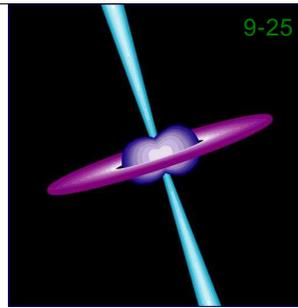
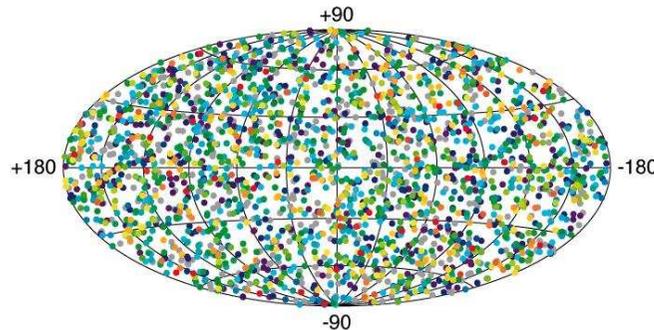


Gamma Ray Burst (GRB)

- Sekunden andauernde, sehr harte Strahlung
- kurzzeitig so hell wie das ganze Universum!
- Vermutlich axial stark gebündelt
- Zwei Typen, zwei Szenarien:
 - Gravitationskollaps *stark rotierender* WR-Sterne (*Hypernova*)
 - Verschmelzen zweier Neutronensterne



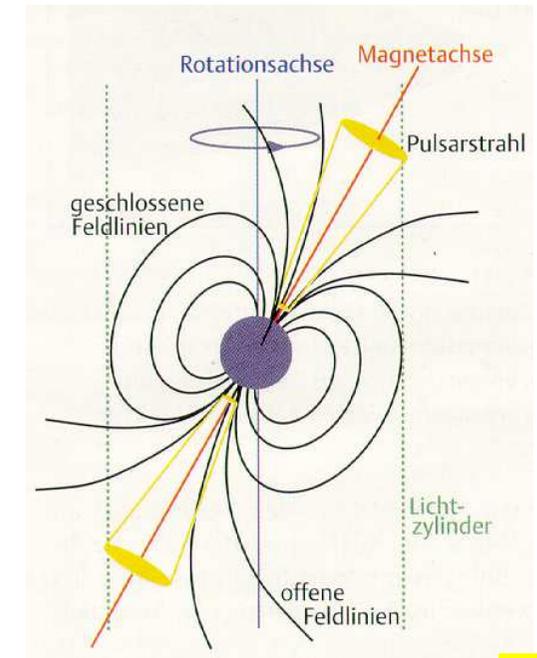
9-25



Die Positionen von 2704 GRBs sind gleichmäßig über den Himmel verteilt. Das beweist ihren extragalaktischen Ursprung.

Pulsare

- Neutronensterne
- Schnelle Rotation (Periode ~ 1 s)
- Extremes Magnetfeld (typisch 10^8 Tesla)
- Korotation bis zum Lichtzylinder
- Beschleunigung geladener Teilchen entlang offener Feldlinien
- Abbremsung durch magnetische Dipolstrahlung
- *Spin-up* durch Massenakkretion in Doppelstern-Systemen



9-27

Beobachtete Neutronensterne:

Pulsare (≈ 1000 Stück bekannt)

Strahlung pulsiert in allen Spektralbereichen (Radio... X-ray)

Perioden: 0.006 ... 4.3 Sekunden (!), sehr konstant (auf 10^{-9})

Modell: • rotierende Neutronestern

- gerichtete Abstrahlung ("Leuchtturm-Effekt")
- sehr starkes Magnetfeld, schiefer Rotator, Synchrotron-Strahlung in Richtung d. Magnetpole

Kein Problem mit der Zentrifugalkraft:

$$\bar{\rho} = 10^{13} \text{ g/cm}^3 \xrightarrow{\text{VII.2}} \tau_{\text{FF}} \approx 0.3 \text{ ms}$$

IX.7

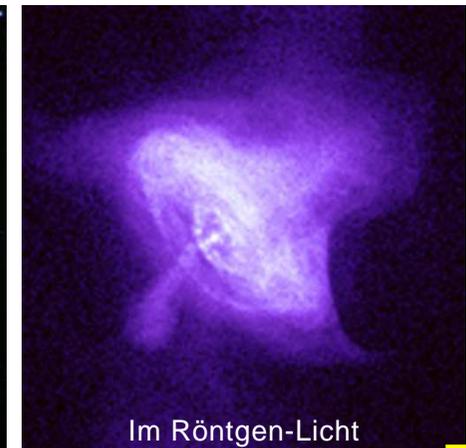
9-26

Der Krebs-Nebel

- Überrest der Supernova A.D. 1054 im Sternbild Stier
- Entfernung 6000 Lichtjahre
- **Neutronestern** dreht sich 30 Mal pro Sekunde ("Pulsar")
- Radius nur ~ 30 km \rightarrow Dichte ~ 1 Million Tonnen pro cm^{-3} !



Im sichtbaren Licht



Im Röntgen-Licht

9-28

- wenn: • kollabierende Masse $> M_{N-max}$
 oder • Masse des Neutronensterns wächst nachträglich über M_{N-max}
 (durch Akkretion oder Binary-Merging?)

wobei Grenzmasse für Neutronensterne

$$M_{N-max} \approx 2 M_{\odot} \quad (?? \quad 1.5 \dots 3 M_{\odot})$$

- dann \Rightarrow kein hydrostatisches Gleichgewicht möglich
 \rightarrow Kollaps auf einen Punkt ("Singularität")

\Rightarrow Schwarzes Loch

- Ereignishorizont = Schwarzschildradius R_s :

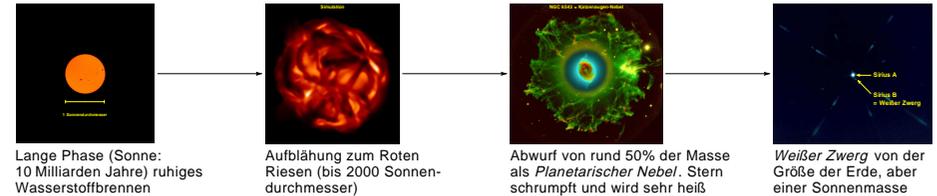
$$R_s = \frac{2GM}{c^2} = \frac{M}{M_{\odot}} \cdot 3 \text{ km}$$

- von innerhalb R_s können selbst Photonen nicht entweichen

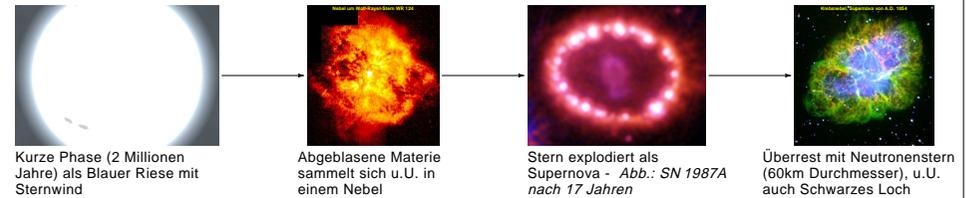
Der Lebensweg der Sterne

- lang und ruhig, oder kurz und heftig ?

Sterne geringer Masse (unter 8 Sonnenmassen):



Massereiche Sterne (mehr als 8 Sonnenmassen):



- einzige beobachtbare Parameter: Masse, Drehimpuls
- komplizierte Raum-Zeit-Strukturen (Allg. Rel. Theorie!)

- freigesetzte Gravitationsenergie:

$$E_G = \frac{GM^2}{R_s} = \frac{GM^2 c^2}{2GM} = \frac{1}{2} M c^2 \quad !$$

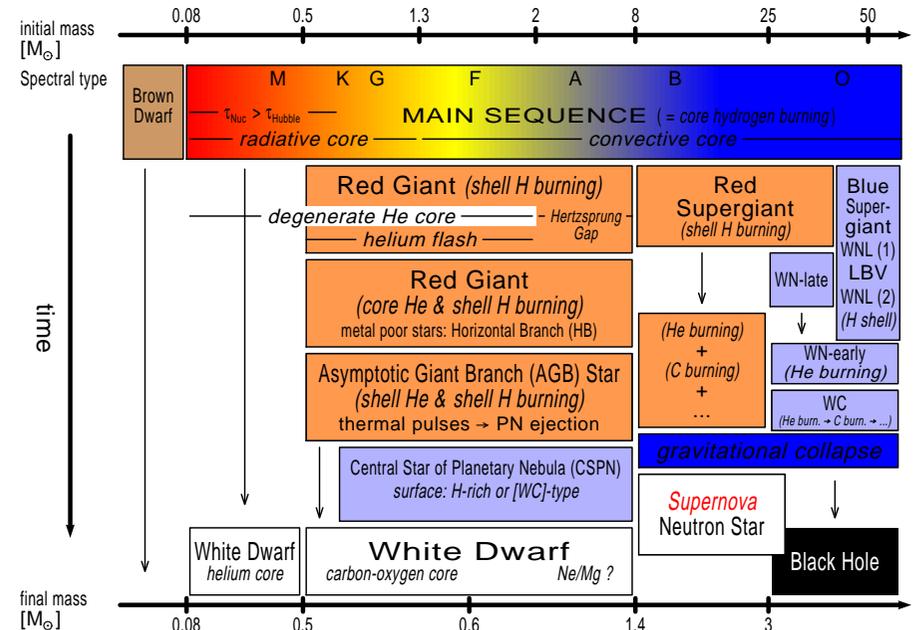
kann z.B. bei anhaltender Materie-Akkretion z.T. außerhalb von R_s dissipieren \rightarrow Röntgenquelle!

Beobachtung: Röntgen-Doppelsterne

- Röntgenemission durch Akkretion auf ein kompaktes Objekt (Neutronensterne oder Schwarzes Loch)
- Bahnparameter \rightarrow Masse; falls $> M_{N-max} \Rightarrow$ Schwarzes Loch

Beste Kandidat: Cyg X-1

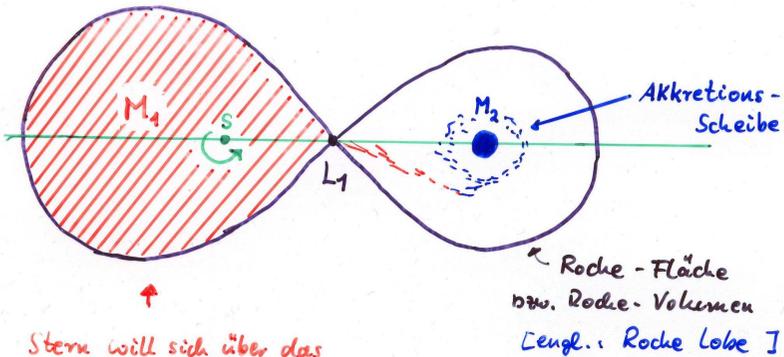
Blauer Riese ($20 M_{\odot}$) + Kompakter Stern ($M = 10 M_{\odot} > M_{N-max}$)



Entwicklung in engen Doppelsystemen

IX. 17 9-33

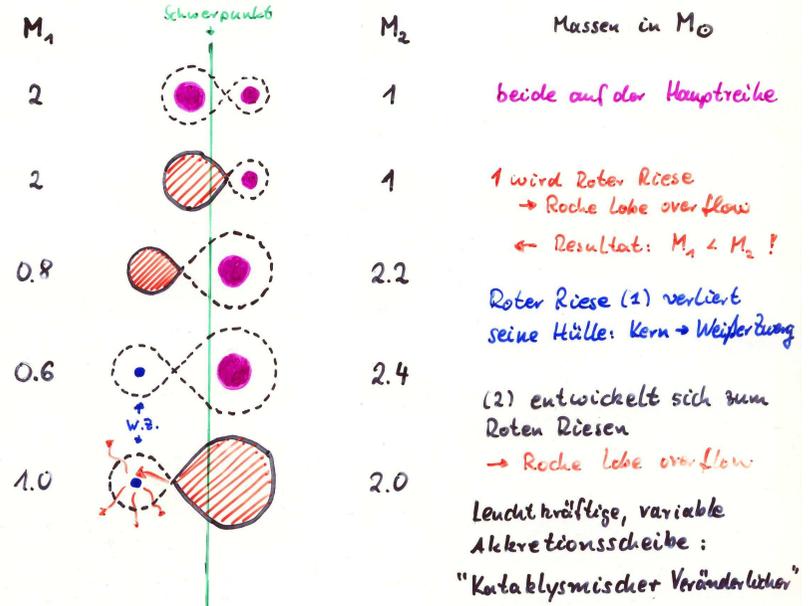
engl.: close binary evolution



↑
Stern will sich über das
Roche-Volumen hinaus
ausdehnen ⇒ Massen-Übertragung [engl. mass transfer,
Roche lobe overflow] auf den Begleiter

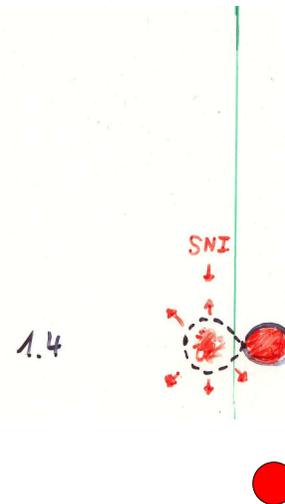
Massearmer Doppelsystem

IX. 12 9-35



- Der ursprünglich massereichere Stern ("Primary") erreicht zuerst das Riesenstadium
- Das Gesamtsystem kann Masse verlieren ("nicht-konservativer Massenaustausch")
- Massenverlust (Sternwind) einer Komponente kann auch ohne "Roche lobe overflow" zu Massenübertrag führen
- Unterschiedliche Szenarien für massearme und massereiche Doppelsysteme:

9-34



Immer wenn sich genügend Wasserstoff auf dem Weißen Zwerg angesammelt hat. Thermokernare Explosion → Zwergnova, Rekurrende Nova

Wenn Masse des W.Z. auf $1.4 M_{\odot}$ (Chandrasekhar-Masse) angewachsen ist: Gravitationskollaps!

explosives Zünden des C-Brennens (C-Detonation)
→ Weißer Zwerg wird zerrissen
→ kein kompakter Remnant
Begleiter behält hohe Geschwindigkeit

9-36

Massereicher Doppelstern

IX.13

