

Neues aus Kosmologie und Astrophysik

- Überblick: Unser Universum
- Fragen und Antworten (?)
 - Dunkle Materie
 - Raumkrümmung
 - Evolution des Kosmos
 - Schwarze Löcher
 - Planetensysteme
 - Hochenergetische kosmische Strahlung
- Forschung in Aachen
 - AMS
 - CMS
 - Kosmische Strahlung (?)

Thomas Hebbeker
RWTH Aachen
November 2001

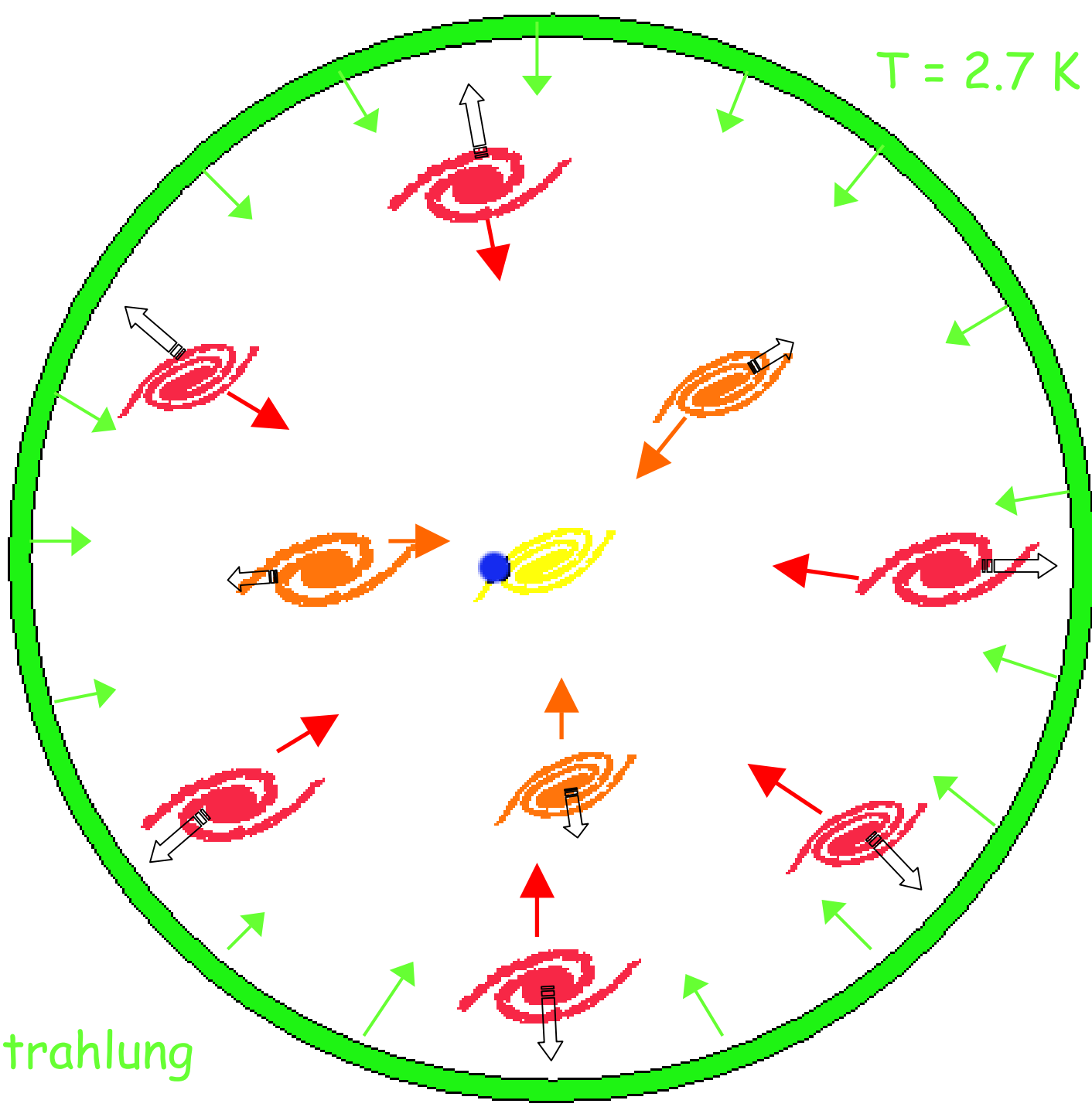
Das heutige Universum

Materie:

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

Strahlung:

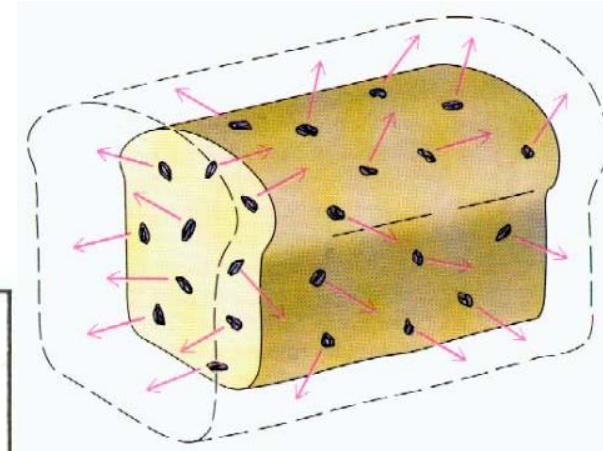
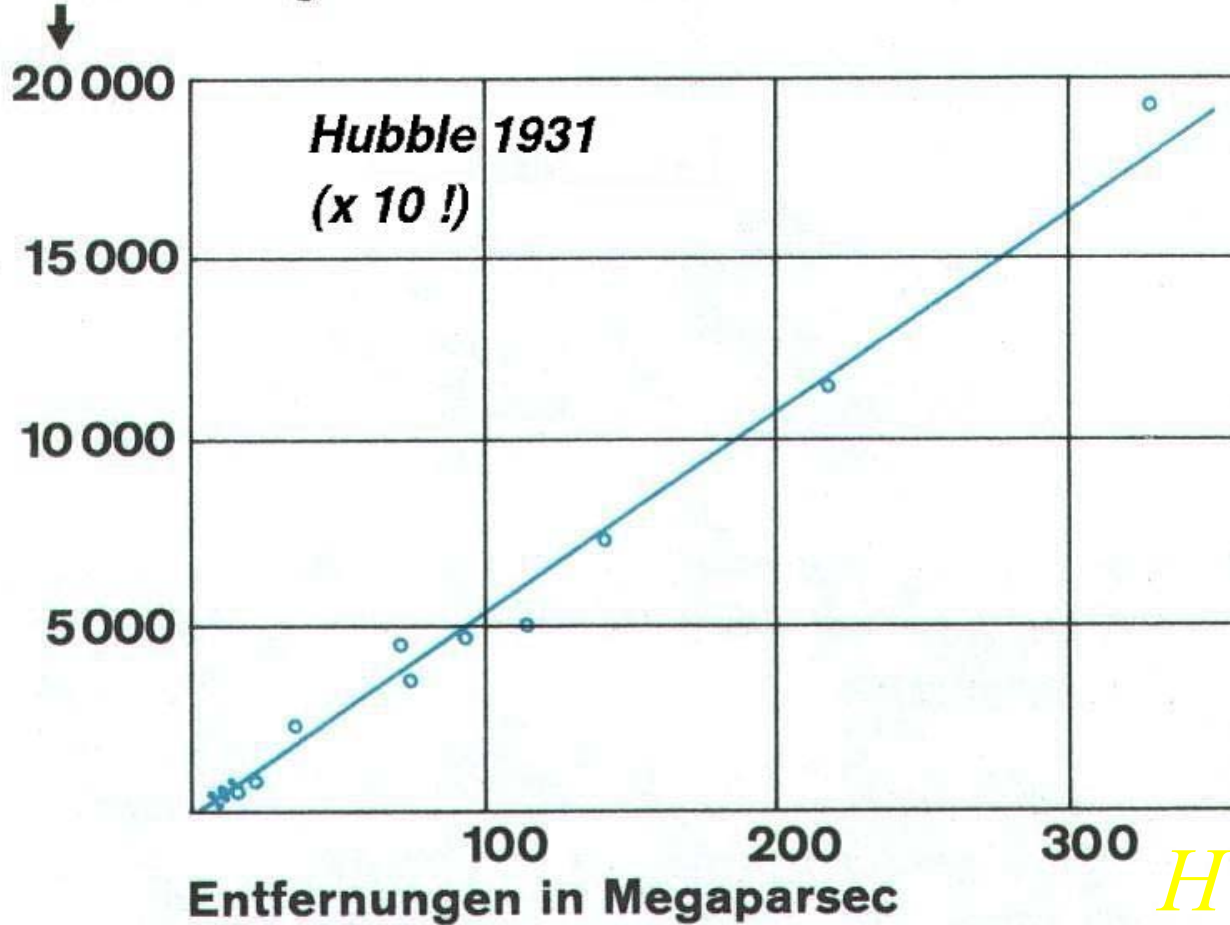
- Sternenlicht
- Hintergrundstrahlung



Big-Bang - Modell

Hubble 1929: Universum expandiert

Geschwindigkeit in km/sec



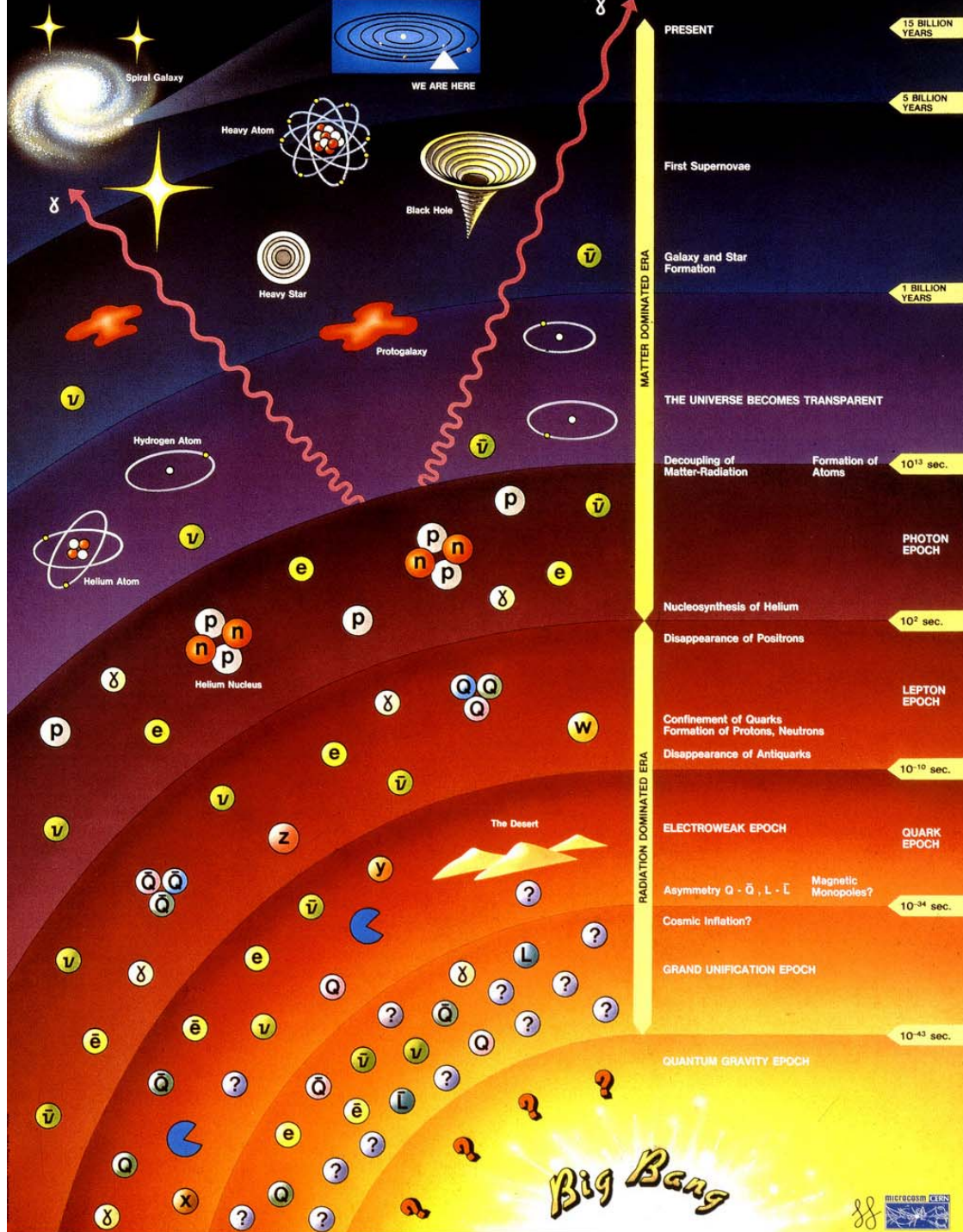
$$v = H \cdot d$$

$$H = 65 \text{ km} / \text{s} / \text{Mpc}$$

$$= 1 / (15 \cdot 10^9 \text{ a})$$

Hoyle 1950: „Big Bang“

Evolution des Universums



10^{10} a heute T.Hebbeker

$300\,000$ a Atome

3 min Kerne

10^{-10} s

Fragen und Antworten (?)

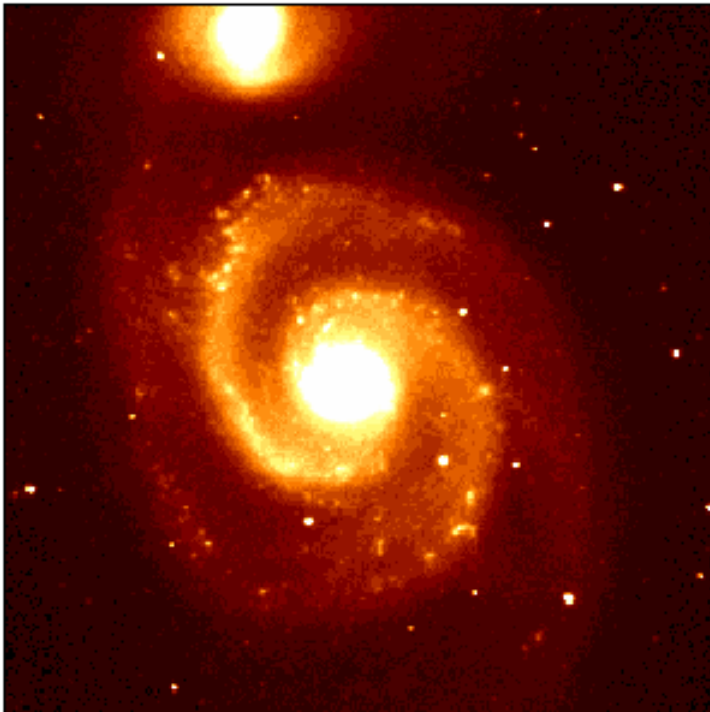
- Dunkle Materie
- Raumkrümmung
- Evolution des Kosmos
- Schwarze Löcher
- Planetensysteme
- Hochenergetische kosmische Strahlung

Dunkle Materie ?

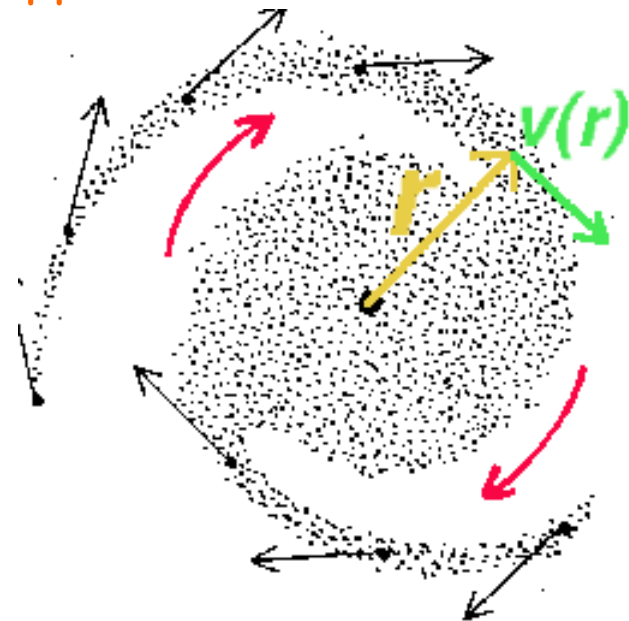
Gibt es große Mengen nichtleuchtender Materie im Kosmos ?

➡ Nachweis: Gravitation!

Untersuchung von
Spiralgalaxien:



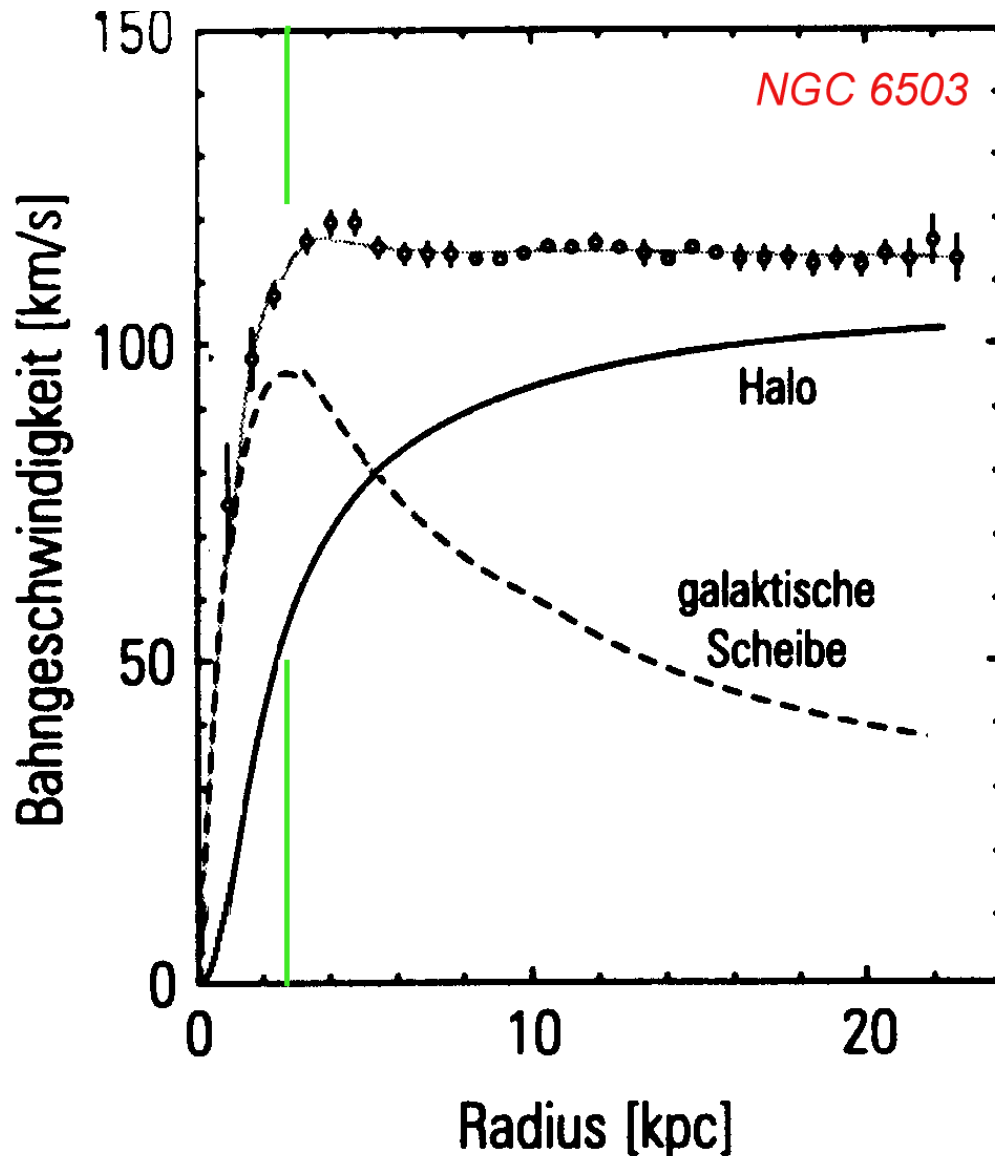
Messung der
Rotationsgeschwindigkeit via
Doppler-Effekt:



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

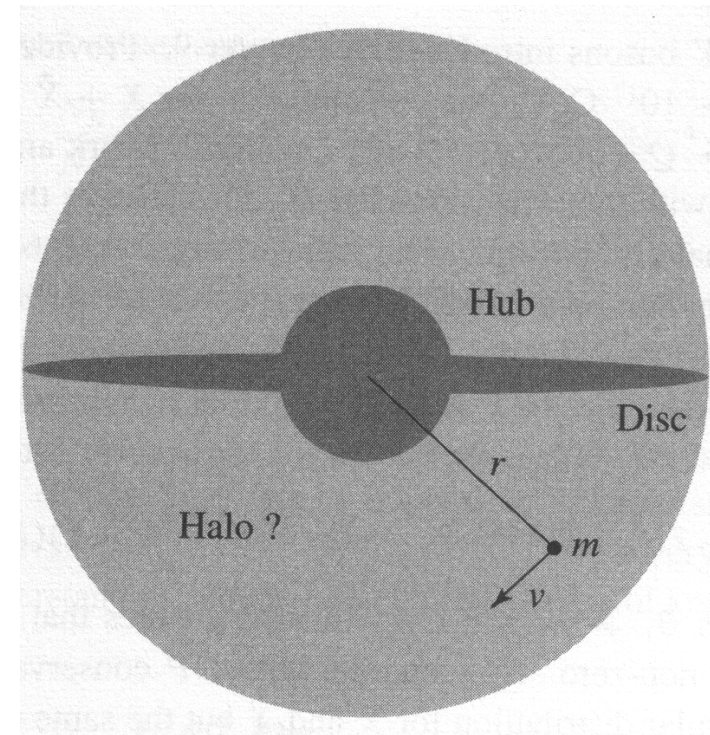
Dunkle Materie !

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 ?

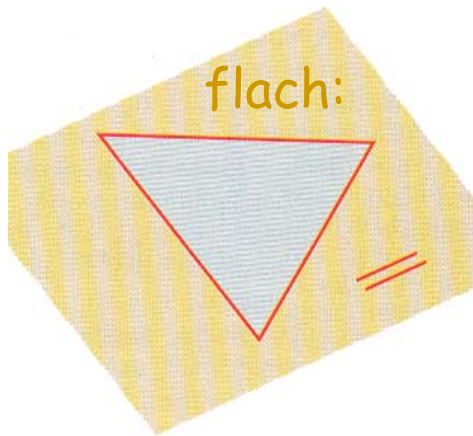
favorisierte Hypothese!

Ist der Raum „gekrümmt“ ?

Symptom für nichteuklidischen=gekrümmten Raum:

Winkelsumme Dreieck $\neq 180^0$

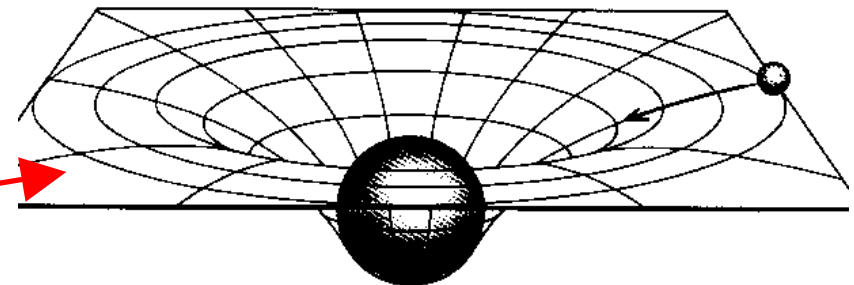
Veranschaulichung in 2 Dimensionen:



Universum ? Einstein: ja!

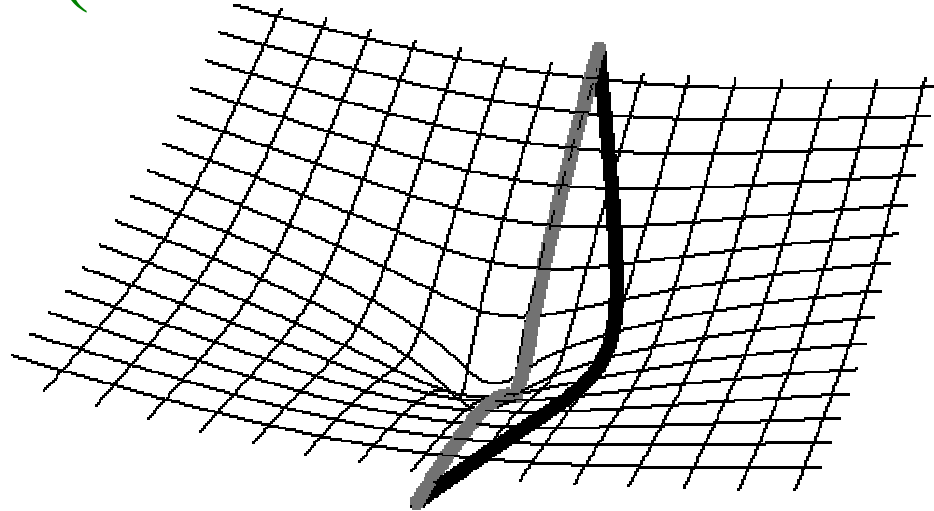
„lokal“: Gravitationsfelder

„global“ (Kosmos): vielleicht

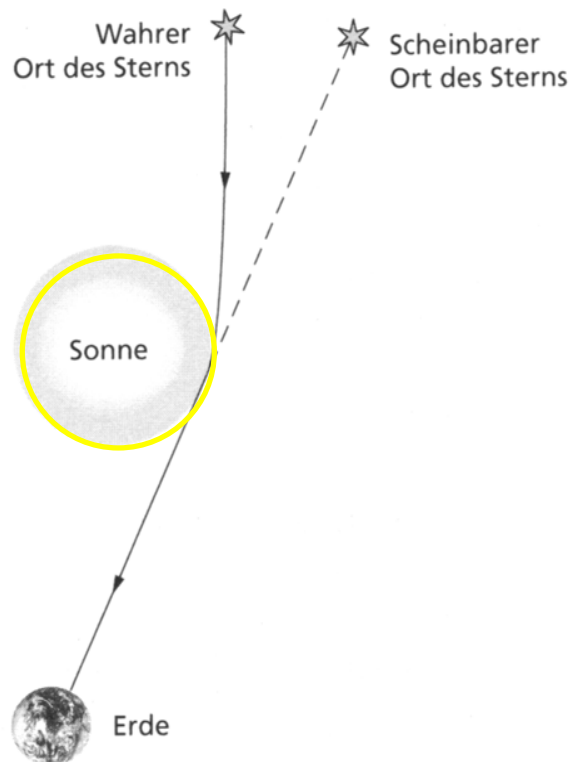


Gravitationslinsen (lokale Raumkrümmung)

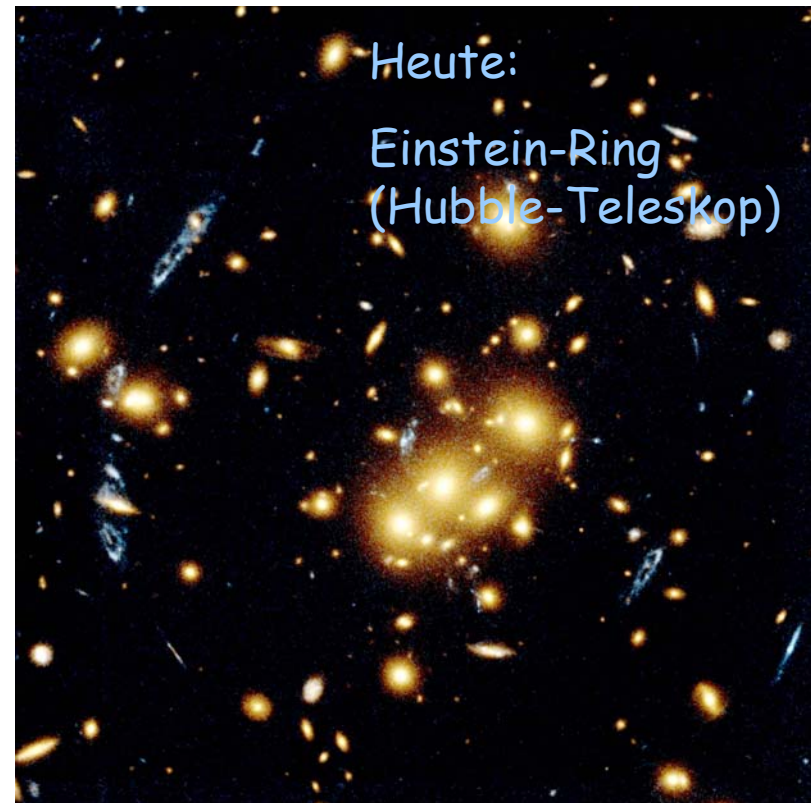
Lichtstrahlen
= Geodäten
(minimale Laufzeit)



Erste Beobachtung:
Lichtablenkung
nahe Sonne
(Eddington et al
1919)



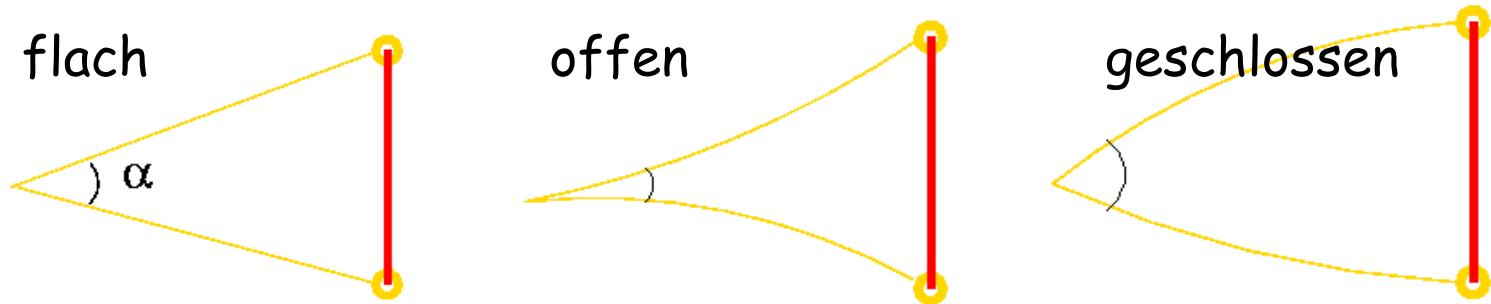
Heute:
Einstein-Ring
(Hubble-Teleskop)



Raumkrümmung im Universum (global) ?

Messung der Raumkrümmung:

Winkel-
messung:



Zusammenhang mit Massendichte (materiedominiertes Universum) :

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

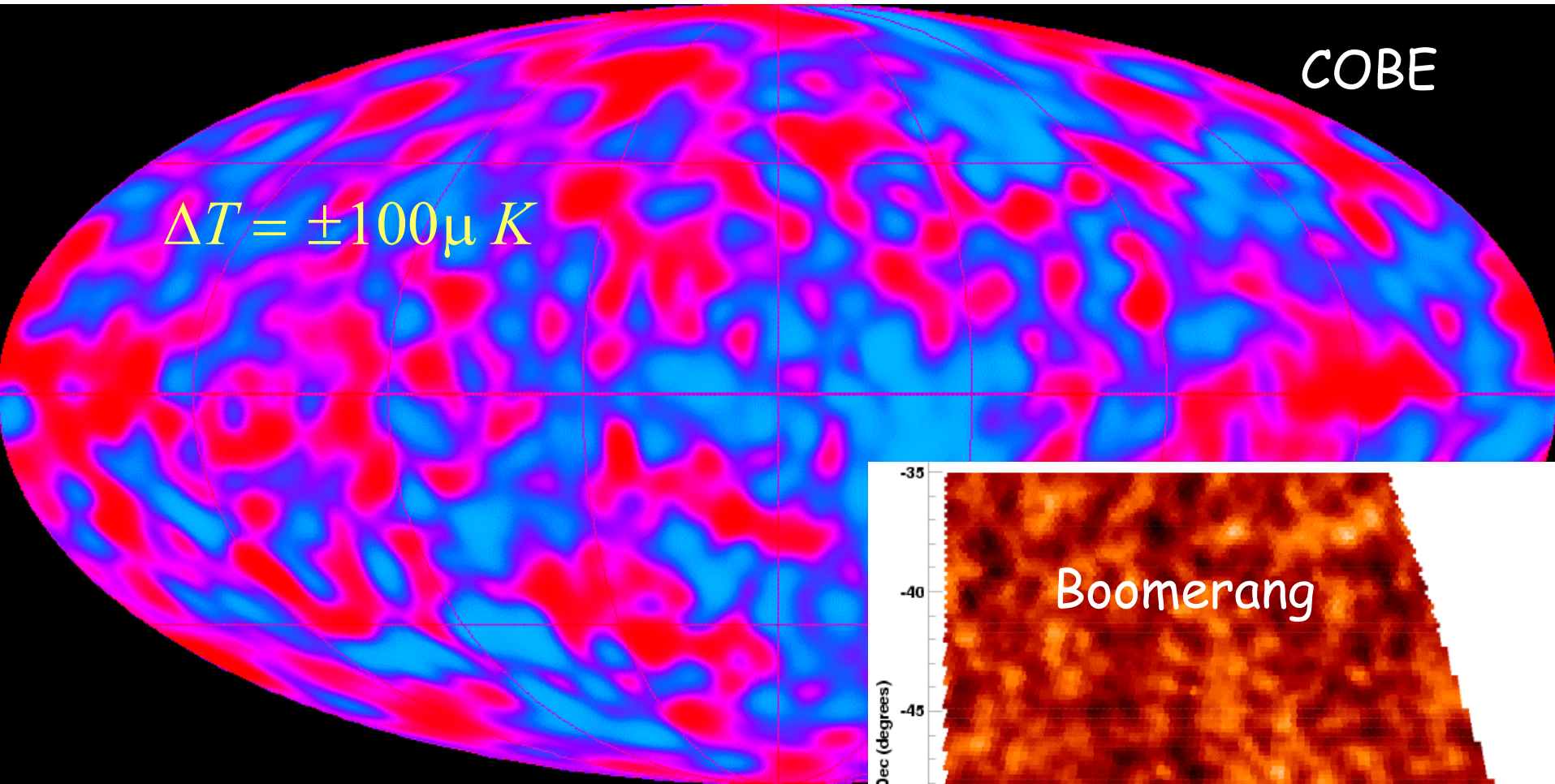
Falls $\Omega_m = 1$:

kinetische Energie + potentielle Energie = 0

Raum flach=euklidisch

unendliche Expansion mit abnehmender Geschwindigkeit

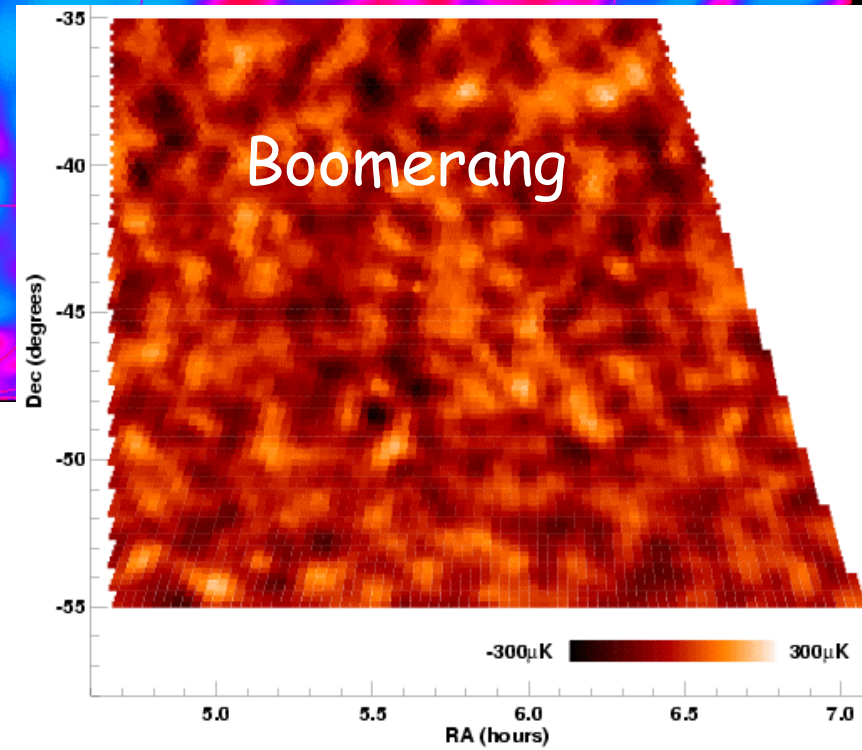
Die kosmische Hintergrundstrahlung



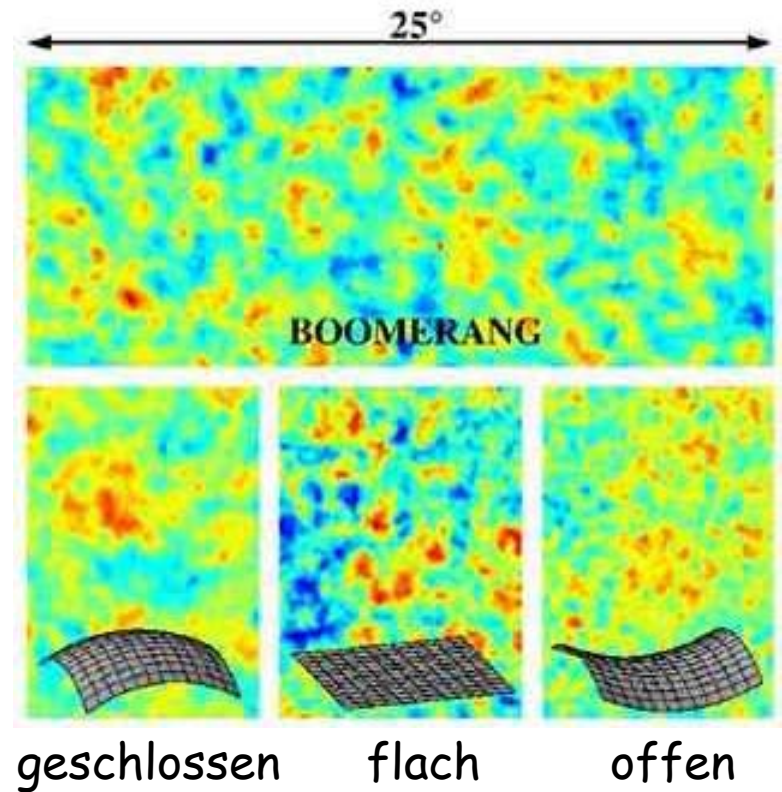
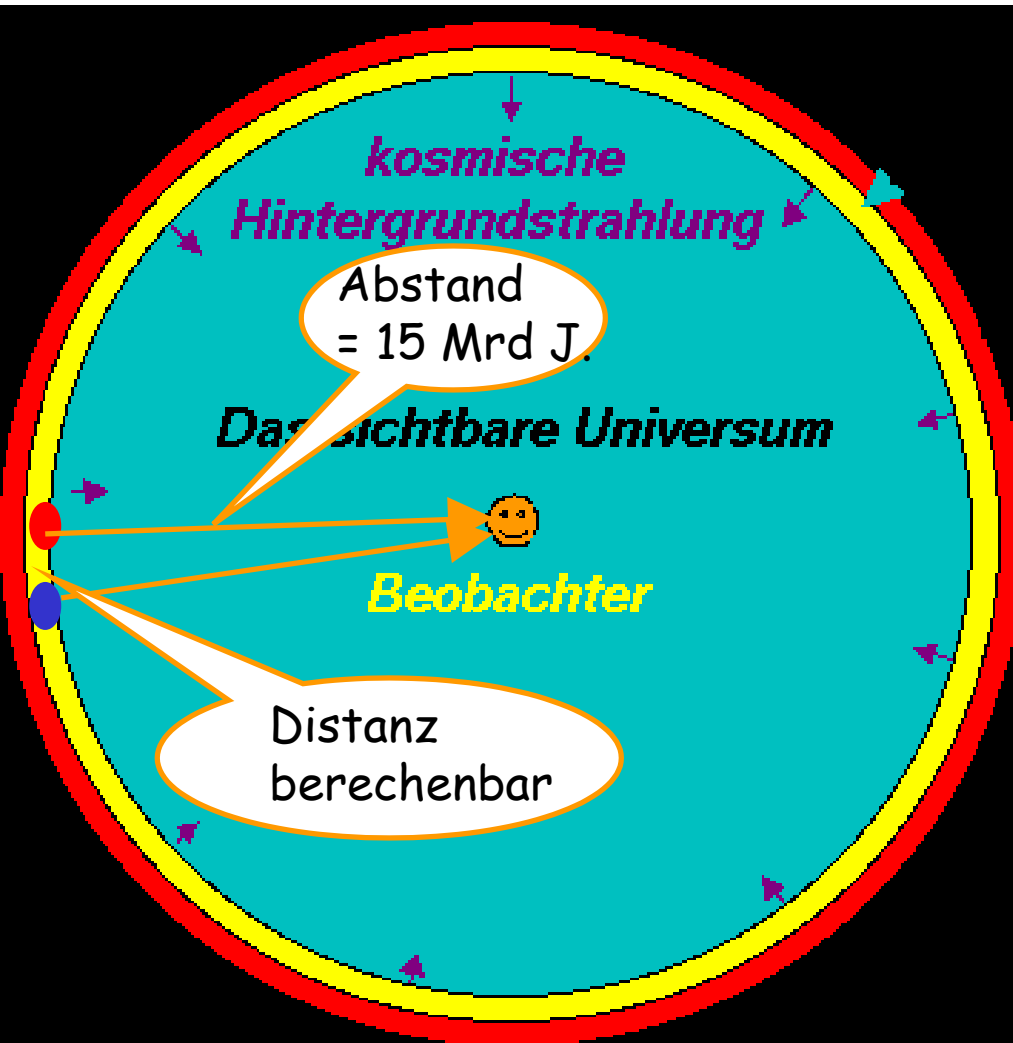
Usprung: 300000 Jahre nach Urknall

$\langle T \rangle = 2.7 \text{ K}$

400 Photonen/ccm



Die Raumkrümmung im Universum



passt am besten:

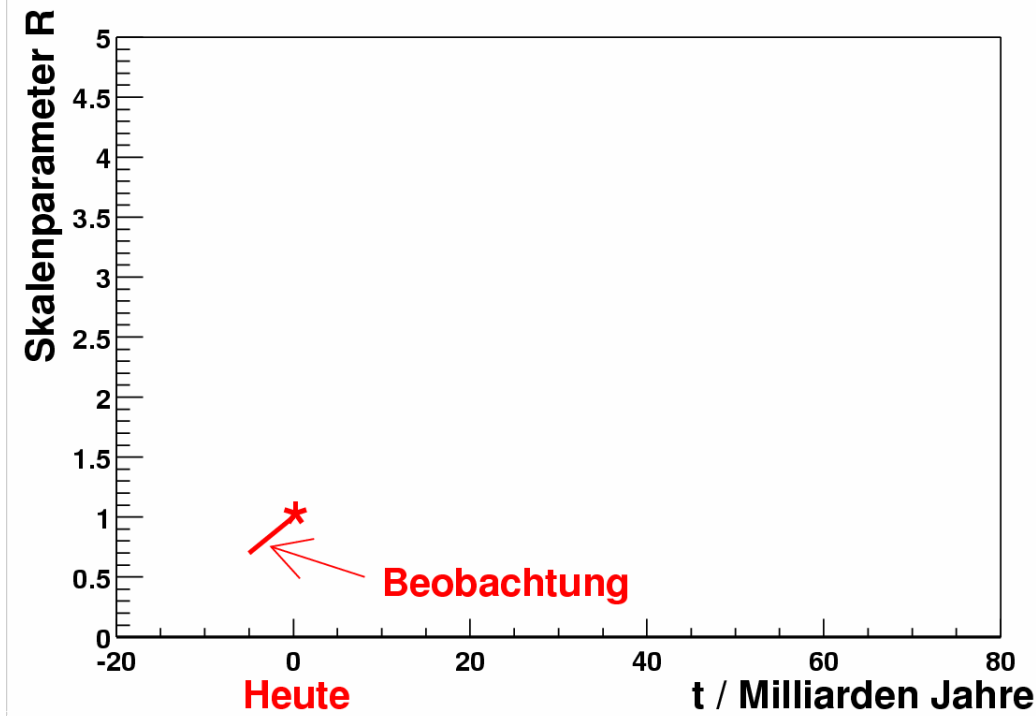
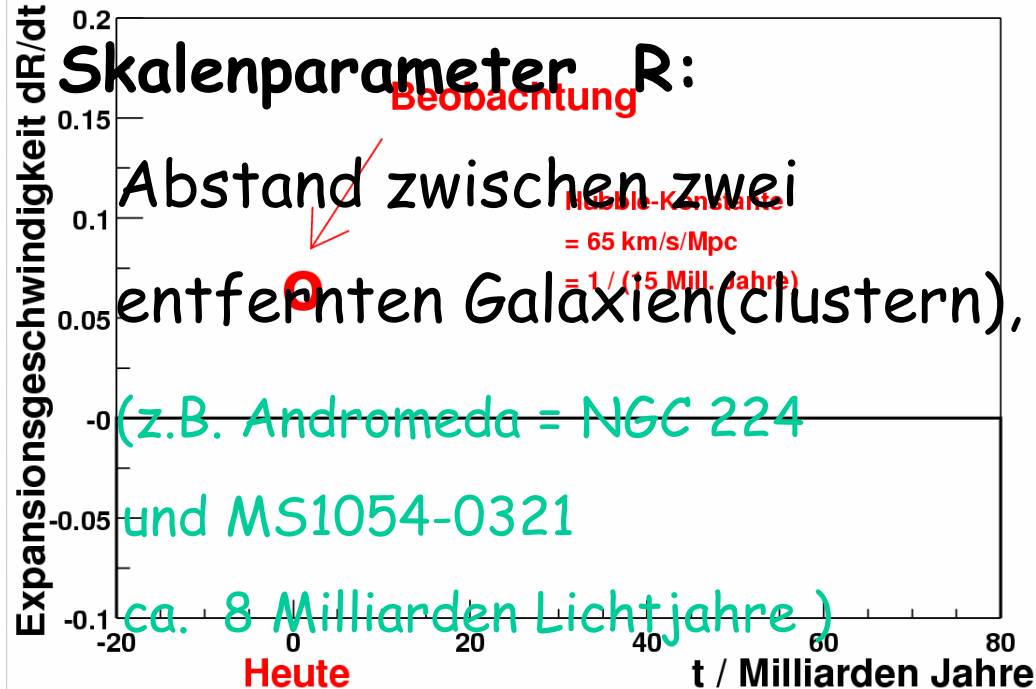
$$\Omega = 1.06 \pm 0.06$$

Evolution des Universums I

Messung der Expansionsgeschwindigkeit

Einheit: 1 / Milliarden Jahre

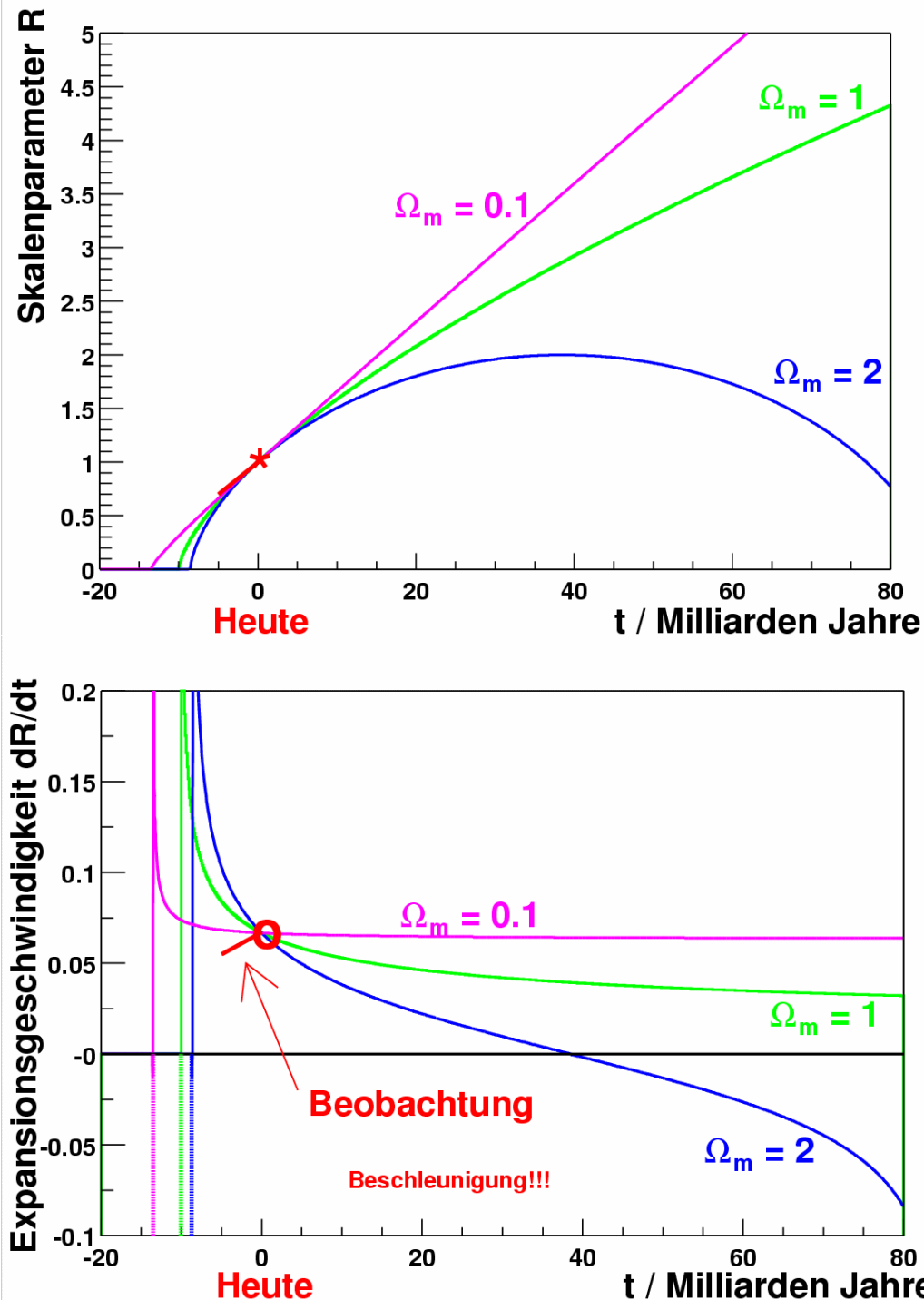
Einheit: dimensionslos



Evolution des Universums II

Vergleich mit Big-Bang-Modellrechnungen

Messung der Expansions-Beschleunigung



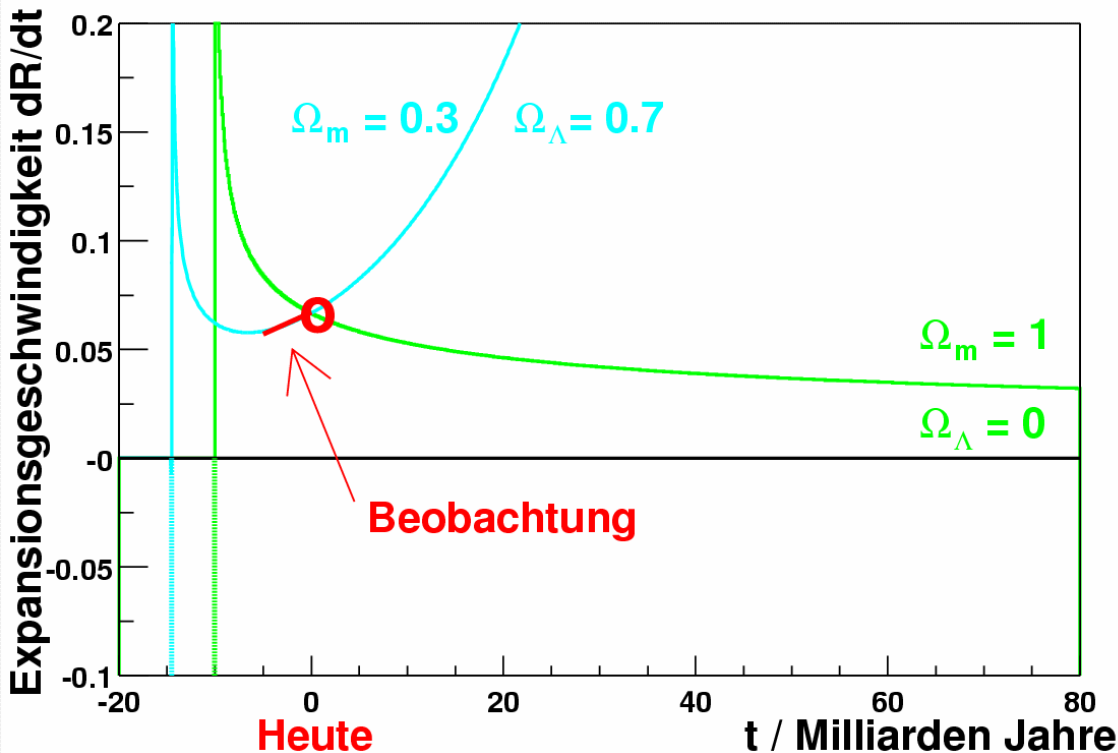
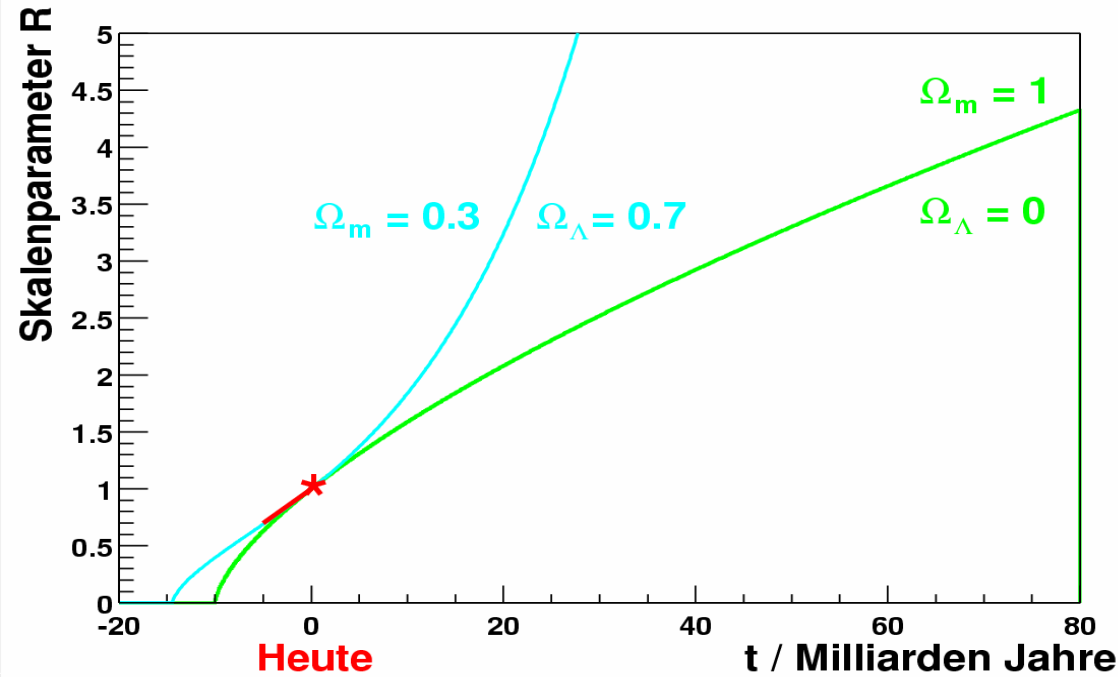
Evolution
wird durch
Massendichte
bestimmt:

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

direkte
Messung
schwierig!

Evolution des Universums III

Erweitertes Modell: Einsteins
„kosmologische Konstante“



Λ

„dunkle
Energie“

wirkt
abstossend!

$$\Omega_m + \Omega_\Lambda = 1$$

da Raum
„flach“

Evolution des Universums IV

Ergebnis: **Beschleunigte Expansion !**

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

Relativ einfach:

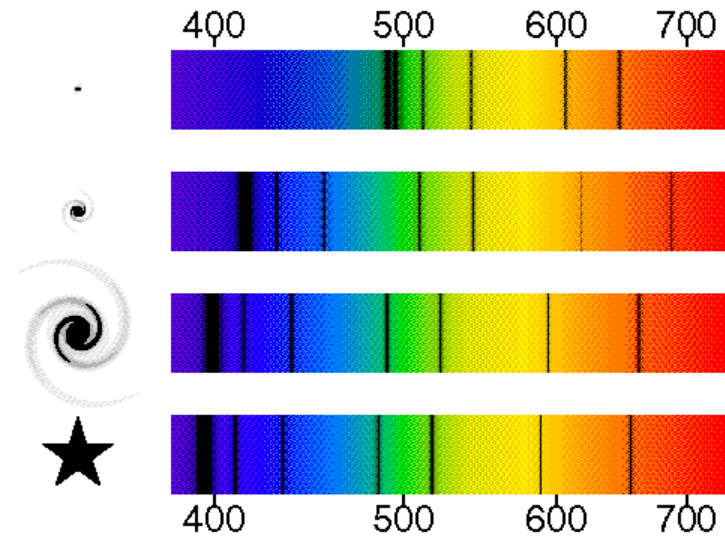
- dR/dt aus Rotverschiebung der Wellenlängen

Schwierig:

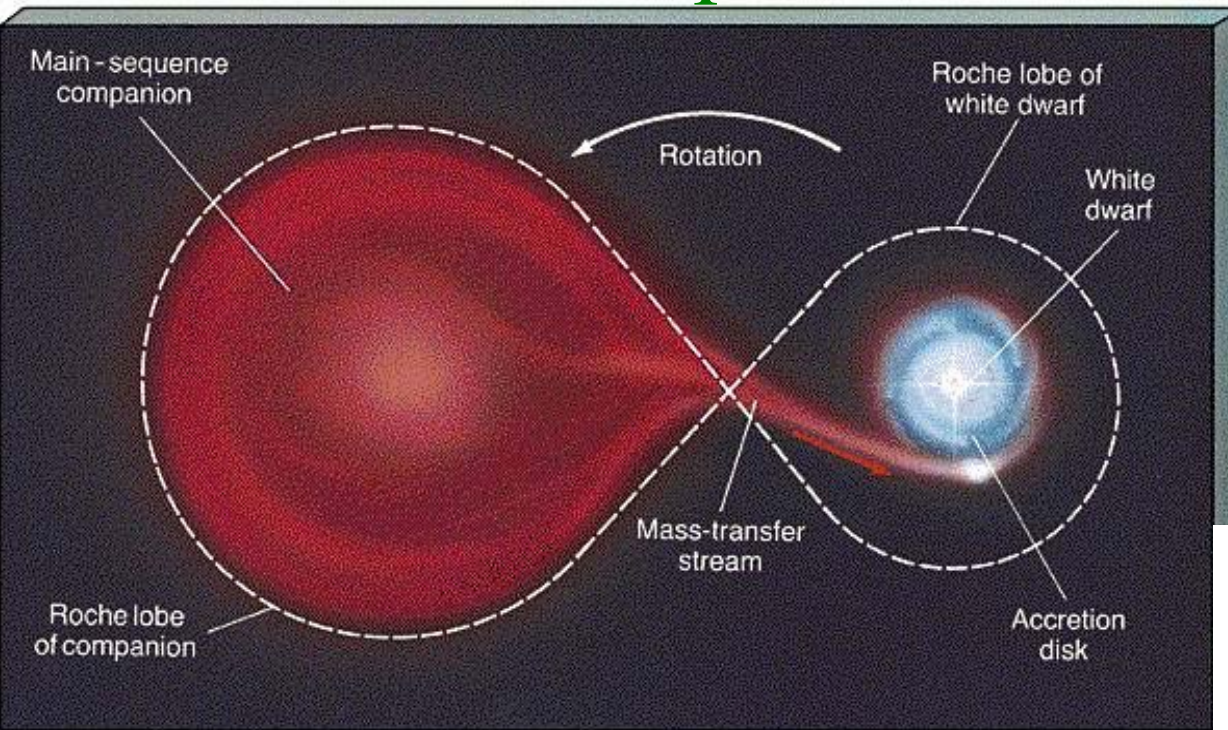
- absolute Entfernung R
aus scheinbarer Helligkeit ($\sim 1/R^2$) von
„Standardkerzen“ = Supernovae vom Typ Ia

Zeitabhängigkeit:

- weit entfernte Galaxien = alt !

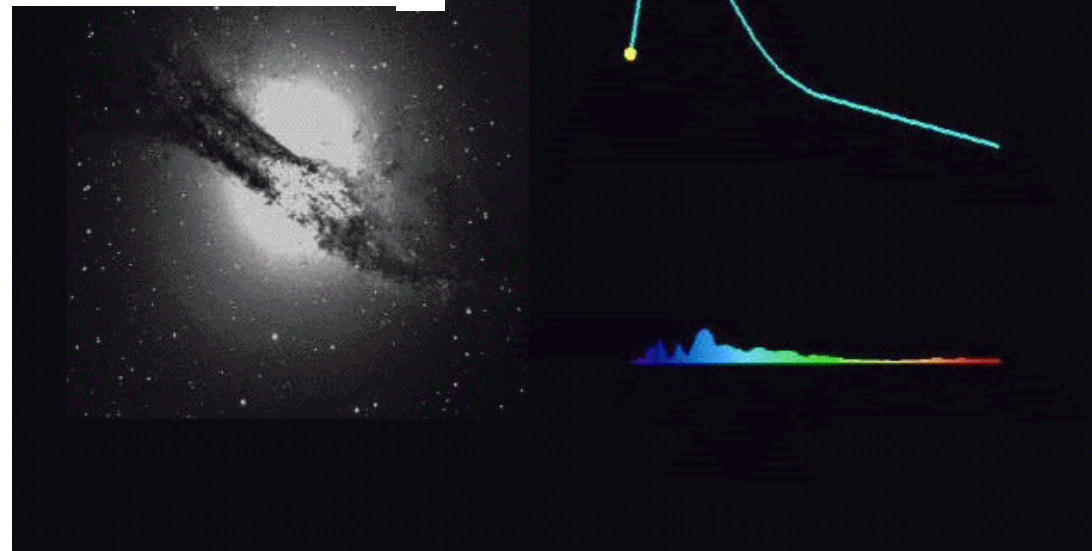


Supernovae Ia



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

Helligkeit:
gleich
groß



Schwarze Löcher in Galaxienzentren



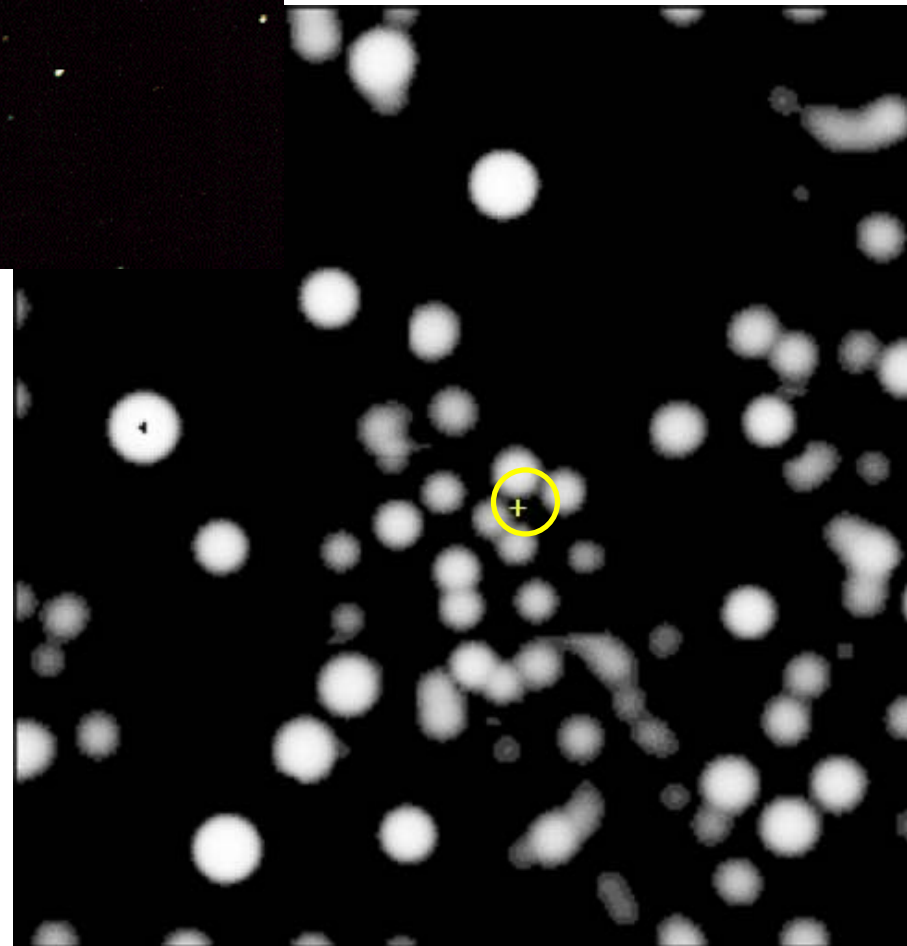
Zentrum der
Milchstrasse

Radioquelle Sgr A

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

Eingeschlossene Masse =
3 Millionen Sonnenmassen

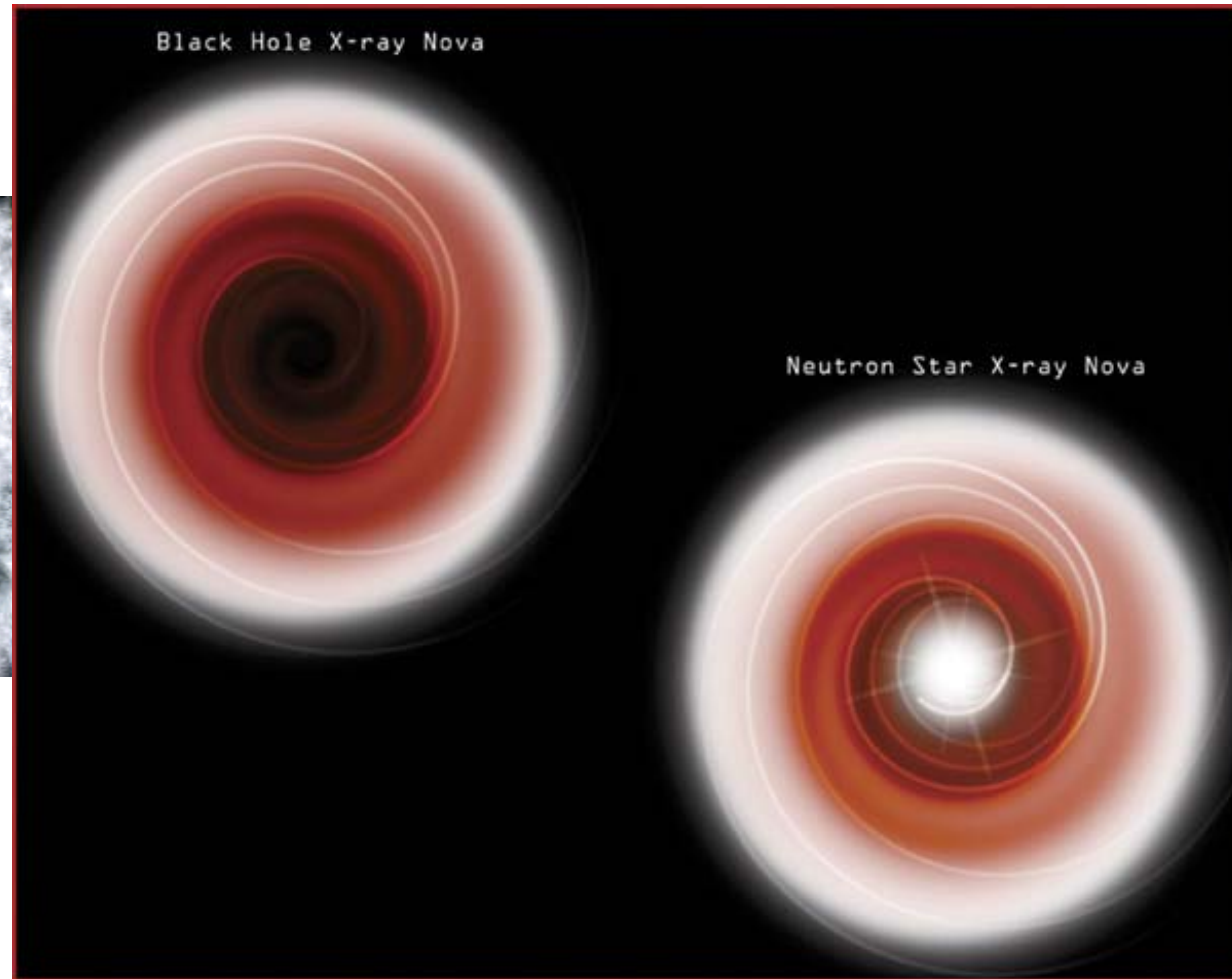
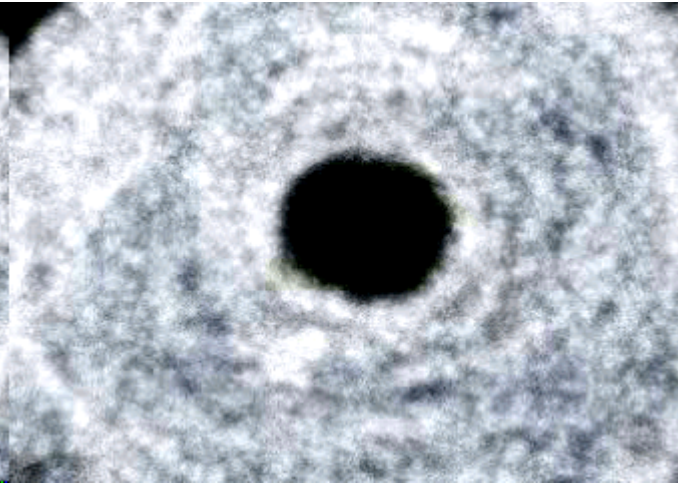
Sgr A = Schwarzes Loch



Schwarze Löcher aus Supernovae

massive Supernovarestes = 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

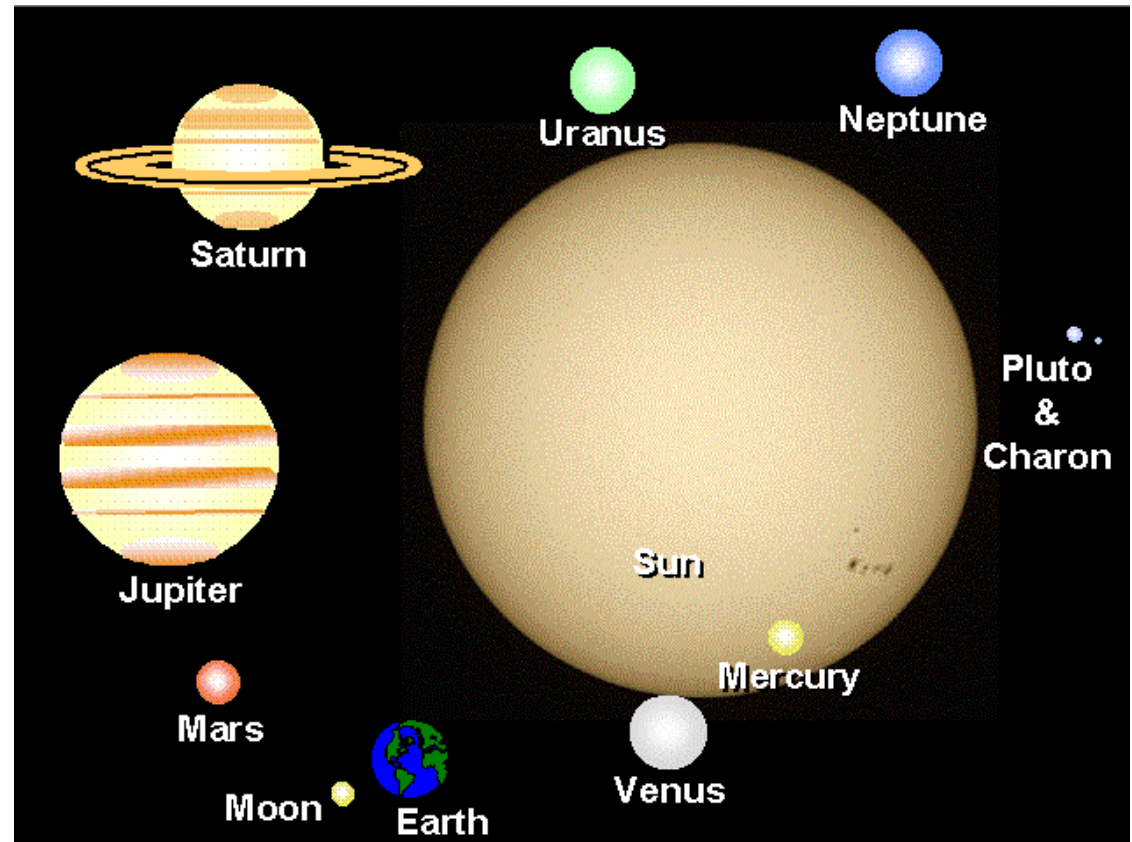
Bedeutung ?

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 ?

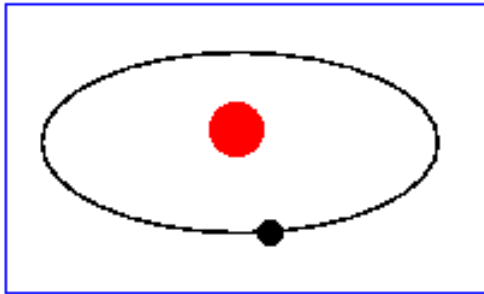
Gibt es extraterrestrisches Leben ?

Ja! bereits etwa 70 Planeten gefunden !

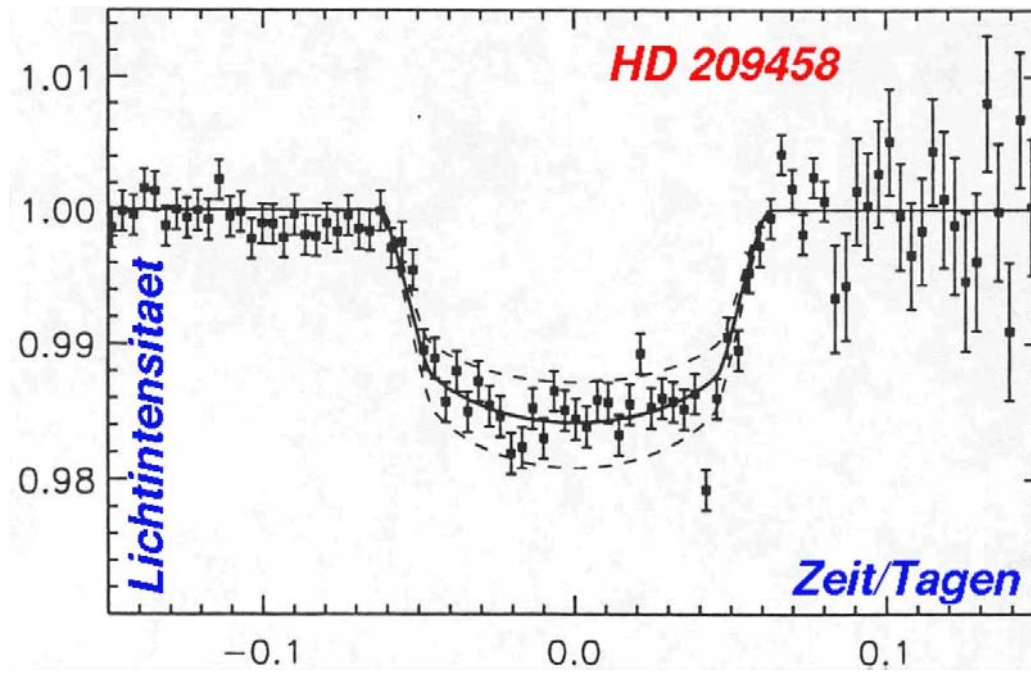
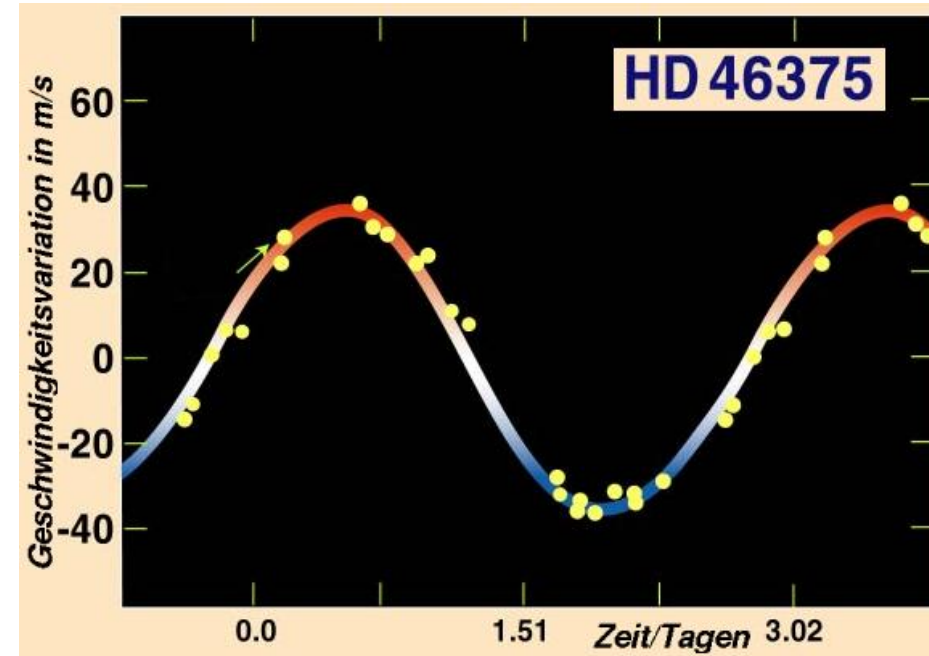
Planetensysteme

Nachweismethoden:

a) Stern „wackelt“ periodisch:



b) Stern wird periodisch verdunkelt:



Planetensysteme



Lebewesen wurden
leider noch nicht
gefunden....

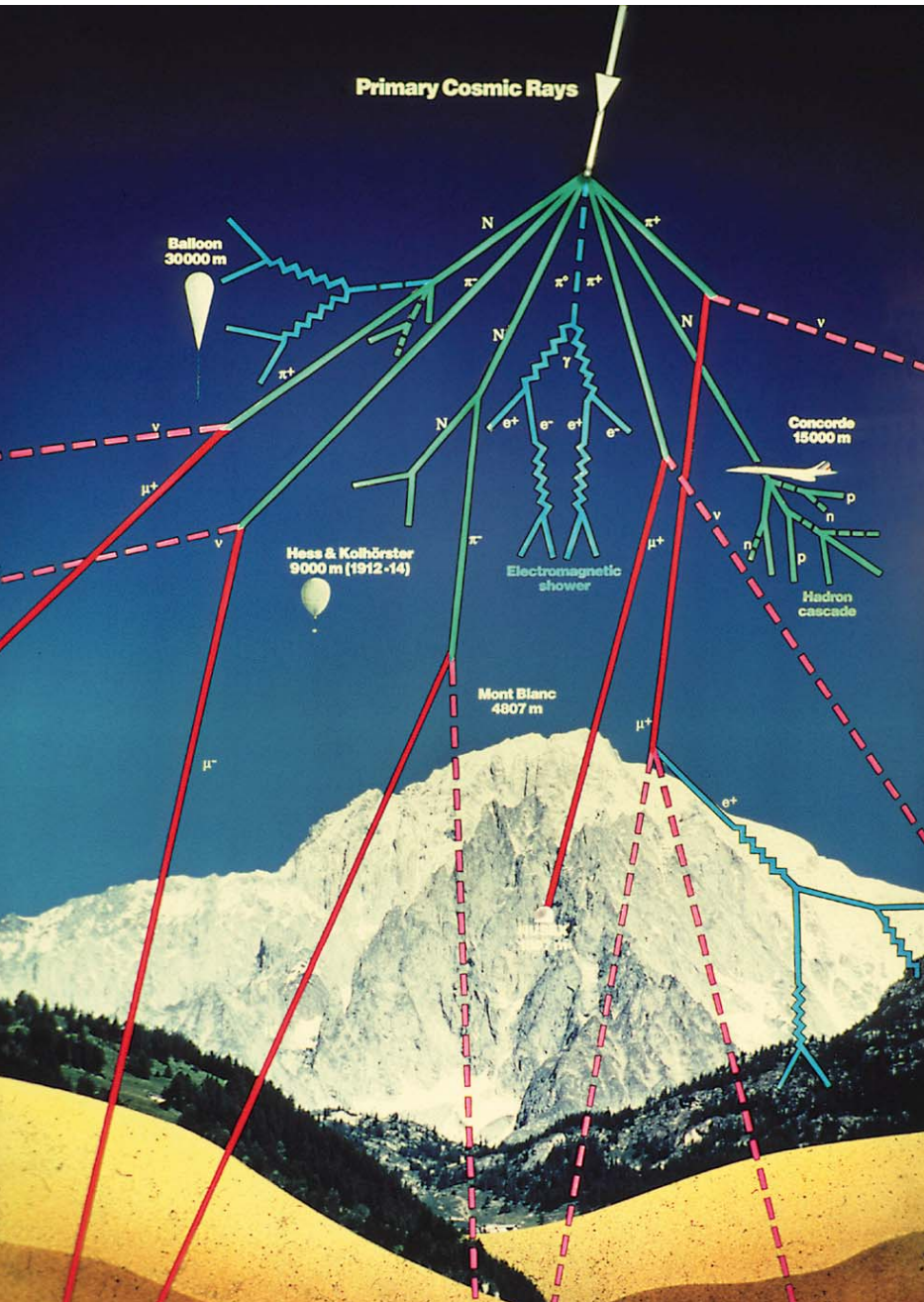
Bisherige Beobachtungen zeigen:

Planetensysteme eher Regel als Ausnahme

Planeten groß und nahe am Stern (?)

Kein erdähnlicher Planet

Kosmische Strahlung hoher Energie



primäre kosmische
Teilchen mit (kin.) Energie

$$>10^{11} \text{ GeV}$$

= Tennisball !

wurden nachgewiesen !

Protonmasse: 1 GeV

Erzeugung im Weltall:

unverstanden!

ungehinderter „Transport“:

„unmöglich“ ?

Nachweis: Detektoren am Erdboden

Forschung in Aachen



- AMS
- CMS
- Kosmische Strahlung (?)

Antimaterie im Universum ?

Gibt es Antimaterie ?

Ja ! Positron (1931), Antiproton (1955), Antiwasserstoff (1995)

Gibt es Antiteilchen im Universum ?

Ja ! Positronen, Antiprotonen...

= Sekundärprodukte von Teilchenkollisionen

Gibt es Anti-Galaxien/-Sterne/
-Lebewesen ?

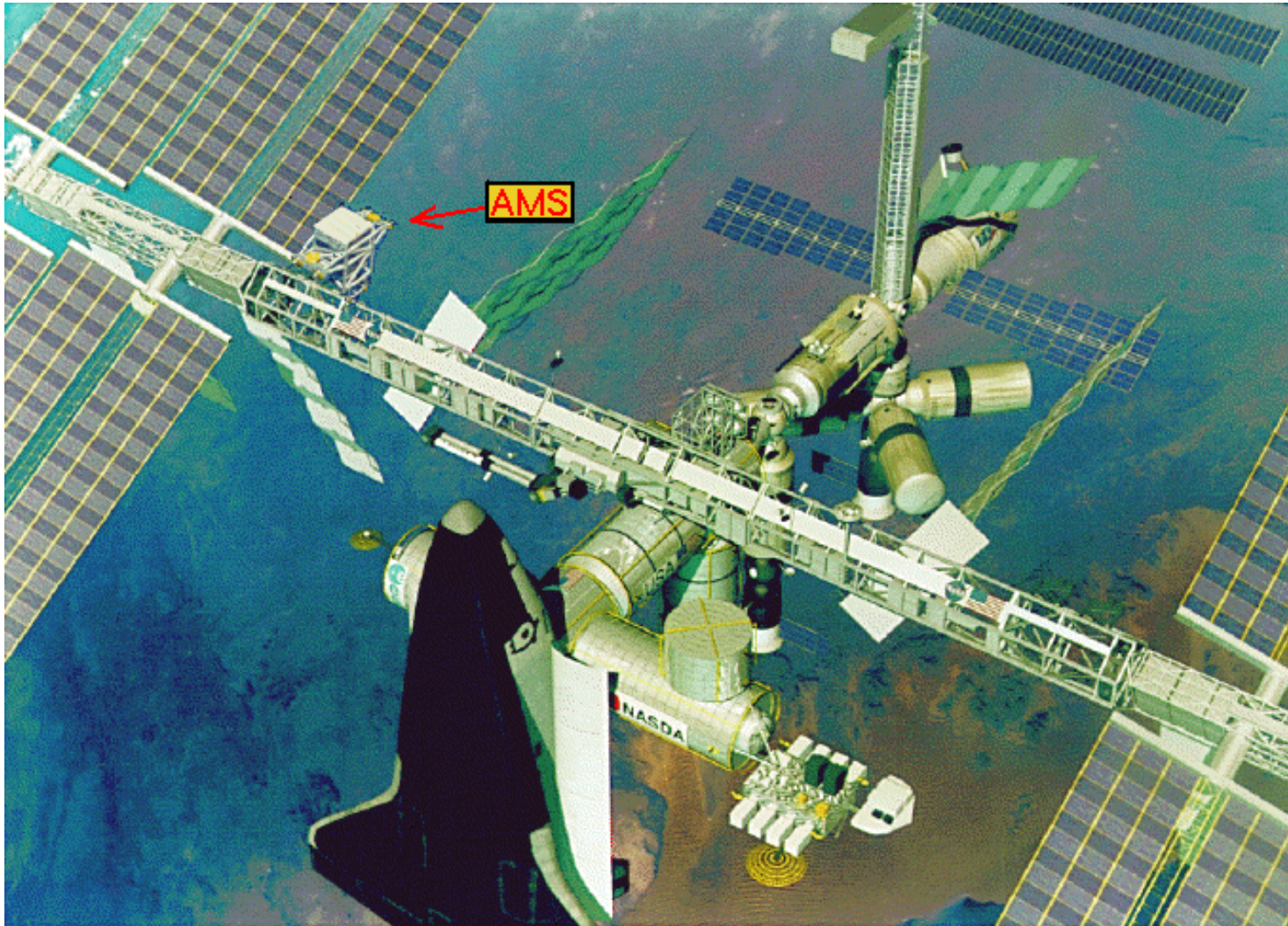
erfordert schwere Anti-Kerne

Wahrscheinlich nicht !

Fundamentale Asymmetrie Materie-Antimaterie: Teilchenphysik!

AMS = AlphaMagneticSpectrometer = AntiMatterSearch

Gibt es schwere Anti-Kerne im Universum ?



Aachen: Phys. Inst. I B und III B

Ergebnis: Bisher kein Antihelium ... gefunden

Elementarteilchenphysik am CERN, Genf

„erforschen, was die Welt im Innersten zusammenhält“:

elementare Teilchen

fundamentale Kräfte

Hohe Kollisionsenergie:

- hohe Ortsauflösung (Substruktur ?)
- Erzeugung schwerer neuer Teilchen
- Erzeugung schwarzer Löcher ?
- Simulation des frühen Universums

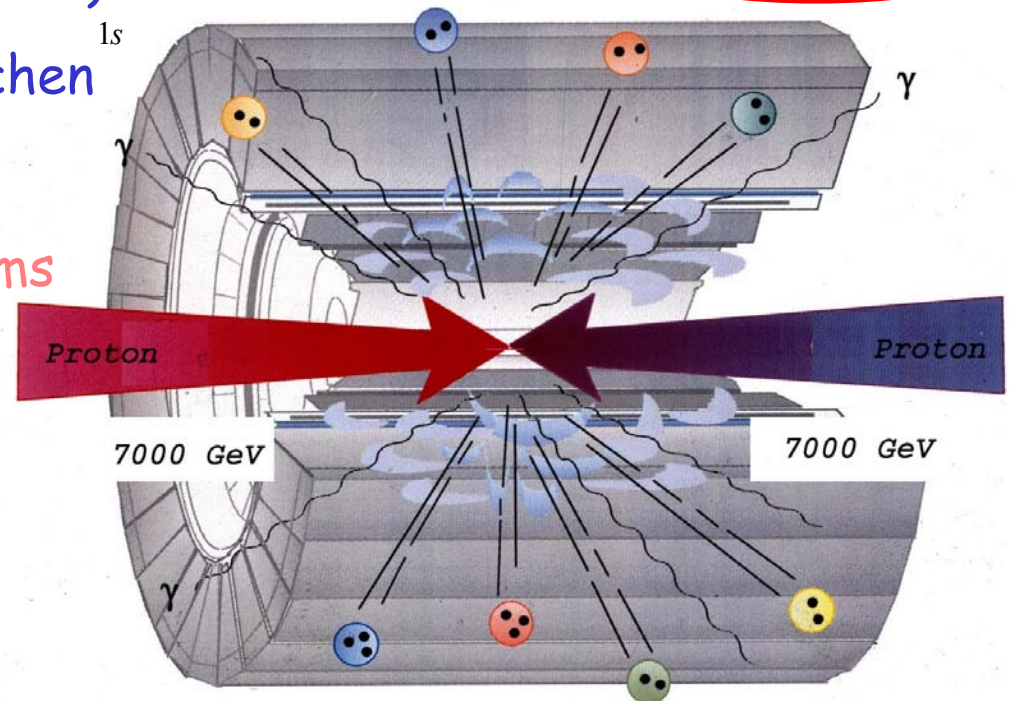
$$1 \text{ MeV} = 1s$$

$$10 \text{ GeV} = 10^{-6}s$$

$$10 \text{ TeV} = 10^{-11}s$$

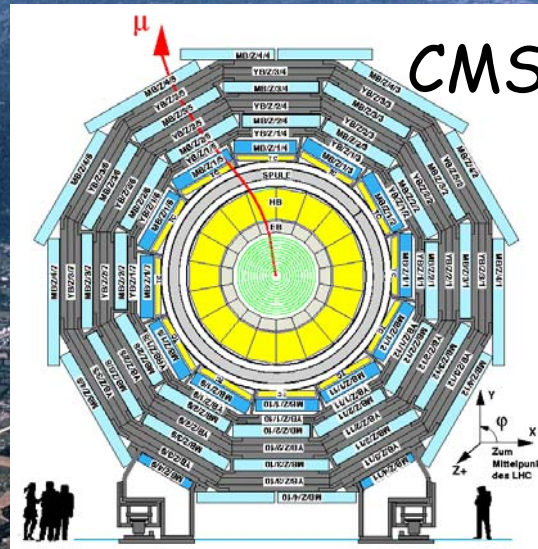
Protonmasse: 1 GeV

LHC: 14000 GeV



CMS = CompactMuonSolenoid

Phys. Inst. I B, IIIA und III B



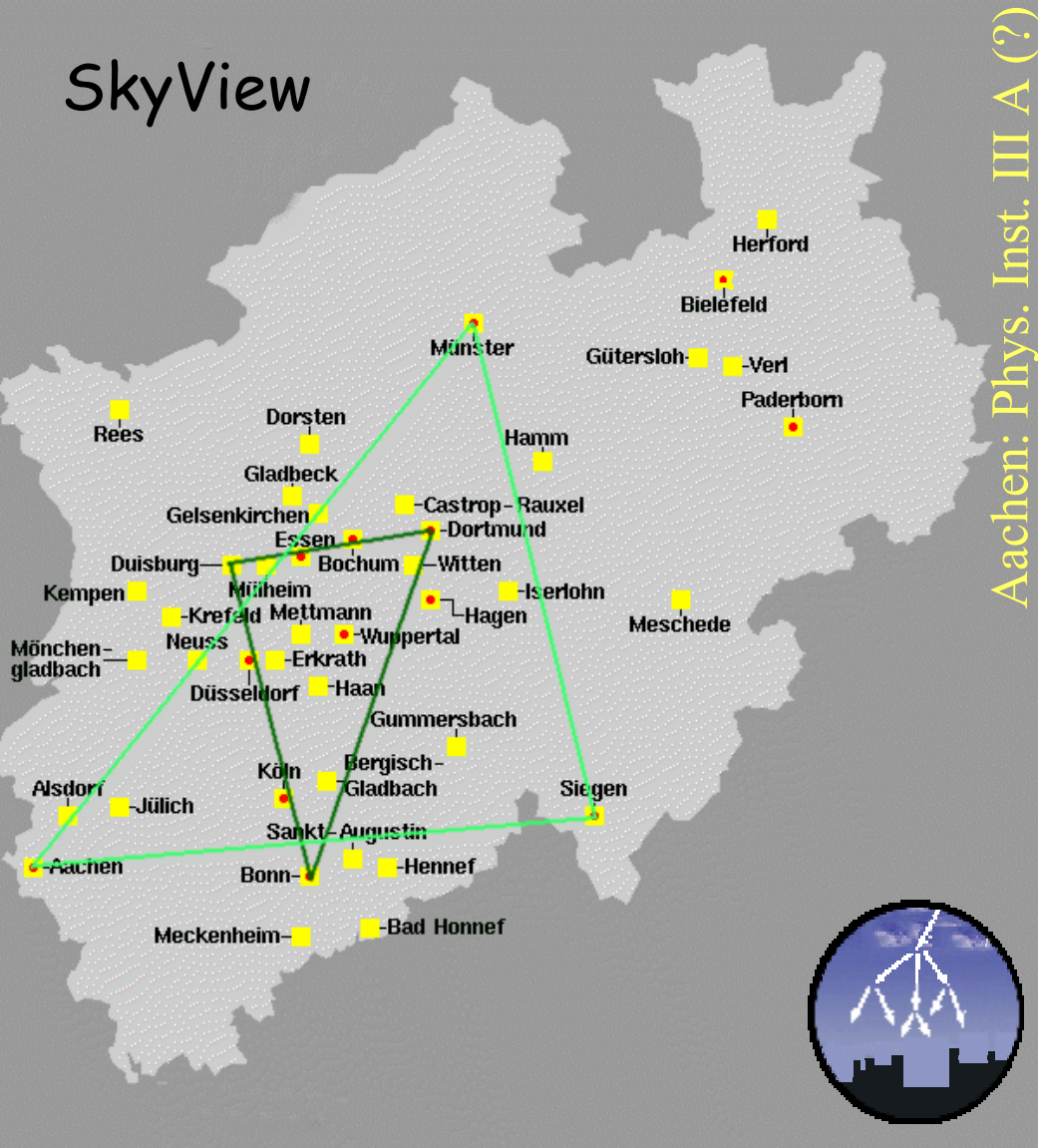
Beschleuniger „LHC“
= Large Hadron Collider

Start: 2006

Netz von Detektoren für kosmische Strahlung

T.Hebbeker

SkyView



- 10000 Detektoren
- Abstand ~ 1 km
- auf Dächern

Einbeziehung von
Schulen!

Mitwirkung von
Lehrern, Schülern!

Erforschung höchstenergetischer kosmischer Strahlung

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...

WWW-Adressen

Vorlesungen + Linksammlung Astrophysik

(Bilder vom) Hubble Space Teleskop

Hintergrundstrahlung und Raumkrümmung

Expansion des Universums

Schwarzes Loch in Milchstrasse

Schwarze Löcher und Ereignishorizont

Planetensysteme

AMS-Experiment

CERN

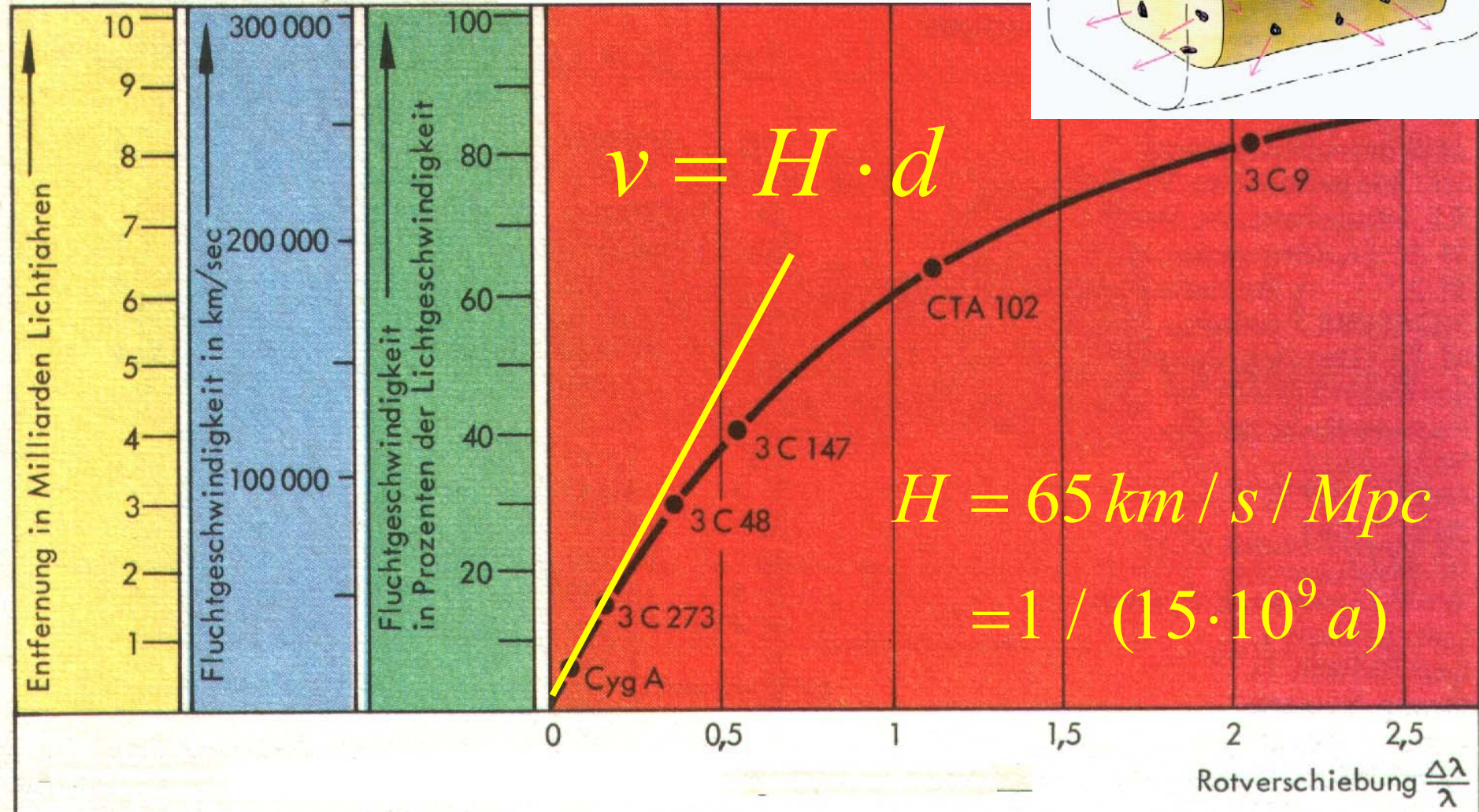
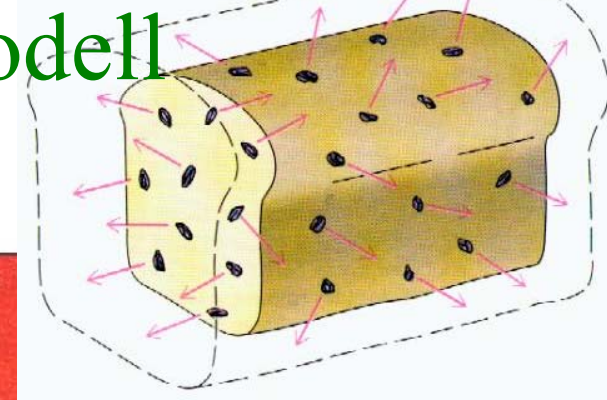
SKYVIEW

Bücher

- H.V. Klapdor-Kleingrothaus und K. Zuber:
Teilchenastrophysik, Teubner, 1997
- C. Grupen:
Astroteilchenphysik, Vieweg, 2000
- A. Unsöld, B. Bachel:
Der neue Kosmos, Springer 1999
- M. Rowan-Robinson:
Cosmology, Clarendon Press, 1996
- S. Weinberg:
The first three minutes, Basic Books, 1993

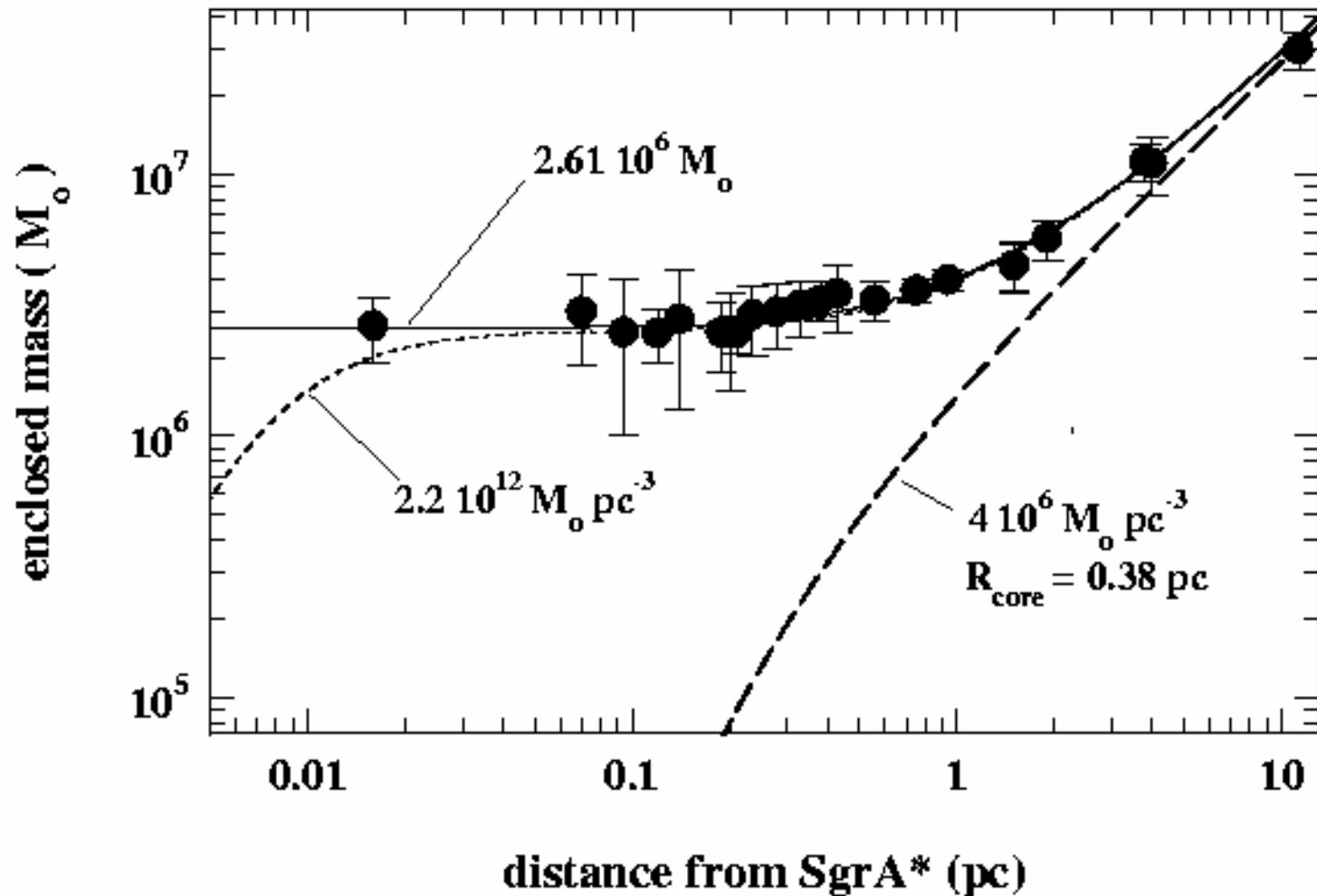
Anhang A: Big-Bang - Modell

Hubble 1929: Universum expandiert



Hoyle 1950: „Big Bang“

Anhang B: Sagittarius A



infrarot, Geschwindigkeiten bis 1000 km/s !

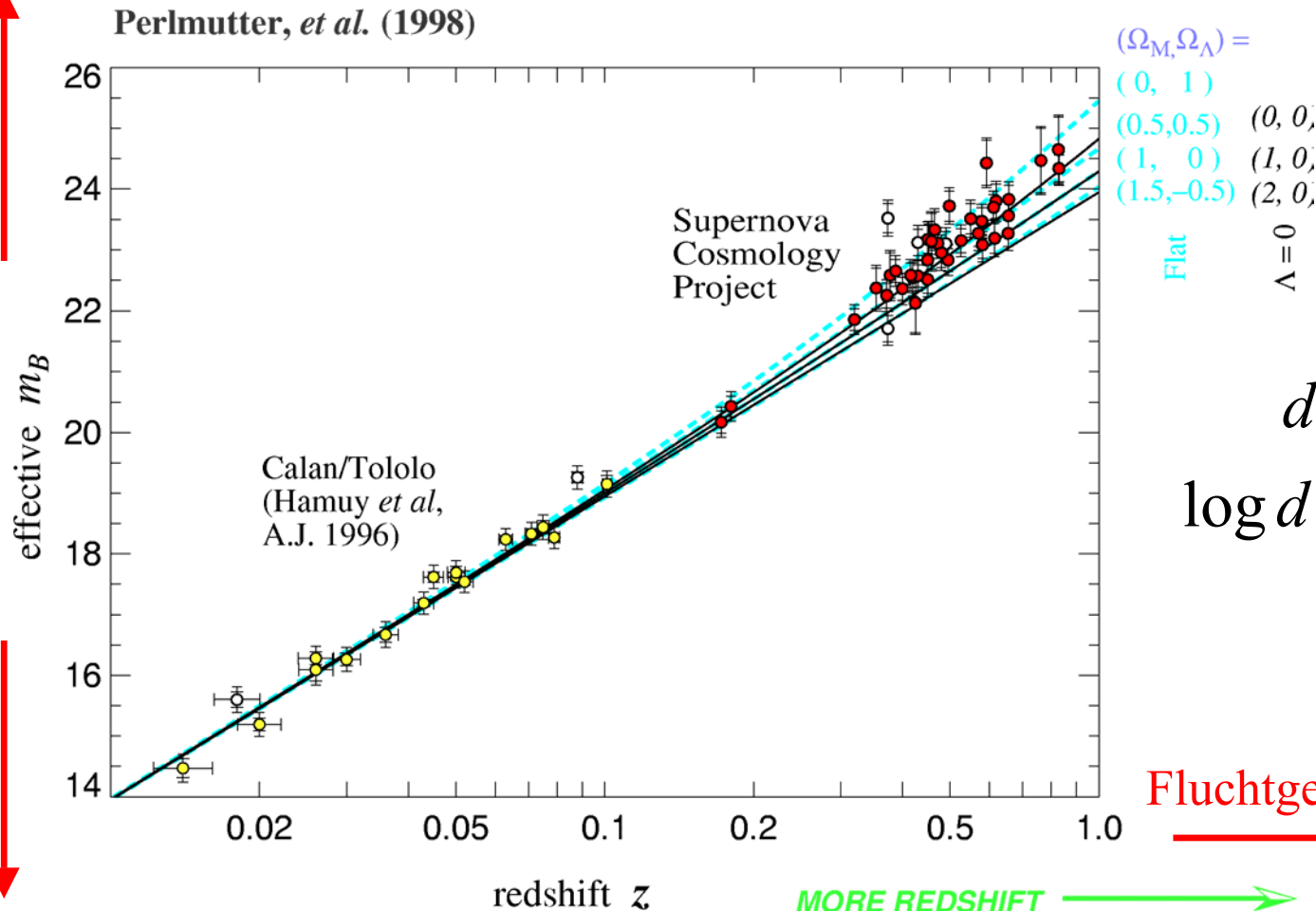
Anhang C: Messung der Expansion

Supernovae Typ Ia

= „Standardkerze“

Entfernung ~ Alter

FAINTER
(Farther)
(Further back in time)



$$d = v \cdot t$$

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

Fluchtgeschwindigkeit

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

Helligkeit

Anhang D: Supernova-Explosion

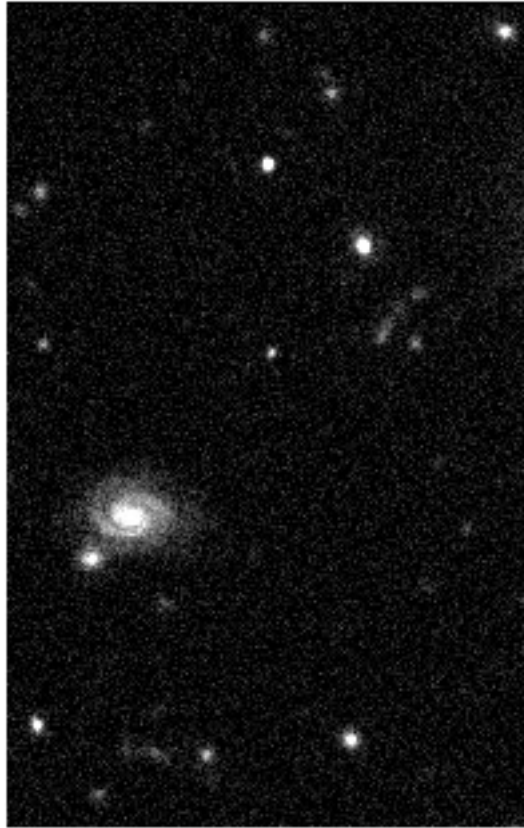


Bild 1

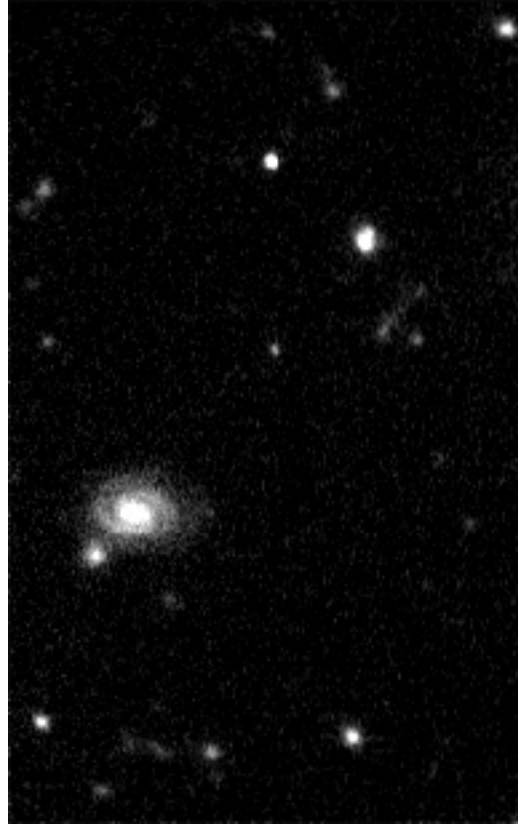


Bild 2

(3 Wochen später)

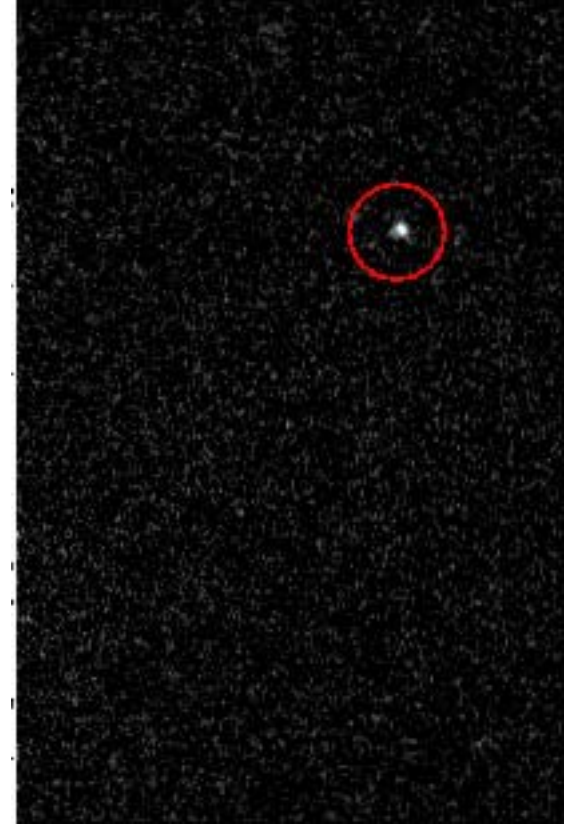
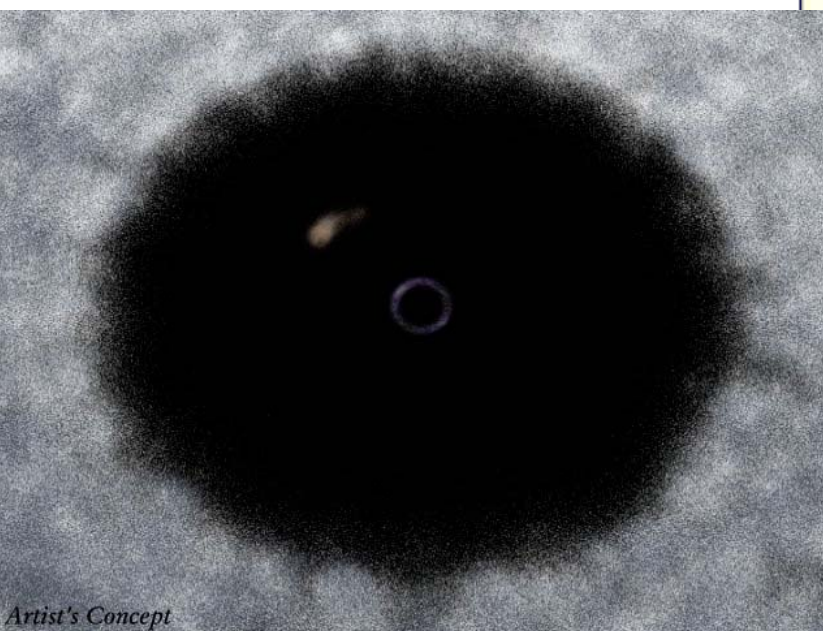
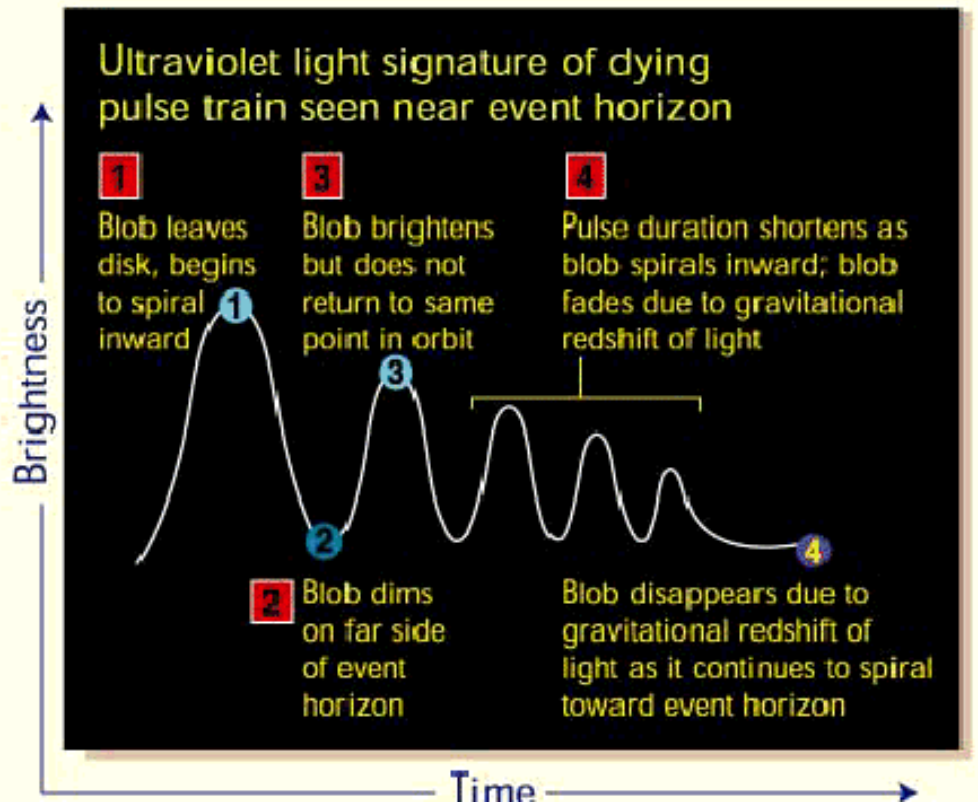
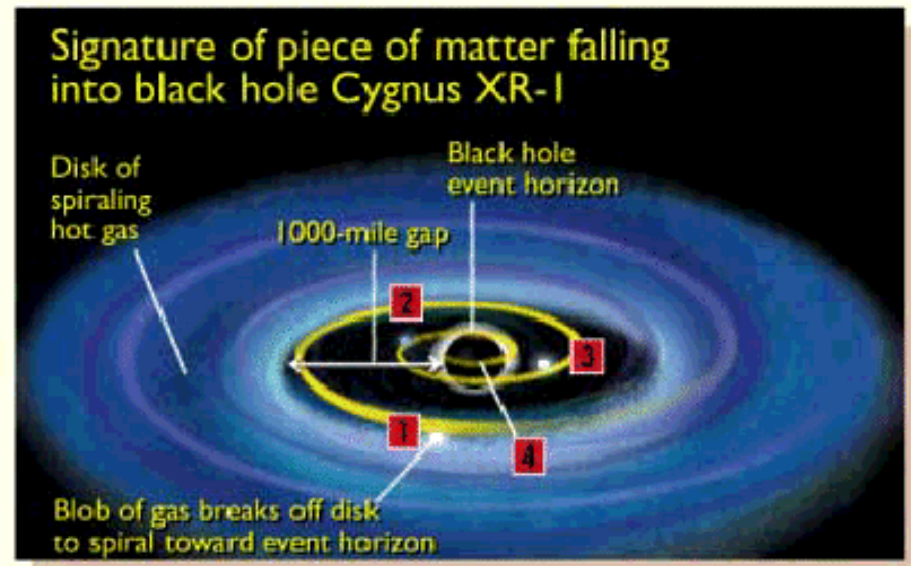


Bild 2 – Bild 1

Anhang E:

Schwarzes Loch

Cygnus XR-1



Artist's Concept

Anhang F: Agasa-Detektor

