

Urknall und Entwicklung des Universums

Thomas Hebbeker
RWTH Aachen
Dies Academicus
13.06.2007

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

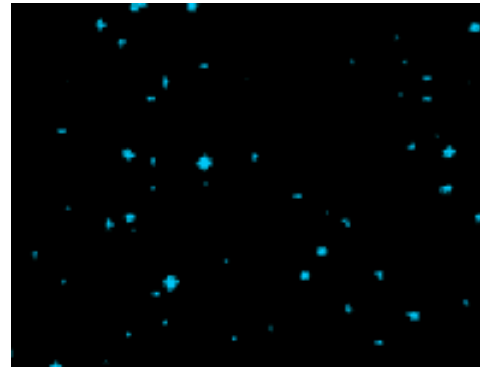
Blick ins Universum: Sterne und Galaxien

T.Hebbeker

Die Milchstrasse



„Unsere“ Galaxie = Milchstrasse



Nachbarstern

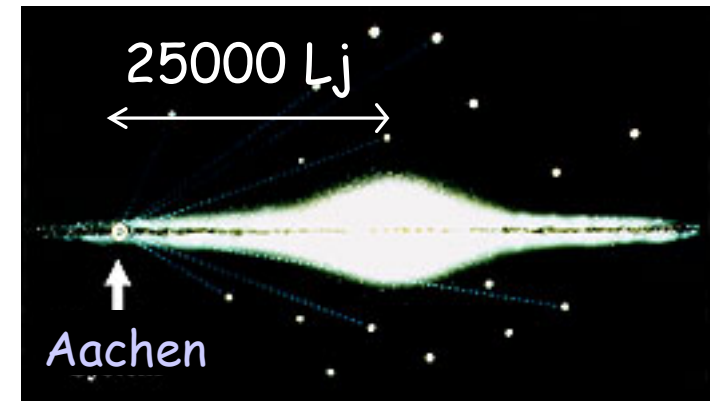
„Proxima Centauri“

4 Lichtjahre

1 Lichtjahr

=70000 mal

Abstand Erde-Sonne



Das Sonnensystem in der
Milchstrasse

Blick ins Universum: Sterne und Galaxien



Blick ins Universum: Sterne und Galaxien

T.Hebbeker

Andere Galaxien



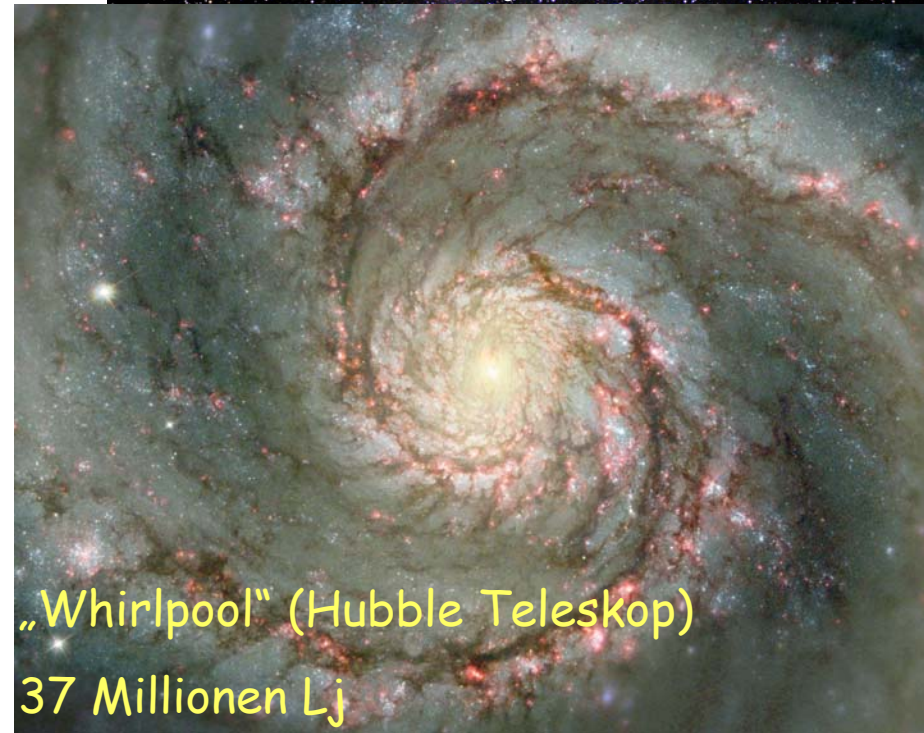
Palomar Observatory, E. Hubble (1949)



Nachbargalaxie

„Andromeda“

3 Millionen Lichtjahre

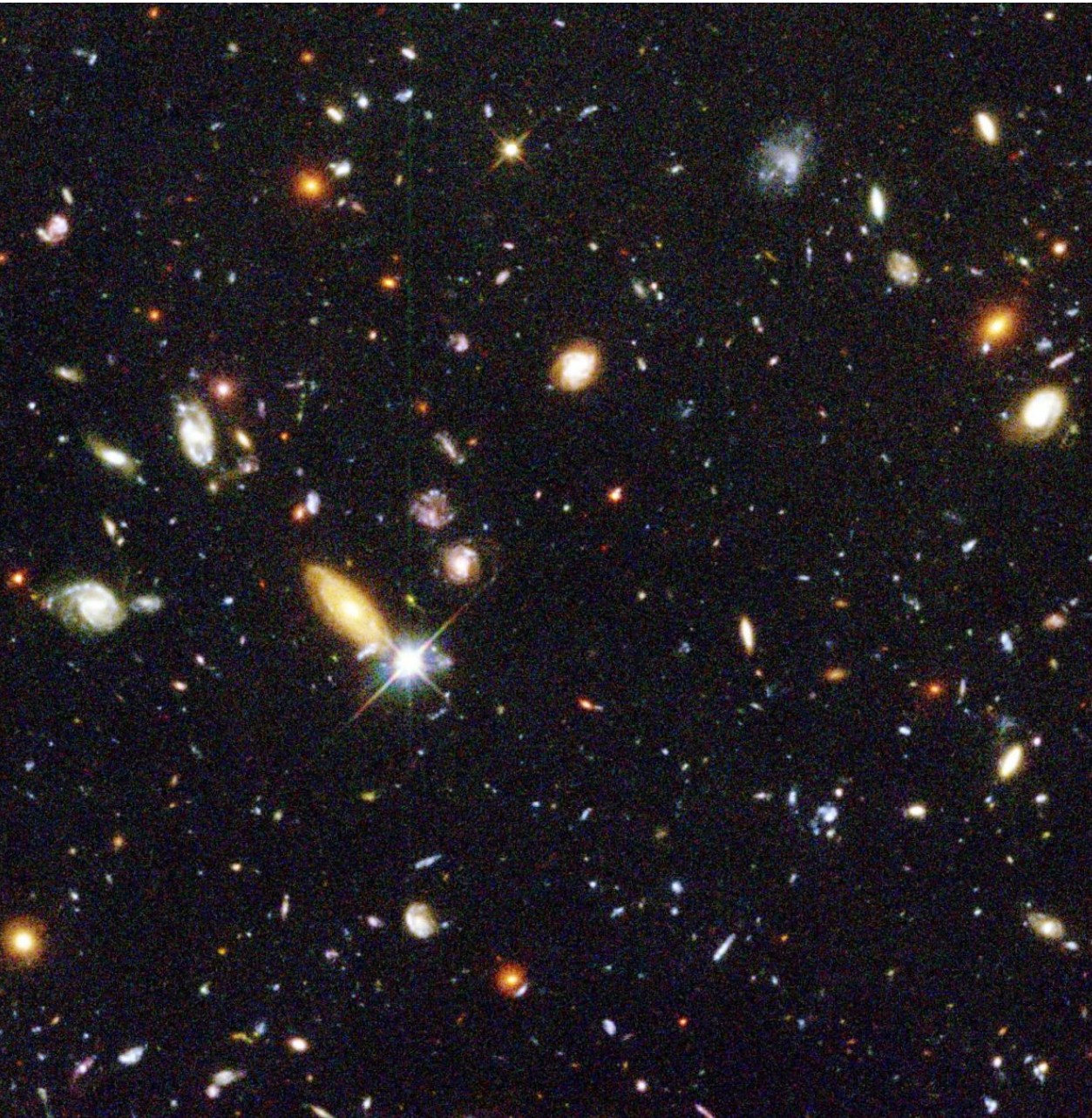


„Whirlpool“ (Hubble Teleskop)

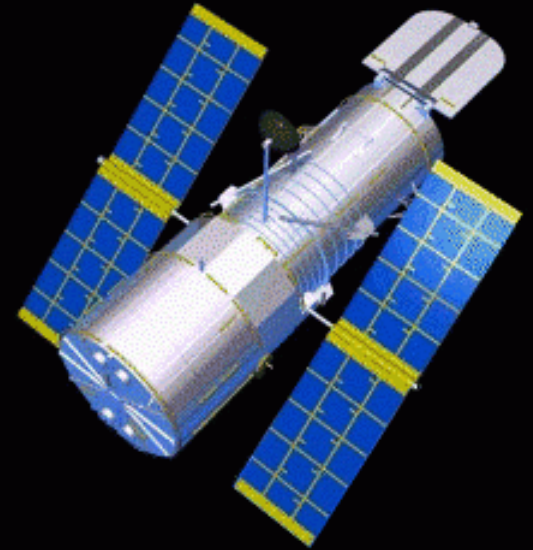
37 Millionen Lj

Blick ins Universum: Sterne und Galaxien

T.Hebbeker



Entfernte Galaxien

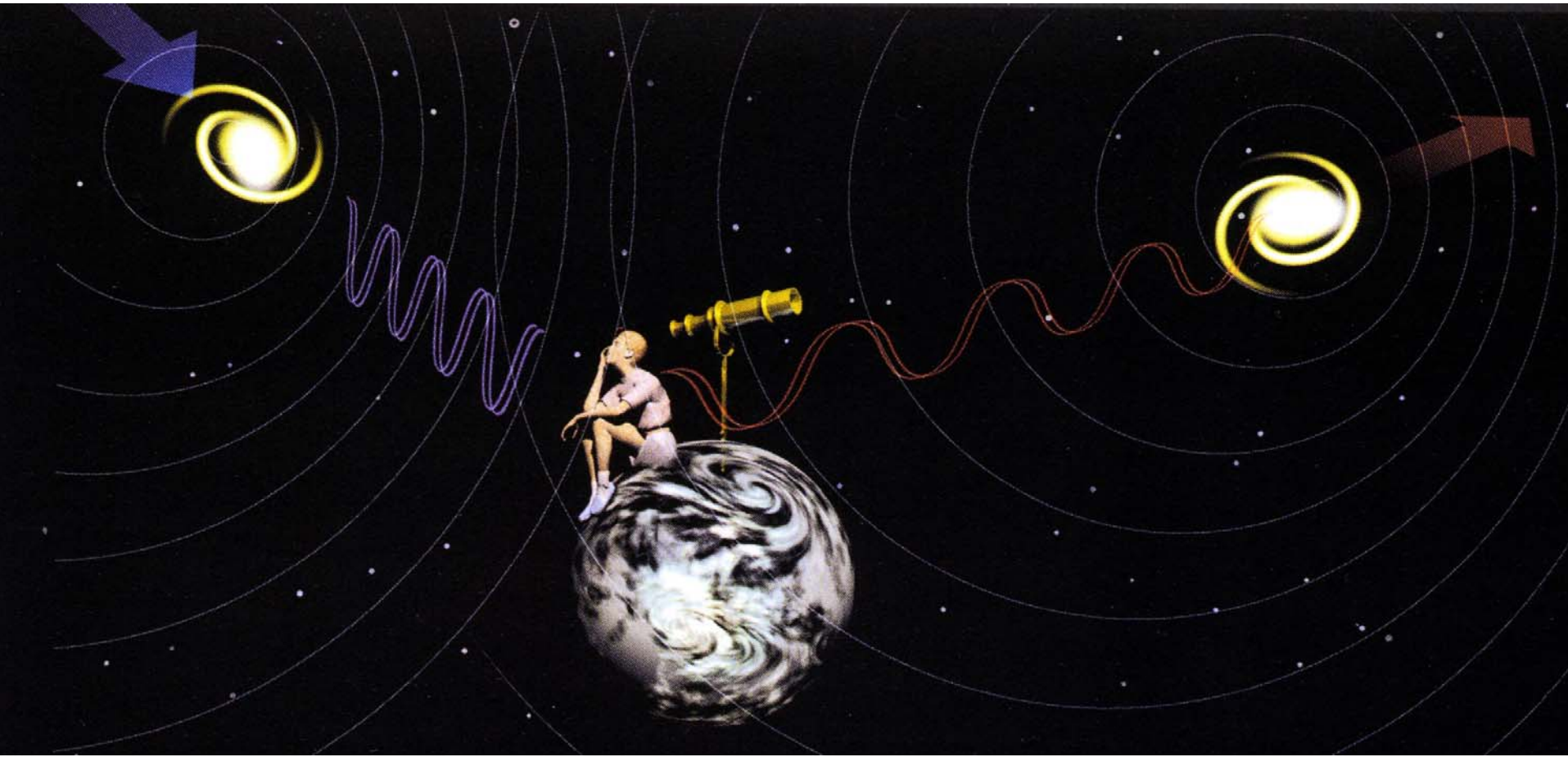


Hubble-Teleskop

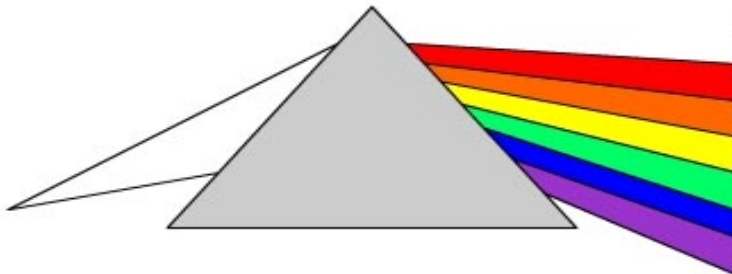
bis zu einigen
Milliarden Lichtjahren

Blick in die
Vergangenheit!

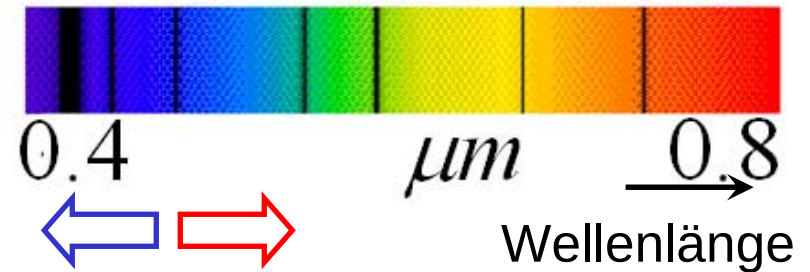
Doppler-Effekt (Licht)



Sonnenlicht:



Atomare Spektrallinien:

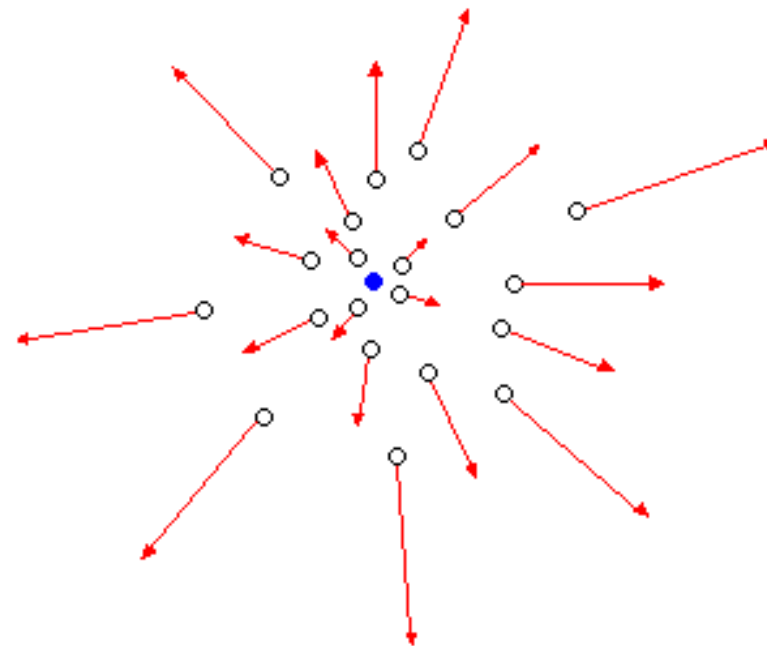
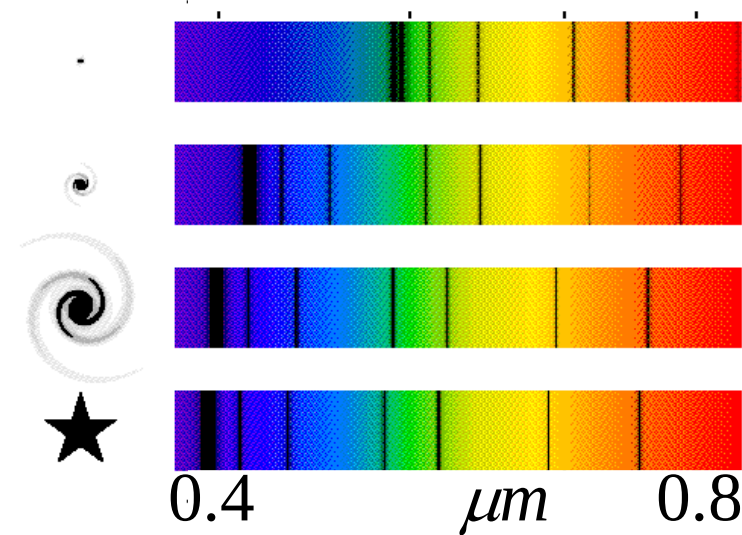
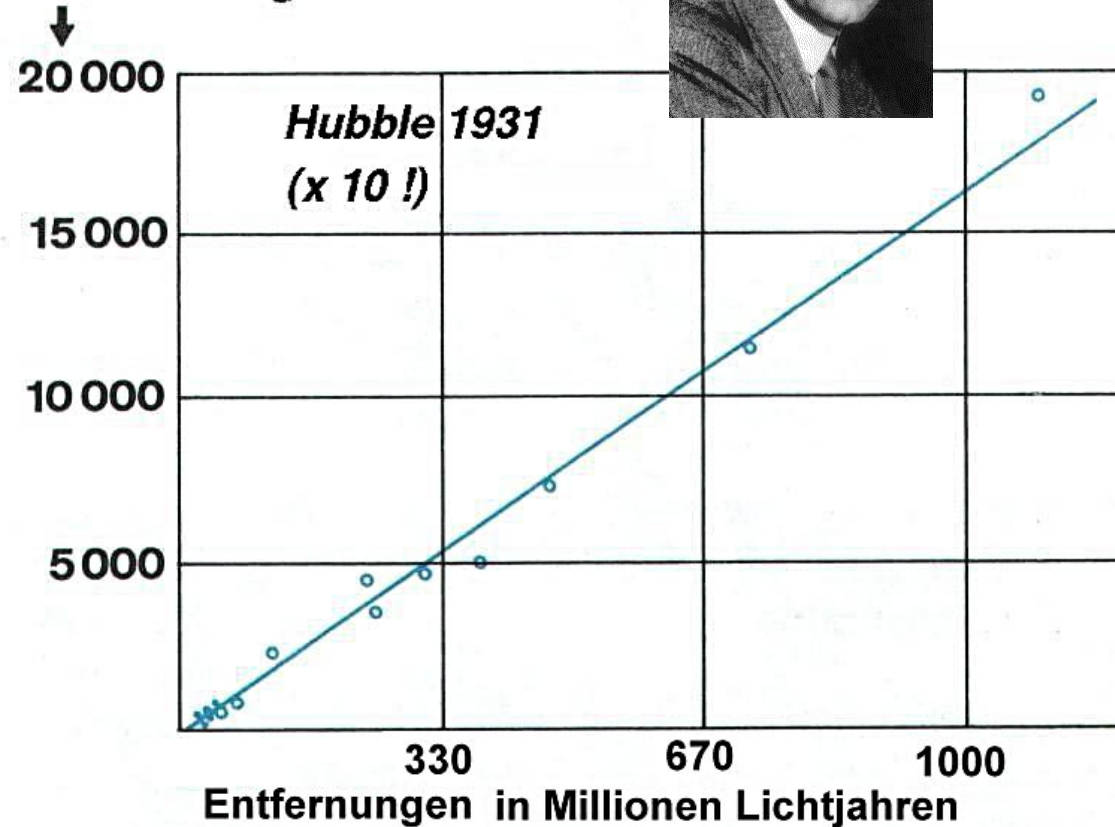


Rotverschiebung der Spektrallinien

E. Hubble

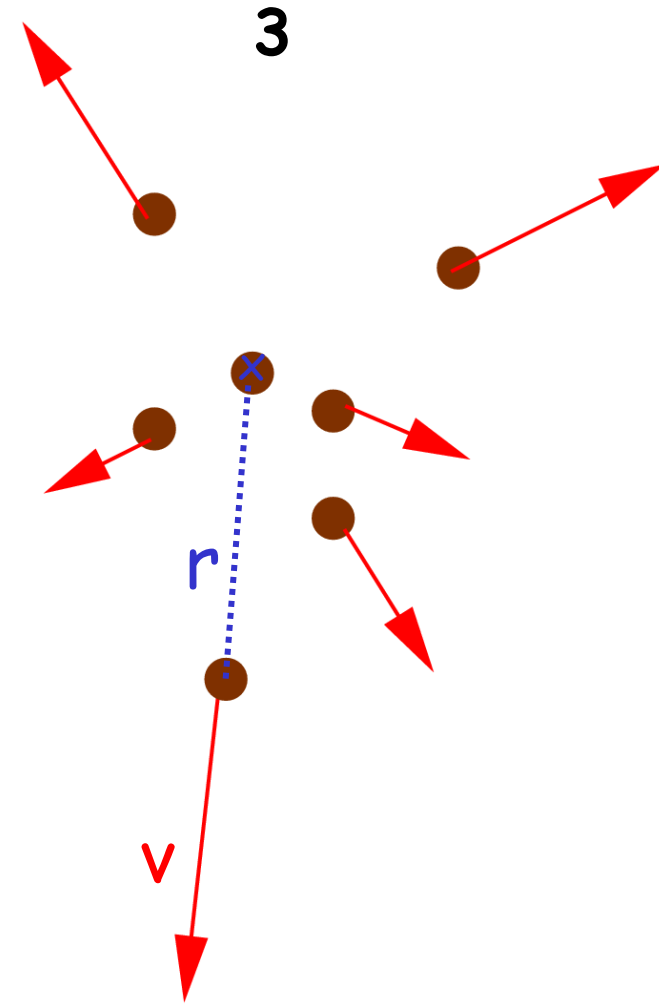
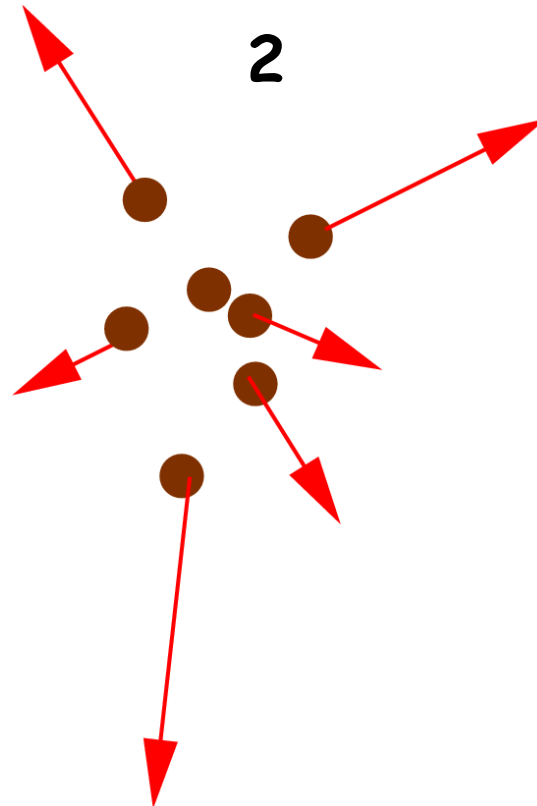
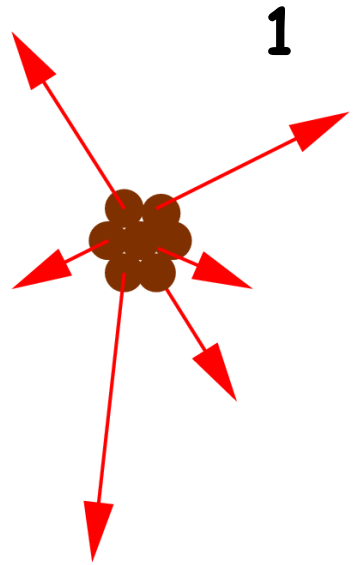


Geschwindigkeit in km/sec



Universum expandiert !

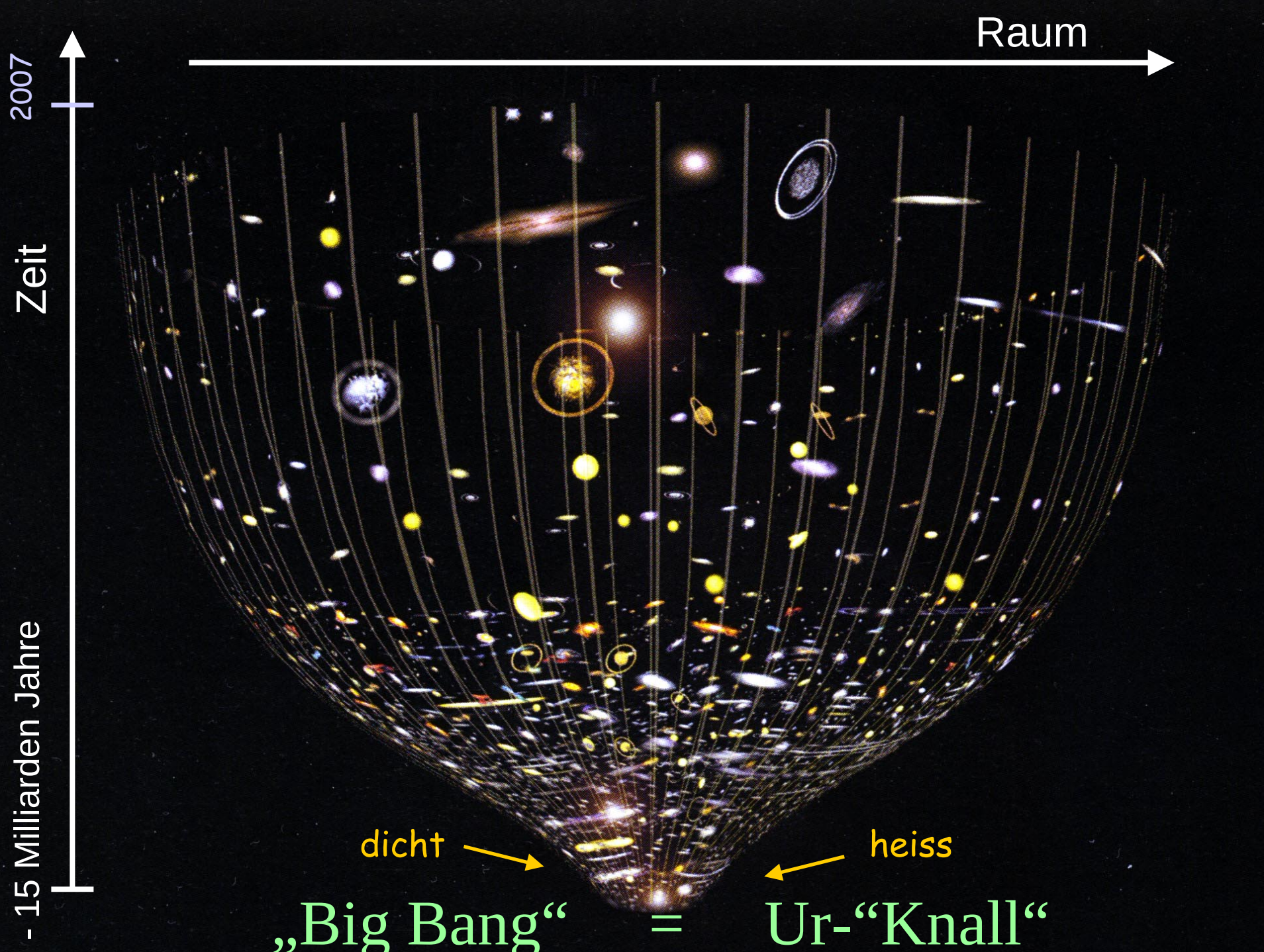
Explosionsmodell



Hubble-Gesetz:

$$v = H \cdot r$$

$1/H = 15$ Milliarden Jahre = Weltalter



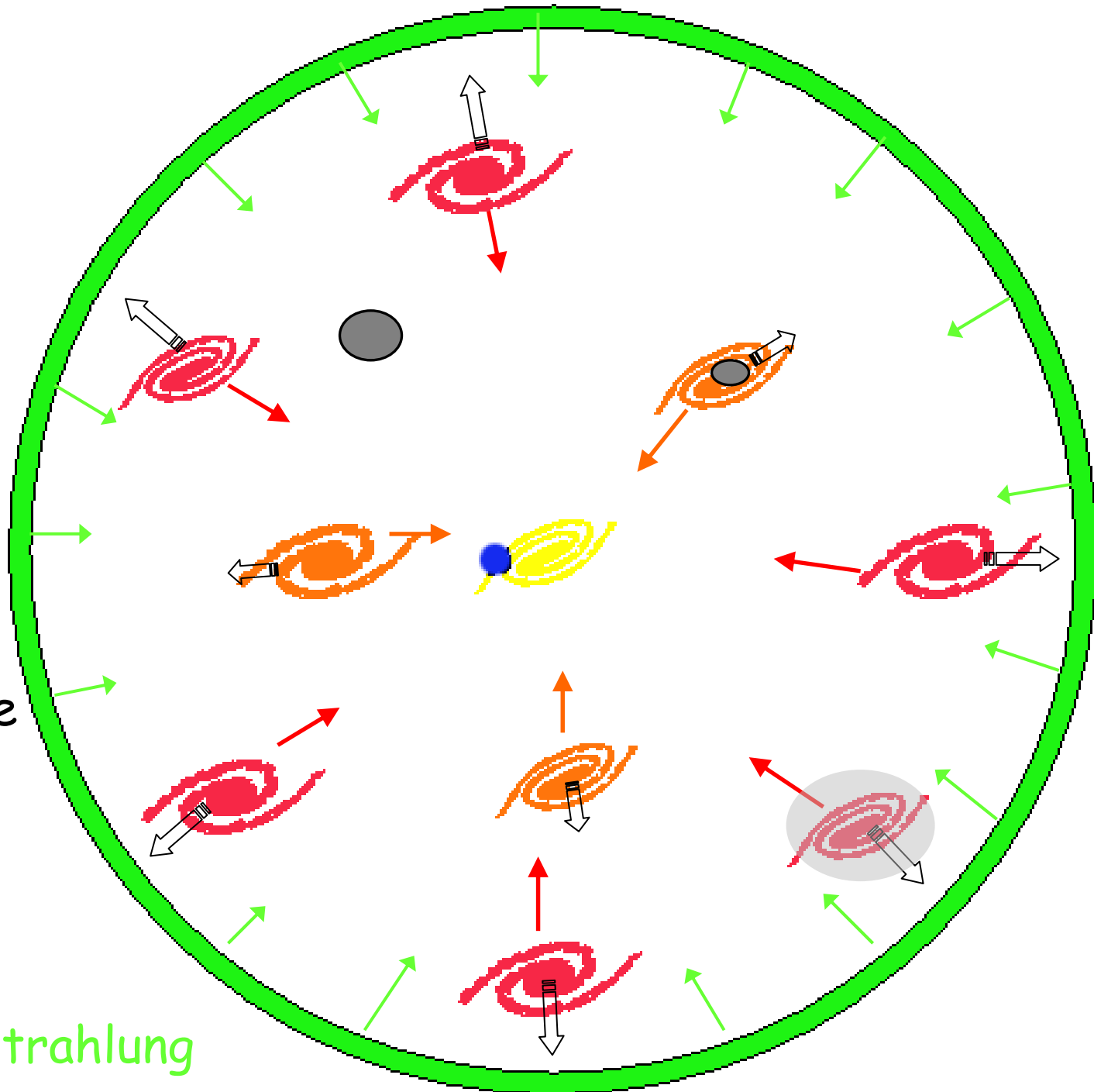
Das heutige Universum

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**



Adler-Nebel
(M16)

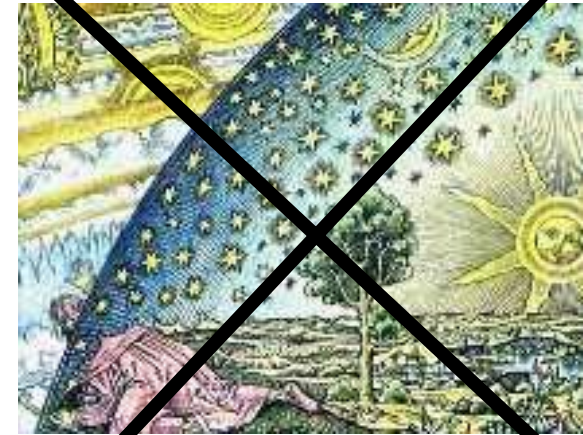
Hubble-
Teleskop

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

Ist das Urknall-Modell richtig ?

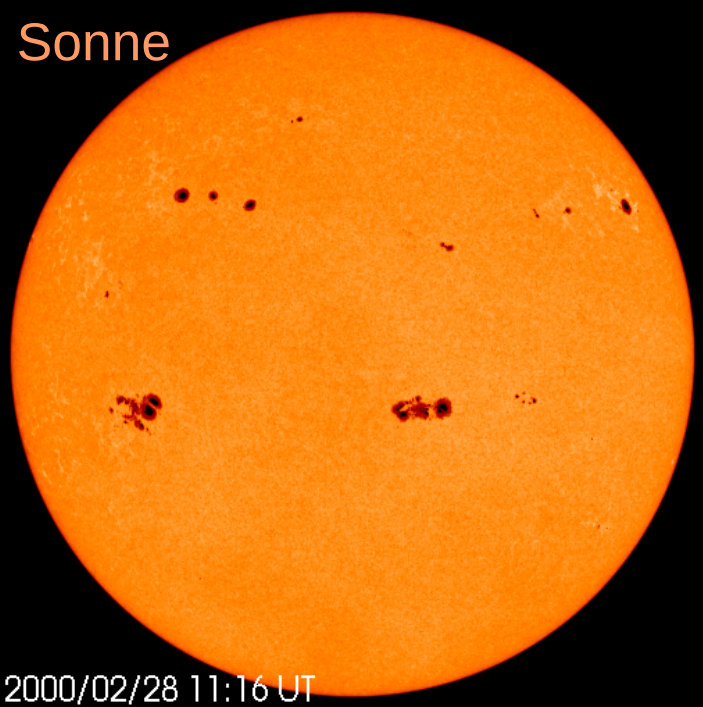
Unsere Vorstellung:

Universum früher dicht und heiß;
Galaxien fliegen voneinander weg



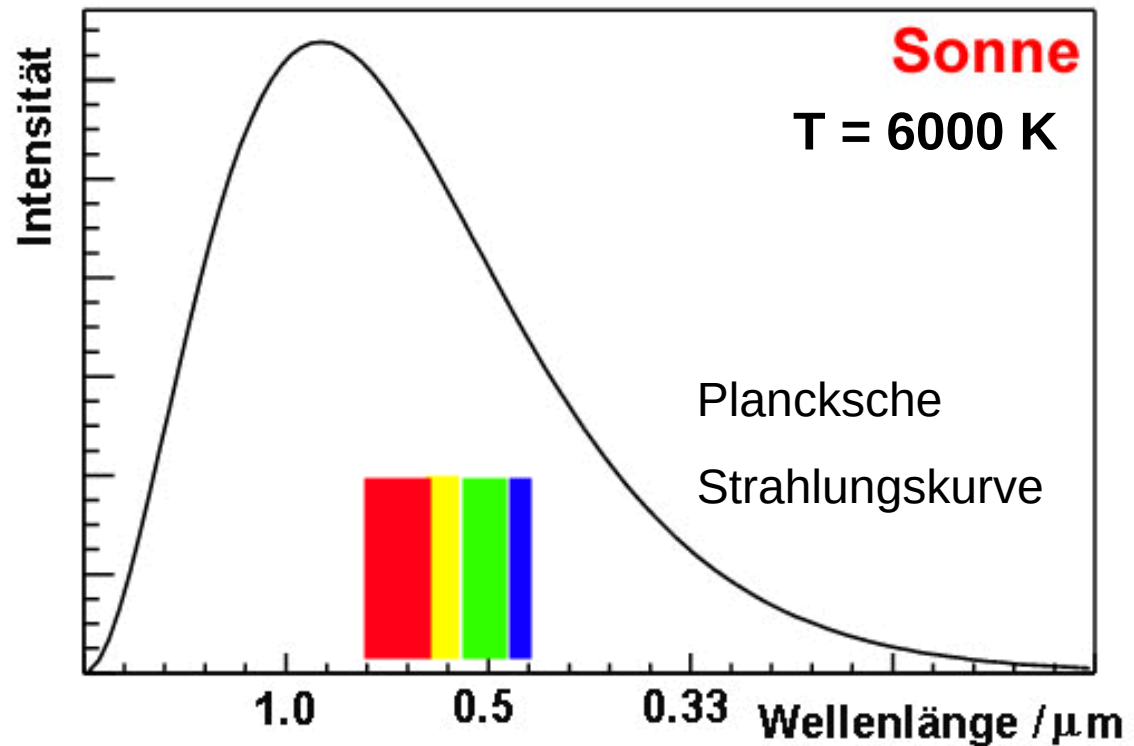
FRAGEN:

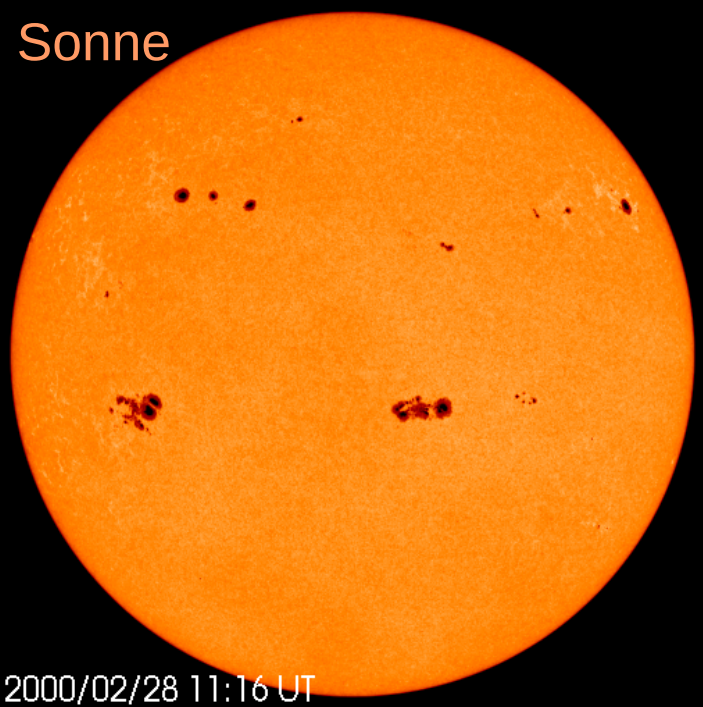
- Beobachtbare „Überbleibsel“ des heißen Urknalls ?
- Entstehung der Atome im frühen Universum ?
- Alter des Universums ?
- Zukunft ? Geht die Expansion immer weiter ?



Licht von der Urexplosion

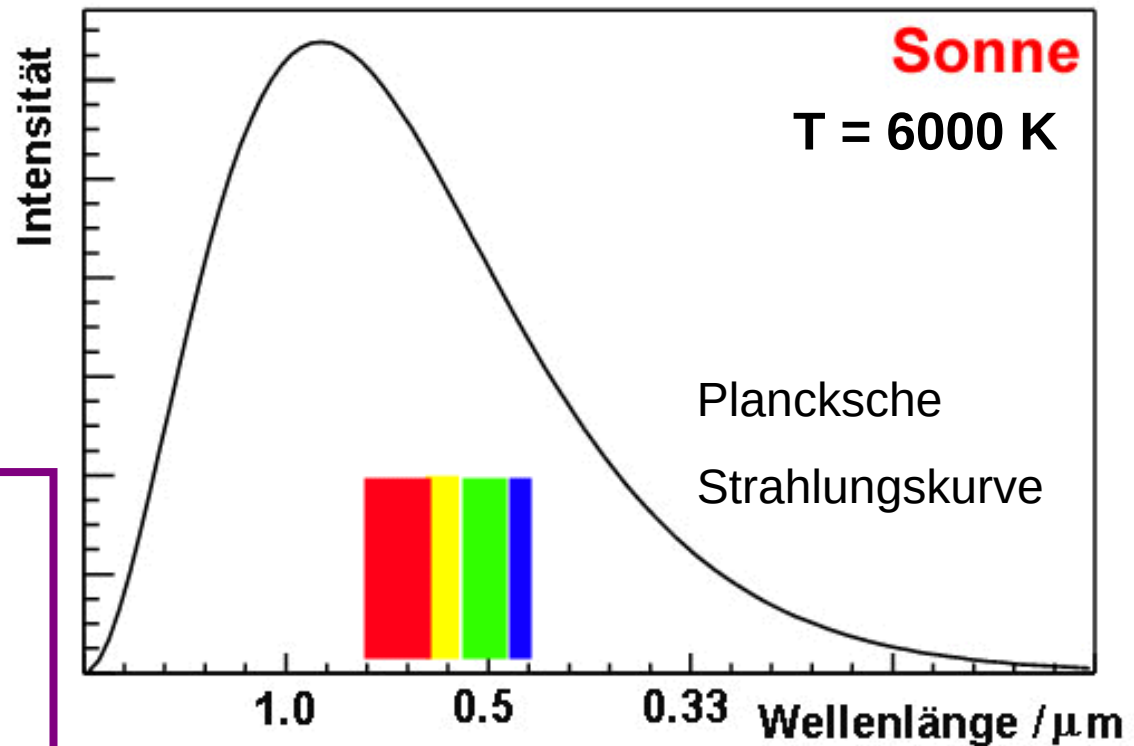
Urexplosion: heißes Gas / Plasma
(ähnlich Sonne)





Licht von der Urexplosion

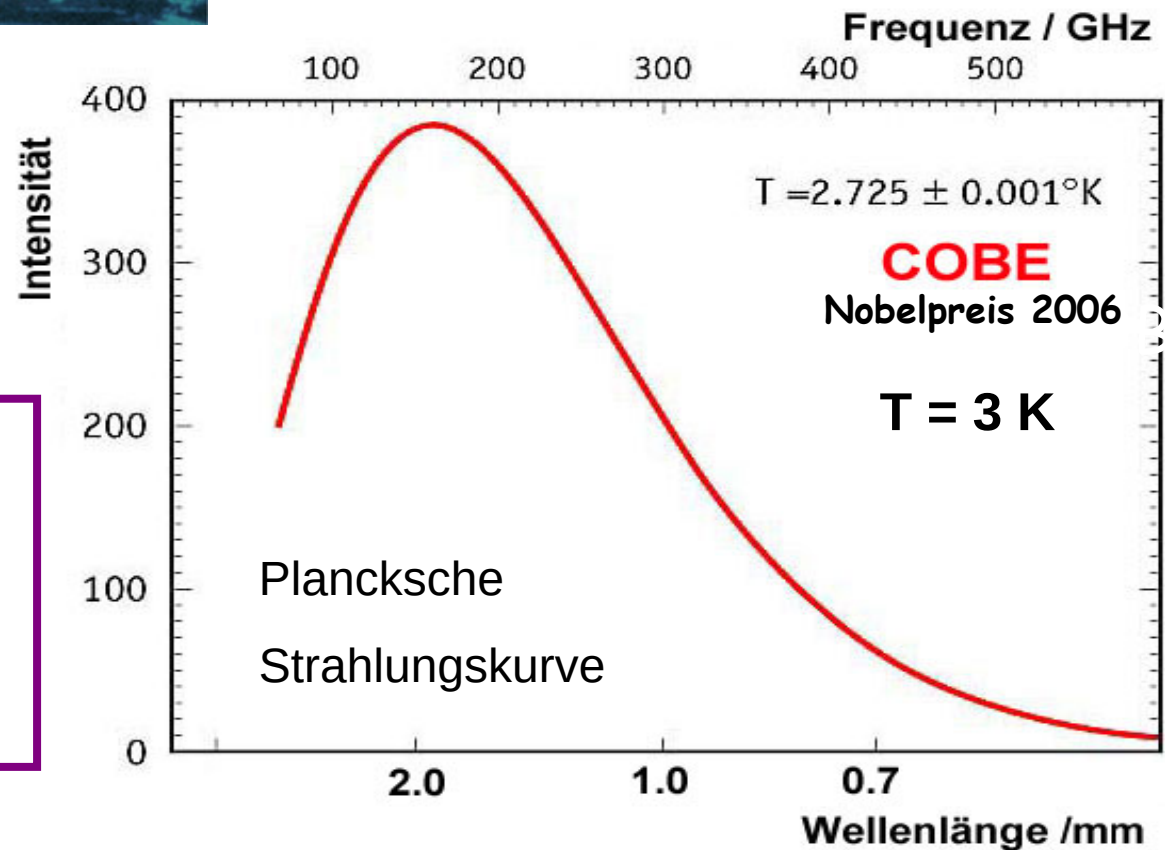
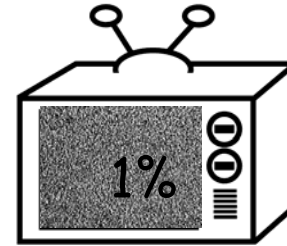
Urexplosion: heißes Gas / Plasma
(ähnlich Sonne)



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

Nobelpreis 1978

Ist das Urknall-Modell richtig ?

Unsere Vorstellung:

Universum früher dicht und heiß;

Galaxien fliegen voneinander weg

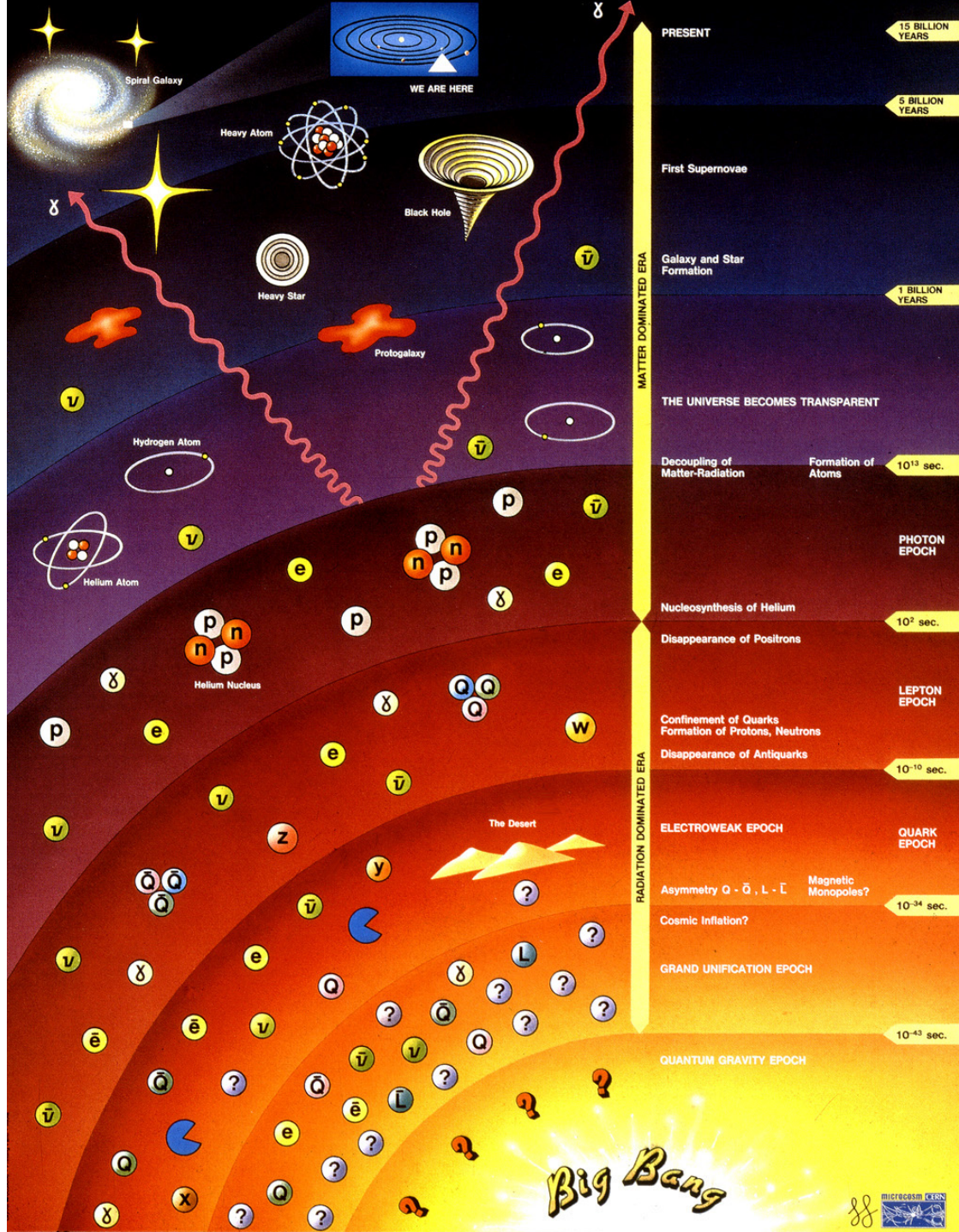
FRAGEN:

- Beobachtbare „Überbleibsel“ des heißen Urknalls ?

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

- Nächste Frage:
- Entstehung der Atome im frühen Universum ?

Prozesse im frühen Universum



10^{10} a 13.06.2007

300 000 a Atome

3min Kerne

10^{-10} s

Nukleosynthese

$t = 3 \text{ min}$

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



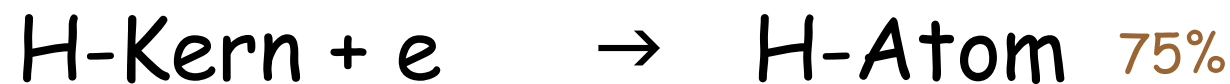
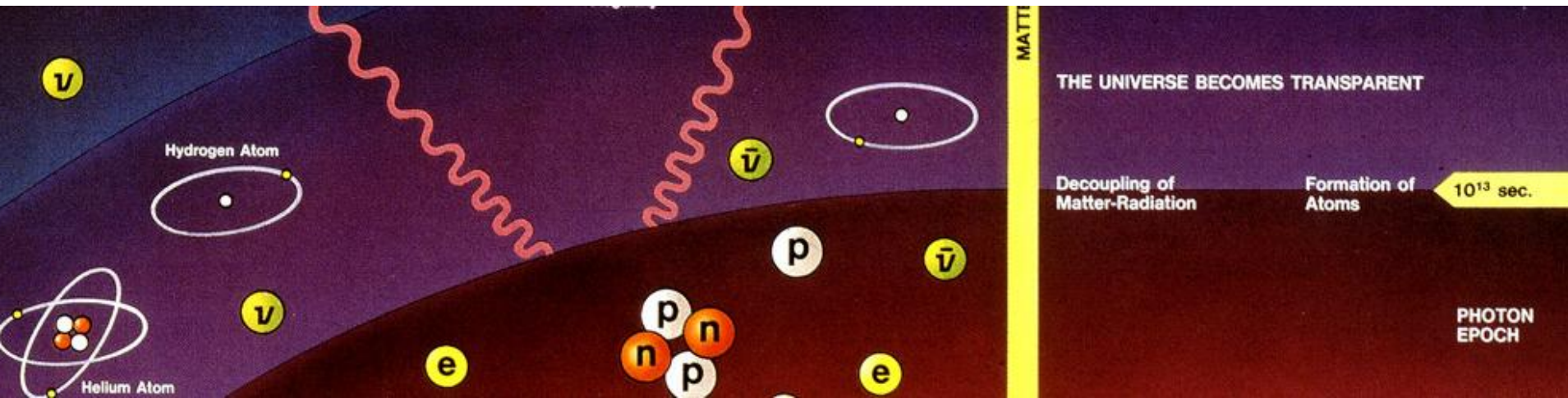
$2n + 2p \rightarrow \text{He-Kern} \quad (\text{stabil})$

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

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

Bildung von Atomen

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



„kosmische
Hintergrund-
strahlung“

Weltall ohne freie Ladung!

Licht kann sich ungehindert ausbreiten!

Atome bilden Sterne und Galaxien



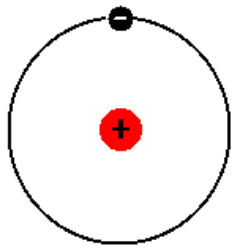
Die Chemie des Universums



Vor der Sternbildung:

75 %

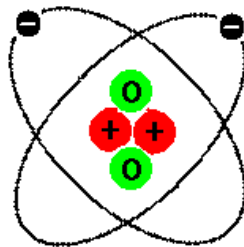
Wasserstoff



^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						
3 Li	4 Be																	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg	IIIB	IIB	VB	VIB	VII	VIII	IB	IB	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar								
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr						
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe						
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn						
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Ha	106	107	108	109	110														

* Lanthanide
Series
+ Actinide
Series

58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

**Wir bestehen aus
Sternenasche !**

Ist das Urknall-Modell richtig ?

Unsere Vorstellung:

Universum früher dicht und heiß;

Galaxien fliegen voneinander weg

FRAGEN:

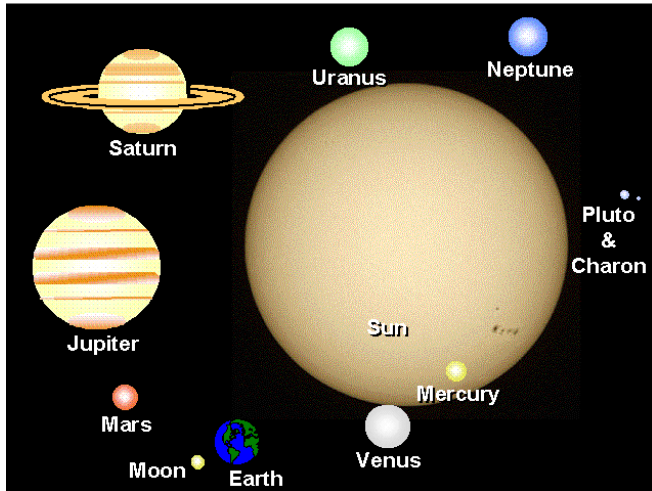
- Entstehung der Atome im frühen Universum ?

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

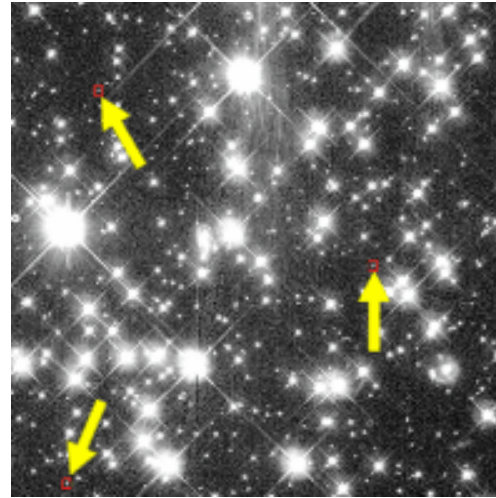
Nächste Frage: ▪ Alter des Universums ?

Wie alt ist das Universum ?

a) Objekte im Universum:



~ 4 Milliarden Jahre



~ 14 Milliarden Jahre

a
u
s
g
e
b
r
a
n
n
t
e

S
t
e
r
n
e

**p
a
s
s
t
!**

b) Zeitpunkt des Urknalls

Hubble-Gesetz:

$$v = H \cdot r$$

$1/H \sim 15$ Milliarden Jahre = Weltalter

Ist das Urknall-Modell richtig ?

Unsere Vorstellung:

Universum früher dicht und heiß;

Galaxien fliegen voneinander weg

FRAGEN:

- Alter des Universums ?

Ungefähr 15 Milliarden Jahre

- Nächste Frage:
- Zukunft ? Geht die Expansion immer weiter ?

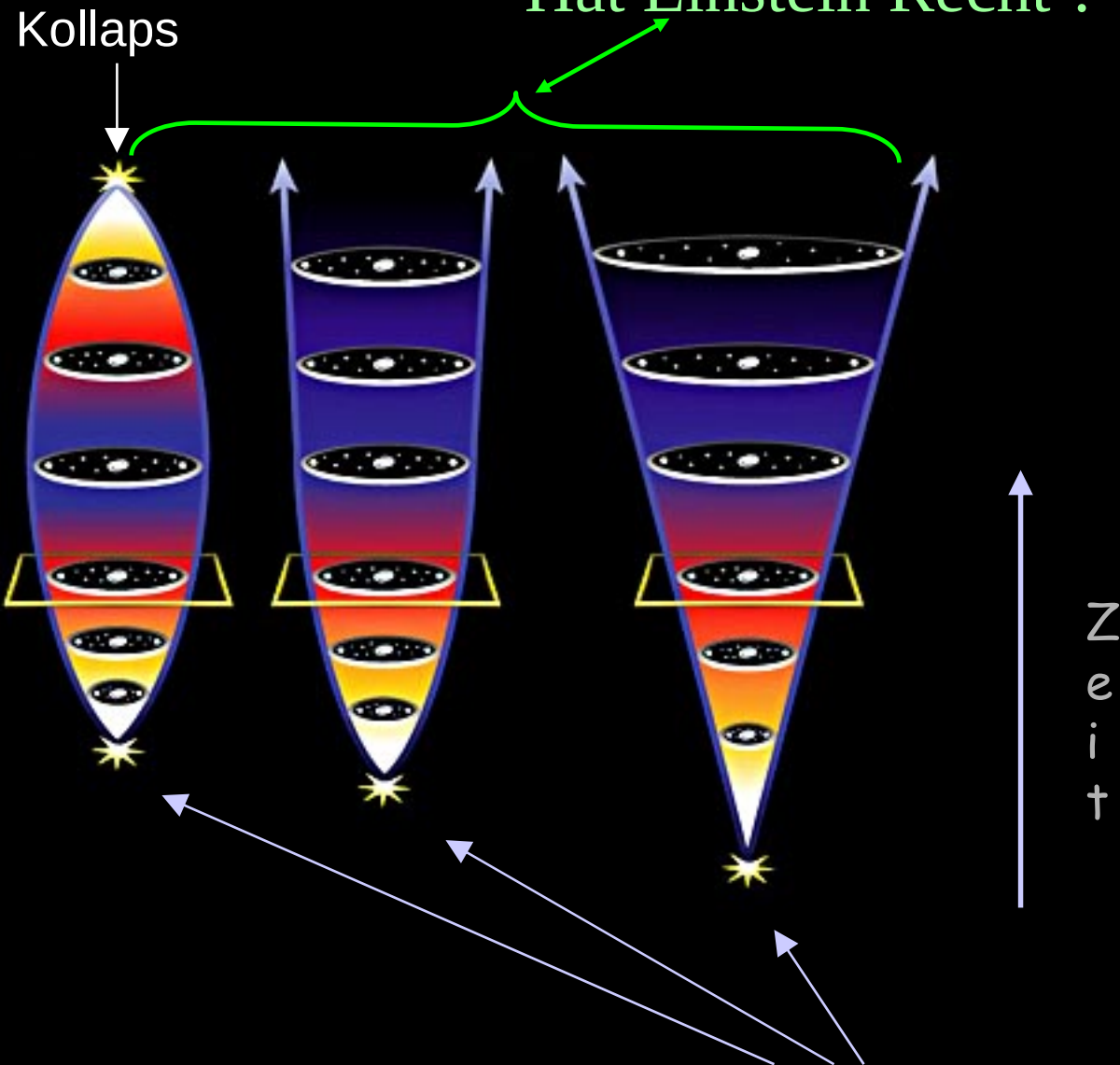
Zusammenfassung „Big-Bang - Modell“

- 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 ?



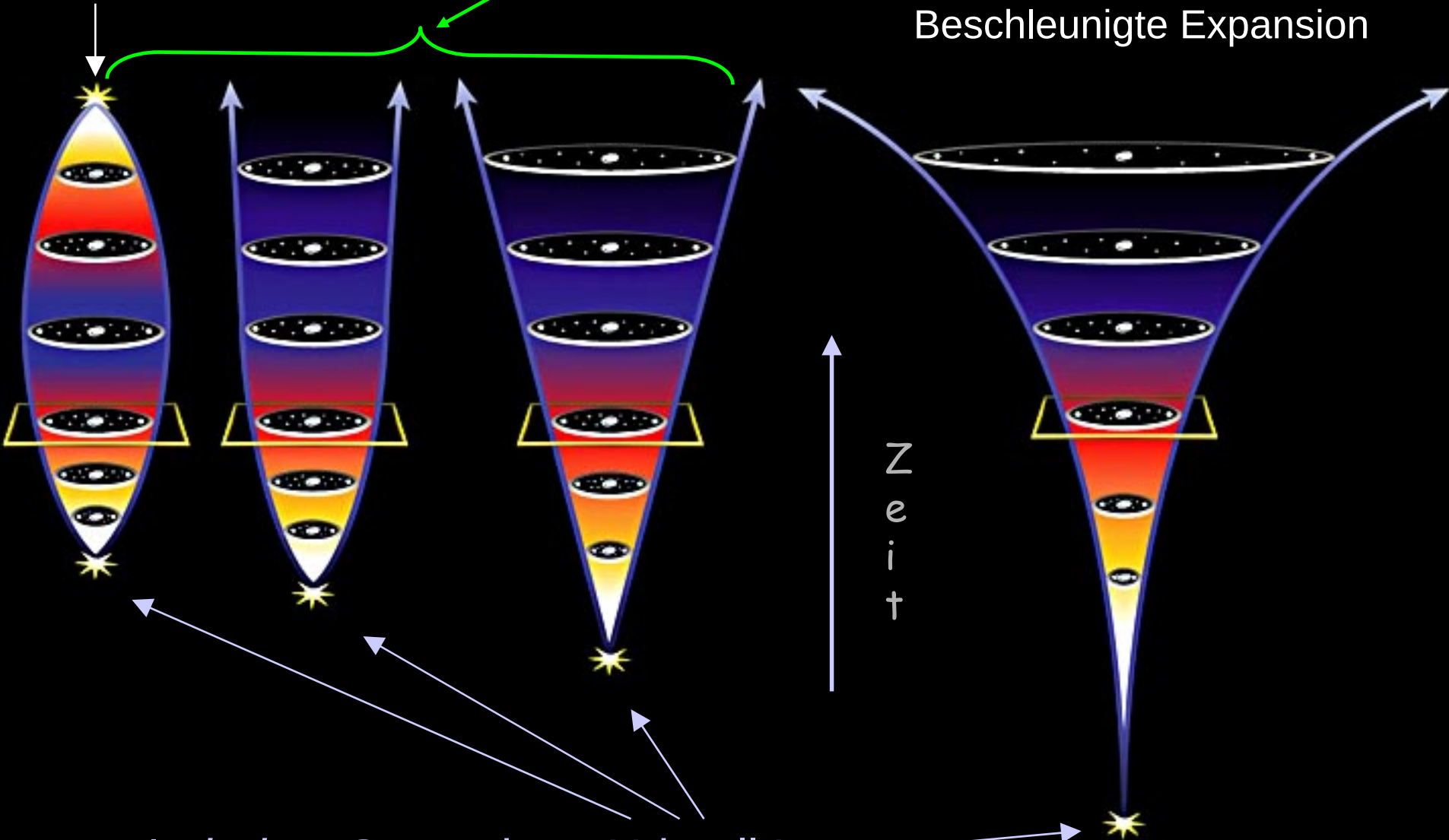
In jedem Szenarium: Urknall !

Entwicklung des Universums ?

Hat Einstein Recht ?

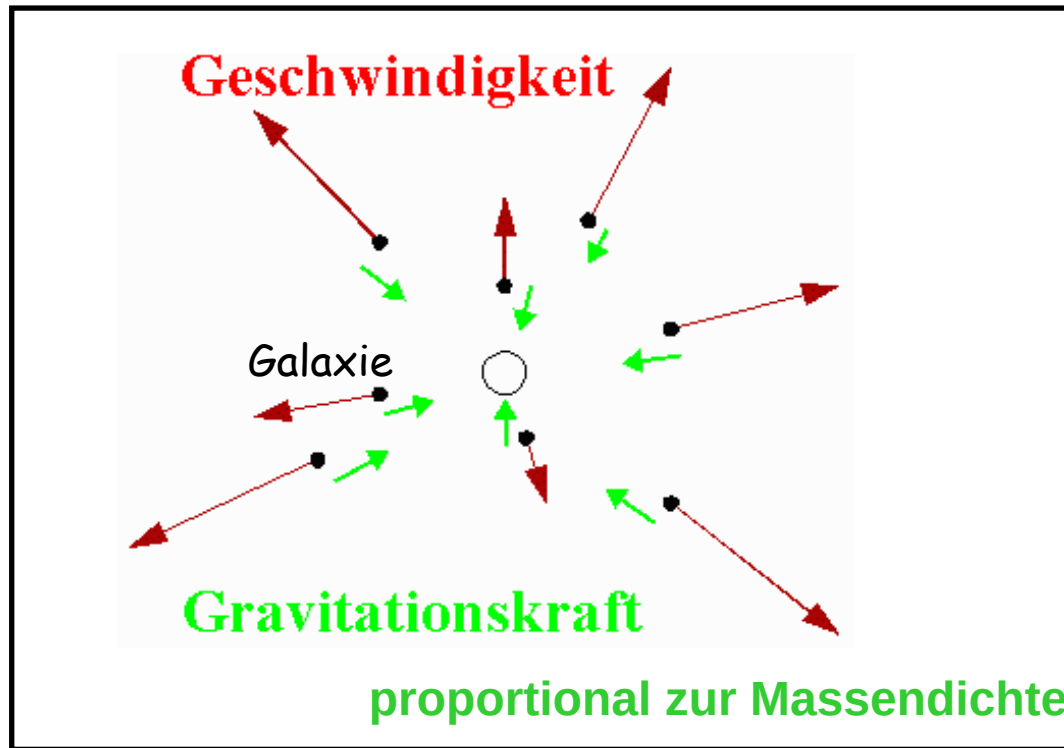
Kollaps

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:

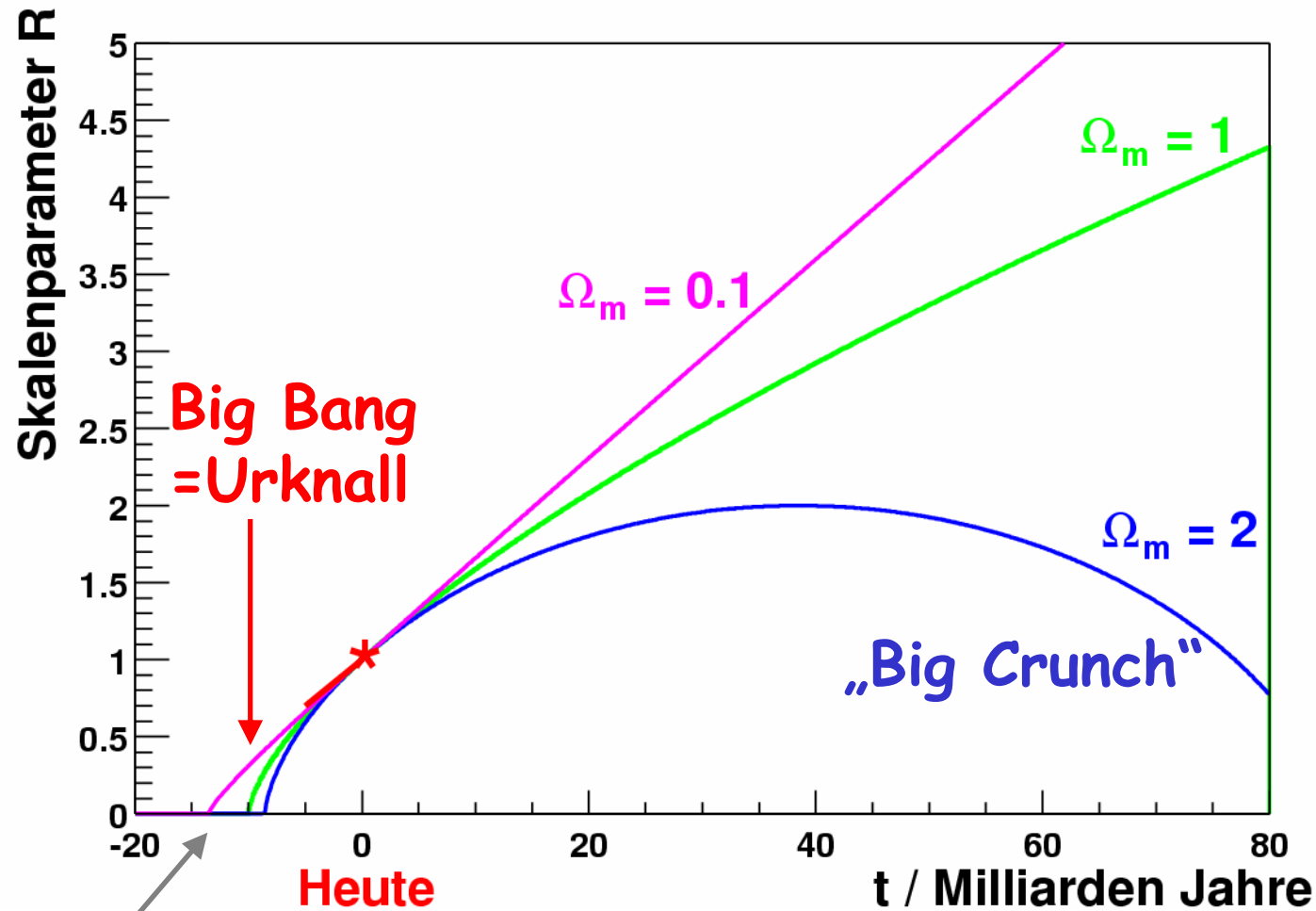
$\Omega_m > 1$: Schwerkraft „gewinnt“

schwer
zu messen

Ω_m entscheidet über unser Schicksal !

Evolution des Universums (Einstein)

= Abstand zwischen zwei
entfernten Galaxien

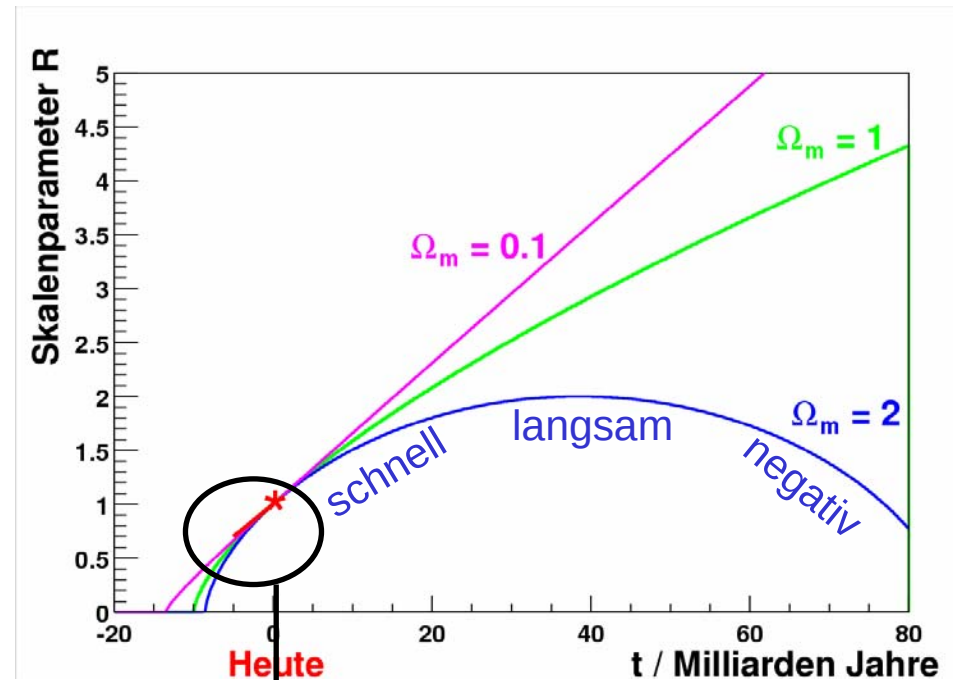


Alter des Universums
~ 15 Milliarden Jahre

Welche Kurve ist richtig ?

Wie kann man die Evolution messen ?

Bestimmung der
Geschwindigkeitsänderung
 der Galaxien
 mit der Zeit

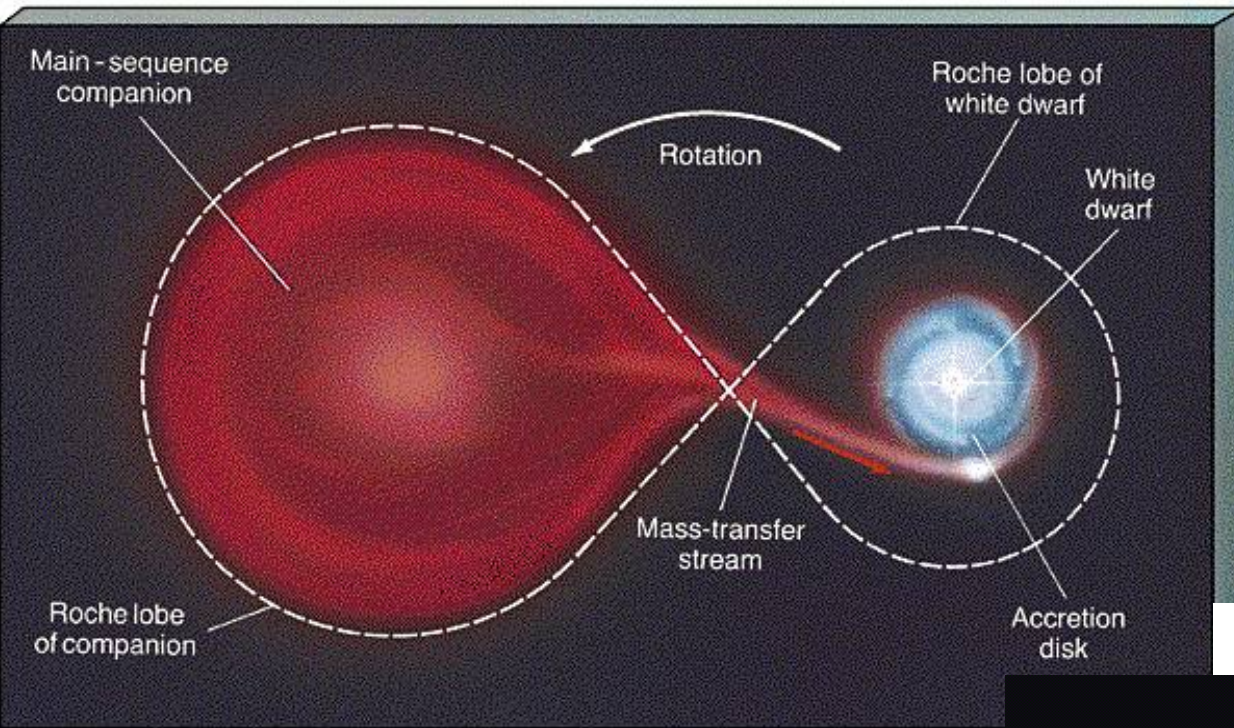


Idee:

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

Geschwindigkeitsmessung mit Dopplereffekt

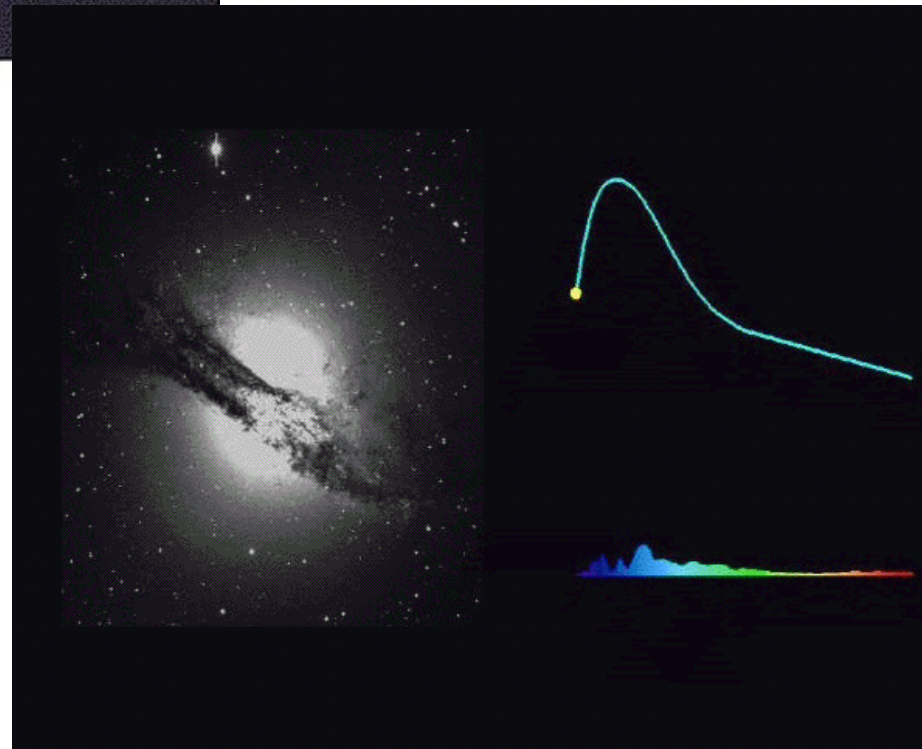
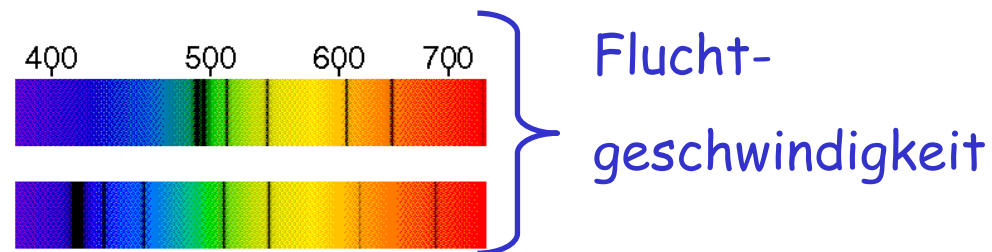
Supernovae Ia



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

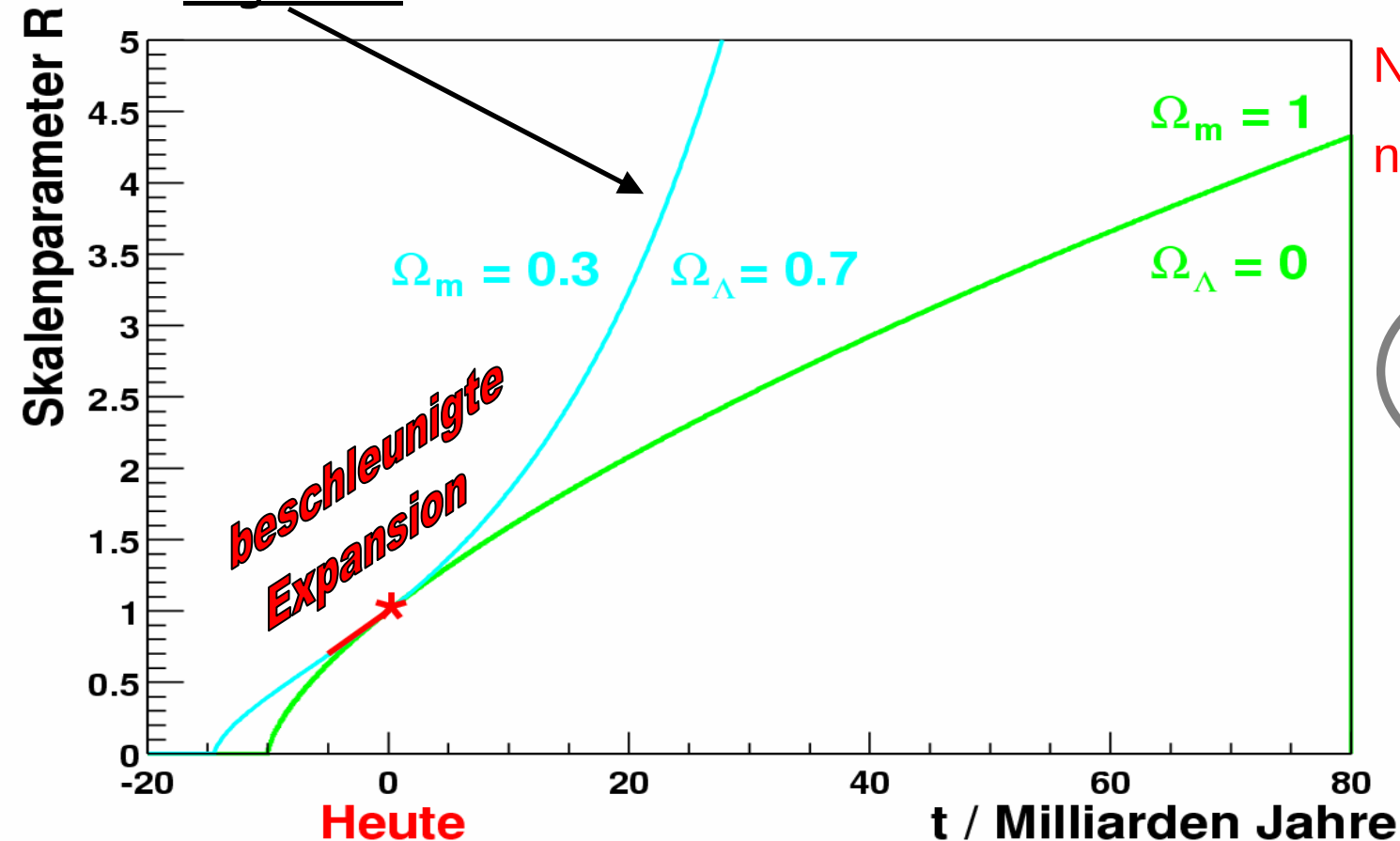
Helligkeit:
gleich
groß

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 zwischen Galaxien
heute höher als früher!

**Abstoßung,
beschleunigte Expansion !**

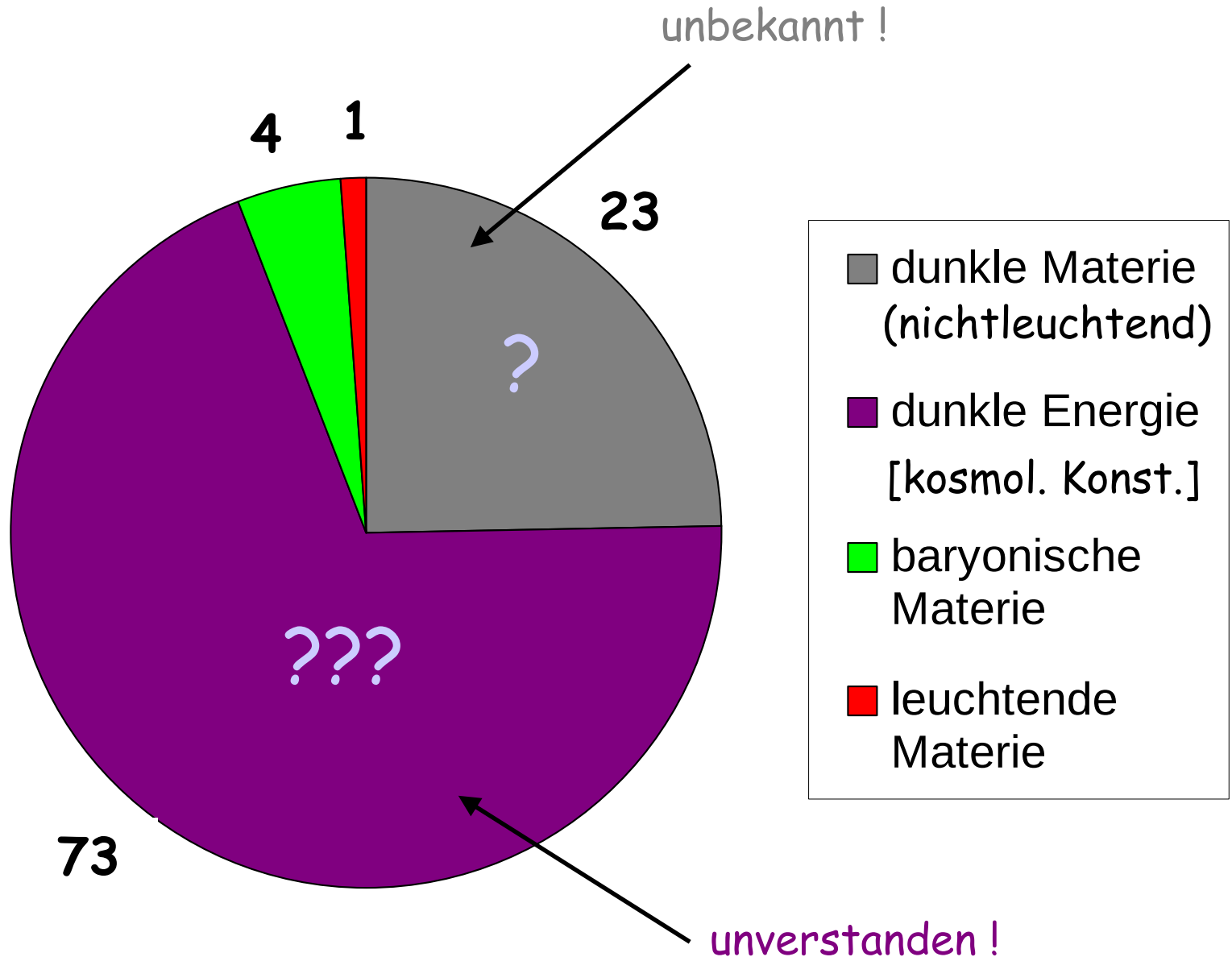
Konsequenz:

- 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“

Zusammenfassung

„goldenes Zeitalter der Kosmologie“

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

Revolution in der Physik !?