

Modellierung von Gamma - Ray - Bursts

von
Volker Heesen

Übersicht

- 1) Beobachtungen
- 2) Gamma - Emission
- 3) Die Energiequelle

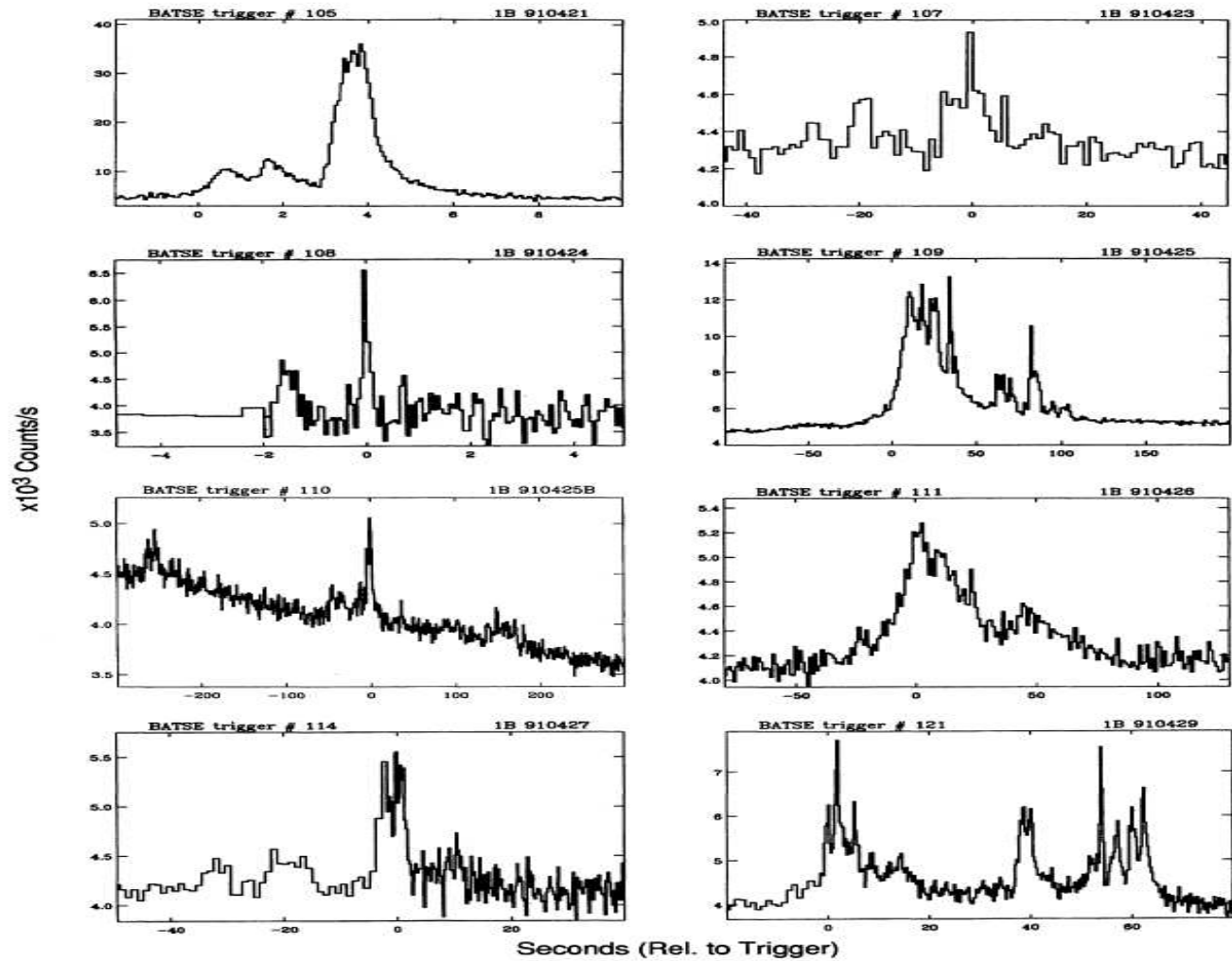
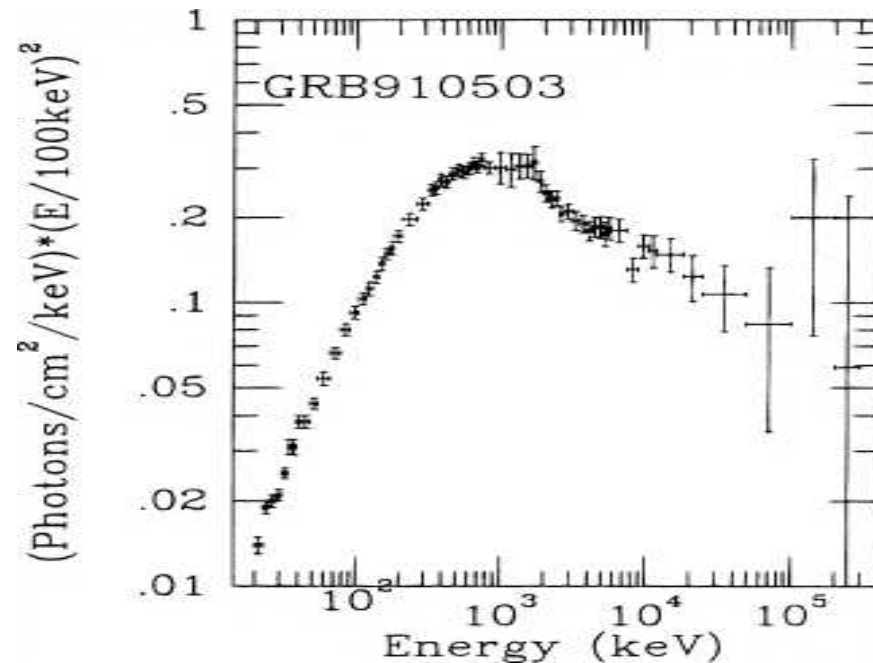
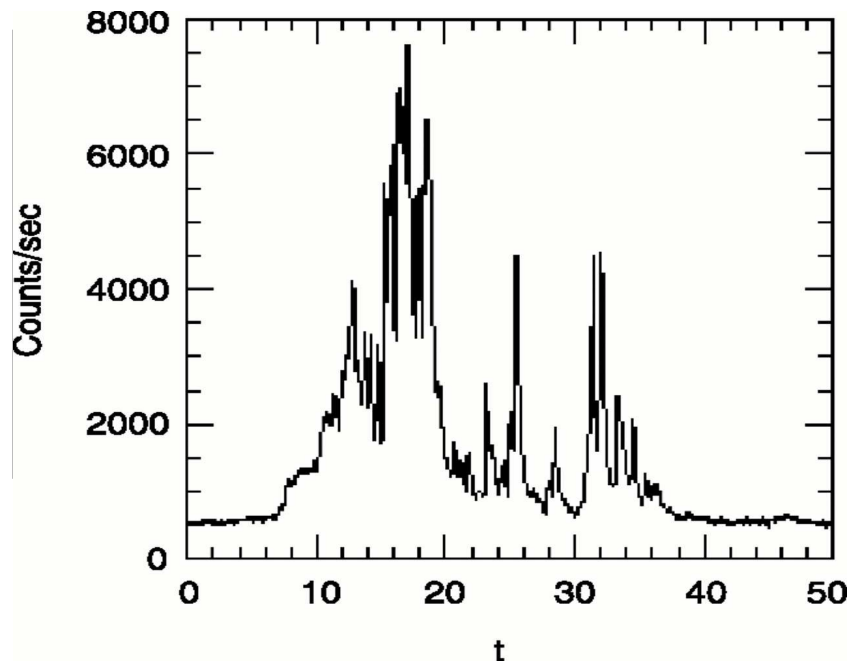


FIG. 6.—Time histories for each of the 260 bursts in the catalog. Shown are the summed rates of the triggered large-area detectors (2 to 4) in the approximate energy range 50–300 keV. The time resolution and duration of each plot were selected as appropriate for display purposes. Additional data exist for these bursts.

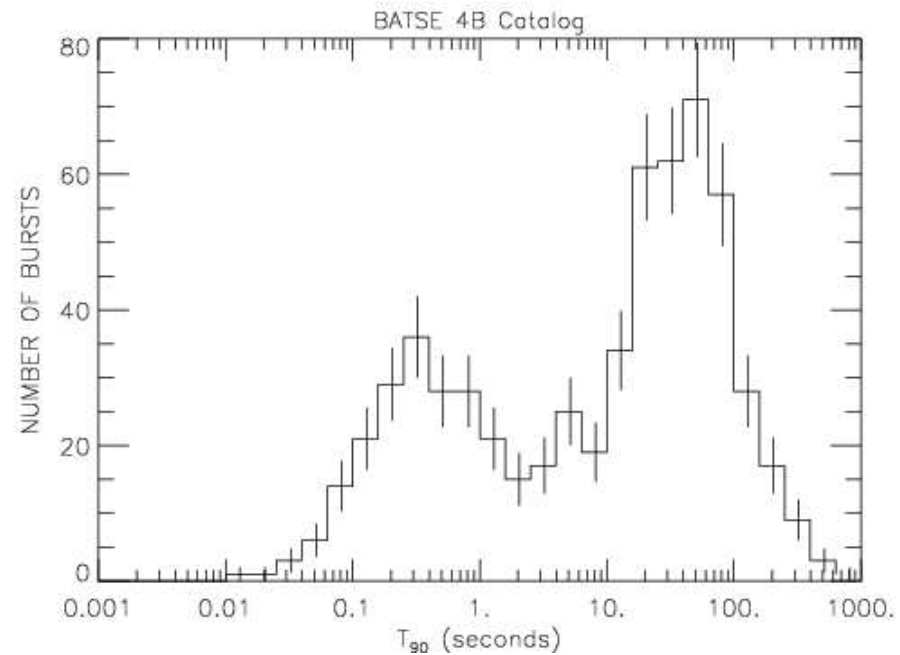
Beobachtungen



- Grosse zeitliche Variabilität bis hinunter zu 1msec
- Kein thermisches Spektrum

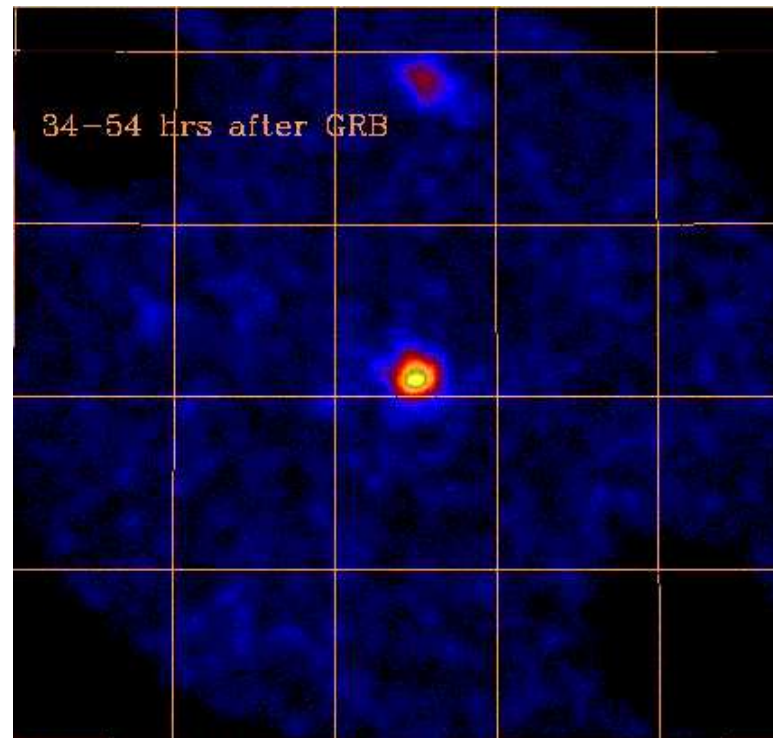
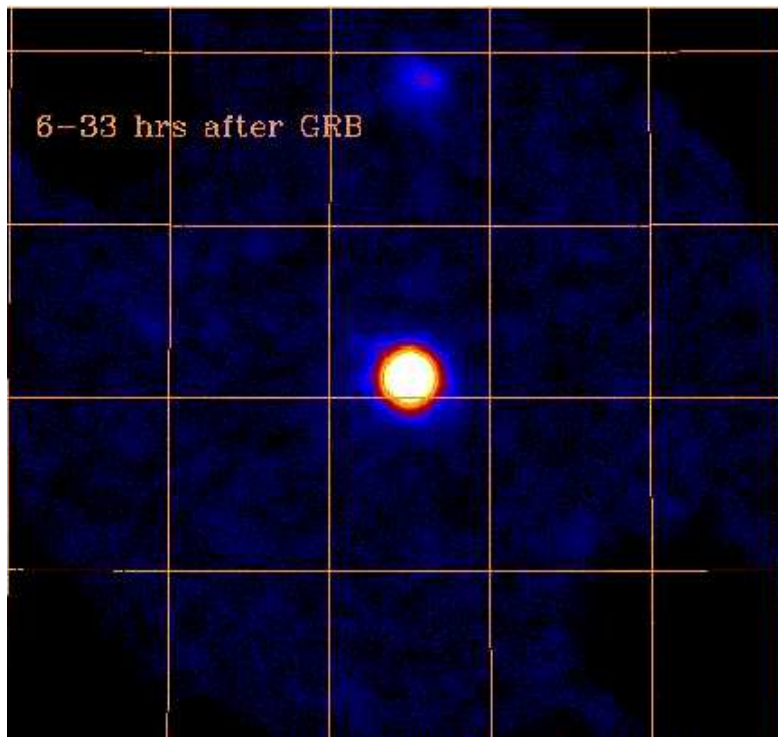
Bimodale Verteilung

- Lange & kurze Bursts
- Trennung bei ca. 2 sec



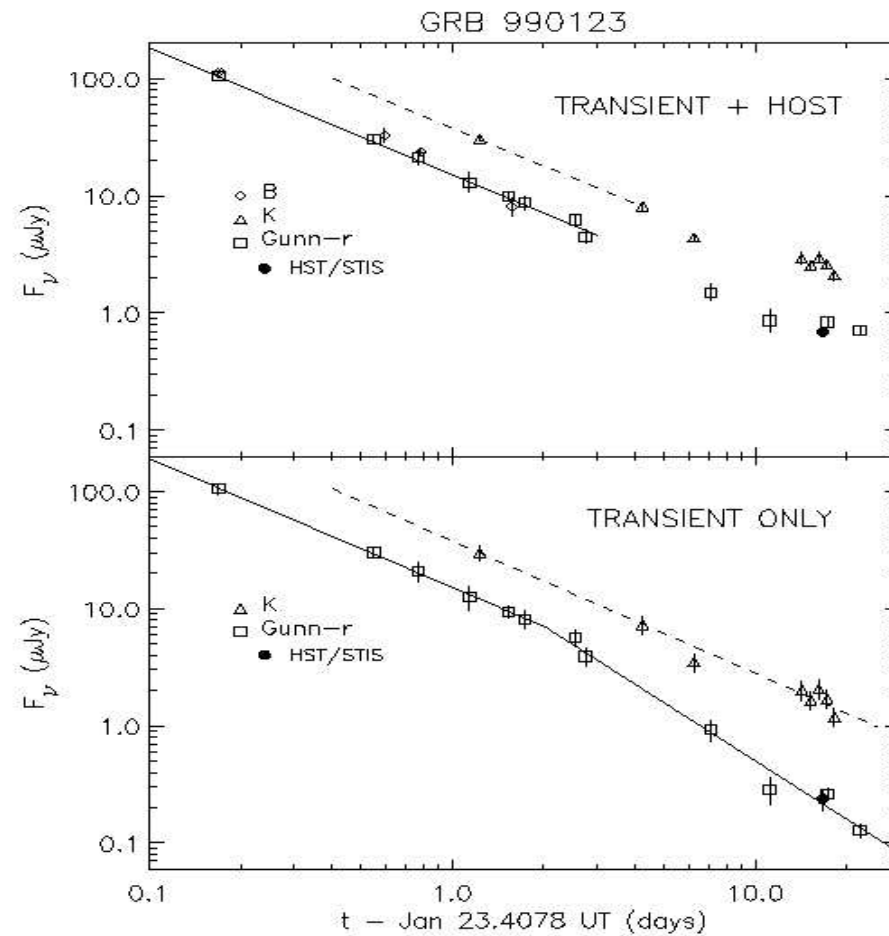
Nachglühen

- GRB 990123



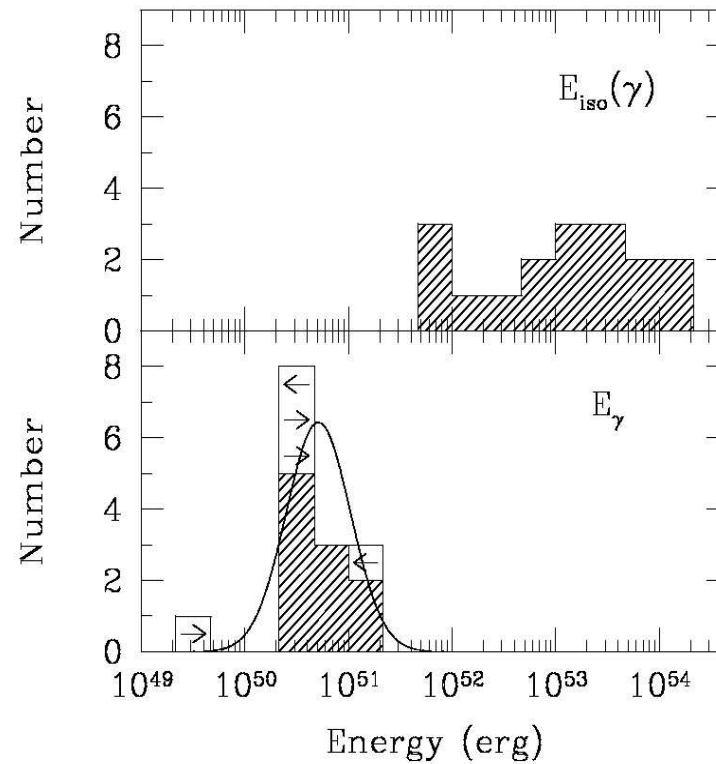
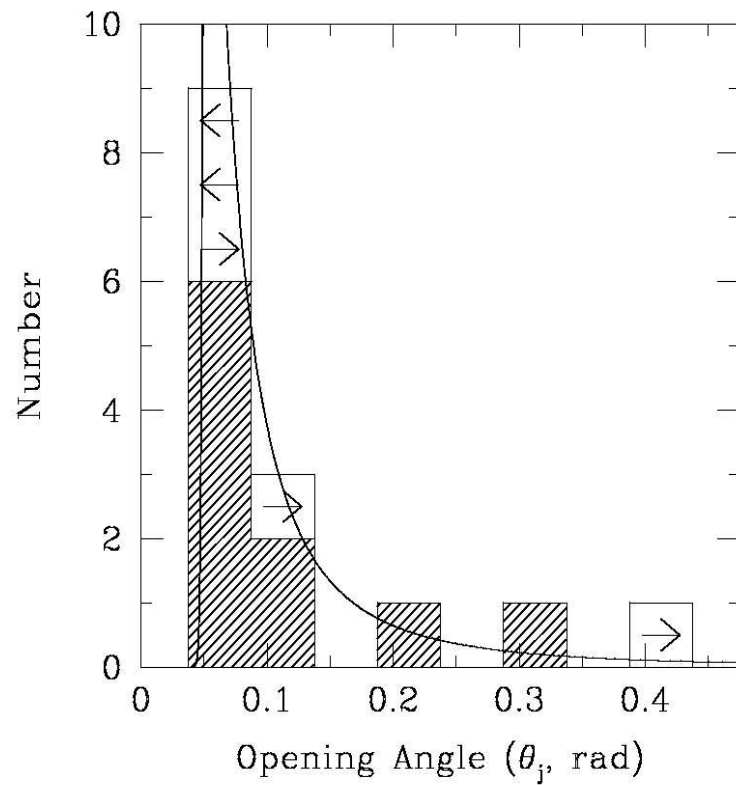
Hinweise auf Jet

- Afterglow:
- Knick im Powerlaw



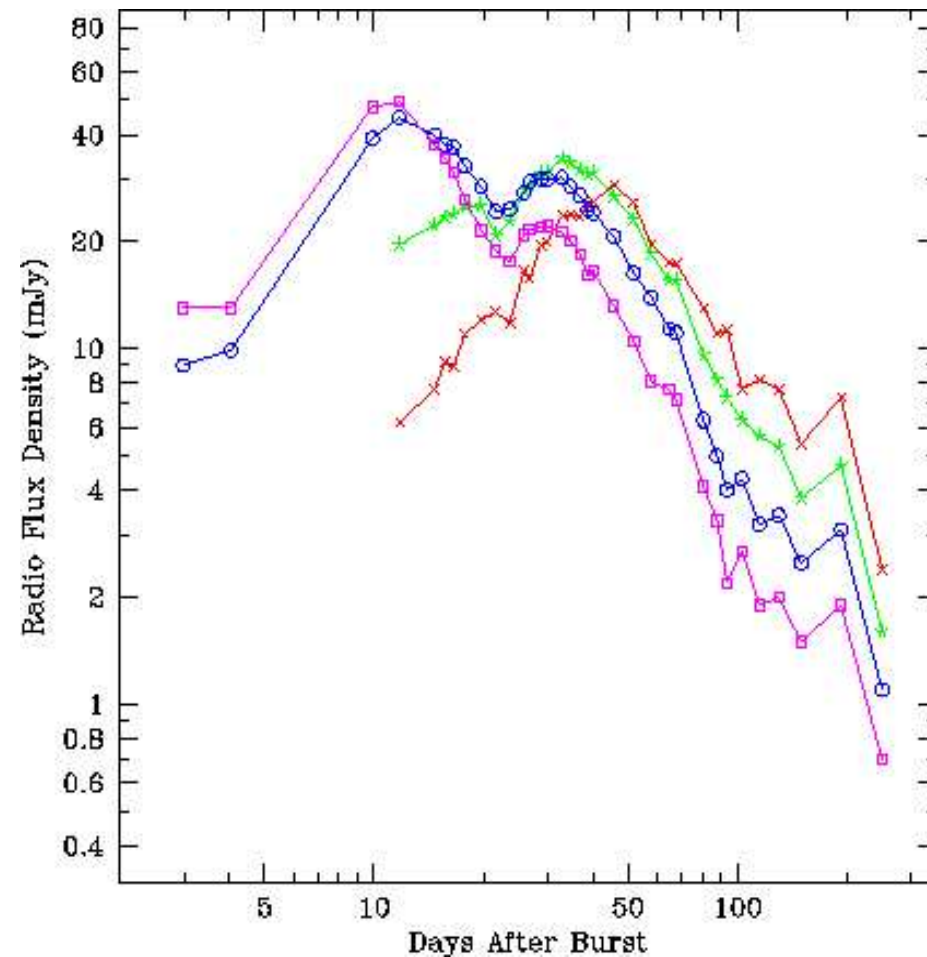
Energie

- Frail et. al. (2001)



GRB –Supernova

- GRB 980425
- SN 1998bw
- Radiobeobachtung
- Wieringa et. al. (1999)



Kompaktheitsproblem

- Variabilität: $\delta t < 1 \text{ msec}$
- Quellengröße $R \sim c \delta t$ $R \sim 100 \dots 1000 \text{ km}$
- Gammaband: $E_\gamma \sim 5 \times 10^{50} \text{ erg}$ (Frail et al. 2001)
- Paarerzeugung $\gamma\gamma \rightarrow e^+e^-$
- Optisch dick $\tau \sim 10^{15}$ für γ -Photonen
- Thermisches Spektrum: Widerspruch !!

Relativistische Effekte

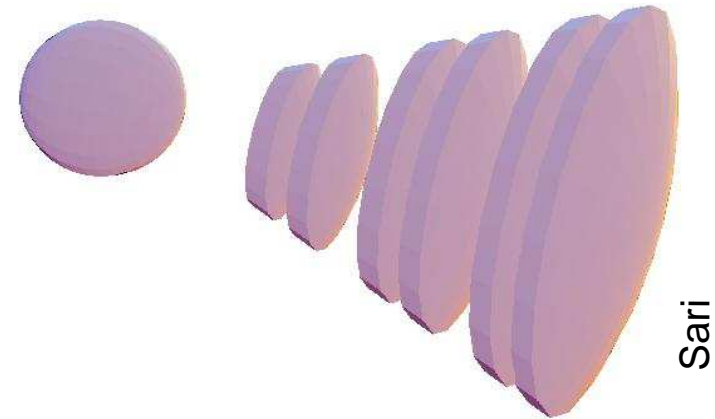
- Ultrarelativistische Expansion
- Lorentzfaktor $\Gamma \sim 10^2 - 10^3$
- Emissionsgebiet $R \sim \Gamma^2 c \delta t$
- Doppler –Boost: $h\nu_{\text{quelle}} = \nu_{\text{obs}} / \Gamma$
- Reduktion der optischen Tiefe auf $\Gamma < 1$

Variabilität

- Sari & Piran (2002)
- $T_{\text{radial}} \sim \Delta/2\gamma_e^2 c$ Δ =Dicke der Massenschale
- $T_{\text{angular}} \sim R_e/2\gamma_e^2 c$ R_e =Emissionsradius
- $R_e > \Delta \Rightarrow T_{\text{angular}}$ ist die untere Grenze für die Variabilität
- Variabilität wird erzeugt durch interne Stoßwellen
- Externe Stoßwellen können Variabilität nicht erklären

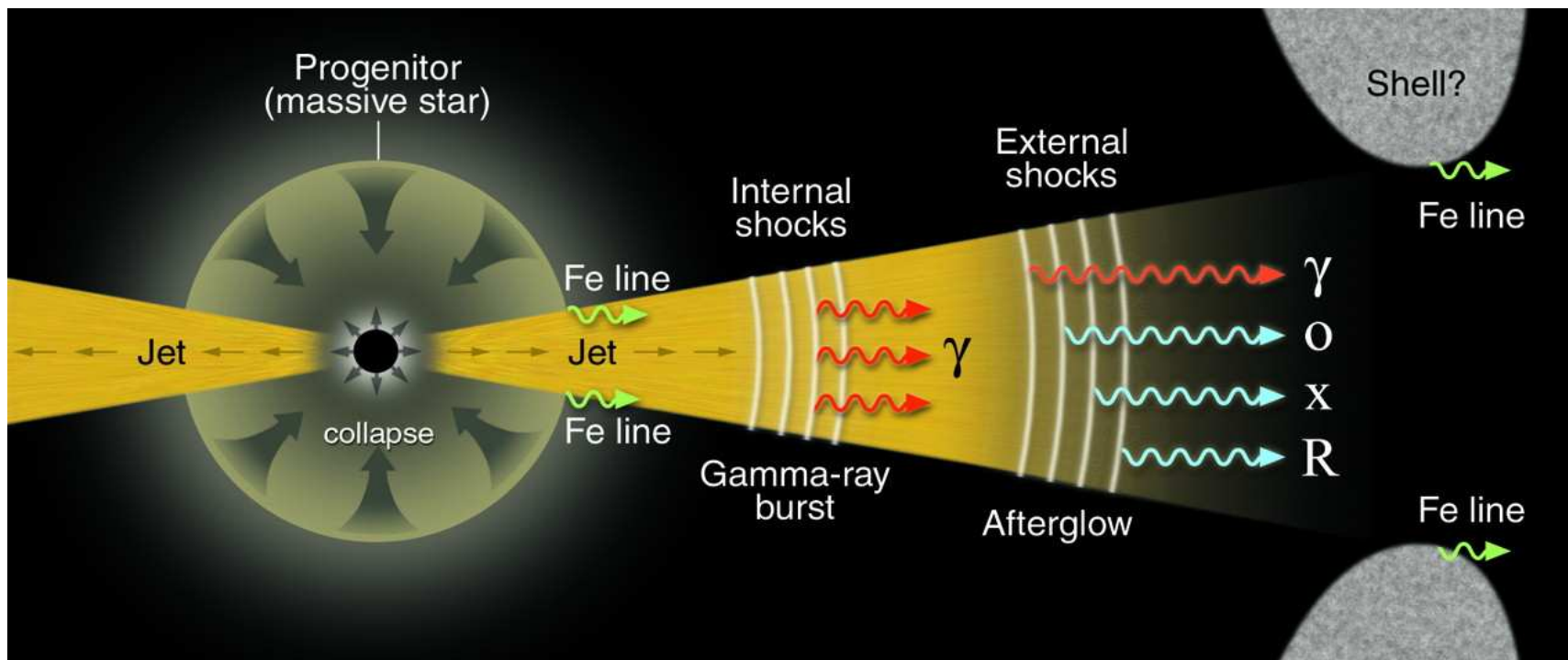
Interne Stoßwellen

- Rees & Mészáros 1994
- Massenschalen mit $\Gamma \sim 50, 100, 200$
- Kollision der Massenschalen
- Kinetische Energie dissipiert
- Synchrotron –Strahlung der $e^+ e^-$ in turbulenten Magnetfeldern
- Ausdehnung des Spektrums in GeV – Bereich durch Inverse Comptonstreuung (IC) der Photonen



Nachglühen

- Jet läuft in Interstellares Medium (ISM)
- Abbremsung auf nicht-relativistische Geschwindigkeiten
- Schockwelle von ultrarelativistischen Elektronen
- Strahlungsemission
- Beobachtet nur für lange Bursts

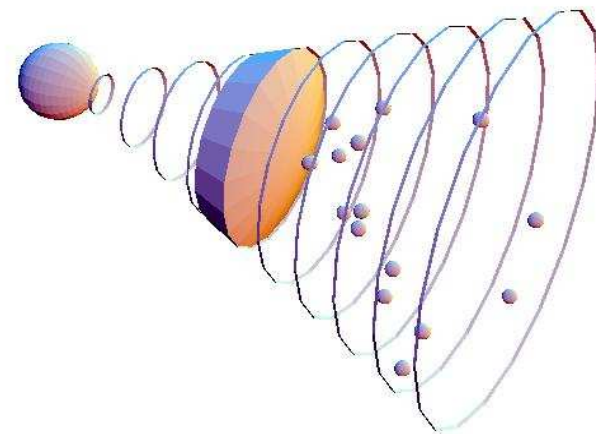


P. Mészáros, Science 291

- $R \sim 10^{13} \text{cm}$ $R > 10^{16} \text{cm}$

Externe Stoßwellen

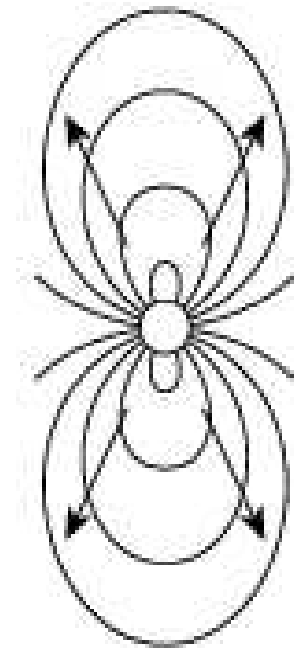
- Variabilität wird erzeugt in externen Stoßwellen durch Wechselwirkung mit Blasen im Interstellaren Medium (ISM)
- Sari & Piran (1997):
- Nicht möglich wegen zu geringer Effektivität und zu großer zeitlicher Verschmierung durch relativistische Effekte



Sari

Poynting-Fluss

- Spruit, Daigne & Drenkhahn (MPA, 2001)
- Problem bei internen Stoßwellen : Effektivität $\leq 10\%$
- Poynting – Fluss: Transport von magnetischer Energie
- Dissipation außerhalb der Photosphäre
- Hohe Effektivität 10% – 50%
- Großskaliges Magnetfeld erzeugt Synchrotronstrahlung der Elektronen
- Lokale Erzeugung von Magnetfeldern nicht nötig

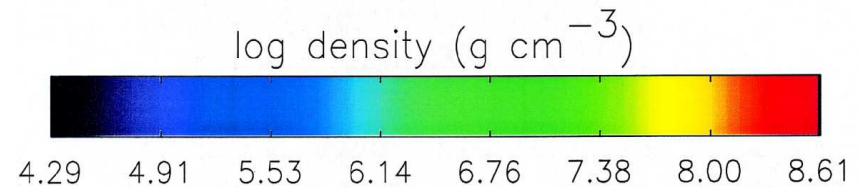
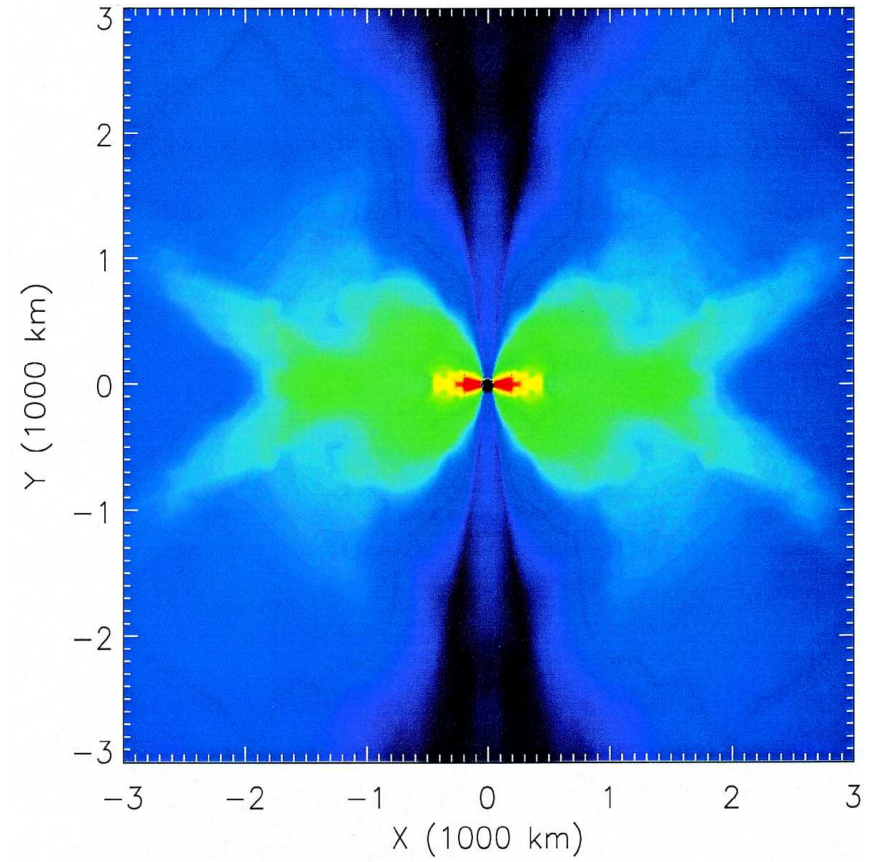
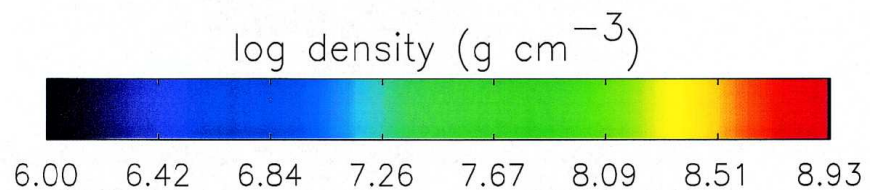
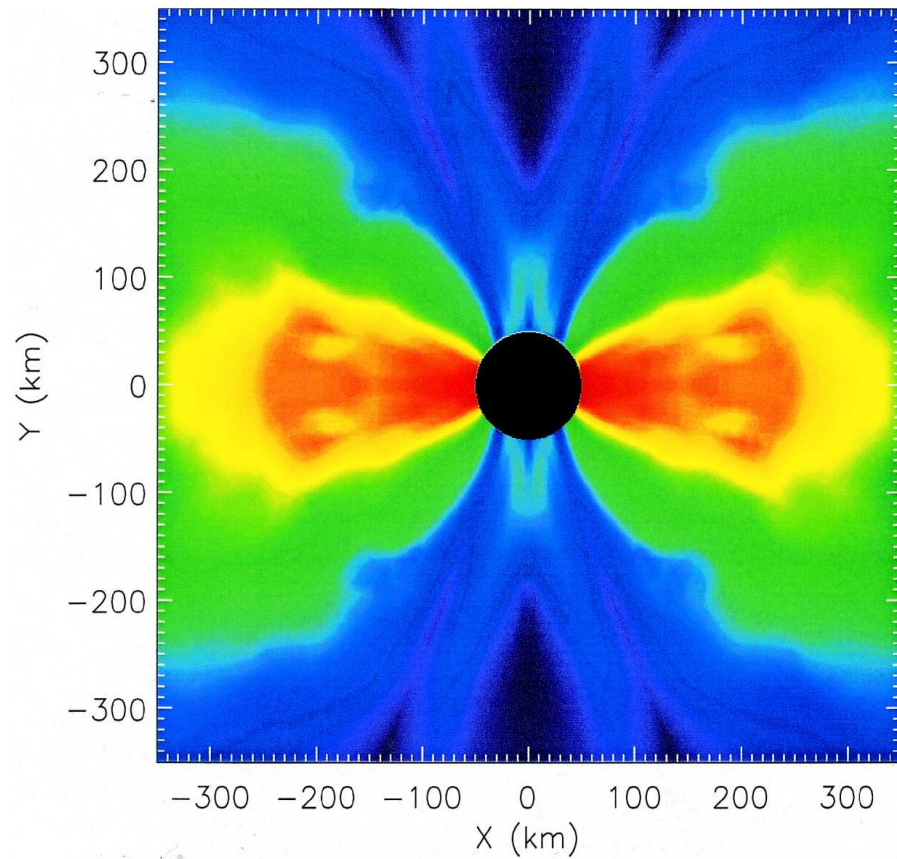


Die Energiequelle

- Anforderungen aus Beobachtung:
- Energien: $E_{\gamma} \sim 5 \cdot 10^{50} \text{ erg}$
- Variabel \Rightarrow Interne Stoßwellen
- Beobachtete Rate: Alle 10^7 Jahre pro Galaxie

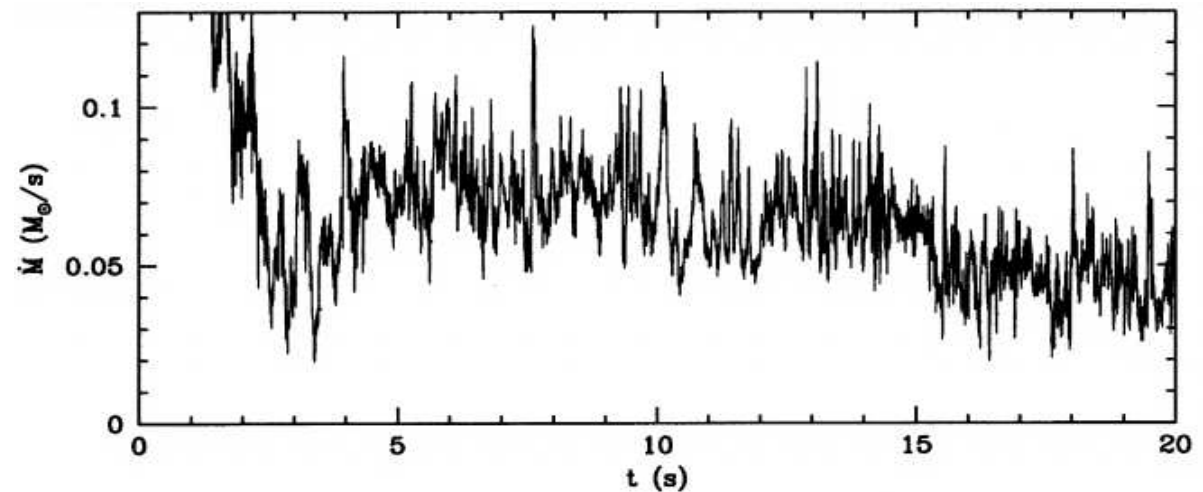
"Mißglückte" Supernova

- MacFadyen & Woosley (1999)
- Schnell rotierender massereicher Stern $35 M_{\text{sun}}$
- Helium – Kern $14 M_{\text{sun}}$
- Stellares Schwarzes Loch mit Rotation $3 M_{\text{sun}}$



Akkretion

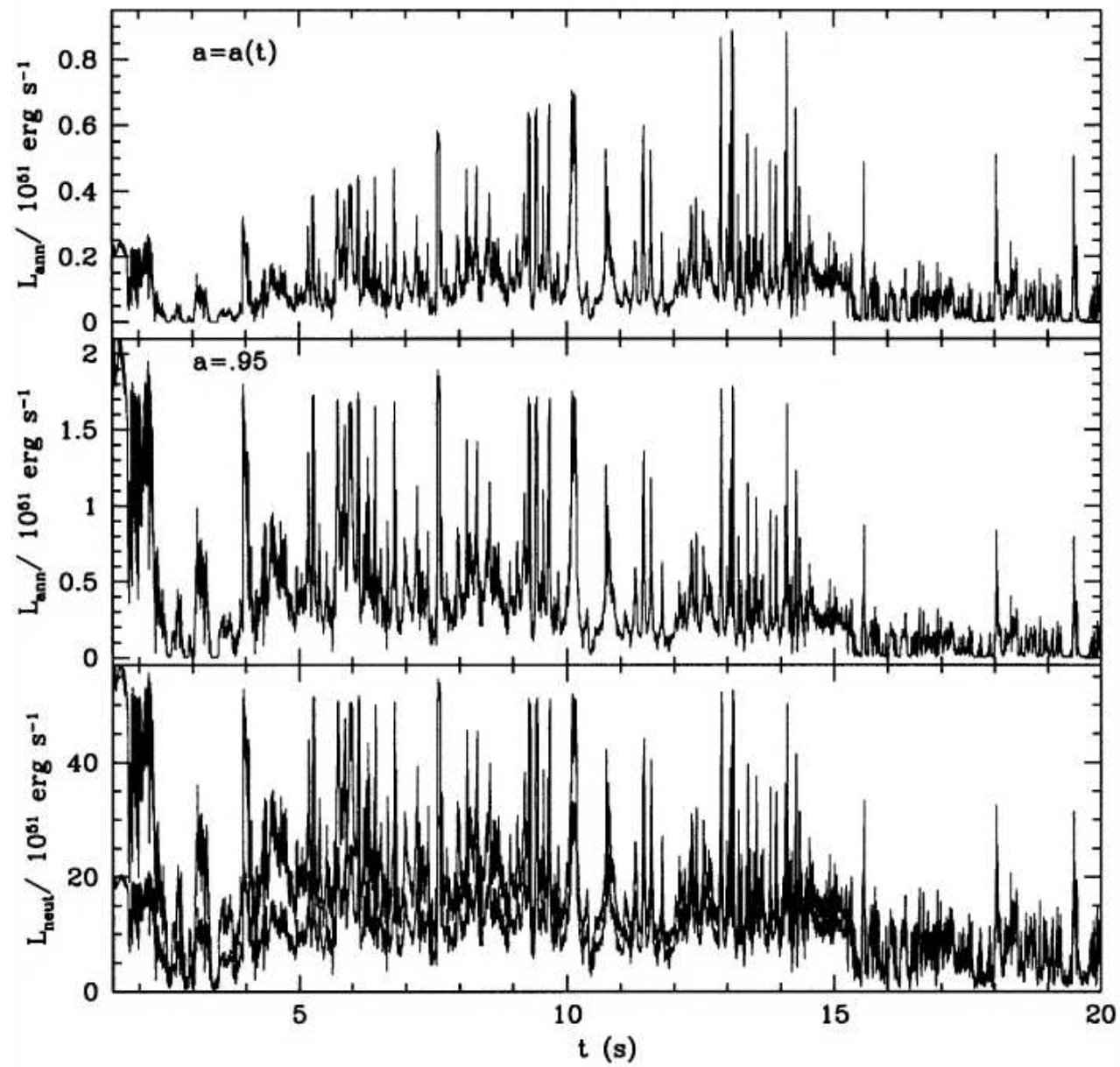
- Akkretionsscheibe mit $T > 10^{10}\text{K}$ (Viskosität)
- Hohe Temperatur: $p + e^- \rightarrow n + \nu$ $n + e^+ \rightarrow p + \bar{\nu}$
- Kühlung durch Neutrinos, da optisch dick
- Variable Akkretionsrate $\cong 0.1 M_{\text{sun}}/\text{sec}$
- richtiger Kern-Drehimpuls

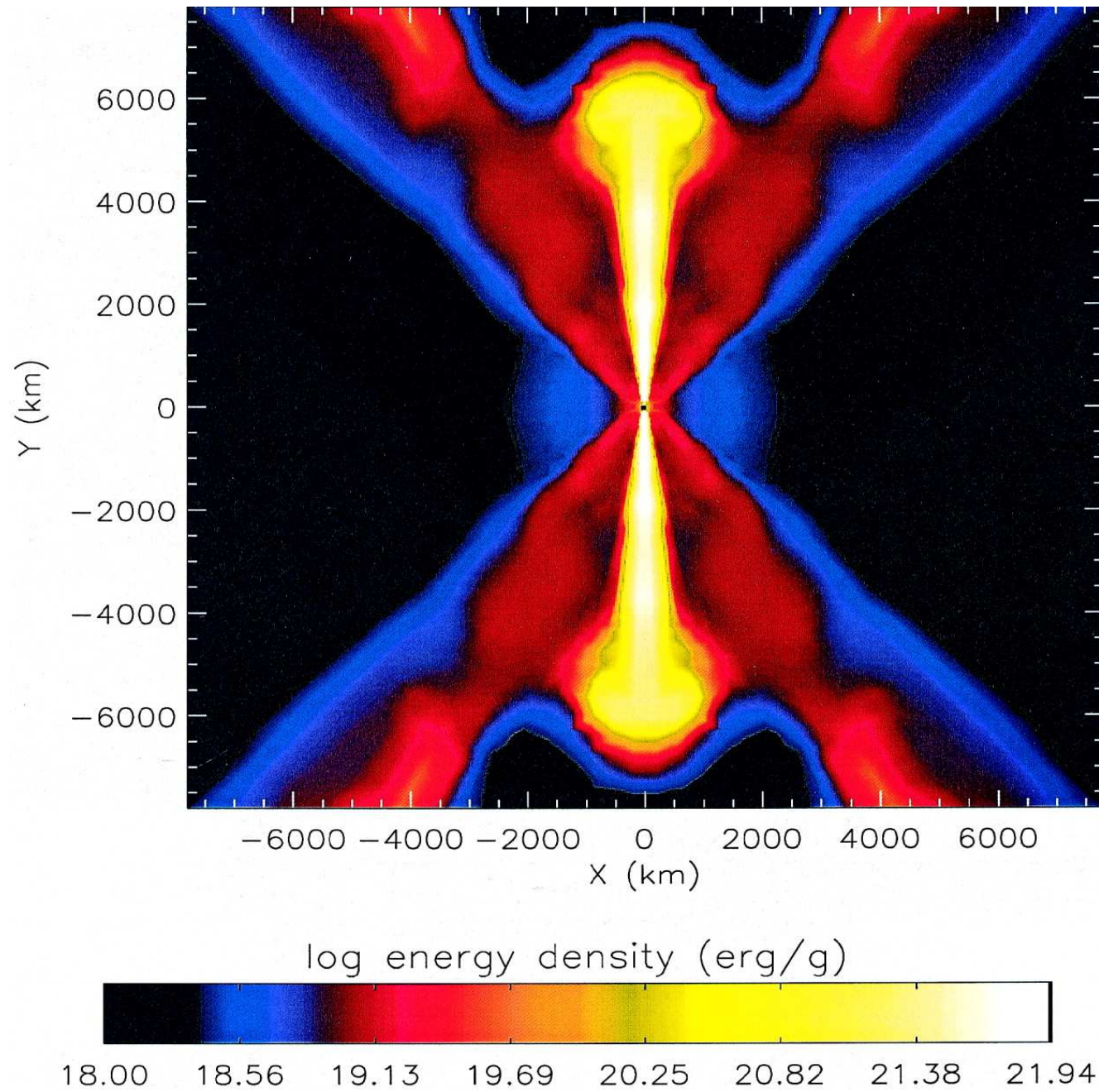


Energiedeposition

- Neutrinoluminosität aus Modell mit Kerr-Parameter, Dichte, Temperatur
- Scheibenluminosität: 10^{52} ergs/s
- Annihilation von Neutrinos über den Polen des BH
- Energiedeposition 10^{51} – 10^{52} erg
- Starke Variabilität
- Akkretionsdauer $\cong 15$ sec

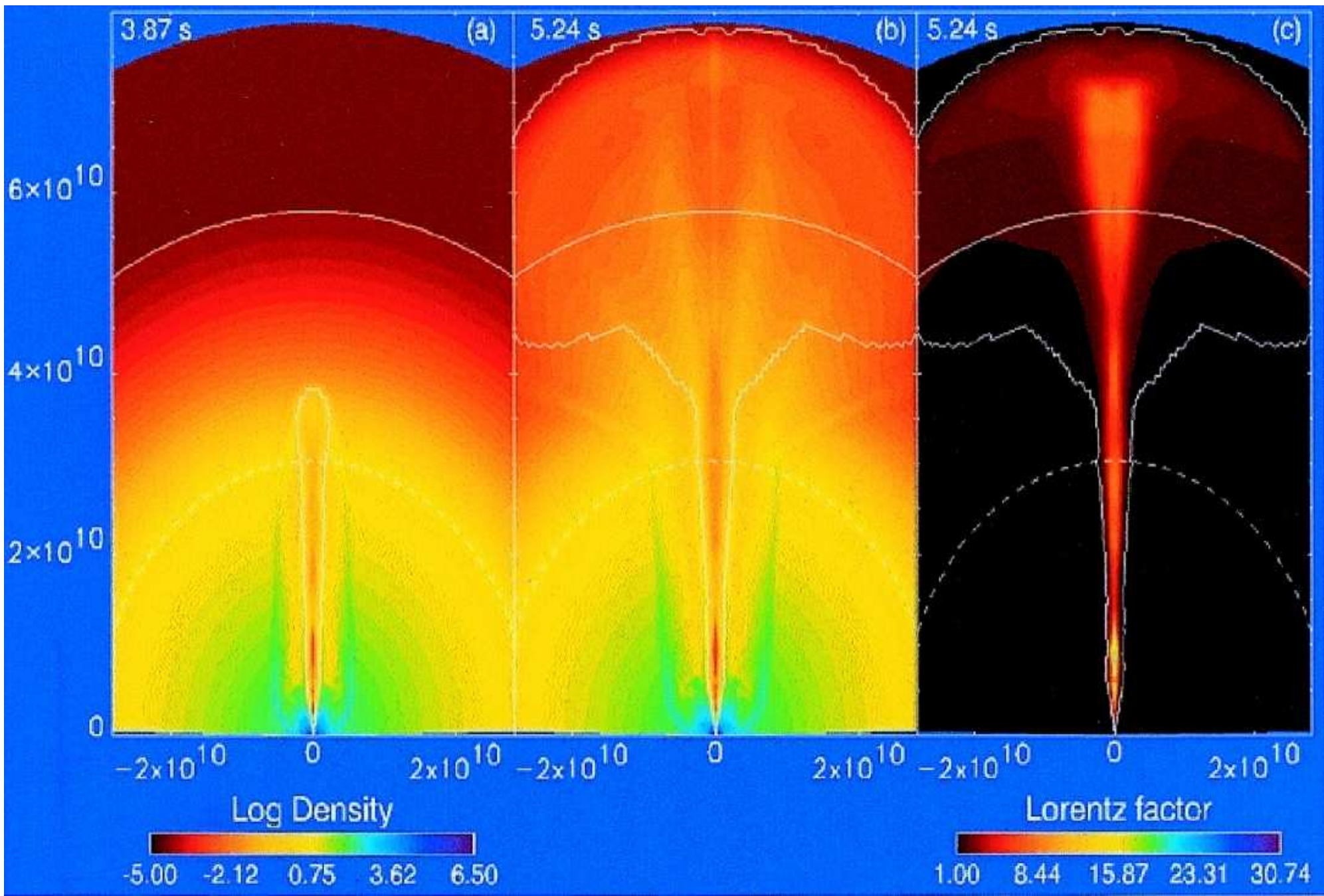
$(\theta > \pi/4)$





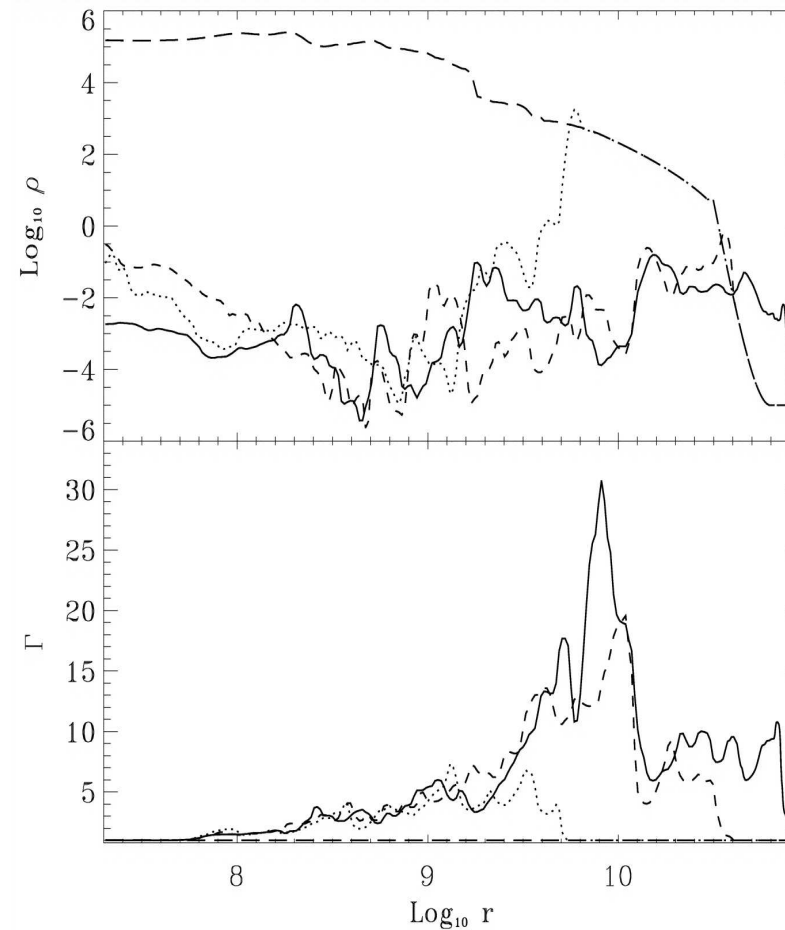
Relativistischer Jet

- Aloy et al. (1999): Relativistische Hydrodynamik
- Vorkollabiertes Modell von MacFayden & Woosley
- Sternradius $\cong 3 \cdot 10^{10}$ cm
- Energiedeposition 10^{50} ergs/sec bzw. 10^{51} ergs/sec
- 30° weiter Kegel in der Polregion um Rotationsachse



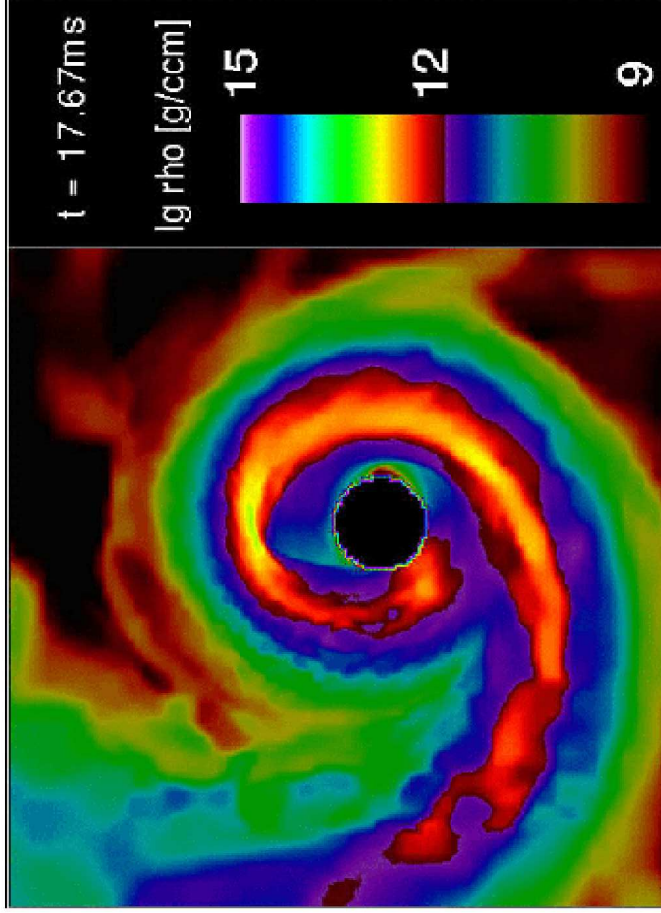
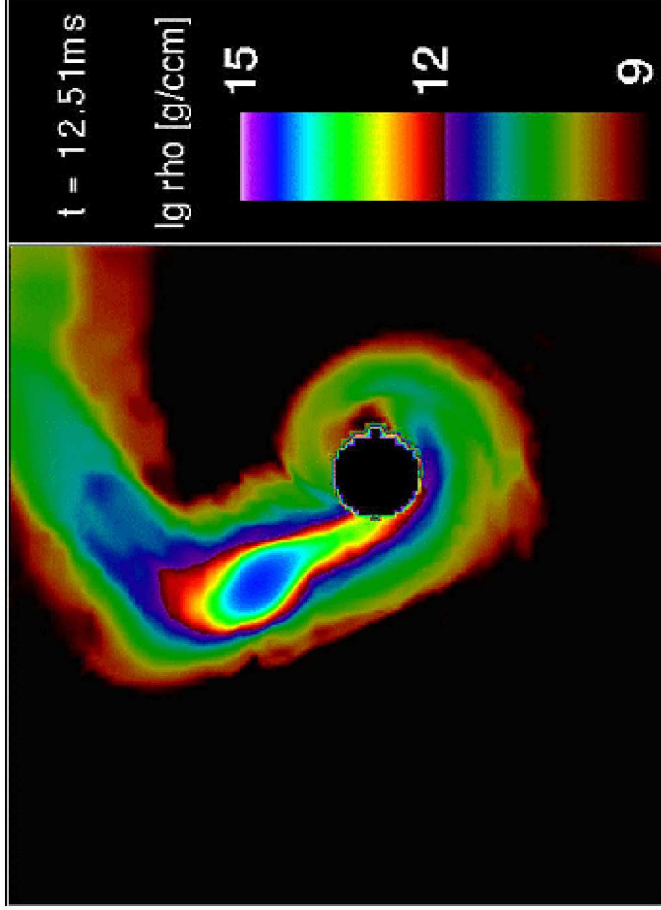
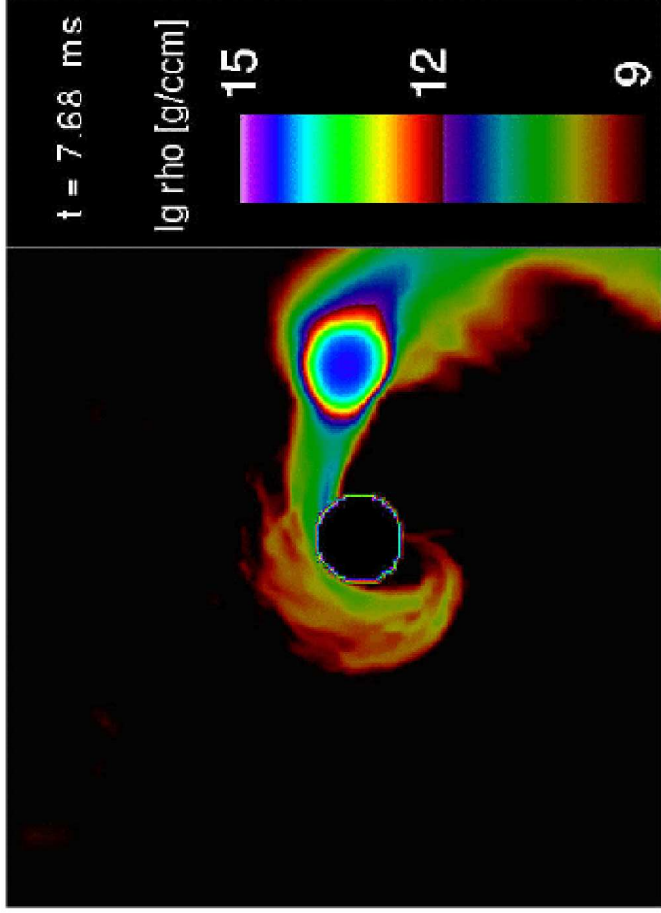
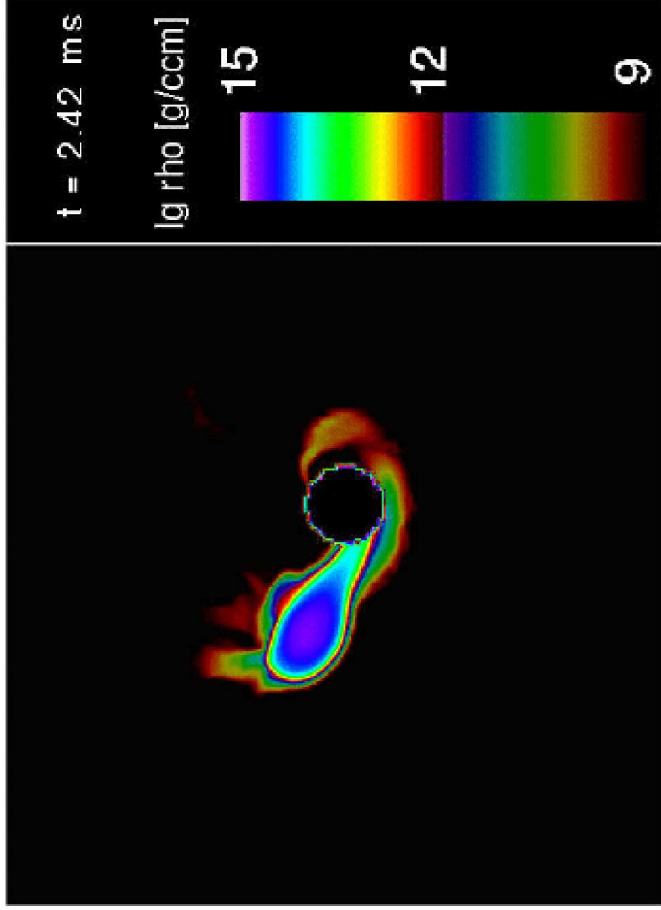
Jet: Ergebnisse

- Kollimation: $\Omega < 1^\circ$
- $\Gamma_{\text{max}} = 30 \dots 40$
- Interne Stoßwellen (10^{13}cm)
- 2...3sec bis Oberfläche



Verschmelzung kompakter Objekte

- Janka & Ruffert
- 3–dim newtonscher Code
- Neutronenstern: NS Schwarzes Loch: BH
- 1) NS–NS 2) NS–BH
- Stellares (schnell rotierendes) BH Kerr–BH



Eberl, Ruffert, Janka, 1999,

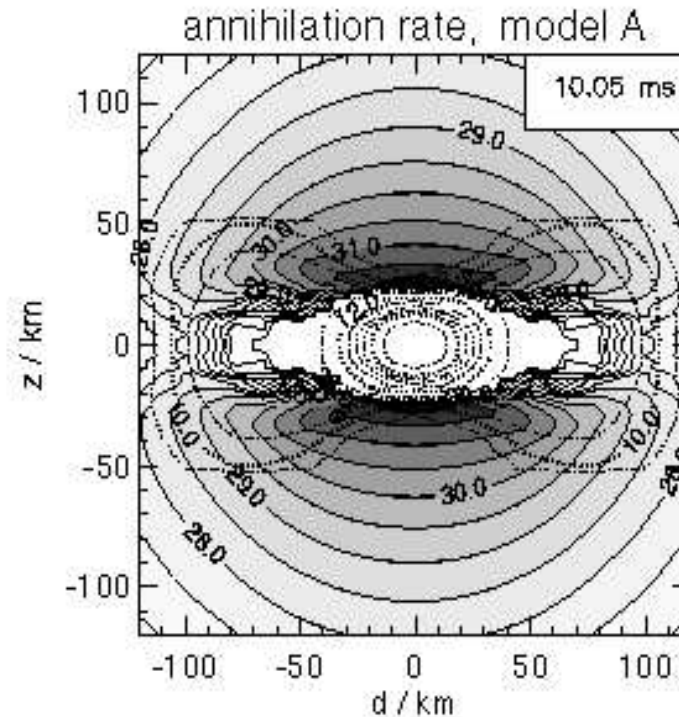
BH: 5 Msol, NS: 1.4 Msol

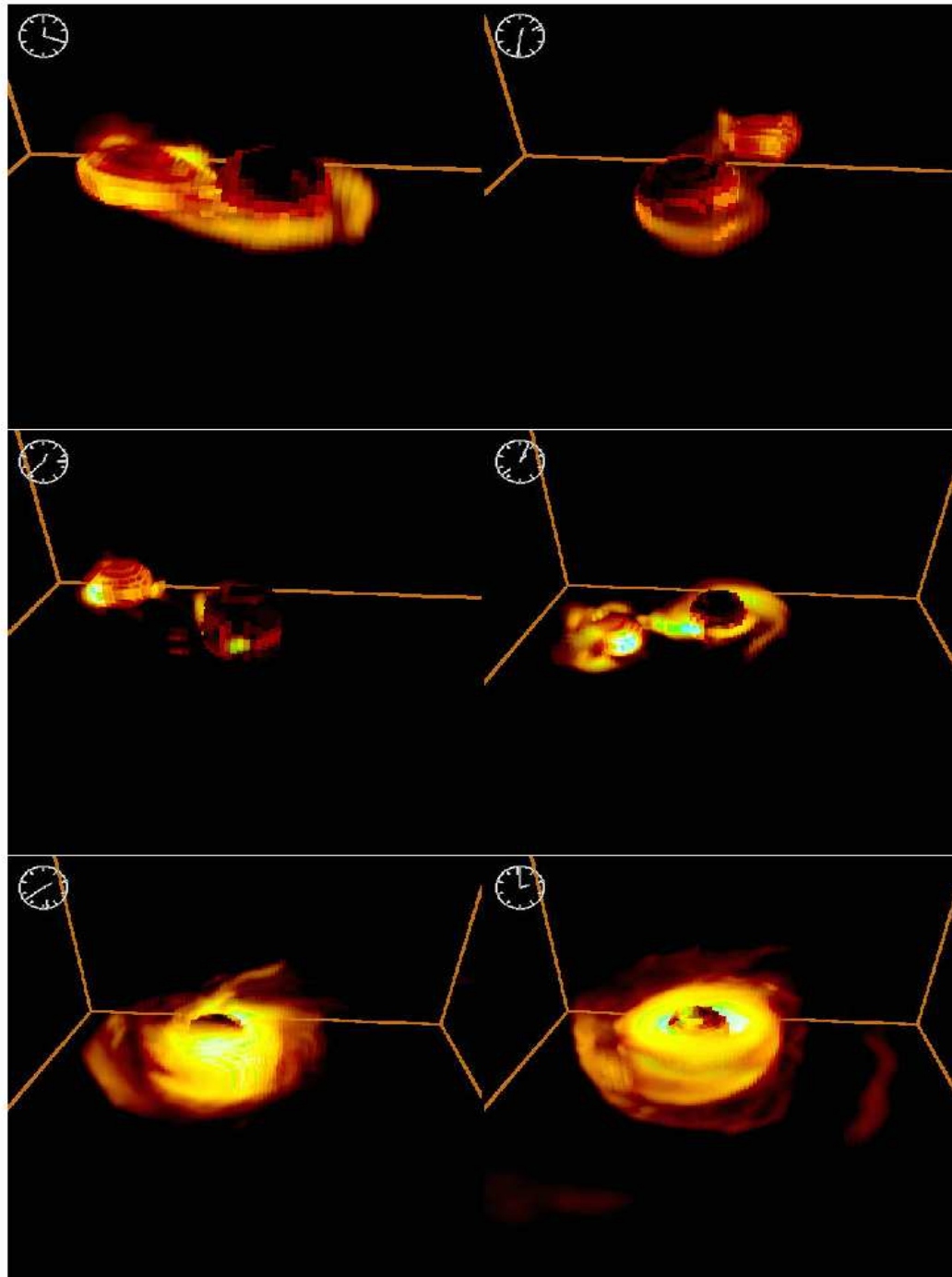
Merger: Akkretion

- Torus mit $0.2...0.3 M_{\text{sun}}$
- Simulationsende:
- Stabile? Akkretionsrate $\cong 5M_{\text{sun}}/\text{s}$
- Akkretionsdauer: 50...150ms

Neutrino-Annihilation

- Temperatur $\sim 10\text{MeV}$
- Dichte $10^{10}\dots 10^{12}\text{g/cm}^3$
- Annihilation: $\nu + \bar{\nu} \rightarrow e^+ + e^-$
- Scheibe: 10^{53}ergs/s
- Effektivität $<1\%\dots 3\%$
- Annihilationsenergie: $\sim 10^{50}\text{erg}$
- Poldichte gering
- Modell für kurze Bursts





Literatur

- S.Klose, J. Greiner, D.H. Hartmann Physikalische Blätter (2001)
- D.A.Frail et. al., astro-ph/0102282
- T.Piran, Physics Reports 314 (1999) 575–667
- T.Piran, Physics Reports 333–334 (2000) 529–553
- P.Mészáros, astro-ph/0111170
- S.Blinnikov, astro-ph/9911138
- R.Sari, T.Piran, ApJ 485, 270–273 (1997)
- A.I.MacFadyen, S.E.Woosley, ApJ 524, 262–289 (1999)

Literatur

- M.A.Aloy, E.Müller, J.M.Martí and A.MacFadyen
ApJ 531, 119–122 (2000)
- H–T.Janka, M.Ruffert, astro–ph/011357
- M.Ruffert, H–T.Janka, A&A 380, 544–577 (2001)