

7. Einführung in die Kosmologie

Beobachtungsgrundlagen

Das Standardmodell (Urknallmodell)

Alternative Modelle

Die Zukunft des Universums

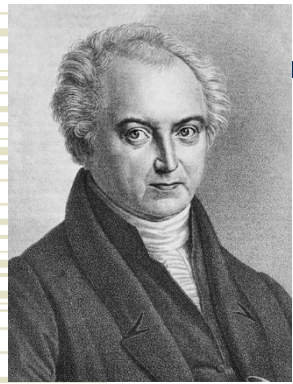
Womit beschäftigt sich die Kosmologie?

- ◆ Kosmologie → griechisch „die Lehre von der Welt“
- ◆ beschäftigt sich mit dem Ursprung, der Entwicklung und der grundlegenden Struktur des Universums als Ganzem → ist damit ein Teilgebiet sowohl der Physik, der Astronomie als auch der Philosophie

Einführung in die Thematik Kosmologie

In dem Film „Woher kommt die Welt?“ werden einige der Grundfragen der modernen Kosmologie aufgegriffen. Achten Sie während des Films besonders auf folgende drei Schwerpunkte:

- ◆ Das heute bevorzugte Standardmodell für die Entstehung der Welt ist das „Urknallmodell“. Geben Sie Beobachtungsgrundlagen der modernen Kosmologie an, die dafür sprechen, dass das Universum in einem „Big Bang“ entstanden ist.
- ◆ Nennen Sie alternative Modelle zum „klassischen“ Urknallmodell.
- ◆ Geben Sie mögliche Entwicklungsszenarien für die zukünftige Entwicklung des Universums an.



Beobachtungsgrundlagen - Olberssches Paradoxon (Problem)

Heinrich Wilhelm Olbers (1758 - 1840)

- ◆ Warum ist es nachts eigentlich dunkel?
- ◆ In einem unendlich ausgedehnten Universum mit gleichmäßiger Sternverteilung müsste nach unendlich langer Zeit das Licht jedes Sterns die Erde erreicht haben und der Himmel in alle Richtungen strahlend hell erscheinen.
→ Widerspruch zur Beobachtung!

Beobachtungsgrundlagen Olberssches Paradoxon (Problem)



Beobachtungsgrundlagen Olberssches Paradoxon (Lösung)

- ◆ Der **sichtbare** Kosmos ist nicht unendlich groß und enthält nicht unendlich viele Sterne.
 - Das sichtbare Universum ist räumlich und zeitlich begrenzt.
 - Licht kann uns in endlicher Zeit, in der das Universum existiert, nur aus einem endlich großen Bereich erreichen.
- ◆ Sterne haben nur eine endliche Lebensdauer. → reduziert die Anzahl der Sterne, deren Licht uns erreichen kann
- ◆ Expansion des Universums → Abnahme der Photonendichte
- ◆ Kosmologische Rotverschiebung → Abnahme der Photonenenergie

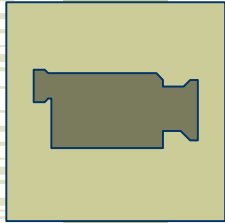
Beobachtungsgrundlagen Galaxienflucht

Lesen Sie im LB S. 161 das Kapitel „Galaxienflucht“ und erläutern Sie

- ◆ wie Slipher, Humason und Hubble die Radialgeschwindigkeiten der Galaxien bestimmten
- ◆ welches Ergebnis sie bei ihren Untersuchungen erhielten
- ◆ was man unter der „Hubblekonstante“ versteht.
- ◆ LB S. 163 / Aufgabe 1

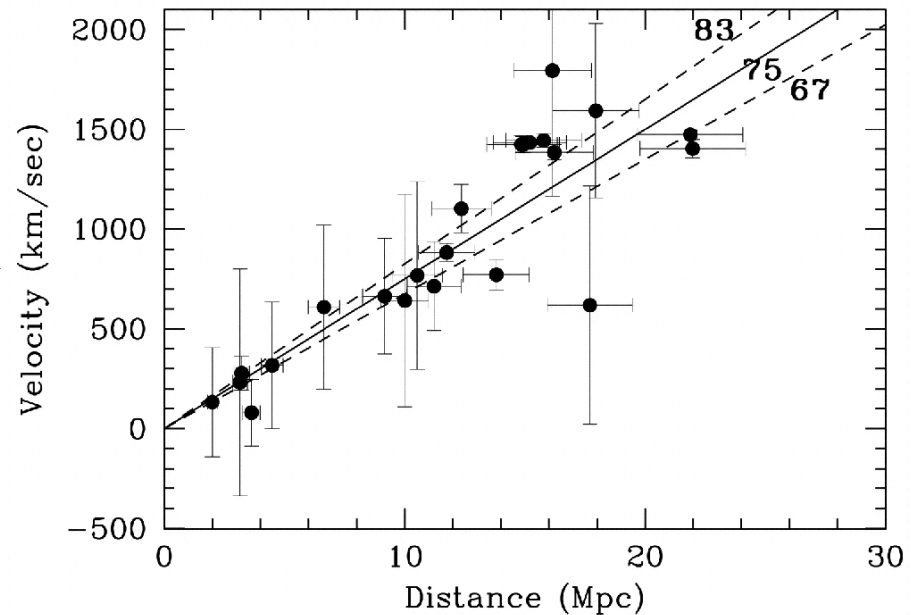
$$z * c = H_0 * r \rightarrow r = (z * c) / H_0;$$

einsetzen von $z = 0,13$ ergibt 527 Mpc bzw. 1,7 Mrd. Lj



Beobachtungsgrundlagen Die Expansion des Universums

- ◆ 1927 entdeckt der Belgier Georges Lemaître die Expansion des Universums. Er hat theoretisch hergeleitet, dass Galaxien sich umso schneller entfernen, je weiter sie von uns entfernt sind.
- ◆ 1929 fand Hubble die Beziehung $v = H_0 * r$, also die Beziehung zwischen den Distanzen r der Galaxien und den als Geschwindigkeiten gedeuteten Rotverschiebungen v (kosmologische Rotverschiebung).



Hubble-Konstante H_0 beschreibt die Expansionsrate des Universums zum heutigen Zeitpunkt.

$$H_0 \approx (74,3 \pm 2,1) \frac{\text{km}}{\text{s} \cdot \text{Mpc}}$$

Beobachtungsgrundlagen

Die Expansion des Universums

Lesen Sie im LB S. 172 das Kapitel „Alter des Universums“ und lösen Sie folgende Aufgaben:

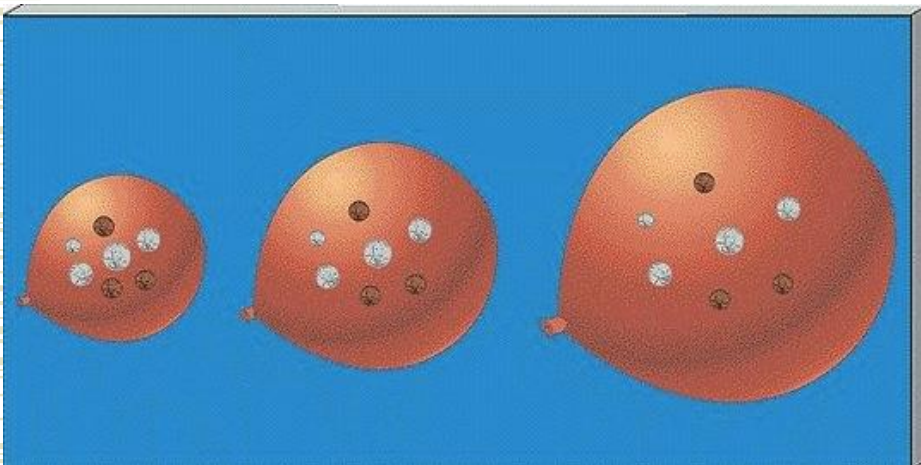
- ◆ Erläutern Sie wie man aus der Hubblekonstante das Alter des Universums berechnen kann.
- ◆ Geben Sie das Weltalter an.
- ◆ Erläutern Sie warum man mit dieser Methode das Weltalter nur näherungsweise bestimmen kann.

Beobachtungsgrundlagen

Die Expansion des Universums

Aufgabe: Lesen Sie im LB. S. 169 das Kapitel „Expansion des Universums“ und erläutern Sie die Expansion des Universums mit dem Modell des Ballonuniversums.

- ◆ Das Universum expandiert und die Galaxien entfernen sich voneinander – ähnlich wie Punkte auf der Oberfläche eines Luftballons, der aufgeblasen wird.
- ◆ **Es handelt sich hierbei um eine Expansion des Raums an sich!**
- ◆ Der Urknall-Theorie zufolge war die Materie im Universum einst dicht beisammen und verdünnt sich durch die Expansion.



Beobachtungsgrundlagen

Das kosmologische Prinzip

- ◆ Das Weltall ist **homogen** – das heißt, es stellt sich einem Beobachter **unabhängig von dem Punkt des Raumes**, in dem er sich befindet, immer gleich dar. (→ Folie A+R 6/2006)
- ◆ Das Weltall ist **isotrop** – das heißt, es stellt sich dem Beobachter **unabhängig von der Beobachtungsrichtung** im Raum immer gleich dar.
- ◆ Die uns bekannten **Naturgesetze sind allgemeingültig**, d.h. es gelten überall im Universum die gleichen Naturgesetze.

Beobachtungsgrundlagen Materie – Antimaterie - Problem



„Warum ist überhaupt etwas
und nicht vielmehr nichts?“

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646 – 1716),
deutscher Philosoph und Wissenschaftler

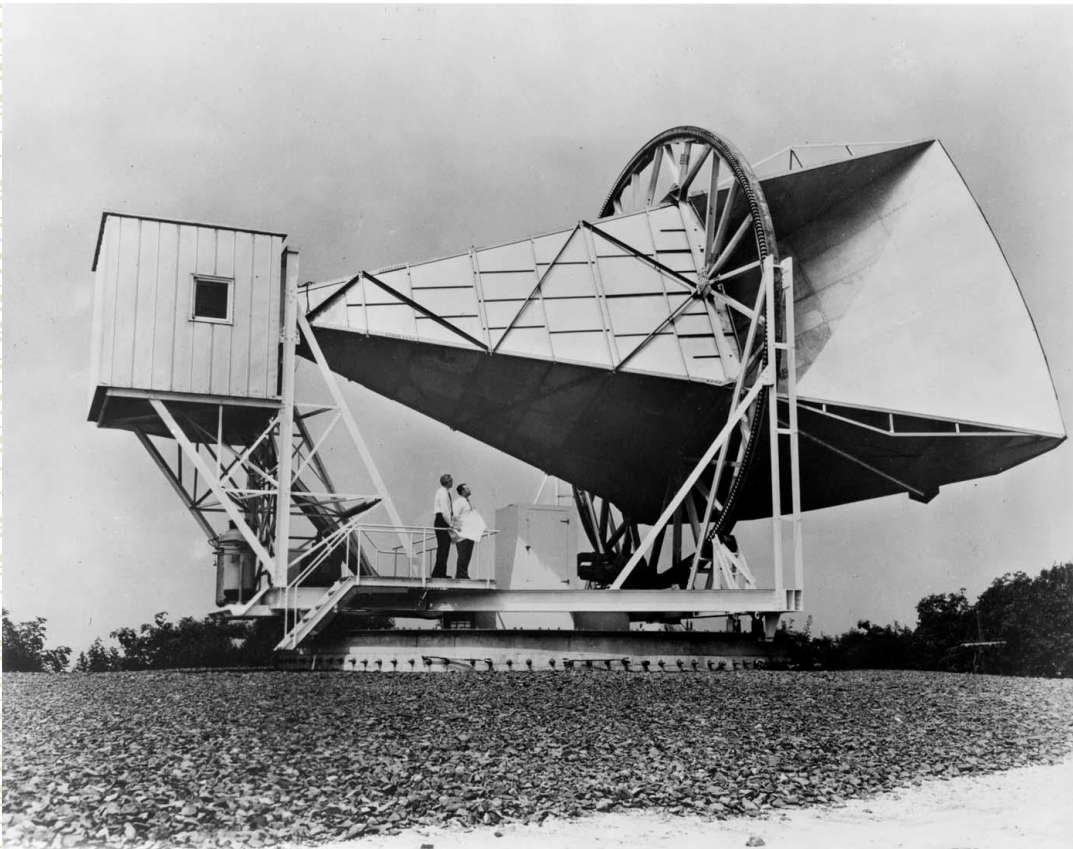
Beobachtungsgrundlagen

Materie – Antimaterie - Problem

- ◆ Antimaterie ist die Sammelbezeichnung für Antiteilchen und alles, was aus ihnen aufgebaut ist. (z.B. Elektron \leftrightarrow Positron)
- ◆ In der beobachtbaren Welt ist Antimaterie sehr kurzlebig, weil beim Aufeinandertreffen eines Teilchen-Antiteilchen-Paares sich beide gegenseitig vernichten (\rightarrow Annihilation).
- ◆ Nach dem heißen und dichten Anfangszustand des Universums (Urknall) sind Materie und Antimaterie in näherungsweise gleichen Mengen entstanden und kurz darauf wieder durch Annihilation „zerstrahlt“.
- ◆ Andererseits zeigen aber alle bisherigen Beobachtungen im Kosmos nur die „normale“ Materie.
- ◆ Der Grund für dieses Ungleichgewicht (ca. 1 Teilchen auf 1 Mrd. Teilchen-Antiteilchen-Paare) ist eines der großen Rätsel der Kosmologie.

Beobachtungsgrundlagen

3K - Hintergrundstrahlung



Arno Penzias und Robert Wilson entdeckten 1965 mit einer hausgroßen Hornantenne eine **thermische Strahlung, die uns aus allen Himmelsrichtungen erreicht.** (Nobelpreis für Physik 1978)

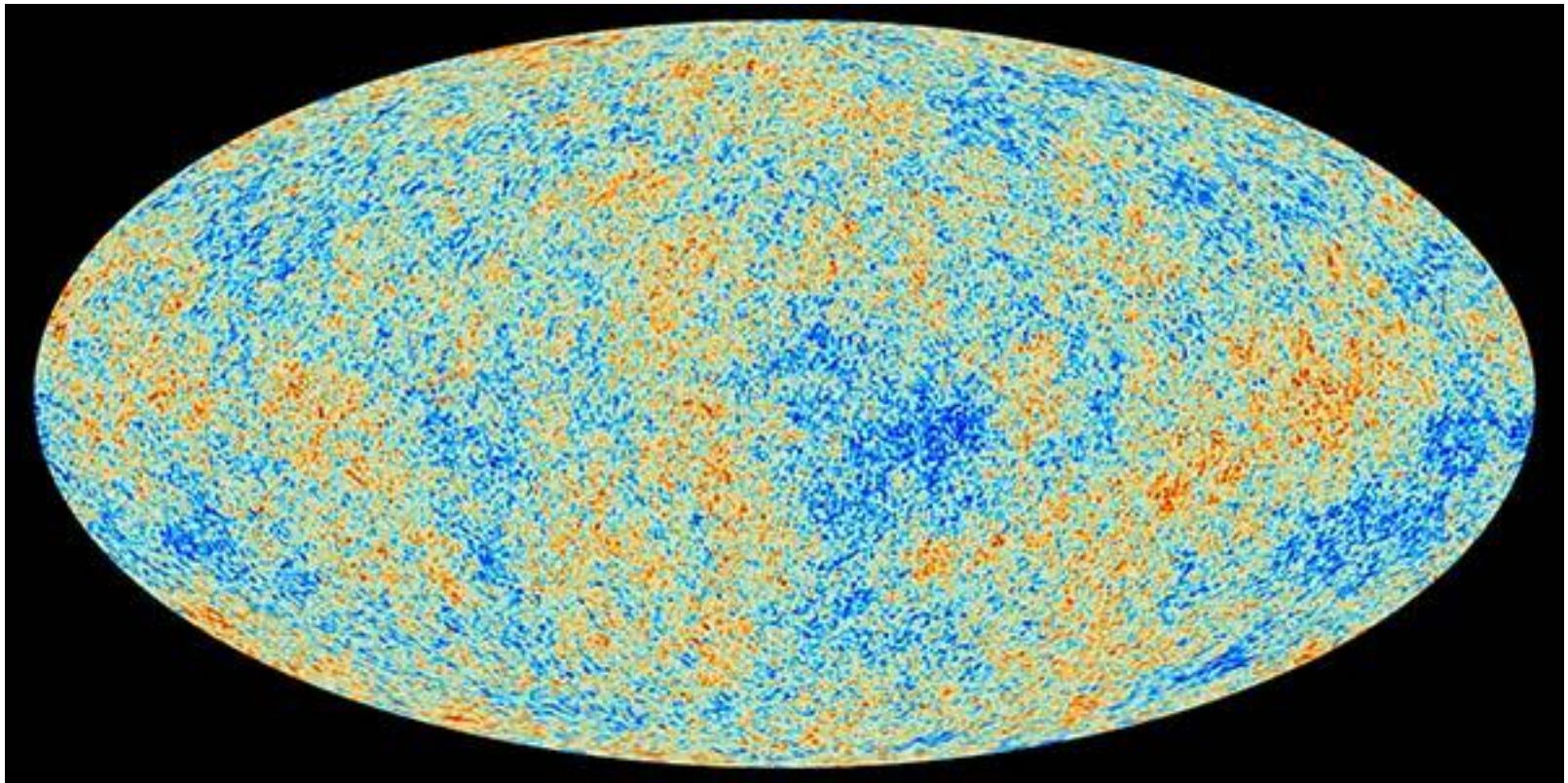
Beobachtungsgrundlagen

3K - Hintergrundstrahlung

„Es ist das Älteste, was Menschen überhaupt messen können: Die Hintergrundstrahlung hat sich vor 13,8 Mrd. Jahren bzw. **380.000 Jahre nach dem Urknall** auf den Weg gemacht. Damals gab es noch keine Sterne, keine Galaxien, keine Planeten – es gab nur ein Gas, das im Wesentlichen aus 75% Wasserstoff und 25% Helium bestand und das ein paar tausend Grad Temperatur hat. Dadurch strahlte es und dieses ‚Glühen‘ beobachten die Astronomen heute noch.“

Quelle: <http://www.scilogs.de/kosmo/blog/einsteins-kosmos/allgemein/2009-08-24/die-12-gr-ten-durchbr-che-in-der-astronomie>

Beobachtungsgrundlagen 3K - Hintergrundstrahlung



Temperaturschwankungen in der kosmischen Hintergrundstrahlung (gemessen vom Satelliten Planck in den Jahren 2009 – 2013)

Beobachtungsgrundlagen

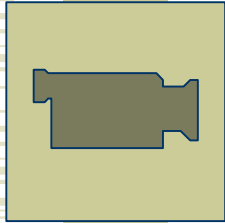
3K - Hintergrundstrahlung

Ergebnisse der Mission von Planck (2009 – 2013):

- Zusammensetzung des Universums: 4,9 % konventionelle Materie, 26,8 % Dunkle Materie und 68,3 % Dunkle Energie.
- Universum besitzt eine flache (euklidische) räumliche Geometrie
→ LB S. 176, Tab 37.1
- Die Expansion des Universums dauert aufgrund des erheblichen Beitrages Dunkler Energie ewig an.
- Das Alter des Universums wird auf 13,8 Milliarden Jahre geschätzt.
- Erste Sterne gab es im Universum bereits vor 13,5 Milliarden Jahren.

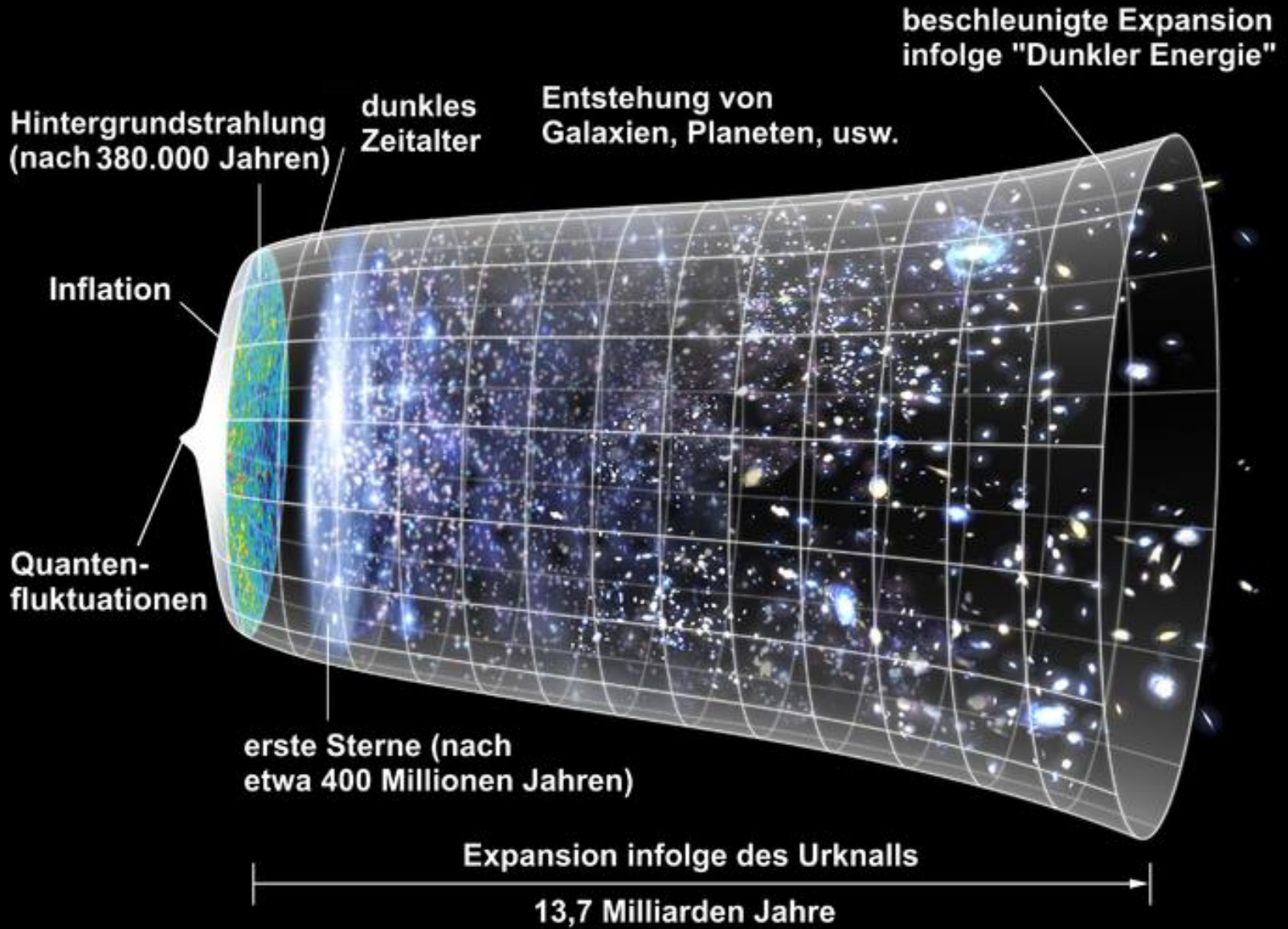
Das Standardmodell der Kosmologie

Lesen Sie im LB S. 170 das Kapitel „Urknall“ und beschreiben Sie stichpunktartig die Entstehung und Entwicklung des Kosmos nach der Urknallhypothese.



Das Standardmodell der Kosmologie

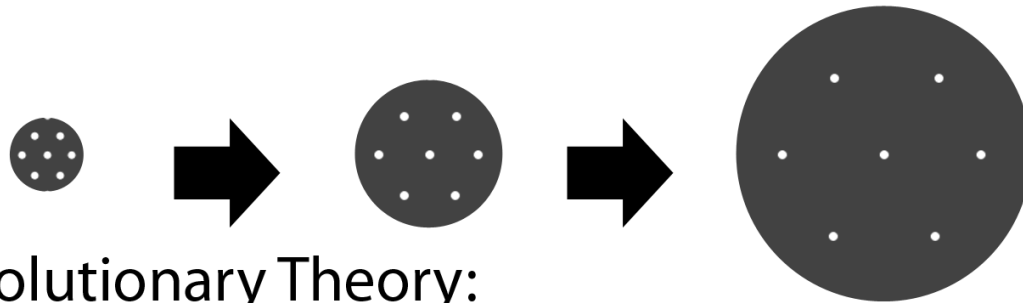
- ◆ **Planck-Ära;** bis 10^{-43} s; alle vier Kräfte noch vereint (→ Folie A + R 5/2007)
- ◆ **Inflationäre Phase;** endet nach 10^{-33} s bis 10^{-30} s; extreme Expansion
- ◆ **Quark-Ära;** bis 10^{-7} s; es bilden sich Quarks, Leptonen (z.B. Elektronen) und Photonen; das Ungleichgewicht von Materie und Antimaterie entsteht
- ◆ **Hadronen-Ära;** bis 10^{-4} s; Protonen, Neutronen und deren Antiteilchen entstehen
- ◆ **Primordiale Nukleosynthese;** bis 3 min; Wasserstoff-, Helium-, Lithiumkerne entstehen
- ◆ **Strahlungs-Ära;** bis ca. 380.000 Jahre; undurchsichtiges Universum
- ◆ **Materie-Ära;** bis heute; Universum wird durchsichtig, Galaxien entstehen → AB vervollständigen!



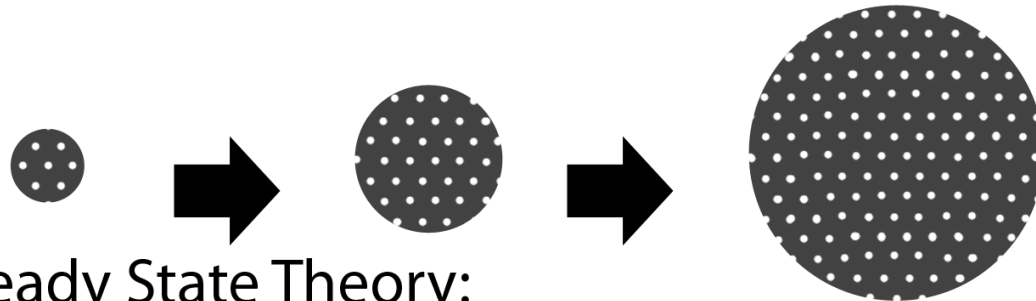
Alternative Modelle Steady-State-Theorie

- ◆ 1949 durch Fred Hoyle, Thomas Gold und anderen als Alternative zur Urknalltheorie entwickelt
- ◆ Das Universum hat keinen Anfang und kein Ende.
- ◆ Die Theorie sagt aus, dass das Universum sein Aussehen nicht ändert, obwohl es größer wird. Dazu muss ständig Materie neu gebildet werden, um die durchschnittliche Dichte gleich zu halten.
- ◆ Die Schwierigkeiten dieser Theorie begannen in den späten 1960er Jahren. Beobachtungen zeigten, dass sich das Universum zeitlich tatsächlich verändert. Quasare und Radiogalaxien wurden nur in weit entfernten Galaxien gefunden.

Alternative Modelle Steady-State-Theorie



Evolutionary Theory:
Density of matter decreases over time



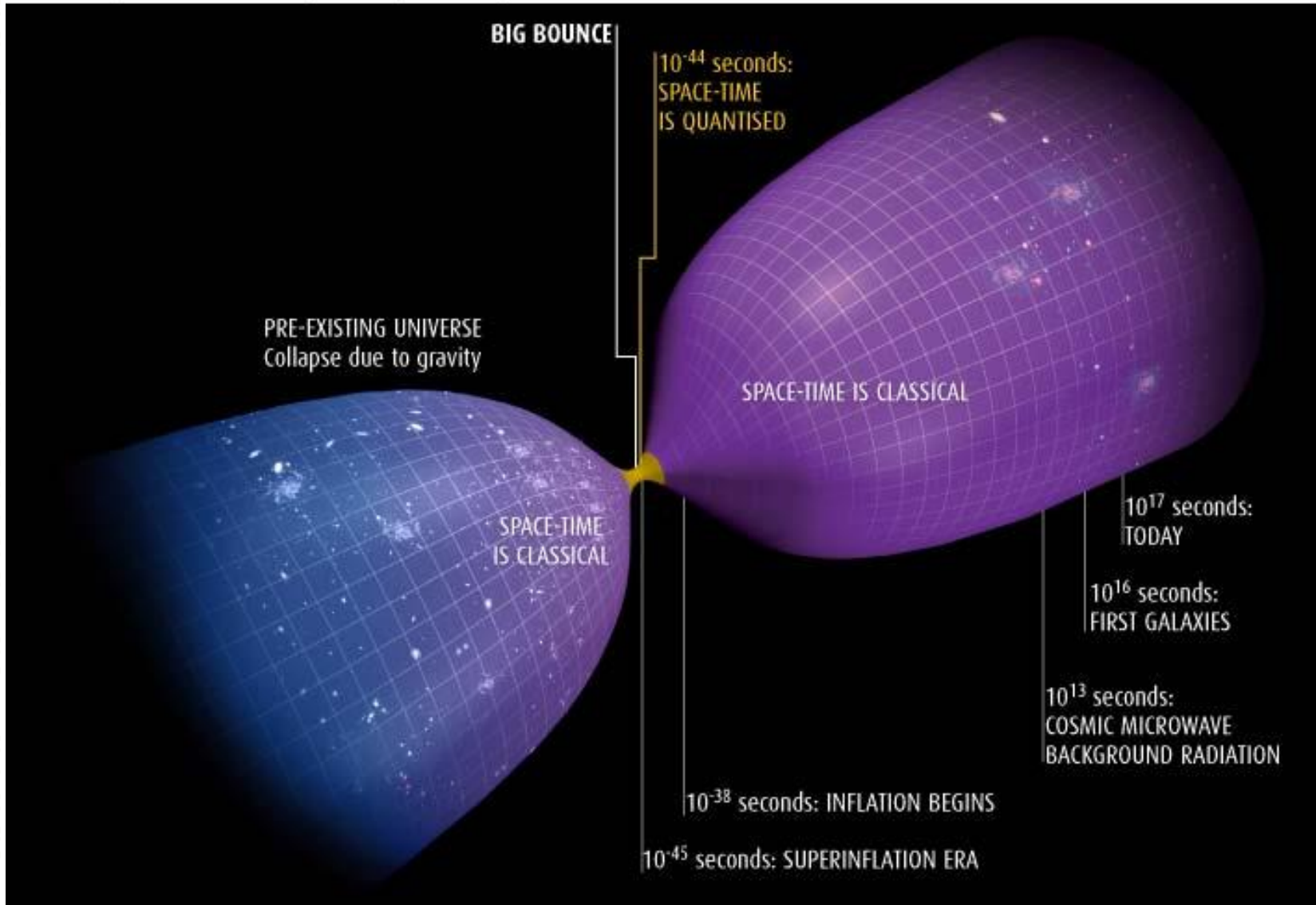
Steady State Theory:
Density of matter is constant over time

Alternative Modelle Big - Bounce

- ◆ Big Bounce → großer Rückprall
- ◆ Es ist vom Modell des oszillierenden / zyklischen Universums abgeleitet. Dabei wird angenommen, dass der Urknall das Resultat des Kollapses (Big Crunch) eines Vorgängeruniversums war.

THE BIG BOUNCE

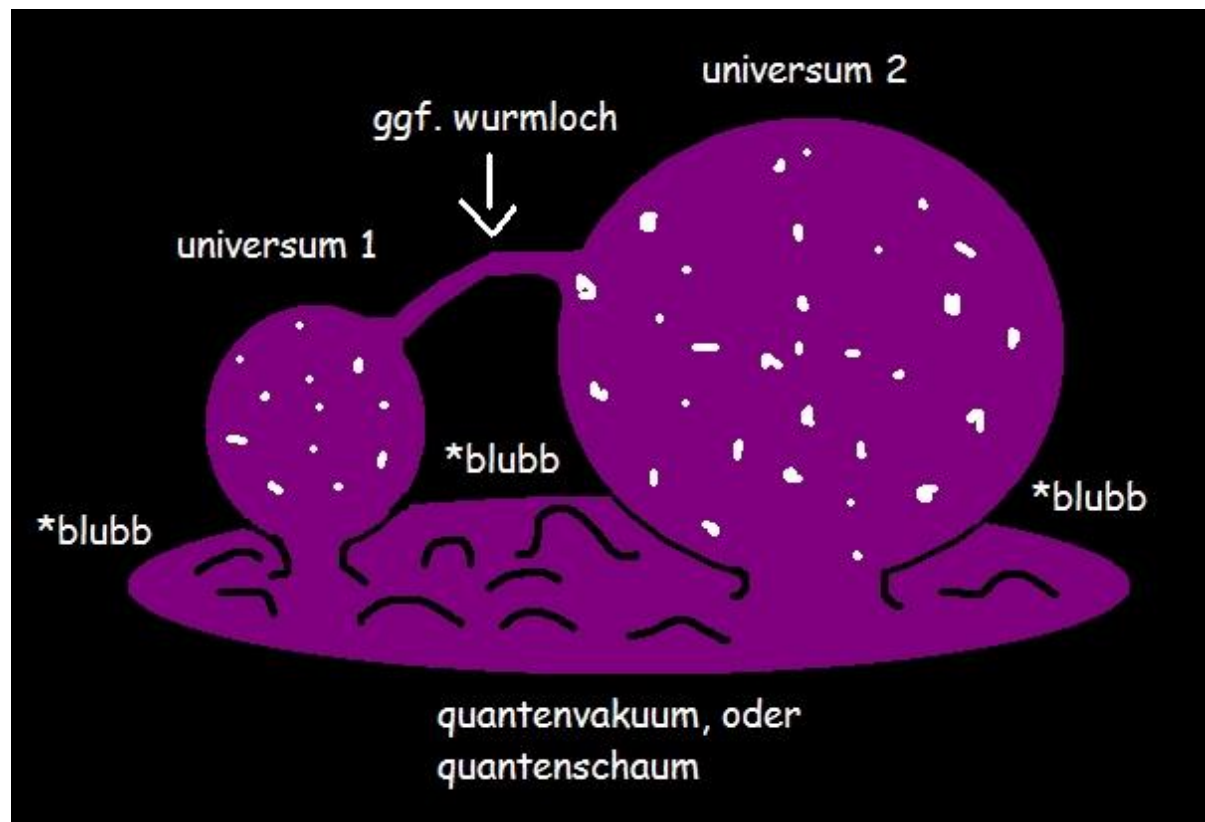
Loop quantum cosmology predicts that the universe did not arise from nothing in a big bang. Instead it grew from the collapse of a pre-existing universe that bounced back from oblivion



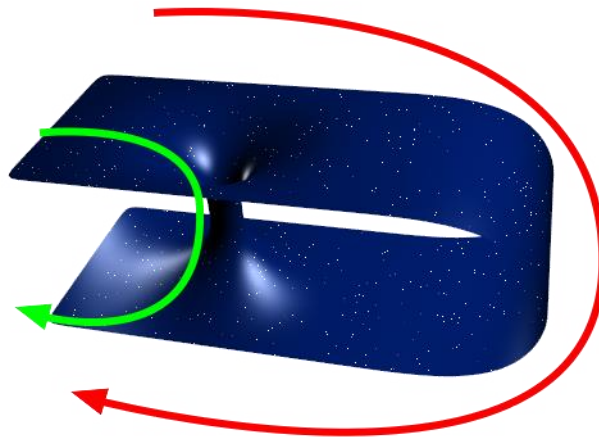
Quelle: Anil Ananthaswamy, From Big Bang to Big Bounce, New Scientist, December 13, 2008, pp. 32-35

Alternative Modelle Multiversum

Annahme:
Während des Urknalls
ist nicht nur ein
Universum entstanden,
sondern es
sind mehrere Universen
entstanden, die evtl.
durch Wurmlöcher
verbunden sind.

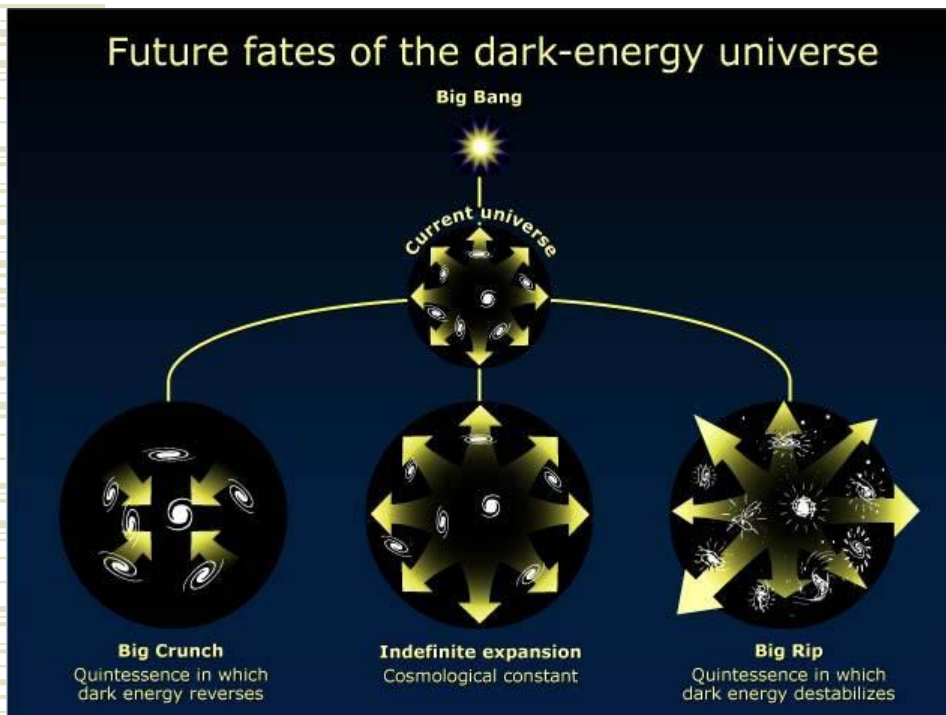


Wormloch (Einstein-Rosen-Brücke)



- ◆ Der Name *Wormloch* stammt von der Analogie mit einem Wurm, der sich durch einen Apfel hindurchfrisst.
- ◆ Es verbindet damit zwei Seiten desselben Raumes durch einen Tunnel.
- ◆ Materie krümmt die Raumzeit → Tunnel öffnet sich → Materie dringt durch das Schwarze Loch ein und durch das Weiße Loch wieder aus

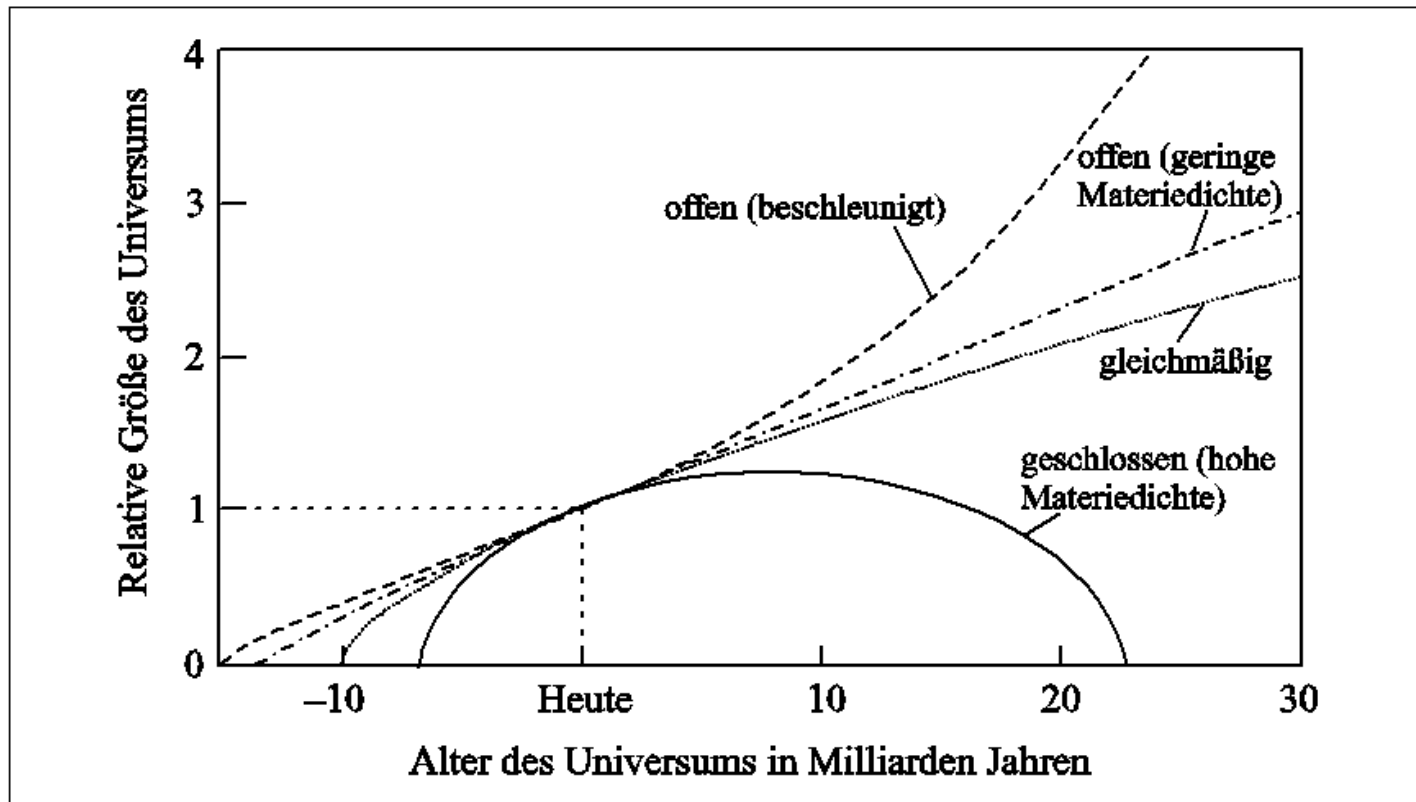
Die Zukunft des Universums



- ◆ **Big Crunch:** Die Expansion des Universums stoppt irgendwann und dann kommt es zur Umkehr. Es verdichtet sich wieder bis es am Schluss in sich zusammenfällt.
- ◆ **Konstante Expansion:** Das Universum breitet sich immer schön gleichmäßig weiter aus.
- ◆ **Big Rip:** Die Expansion des Universums nimmt rasant zu (exponential), bis das Universum und seine Raumzeit reißt.

Weltmodelle

in Abhängigkeit von der Materiedichte



Komplexe Aufgabe: Supernovae – Typ Ia und die dunkle Energie