

Nachtrag: Dunkle Energie

- Mena, Santiago & Weller (Oktober 2005): beschleunigte Expansion des Universums kann **ohne** Dunkle Energie erklärt werden; Modelle der allgemeinen modifizierten Gravitation; Inverse- Krümmungs-Schwerkraft-Modelle; Beschleunigung wird durch die Krümmung anstatt durch Dunkle Energie erzeugt
- Alternative zur Dunklen Energie: Modifikation der Schwerkraft bei großen Distanzen oder bei geringen Krümmungen: geometrischer Grund für beschleunigte Expansion; unwichtig bei starker kosmologischer Krümmung
- Dunkle Materie wird noch benötigt!

Die Zeit vor dem Urknall....



„Geistesgegenwärtig hatte Gott damals vom Urknall ein Foto geschossen, welches er immer noch recht eindrucksvoll fand“

Das Standardmodell



Themen Heute

- Standard-Urknall-Modell
- Probleme des Standardmodells
- Lösung: Inflationäres Universum?
 - „Altes inflationäres“ Universum
 - „Neues chaotisch selbstreproduzierendes inflationäres“ Szenario
- Ekpyrotisches / zyklisches Universum
- Multiversen auf verschiedenen Ebenen
 - Level I - IV
- Wurm Löcher
 - Negative Energien, Zeitreisen

Unser Weltbild verändert sich



Welt ist eine Scheibe

geozentrisches Weltbild

heliozentrisches Weltbild

kosmologisches Prinzip

kosmologisches Prinzip: es gibt keinen ausgezeichneten Ort, keine ausgezeichnete Richtung

basiert auf der Annahme eines **homogenen, isotropen**, in der **Expansion** befindlichen Universums

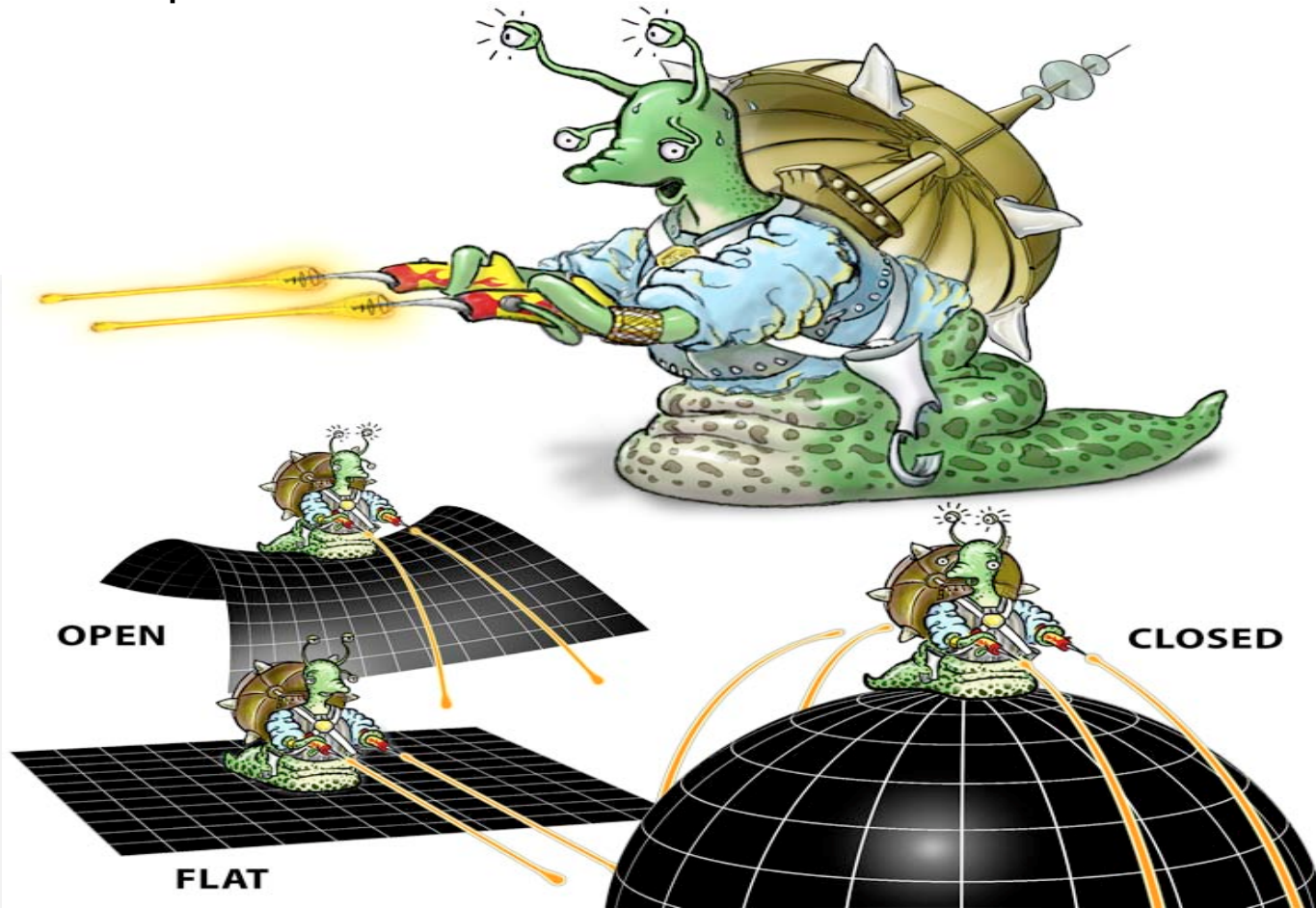
Vielewelten oder unendliche Erschaffung neuer Welten

Von der Blasphemie zu einem respektablem Forschungsgegenstand

- *Begann die Zeit wirklich mit dem Urknall – oder existierte das Universum bereits davor?*
- *Historisch: Kosmologien mit und ohne Anfang populär*
- **Aristoteles:** kein Urbeginn, denn aus nichts entsteht nur wieder nichts; wenn das Universum niemals vom Nichtsein zum Sein hat übergehen können, muß es immer existiert haben
- **Augustinus:** Gott existiert jenseits von Zeit und Raum, kann alles erschaffen. *Was tat Gott, bevor er die Welt erschuf?* Da die Zeit selbst Teil der göttlichen Schöpfung ist, gab es kein Vorher.
- **Einsteins** Allgemeine Relativitätstheorie führt praktisch zum selben Schluss; Raum expandiert mit der Zeit oder schrumpft mit ihr; 1915: Albert Einstein publiziert die Allgemeine Relativitätstheorie und begründet die theoretische Basis für ein expandierendes Weltall; von statischem Universum überzeugt - > kosmologische Konstante
- 1918: Straßburger Astronom **Carl Wilhelm Wirtz** stellt Rotverschiebung der Spektren bestimmter Nebel fest; weiß nicht daß es sich um Galaxien außerhalb unserer Milchstraße handelt

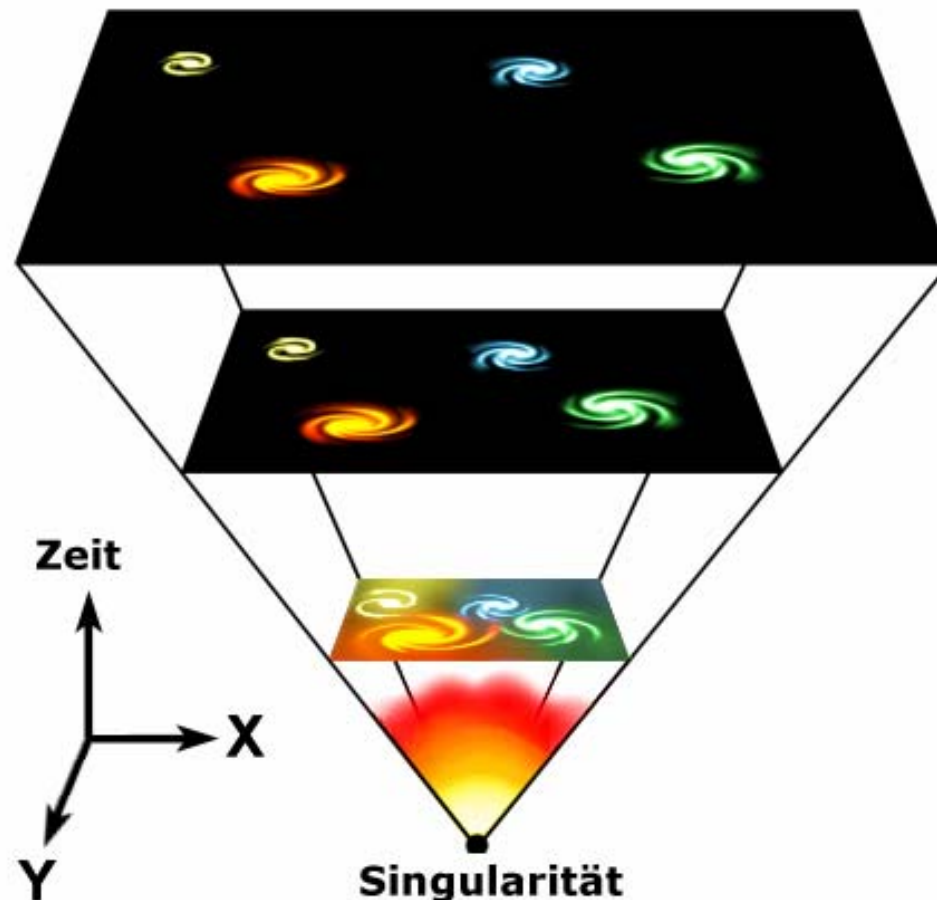
Von Blasphemie zu ... (Forts.)

- 1922: **A. Friedmann** berechnet Lösungen der Einsteinschen Feldgleichungen ohne kosmologische Konstante und findet, daß sie einem Kosmos entsprechen, der entweder ausgehend von einem Anfangspunkt ewig expandiert, zu einem Endpunkt hin kollabiert oder sowohl einen Anfangs- als auch einen Endpunkt hat



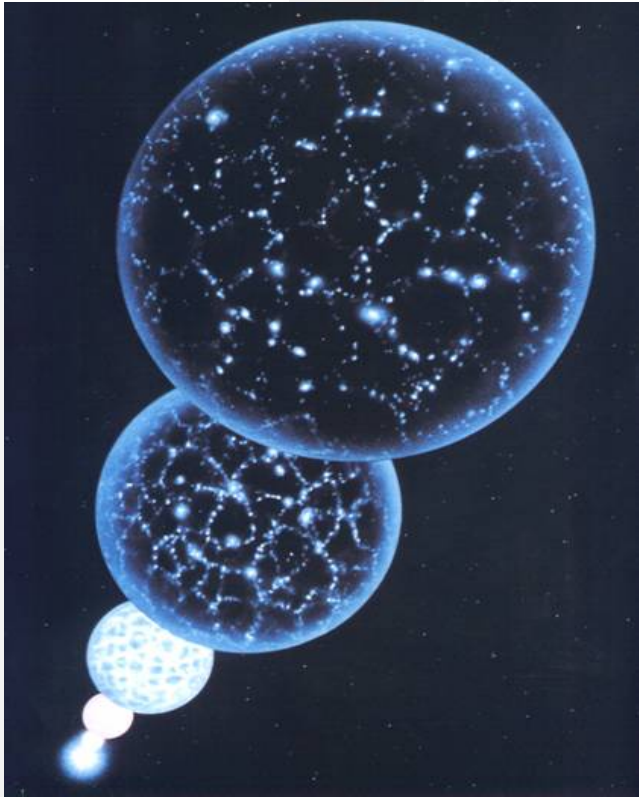
Von Blasphemie zu ... (Forts.)

- 1923: **E. Hubble** weist nach, daß sich der Andromedanebel weit außerhalb der Milchstraße befindet
- 1927-1933: der Priester und Astronom Abbe Georges **Lemaitre** entwickelt erste Form einer Urknalltheorie, bei der das Universum mit einem einzigen Teilchen beginnt



Von Blasphemie zu ... (Forts.)

1929: **E. Hubble** entdeckt Fluchtbewegung der Galaxien;
Einstein bedauert Einführung der kosmologischen Konstanten



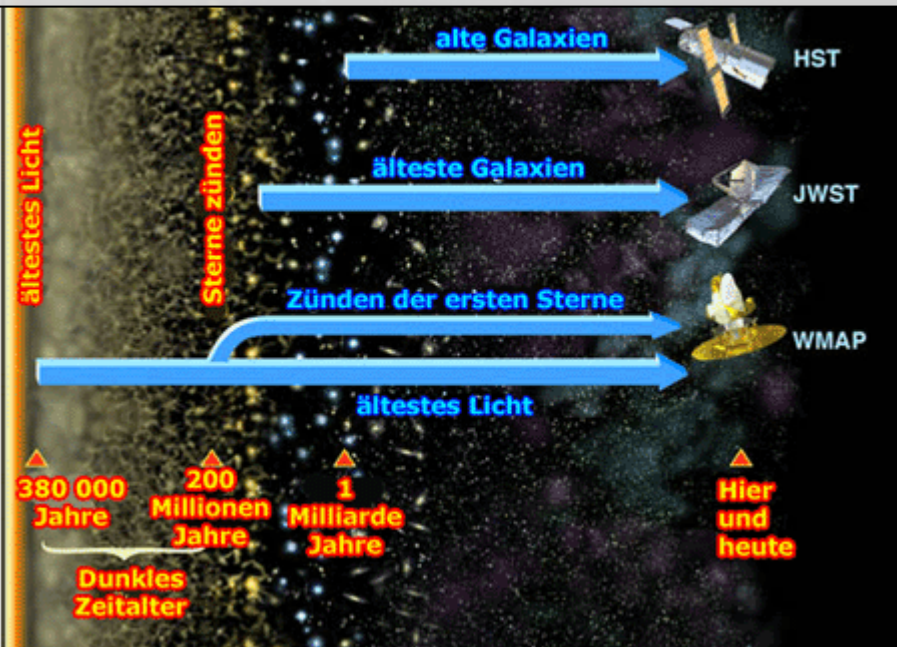
w. Cassing

Die Galaxien bewegen sich
kontinuierlich auseinander!

Rechnet man ihre Bahnen
zurück, so entsteht die
Vorstellung vom



Hubblekonstante



*A RELATION BETWEEN DISTANCE AND RADIAL VELOCITY
AMONG EXTRA-GALACTIC NEBULAE*

By EDWIN HUBBLE

MOUNT WILSON OBSERVATORY, CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON

Communicated January 17, 1929

ENTFERNUNGSLEITER

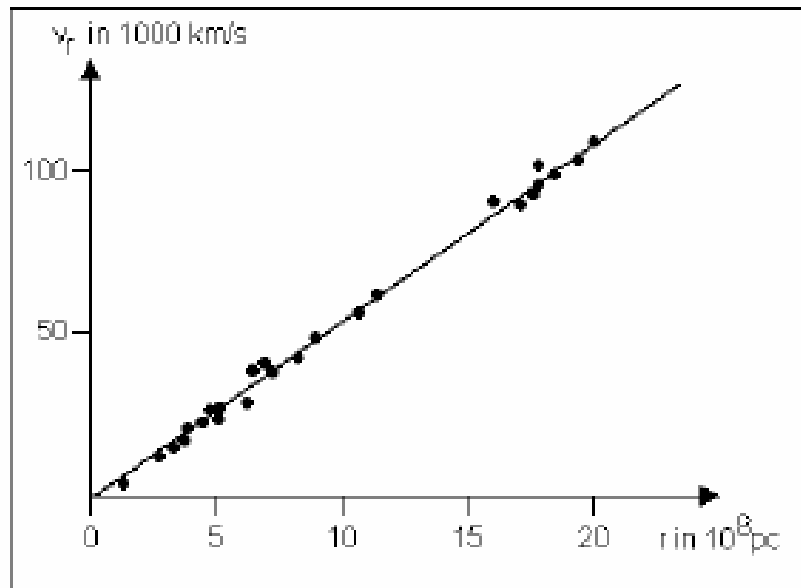
Methode	Reichweite der Methode	Beispiele
Radar/Lasermessung	bis eine Lichtstunde	Objekte im Sonnensystem
trigonometrische Parallaxe	bis 100 pc	Nahe Sterne der Milchstraße
Sternstromparallaxe	bis 1 kpc	Hyaden
Spektroskop. Parallaxe	bis 10 kpc	Sterne der Milchstraße
Cepheiden	bis 20 Mpc	Sterne im Virgosuperhaufen
Tully- Fisher- Relation	bis 100 Mpc	Spiralgalaxien im Virgohaufen
Supernovae Typ Ia	bis 5 Gpc	
Hubble- Gesetz	ab 100 Mpc	entfernte Quasare

Die Hubble-Konstante

Beobachtung durch Hubble:

Fluchtgeschwindigkeit entfernter Galaxien ist proportional zu ihrem Abstand:

$$v \propto r$$



Mit der Hubblekonstante H_0 :

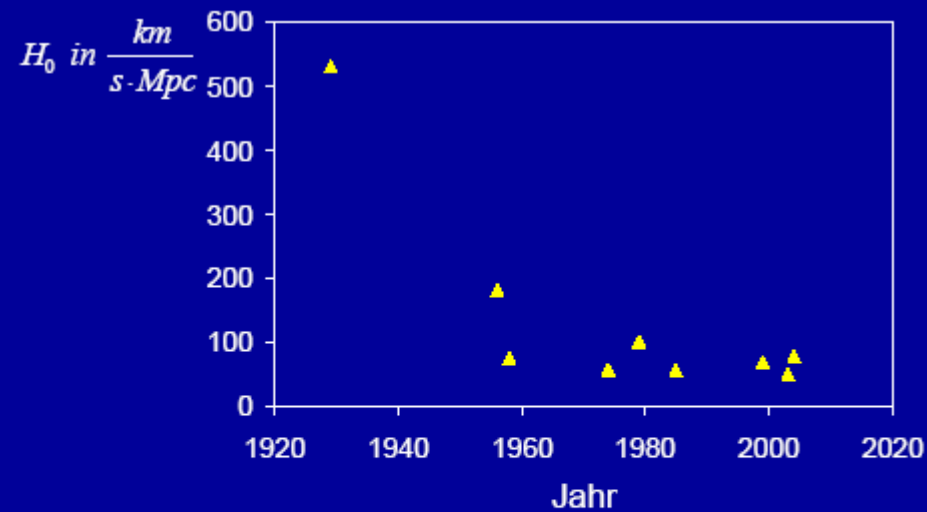
$$v = H_0 \cdot r$$

Entfernungsbestimmung:

Messung der Rotverschiebung
=> Fluchtgeschwindigkeit v
=> Entfernung $r = v/H_0$

- „-“ Hubblekonstante nicht konstant / erst bei sehr großen Entfernungen nutzbar
Hubblekonstante ist nicht genau bekannt
- „+“ Methode für größte Entfernungen anwendbar

Die Hubble-Konstante



$$H_0 = h \cdot 100 \cdot km \cdot s^{-1} \cdot Mpc^{-1}$$

aktuellster Wert:

$$h = 0,72 \pm 0,04$$

BESTIMMUNG DER HUBBLEKONSTANTE

Literaturwerte in der Vergangenheit:

Hubble (1929): $H_0 = 530 \frac{km}{s \cdot Mpc}$

Sandage (1958): $H_0 = 75 \frac{km}{s \cdot Mpc}$

Sandage/Tammann 70 - er: $H_0 = 50 \frac{km}{s \cdot Mpc}$

Vaucouleurs 70 - er: $H_0 = 100 \frac{km}{s \cdot Mpc}$

Hubblekonstante

Hubble Space Telescope Key Project (2001):

Supernovae Ia : $H_0 = 71 \pm 2 \pm 6 \frac{km}{s \cdot Mpc}$

Tully - Fisher : $H_0 = 71 \pm 3 \pm 7 \frac{km}{s \cdot Mpc}$

Typ II Supernovae : $H_0 = 72 \pm 9 \pm 7 \frac{km}{s \cdot Mpc}$

SBF : $H_0 = 70 \pm 5 \pm 6 \frac{km}{s \cdot Mpc}$

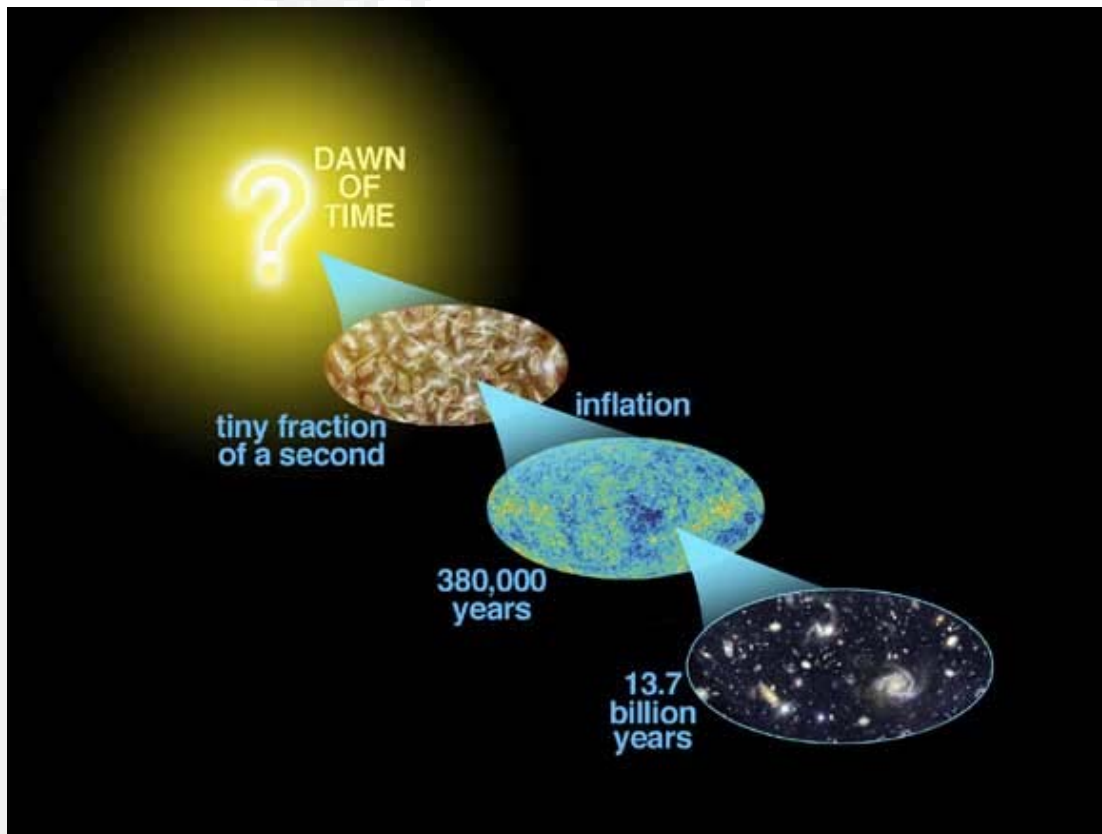
fundamenta l plane : $H_0 = 82 \pm 6 \pm 9 \frac{km}{s \cdot Mpc}$

Akzeptierter Mittelwert:

$$H_0 = (72 \pm 8) \frac{km}{s \cdot Mpc}$$

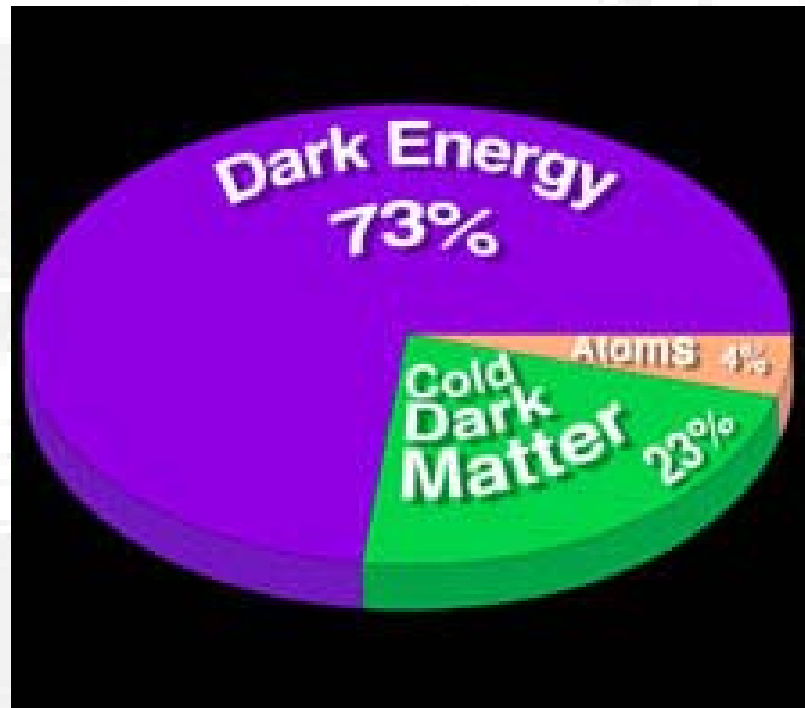
Von Blasphemie zu ... (Forts.)

- 1948: **Gamow, Alpher, Herman** entwickeln Theorie der Entstehung des Kosmos aus heißem Anfangszustand/ **F. Hoyle** entwickelt als Alternative die Steady State Theorie
- 1965: **Penzias und Wilson** finden die kosmische Hintergrundstrahlung



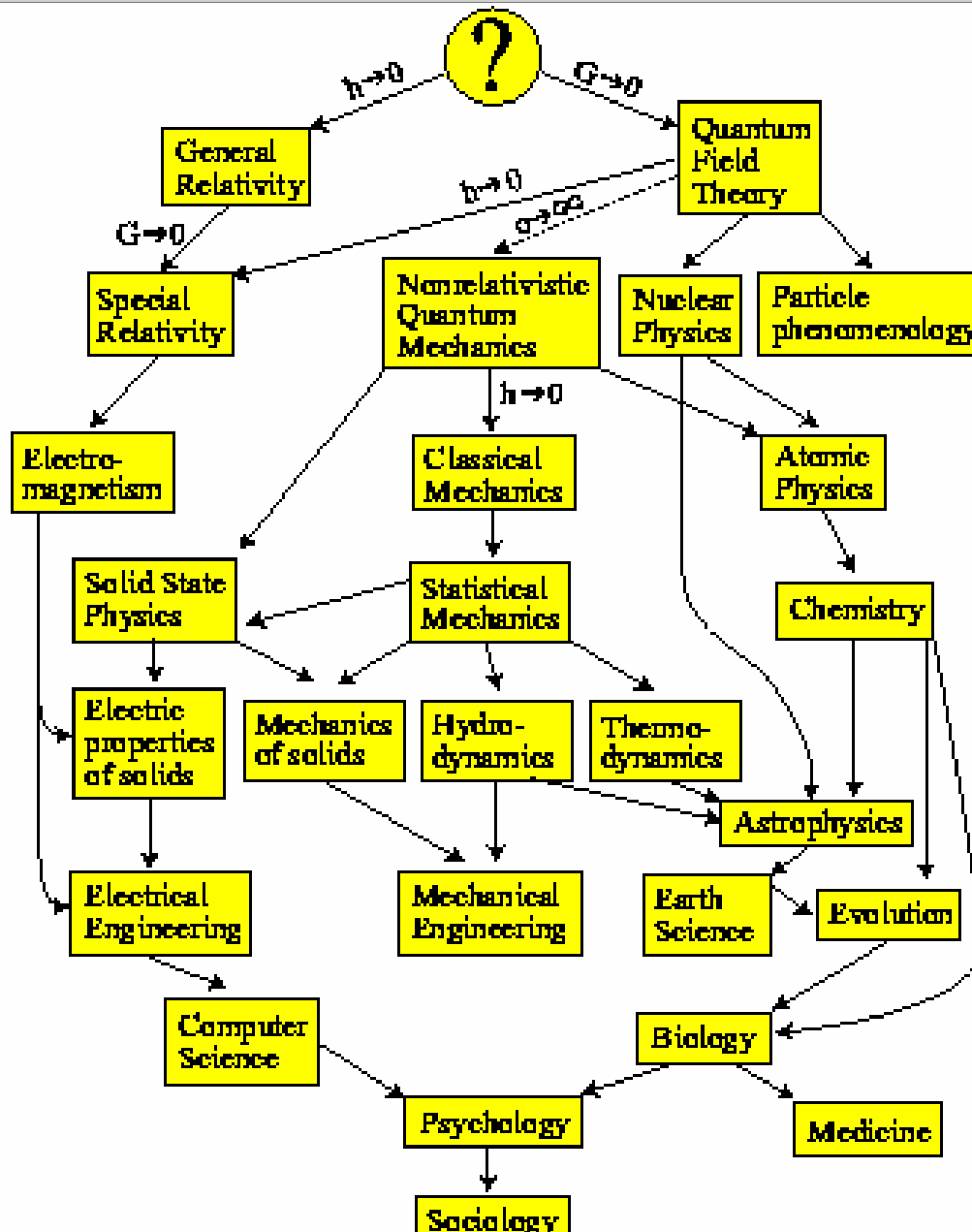
Von Blasphemie zu ... (Forts.)

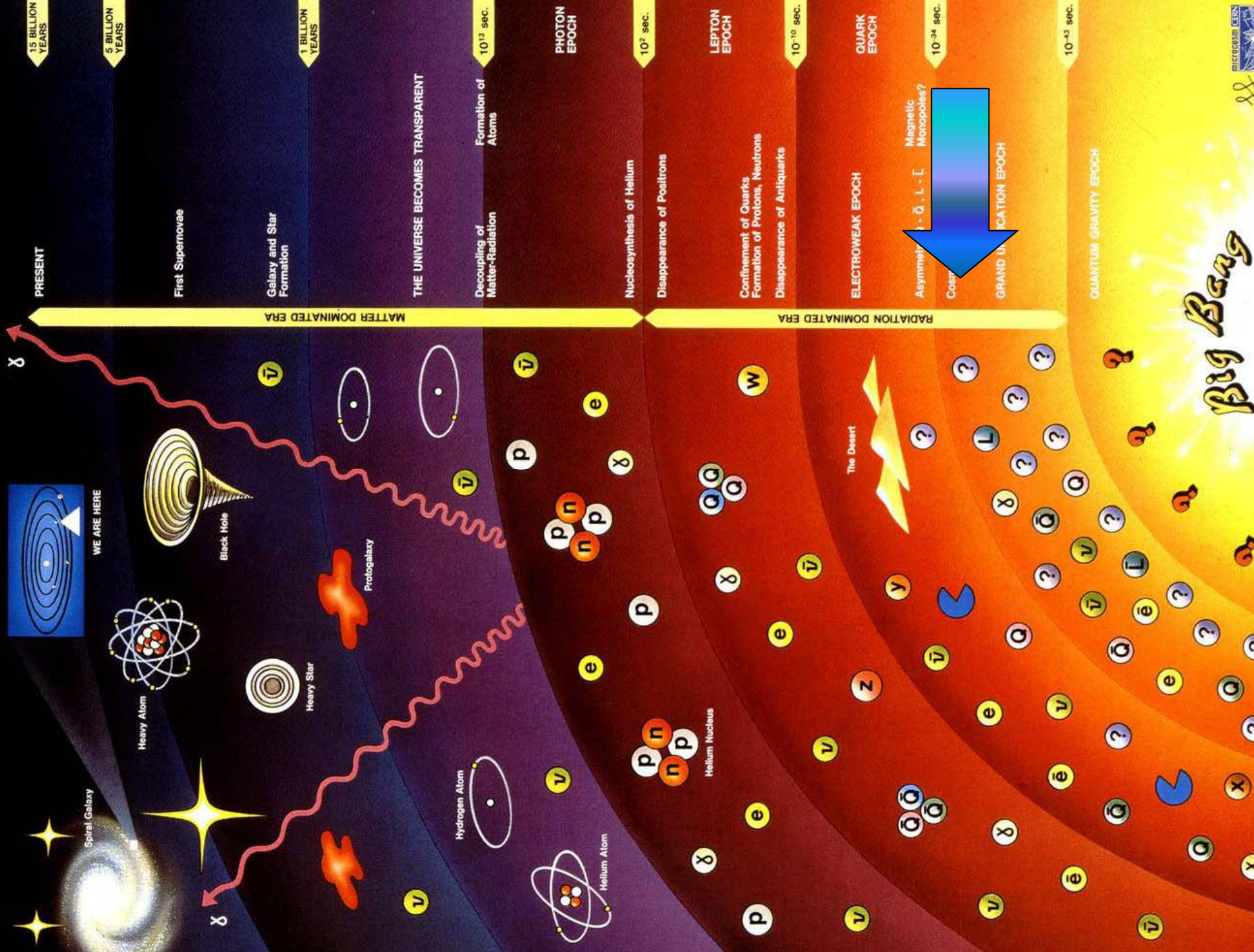
- 1980: **Alan Guth** schlägt eine Phase sehr schneller Expansion in der Frühphase des Universums vor („*altes inflationäres Modell*“); später von **Andrei Linde** („neues chaotisches inflationäres Modell“) weiterentwickelt
- 1990er Jahre: technologische Fortschritte, COBE
- 2001: WMAP



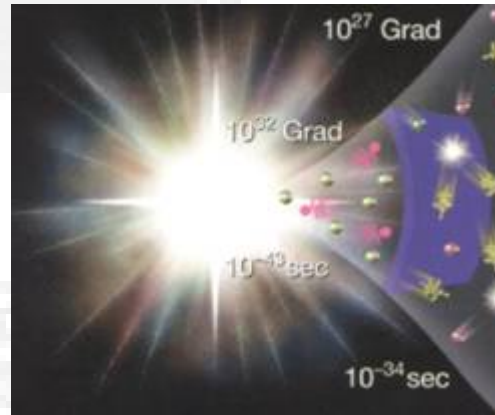
Urknall

- Keine „Explosion“ in einem bestehenden Raum, sondern die gemeinsame Entstehung von Materie, Raum und Zeit aus einer Anfangssingularität-> kann innerhalb bislang bekannter physikalischer Theorien nicht beschrieben werden
- Genauester Wert des Alters des Universums: 13,7+/-0.2 Milliarden Jahre
- Urknalltheorie erklärt:
 - Rotverschiebung der Galaxien und die derzeitige Expansion des Universums
 - Das Spektrum der Hintergrundstrahlung
 - Die Grenze in der Altersverteilung der Sterne bei etwa 13 Milliarden Jahren
 - Die Häufigkeit der Elemente im Weltraum

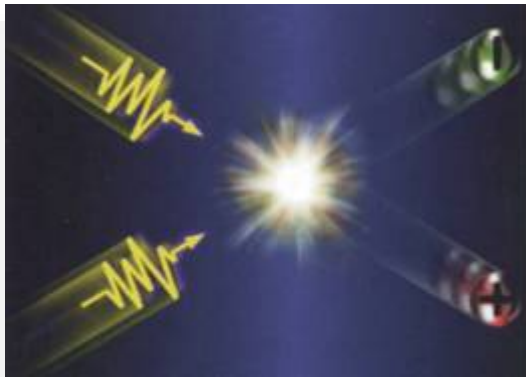




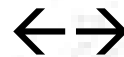
Die ersten 10^{-10} Sekunden



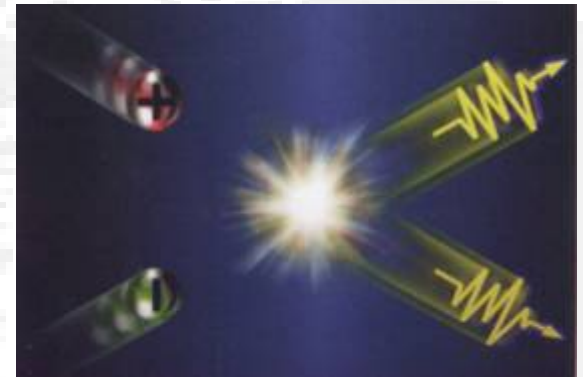
Die Energiefuktuation expandiert exponentiell!



Teilchen und
Antiteilchen

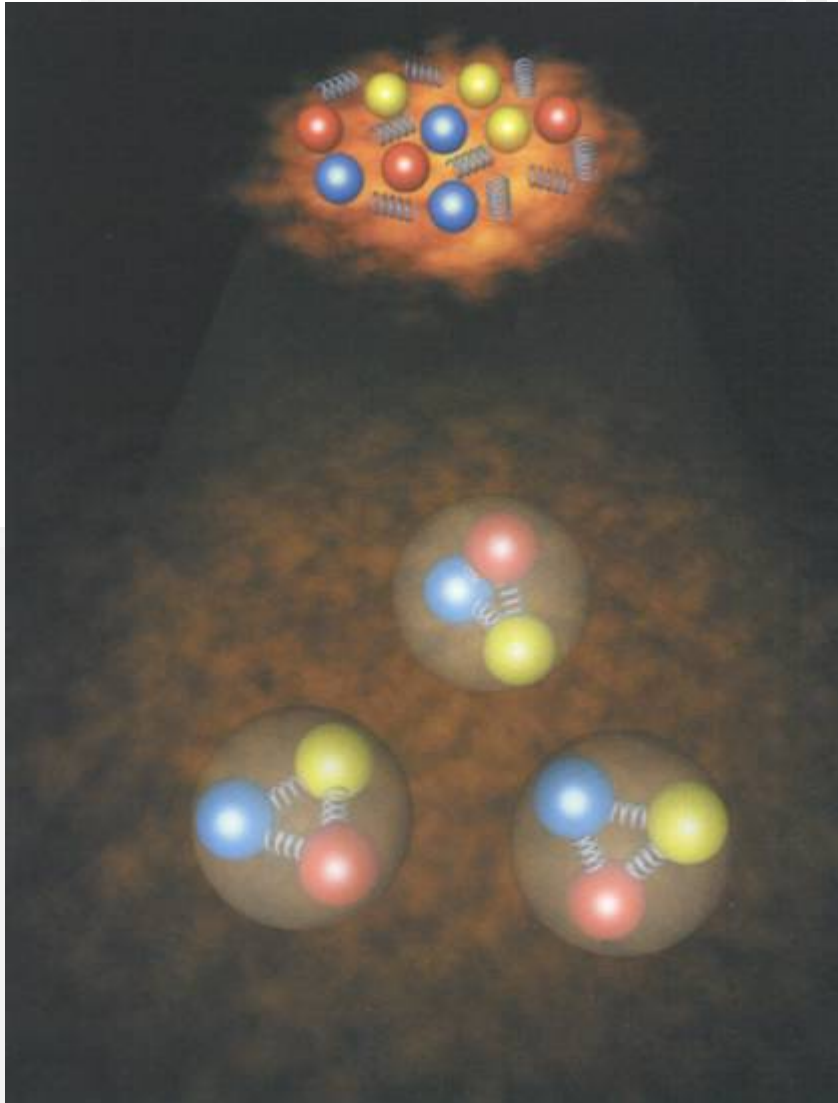


Strahlung

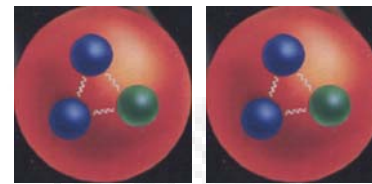


Nach 10^{-10} Sekunden überlebt ein relativer Anteil von 10^{-9} Elektronen und Quarks \rightarrow es entsteht ein Übergewicht von Materie relativ zur Antimaterie

Die ersten 3 Minuten



Quarks und Gluonen
werden in Nukleonen
gebunden



<->



Proton+Neutron <-> Deuteron

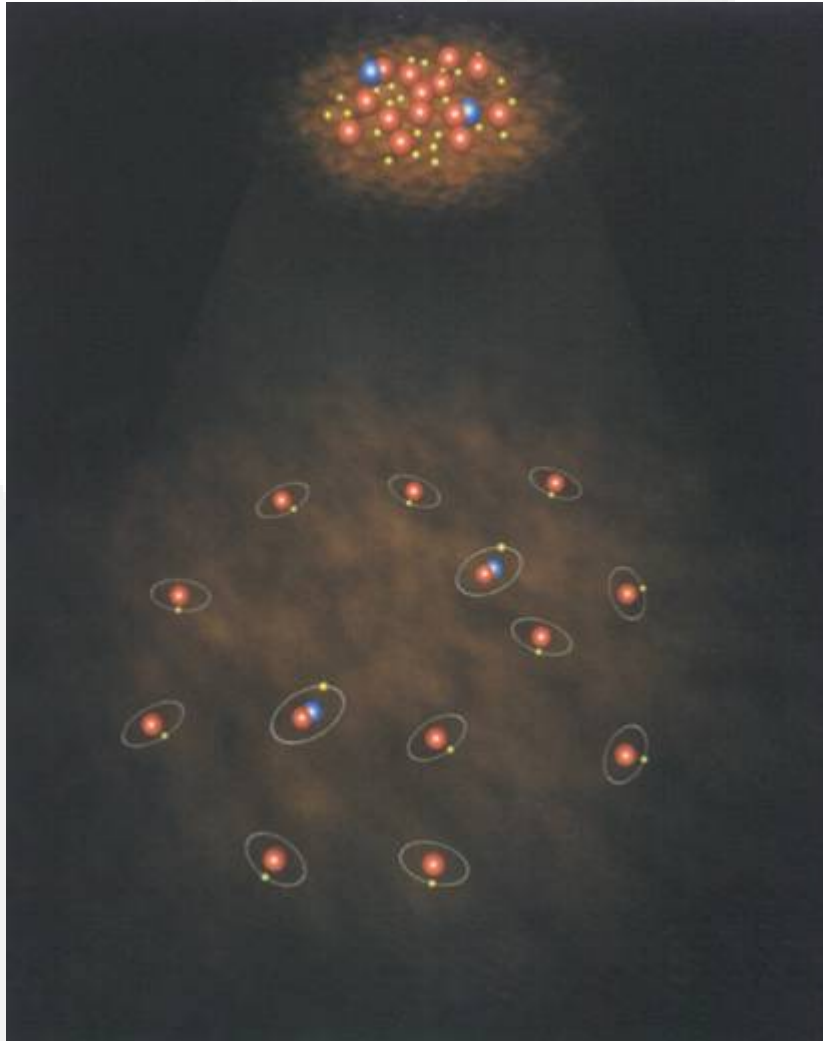


<->



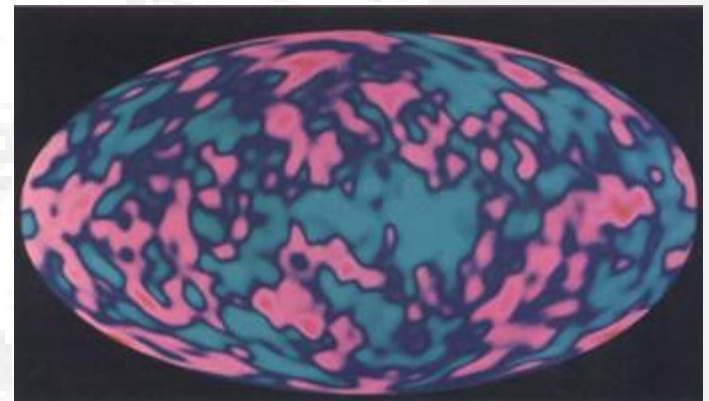
Leichte Kerne entstehen

Nach 300 000 Jahren



Protonen, Neutronen
und Elektronen werden
zu Wasserstoff gebunden

Die Photonen entkoppeln
→ Hintergrundstrahlung



Probleme mit der Urknalltheorie

- Probleme mit dem Urknall-Modell:
 - Der Urknall selber: Woher kommt das Universum? Was war vor dem Urknall? Wie konnte alles aus nichts entstehen? Was war zuerst: Das Universum oder die Gesetze, die seine Entwicklung bestimmen? Die Singularität ist das größte Problem der modernen Kosmologie
 - Einstein: „Was mich wirklich interessieren würde ist, ob Gott die Welt in anderer Form hätte erzeugen können“

Probleme mit der Urknalltheorie

- Urknall als Scheidung von Raum und Zeit
- Kosmologisches Prinzip (auf Sizilianisch): „Überall auf der Welt geht es zu wie bei uns zu Hause“
- Urknall Modell (ohne Korrekturen) erzeugt ein Universum, das *hochgradig inhomogen* ist, mit einem *gekrümmten Raum* und *ohne einen Mechanismus zur Erzeugung von Sternen, Galaxien und größeren Strukturen im Universum*
- Lösung:
 - Ekpyrotisches Modell
 - Inflationstheorie

Von Inflation und Multiversen

Inflationäres Universum



A. Guth

J.R. Gott III



Multiversen



Sir M. Rees

M-Welten, zyklisches Universum



A. Linde



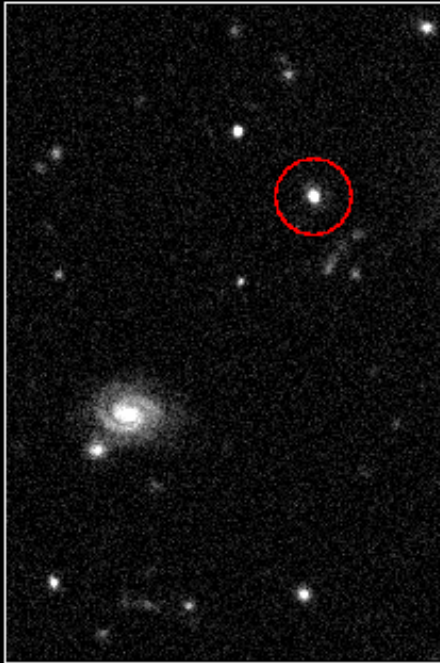
P.P. J. Steinhardt

Inflationäres Universum



Supernovae-Messungen

Epoch 1



Epoch 2



Epoch 2 - Epoch 1



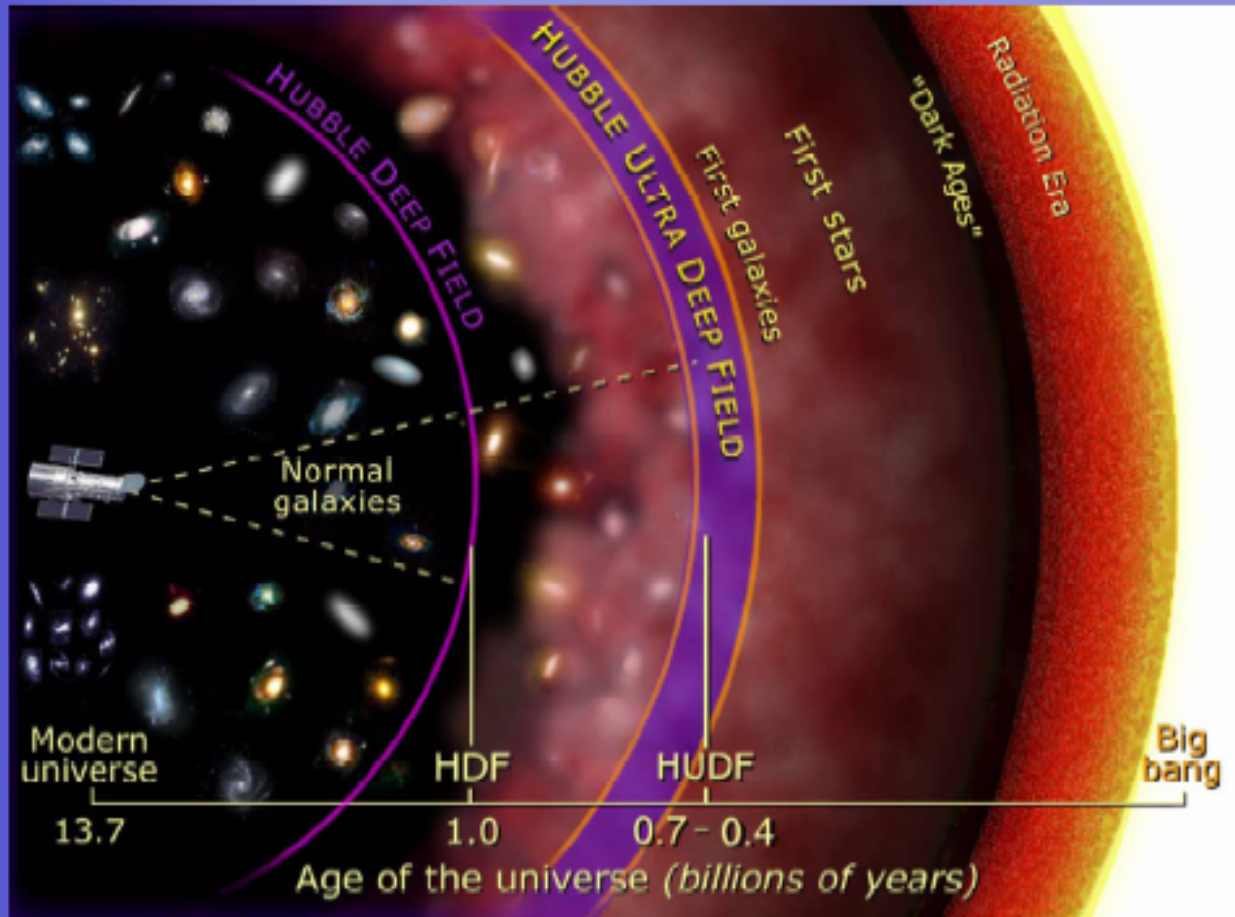
- Messungen durch High-z SN Gruppe und das Supernova Cosmology Project, 1998: beschleunigte Expansion des Universums

Supernovae-Messungen

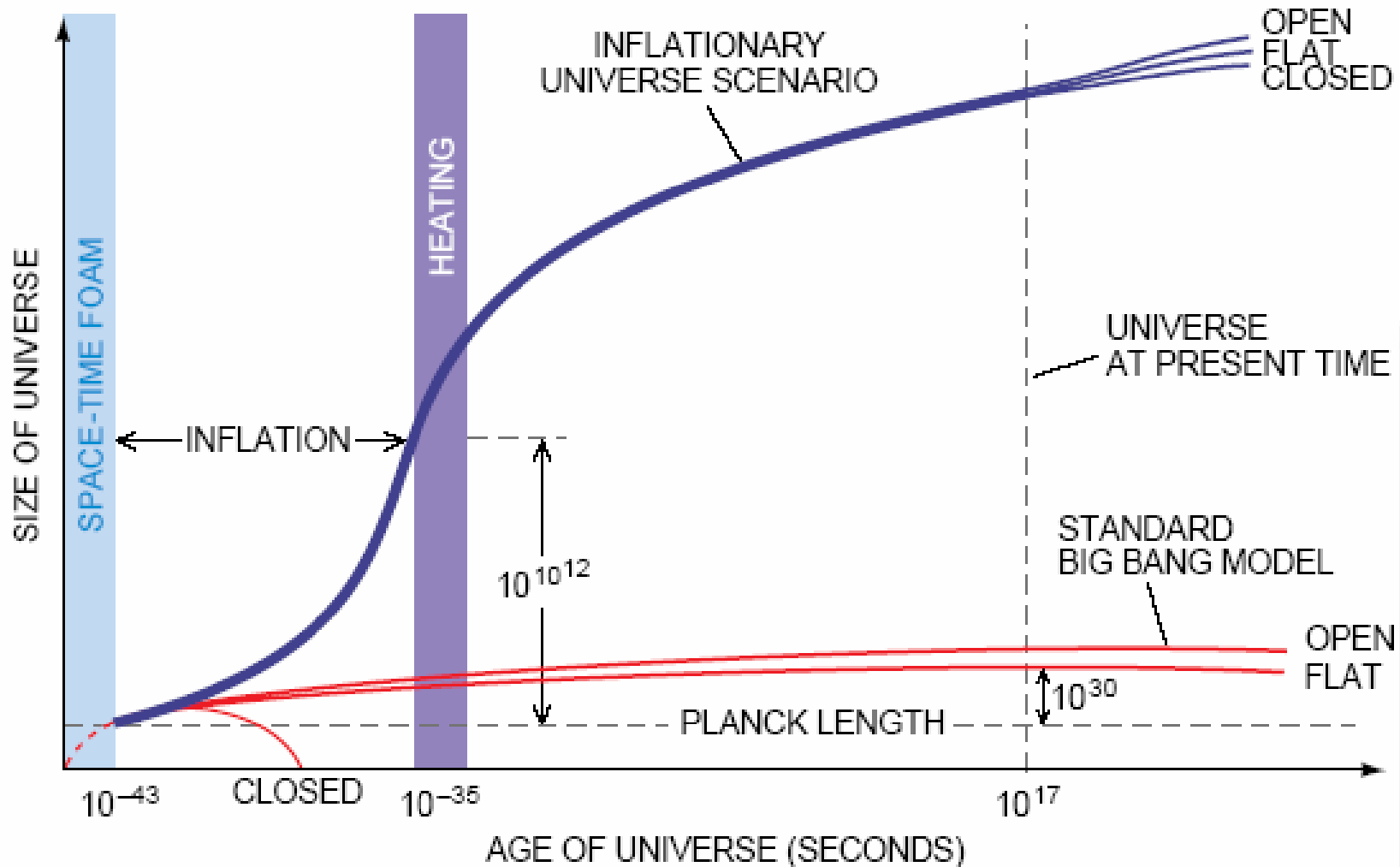


Ausdehnung vermessen mit Standardleuchtquellen: Typ Ia-Supernovae

- HDF: Hubble Deep Field, ca. 1 Mrd Jahre nach Urknall
- HUDF: Hubble Ultra Deep Field: bis ca. 400 Mio Jahre nach Urknall



Inflationäres Universum

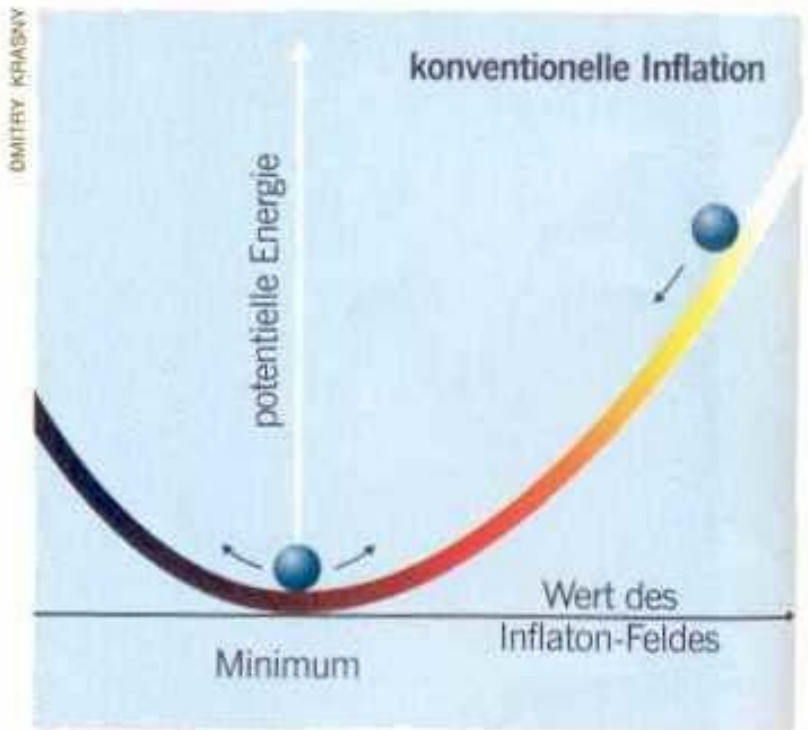


Inflationäres Universum

- Phase extrem rascher Expansion des Universums
- Beginn zw. 10^{-43} s und 10^{-35} s, dauerte bis 10^{-33} s und 10^{-30} s
- Universum dehnt sich exponentiell um einen Faktor zwischen 10^{30} und 10^{50} aus
- Danach hat der Bereich des heute sichtbaren Universums einen Durchmesser der Größenordnung 1m
- 1981 von A. H. Guth vorgeschlagen
- Ursache der Expansion: Zustandsänderung des **Inflatonfeldes**, einem skalaren Feld mit einem extrem flachen Potential; skalares Feld hat eine Zustandsgleichung mit negativem Druck: dieser führt nach der Allgemeinen Relativitätstheorie zu einer abstoßenden Kraft und damit zu einer Ausdehnung des Universums

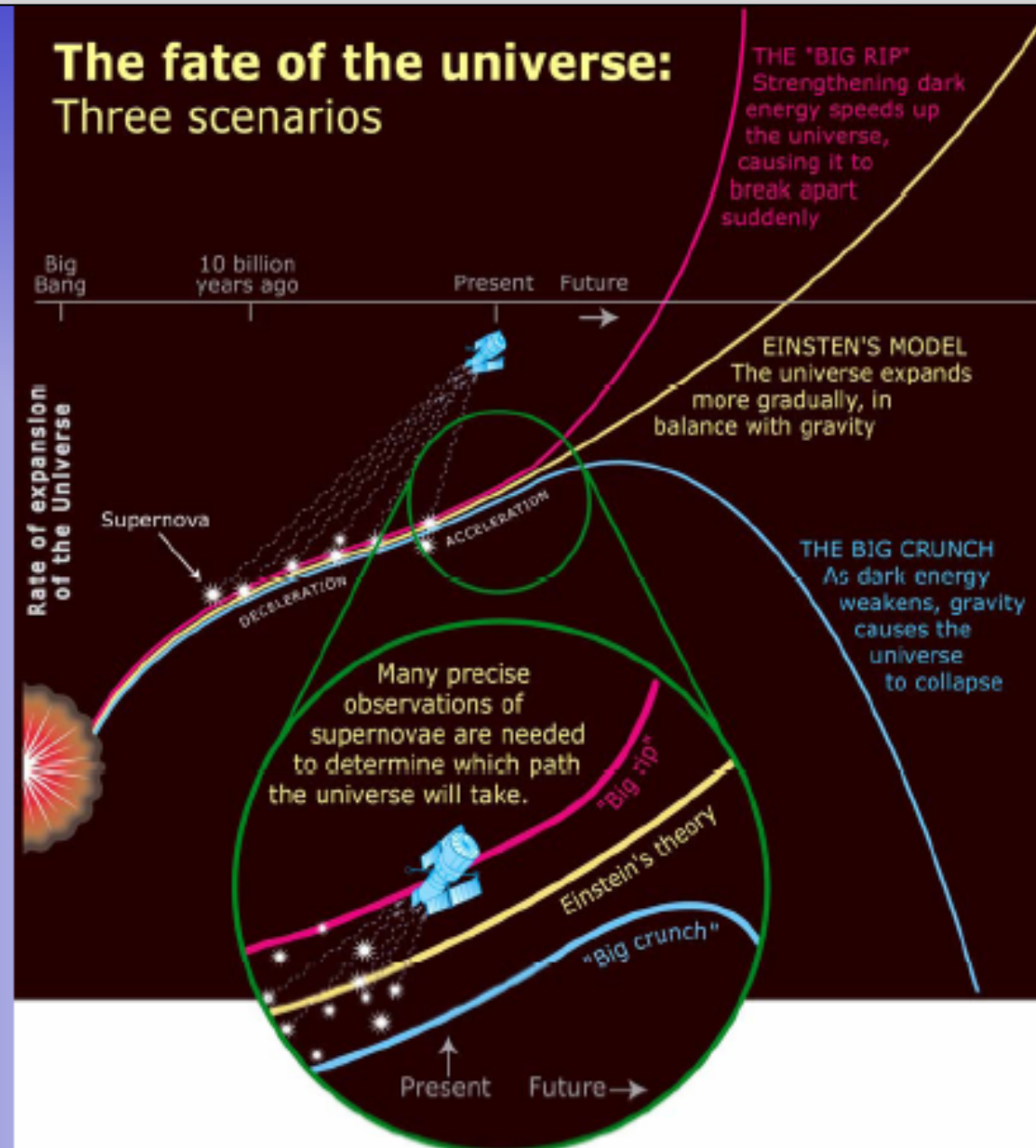
(altes) Inflationäres Universum

- Natur der Teilchen bzw. Felder noch völlig ungeklärt
- Das Inflatonfeld beginnt nach dem Urknall mit einem hohen Wert potentieller Energie und hat, wie ein herabrollender Ball das Bestreben, einen niedrigen Potentialwert zu erreichen



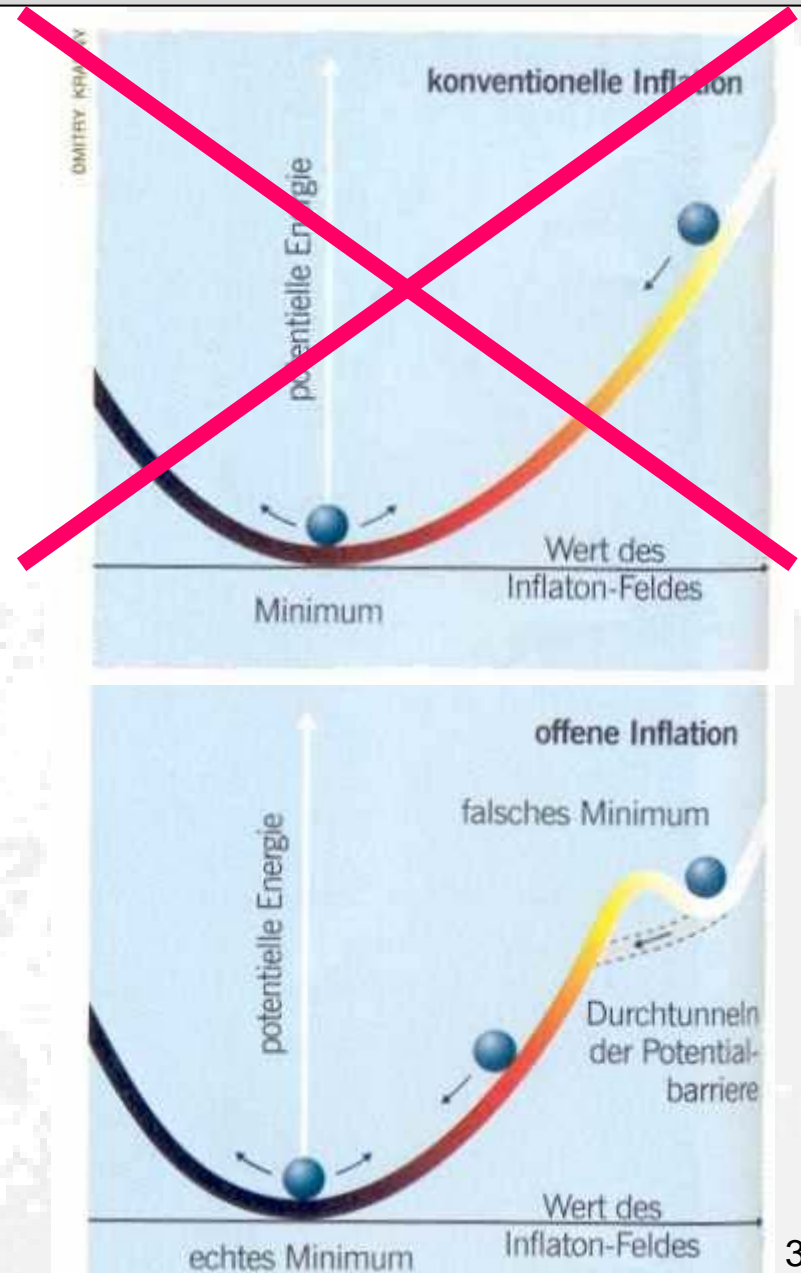
- Durch die Expansion entsteht „kosmische Reibung“, durch die sich verringernde Gravitation nimmt die Anti-Gravitation (des Inflatonfeldes) zu: Ausdehnung beschleunigt sich
- Schließlich wird die Energie des Inflatonfeldes doch schwächer und der Rest wandelt sich in Strahlung um, Expansion setzt sich beschleunigt fort

Supernovae: Offenes Universum



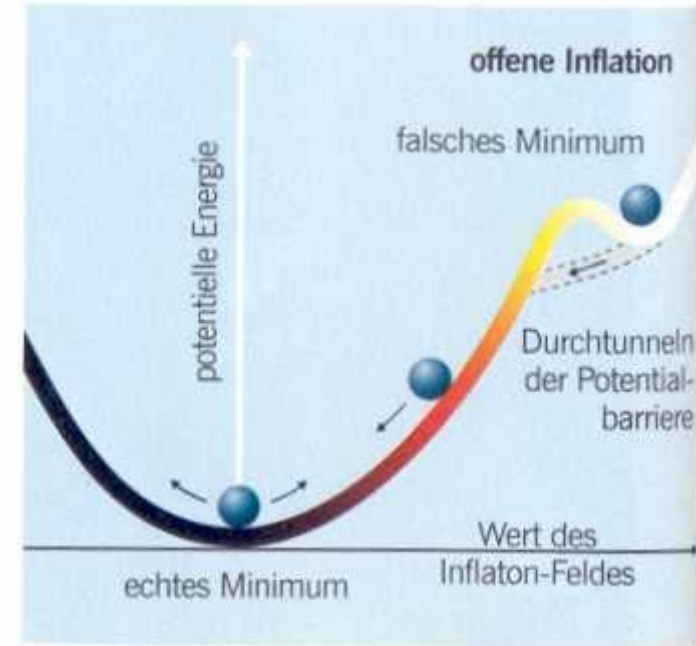
Neues chaotisches inflationäres Szenario

- Das Skalare Feld erzeugt während der Inflation große Quantenfluktuationen, die lokal den Wert des skalaren Feldes in einigen Teilen des Universums vergrößern können -> diese Regionen expandieren schneller als ihre Ausgangsregionen, Quantenfluktuation innerhalb führen zu neuen inflationären Regionen, die noch schneller expandieren-> *endloser Prozess eines sich selbst reproduzierenden Universums*
- Analogie: siedendes Wasser

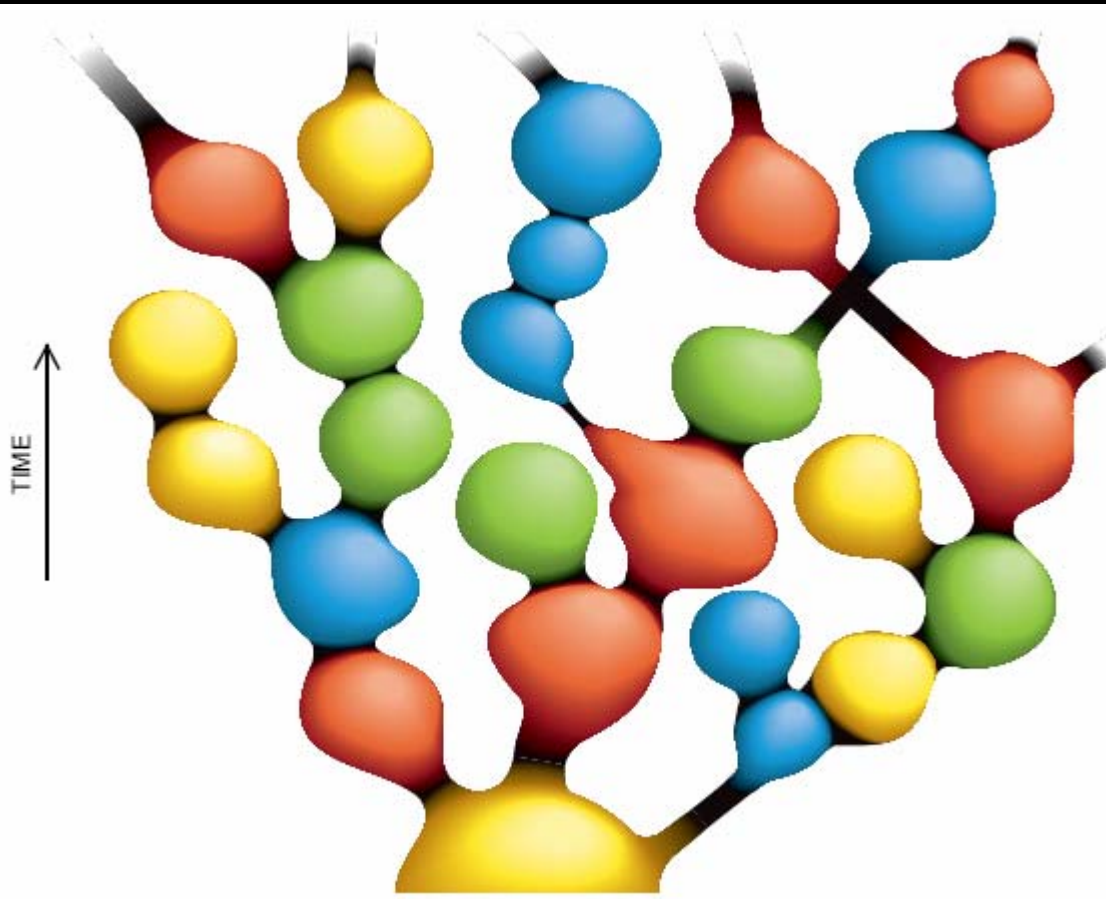


Neues chaotisches inflationäres Szenario

- Inflation ist eine spezielle Form des Vakuums – falsches Vakuum !
- Dort wo die Inflation aufhört, entstehen Blasen des „wahren Vakuums“
- Unser Universum: kleiner Teil einer langsam expandierenden Blase, diese Blase ist von dem „falschen Vakuum“ umgeben
- Dieses „falsche Vakuum“ zerfällt niemals ganz, da die Expansion schneller ist als der Zerfall
- Inflation hört niemals auf! Endlose Inflation



Sich selbst reproduzierender Kosmos

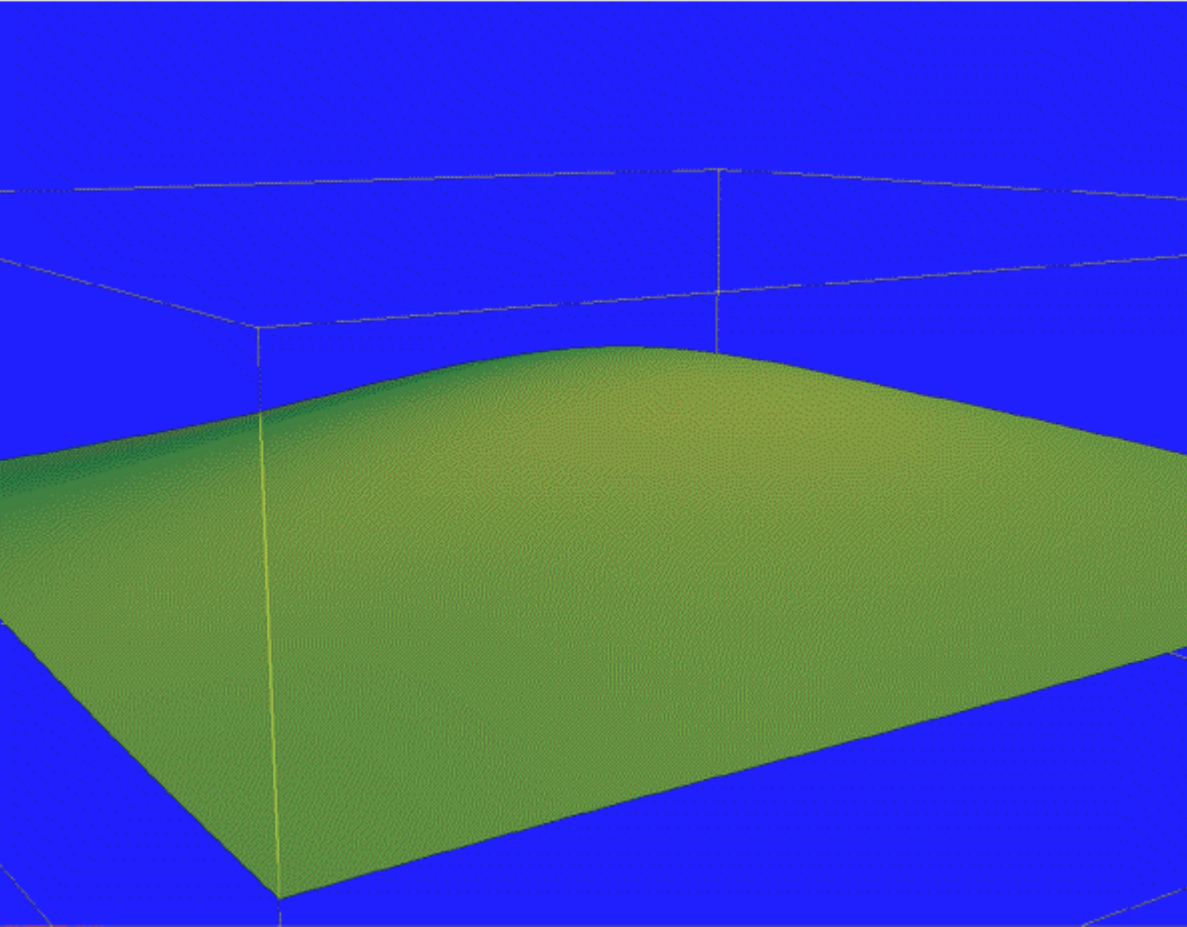


Unterschiedliche
Farben:
unterschiedliche
physikalische
Gesetze

Die Eigenschaften jeder
Blase hängen nicht
von der Zeit ab, zu
der sich die Blase
geformt hat

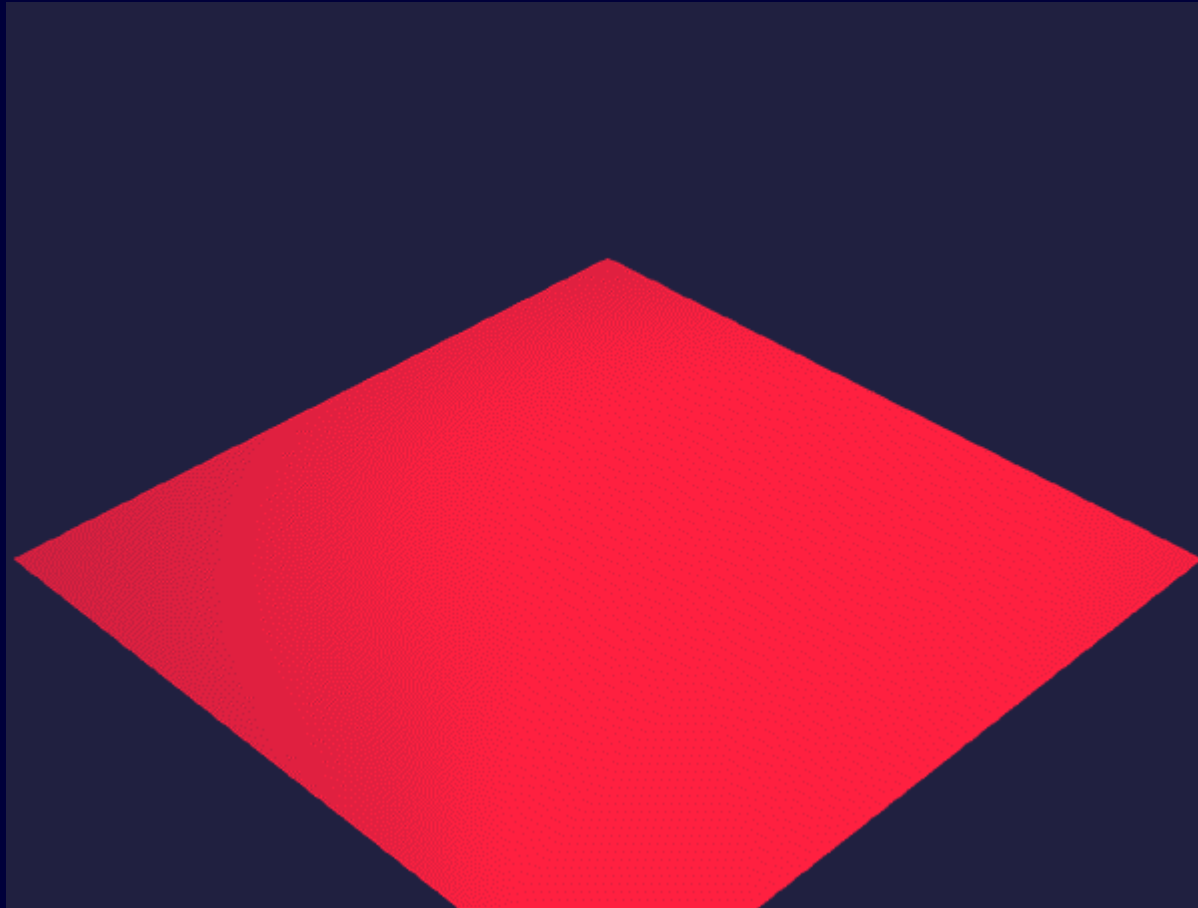
F. Hoyle: Ähnlichkeit der Formeln zur Steady-State Theorie

Sich selbst reproduzierendes inflationäres Szenario



- Erzeugung von Fluktuationen des Skalarfeldes während der Inflation

Sich selbst reproduzierendes inflationäres Szenario



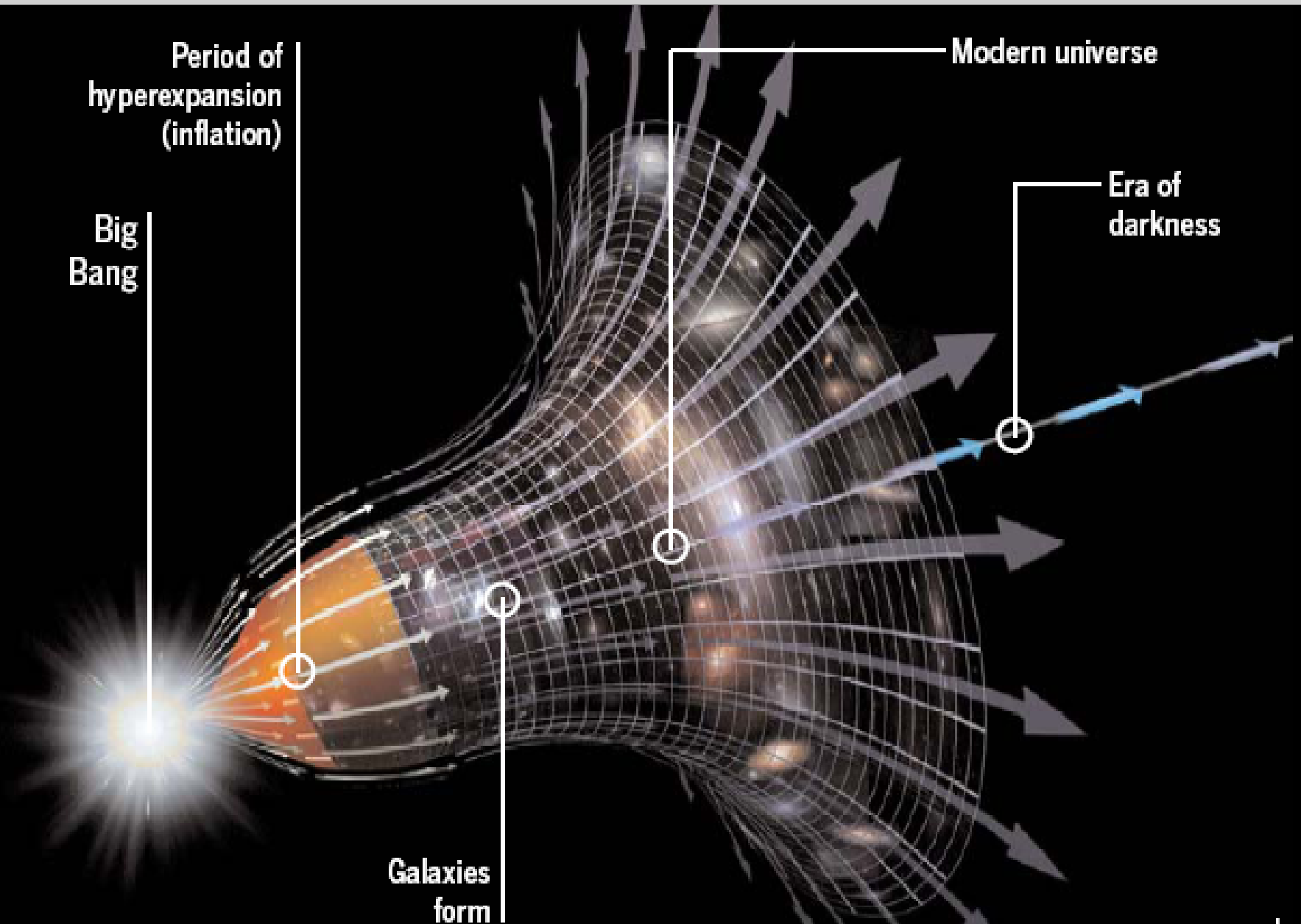
Erfolg des Inflationären Universums

- Erklärt viele Probleme des Urknallmodells und benutzt GUT (Grand Unified Theories)
- Verständnis der Quantentheorie hat sich gleichzeitig entwickelt
- Lösung aller Probleme: Vereinigung der Quantenmechanik mit Kosmologie
- Beginn in der Kosmologie: Universum entstand aus Singularität vor 15 Milliarden Jahren (kosmologisch); Quantenmechanik: Expansion startete aus einer Region, der sogenannten Planck-Länge (10^{-35}m), als die Dichte nicht unendlich sondern „nur“ 1094 Gramm pro Kubikzentimeter betrug, absolute Limits gegeben durch die Quantenphysik

Inflation und GUT

- GUTs sagen den Trick für die Inflation voraus:
 - Skalare Felder: Trennung der ursprünglichen vereinigten Kraft in die fundamentalen Kräfte, die wir heute kennen, als das Universum sich ausdehnte und abkühlte
 - Skalare Felder verdoppeln die Größe des Universums zumindest einmal alle 10^{-34} s
 - (exponentielle Expansion wurde bereits von **de Sitter** 1917 vorausgesagt)
 - Verschiedene inflationäre Modelle (erstes Modell Ende der 70iger Jahre von A. Starobinsky)

Das Standardmodell

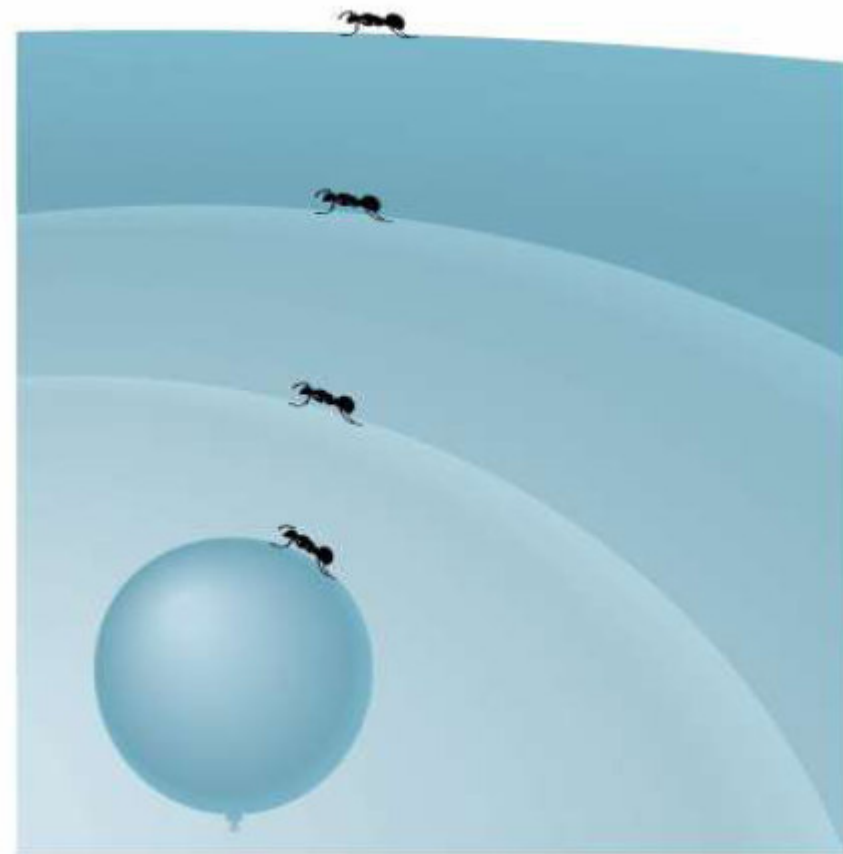


- Probleme mit dem Urknall-Modell:
 - Das „Horizontproblem“
 - Das heute sichtbare Universum enthält überall im wesentlichen ähnliche Strukturen. Es besteht aber aus Gebieten, die bei einer Standard-Expansion erst sehr spät kausal miteinander in Wechselwirkung treten konnten, da sie sich unmittelbar nach dem Urknall zunächst mit Überlichtgeschwindigkeit voneinander entfernt haben (Party ...) **Lösung im inflationären Universum**: alle Bereiche des heute sichtbaren Universums hätten vor dieser Inflation bereits vorübergehend in Wechselwirkung gestanden

- Probleme mit dem Urknall-Modell:
 - Magnetische Monopole (Masse: 10^{16} fache Protonmasse)
 - Wurden bislang nicht gefunden, sollten heute so häufig wie Protonen sein; **Lösung im inflationären Universum:** während der inflationärereren Expansion hätte die Teilchendichte dieser Monopole dermaßen abgenommen, daß die Wahrscheinlichkeit, im Bereich des heute sichtbaren Universum einzelne zu finden, äußerst gering wäre (in Übereinstimmung mit der experimentellen Datenlage)

Probleme mit der Urknalltheorie / Lösung der Probleme im inflationären Universum

- Probleme mit dem Urknall-Modell:
 - Keine messbare Raumkrümmung
 - Dazu wäre unmittelbar nach dem Urknall eine extrem exakte Abstimmung von Materiedichte und kinetischer Energie erforderlich gewesen, für die es keine Erklärung gibt. **Lösung im inflationären Universum:** beobachtete Flachheit des Raumes ist Folge seiner ungeheuren Ausdehnung, da das heute sichtbare Universum nur einen winzigen Ausschnitt repräsentieren würde.



Copyright © Addison Wesley.

Probleme mit der Urknalltheorie / Lösung der Probleme im inflationären Universum

- Probleme mit dem Urknall-Modell:
 - Galaxien und Galaxienhaufen

Lösung im inflationären Universum: erklärt Dichtefluktuationen als Folge von Quantenfluktuationen des Inflatonfeldes. Die extreme Expansion vergrößerte diese Fluktuationen auf entsprechend makroskopische Größe. Standard-Expansion kann dies nicht in ausreichendem Maße leisten.

Das Problem mit der kritischen Dichte

- Der gemessene Wert der Hubble-Konstanten wäre nicht konstant! Verschieden für Galaxien in unterschiedlichen Entfernungen. Wir scheinen in einem Universum geringer Dichte zu leben, sowohl die gemessene Dichte als auch der Wert der Hubble-Konstanten sind abhängig von dem Volumen des Universums, in dem die Werte gemessen werden
- Andere Möglichkeit: zweifache Inflation-> dann haben wir alle Vorteile der Inflation und leben in einem „offenen“ Universum, was sich ewig ausdehnen wird

– Inflationäres Universum

- Hinweis auf Beschleunigung aus Supernovae-Beobachtungen, Galaxienhaufen, kosmischer Mikrowellenhintergrund
- Spontaner Symmetriebruch einer vereinheitlichenden Teilchen-Theorie (GUT)?
- Kann die Theorie getestet werden?
 - Ja: thermische Fluktuationen, gleiche Größe auf jeder Skala, Gaußverteilung -> kosmischer Mikrowellenhintergrund
- Neue Probleme: wie stoppt man die Inflations-Phase?

Probleme der Inflationstheorie

- Postuliert ein hochenergetisches Inflaton-Feld, welches bislang nicht beobachtet wurde
- Unklar, durch welchen Mechanismus die inflationäre Phase beendet wird

Ekpyrotisches Universum



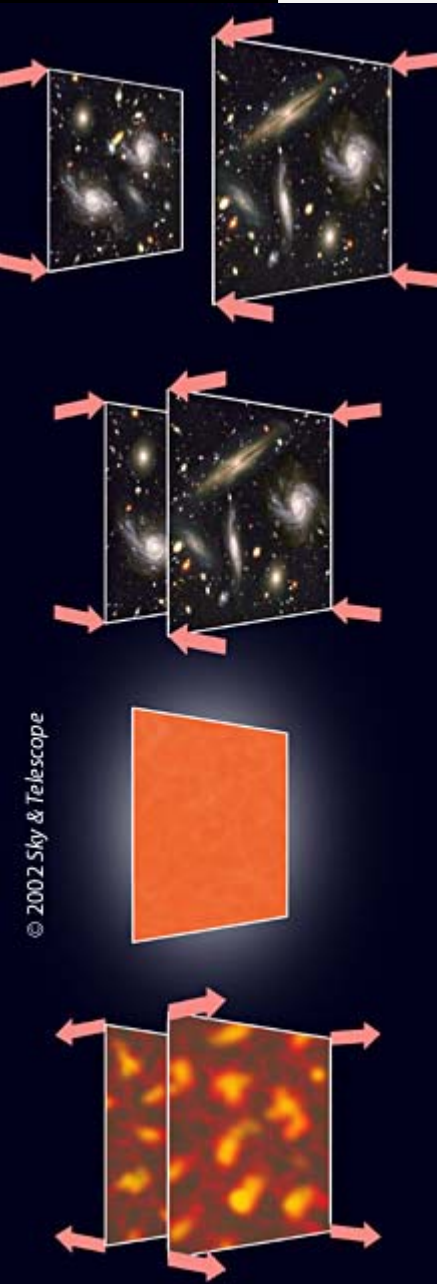
Ein zyklisches Universum? Ekpyrotisch ...

Unser Universum nur eines von vielen D-Branen, die in höher dimensionalem Raum treiben. D-Branen ziehen einander an und kollidieren gelegentlich.

Urknall: eine Kollision einer anderen Bran mit Unserer eigenen

Variante: Kollisionen wiederholen sich zyklisch
Brane, kurz für Membrane

S&T Illustration by Steven Simpson



P. Steinhardt: das Ekpyrotische Universum

- Statt in einem Zustand fast unendlich hoher Dichte und Temperatur zu beginnen, begann das Universum in einem völlig anderen Zustand – kalt und nahezu leer
- Unser heißes Urknall Universum entsteht durch die Kollision zweier dreidimensionaler Welten, die sich entlang einer verborgenen Extradimension bewegen
- Die zwei dreidimensionalen Welten kollidieren und „stecken fest“, die kinetische Energie der Kollision verwandelt sich in Quarks, Elektronen, Photonen, etc.; die energetisch bevorzugte Geometrie der beiden Welten ist flach, d.h. die Kollision der beiden Welten erzeugt ein flaches Urknall Universum
- Die totale Energiedichte des Universums entspricht der kritischen Dichte
- Massive magnetische Monopole (entstehen reichlich nach Urknall-Theorie) werden NICHT gebildet, da die Temperatur nach der Kollision zu niedrig ist, als daß derartige schwere Teilchen entstehen können

P. Steinhardt: das Ekpyrotische Universum

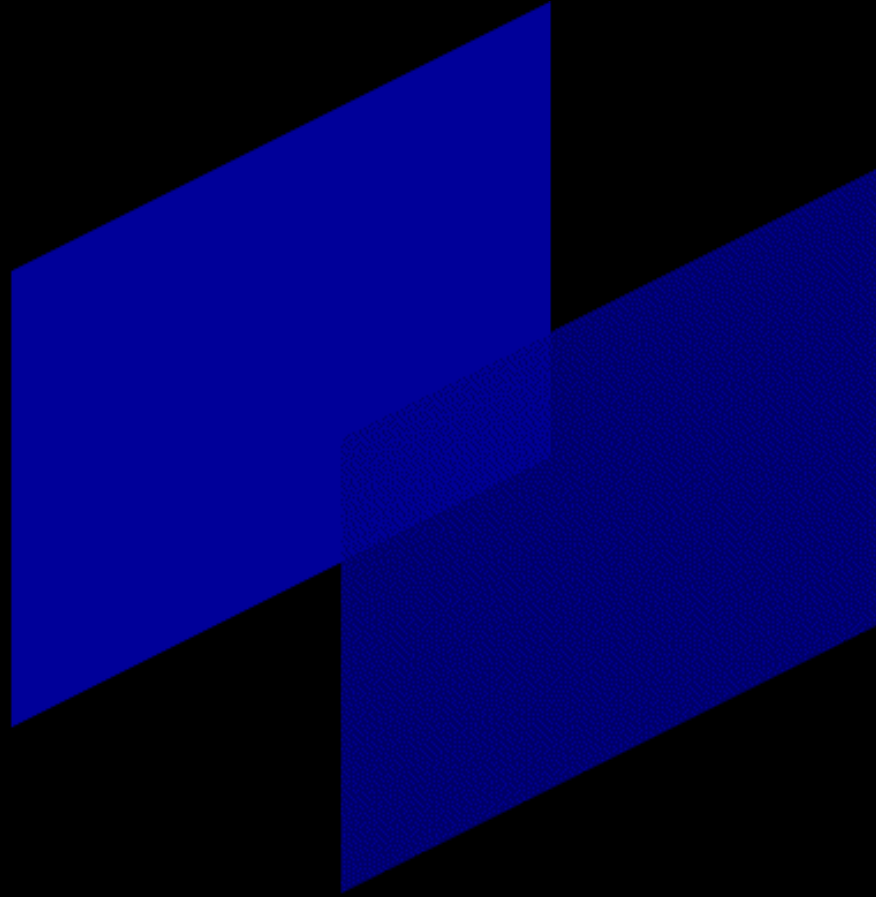
- Quanteneffekte bewirken wellenartige Unregelmäßigkeiten auf der Oberfläche der sich nähernden Welt: Kollision findet an einigen Stellen zu geringfügig unterschiedlichen Zeiten als an anderen statt; ist die Kollision beendet, führen die wellenartigen Ungleichheiten zu kleinen Temperaturschwankungen, welche den Keim legen für Temperaturschwankungen im Mikrowellenhintergrund und für die Bildung der Galaxien; Spektrum der Energiedichtefluktuationen ist unabhängig von der Größenordnung (Triumph der Inflationstheorie)
- Grundelemente dieser Theorie aus (Super)Stringtheorie (10 Dimensionen)
- Partikel und Licht können in dem zwischen den Welten liegenden Raum nicht reisen; nur die Gravitation ist in der Lage, Materie in den beiden Grenzwelten miteinander zu verbinden
- Andere dreidimensionale Hyperflächen können in dem Raum zwischen den Grenzwelten existieren

P. Steinhardt: das Ekpyrotische Universum

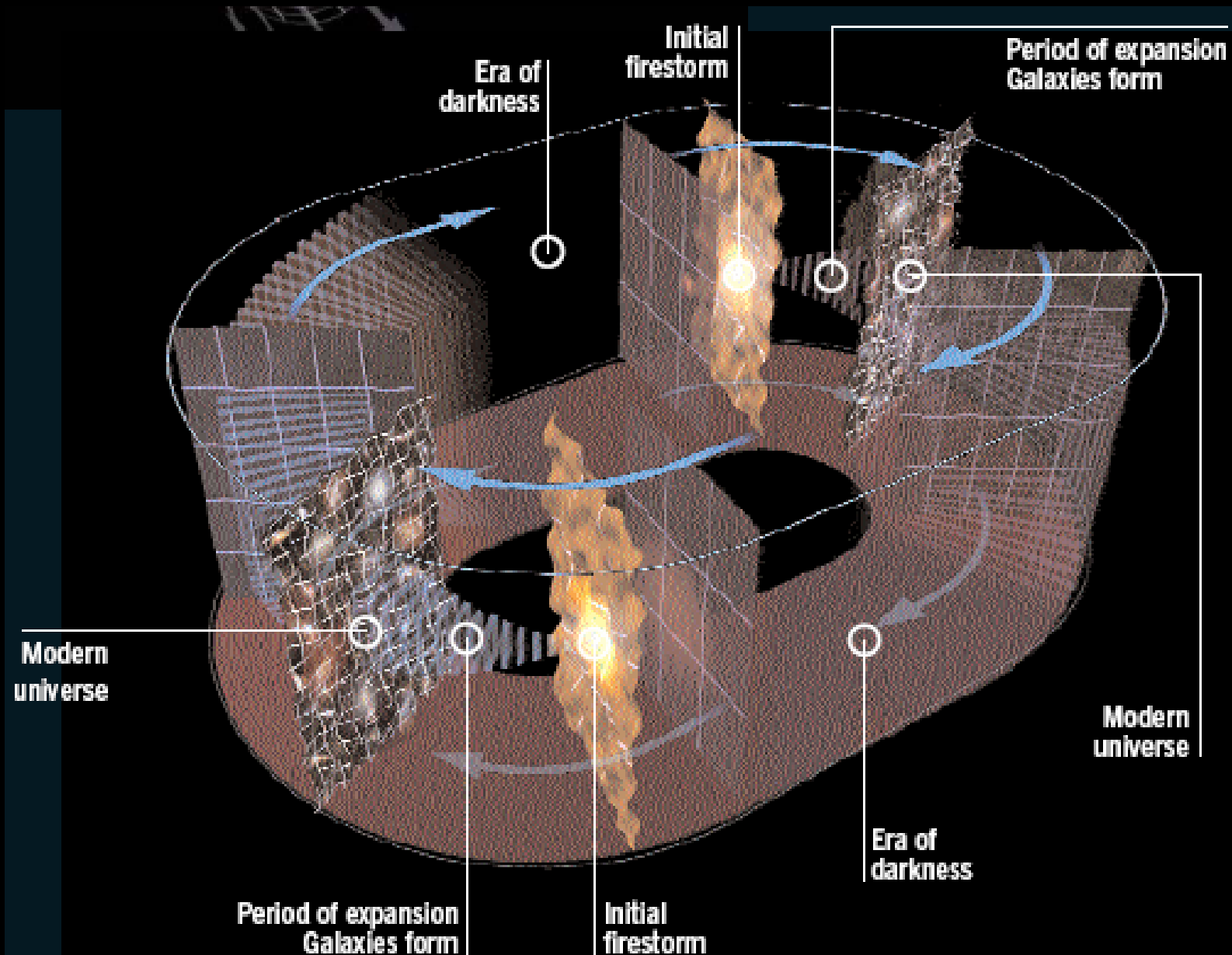
- Die Kollision, die die heiße Urknall Phase des ekpyrotischen Modells entzündet, geschieht, wenn eine dreidimensionale Bran von einer Grenzwelt, die unserem sichtbaren Universum entspricht, angezogen wird und mit dieser kollidiert.
- *Ekpyrose*: Weltbrand im Griechischen und bezieht sich auf das stoische Kosmologiemodell in der Antike. Universum wurde nach diesem Modell durch einen plötzlichen Feuerausbruch geschaffen
- Unbewiesen, brandneu, **WARNUNG!**
Nachfolgeuntersuchungen notwendig!!!

- Vorteile des ekpyrotischen Universums
 - Keine Inflation wird benötigt
 - Eine Kraft wirkt auch heute noch; erklärt die Dunkle Energie
- Homogenität und Flachheit entstanden durch Ereignisse, die vor dem jüngsten Urknall stattfanden
- Keime für die Bildung der Galaxien entstanden durch Instabilitäten während das Universum zum Endkollaps zusammenstürzte
- Zukunft:
 - Welt leert sich; Eine weitere dreidimensionale Welt, die sich von unserer nach der Kollision entfernt hat, wird angezogen (ähnlich der Gravitation), neue Kollision; ewiger Zyklus; beginnt jedesmal wieder leer
- Unter Umständen wird LISA die Inflationstheorie prüfen können; wenn nicht -> ekpyrotisches Universum

Ekpyrotisches Universum



Das ekpyrotische Modell



- Zyklisches Universum hat viele Probleme:
 - Unendliche Sequenz von Perioden beschleunigter Expansion (unendliche Zahl von Inflationen)
 - > keine Alternative sondern nur problematischere Version der inflationären Theorie
 - Problem mit kosmologischer Singularität

Warum Multiversen?

- Die meisten Theorien der Quanten-Kosmologie (basierend auf der Stringtheorie) setzen die Existenz verschiedener Universen voraus oder können sie nicht vermeiden! (Susskind 2003, 2004; Douglas 2003, 2004)!
- Probleme mit dem Namen: Mehrere Universum = Multiversum?
- Universen außerhalb unseres Universums, kausal strikt getrennt
- Lösung: KOSMOS (alles !!!!)

Multiversen



Anthropisches Prinzip

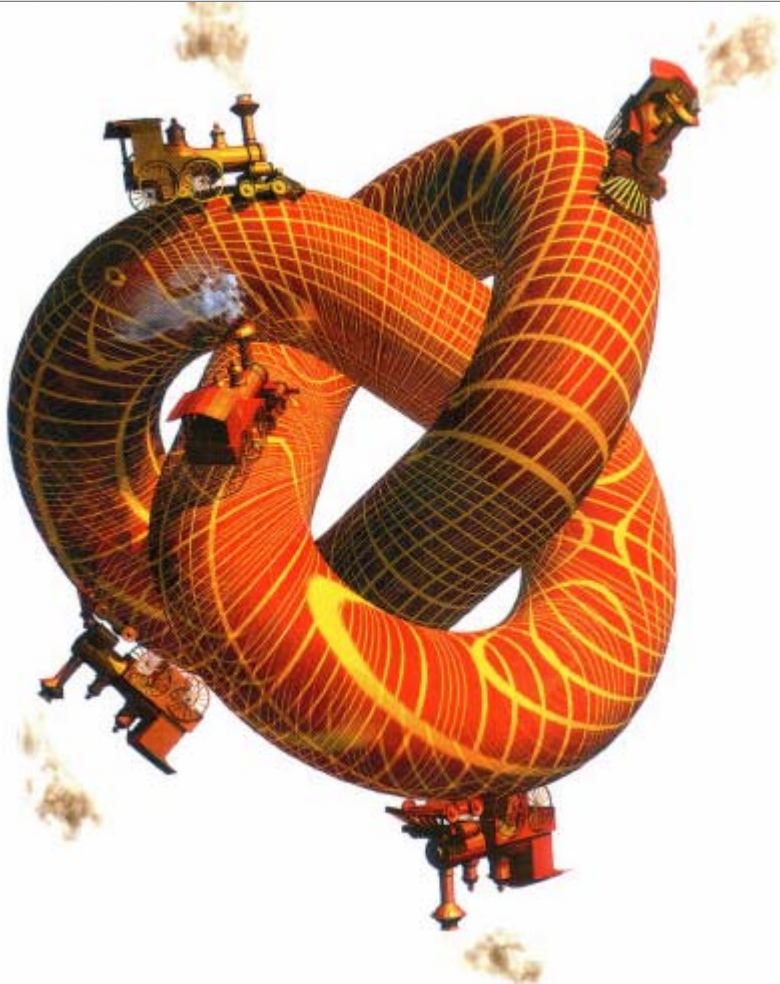
- Eindrucksvolle Beispiele auf unserer Welt für numerische Feinabstimmungen, deren Zusammenwirken Leben von unserer Art erst möglich macht:
 - Stärke der anziehenden Kernkräfte überwindet gerade die Abstoßung zwischen positiv geladenen Protonen in den Kernen gewöhnlicher Atome; aber nicht ganz so stark, daß sie zwei Protonen in ein gebundenes System bringen kann; ansonsten „Diproton“; Wasserstoff wäre seltenes Element; Sonne könnte es nicht geben
 - Wesentlich schwächere Kernkräfte könnten die Fusion von Wasserstoff unmöglich machen
 - Schwache Wechselwirkung: Wasserstoff der Sonne verbrennt langsam und gleichmäßig; ansonsten hätte es Probleme mit jeder Art Leben gegeben
 - Mittlere Entfernung zwischen den Sternen: 10-mal kleiner und im Verlauf der letzten 4 Milliarden Jahre hätte ein anderer Stern unsere Planetenbahnen verändern können

Anthropisches Prinzip

- Balance zwischen elektrischen und quantenmechanischen Kräften bewirkt Vielfalt der organischen Chemie
- etc.

- *Bemerkenswerte Harmonie zwischen Struktur des Universums und den Bedürfnissen von Leben und Intelligenz*
- **Diese Betrachtungen nicht als „Prinzip“ im Sinne einer physikalischen Erklärung anwenden.**
- Analogie: 6 „Richtige“ im Lotto; zufällig auch einmal die richtige Kombination von Naturgesetzen und Naturkonstanten in einem Blasenuniversum
- Viel Aufwand, Milliarden Universen notwendig, um Leben auf einem kleinen Planeten am Rande einer Galaxis zu erklären?

Die Notwendigkeit für Multiversen



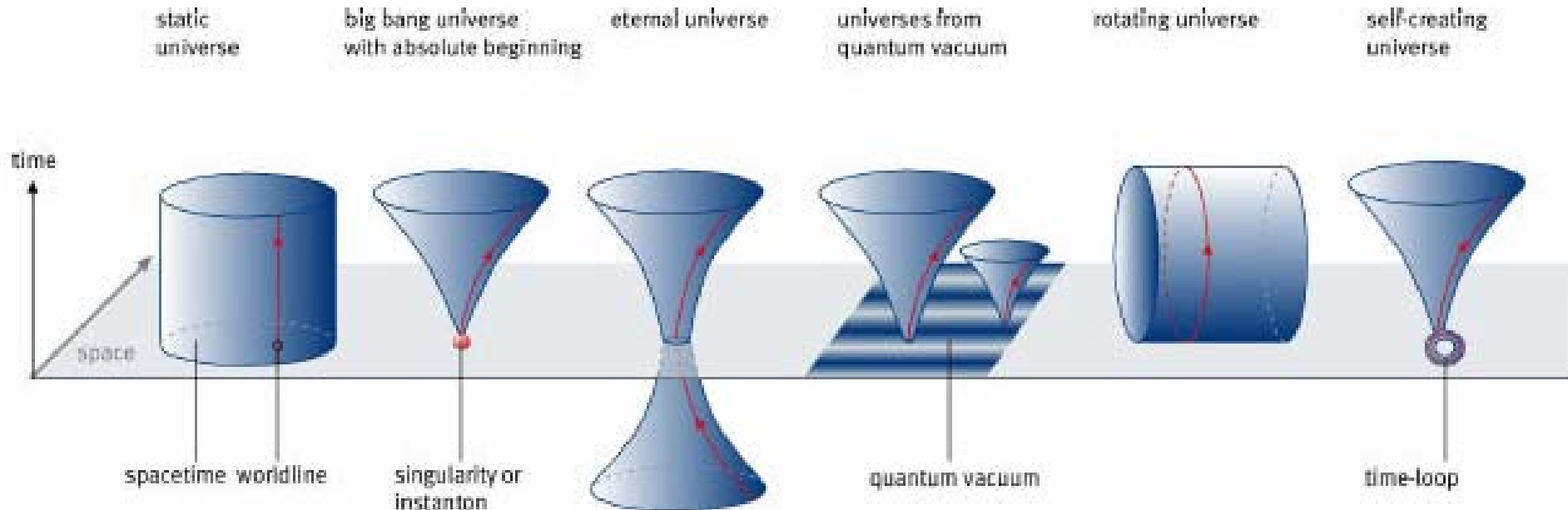
Wahrscheinlichkeitsüberlegungen:
Unendlicher Weltraum, dann
müssen auch
unwahrscheinliche Dinge
irgendwo entstehen

Multiversum beruht auf bewährten
Theorien: Relativitätstheorie
und Quantenmechanik

Es macht Vorhersagen und kann
falsifiziert werden

Nicht die Frage, ob es das
Multiversum gibt, sondern wie
viele Ebenen es hat!

Multiversen Teil I



- I. Kant: ein Universum kann nicht beides haben, einen Anfang und eine ewige Vergangenheit
- Was ist Zeit: subjektive Illusion oder Dualismus zwischen objektiver zeitloser Welt und einem subjektiven Zeitpfeil (Artikel: Time before Time, R. Vaas)

Multiversen Teil II

Expansionsgeschwindigkeit kritisch, alle anderen Parameter zum Leben geeignet

ABWEICHUNGEN BEI ANDEREN PHYSIKALISCHEN PARAMETERN

Expansionsgeschwindigkeit kritisch, aber die Werte der anderen physikalischen Konstanten ungeeignet zum Leben

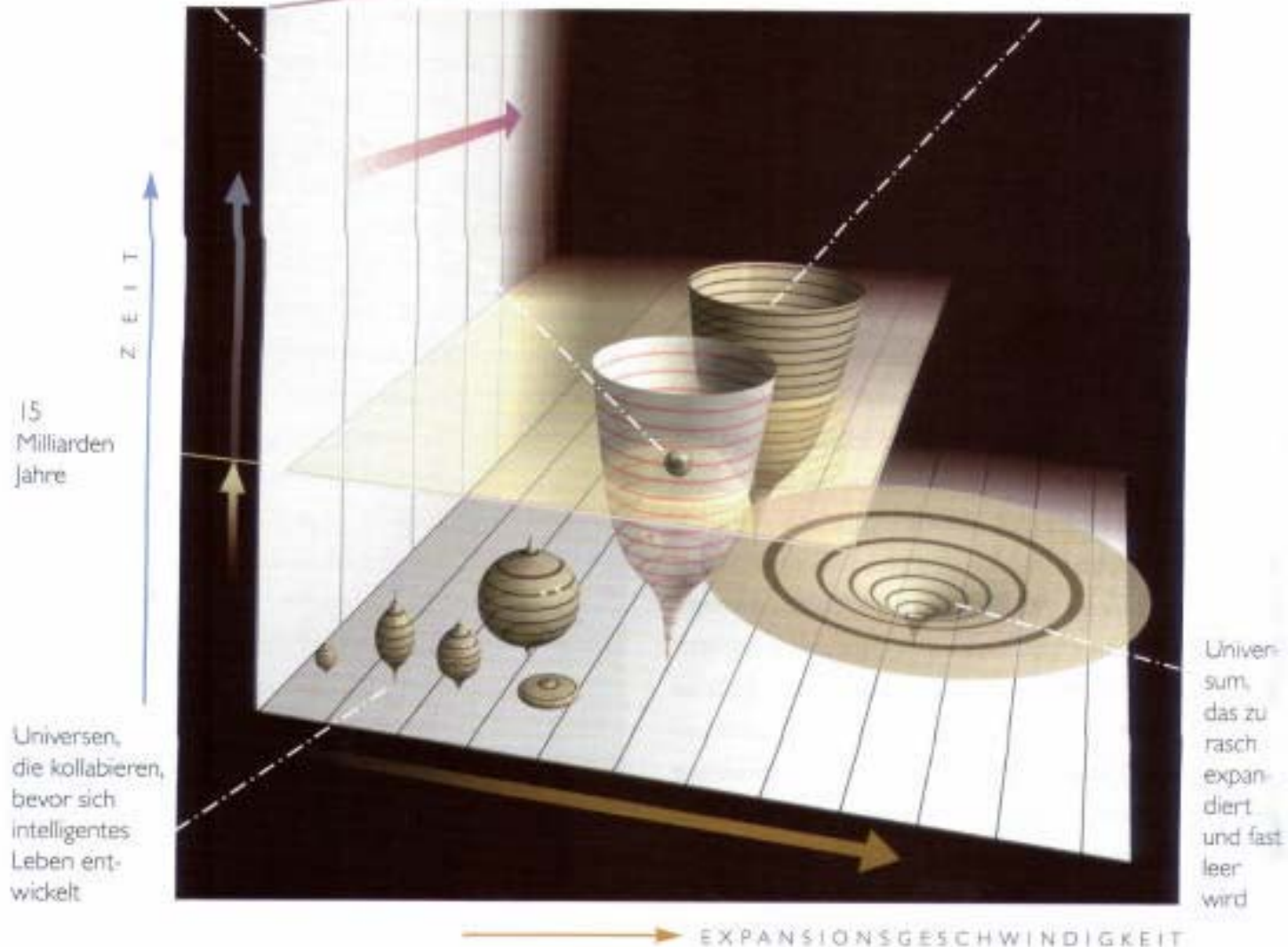


Abb. 2.4: Diagramm über mögliche Multiversen

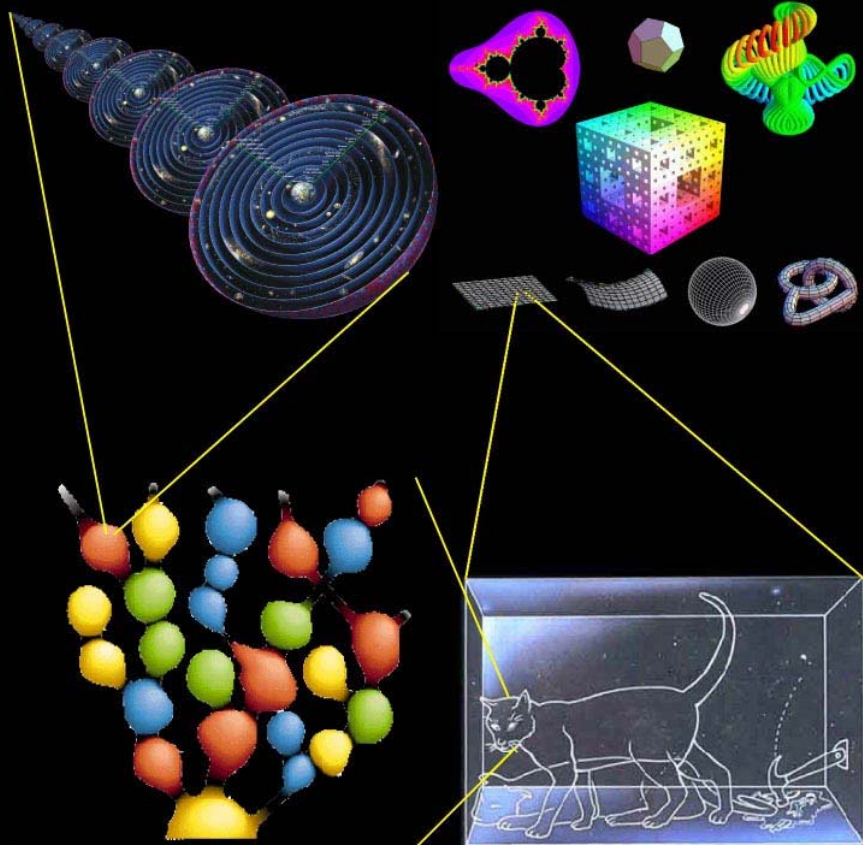
Multiversen auf verschiedenen Niveaus

Level 1: Regions beyond our cosmic horizon

Features: Same laws of physics, different initial conditions
Assumptions: Infinite space, ergodic matter distribution
Evidence: - Microwave background measurements point to flat, infinite space, large-scale smoothness
 - Simplest model

Level 4: Other mathematical structures

Features: Different fundamental equations of physics
Assumption: Mathematical existence = physical existence
Evidence: - Unreasonable effectiveness of math in physics
 - Answers Wheeler/Hawking question: "why these equations, not others"



Level 2: Other post-inflation bubbles

Features: Same fundamental equations of physics, but perhaps different constants, particles and dimensionality
Assumption: Chaotic inflation occurred
Evidence: - Inflation theory explains flat space, scale-invariant fluctuations, solves horizon problem and monopole problems and can naturally explain such bubbles
 - Explains fine-tuned parameters

Level 3: The Many Worlds of Quantum Physics

Features: Same as level 2
Assumption: Physics unitary
Evidence: - Experimental support for unitary physics
 - AdS/CFT correspondence suggests that even quantum gravity is unitary
 - Decoherence experimentally verified
 - Mathematically simplest model

Entfernung unseres Zwillingsuniversums

$$10^{10^{29}} \text{ m}$$

Für uns entfernteste Objekte sind $4 \times 10^{26} \text{ m}$ weit weg

In 10 hoch 10 hoch 118 m Entfernung sollte ein gesamtes Hubble-Volumen liegen, welches mit unserem identisch ist

Multiversum

- 1960 von Andy Nimmo geprägt
- In den späten Sechzigern von Michael Moorcock in einem Roman benutzt
- Hypothetische Menge von möglichen Universen (incl. unseres), die die mögliche physikalische Realität ausmacht
- Die Struktur des Multiversums, die Natur jedes einzelnen Universums und die Beziehung zw. den Universen ist abhängig von der spezifischen Multiversen-Hypothese
- Leitet sich direkt aus kosmologischen Beobachtungen ab
- Nach Max Tegmark gibt es verschiedene Niveaus der Multiversen

Multiversen

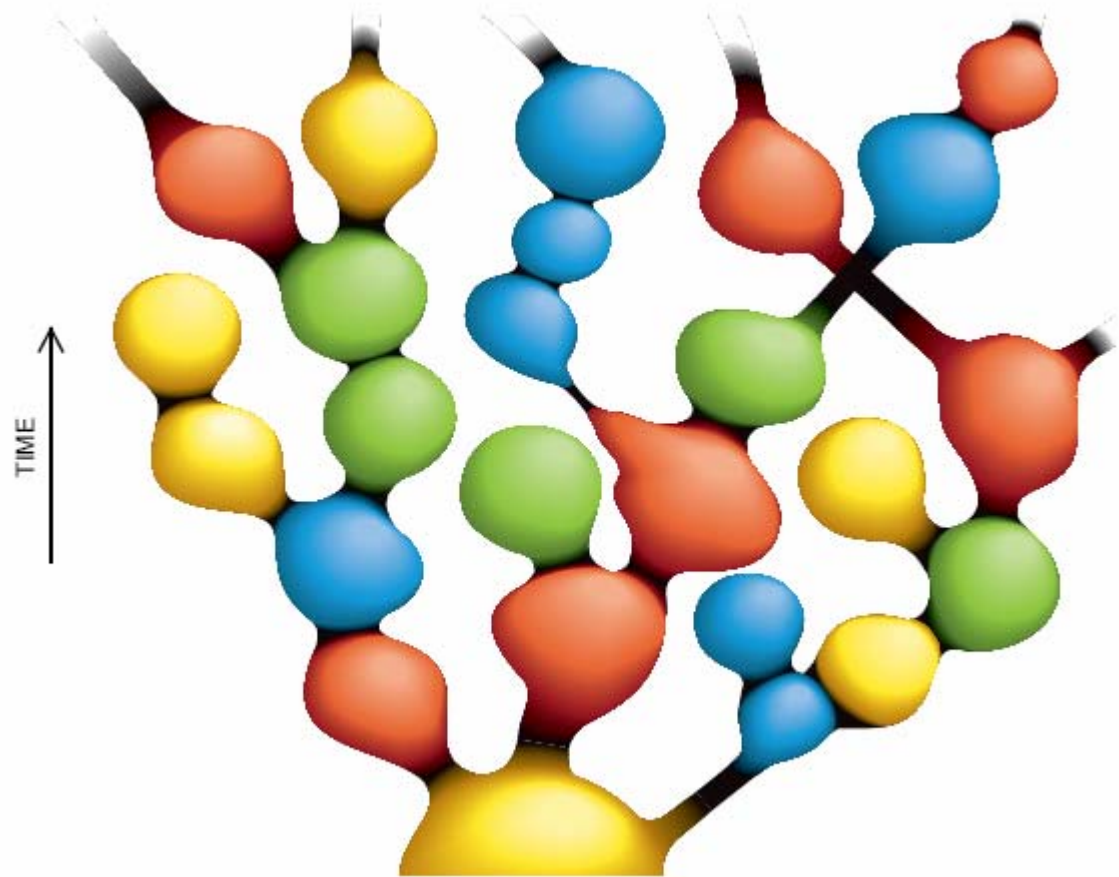
- **Level 1 – 4**
- **Level 1** (Offenes Multiversum): eine Voraussage der kosmischen Inflation ist eine identische Kopie von uns in einer Entfernung von 10^{29} m, entspricht im Wesentlichen dem uns bekannten Universum, Grundstruktur identisch
- **Level 2** (Andre Linde's Blasentheorie): in einer chaotischen Inflation können unterschiedliche Regionen unterschiedliche physikalische Konstanten oder abweichende Raum-Zeit-Dimensionen aufweisen; Raumzeit kann problemlos neun oder auch nur zwei Dimensionen aufweisen
 - Steinhardt's M-Theorie
 - Lee Smolin: neue Welten durch Schwarze Löcher

Level 2. Blasentheorie (Andrei Linde)

Die Erzeugung neuer Universen aus dem Quantenschaum des Eltern-Universums

Auf kleinen Skalen können kleine Blasen und Wurm Löcher erzeugt werden

Ist die Energiefluktuation größer als ein kritischer Wert, bildet sich ein Miniblasen-Universum, expandiert und galaktische Strukturen entstehen



Multiversen

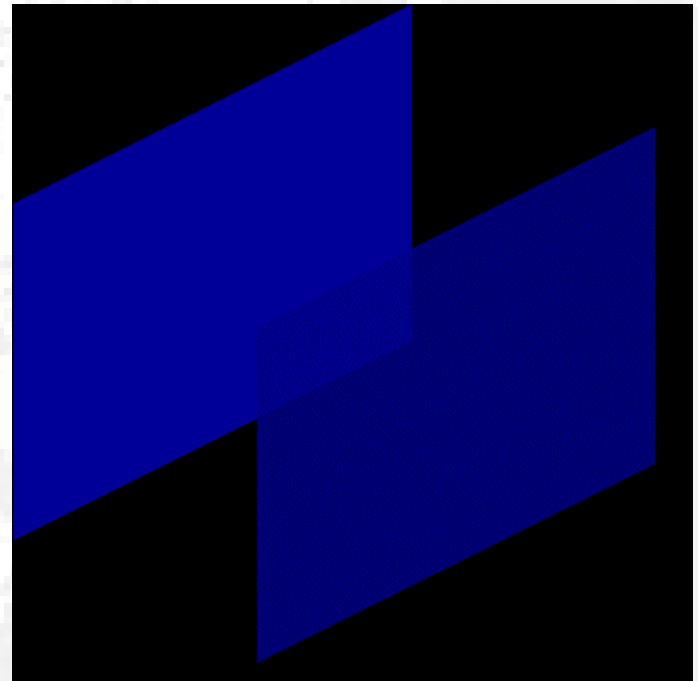
- **Level 3** (Hugh Everett III's Vielwelteninterpretation): eine Interpretation der Quantenmechanik. Viele multiple Universen, alle identisch, aber in verschiedenen Zuständen. Jede getroffene Entscheidung zwischen A und B teilt unsere Welt in zwei nahezu identische Kopien auf; der einzige Unterschied: in der einen ist A Realität geworden, in der anderen B; unsere Welt splittet sich ständig und unaufhörlich in alle nur irgend möglichen Universen und unser Bewußtsein ist pausenlos auf der Durchreise, von Welt zu Welt. Schrödinger's Katze

Level 3: Vielewelten Interpretation der Quantenphysik

- MWI: Many-Worlds Interpretation (Hugh Everett)
- Die Universen sind identisch aber existieren in verschiedenen Zuständen
- Die Universen können nicht miteinander kommunizieren
- Der Zustand des gesamten Multiversums steht mit den Zuständen der einzelnen Universen durch Überlagerung der Zustände in Verbindung
- (Richard Feynman's multiple histories interpretation)
- (H. Dieter Zeh's many-minds interpretation)

M-Theorie= Ekpyrotisch

- 11 dimensionale Erweiterung der Stringtheorie
- Unser Universum und andere werden durch Kollisionen zwischen Membranen erzeugt
- Alle können unterschiedliche physikalische Gesetze beinhalten



Multiversen

- **Level 4** (die ultimative Vielfalt, Tegmark): unvorstellbar; alles möglich; Dimensionen können kommen und gehen; andere mathematische Strukturen ergeben unterschiedliche fundamentale Gleichungen der Physik.

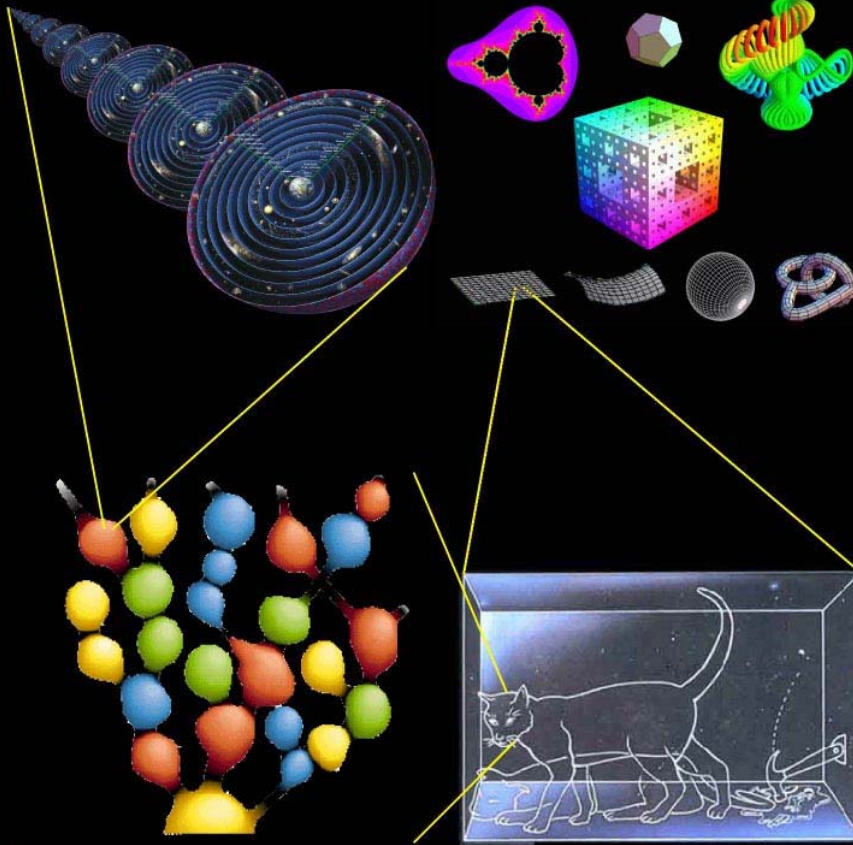
Multiversen auf verschiedenen Niveaus

Level 1: Regions beyond our cosmic horizon

Features: Same laws of physics, different initial conditions
Assumptions: Infinite space, ergodic matter distribution
Evidence:
- Microwave background measurements point to flat, infinite space, large-scale smoothness
- Simplest model

Level 4: Other mathematical structures

Features: Different fundamental equations of physics
Assumption: Mathematical existence = physical existence
Evidence:
- Unreasonable effectiveness of math in physics
- Answers Wheeler/Hawking question: "why these equations, not others"



Level 2: Other post-inflation bubbles

Features: Same fundamental equations of physics, but perhaps different constants, particles and dimensionality
Assumption: Chaotic inflation occurred
Evidence:
- Inflation theory explains flat space, scale-invariant fluctuations, solves horizon problem and monopole problems and can naturally explain such bubbles
- Explains fine-tuned parameters

Level 3: The Many Worlds of Quantum Physics

Features: Same as level 2
Assumption: Physics unitary
Evidence:
- Experimental support for unitary physics
- AdS/CFT correspondence suggests that even quantum gravity is unitary
- Decoherence experimentally verified
- Mathematically simplest model

Entfernung unseres Zwillingsuniversums

$$10^{10^{29}} \text{ m}$$

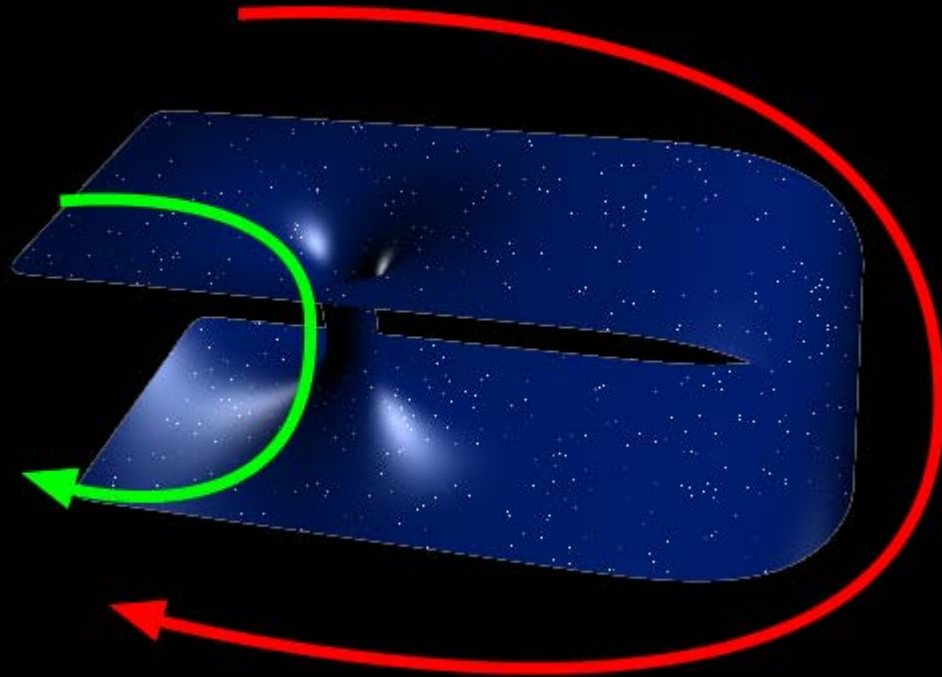
Argumente *gegen* die Multiversen-Theorie

- Es ist keine Wissenschaft mehr! Weder empirische Korrelationen noch Tests möglich, können nicht falsifiziert werden. Eher theoretisch mathematisch und metaphysisch als wissenschaftlich! **M. Tegmark**: bessere Messungen des Mikrowellenhintergrundes können zwei Säulen der Theorien überprüfen: die Unendlichkeit des Raums, die chaotische Inflation
- Ockhams Rasiermesser verletzt: unendlich viele ungesehene und unsichtbare Universen zu erfinden nur um das jetzige zu erklären. **M. Tegmark**: was ist eleganter: viele Welten oder viele Worte?
- Multiversen verschieben das Problem nur: ein Gesetz der Gesetze? **M. Tegmark**: alle Gesetze sind am Werk.

Wurmlöcher



Wurmlöcher



- Theoretische Lösungen von Gleichungen der Allg. Relativitätstheorie
- 1935 von Einstein und Rosen beschrieben, zunächst **Einstein-Rosen-Brücken** genannt
- Wurmloch: Analogie zum Wurm der die Abkürzung durch den Apfel nimmt
- Sind topologische Konstrukte, die weit voneinander entfernte Bereiche des Universums durch eine Abkürzung verbinden

Wurmlöcher

- Das Ende eines Wurmlochs erscheint dem Beobachter als Kugel, die ihm die Umgebung des anderen Endes zeigt
- Lichtgeschwindigkeit darf nicht überschritten werden, aber in Bezug auf Start- und Zielbereiche hätte eine Reise mit Überlichtgeschwindigkeit stattgefunden
- Wurmlöcher stellen eine Erweiterung der Lösungen der Einstein-Gleichungen durch Schwarze Löcher hinter den Ereignishorizont dar.
- Analogie: Käfer auf Blatt
- Keinerlei experimentelle Beweise im All ...
- Theoretische Überlegungen: Wurmlöcher benötigen exotische Materie um zu entstehen und stabil zu bleiben

Wurmlöcher

- Hawking: durch hineinfliegende Teilchen kann es zu einem schnellen Zusammenbrechen des Wurmlochs kommen
- Exotische Materie würde antigravitativ wirken: Strahlen konvergieren beim Eintritt in ein Wurmloch und divergieren beim Austritt; Defokussierung erfordert negative Energie
- Schätzungen: für ein Wurmloch mit einem Meter Durchmesser: würde exotische Materie äquivalent einer Jupitermasse benötigt
- **Negative Energie** im Labor erzeugt: Casimir-Effekt (zwei ungeladene Metallplatten ändern die Vakuumfluktuationen ab), rasch verschobener Spiegel, Hawking-Strahlung

Wurmlöcher

- Überlicht U-Bahn (warp-Antrieb)
- Quantentheorie läßt negative Energie zu, schränkt sie aber zugleich in Größe und Dauer stark ein; Quantenungleichungen (1978, Ford)
- Negative Energie tangiert mehrere Bereiche der Physik: Gravitation, Quantentheorie, Thermodynamik
- Quantenungleichungen (verhindern Verletzungen des 2. Hauptsatzes der Thermodynamik): ein Strahl negativer Energie kann nicht beliebig lange beliebig intensiv sein
- Versuch ein heißes Objekt mit Puls negativer Energie zu kühlen, sofort folgt ein größerer positiver Energiepuls, der das Objekt wieder erwärmt (überkompensiert); Überschuss wächst mit dem Zeitintervall zwischen den Pulsen („Quantenzins“)
- Alle Versuch, negative Energie von positiver zu trennen und separateinzufangen, sind zum Scheitern verurteilt

Wurmlöcher

- Gilt auch für Kosmos: ein Puls negativer Energie, der in ein elektromagnetisch geladenes Schwarzes Loch gelenkt wird, vermag zwar für einen Augenblick den Horizont zu zerstören und die darin verborgene Singularität freizulegen, aber dem Puls folgt unweigerlich sein positiver Begleiter und verwandelt die nackte Singularität in ein Schwarzes Loch zurück
- Angewandt auf Wurmlöcher: müssen submikroskopisch klein sein; bei makroskopischen Gebilden muß die negative Energie auf unvorstellbar schmale Streifen beschränkt sein (Schlundradius von 1 Meter bedeutet ein negatives Energieband, das nur 10^{-21} Meter dick ist, ein Millionstel des Proton-Durchmessers; die notwendige negative Energie käme der von 10 Milliarden Sternen in einem Jahr erzeugten Gesamtenergie gleich)
- String-Theorie: kein Ausweg, da die hypothetischen Gebilde, die hohe Energiedichten in langen dünnen Fäden konzentrieren, stets positive Energie enthalten.

Die Zeit vor dem Urknall....



Vielleicht gibt es Windows schon viel länger als bisher geglaubt - und der Anfang der Welt war ganz anders...

Quelle: Unbekannt

Wenn sich ein Theoretiker nicht in mindestens 50% seiner Theorien irrt, ist er nicht kreativ genug!