

Galaxien, schwarze Löcher und dunkle Materie

Didaktik der Astronomie
SS 2008

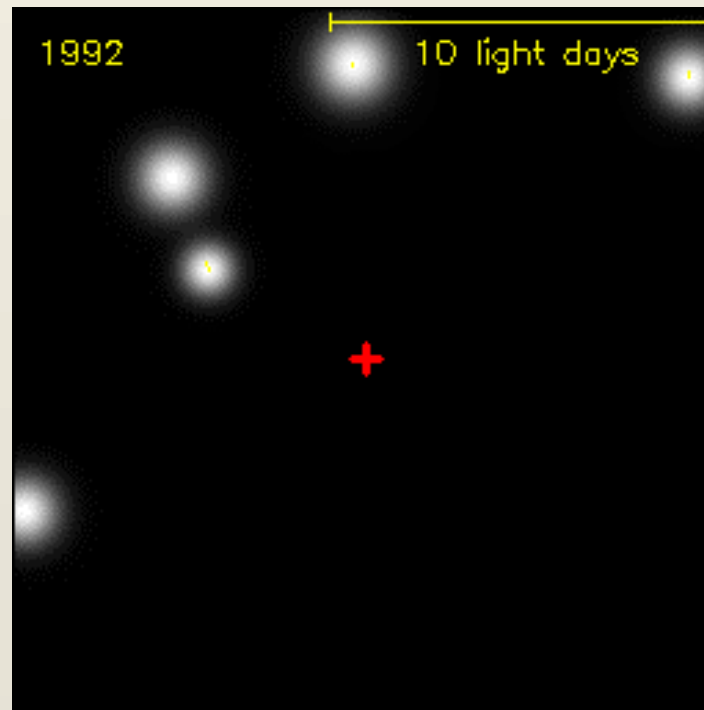
Franz Embacher

Fakultät für Physik
Universität Wien

2 Aufgaben

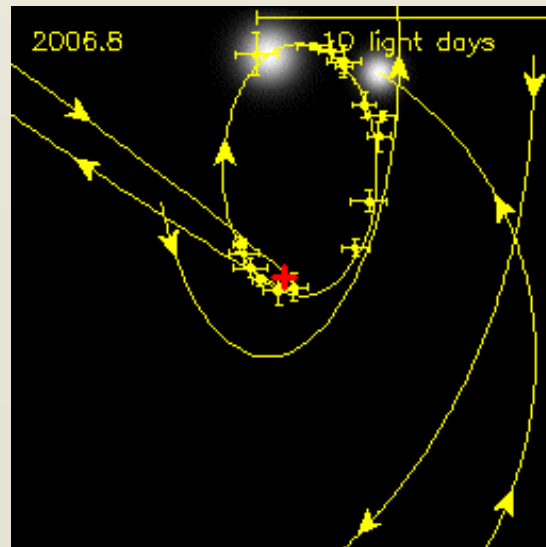
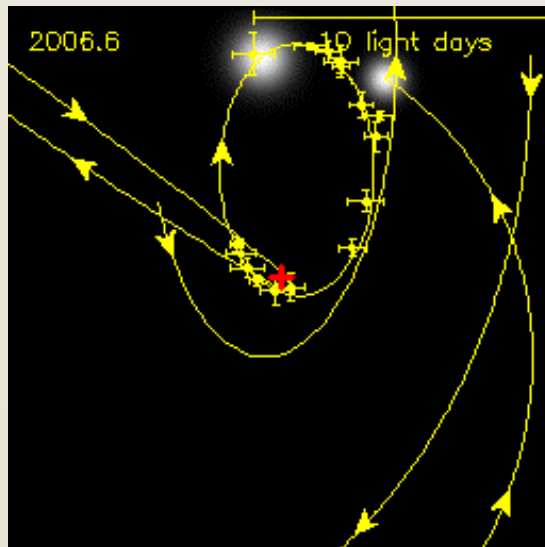
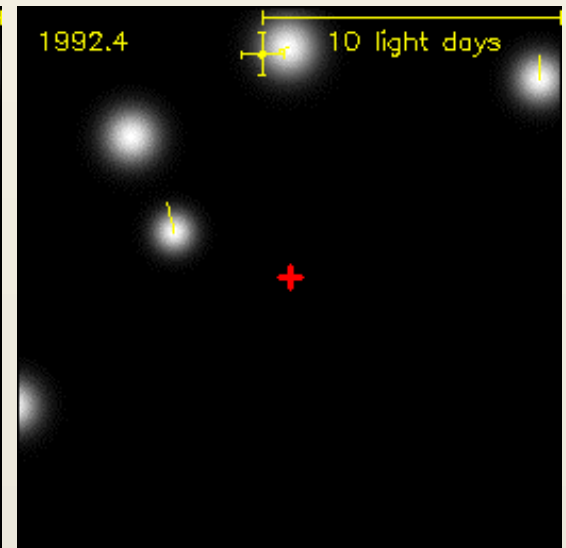
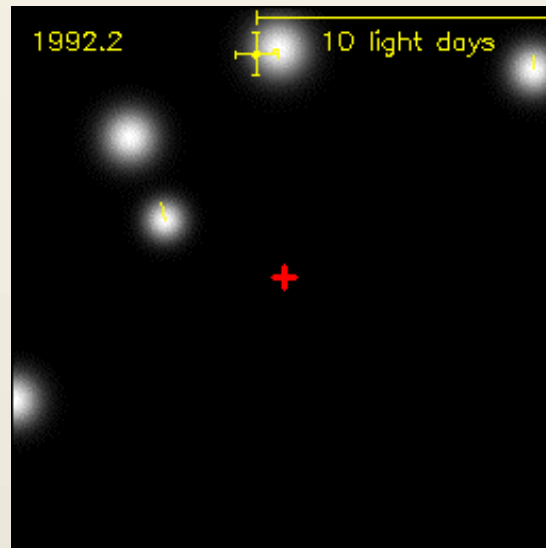
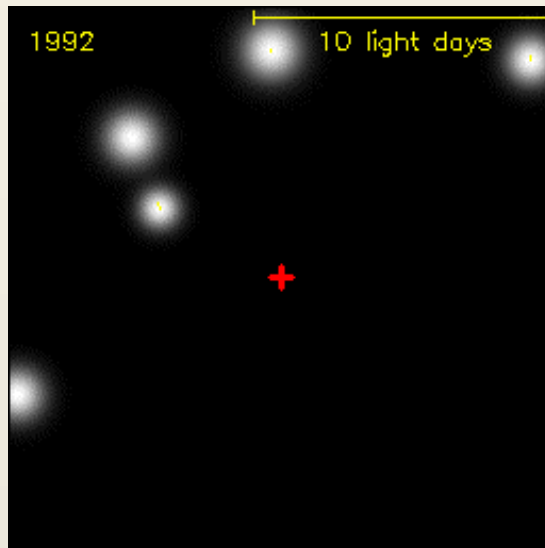
Aufgabe 1

- Im Zentrum der Milchstraße befindet sich ein „dunkles“ Objekt (Sagittarius A* = Sgr A*), um das Sterne kreisen:



Wenn Sie keine Animation sehen, sondern ein statisches Bild, versuchen Sie's mit dem untenstehenden Link oder mit [diesem!](#)

Aufgabe 1



Schnappschüsse

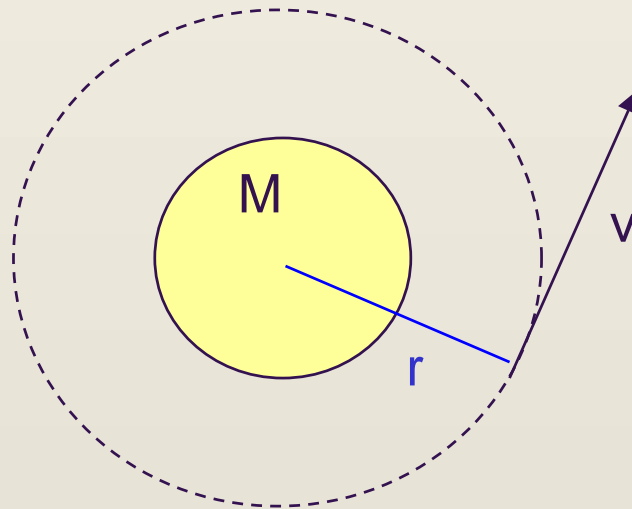
- 1992
- 1992.2
- 1992.4
- 2006.6
- 2006.8

Aufgabe 1

- Sgr A* emittiert vor allem im Radiobereich des elektromagnetischen Spektrums.
- Sgr A* ist im nahen Infrarot und im Röntgenbereich schwach sichtbar und „flackert“: Seine Helligkeit ist einmal pro Tag etwa eine halbe Stunde lang stark erhöht. Die charakteristische Zeit dieser Änderung beträgt etwa 10 Minuten.
- Aufgabe: Schätzen Sie die **Masse** dieses Objekts ab! Finden Sie eine Obergrenze für seinen **Radius**! Argumentieren Sie, dass Sgr A* höchstwahrscheinlich ein **schwarzes Loch** ist!

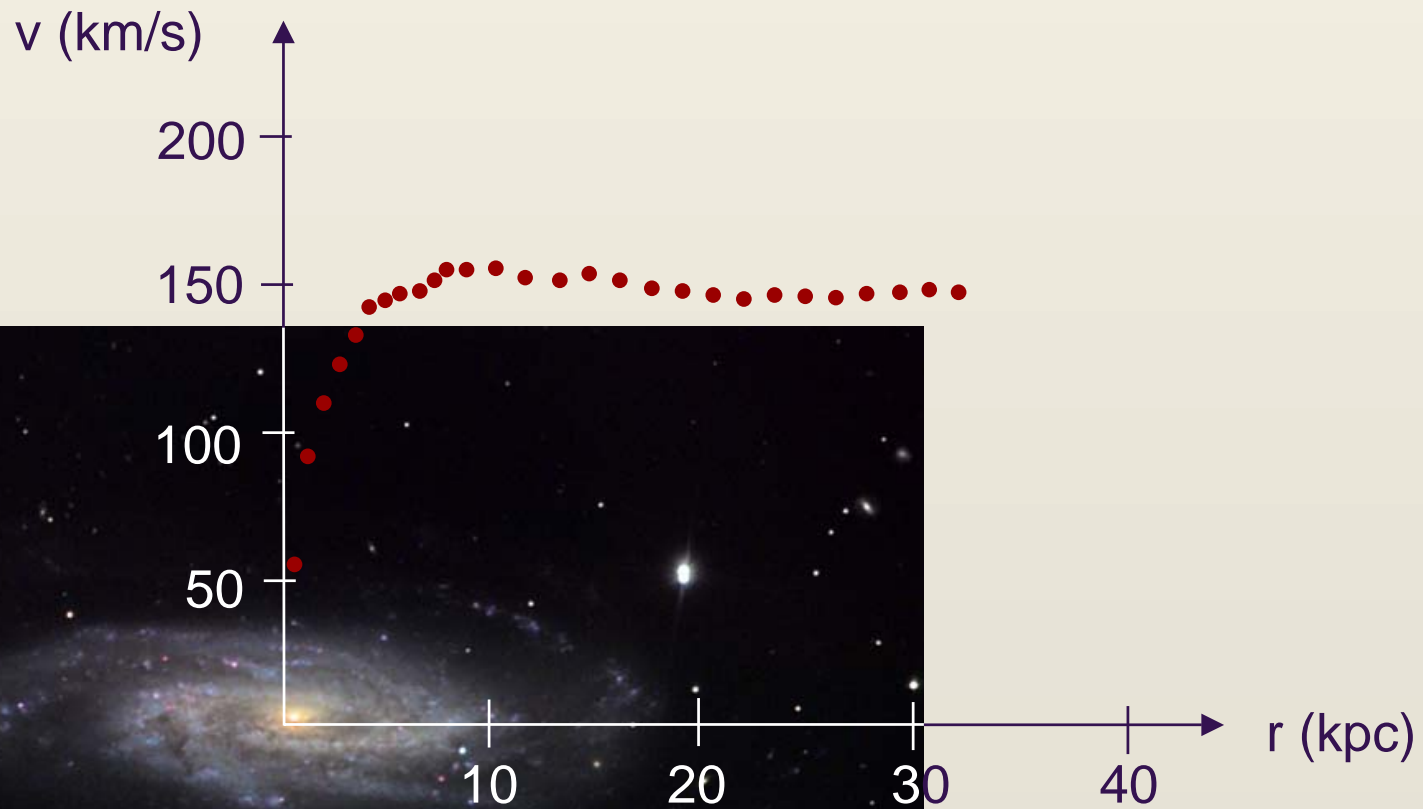
Aufgabe 2

- Rotationsgeschwindigkeit von Sternen, die „weit draußen“ um eine Galaxie kreisen: $v = v(r)$



Aufgabe 2

- Rotationskurve der Galaxie NGC 3198:



Aufgabe 2

- Argumentieren Sie, dass die Galaxie NGC 3198 von einem „Halo“ aus **dunkler** (nicht sichtbarer) **Materie** umgeben sein muss!
- Schätzen Sie die **Masse** der leuchtenden Materie (unter der Annahme, dass die dunkle Materie dort vernachlässigbar ist) ab!
- Können Sie aus der Flachheit der Rotationskurve abschätzen, ob die **Dichte der dunklen Materie** nach außen hin abnimmt, zunimmt oder konstant ist? Schätzen Sie das **Dichteprofil** $\rho = \rho(r)$ der dunklen Materie im Bereich $20 \text{ kp} < r < 30 \text{ kp}$ ab!

Einige Zahlenwerte und Formeln

$$G = 6.674 \times 10^{-11} \text{ m}^3 / (\text{kg s}^2)$$

$$c = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$1 \text{ pc} = 3.0857 \times 10^{16} \text{ m}$$

$$\text{Sonnenmasse} = 1.989 \times 10^{30} \text{ kg}$$

$$\text{Drittes Keplersches Gesetz: } \frac{T^2}{a^3} = \frac{4 \pi^2}{G M}$$

$$\text{Schwarzschildradius: } R_S = \frac{2 G M}{c^2}$$

Nachbemerkung zu Aufgabe 2

- Jede Galaxie ist mit einem „Halo“ aus **Dunkler Materie** umgeben.
- Es ist nicht bekannt genau, wie weit sich diese Halos erstrecken! (Zumindest einige Vielfache der Galaxiengröße!)
- Primordiale Nukleosynthese → Nur etwa **7%** der Materie ist gewöhnliche (baryonische) Materie (davon $\frac{1}{4}$ leuchtend), der Rest ist dunkle Materie!
- Dunkle Materie wechselwirkt (fast?) nur über die Schwerkraft.

Nachbemerkung zu Aufgabe 2

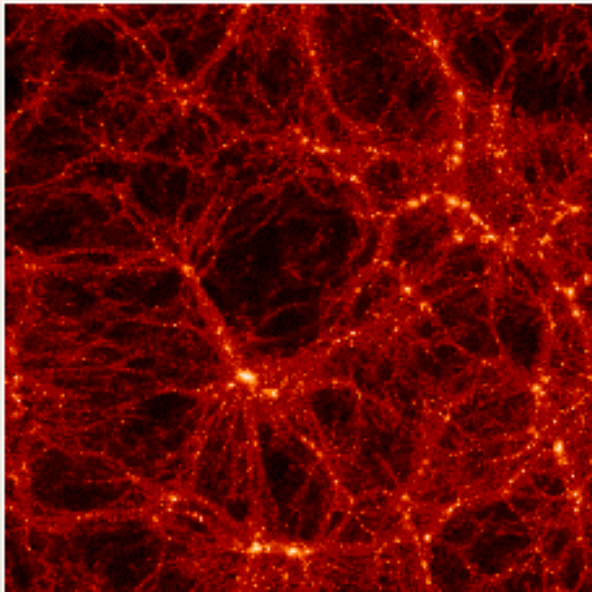
- Woraus besteht die Dunkle Materie?
 - Neutrinos? ... zu geringe Dichte!
 - Materie in einem „Paralleluniversum“, das mit dem unseren nur über die Schwerkraft wechselwirkt?
 - Eine neue, bisher unbekannte Teilchensorte? („Supersymmetrische“ Teilchen?)

Nachbemerkung zu Aufgabe 2

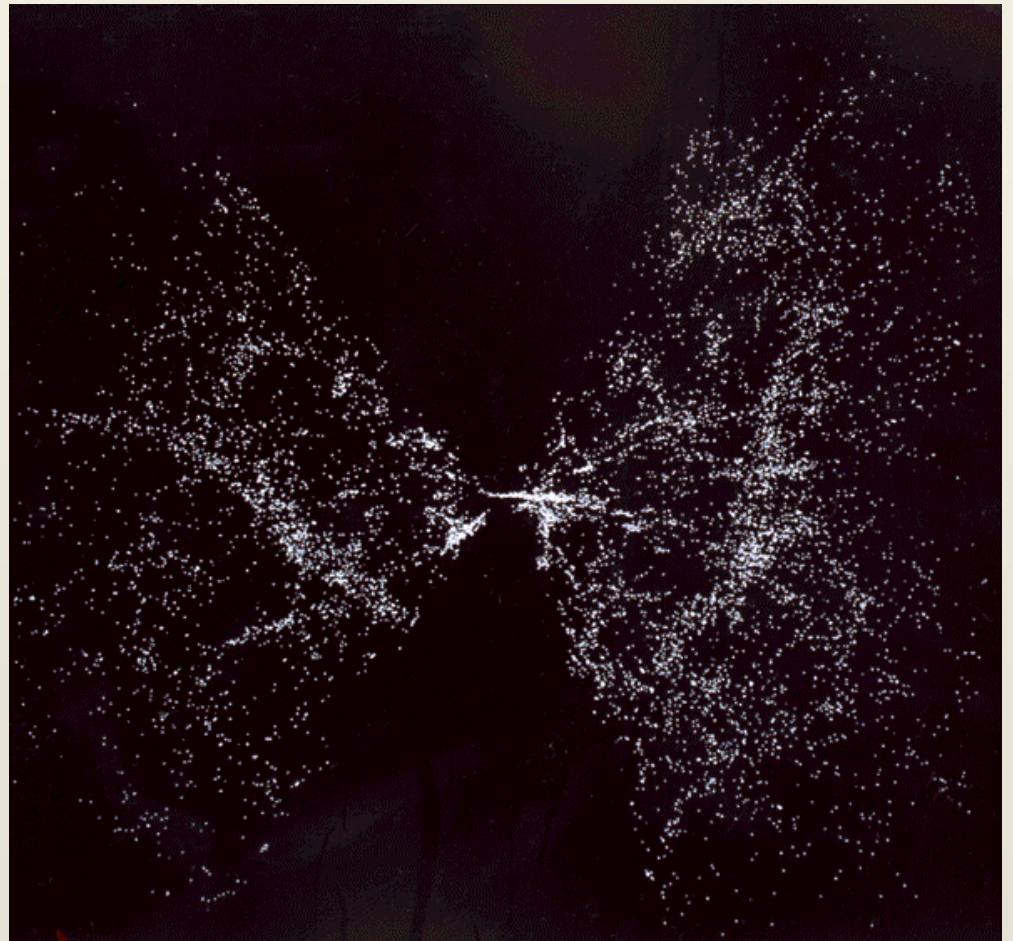
- Die erfolgreichsten Modelle nehmen an, dunkle Materie besteht aus „langsam“ bewegten Teilchen ($v \ll c$).
CDM = *cold dark matter*
- Simulationen: CDM „klumpt“ zusammen und bildet „Potentialmulden“, in die die gewöhnliche Materie „fällt“. Die Galaxienverteilung sollte daher grob die Verteilung der dunklen Materie nachzeichnen.
- Anisotropie der kosmischen Hintergrundstrahlung → „Aufnahme“ der Verteilung der dunklen Materie zur Zeit der „Rekombination“ (modulo nachträglicher Streuung der Photonen an Elektronen) .

Nachbemerkung zu Aufgabe 2

CDM-Computer-Simulation vs. großräumige Galaxienverteilung:



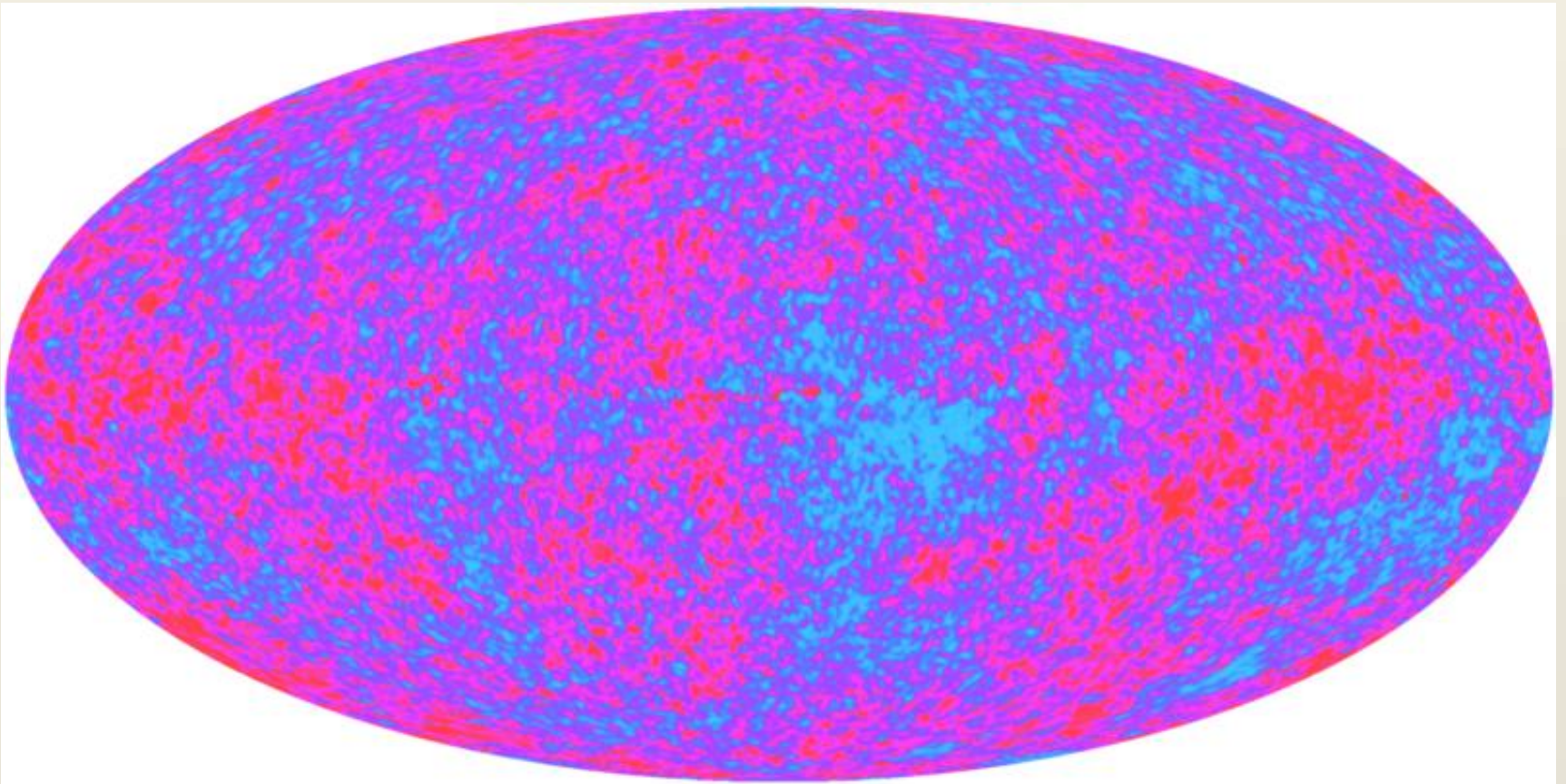
<http://www.mpa-garching.mpg.de/>



Nachbemerkung zu Aufgabe 2

$$\frac{\Delta T}{T} = 6 \times 10^{-6}$$

Kosmische Hintergrundstrahlung, WMAP, 2003



Diese Präsentation...

gibt's im Web unter

<http://homepage.univie.ac.at/franz.embacher/Rel/DidaktikAstronomie/ss2008/>