

Beschleunigte Expansion des Universums

Anna-Lena Kruse

2. Juli 2013

Schicksal des Universums

“Some say the world will end in fire;
Some say in ice...”

Inhaltsverzeichnis

- 1 Motivation
- 2 Theoretische Grundlagen
- 3 Messung
- 4 Ergebnisse
- 5 Zusammenfassung

Verständnis des Universums zu Beginn des 20.Jh.

Das Universum ist...

- ...nicht größer als die Milchstraße
- ...statisch
- ...homogen
- ...isotrop

Entscheidende Erkenntnisse

- Entfernungsmessung an Cepheiden

Entscheidende Erkenntnisse

- Entfernungsmessung an Cepheiden
- ART: Statisches Universum nicht stabil
 - Einführung der kosmologischen Konstante Λ

Entscheidende Erkenntnisse

- Entfernungsmessung an Cepheiden
- ART: Statisches Universum nicht stabil
 - Einführung der kosmologischen Konstante Λ
- Hubble-Gesetz: Universum expandiert
 - Verwerfen von Λ

Entscheidende Erkenntnisse

- Entfernungsmessung an Cepheiden
- ART: Statisches Universum nicht stabil
 - Einführung der kosmologischen Konstante Λ
- Hubble-Gesetz: Universum expandiert
 - Verwerfen von Λ
- Und was bedeutet das nun für unser Universum?

Geometrische Form des Universums

- offen
 - Gravitation zu schwach, um Expansion zu verhindern
 - Expansion in die Unendlichkeit, Abkühlung

Geometrische Form des Universums

- offen
 - Gravitation zu schwach, um Expansion zu verhindern
 - Expansion in die Unendlichkeit, Abkühlung
- geschlossen
 - Gravitation stark genug, um Expansion umzukehren
 - Big Crunch

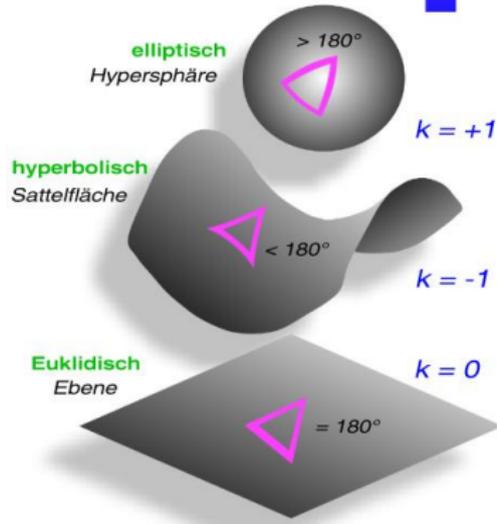
Geometrische Form des Universums

- offen
 - Gravitation zu schwach, um Expansion zu verhindern
 - Expansion in die Unendlichkeit, Abkühlung
- geschlossen
 - Gravitation stark genug, um Expansion umzukehren
 - Big Crunch
- flach
 - Gravitation verlangsamt Expansion, stoppt sie jedoch nicht

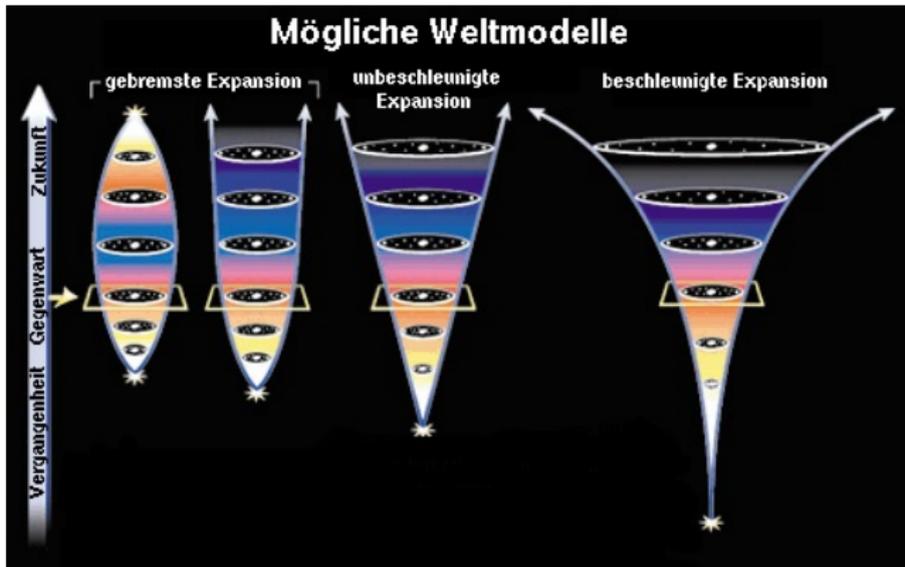
Geometrische Form des Universums

Geometrien des Universums

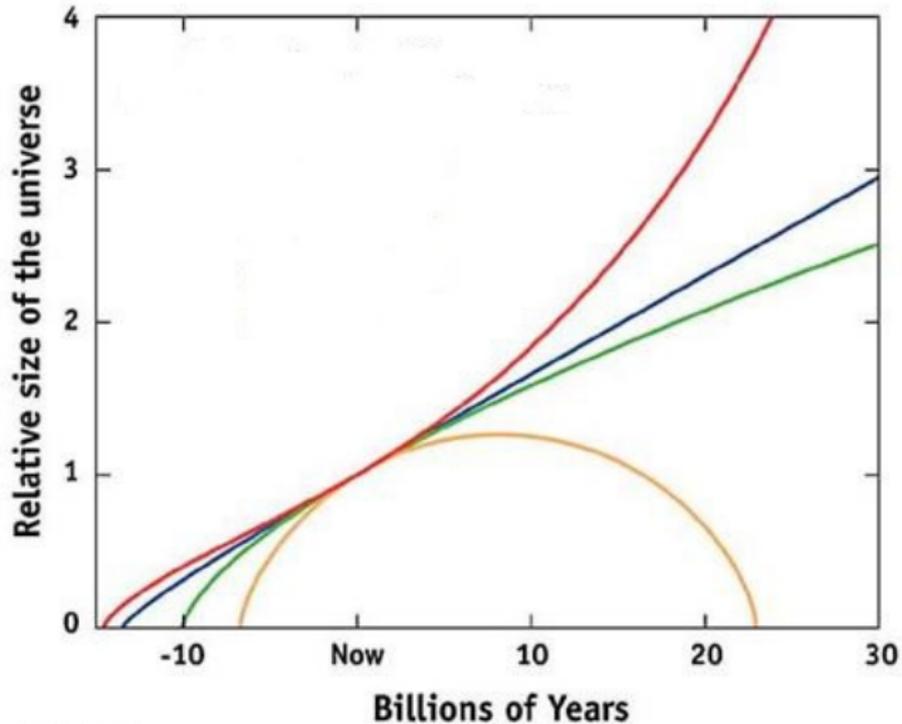
mit einfacher Topologie



Geometrische Form des Universums



Geometrische Form des Universums



Friedmann Gleichungen

- (1) $H^2 = \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G\rho}{3} - \frac{k}{a^2} + \frac{\Lambda}{3}$
- (2) $\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4G\pi}{3}(\rho + 3p) + \frac{\Lambda}{3}$
- H: Hubble-Parameter
- a: Skalenfaktor
- ρ : Energiedichte
- Λ : Kosmologische Konstante

Herleitung der Friedmann Gleichungen

- Aus ART: $G_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu} - g_{\mu\nu}\Lambda$
- Linienelement $ds^2 = g_{\mu\nu}dx^\mu dx^\nu = -dt^2 + a^2(t)(d\omega^2 + f_k^2(\omega)(d\theta^2 + \sin^2(\theta)d\phi^2))$
- $T^\mu_\nu = \text{diag}(-\rho, p, p, p)$
- (1) aus 00-Komponente, (2) aus Spur der Matrix

Die Suche nach Standardkerzen

- Standardkerzen: Objekte mit bekannter absoluter Helligkeit

Die Suche nach Standardkerzen

- Standardkerzen: Objekte mit bekannter absoluter Helligkeit
- Sehr große Entfernungen \Rightarrow Sehr helle Objekte

Die Suche nach Standardkerzen

- Standardkerzen: Objekte mit bekannter absoluter Helligkeit
- Sehr große Entfernungen \Rightarrow Sehr helle Objekte

Supernovae Typ Ia

Supernovae Ia

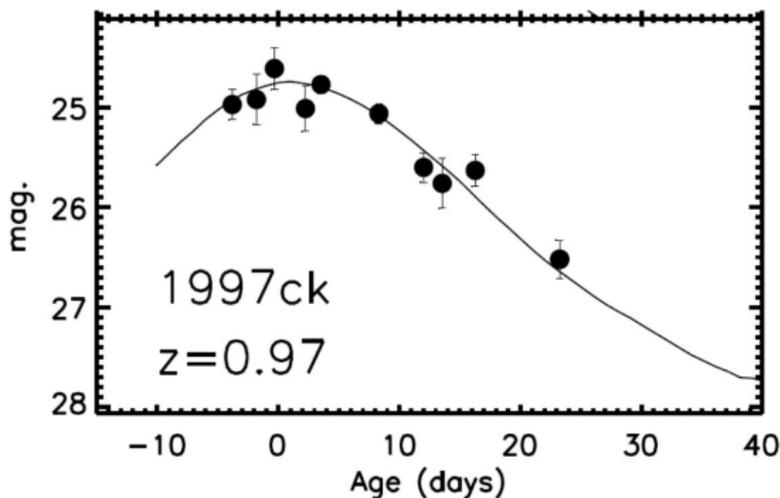
- Doppelsternsystem mit weißem Zwerg
- Heller als Heimatgalaxie



Supernovae Ia



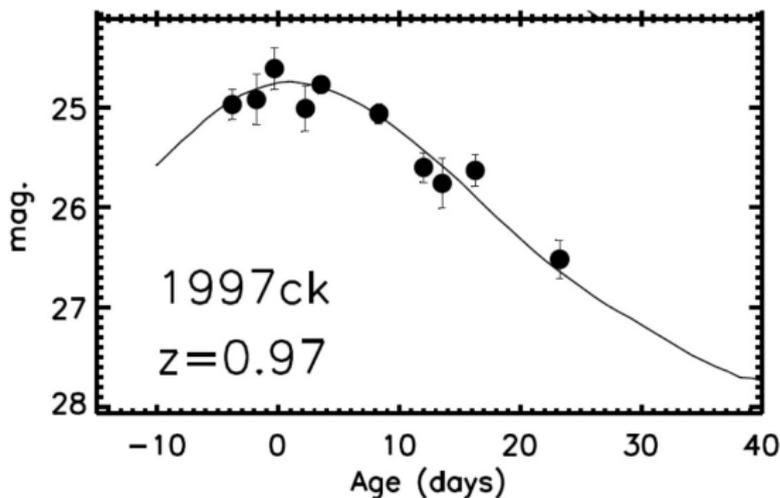
- Doppelsternsystem mit weißem Zwerg
- Heller als Heimatgalaxie
- Charakteristische Kurve



Supernovae Ia



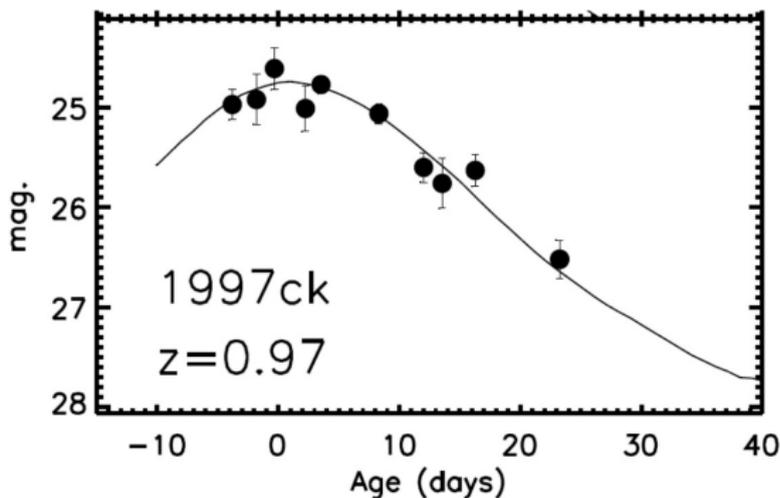
- Doppelsternsystem mit weißem Zwerg
- Heller als Heimatgalaxie
- Charakteristische Kurve



Supernovae Ia



- Doppelsternsystem mit weißem Zwerg
- Heller als Heimatgalaxie
- Charakteristische Kurve



Die Jagd auf Supernovae Ia

- Supernova Cosmology Project

Die Jagd auf Supernovae Ia

- Supernova Cosmology Project
- Beobachtung eines Himmelsausschnitts nach Neumond
- Weitere Beobachtung drei Wochen später

Die Jagd auf Supernovae Ia

- Supernova Cosmology Project
- Beobachtung eines Himmelsausschnitts nach Neumond
- Weitere Beobachtung drei Wochen später
- Supernovae → helle Punkte
- Zeit der maximalen Helligkeit vorraussagbar
- Beobachtung mit besseren Teleskopen

Beobachtungen

- 42 Supernovae vom SCP + 16 vom HZT



Beobachtungen

- 42 Supernovae vom SCP + 16 vom HZT



- Man erhält Geschwindigkeit und Entfernung

Beobachtungen

- 42 Supernovae vom SCP + 16 vom HZT



- Man erhält Geschwindigkeit und Entfernung
- Werte legen nah, dass $q_0 < 0$

Beobachtungen

- 42 Supernovae vom SCP + 16 vom HZT

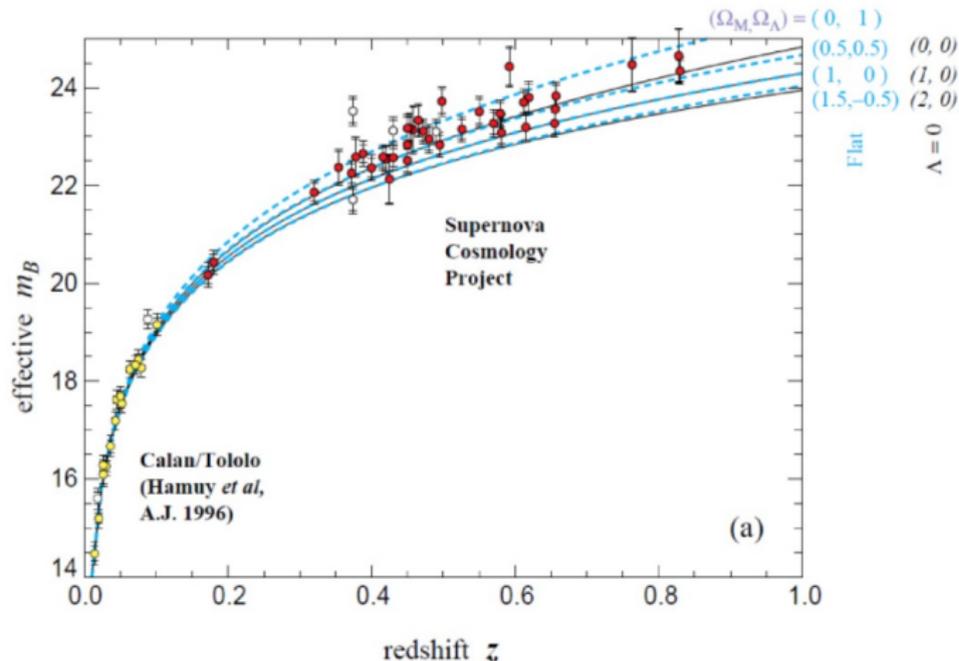


- Man erhält Geschwindigkeit und Entfernung
- Werte legen nahe, dass $q_0 < 0$

Die Expansion des Universums ist beschleunigt!

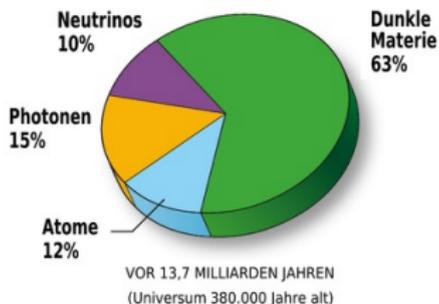
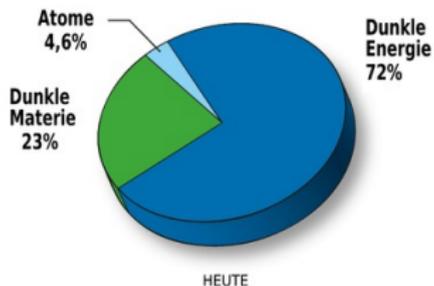
- Bis etwa zur Hälfte des Weltalters gebremste Expansion, danach Beschleunigung

Beobachtungen

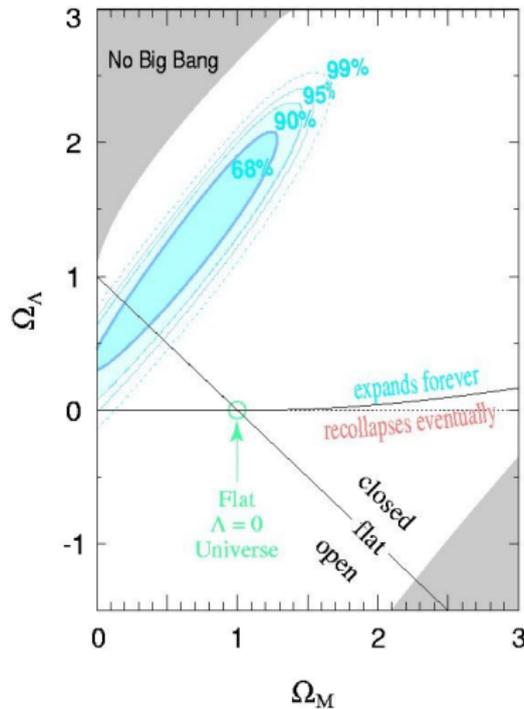


Erklärung

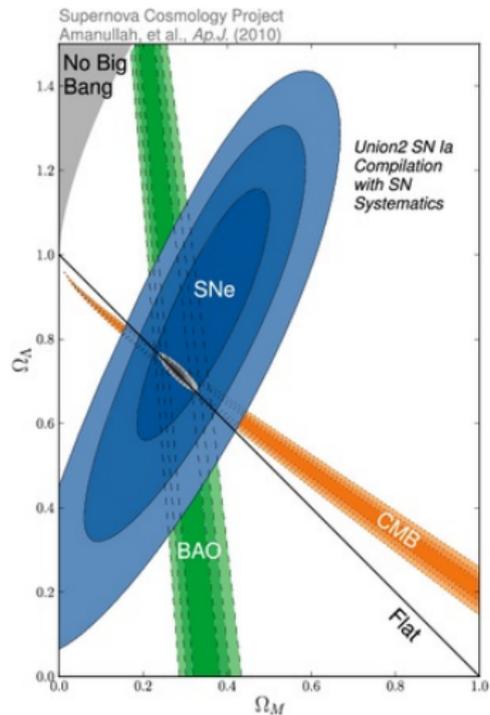
- Dunkle Energie, beschrieben durch $\Lambda \neq 0$



Beobachtungen



Beobachtungen



2 mögliche Szenarien

- Big Freeze
 - Massen bleiben zunächst kompakt, werden dann in Strahlung umgewandelt
 - Materie verteilt über gesamten Raum
 - Abkühlung
- Big Rip
 - Dunkle Energie wird übermächtig
 - Strukturen werden zerrissen

Zusammenfassung

- Schicksal des Universums abhängig von Form
- Messung an Supernovae Ia
- Universum expandiert beschleunigt
- Grund: Vermutlich dunkle Energie

Quellen

- http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2011/popular-physicsprize2011.pdf
- http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2011/advanced-physicsprize2011.pdf
- <http://gravity.univie.ac.at/index.php?id=1605>
- <http://www.oarval.org/SCPen.htm>