambda_{emit}}$$

- Illuminare Distanz, als kosmisches äquivalent des Abstandgestz's

$$D_L = \sqrt{\frac{L}{4\pi f}}$$

- mit L, Lumineszenz und f (Flux)

Lösung

- D_L kann man als Taylorentwicklung um q_0 , den Abbremsfaktor

$$D_L = \frac{c}{H_0 q_0^2} [q_0(z)z + (q_0(z) - 1)(\sqrt{1 + 2q_0(z)z} - 1)]$$

Messung

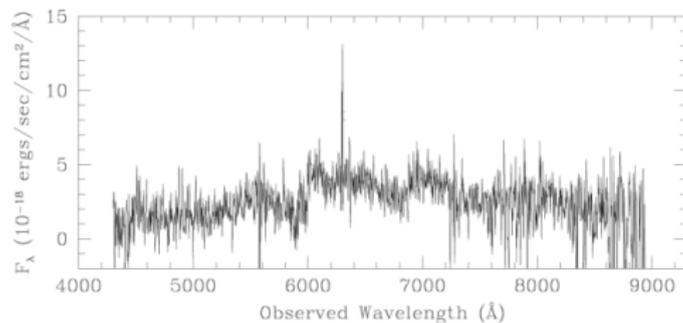


Abbildung: Erste Messung einer Supernova

Messung

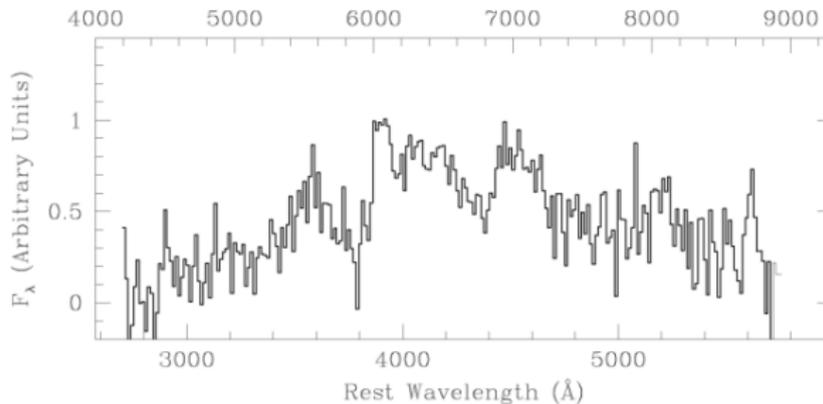


Abbildung: Bereinigte Messung

Messung

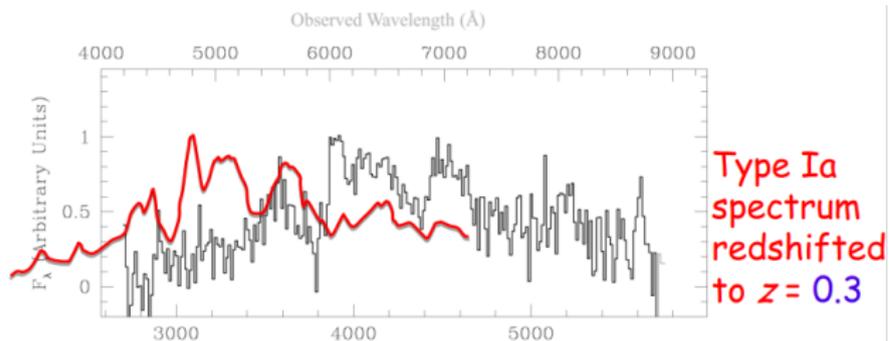


Abbildung: Redshift

Messung

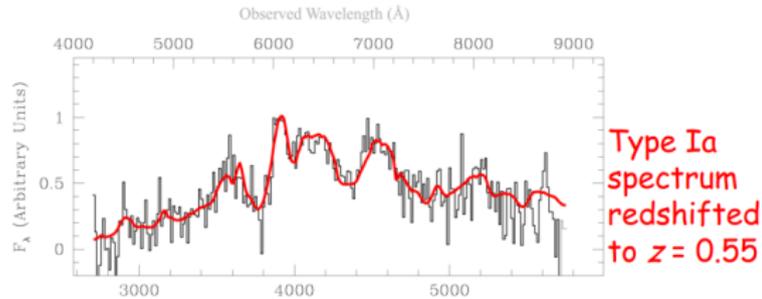


Abbildung: Redshift

Auswertung und Interpretation

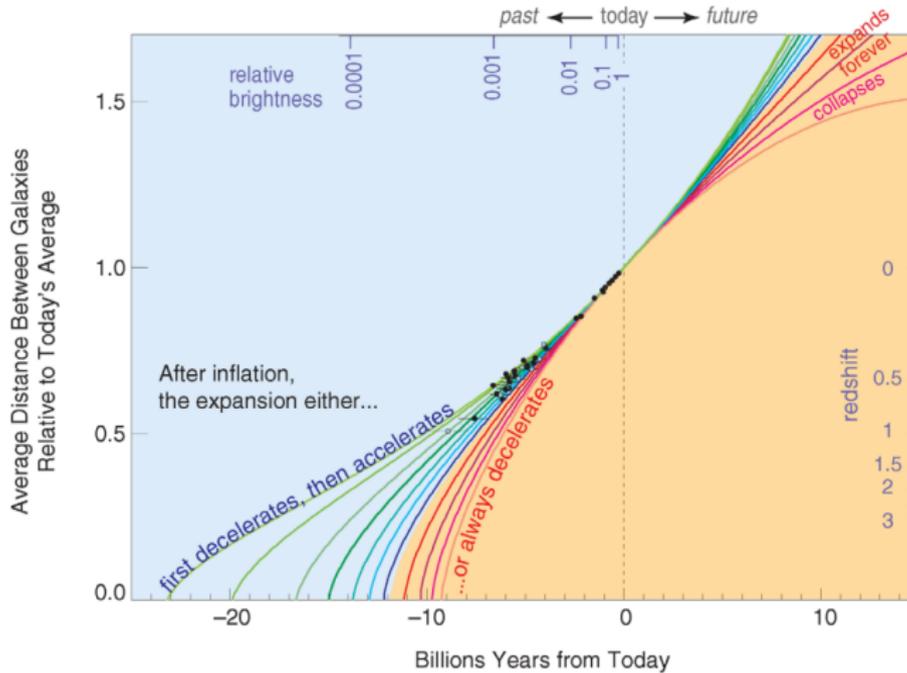


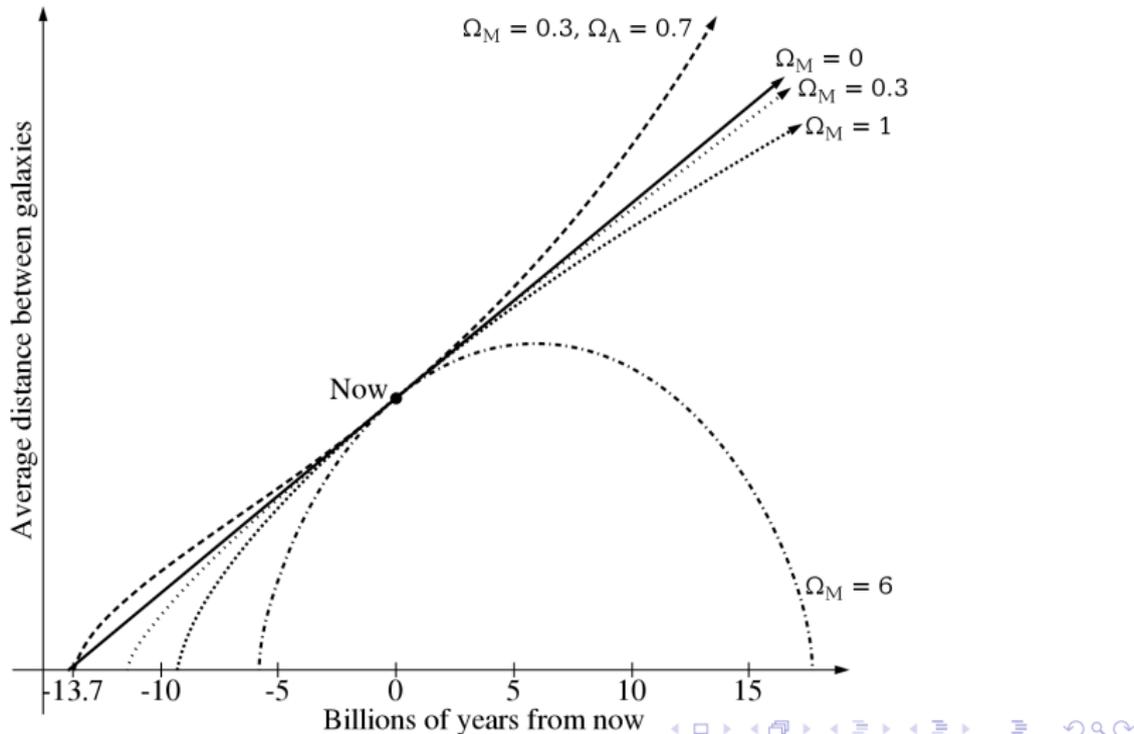
Abbildung:
Expansions-
geschichte
des Uni-
versums

[7]

Λ -CDM-Modell

- Motiviert durch die obigen Messungen
- postuliert kalte dunkle Materie als Möglichkeit für Beschleunigung
- Postulate:
 - \exists kosmologische Konstante Λ
 - dunkle Materie
 - normale Materie

Schicksale des Universums



Masseverteilung Universum

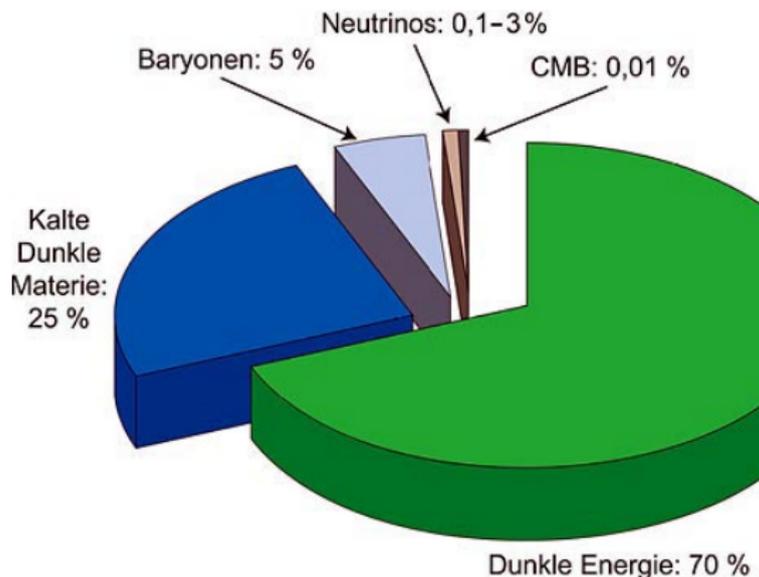


Abbildung: Masseverteilung des Universums [4]

Warum ist die dunkle Energie relevant?

- Sie (was auch immer das ist) macht 70% des Universums aus
 - Ist verantwortlich für die Zukunft und auch die Herkunft
 - Konflikt mit nahezu allen modernen Forschungen:
 - QM
 - ART
 - Strings
- ⇒ Quantengravitation...?

Quellen I

-  <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Raisinbread.gif>
-  <https://astro.ucla.edu/~wright/balloon0.html>
-  <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Astro/stdcand.html>
-  https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Friedmann_universes.svg
-  https://supernova.eso.org/germany/exhibition/images/1111_DUM_2/

Quellen II

-  https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/riess-lecture_slides.pdf
-  <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2011/summary/>
-  <https://hubblesite.org/contents/media/images/1999/19/813-Image.html>