

Neues aus Kosmologie und Astrophysik

■ Unser Universum

Sterne und Galaxien

Hintergrundstrahlung

Elemententstehung

→ Das Big-Bang-Modell

Prozesse im frühen Universum

■ Fragen und Antworten (?)

■ Dunkle Materie

■ Dunkle Energie

■ Schwarze Löcher

■ Planetensysteme

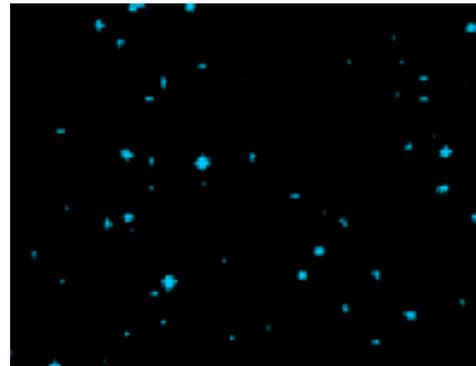
Thomas Hebbeker
RWTH Aachen
Januar 2003
Haus Overbach

Blick ins Universum: Sterne und Galaxien

Die Milchstrasse



„Unsere“ Galaxie = Milchstrasse

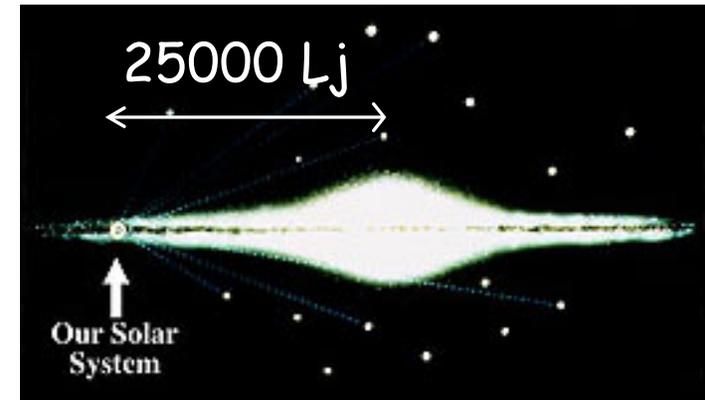


Nachbarstern

„Proxima Centauri“

4 Lichtjahre

1 Lichtjahr
= 10^{16} m



Das Sonnensystem in der
Milchstrasse

Blick ins Universum: Sterne und Galaxien

Andere Galaxien



Palomar Observatory, E. Hubble (1949)



Nachbargalaxie

„Andromeda“

3 Millionen Lichtjahre



„Whirlpool“ (HST)

37 Millionen Lj

Blick ins Universum: Sterne und Galaxien



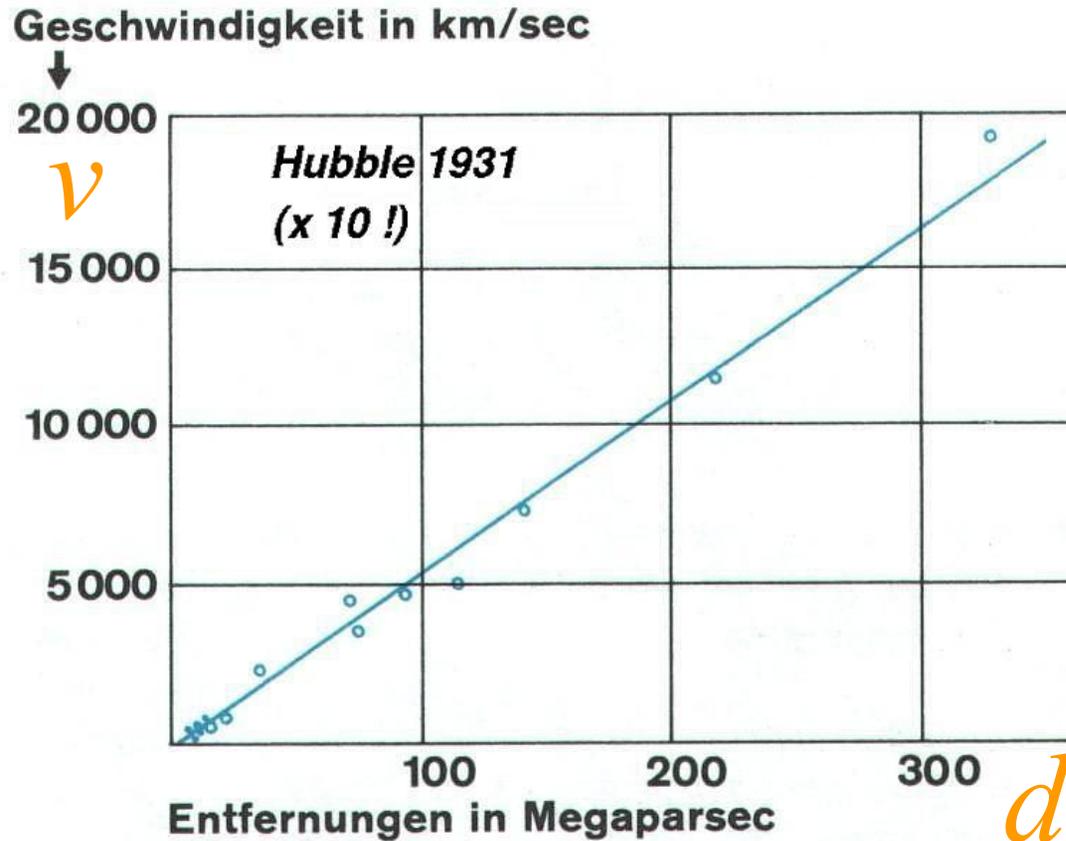
HST „deep field“

bis zu 10 Milliarden Lichtjahre

Blick in die Vergangenheit!

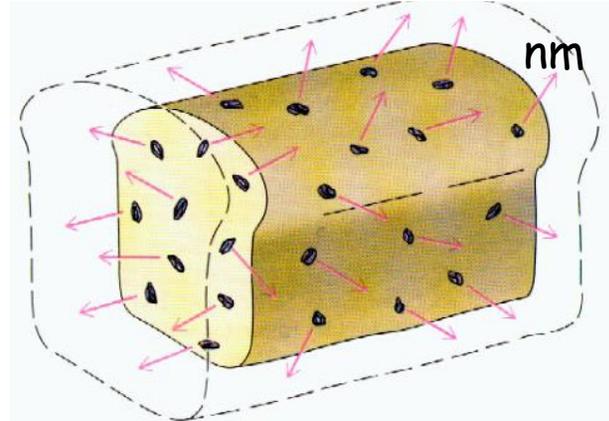
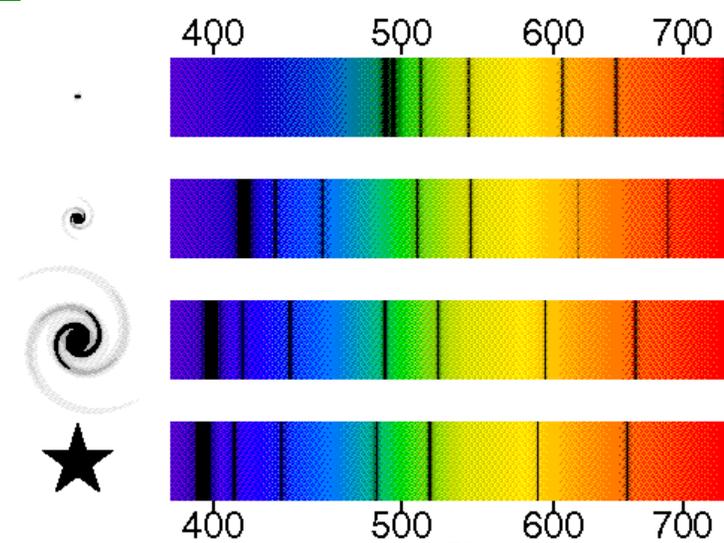
Rotverschiebung der Galaxien

Hubble 1929: Universum expandiert



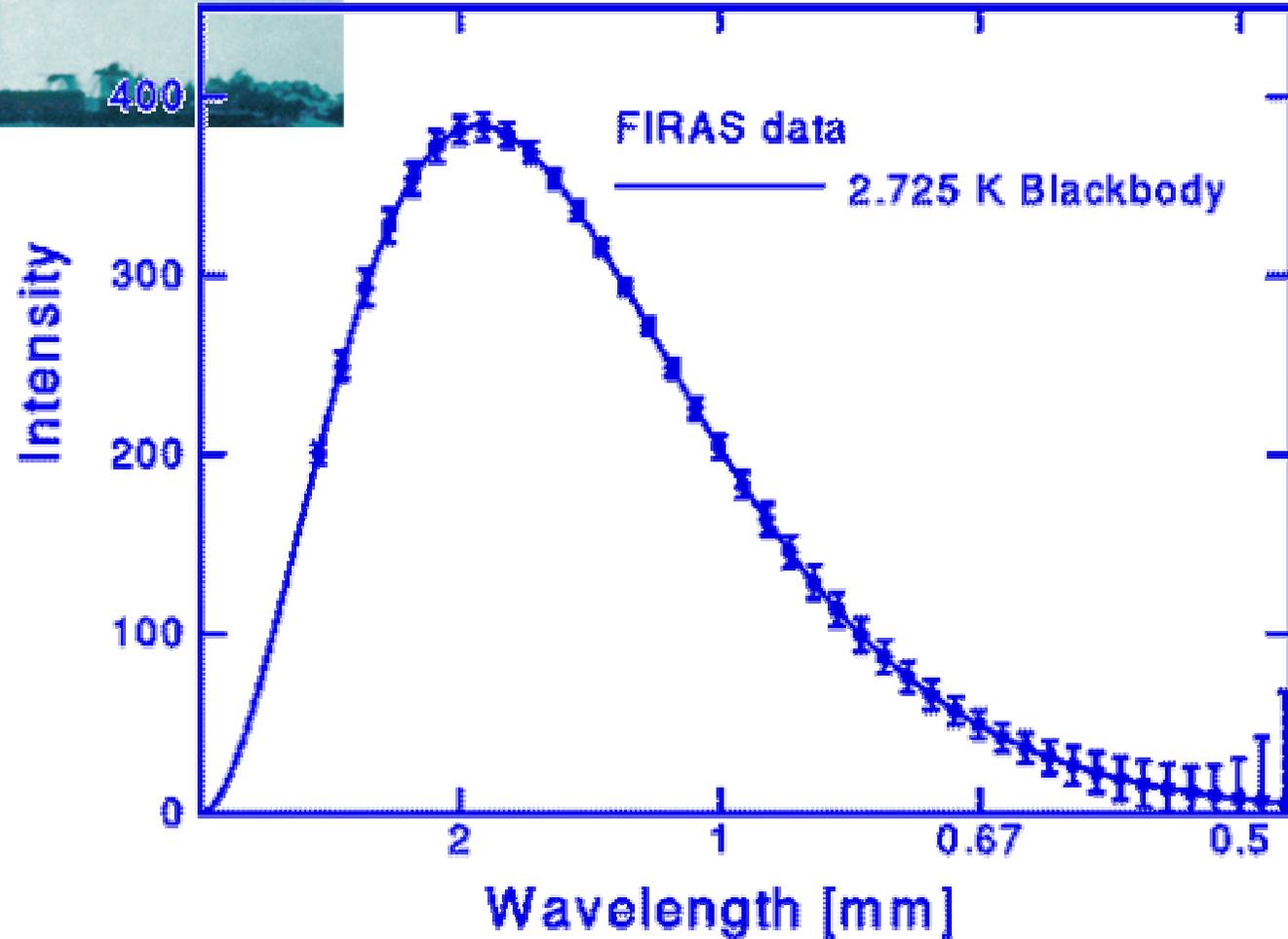
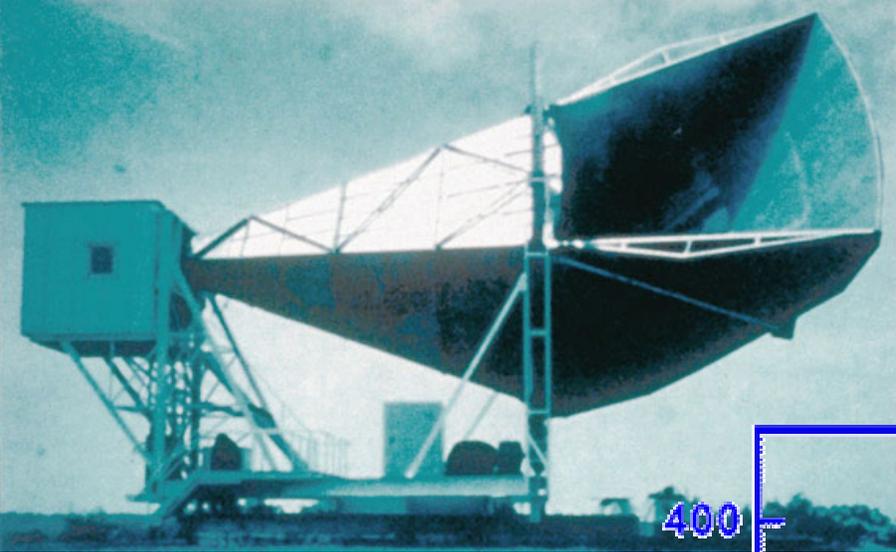
$$v = H \cdot d$$

Doppler-Effekt:



$$H = 65 \text{ km / s / Mpc}$$
$$= 2 \text{ cm / s / Lj}$$
$$= 1 / (15 \cdot 10^9 \text{ a})$$

Die kosmische Hintergrundstrahlung



Mikrowellenstrahlung
aus allen Richtungen

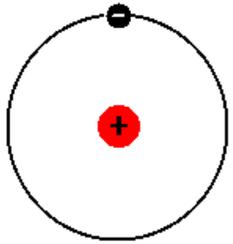
= „schwarzer Körper“
mit $T = 2.7\text{K}$

Die Chemie des Universums

Vor der Sternbildung:

75 %

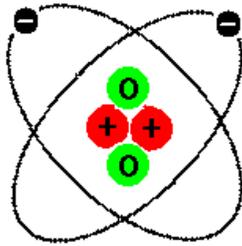
Wasserstoff



^1H

25 %

Helium



^4He

proton: +

electron: -

neutron: o

Am Ende des Sternenlebens:

Periodic Table of Elements

1	2																	10					
1 H	2 He																	10 Ne					
3 Li	4 Be																	9 F					
11 Na	12 Mg	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	*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	+Ac	104 Rf	105 Ha	106 106	107 107	108 108	109 109	110 110														

* Lanthanide 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
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

+ Actinide Series

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 !**

Das heutige Universum

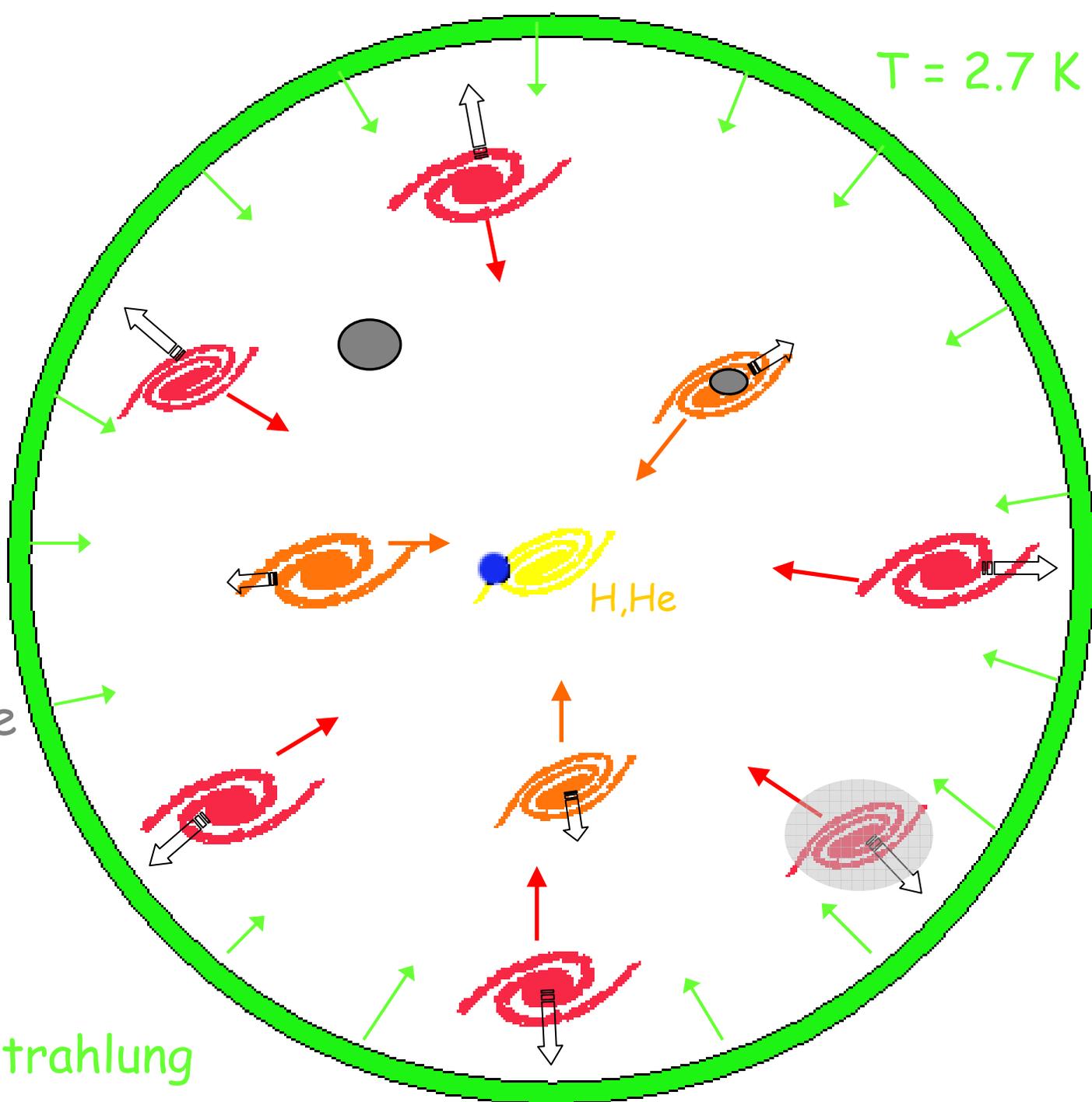
$T = 2.7 \text{ K}$

Materie:

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

Strahlung:

- Sternenlicht
- Hintergrundstrahlung

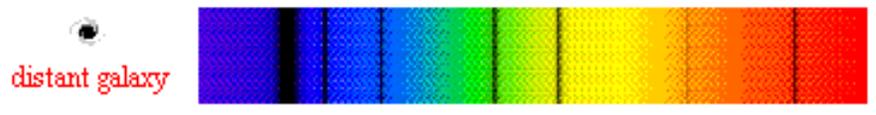
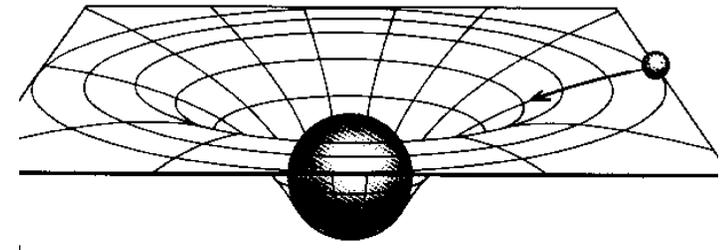


Das Big-Bang - Modell

Einsteins
allgemeine
Relativitätstheorie

+

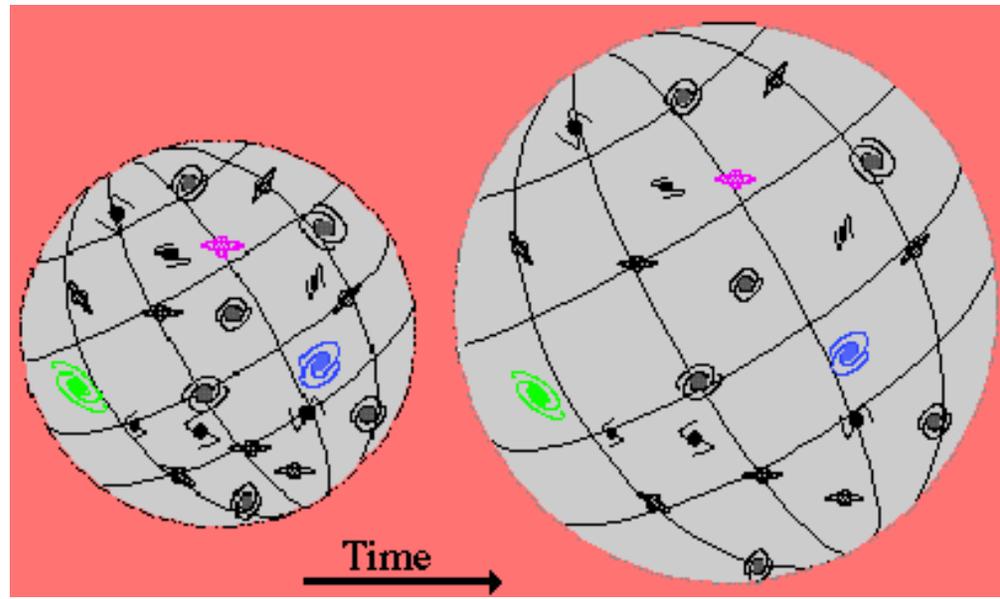
Astrophysikalische
Beobachtungen



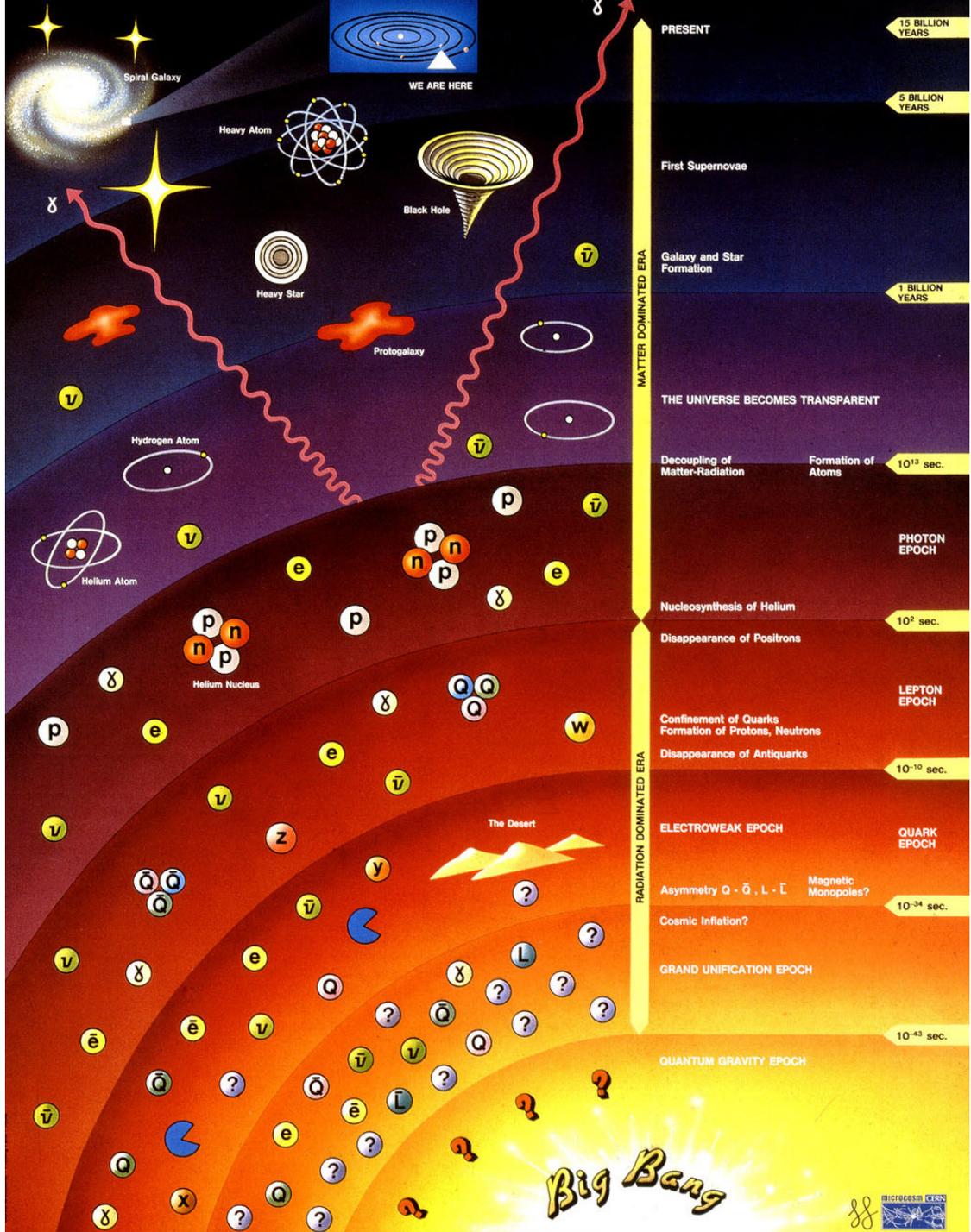
=

Der Raum expandiert
Anfang: „Big Bang“

- ➔ Hintergrundstrahlung
- ➔ Rotverschiebung
- ➔ Chemie



Prozesse im frühen Universum



10^{10} a heute

$300\,000$ a Atome

3 min Kerne

10^{-10} s

Ladungssumme = 0

Fragen und Antworten

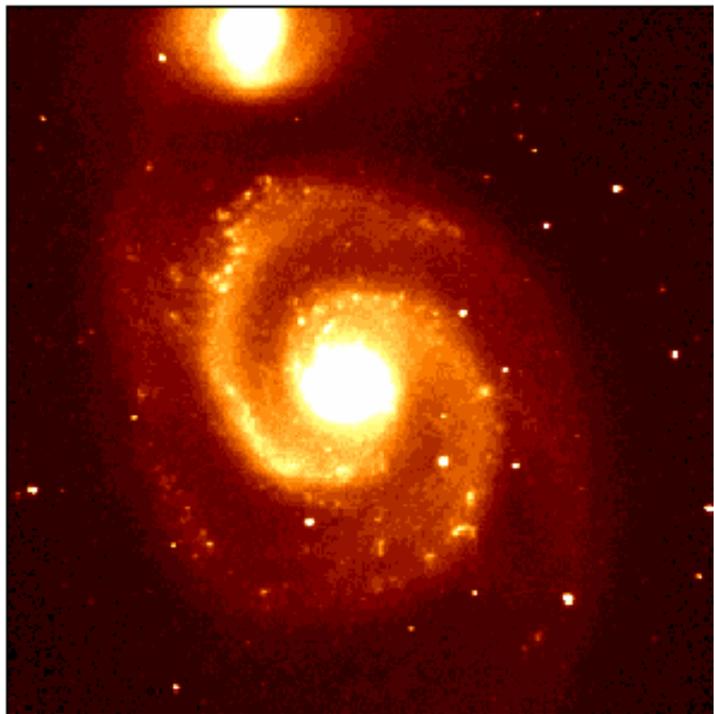
- Dunkle Materie ?
- Evolution des Kosmos - dunkle Energie ?
- Schwarze Löcher !
- Planetensysteme !

Dunkle Materie ?

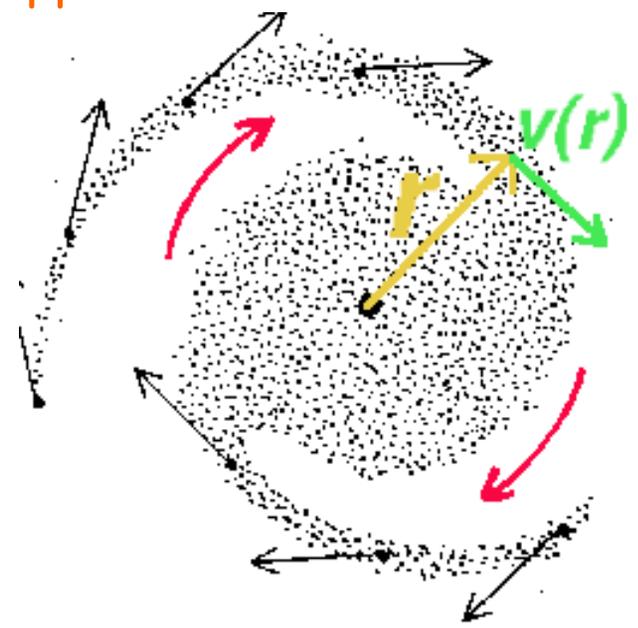
Gibt es große Mengen nichtleuchtender Materie im Kosmos ?

➡ Nachweis: Gravitation!

Untersuchung von
Spiralgalaxien:



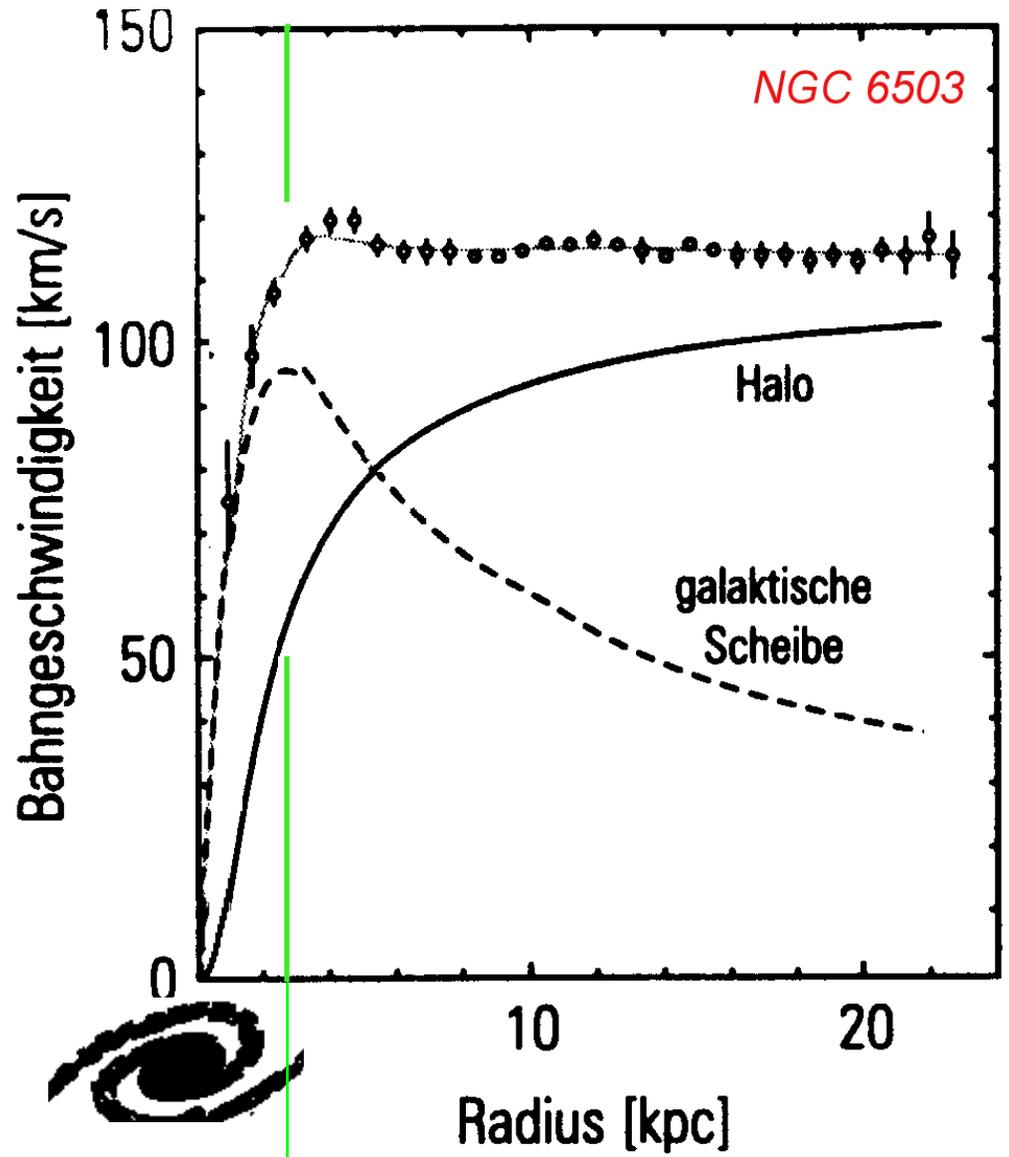
Messung der
Rotationsgeschwindigkeit via
Doppler-Effekt:



$v(r)$ ist Maß für eingeschlossene Masse !

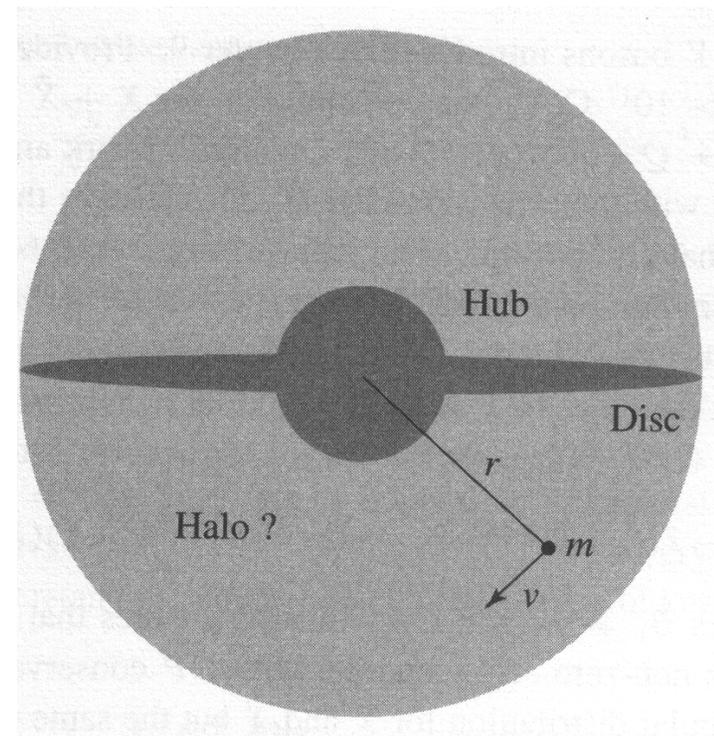
Dunkle Materie !

Erwartung: außerhalb des leuchtenden Teils der Galaxie:



$$v_{rot} \sim 1 / \sqrt{r}$$

(wie Planeten im Sonnensystem)



$$\rho \sim 1 / r^2$$

Eigenschaften der dunklen Materie ?

Quantität:

etwa 10 mal mehr dunkle als leuchtende Materie !

Beschaffenheit:

- ausgebrannte Sterne (= Baryonen) ?

passt nicht ins Urknall-Modell!

- Neutrinos mit Masse ?

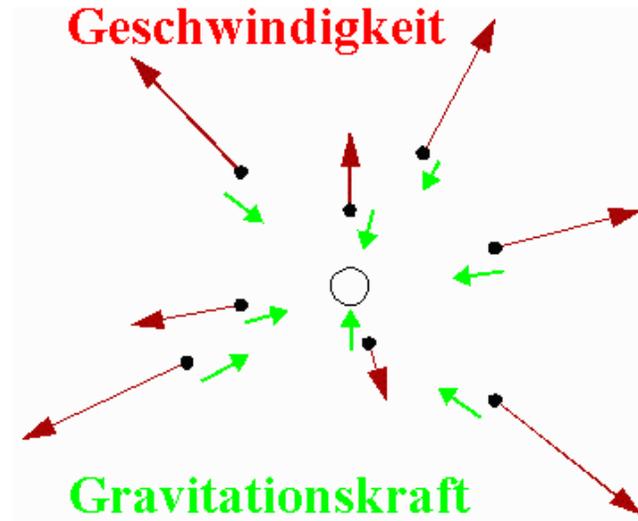
aus Urknall $\sim 300 / \text{cm}^3$ aber: zu leicht ($< 0.1 \text{ eV}$) !

- „neue“ Elementarteilchen ?

favorisierte Hypothese!

Suche mit Teilchenbeschleunigern !

Evolution des Universums (a la Einstein)



Geschwindigkeit
nimmt ab!

- Hubble-Konstante (kinetische Energie \Rightarrow Expansion)
- mittlere Massendichte (potentielle Energie \Rightarrow Kontraktion) Gravitation!

$$\Omega_m = \frac{\rho}{\rho_{krit}} = \frac{\text{mittlere Massendichte}}{\text{kritische Massendichte}} \approx 3 H - \text{Atome} / m^3$$

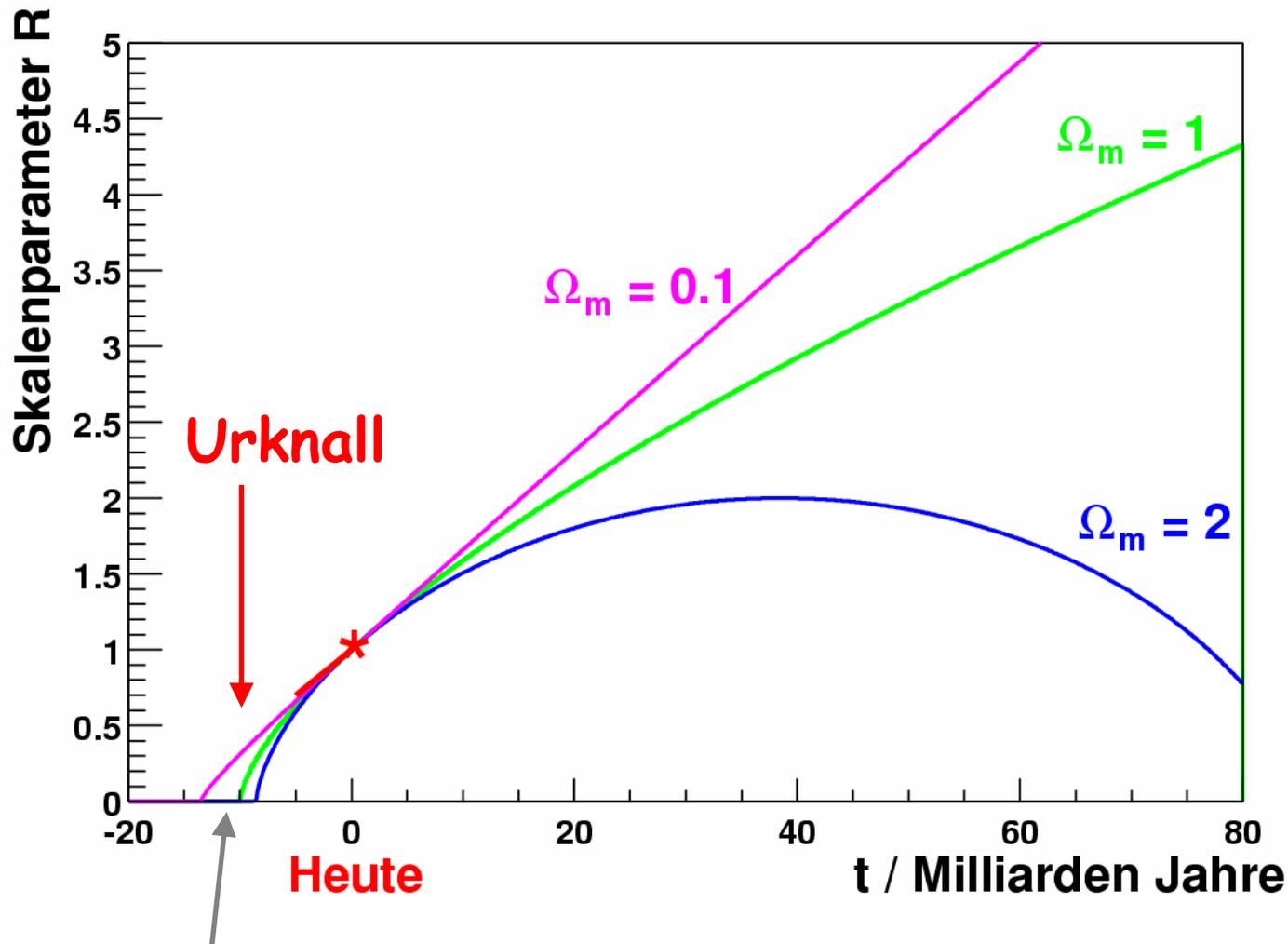
nicht genau bekannt

Hubble-Konstante

Ω_m entscheidet über unser Schicksal !

Evolution des Universums – „bisher“

= Abstand zwischen zwei entfernten Galaxien



Evolution
wird durch
Massendichte
bestimmt:

$$\Omega_m = \rho / \rho_{krit}$$

Alter des Universums
~ 10 Milliarden Jahre

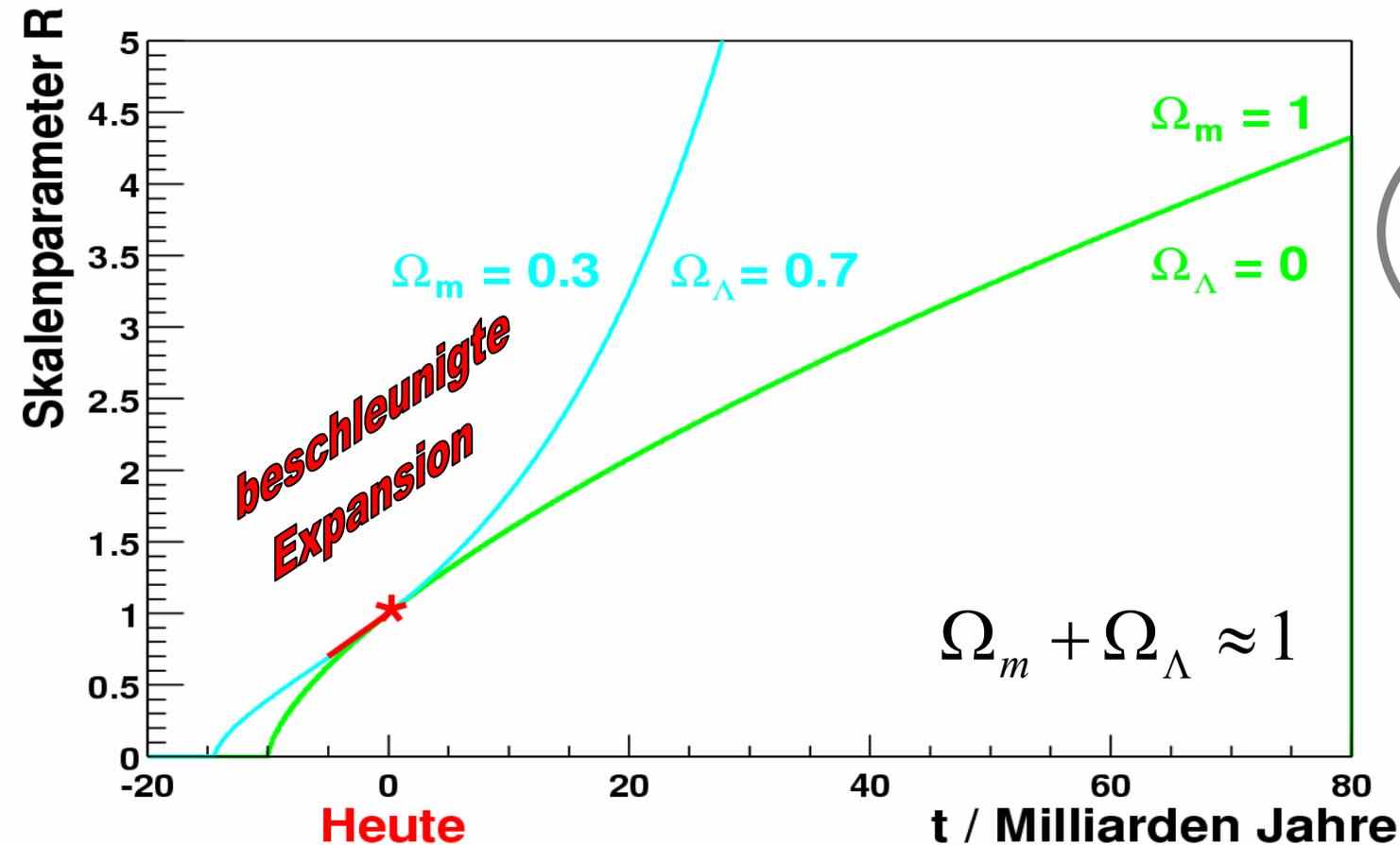
Aus Messung
der Raumkrümmung:

$$\Omega_m \sim 1$$

Evolution des Universums – „neu“

Messungen an Supernovae: **beschleunigte Expansion !**

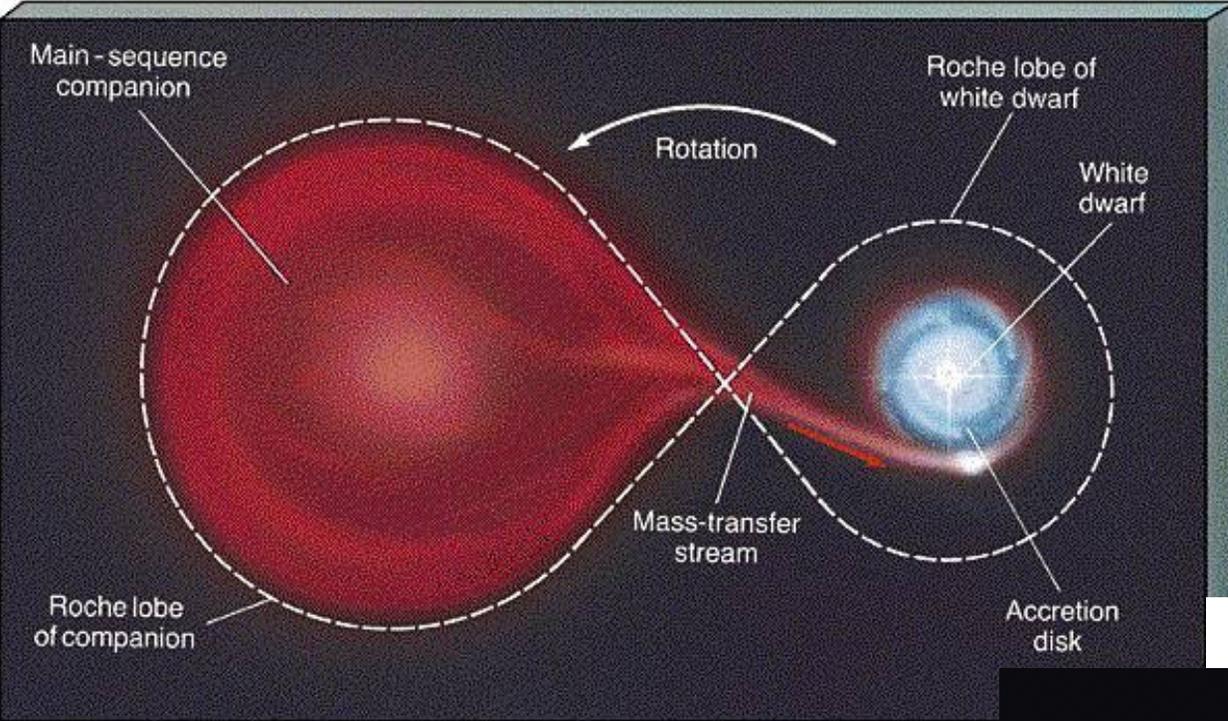
Erweitertes Modell: Einsteins „kosmologische Konstante“ $\Lambda \neq 0 \rightarrow \Omega_\Lambda$



„dunkle Energie“

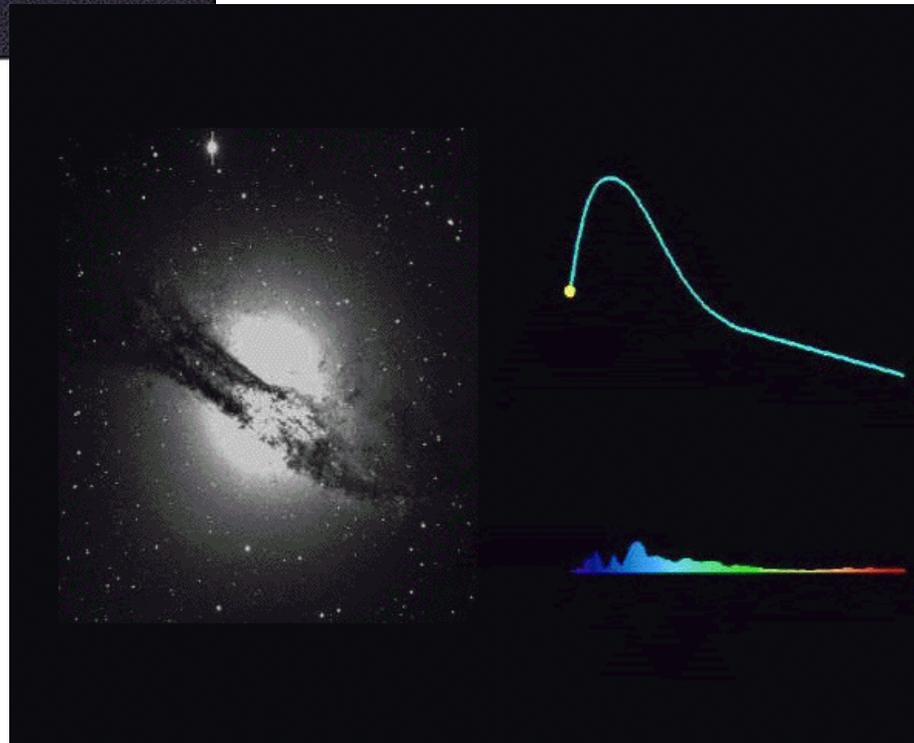
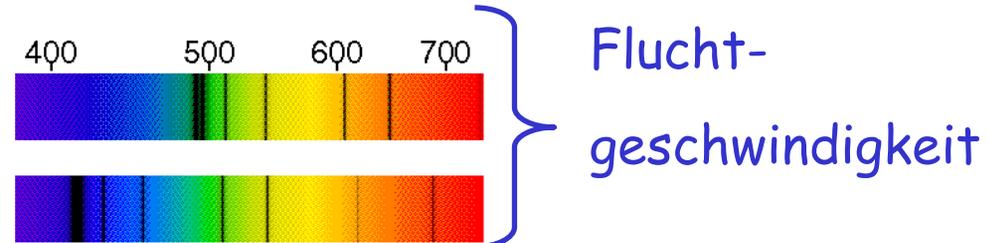
wirkt
abstossend!

Supernovae Ia



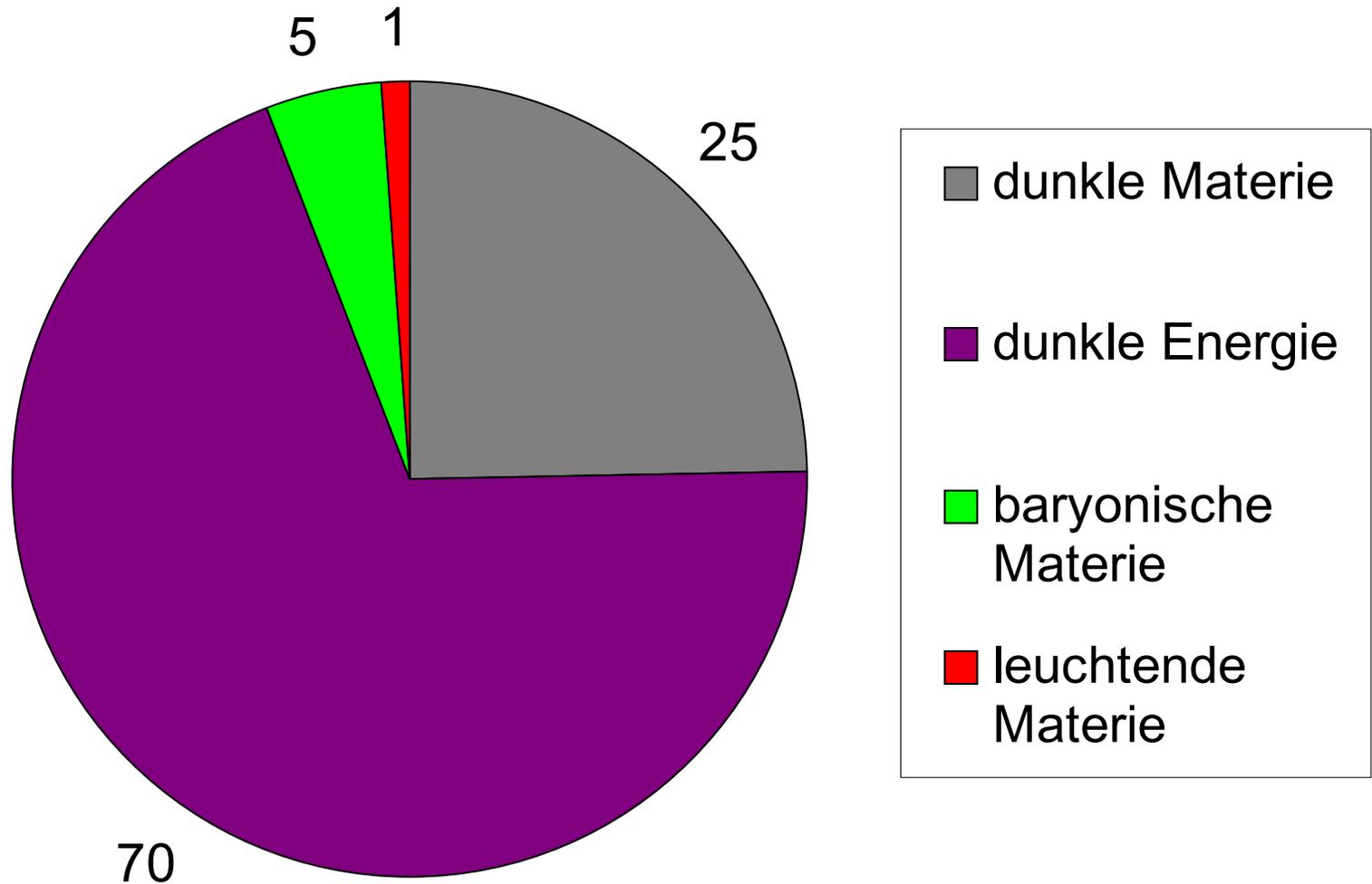
Explosion wenn Masse kritischen Wert $\approx 1.4m_{\text{Sonne}}$ erreicht!

Helligkeit: gleich groß } Entfernungsbestimmung

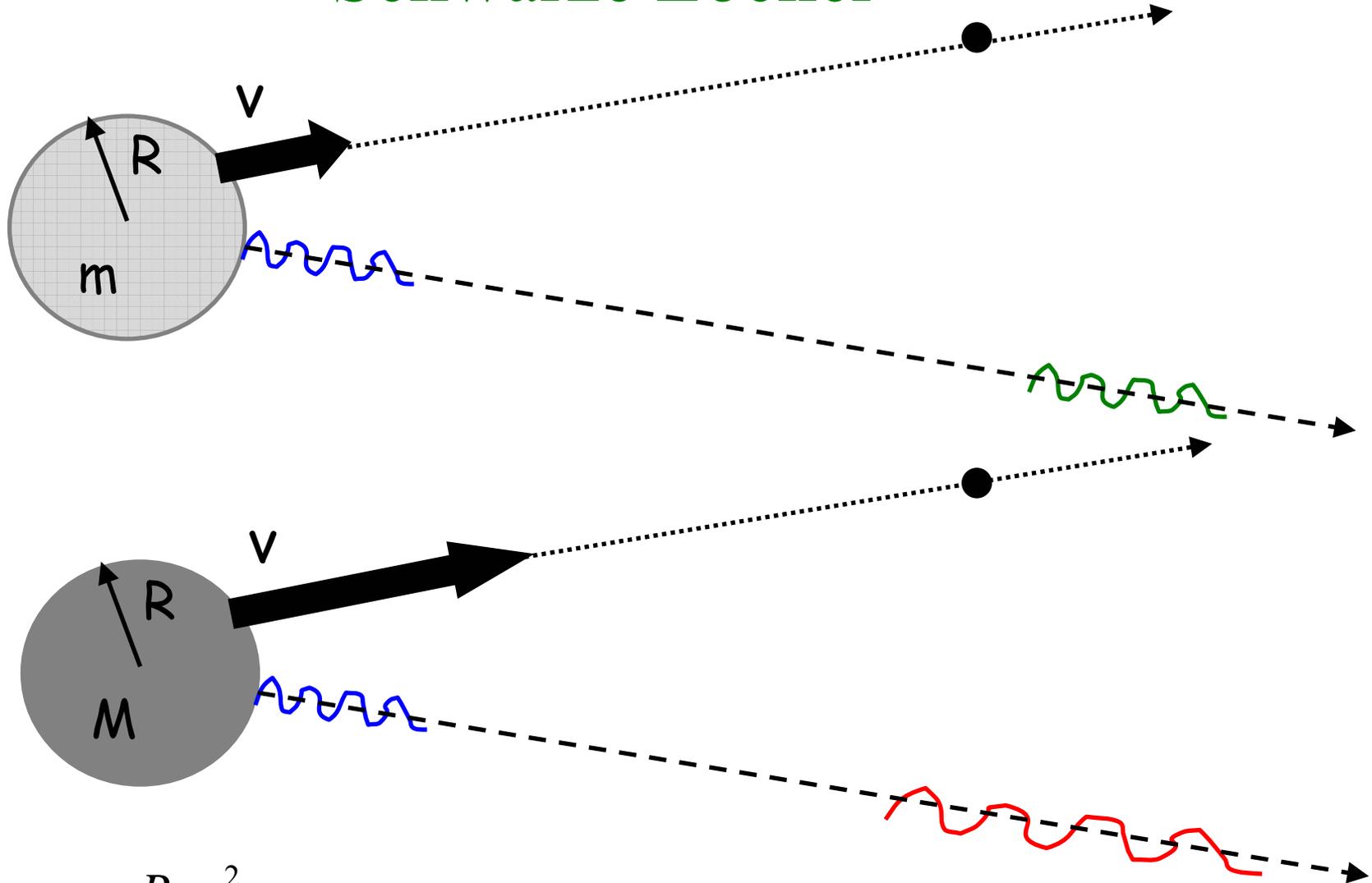


Energieformen im Universum

Anteil in %



Schwarze Löcher



Falls $M > \frac{R \cdot c^2}{2 \cdot G}$: Fluchtgeschwindigkeit $v >$ Lichtgeschwindigkeit c

Weder Teilchen noch Licht kann entweichen!

Schwarzschild
1915

Schwarze Löcher in Galaxienzentren

infrarot



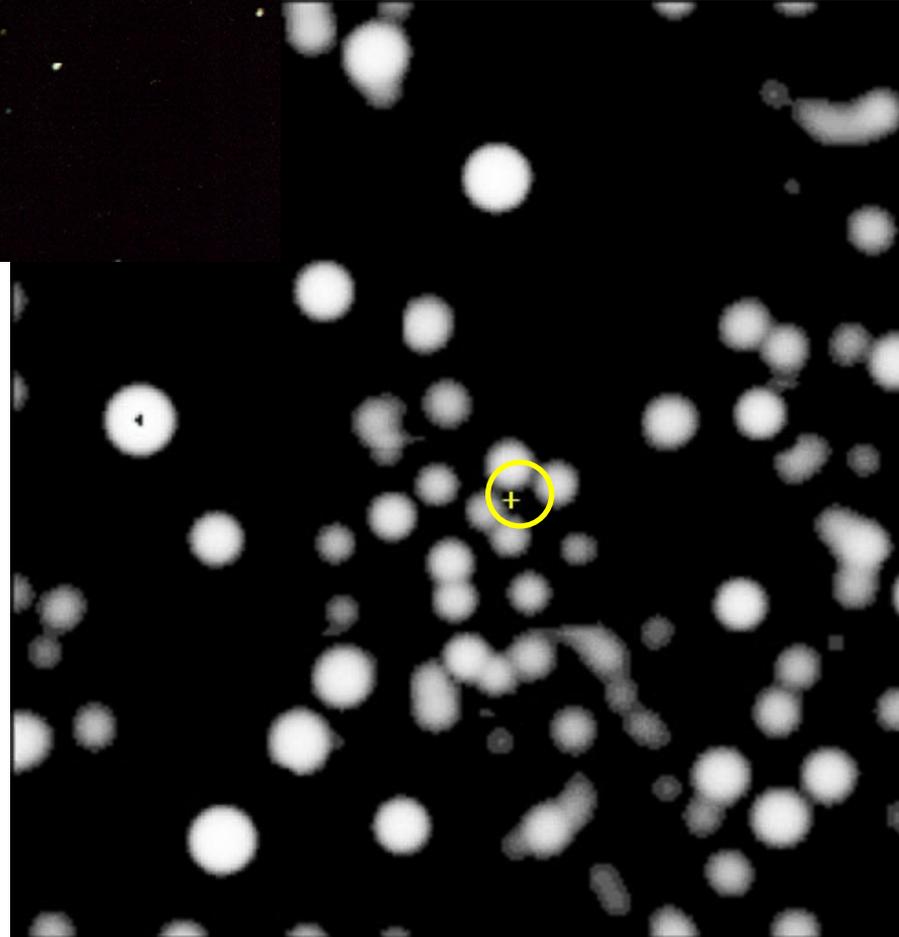
Zentrum der
Milchstrasse

Radioquelle Sgr A

Messung der Eigenbewegung
der Sterne dicht am Zentrum
(0.1 - 10 Lichtjahre):

Eingeschlossene Masse =
3 Millionen Sonnenmassen

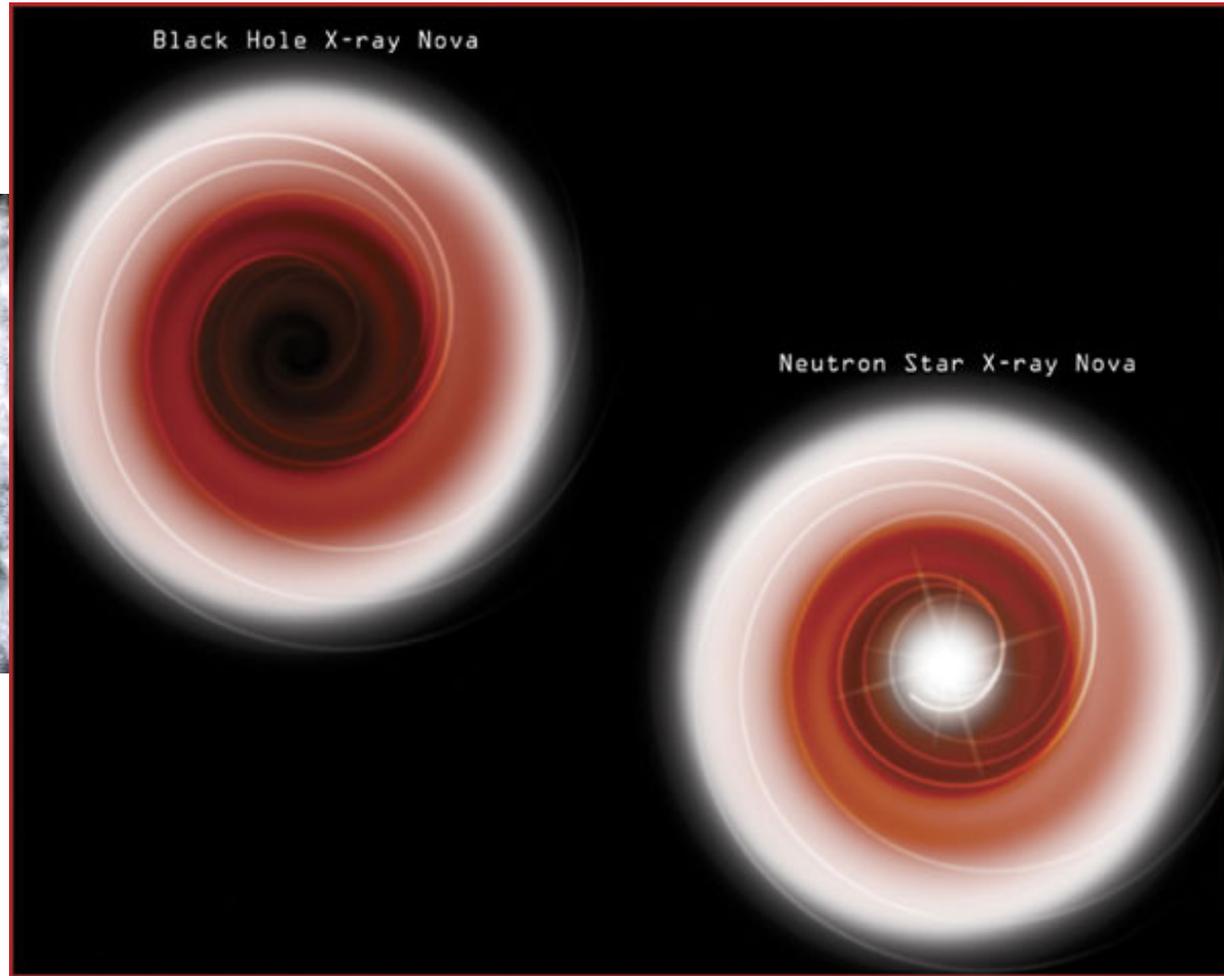
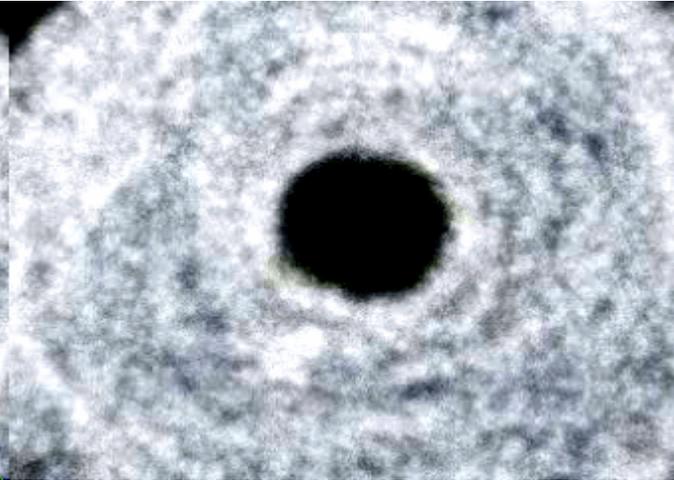
Sgr A = **Schwarzes Loch**



Schwarze Löcher aus Supernovae

massive Supernovaresten = schwarze Löcher ?

Simulation:



Todesspirale beobachtet: **Cygnus XR-1** (Sternbild Schwan, 6000 Lichtjahre)

Schwarze Löcher

Evidenz für schwarze Löcher:

- „klein“: ausgebrannte Sterne (Supernovae-Rest)
- „groß“: Zentrum von (allen ?) Galaxien

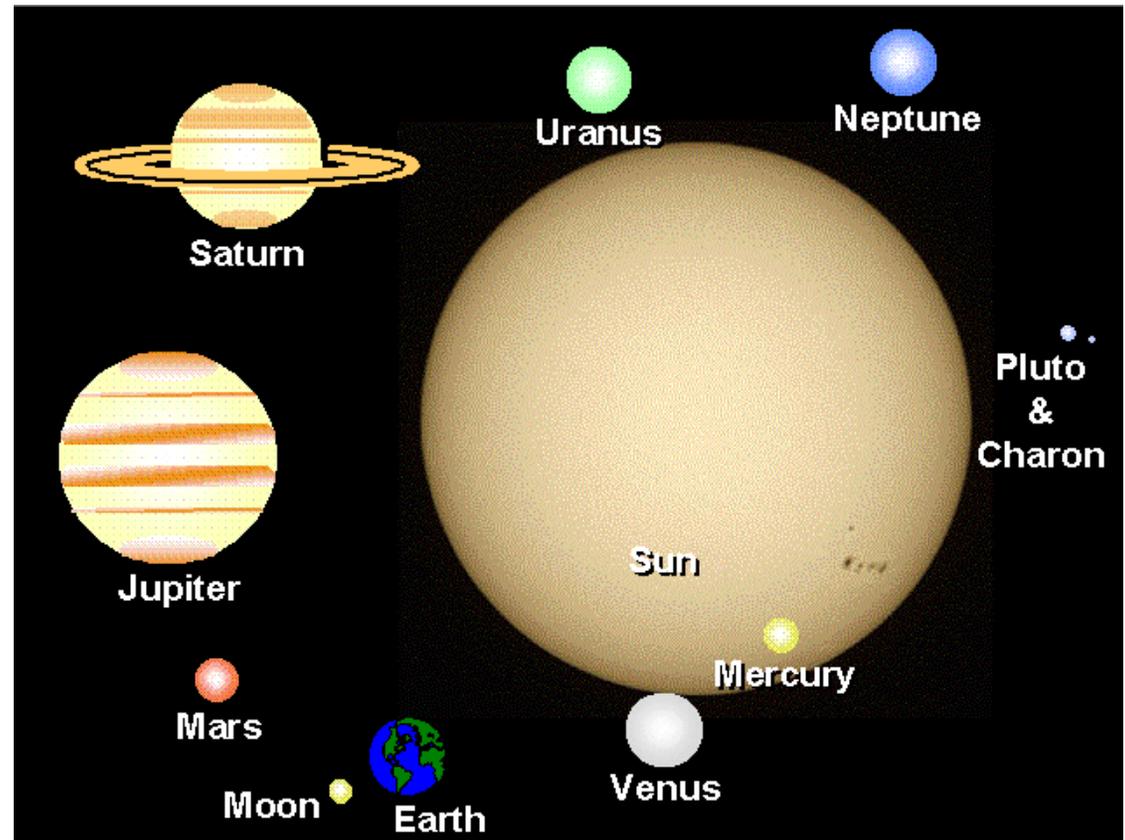
Bedeutung ?

Noch nicht beobachtet:

- Mini-Löcher
- Verdampfende Schwarze Löcher
- ...

Planetensysteme

„Unser“ Sonnensystem:



Gibt es andere
Planetensysteme ?

Werden alle Sterne von Planeten umkreist ?

Gibt es erdähnliche Planeten ?

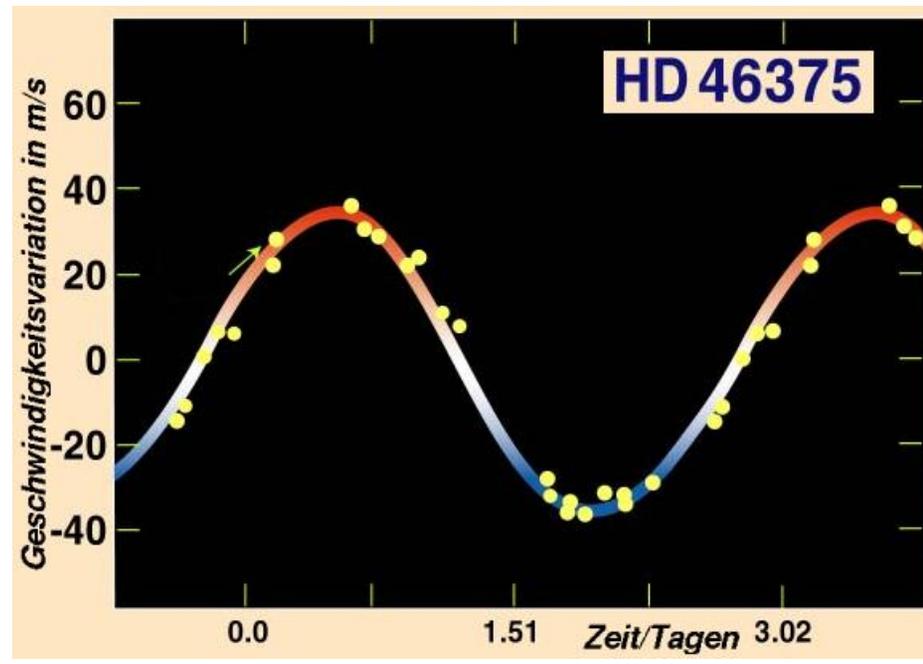
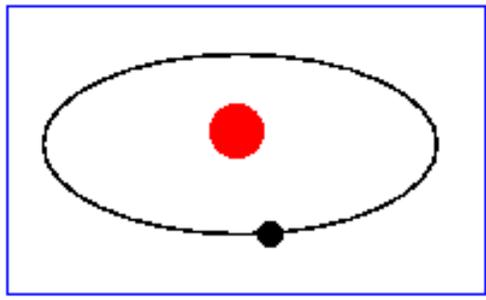
Gibt es extraterrestrisches Leben ?

Ja! bereits ~ 100 Planeten gefunden !

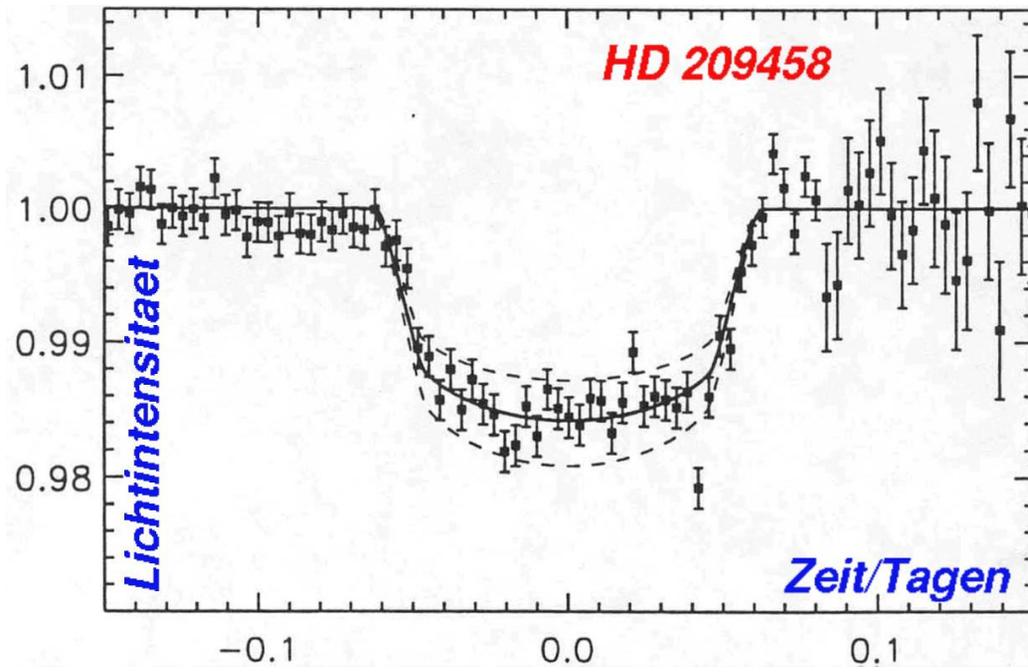
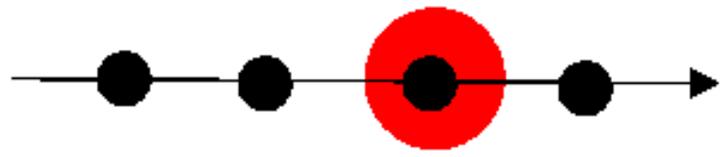
Planetensysteme

Nachweismethoden:

a) Stern „wackelt“ periodisch:



b) Stern wird periodisch verdunkelt:



Planetensysteme



Lebewesen wurden
leider noch nicht
gefunden....

Bisherige Beobachtungen zeigen:

Planetensysteme eher Regel als Ausnahme

Planeten groß und nahe am Stern (?)

Kein erdähnlicher Planet

Zusammenfassung

„goldenes Zeitalter der Kosmologie“

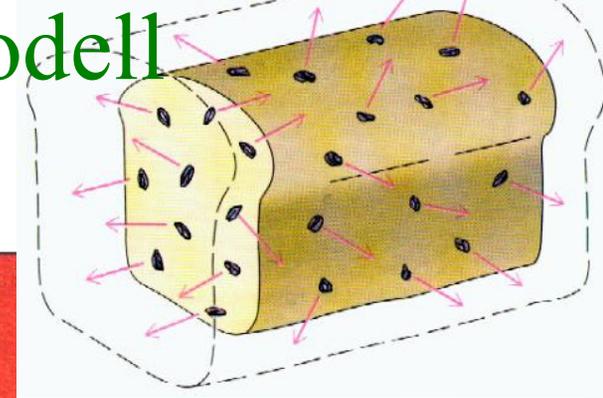
Faszinierende neue Ergebnisse,
die unser Weltbild prägen werden

ABER: Viele Resultate neu und

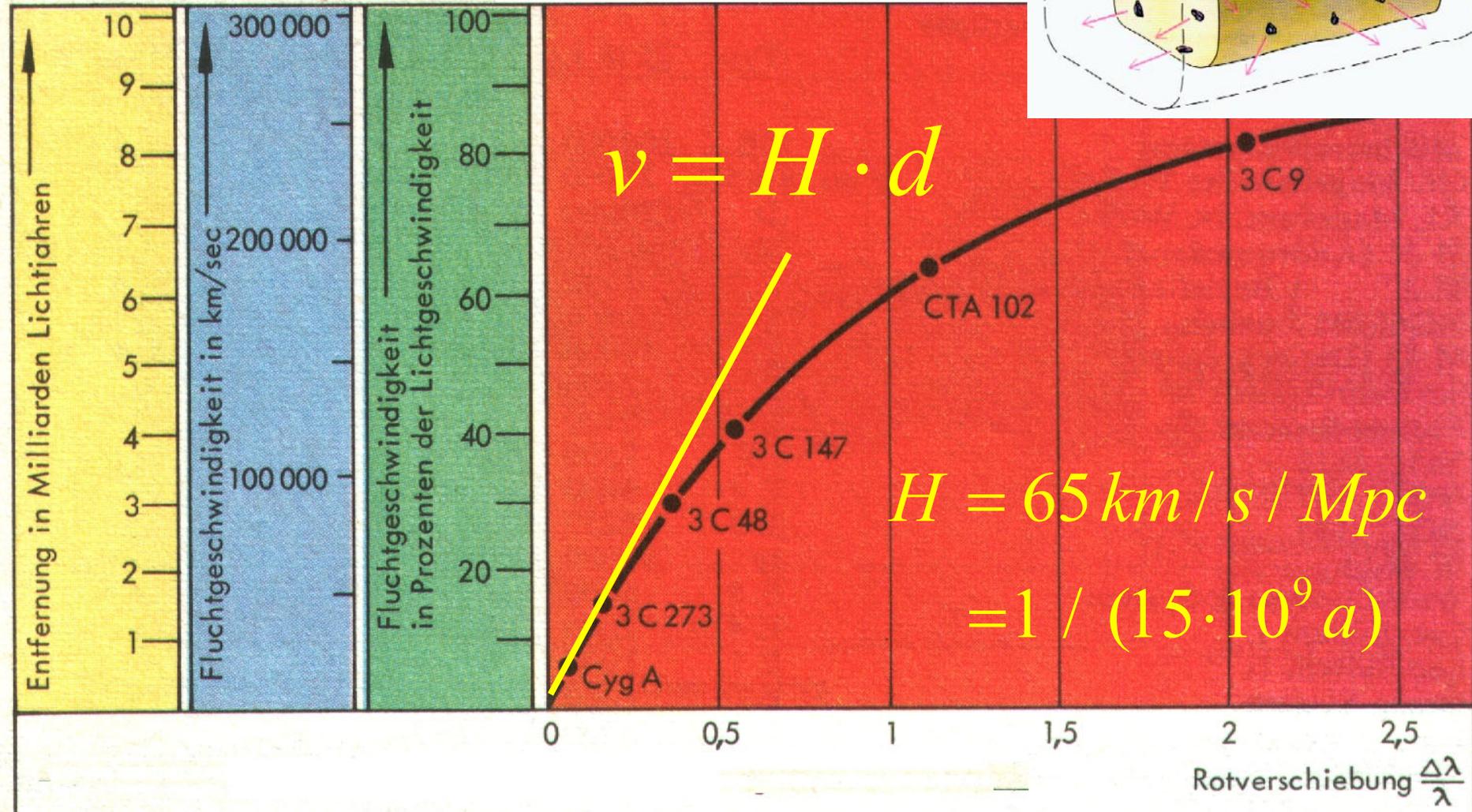
Interpretationen nicht eindeutig!

... often wrong but never in doubt...

Anhang A: Big-Bang - Modell

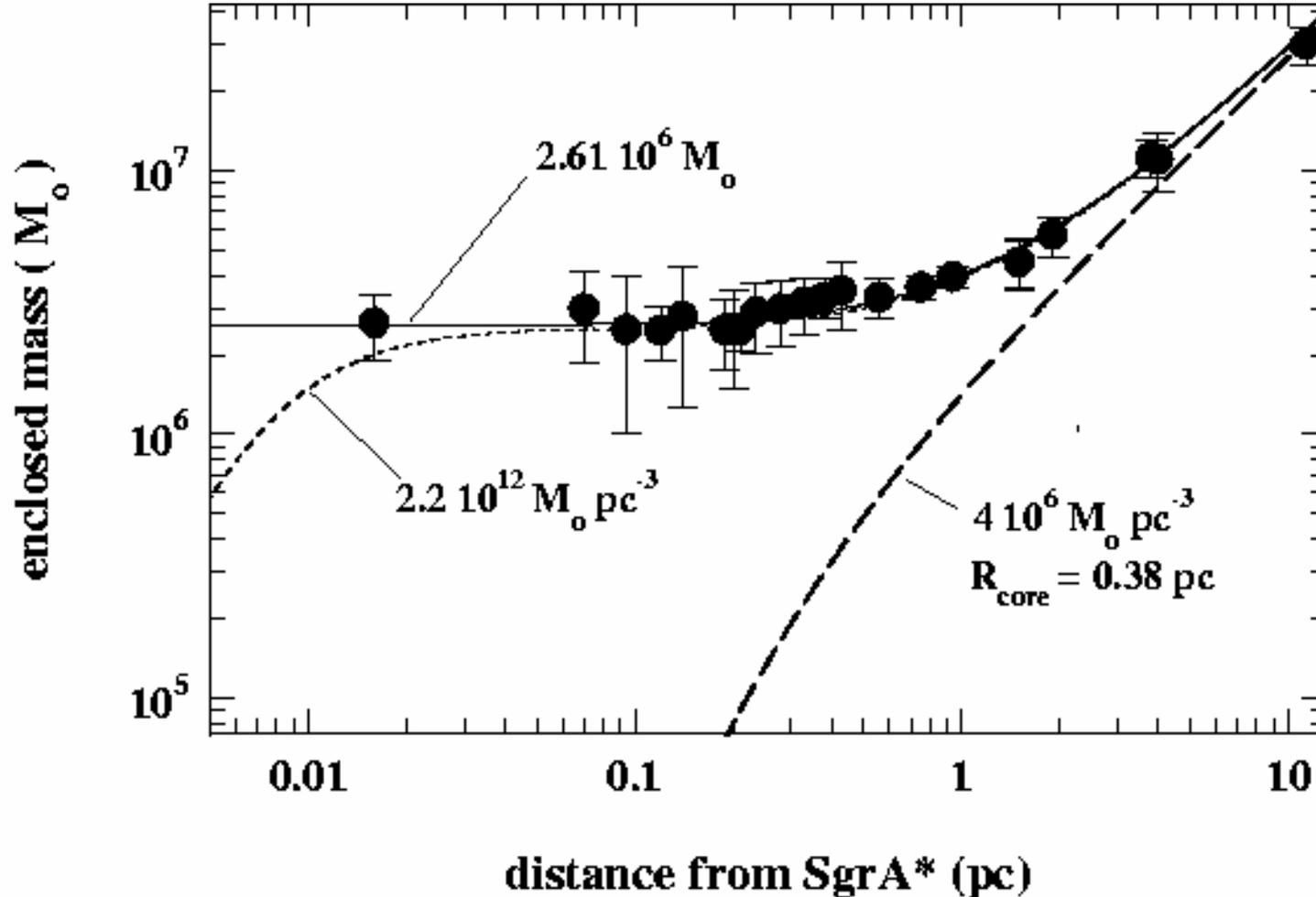


Hubble 1929: Universum expandiert



Hoyle 1950: „Big Bang“

Anhang B: Sagittarius A



infrarot, Geschwindigkeiten bis 1000 km/s !

Anhang C: Messung der Expansion

Supernovae Typ Ia
= „Standardkerze“

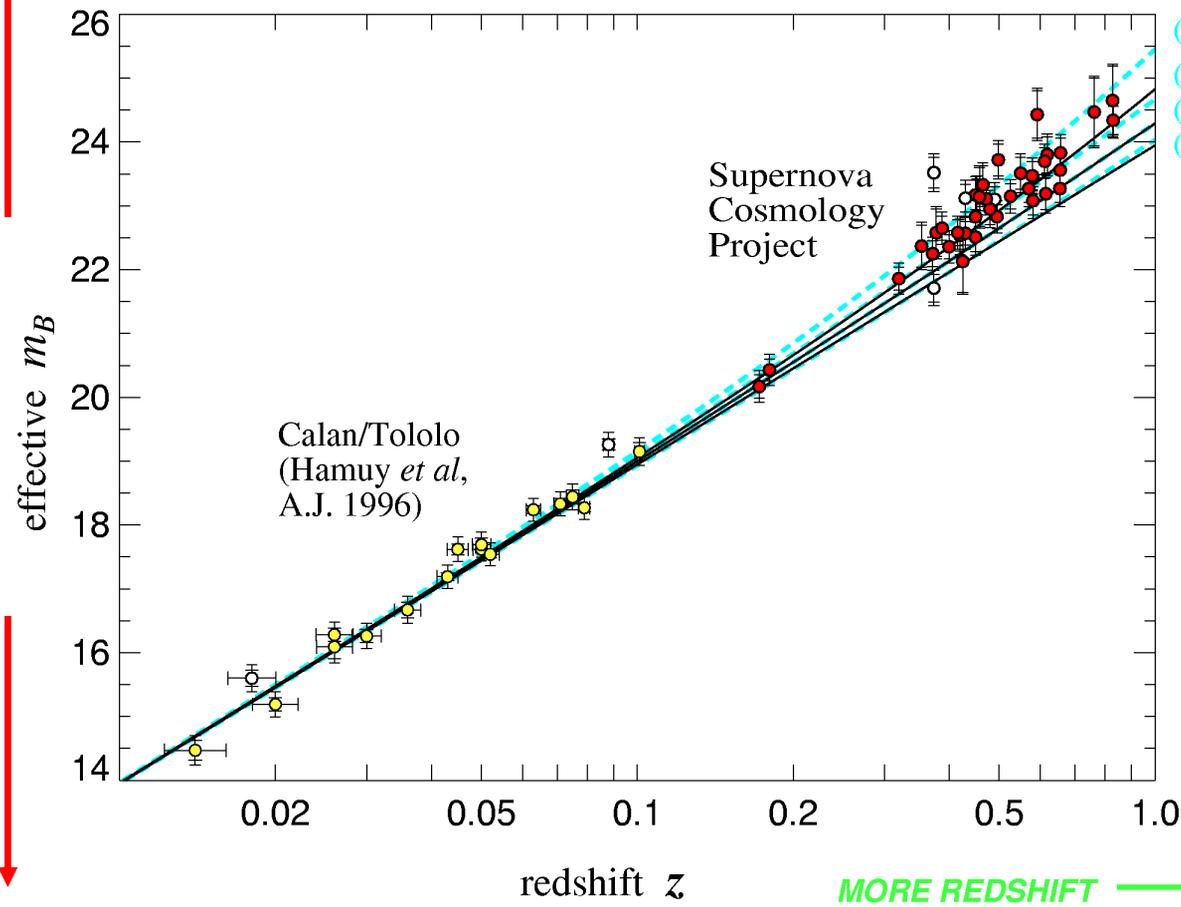
Entfernung ~ Alter

Helligkeit

FAINTER
(Farther)
(Further back in time)

MORE REDSHIFT →
(More total expansion of universe
since the supernova explosion)

Perlmutter, et al. (1998)



- $(\Omega_M, \Omega_\Lambda) =$
- $(0, 1)$
 - $(0.5, 0.5)$
 - $(1, 0)$
 - $(1.5, -0.5)$

Flat $\Lambda = 0$

$$d = v \cdot t$$

$$\log d = \log v + \log t$$

Fluchtgeschwindigkeit

Anhang D: Supernova-Explosion

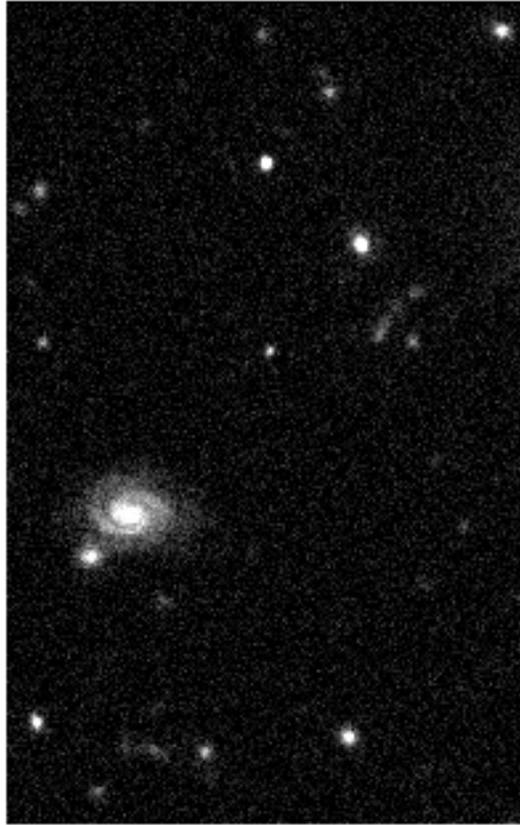


Bild 1

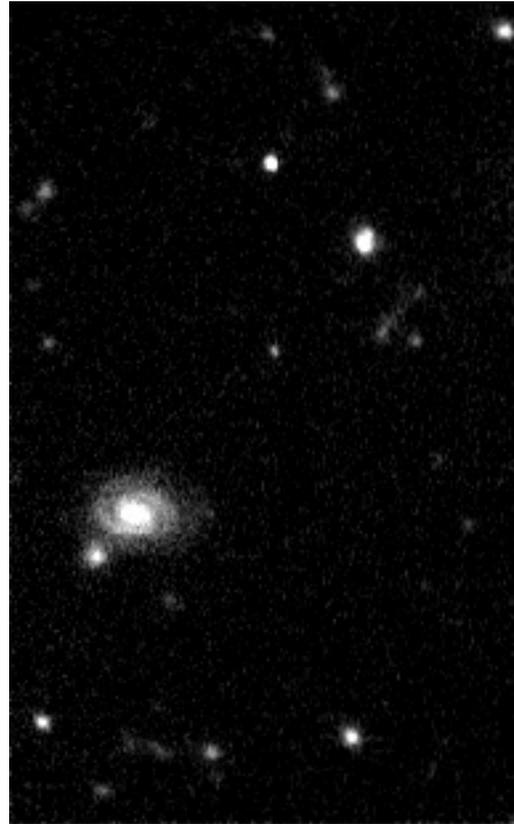


Bild 2

(3 Wochen später)

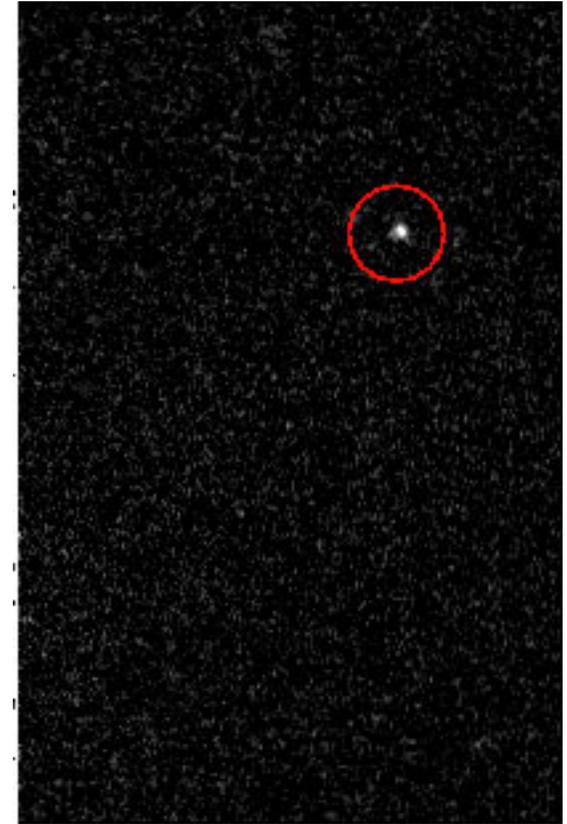
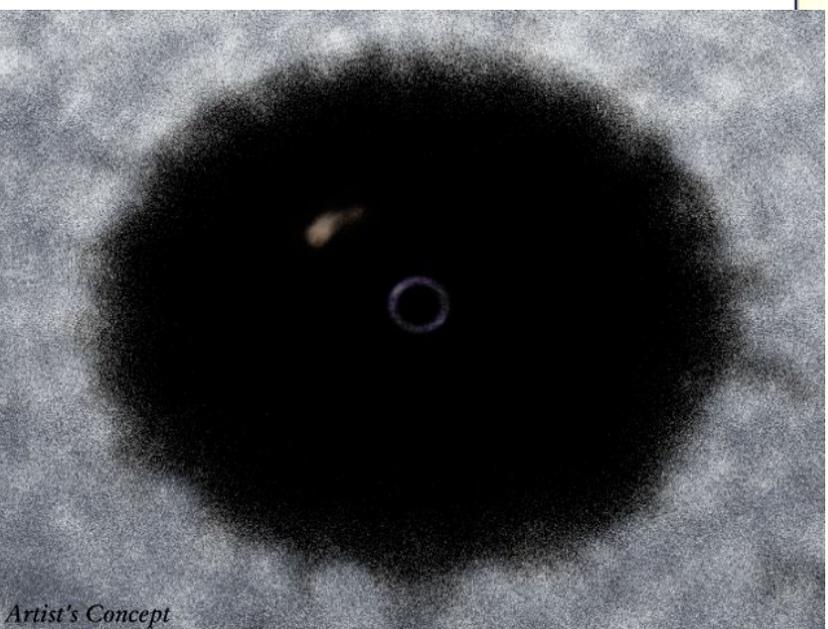
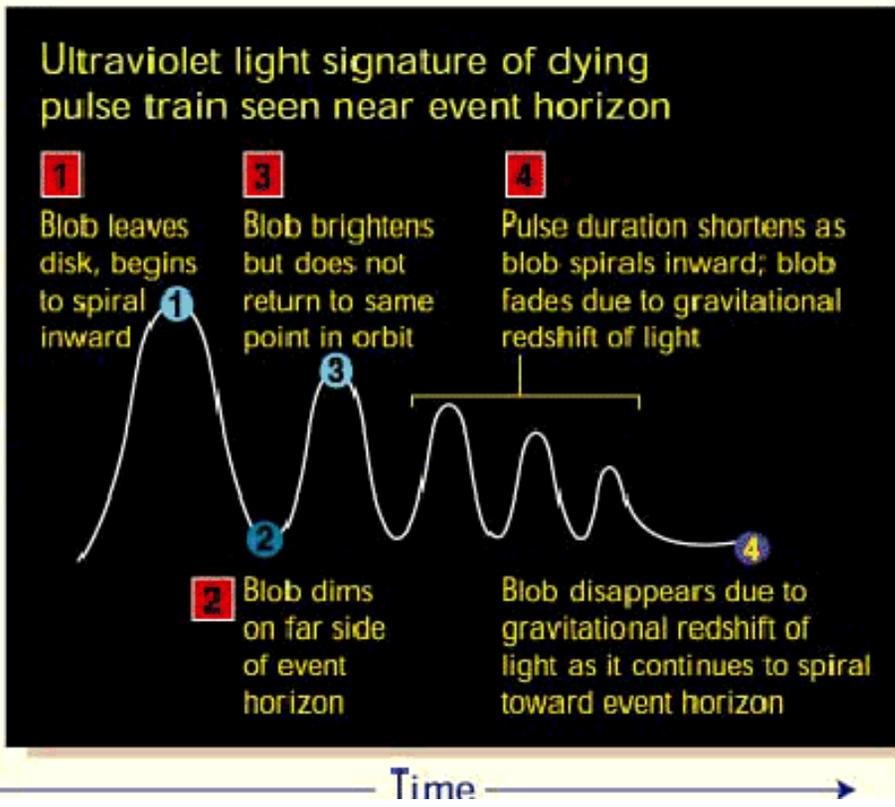
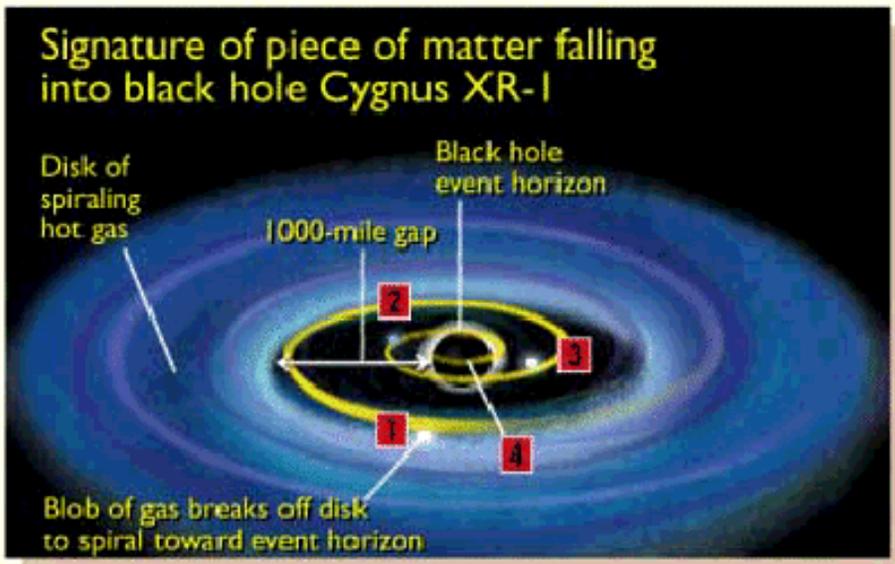


Bild 2 – Bild 1

Anhang E: Schwarzes Loch Cygnus XR-1

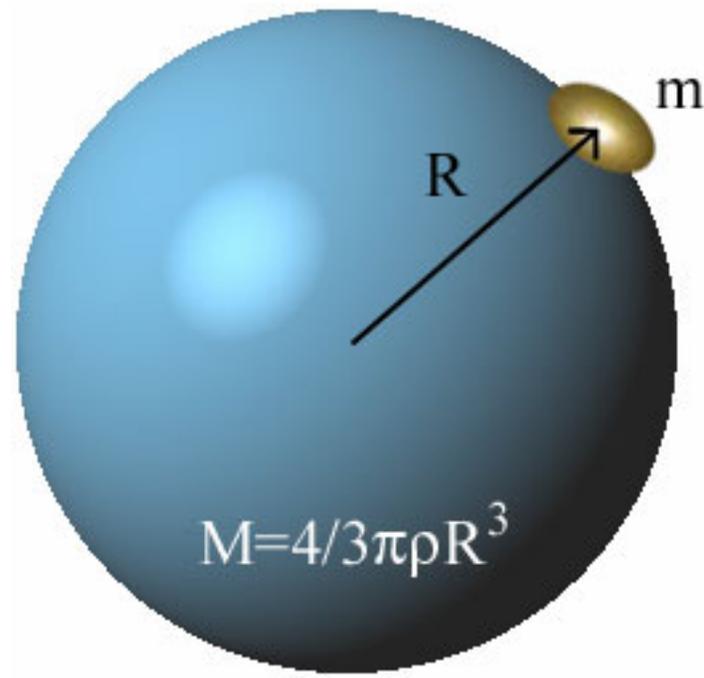


Anhang F: Berechnung der Evolution

ohne kosmologische Konstante:

$$m \cdot \frac{d^2 R(t)}{dt^2} = -G_N \cdot \frac{m \cdot M}{R(t)^2}$$

$$M = \frac{4\pi}{3} \rho(t) R^3(t) = const$$



mit kosmologischer Konstanten Λ :

$$m \cdot \frac{d^2 R(t)}{dt^2} = -G_N \cdot \frac{m \cdot M}{R(t)^2} + m \cdot \Lambda \cdot R(t) / 3$$

abstossend

grosse Entfernung!

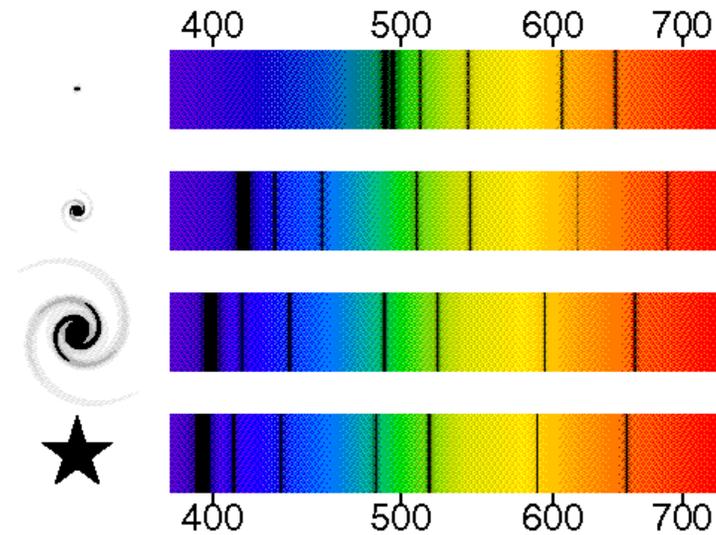
Anhang G: Evolution - Messungen

Ergebnis: **Beschleunigte Expansion !**

Wie misst man R , und dR/dt und $dR/dt(t)$?

Relativ einfach:

- dR/dt aus Rotverschiebung
der Wellenlängen



Schwierig:

- absolute Entfernung R
aus scheinbarer Helligkeit ($\sim 1/R^2$) von
„Standardkerzen“ = Supernovae vom Typ Ia



Zeitabhängigkeit:

- weit entfernte Galaxien = alt !