

Das Anthropische Prinzip

Thomas Hebbeker
Humboldt-Universität zu Berlin
15.07.1998

Für Prof. Egon Gutschke

Übersicht:

- Definition
- Diskussion
- Beispiele:
 - Protonlebensdauer
 - Massendichte und Alter des Weltalls
 - Baryonerzeugung im Universum
- Schlußfolgerungen

Definitionen

Frühe Anwendungen: Robert H. Dicke, 1961

Terminologie: Brandon Carter, 1974.

Anthropos = Mensch

- → **Schwaches Anthropisches Prinzip** ←

- “The observed values of all physical and cosmological quantities are not equally probable but they take on values restricted by the requirement that there exist sites where carbon-based life can evolve and by the requirement that the universe be old enough for it to have already done so.”

-

- **Theoretische Modelle unseres Universums müssen mit der Messung “Wir existieren hier und jetzt” in Einklang sein.**

- ~~Starkes anthropisches Prinzip~~

-

1. Beispiel: Alter des Universums

Theoretisches Modell:

Alter des Universums: kleiner als 70 Jahre

Messung:

Prof. Gutsche !

Anthropisches Prinzip:

Modell schlecht!

Die Welt und ihre Beobachter

A) Die Messung

< 1900: unabhängig vom Beobachter

> 1900: Quantenmechanik: **NEIN!**

B) Modelle des Universums

< 1500: anthropozentrisch (religiös):

Der Mensch steht im Zentrum des Universums, seine Existenz ist Zweck der Welt.

≈ 1500: kopernikanisch:

Menschen sind nicht relevant für das Universum im Großen.

> 1900: **anthropisch**:

Menschen bilden nicht den Mittelpunkt der Welt, aber ihre Existenz muß bei der Modellbildung berücksichtigt werden.

→ **Weder der Meßvorgang selbst noch die möglichen Meßwerte sind unabhängig vom Beobachter!**

Was ist das 'Anthropische Prinzip' ?

- ? eine (triviale) Beobachtung
 - ? Theorie die Voraussagen machen kann
 - ? Selektionsprinzip
 - ? Metaphysik, Philosophie, Religion, Esoterik . . .
- **Methode zur Bestimmung bzw. Einschränkung von Modellparametern**

Bestimmung von Parametern

Annahme: Physikalische Gesetze sind bekannt (z.B. Newtons Gravitationsgesetz), auftretende Parameter p (G_N) sind zu bestimmen!

A) im Labor:

← Messung Observable o

Modell $o(p)$

Parameter p ←

Beispiel: $p = \alpha =$ Feinstruktur., $o =$ Frequenz Atomstrahlung

B) Anthropisches Prinzip:

← 'existentielle' Beobachtung o'

Modell' $o'(p)$

Parameter p ←

Beispiel: $p = \alpha$, $o' =$ Anomalie des Wassers ???

*Aus der **Existenz des Labors** kann man möglicherweise einen genaueren Wert für p ableiten als man aus der direkten **Labormessung** bekommt!*

Warum mögen viele Physiker das A.P. nicht ?

- “trivial”
‘Man kann nichts daraus lernen.’
- “nicht objektiv”
Physiker ziehen es vor, ‘objektive’ Aussagen zu treffen, die unabhängig vom Beobachter sind.
- “Methaphysik/Philosophie”
‘... nichts für Physiker’
- “Teleologie, Theologie/Religion”
starkes A.P: ‘universe must be such as to admit the creation of observers at some stage’ (Carter)
- “Numerologie”
A.P. wird oft diskutiert im Zusammenhang mit Diracs ‘Hypothese der großen Zahlen’

Kritik nicht gültig für unsere pragmatische Anwendung:
“Methode zur Bestimmung bzw. Einschränkung von Modellparametern”

2. Beispiel: Protonlebensdauer

Unsere Existenz impliziert eine untere Schranke für die Protonlebensdauer τ .

Observable σ' :

Menschlicher Körper: Lethale Strahlendosis

$$D \sim 1 \text{ Sv/y} = 1 \text{ J/kg/y}$$

Proton: in einem Zerfall freigesetzte Energie:

$$E \approx m_p \sim 1 \text{ GeV} \sim 10^{-10} \text{ J}$$

Modell $\sigma'(p)$:

Aktivität pro Masse:

$$\frac{A}{m} = \frac{1}{\tau} \cdot \frac{N}{m} \sim \frac{1}{\tau} \cdot 10^{26} / \text{kg}$$

Energiedosis:

$$D = \frac{A}{m} \cdot E = 10^{16} \text{ J/kg} \cdot \frac{1}{\tau}$$

Parameter p : $\tau > 10^{16} \text{ y}$

3. Beispiel: Kernfusion im Universum

Wir bestehen u.a. aus Kohlenstoff.

Frühe Epochen des Universums:

→ viele ^{12}C -Kerne

→ aber auch leichtere und schwerere Kerne!

(Wasserstoff = Sternbrennstoff, Sauerstoff ↔ Biologie, . . .)

Kernverschmelzung im Universum:

- **Urknall: 'Die ersten 3 Minuten'**

Neutronen ($\sim 1/8$) und Protonen ($\sim 7/8$) verschmelzen zu ^4He ; überschüssige Protonen → Wasserstoff H.

Keine Fusion schwerer Elemente da Zwischenkern ^8Be instabil: 'beryllium bottleneck'.

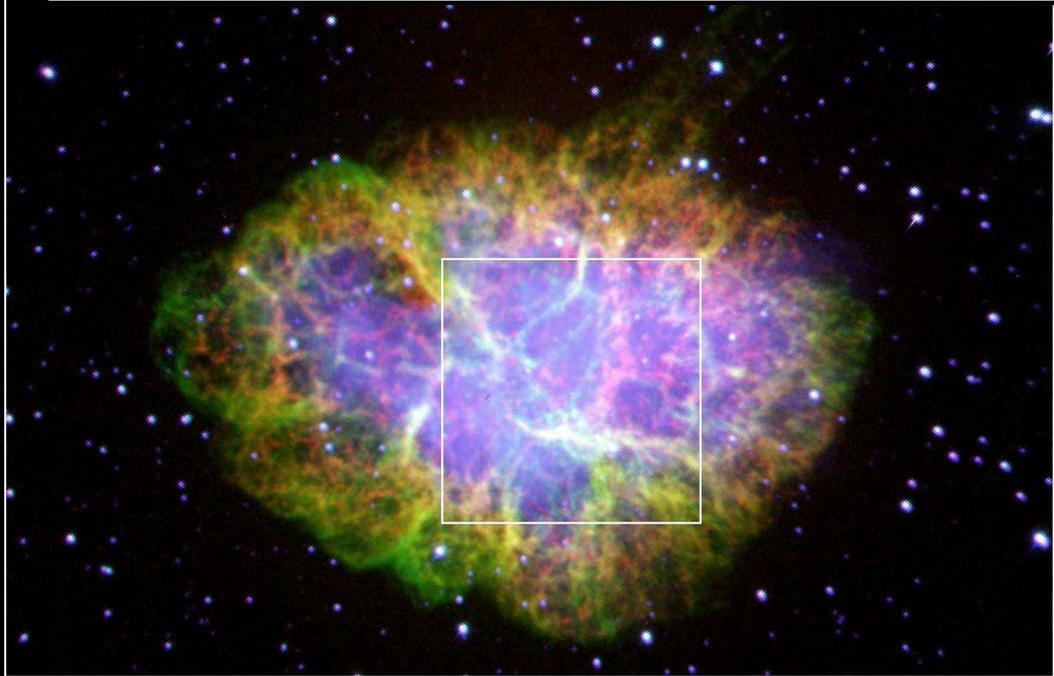
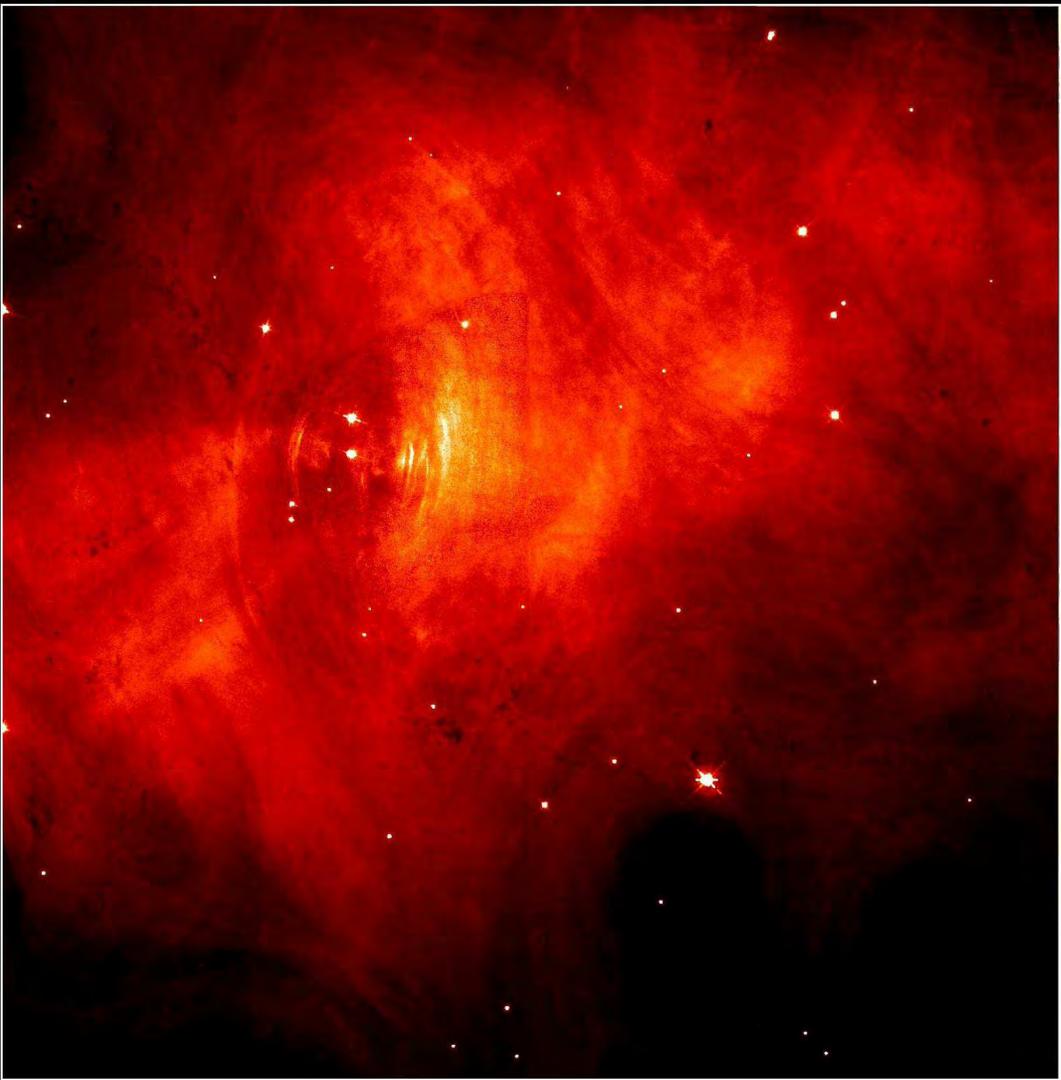
- **Sterne**

In verschiedenen Phasen entstehen ^{12}C , ^{16}O bis hin zu Eisen; in Supernovae auch ganz schwere Elemente.

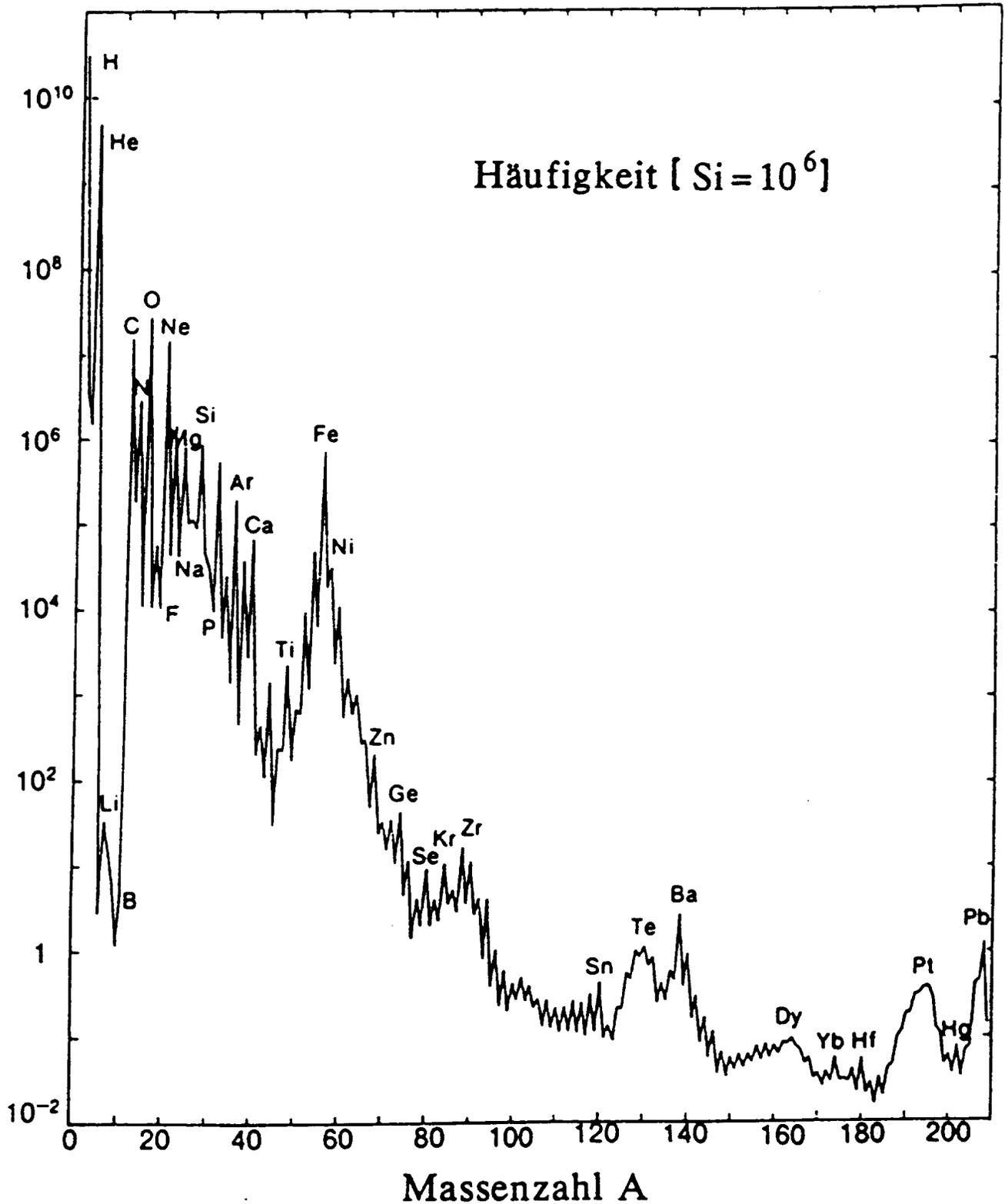
Wir bestehen aus der Asche früherer Sterne!

Kerneigenschaften (Lebensdauern, Energieniveaus, Wirkungsquerschnitte) 'reagieren' sehr empfindlich auf das Verhältnis von elektromagnetischer (α) und starker Kopplungsstärke (α_s)!

HST



Palomar



Häufigkeitsverteilung der Elemente im Sonnensystem

Kernentstehung in Sternen



Aber: **Beryllium ist instabil**: $\tau \sim 10^{-17} \text{ s}$!

Anthropisches Prinzip

(*Vorhersage!* von Fred Hoyle, 1952):

a) **Die Sterne müssen Kohlenstoff erzeugen!**

${}^{12}\text{C}$ entsteht nur wenn der Wirkungsquerschnitt von Prozeß (2) durch eine Resonanz stark erhöht ist; benötigt wird ein Energieniveau bei $\approx 7.7 \text{ MeV}$, knapp oberhalb der Bindungsenergie!

Spätere **experimentelle Bestätigung**: Resonanz bei **7.65 MeV!**

b) **Nicht alle Kohlenstoffkerne dürfen weiter reagieren!**

Reaktion (3) darf *nicht* resonant verlaufen, sonst wird alles in ${}^{16}\text{O}$ umgewandelt!

Experiment: Sauerstoff hat Resonanz gerade **unterhalb** der Bindungsenergie!

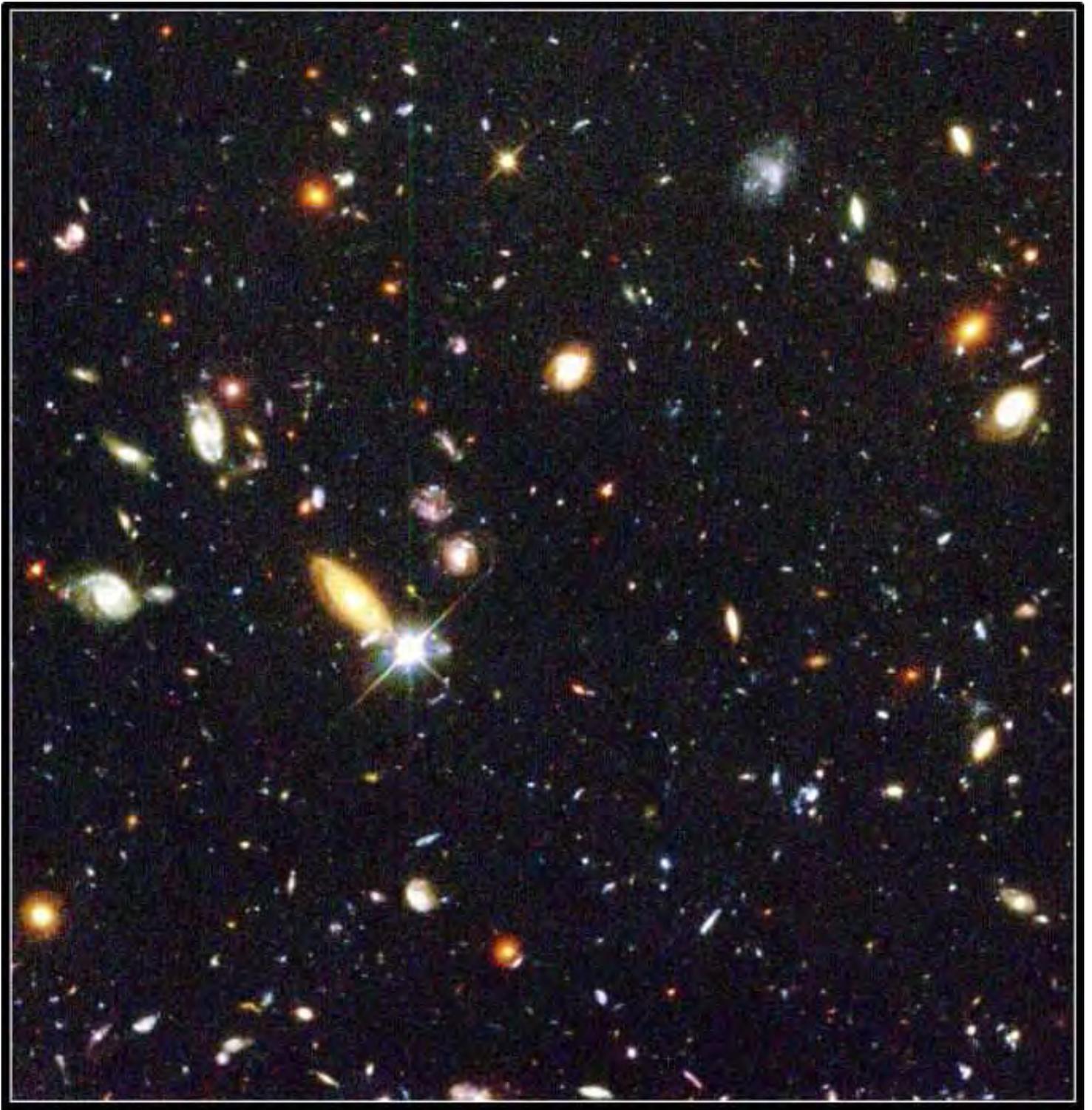
Beispiel 1': Massendichte und Alter des Universums

- Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie, Lösungen von Friedmann . . .
- Hubbles Beobachtung auseinanderfliegender Galaxien, Expansionsgeschwindigkeit = Hubble'konstante'
 $H = \dot{R}/R$

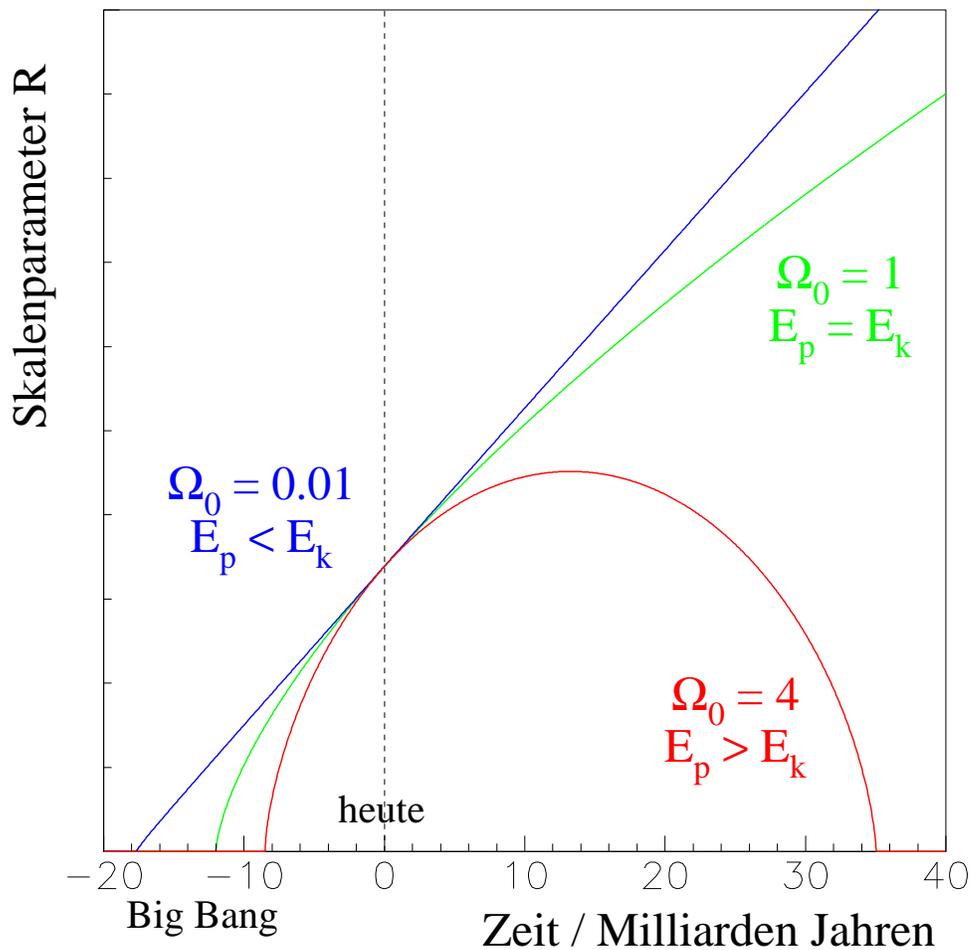
→ Big Bang Model

Wichtige Parameter:

- **Gravitationskonstante**
 $G_N = 6.7 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg s}^2} = t_{Planck}^2 = (5 \cdot 10^{-44} \text{ s})^2$
bestimmt **potentielle Energie** E_p und Anziehung der Galaxien
- **Hubbleparameter (heute)**
 $H_0 = (60 \pm 20) \frac{\text{km}}{\text{s Mpc}} \sim 2 \frac{\text{cm}}{\text{s}} / \text{Lj} \sim (6 \cdot 10^{17} \text{ s})^{-1}$
bestimmt **kinetische Energie** E_k und Auseinanderfliegen der Galaxien
- mittlere **Massendichte** $\rho = ?$
- **Alter** des Universums $T = ?$



Evolution des Universums



Grenzfall:

Summe aus kinetischer und potentieller Energie = 0:

$$\frac{1}{2} M \dot{R}^2 - G_N \frac{M^2}{R} = 0$$

‘Kritische Massendichte’ (heute):

$$\rho_0^k = \frac{3}{8\pi} \cdot \frac{H_0^2}{G_N} \sim 10^{48} \text{ s}^{-4} \sim 3 \text{ Protonen/m}^3$$

Definition: $\Omega = \rho / \rho^k$

Grenzfall: $\Omega = 1$



Alter (und Größe) des Universums

Anthropische Argumente:

a) **mindestens:**

- Bildung von Galaxien und Sternen: > 1 Milliarden Jahre
- Erzeugung schwere Elemente in Supernovae: > 1 Milliarden Jahre
- Entstehung des Sonnensystems: > 1 Milliarden Jahre
- Biologische Evolution auf der Erde: > 2 Milliarden Jahre [?]

b) **höchstens:**

- Wasserstoff wird verbraucht → Sonne stirbt: < 20 Milliarden Jahre

$$T = (5 - 20) \cdot 10^9 \text{ J}$$

Messung:

$$T = (13 \pm 3) \cdot 10^9 \text{ J}$$

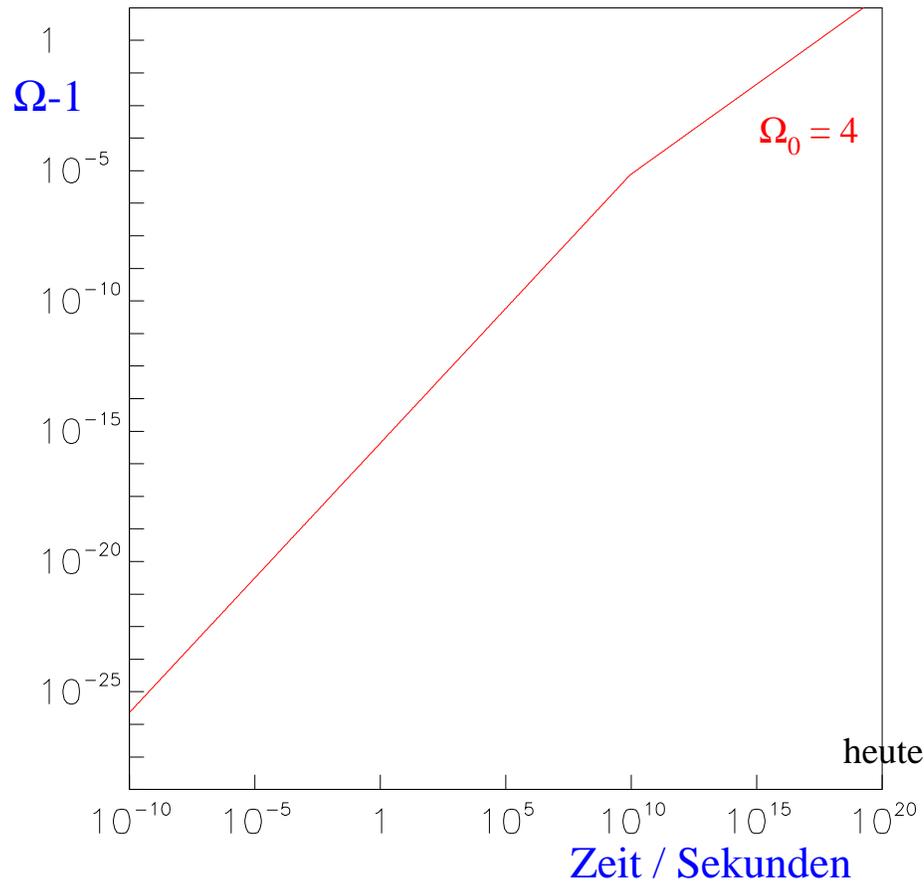
Bemerkung:

Größe des Universums \sim Alter !

'The universe must be that big in order to be observed by us!'

Massendichte des Universums

$\Omega(t)$ weicht mit der Zeit immer mehr von 1 ab:



Anthropisches Argument:

a) Maximalwert:

Alter des Universums: $\Omega(1s) \leq 1 + 10^{-16}$ (!), sonst vorzeitiger Kollaps

b) Minimalwert:

Sternbildung: $\Omega(1s) \geq 1 - 10^{-14}$ (!), sonst Gravitation zu schwach um Sterne zu bilden

A.P. : $\Omega_0 = 0.001 - 10$

Messung : $0.01 - 2$

Zusammenfassung

- Das **Anthropische Prinzip** ermöglicht die Einschränkung/Bestimmung fundamentaler Naturkonstanten aus dem vorhandenen Wissen über unsere Existenz.
 - Das Nachdenken über “Was ändert sich wie wenn man an den ‘Knöpfen dreht’ ” macht Spaß: man kann sehr viel über Physik lernen . . .
- Man sollte systematisch(er) erforschen, welche Einschränkungen für die Werte der fundamentalen physikalischen Parameter sich aus dem Anthropischen Prinzip ergeben.
- Globaler Fit !

**Einladung zum
Kolloquium**



anlässlich des 70. Geburtstages von

Herrn Prof. Dr. habil. Egon Gutsche

PROGRAMM

Prof. Dr. Heinz Berger:
*„Prof. Gutsche und die Physik in der
Spandauer Vorstadt“*

Prof. Dr. Roland Zimmermann:
*„Unordnung in der Halbleiteroptik - Neues
über ein altes Problem“*

Prof. Dr. Thomas Hebbeker:
„Das anthropische Prinzip“

Prof. Dr. Joachim Voigt:
*„Exzitonen in Halbleitern und biologischen
Strukturen - eine vergleichende Betrachtung“*

Termin:

Mittwoch, 15. Juli 1998, 14.00 Uhr

Ort:

**Hörsaal 201, Museum für Naturkunde,
Invalidenstr. 43 (Haupteingang)**

**Im Anschluß an das Kolloquium (gegen 16.30 Uhr) findet in der
Cafeteria ein kleiner Empfang statt.**