

Urknall und Entwicklung des Universums

Thomas Hebbeker
RWTH Aachen
Dies Academicus
08.06.2005

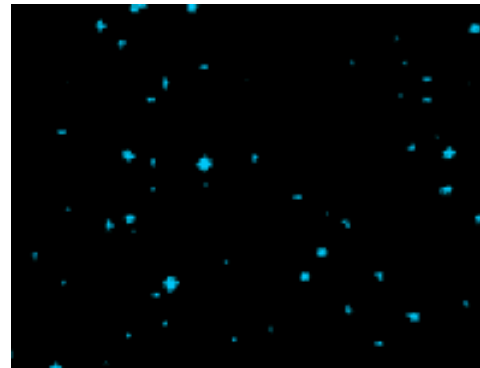
- Grundlegende Beobachtungen
- Das Big-Bang - Modell
- Die Entwicklung des Universums

Blick ins Universum: Sterne und Galaxien

Die Milchstrasse



„Unsere“ Galaxie = Milchstrasse



Nachbarstern

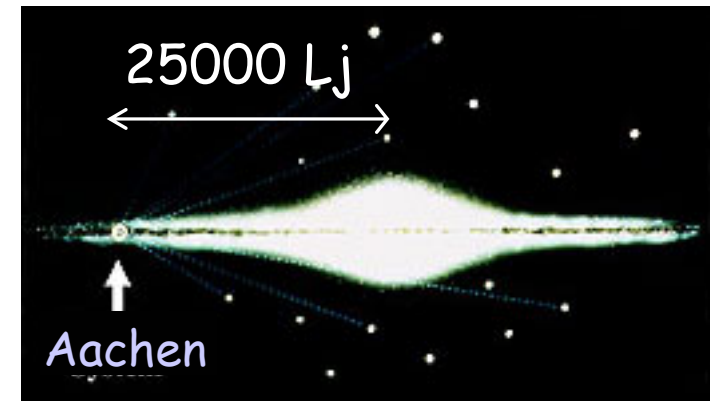
„Proxima Centauri“

4 Lichtjahre

1 Lichtjahr

=70000 mal

Abstand Erde-Sonne



Das Sonnensystem in der
Milchstrasse

Blick ins Universum: Sterne und Galaxien

T.Hebbeker

Andere Galaxien



Palomar Observatory, E. Hubble (1949)



Nachbargalaxie

„Andromeda“

3 Millionen Lichtjahre

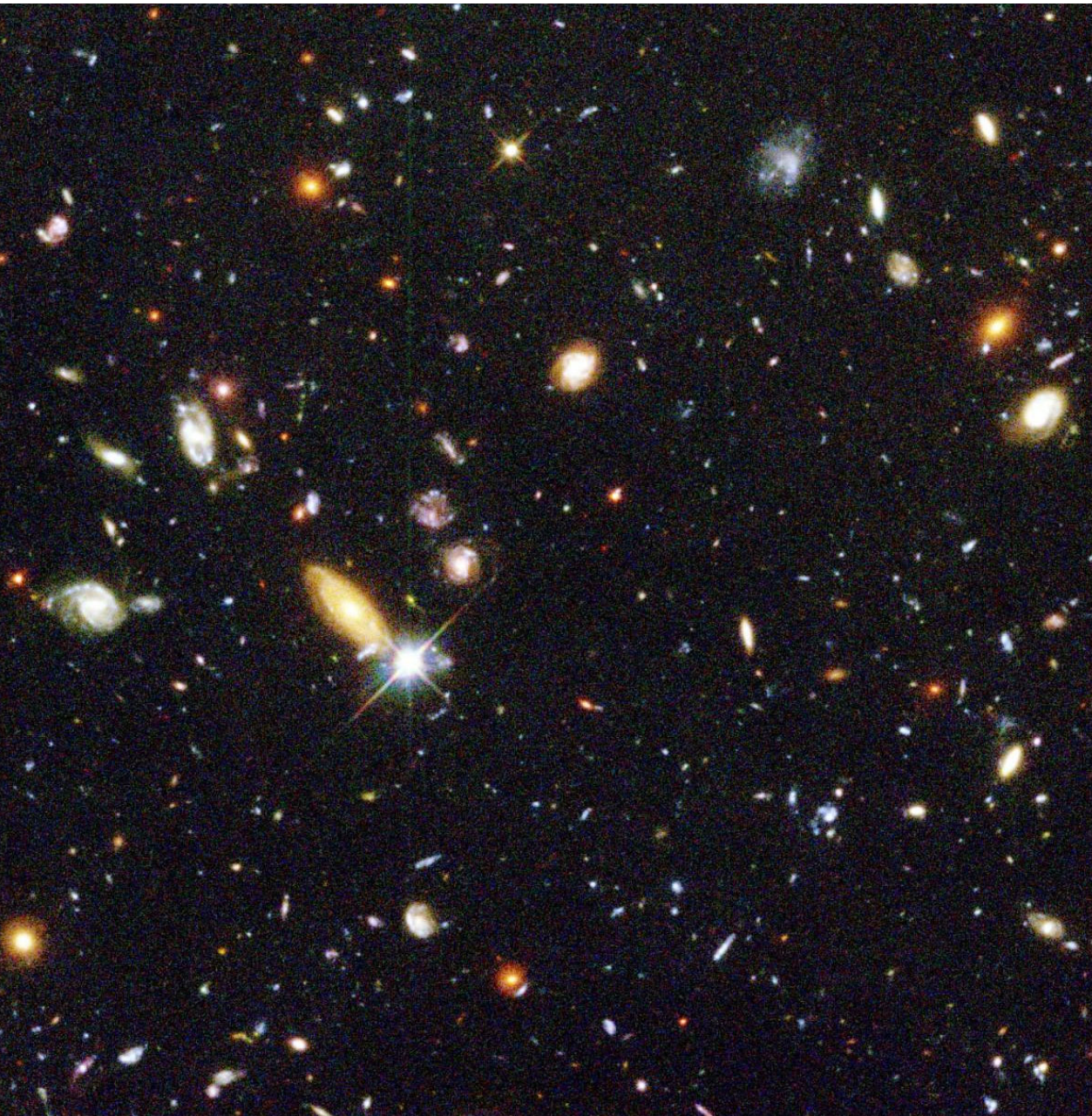


„Whirlpool“ (Hubble Teleskop)

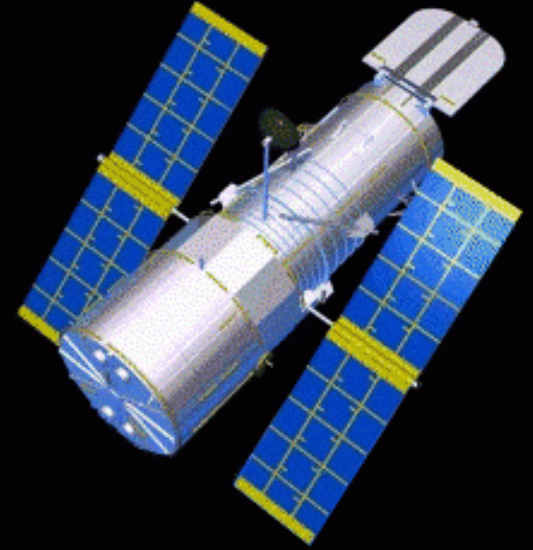
37 Millionen Lj

Blick ins Universum: Sterne und Galaxien

T.Hebbeker



Entfernte Galaxien

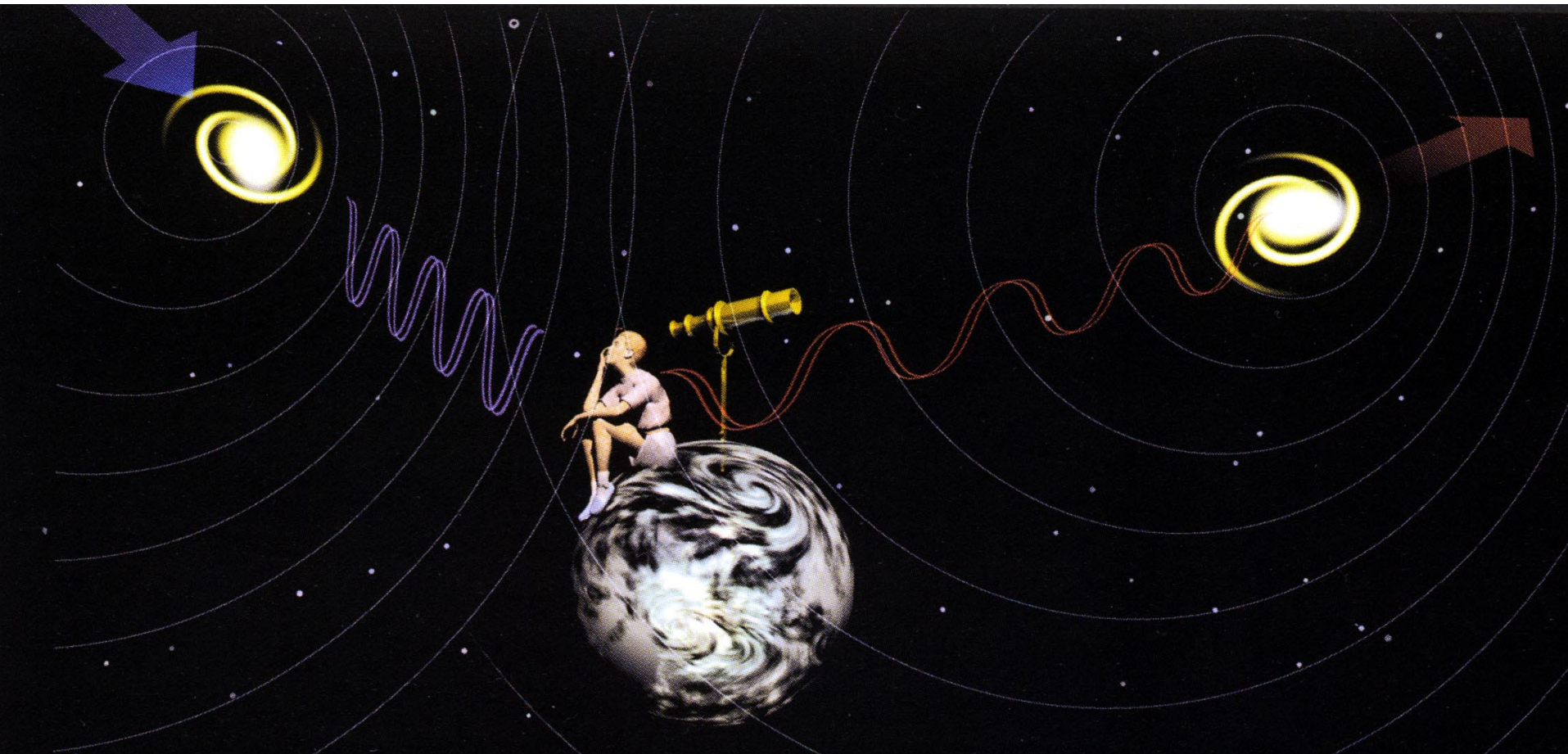


Hubble-Teleskop

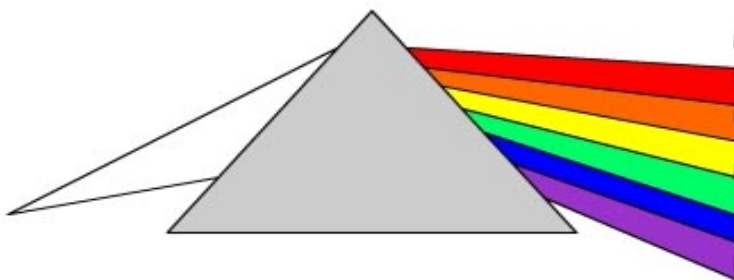
bis zu einigen
Milliarden Lichtjahren

Blick in die
Vergangenheit!

Doppler-Effekt (Licht)



Sonnenlicht:



Atomare Spektrallinien:



Rotverschiebung der Spektrallinien

E. Hubble



Geschwindigkeit in km/sec



20 000

15 000

10 000

5 000

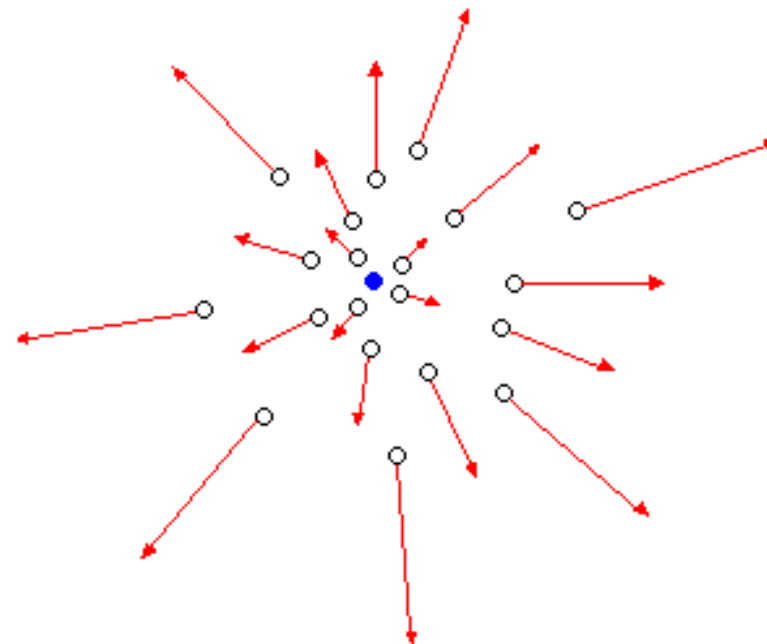
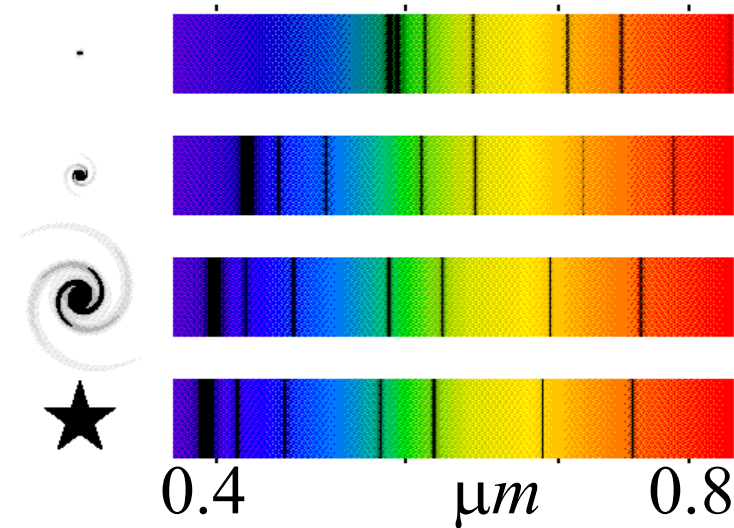
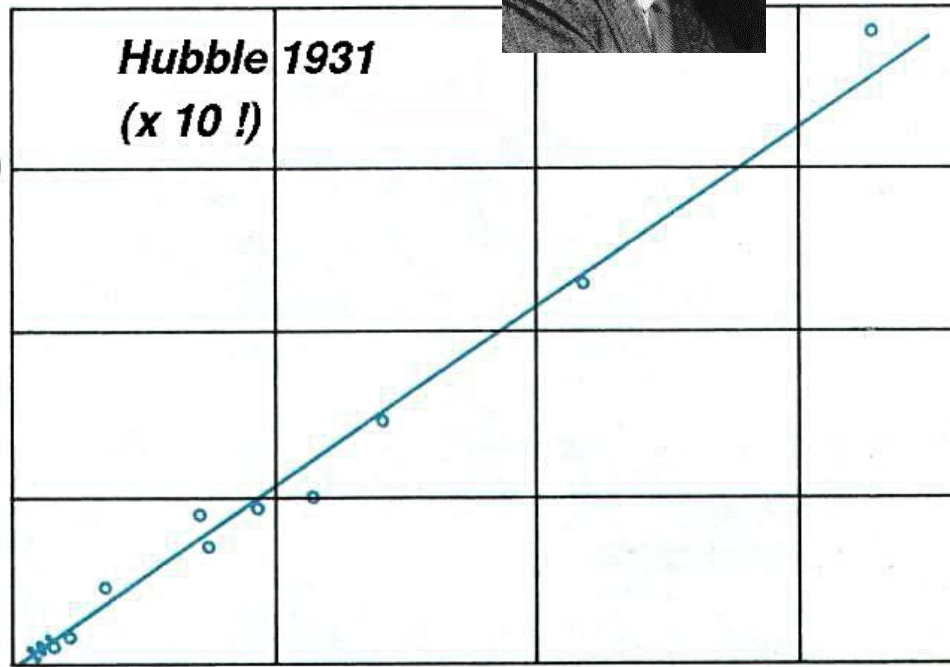
Hubble 1931
(x 10 !)

330

670

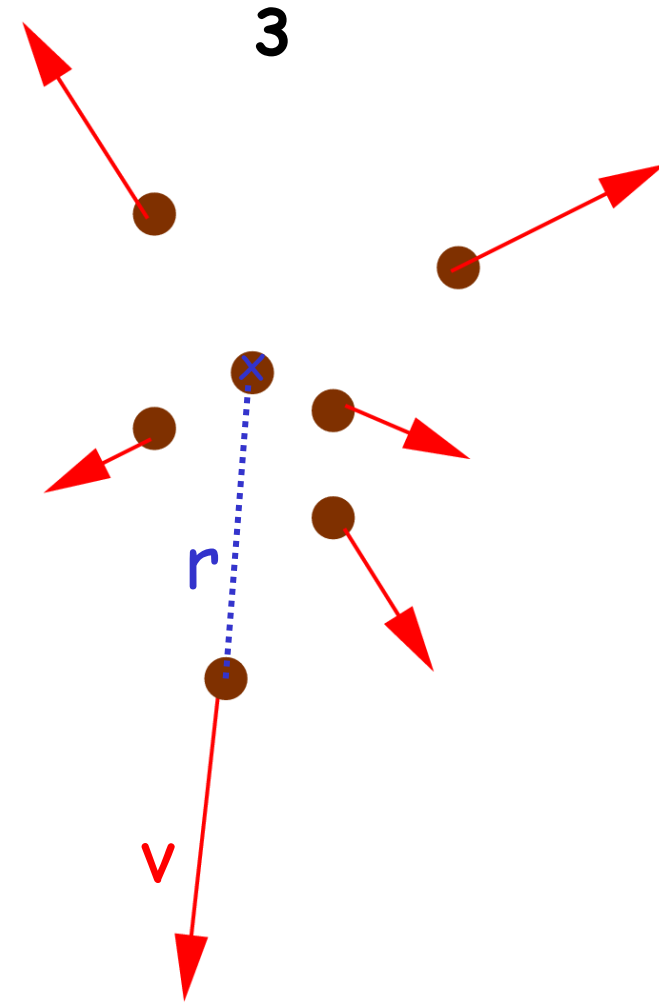
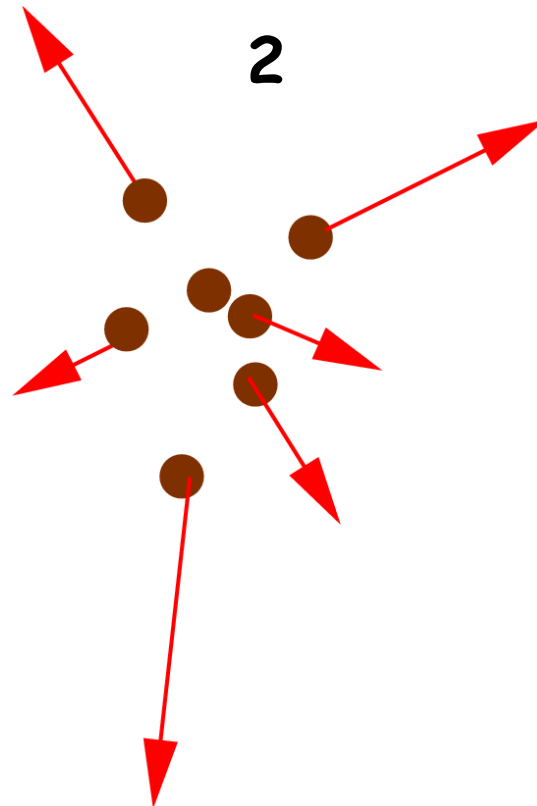
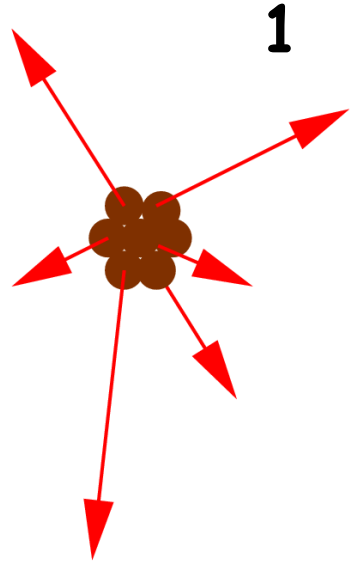
1000

Entfernungen in Millionen Lichtjahren



Universum expandiert !

Explosionsmodell



Hubble-Gesetz:

$$v = H \cdot r$$

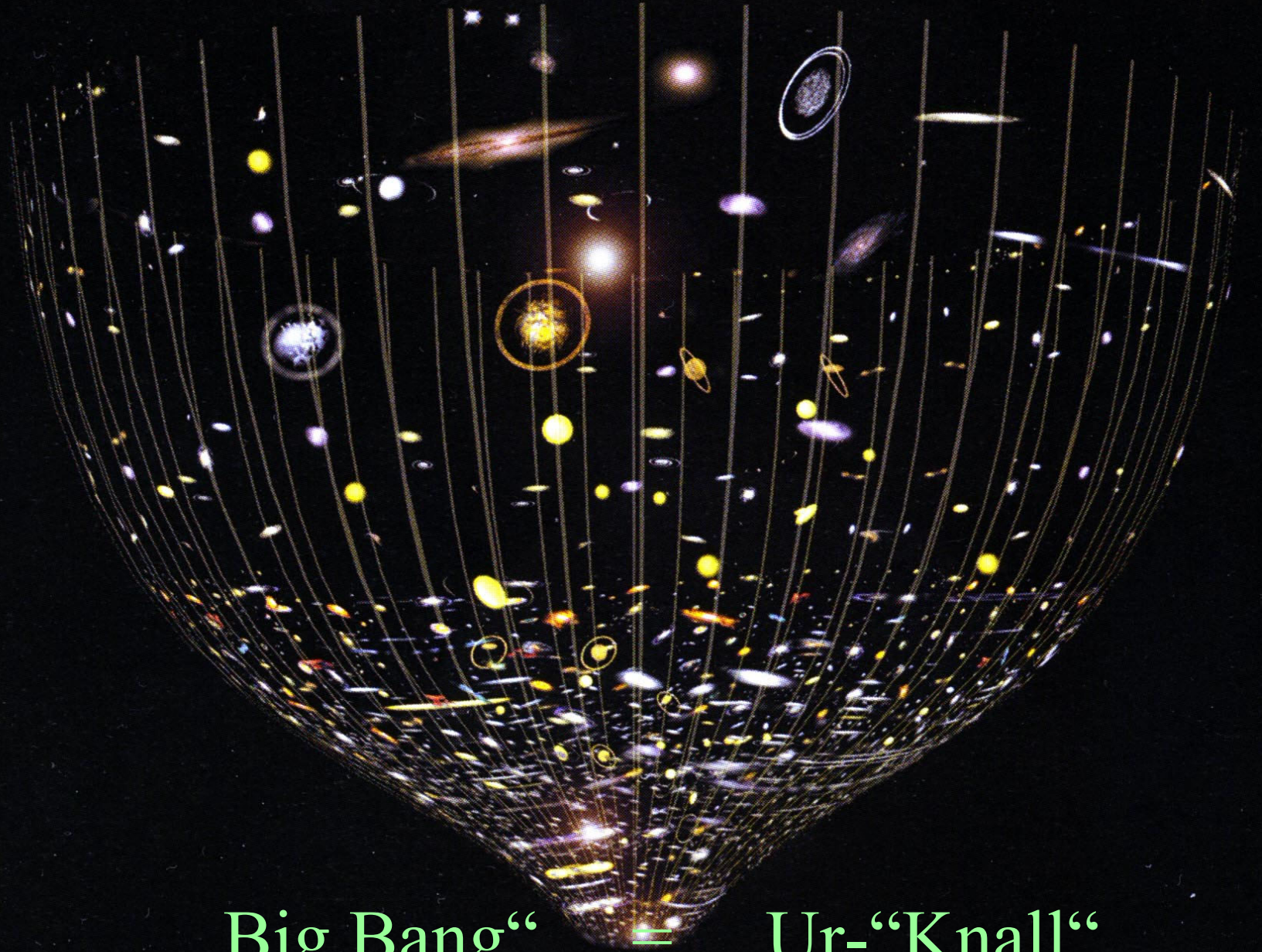
$1/H = 15$ Milliarden Jahre = Weltalter

08.06.2005

Zeit

- 15 Milliarden Jahre

Raum



„Big Bang“ = Ur-„Knall“

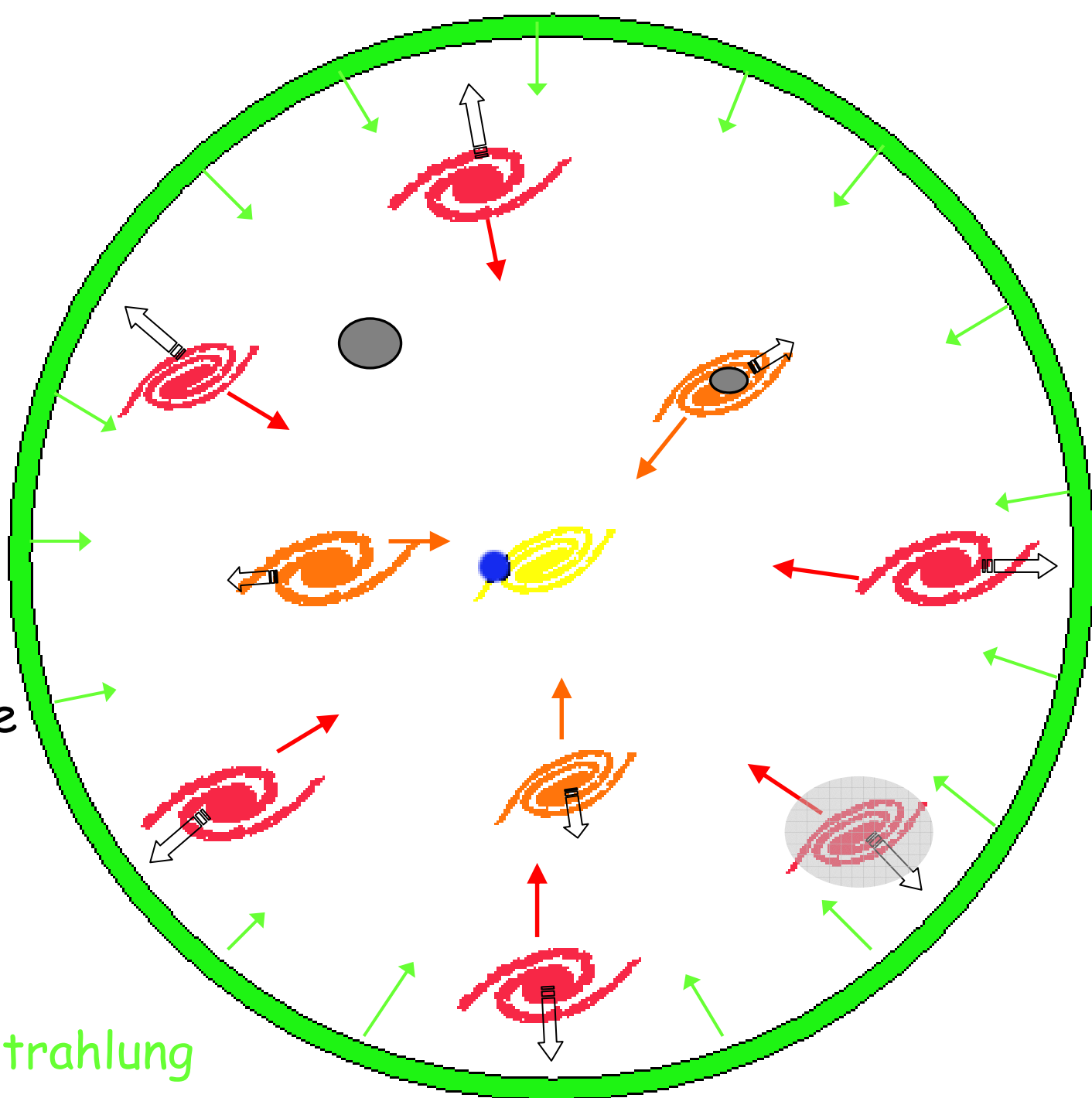
Das heutige Universum

Materie:

- 10^{11} Galaxien
mit je 10^{11}
Sternen
- dunkle Materie

Strahlung:

- Sternenlicht
- Hintergrundstrahlung



Zusammenfassung „Grundlegende Beobachtungen“

- **Universum = viele Galaxien**
- **Galaxien fliegen auseinander**

**Big-Bang
- Modell**

A detailed astronomical image of the Eagle Nebula (M16), also known as the 'Pillars of Creation'. The image shows three prominent, towering columns of interstellar dust and gas, illuminated from within by young stars. The columns are set against a dark, star-filled background. The colors are primarily blue, green, and yellow, with some red highlights. The image is a composite of several smaller images, creating a mosaic effect.

Adler-Nebel
(M16)

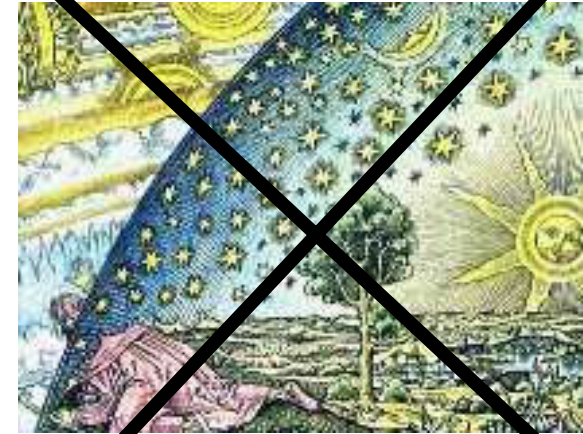
Hubble-
Teleskop

- Grundlegende Beobachtungen
- Das Big-Bang - Modell
- Die Entwicklung des Universums

Ist das Urknall-Modell richtig ?

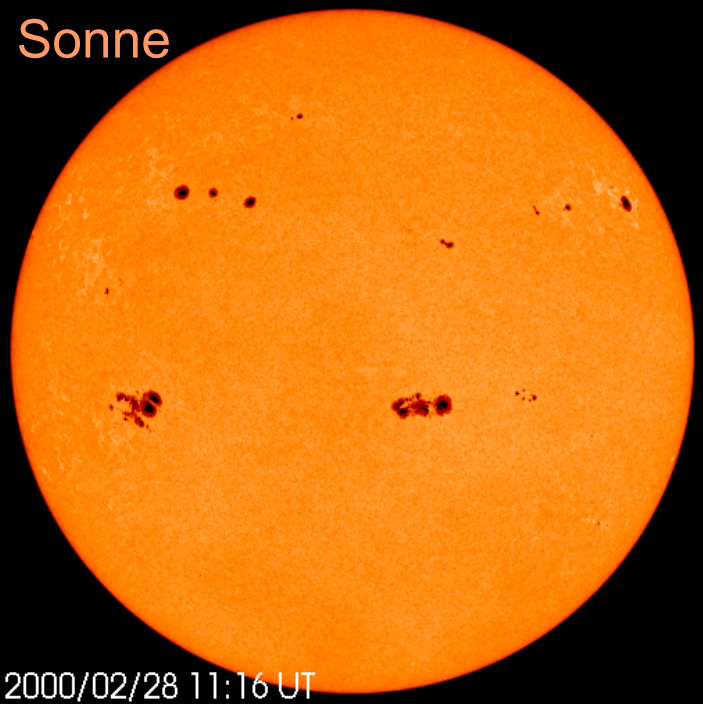
Unsere Vorstellung:

Universum früher dicht und heiß;
Galaxien fliegen voneinander weg



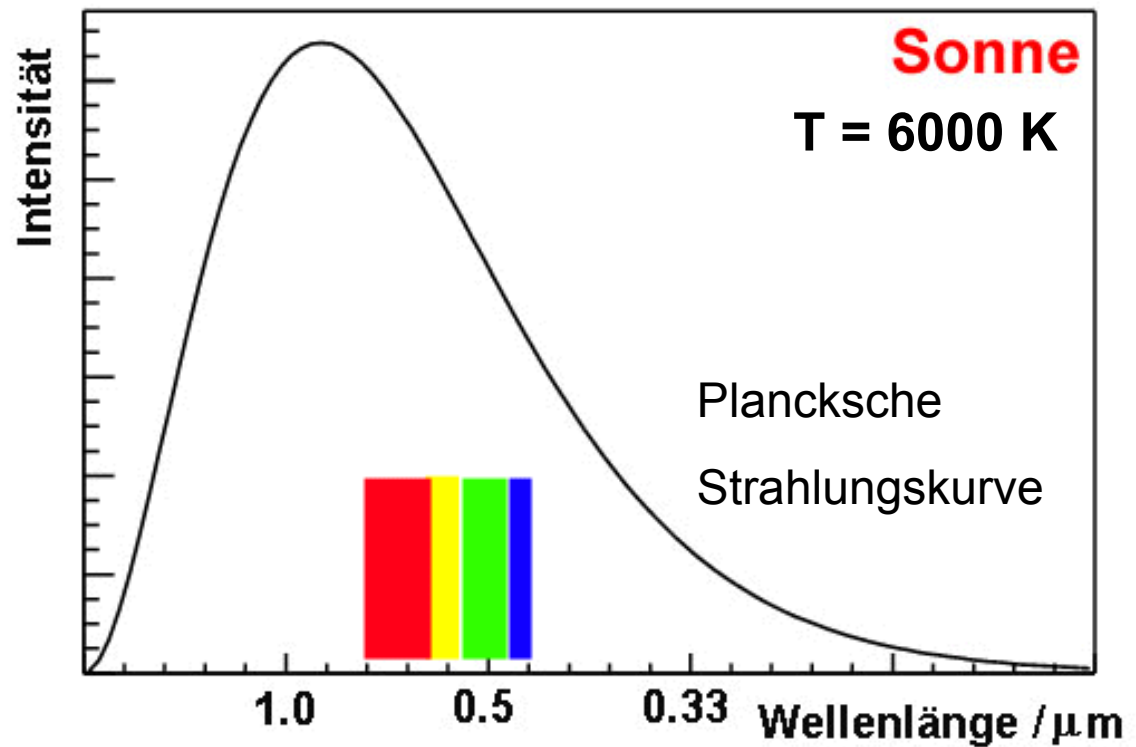
FRAGEN:

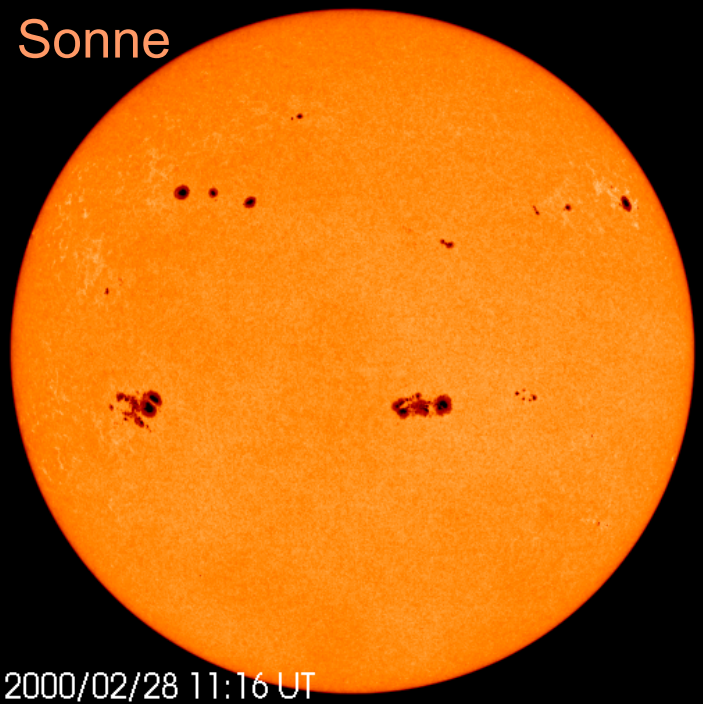
- Beobachtbare „Überbleibsel“ des heißen Urknalls ?
- Entstehung der Atome im frühen Universum ?
- Alter des Universums ?
- Zukunft ? Geht die Expansion immer weiter ?



Licht von der Urexplosion

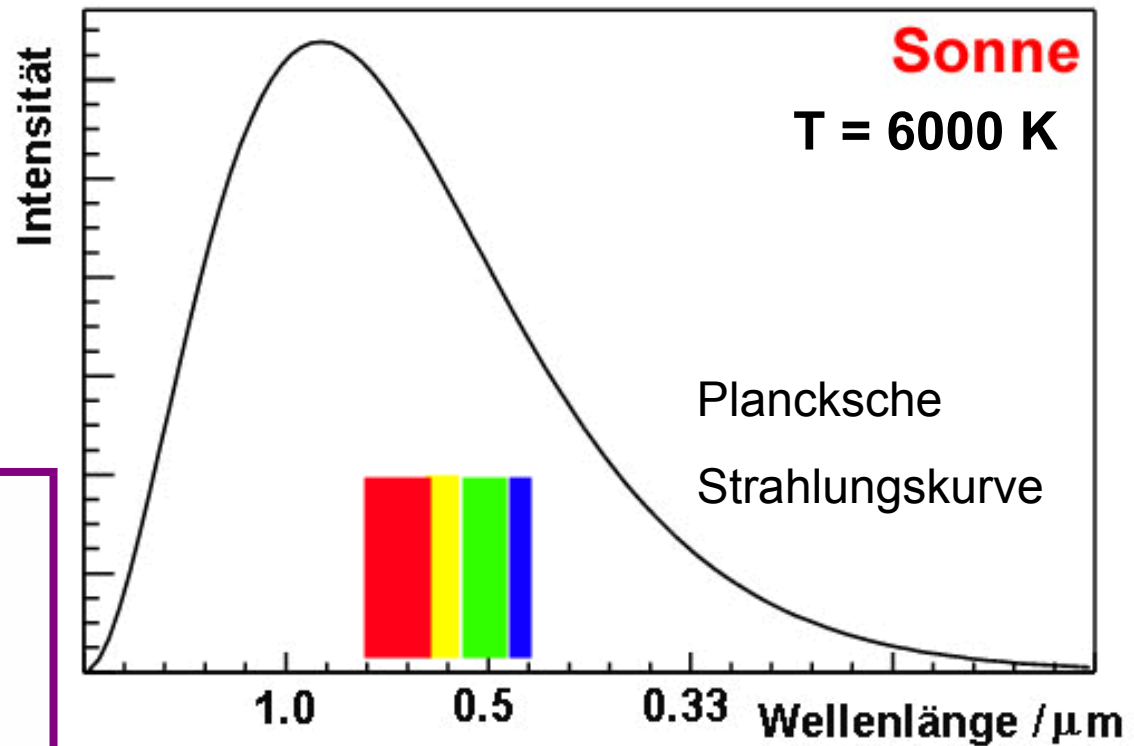
Urexplosion: heißes Gas / Plasma
(ähnlich Sonne)





Licht von der Urexplosion

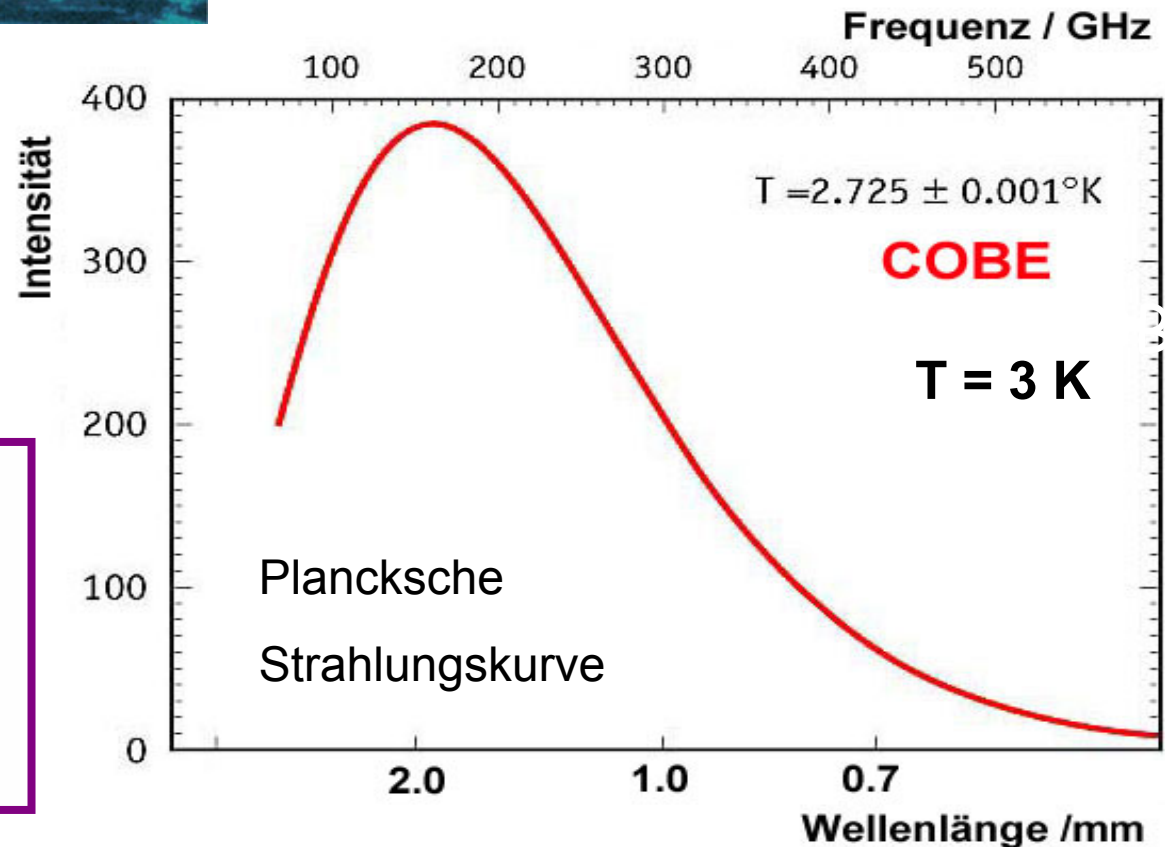
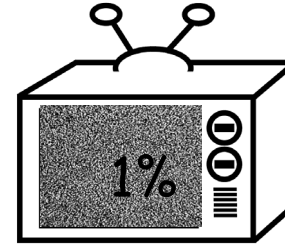
Urexplosion: heißes Gas / Plasma
(ähnlich Sonne)



Vorhersage von
R. Alpher u.a. 1948:

Ur-Licht heute noch
beobachtbar
Wellenlängen ~ 1000
mal größer
Spektrum gleiche Form

Die kosmische Hintergrundstrahlung



A. Penzias und
R. Wilson 1965:

Mikrowellenstrahlung
aus dem Kosmos
= Blitz der Urexplosion

Ist das Urknall-Modell richtig ?

Unsere Vorstellung:

Universum früher dicht und heiß;

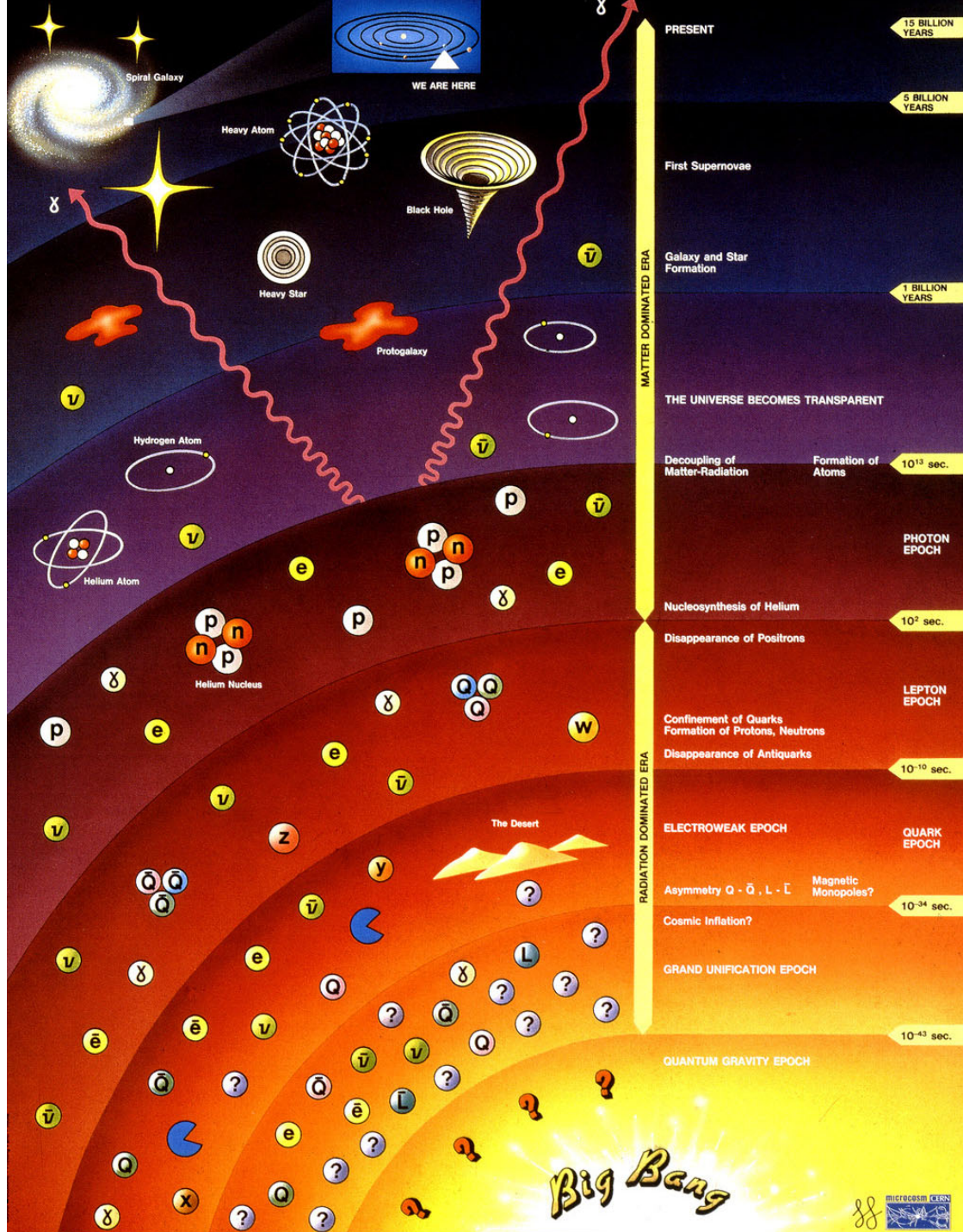
Galaxien fliegen voneinander weg

FRAGEN:

- Beobachtbare „Überbleibsel“ des heißen Urknalls ?

**Ja, kosmische „Hintergrundstrahlung“
= Mikrowellenstrahlung**

Prozesse im frühen Universum



$10^{10} a$ 08.06.2005

$300\,000 a$ Atome

3 min Kerne

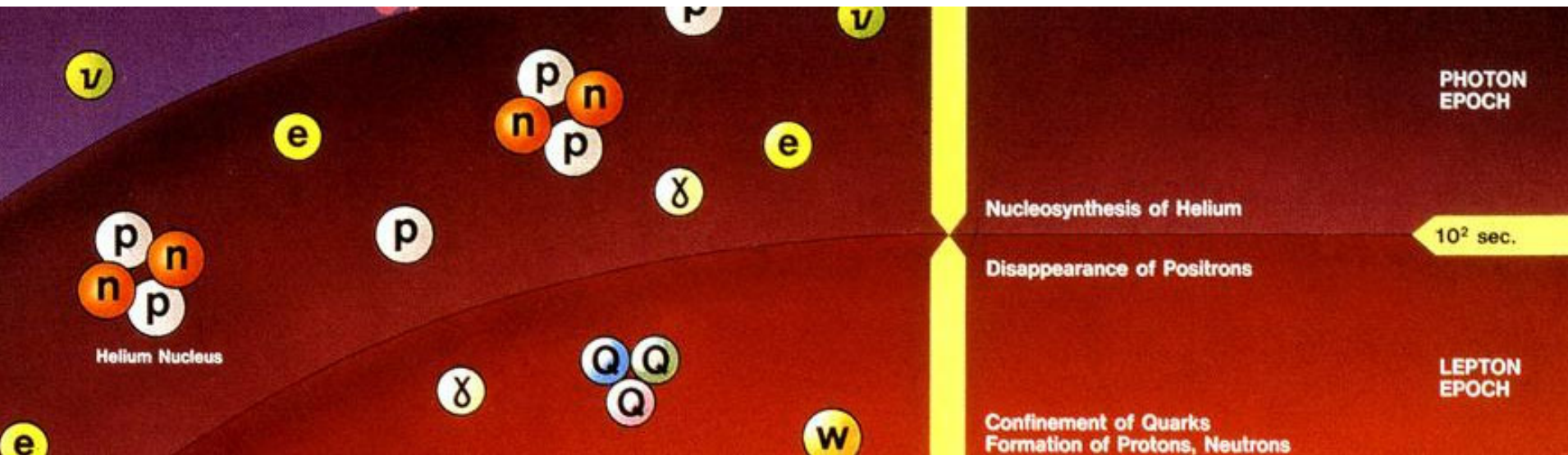
$10^{-10} s$

Ladungssumme = 0

Nukleosynthese

$t = 3 \text{ min}$

$T = 1\,000\,000\,000 \text{ K}$

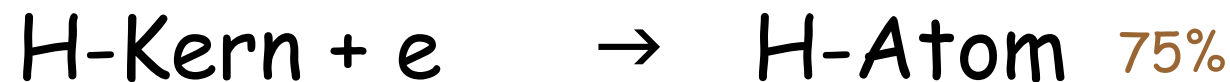
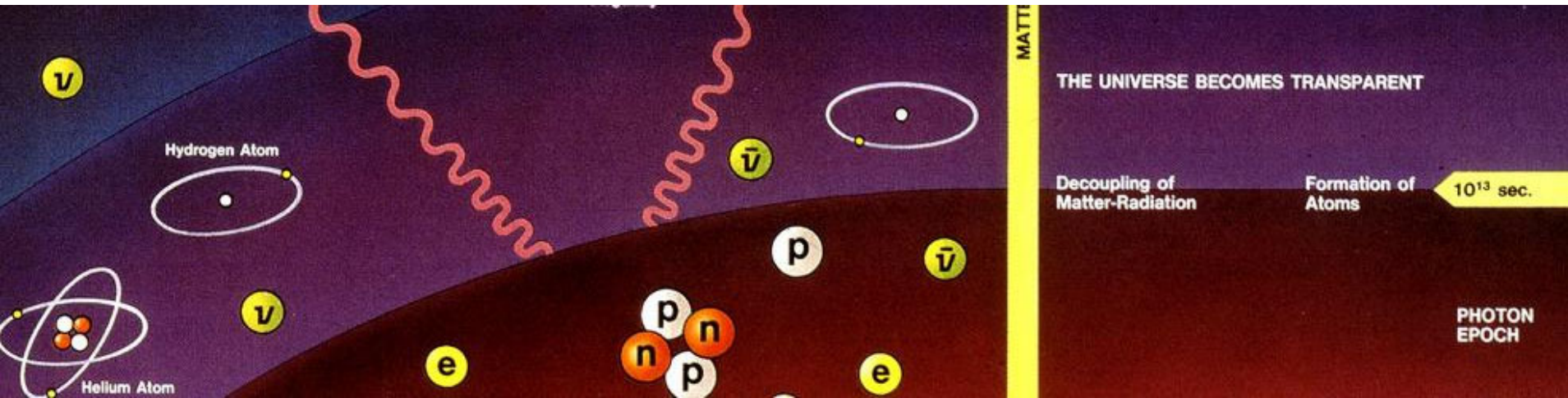


$p = \text{H-Kern} \quad (\text{übriggebliebene Protonen})$

Schwere Kerne (C, O, U...) entstanden
erst in Sternen/Supernovae !

Bildung von Atomen

$$t = 300\,000\,a \quad T = 3000\,K$$



„kosmische
Hintergrund-
strahlung“

Weltall ohne freie Ladung!

Licht kann sich ungehindert ausbreiten!

Universum wird durchsichtig!

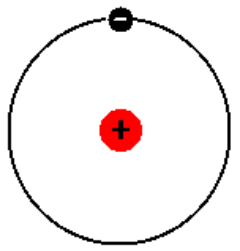


Die Chemie des Universums



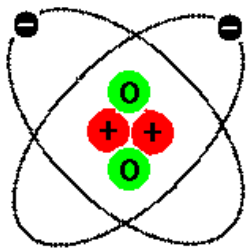
Vor der Sternbildung:

75 %
Wasserstoff



^1H

25 %
Helium



^4He

proton: +
electron: -
neutron: o

**BIG BANG-
Modell sagt
Messdaten
richtig voraus!**

Am Ende des Sternenlebens:

Periodic Table of Elements

1 H	2 He																	10 Ne	11 Na	12 Mg											18 Ar	19 K	20 Ca											36 Kr	37 Rb	38 Sr											54 Xe	55 Cs	56 Ba											86 Rn	87 Fr	88 Ra											110	109 108 107 106	Ha	Rf	+Ac	89	104	105	106	107	108	109	110
--------	---------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----------	----------	----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----------	---------	----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----------	----------	----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----------	----------	----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----------	----------	----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--------------------------	----	----	-----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

* Lanthanide Series

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu

+ Actinide Series

90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

**Wir bestehen aus
Sternenasche !**

Ist das Urknall-Modell richtig ?

Unsere Vorstellung:

Universum früher dicht und heiß;

Galaxien fliegen voneinander weg

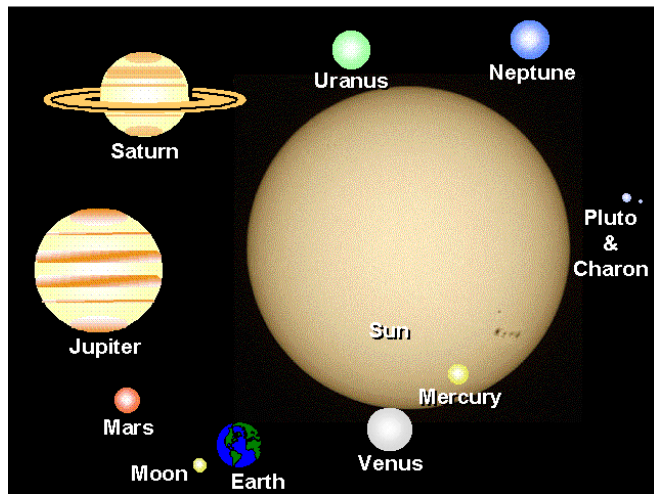
FRAGEN:

- Entstehung der Atome im frühen Universum ?

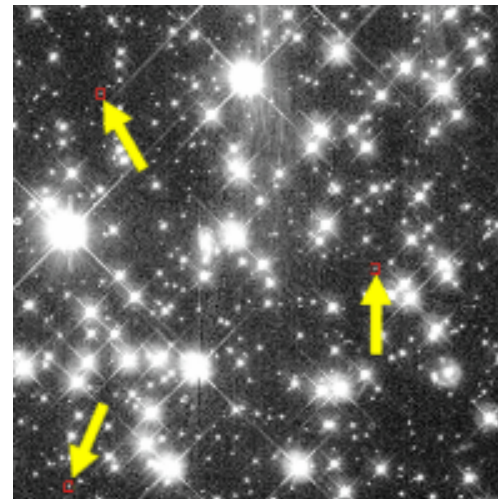
**Ja, Wasserstoff und Helium,
im Urknallmodell richtig berechnet**

Wie alt ist das Universum ?

a) Objekte im Universum:



~ 4 Milliarden Jahre



~ 14 Milliarden Jahre

ausgebrannte
Sterne

b) Zeitpunkt des Urknalls

Hubble-Gesetz:

$$v = H \cdot r$$

$$1/H \sim 15 \text{ Milliarden Jahre} = \text{Weltalter}$$

passt !

Ist das Urknall-Modell richtig ?

Unsere Vorstellung:

Universum früher dicht und heiß;

Galaxien fliegen voneinander weg

FRAGEN:

- Alter des Universums ?

Ungefähr 15 Milliarden Jahre

Zusammenfassung „Big-Bang - Modell“

- **Universum entstand aus heißem Urknall
vor ~15 Milliarden Jahren**
- **Mit Abkühlung entstanden Atome
(Wasserstoff + Helium) und Galaxien**
- **Die kosmische Hintergrundstrahlung zeugt vom
„Explosionsblitz“**

Adler-Nebel

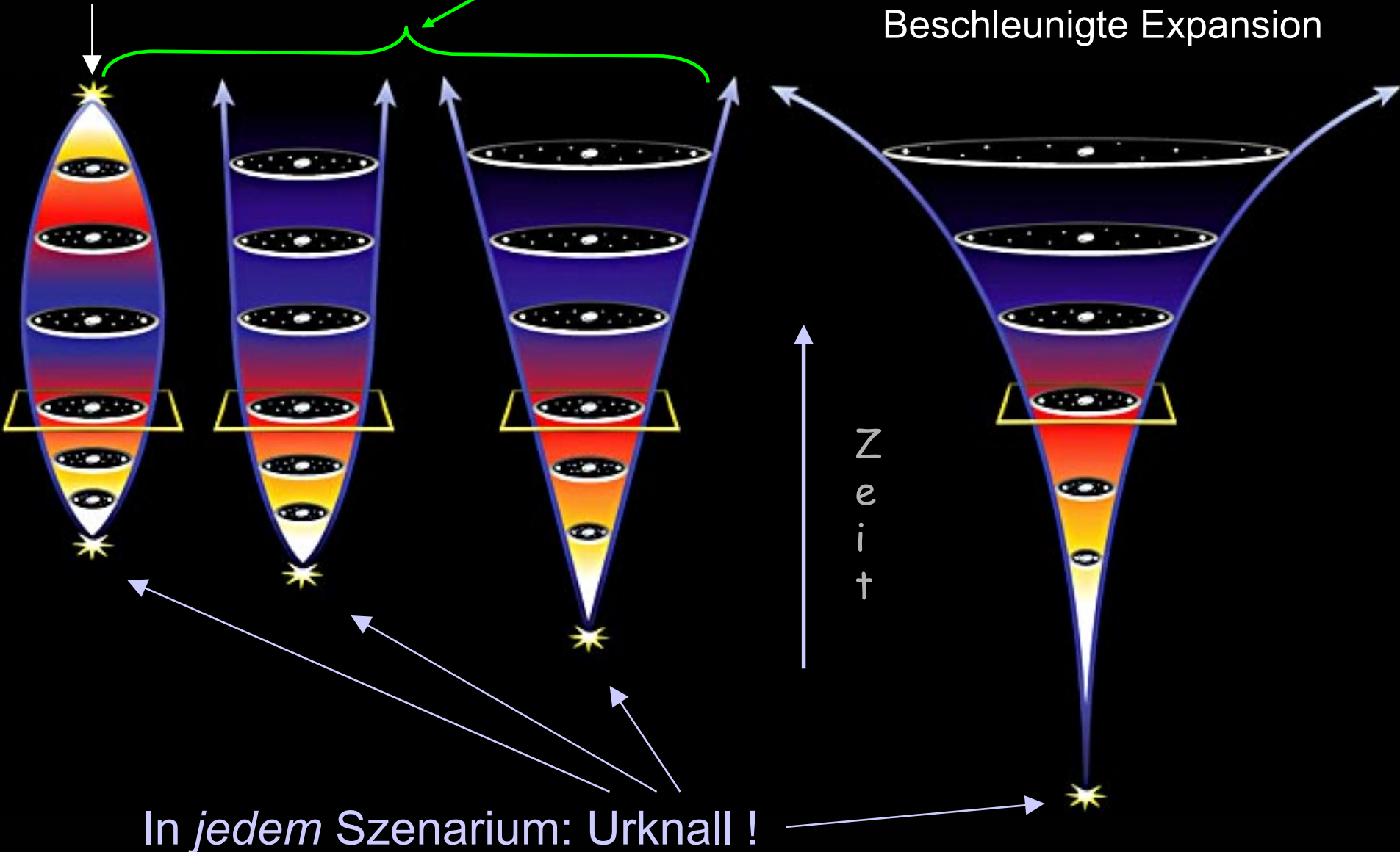
- 
- Grundlegende Beobachtungen
 - Das Big-Bang - Modell
 - Die Entwicklung des Universums

Entwicklung des Universums ?

Hat Einstein Recht ?

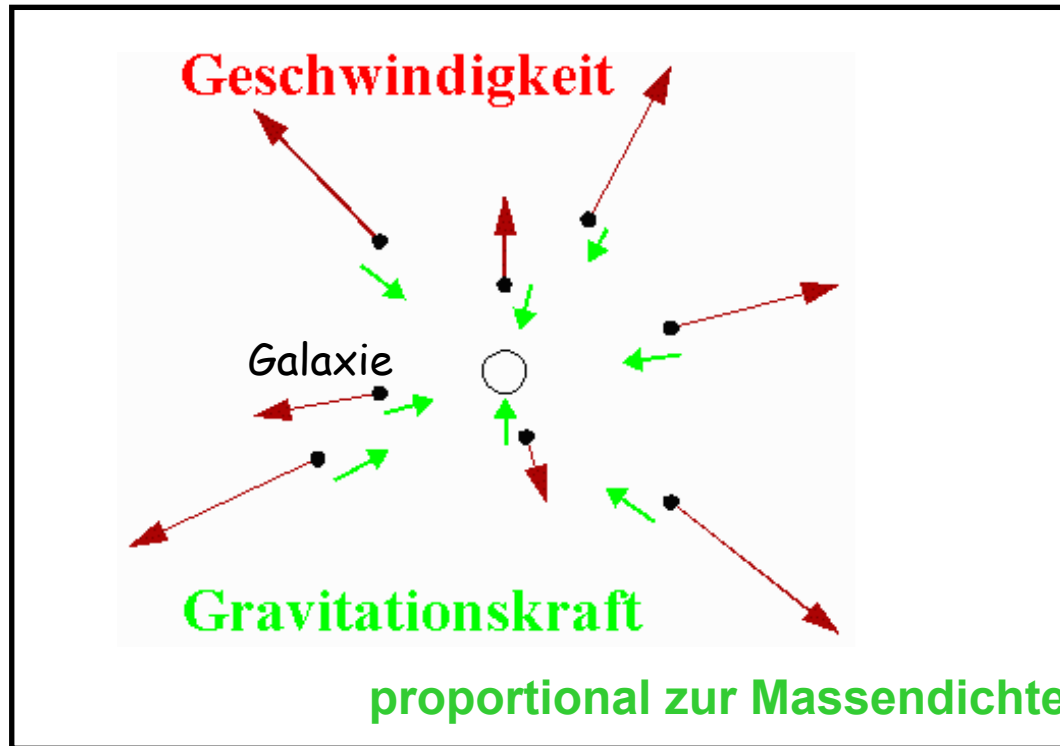
Kollaps

Beschleunigte Expansion



In jedem Szenarium: Urknall !

Evolution des Universums (a la Einstein)



Geschwindigkeit
nimmt ab, da
Gravitation
anziehend

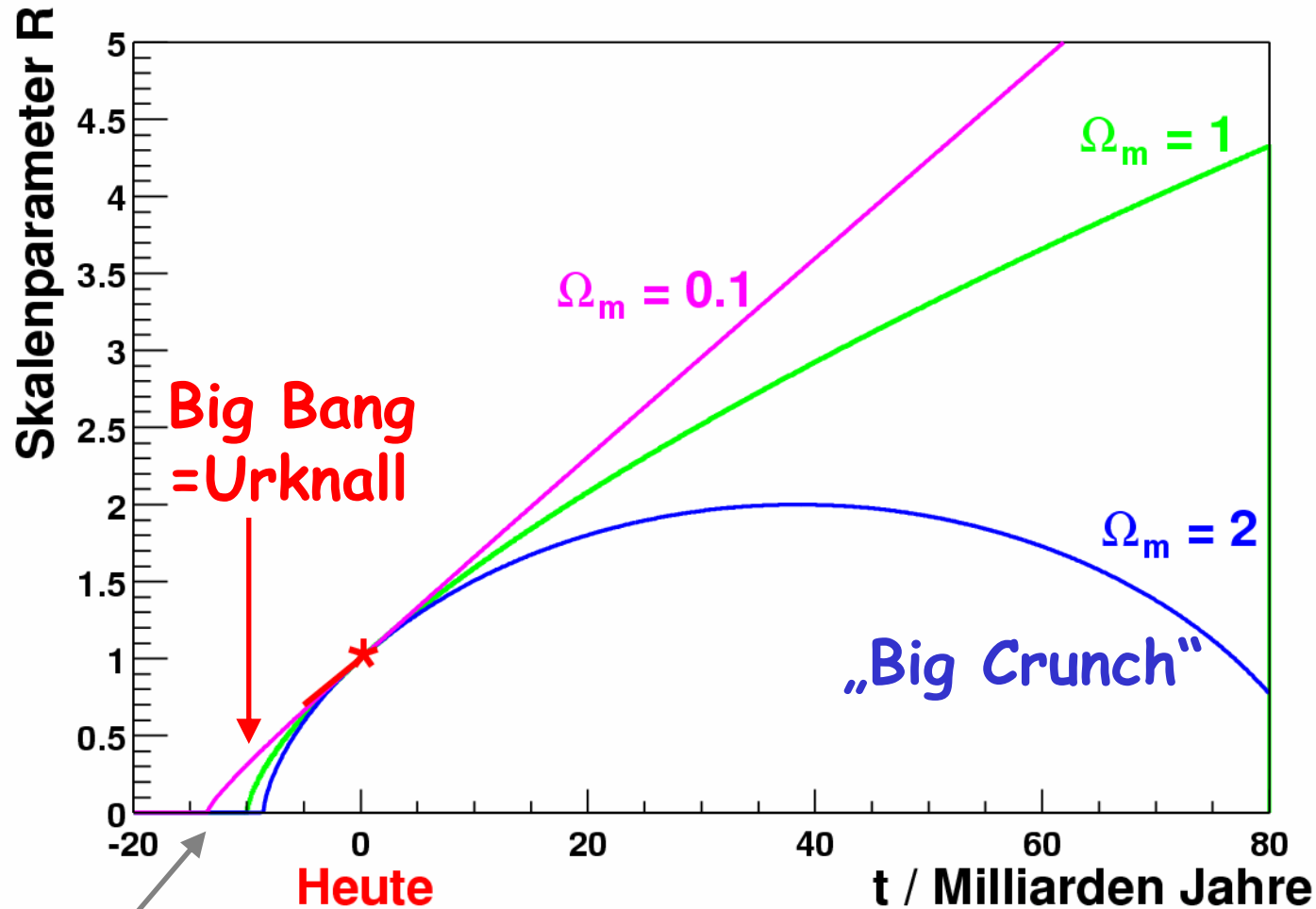
(Unbekannter) Parameter Ω_m gibt an, welcher Effekt die Oberhand gewinnt:

$\Omega_m > 1$: Schwerkraft „gewinnt“

Ω_m entscheidet über unser Schicksal !

Evolution des Universums (Einstein)

= Abstand zwischen zwei
entfernten Galaxien

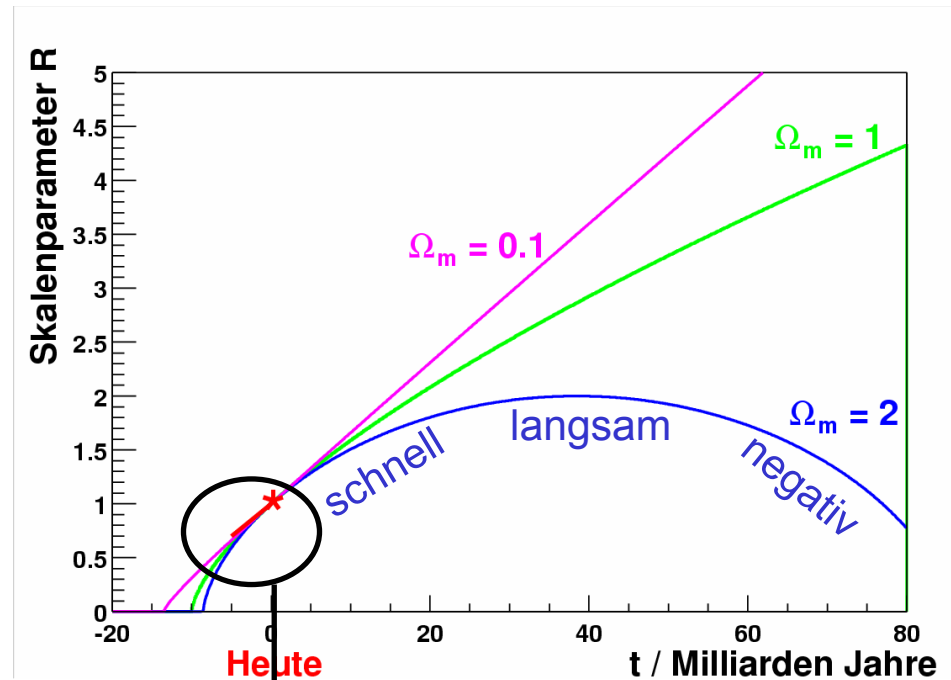


Alter des Universums
~ 15 Milliarden Jahre

Welche Kurve ist richtig ?

Wie kann man die Evolution messen ?

Bestimmung der
Geschwindigkeitsänderung
 der Galaxien
 mit der Zeit



Idee:

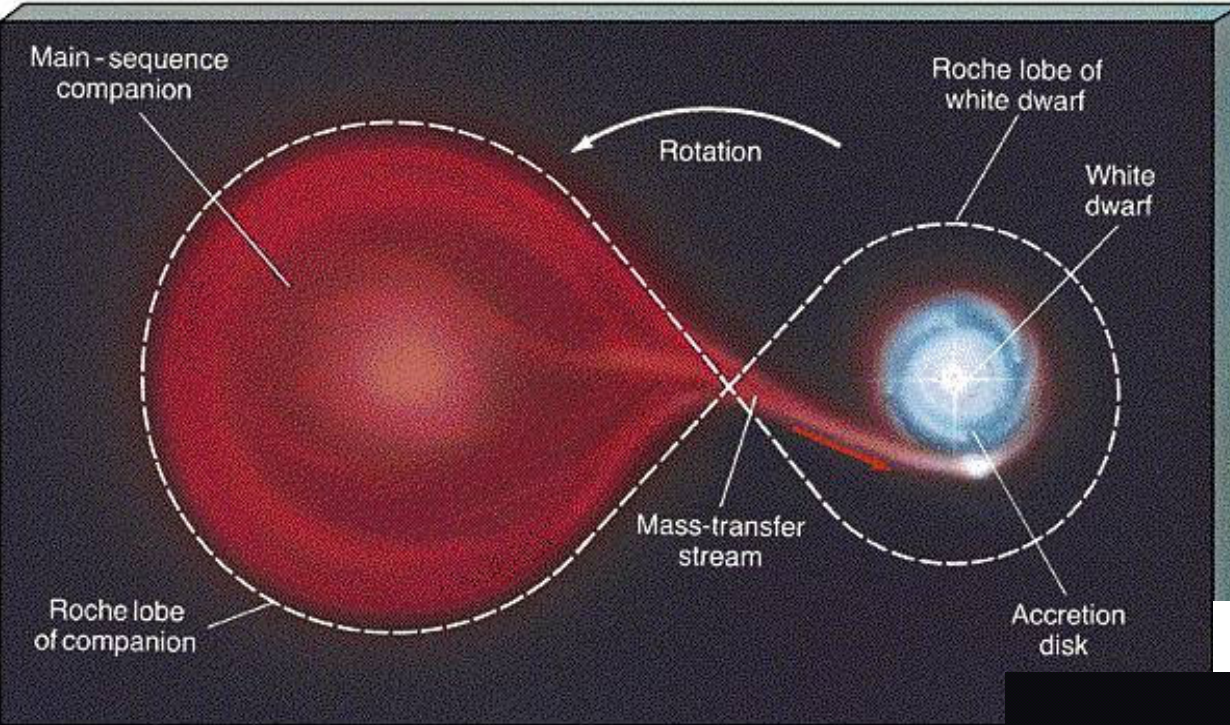
weit entfernte Objekte = Blick in die Vergangenheit
 (Lichtlaufzeit !)

Geschwindigkeitsmessung mit Dopplereffekt

Supernovae Ia

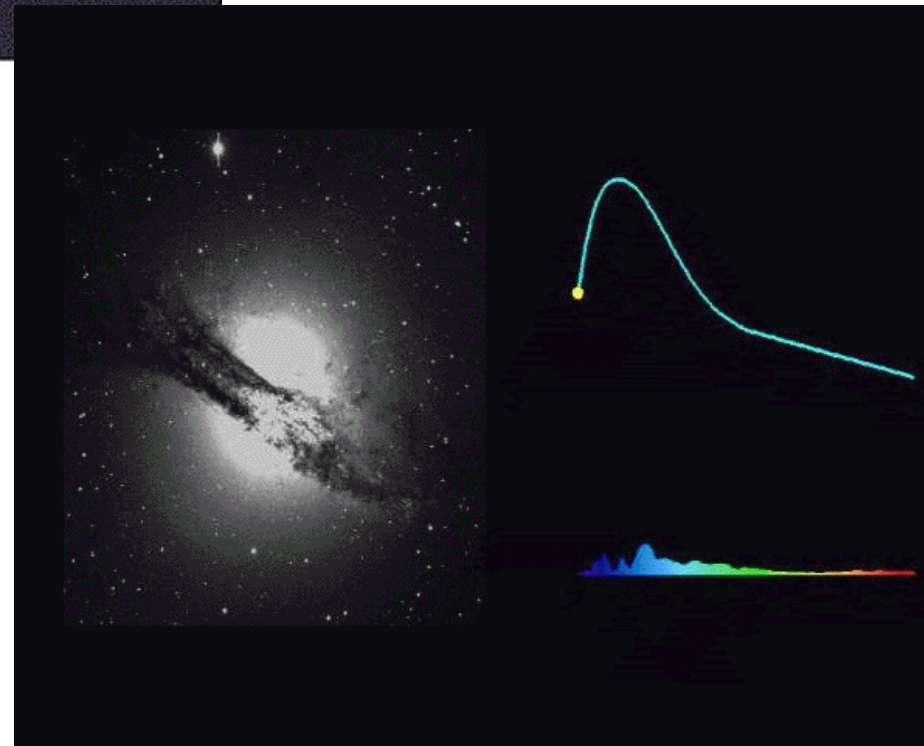
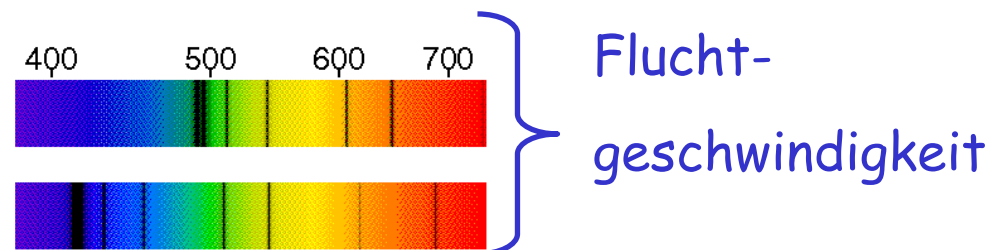


Explosion wenn
Masse $\approx 1.4m_{\text{Sonne}}$



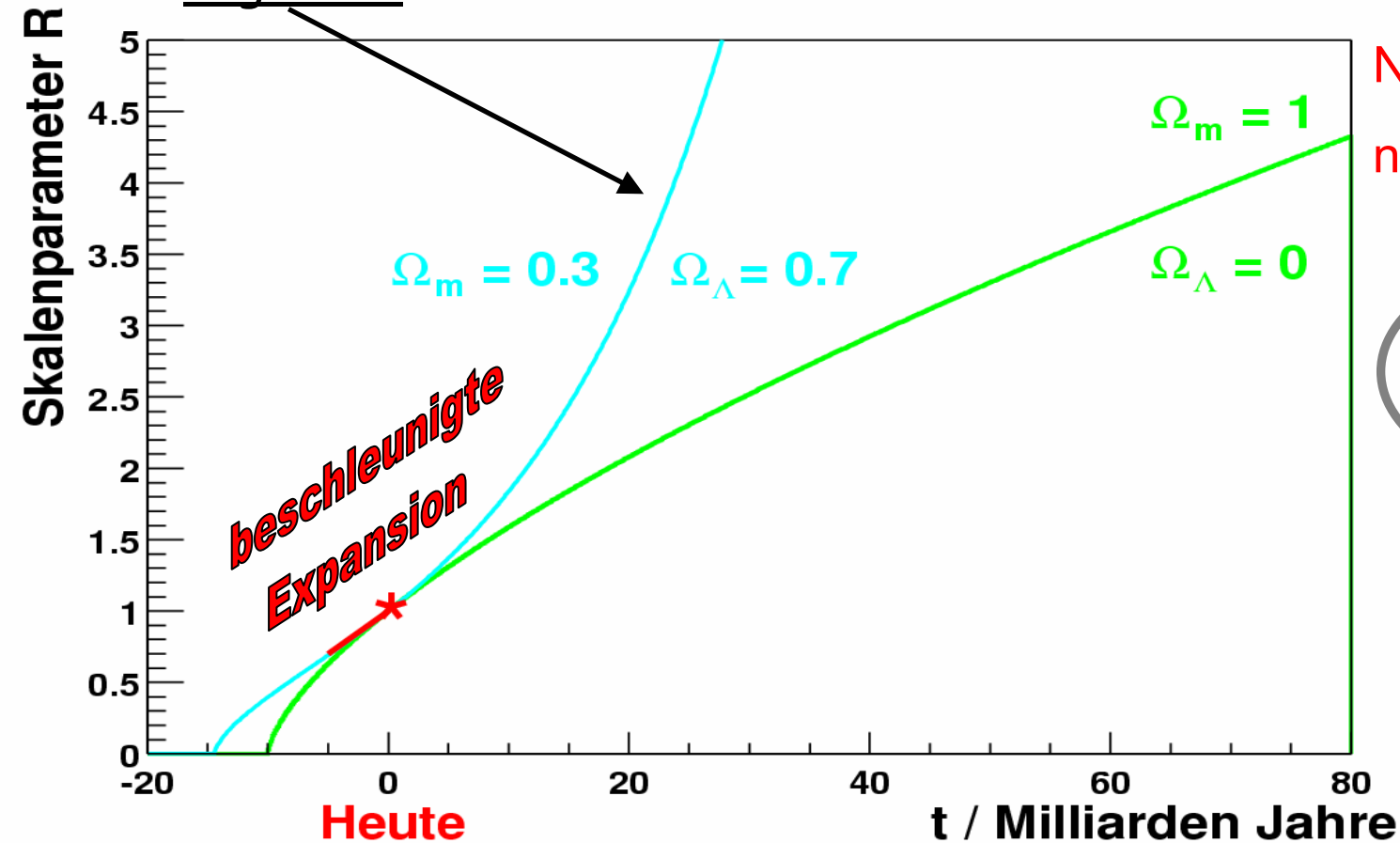
Helligkeit:
gleich
groß

Entfernung
Blick in
Vergangenheit !



Messung der Geschwindigkeitsänderung mit Supernovae

Ergebnis:



Neue Kraft,
neue Energieform:

„dunkle
Energie“

wirkt
abstoßend!

Erweitertes Modell: Einsteins „kosmologische Konstante“ Λ

Messung der Geschwindigkeitsänderung mit Supernovae

Ergebnis:

**Geschwindigkeit heute höher
als früher!**

**Abstoßung,
beschleunigte Expansion**

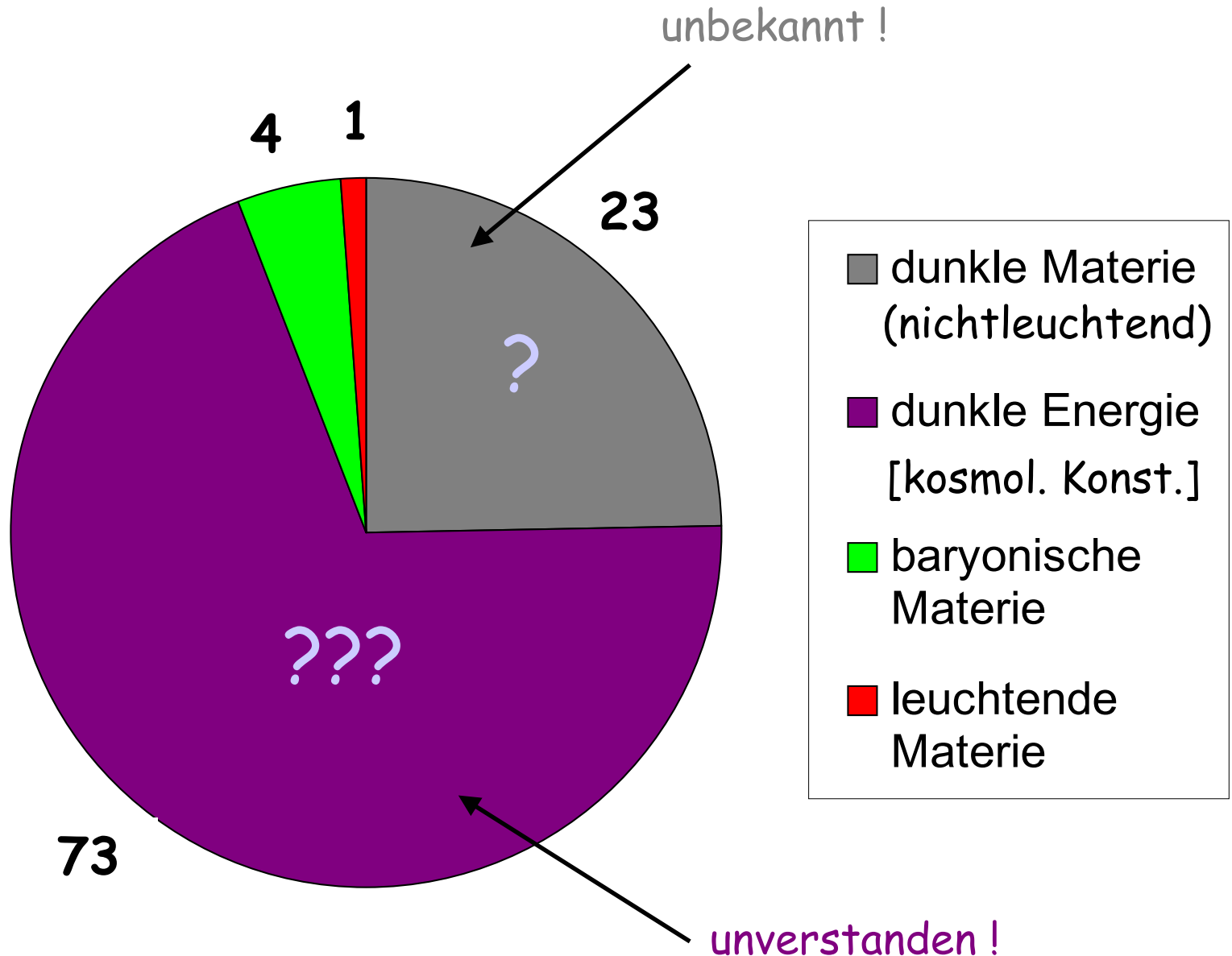
Konsequenz:

- modifiziertes Gravitationsgesetz
- neue Energieform: „dunkle Energie“



Energieformen im Universum

Anteil in %



Zusammenfassung

„Entwicklung des Universums“

- Urknall-Modell qualitativ erfolgreich
- Messungen zeigen Abweichung von berechneter Entwicklung der Galaxiengeschwindigkeiten !

Mögliche Erklärung:

Erweiterung des Gravitationsgesetzes,
„dunkle Energie“

„goldenes Zeitalter der Kosmologie“

.... Messungen....Theorie....

Revolution in der Physik !?