

Supernovae

Peter H. Hauschildt

`yeti@hs.uni-hamburg.de`

Hamburger Sternwarte

Gojenbergsweg 112

21029 Hamburg

Übersicht

- Was ist eine Supernova?
- Was kann man von Supernovae lernen?
- Welche Sterne werden Supernovae?
- Wie funktioniert eine Supernova?
- Was bleibt übrig?
- Zusammenfassung

Was ist eine Supernova?

- stammt von "nova stella" → "Neuer Stern"
- Verschiedene Typen:
 - Klassische Novae, Zwergnovae, etc.
 - Supernova (SN), Typen I und II
- heute → Typ II Supernovae

Supernova

- zweitgrösste Explosion im Weltall
- zeigen den Tod eines alten Sterns an
- recht seltene Ereignisse
- letzte Supernova in der Milchstrasse:
 - Kepler's Supernova (1604)
- kurz davor:
 - Tycho's Supernova (1576)
- letzte helle Supernova:
 - SN 1987A in der Grossen Magellanschen Wolke

SN 1987A



a.

SN 1987A



b.

Was kann man von SNe lernen?

- sehr hell (Milliarden-fache Sonnenleuchtkraft) →
 - können über riesige Entfernungen gesehen werden →
 - kosmologische Entfernungsbestimmung
- produzieren *alle* schweren chemischen Elemente →
 - extrem wichtig für die Anreicherung der Galaxien mit Eisen etc.
 - alles Eisen der Erde wurde von Supernovae produziert
- Schockwelle der Explosion startet Sternentstehung

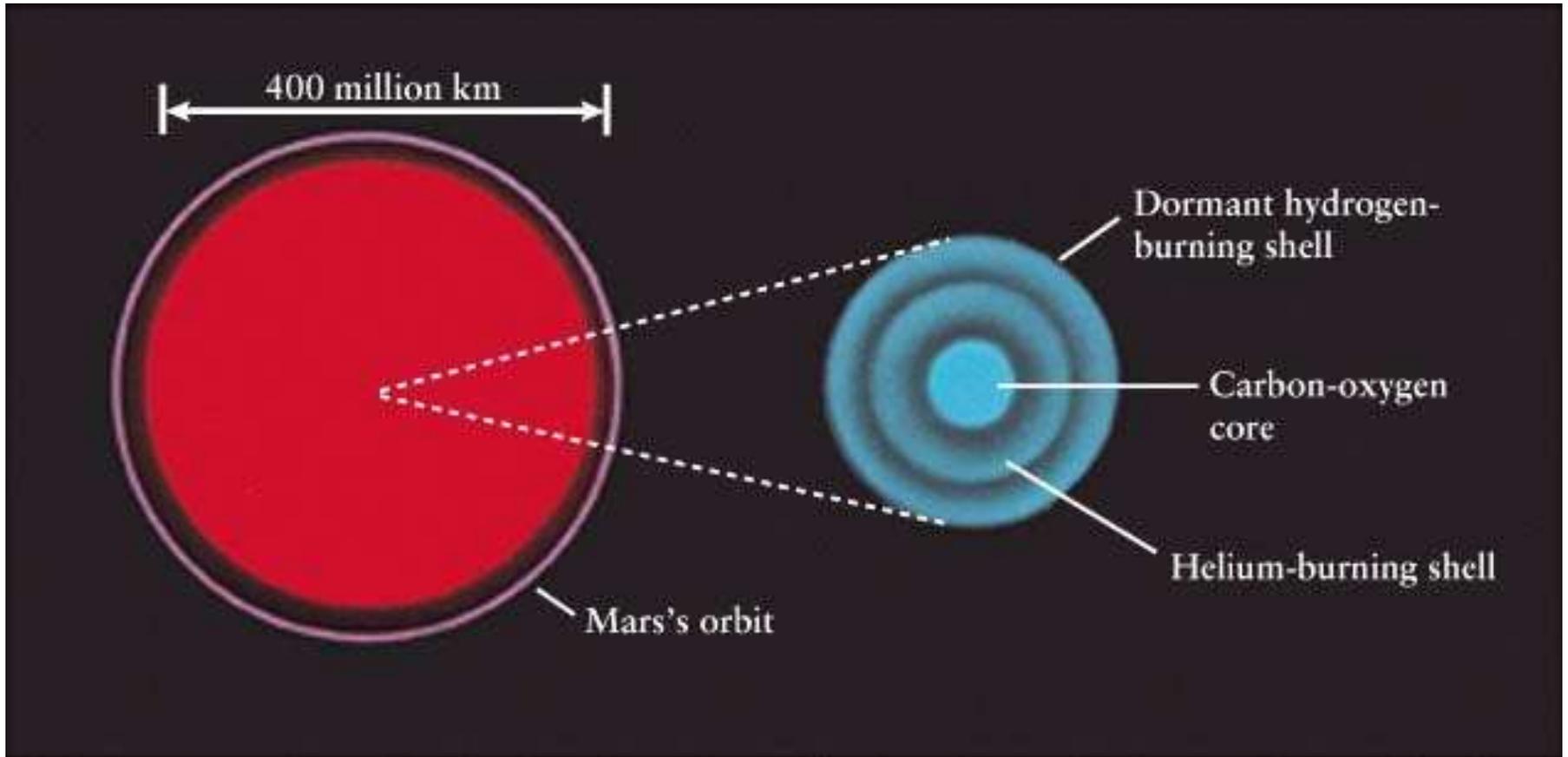
Welche Sterne werden SNe?

- 2 Typen von Supernovae:
 - Typ Ia: explodierender Weisser Zwerg
 - Typ II, Ib,c: alter, massereicher Stern in der letzten Lebensphase
- Typ I SNe:
 - kein Wasserstoff!
 - heller als Typ II
 - Ia → Standardkerzen

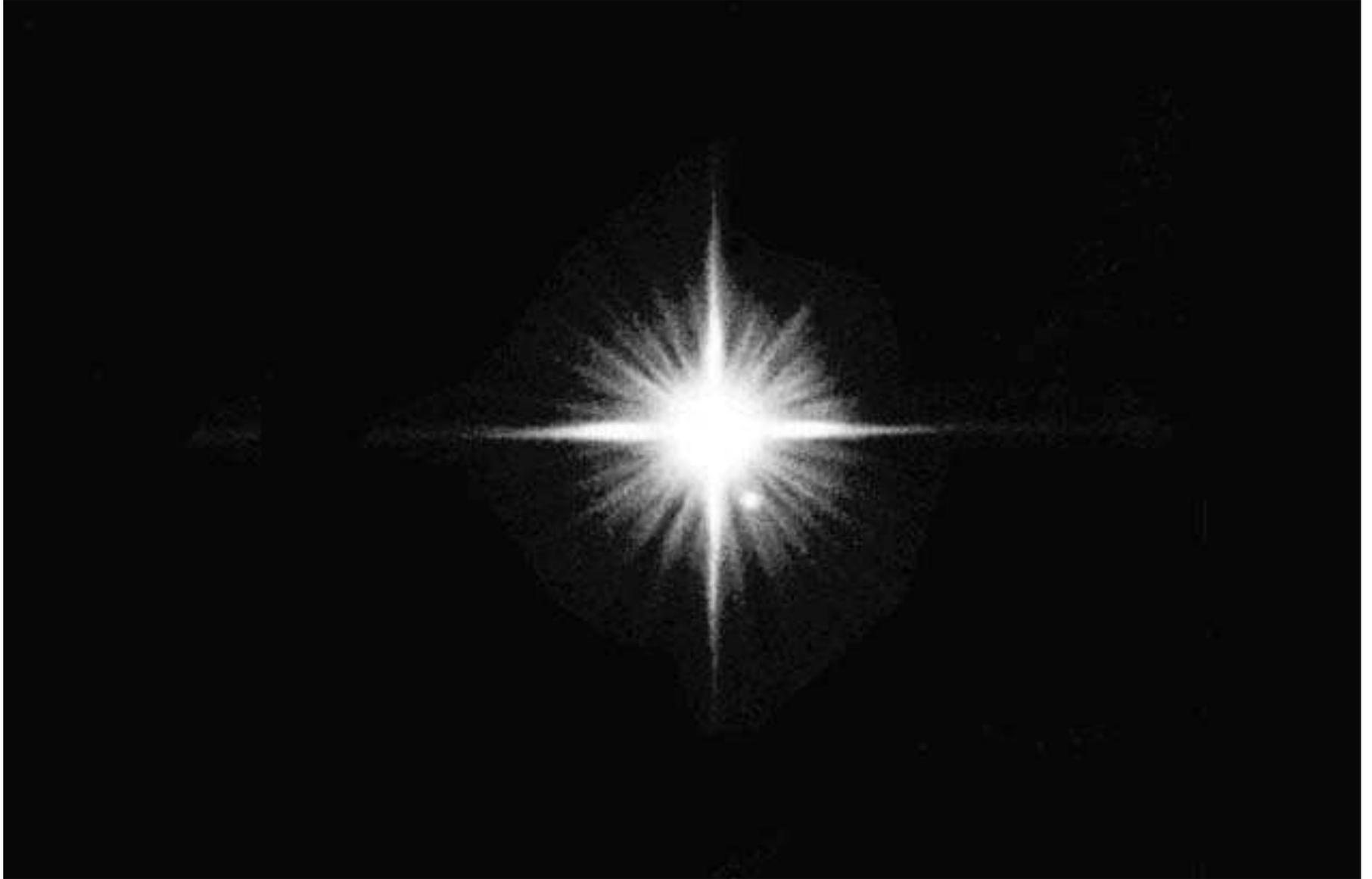
sonnenähnliche Sterne

- Wasserstoff Brennen: $H \rightarrow He$
- danach Helium Brennen: $He \rightarrow C, O$
- Struktur \rightarrow

alte sonnenähnliche Sterne



→ Weisser Zwerg



plus Planetarischer Nebel



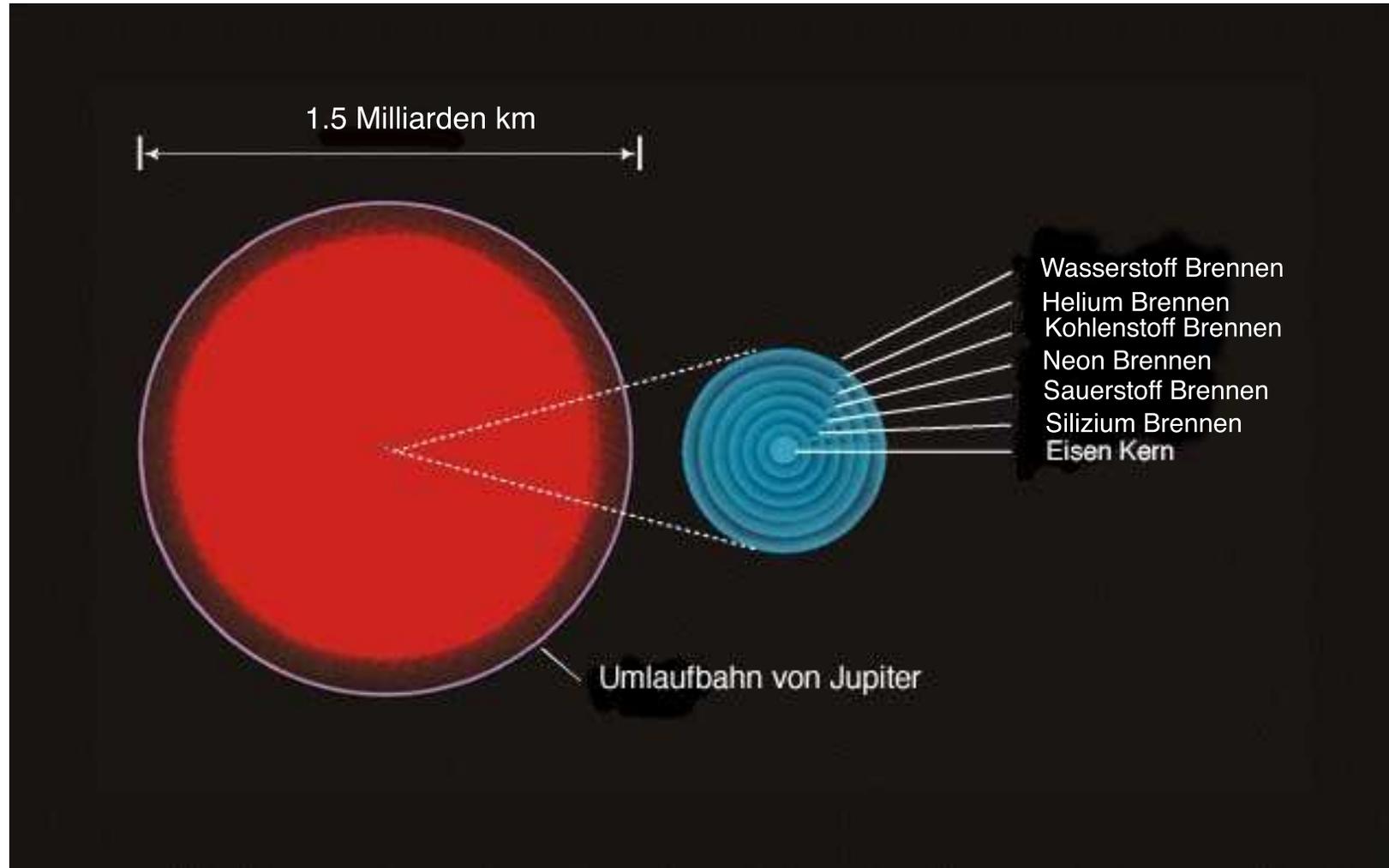
Sanduhr Nebel



Massive Sterne

- Masse grösser als 8 Sonnenmassen →
- weitere Fusionsprozesse finden statt
 - Kohlenstoff Brennen (0.6×10^9 K, 600 Jahre)
 - Neon Brennen (1.2×10^9 K, 1 Jahr)
 - Sauerstoff Brennen (1.5×10^9 K, 6 Monate)
 - Silizium Brennen (2.7×10^9 K, 1 Tag)
- hinterlässt eine Zwiebelschalen-Struktur

alter massiver Stern



Massive Sterne

- gewaltige Leuchtkraft →
- Hülle expandiert →
- Stern wird zum *Überriesen*
- thermonukleare Reaktionen enden mit Produktion von Eisen
- → inaktiver Eisenkern von ca. $1.4 M_{\odot}$
- Fusionsreaktionen innerhalb 1 Erdradius vom Zentrum

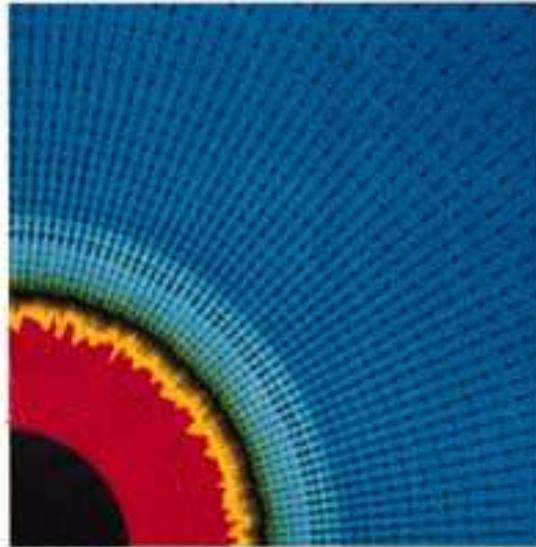
SN Ausbruch

- Eisenkern von aussen stark geheizt
- → extrem energiereiche Strahlung im Kern
- → nukleare Reaktionen starten
- setzen *Neutrinos* frei
- diese verlassen den Stern
- → Kern fängt an zusammenzufallen
- → Temperaturen steigen auf 5×10^9 K
- → Photosdisintegration beginnt
- → Eisen Atomkerne brechen auseinander
- das kostet enorme Mengen Energie
- → Kern fällt noch schneller zusammen

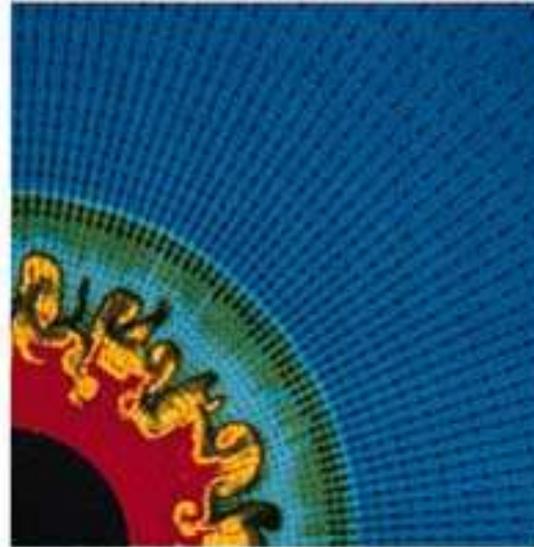
SN Ausbruch

- Rest des Sterns merkt das der Kern plötzlich weg ist!
- → fällt Richtung Zentrum mit 15% der Lichtgeschwindigkeit
- nach 1/4 Sekunde hat Kern 20 km Durchmesser erreicht
- Dichte jetzt vergleichbar mit der eines Atomkernes
- → Material wird extrem 'hart'
- → Kollaps stoppt und Kern expandiert ein wenig

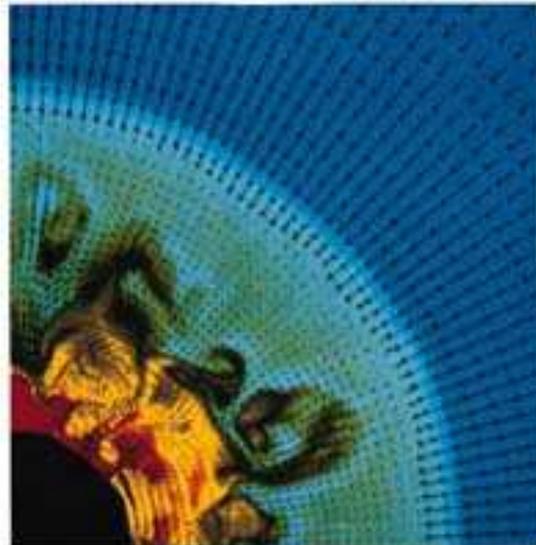
SN Simulation



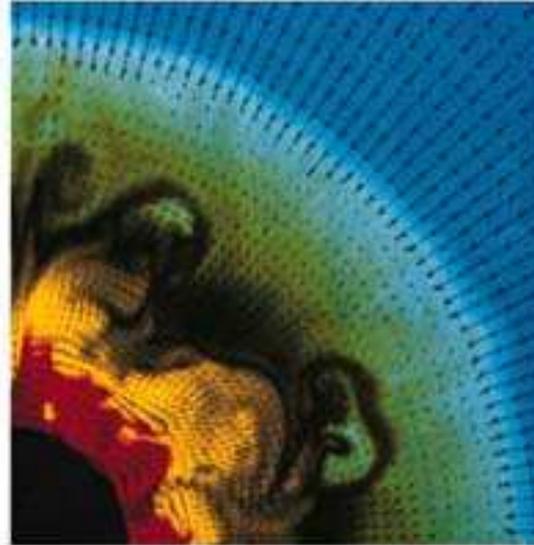
5 Millisekunden



10 Millisekunden



15 Millisekunden



20 Millisekunden

SN Ausbruch

- das erzeugt starke Schockwelle
- die stösst mit einfallender Hülle zusammen
- Schockwelle stark genug um die Implosion in Explosion zu verwandeln
- nach wenigen Stunden erreicht die Explosion den Rand des Sternes
- → Supernova Ausbruch

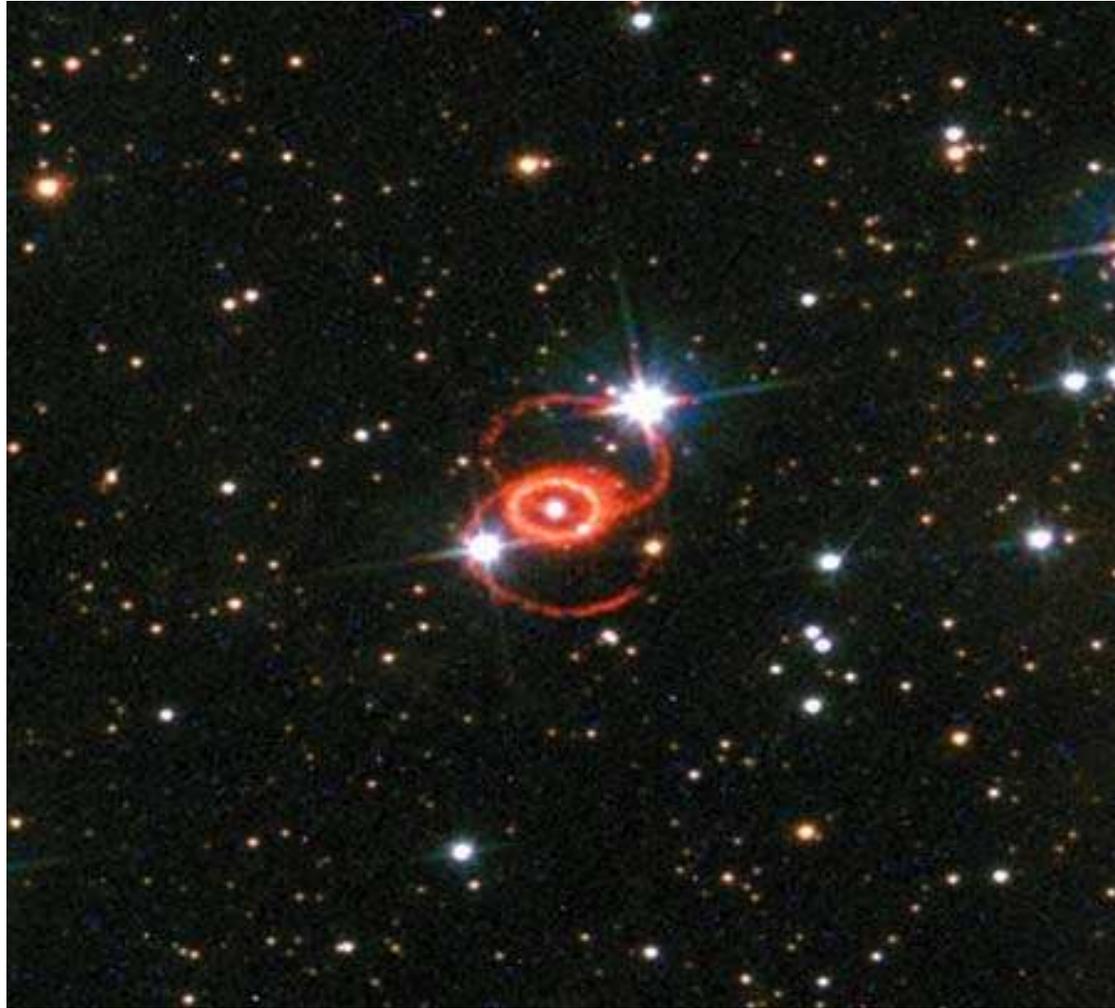
SN Ausbruch

- dabei wird 100 mal so viel Energie frei wie die Sonne in ihrem gesamten Leben erzeugt hat!
- Leuchtkraft der SN erreicht 10^9 Sonnenleuchtkräfte
- Material wird mit mehr als 10^4 km s^{-1} abgestossen
- spektakuläres Feuerwerk ...

SN 1987A

- hellste und naheste SN seit Kepler
 - hell genug für das blosse Auge (Südhimmel)
 - hat 'nur' $10^8 L_{\odot}$ erreicht (zu früh explodiert!)
 - Neutrino Emission beobachtet ...
 - 3h vor der Entdeckung im sichtbaren Licht!

SN 1987A

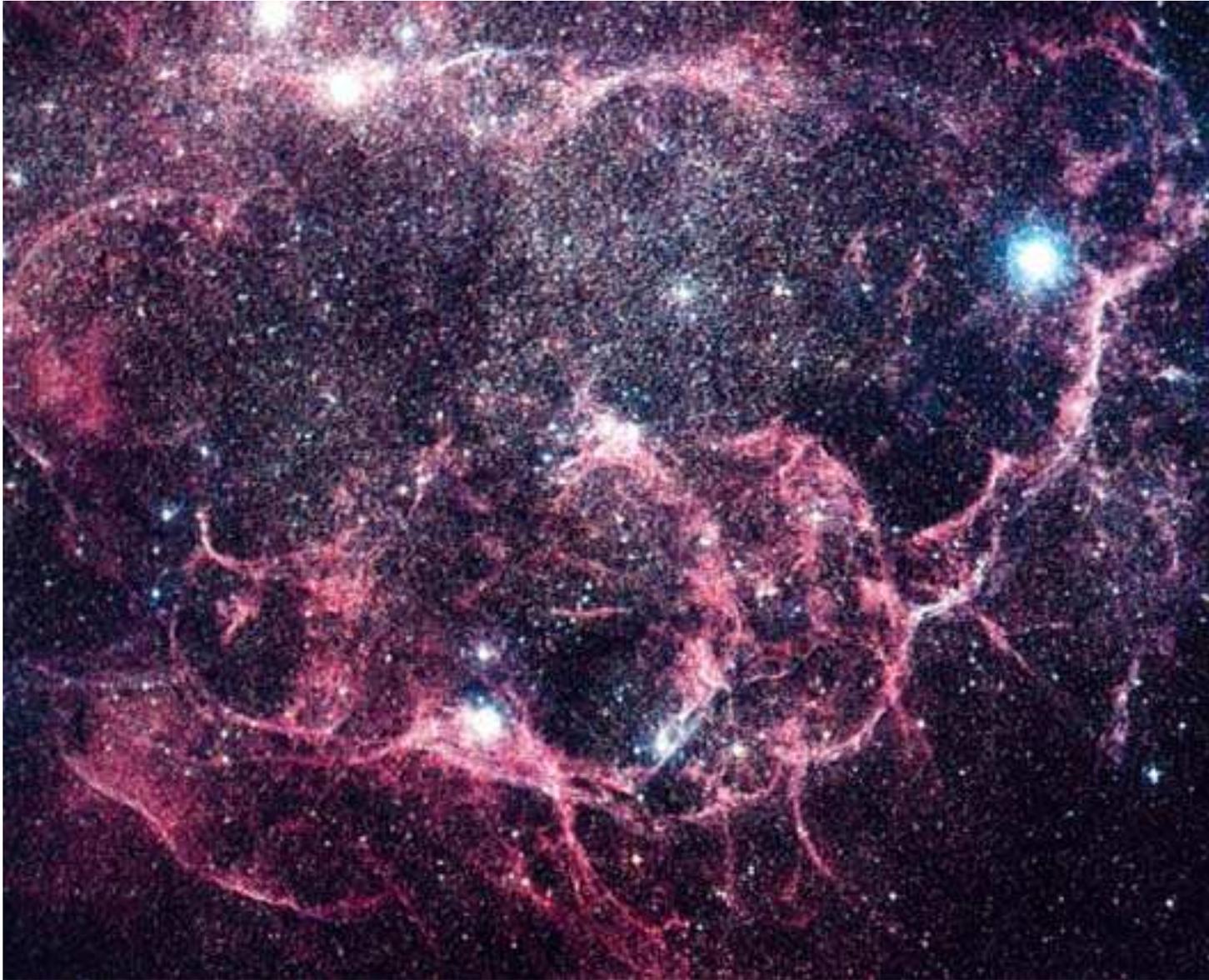


a

Supernova Überreste

- bei der Explosion abgestossenes Material
- produziert leuchtenden Nebel
- viele solcher Nebel sind bekannt
- Beispiel Gum Nebel:
 - 60° Durchmesser im Himmel
 - ca. 400 Lichtjahre entfernt
 - Zentrum ca. 1500 Lichtjahre entfernt
 - SN vor ca. 11000 Jahren explodiert
 - vermutlich so hell wie der Halbmond!

Gum nebula



Was bleibt übrig?

- "Cygnus loop"
- ca. 15000 Jahre alt
- ca. 120 Lichtjahre groß
- ca. 2600 Lichtjahre entfernt

Cygnus Loop



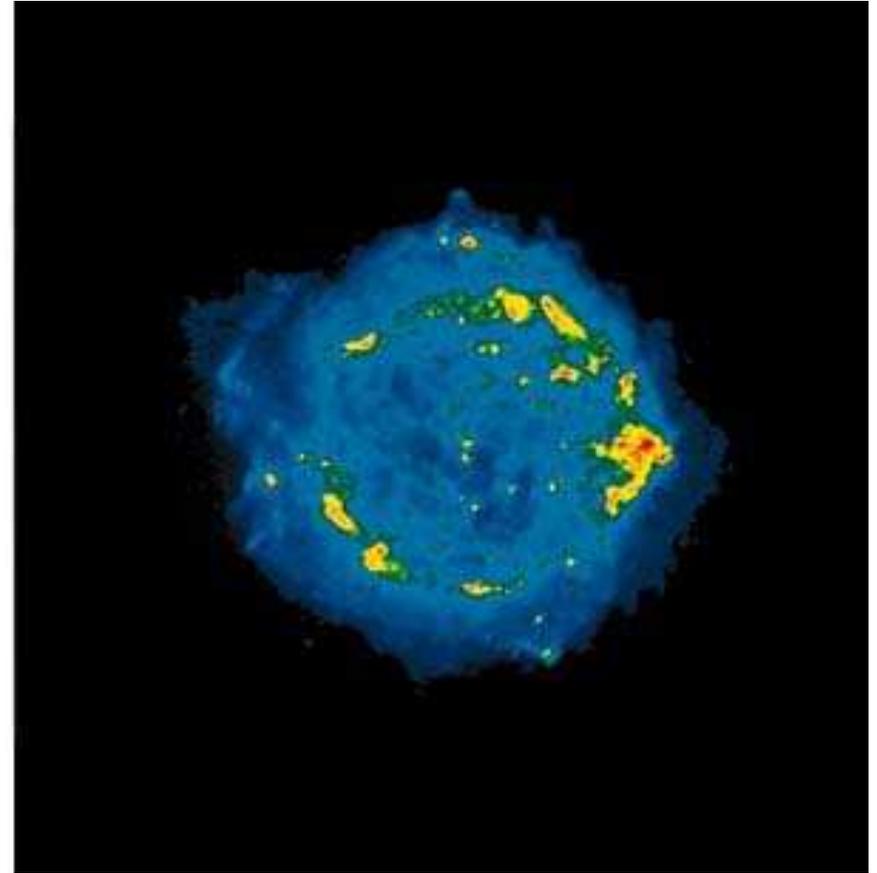
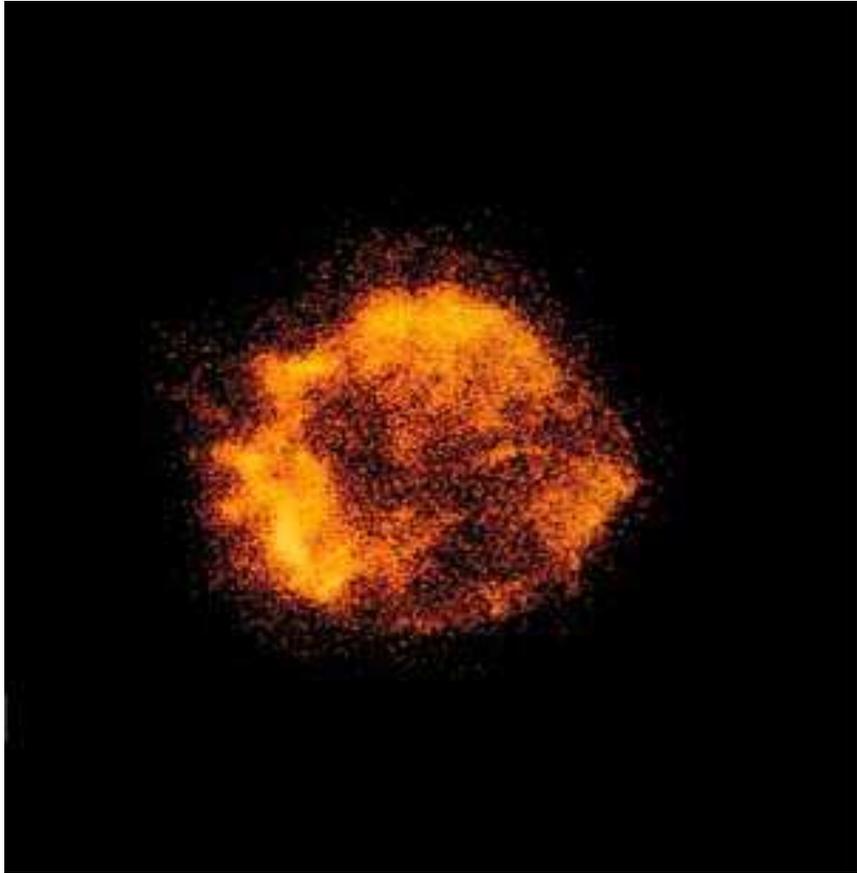
Cygnus Loop HST



Supernova Überreste

- SN Überreste werden am besten mit Radioteleskopen gejagt
- Cas A: vor ca. 300 Jahren explodiert (nicht gesehen!)
- Milchstrasse sollte ca. 1–5 SNe pro Jahrhundert zeigen
- die Meisten davon sind durch Staub verdeckt

Cas A: Röntgen & Radio



Was bleibt sonst noch?

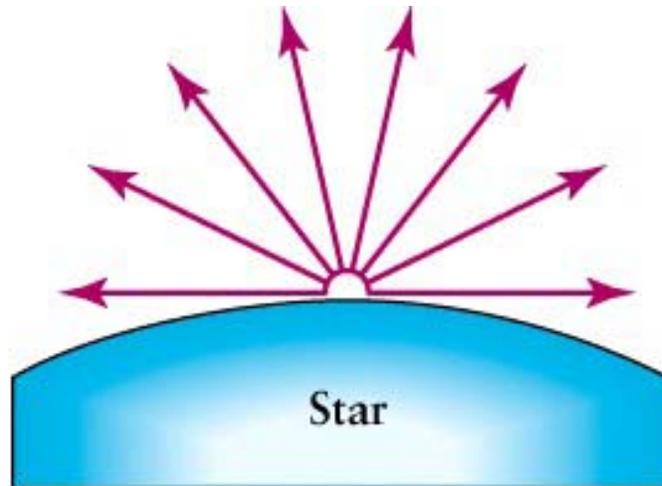
- Neutronenstern

- $M \approx 1 M_{\odot}$
- $R \approx 10 \text{ km}$
- Dichte von Atomkernen
- wird kleiner mit grösserer Masse
- \rightarrow maximale Masse $\approx 3 M_{\odot}$

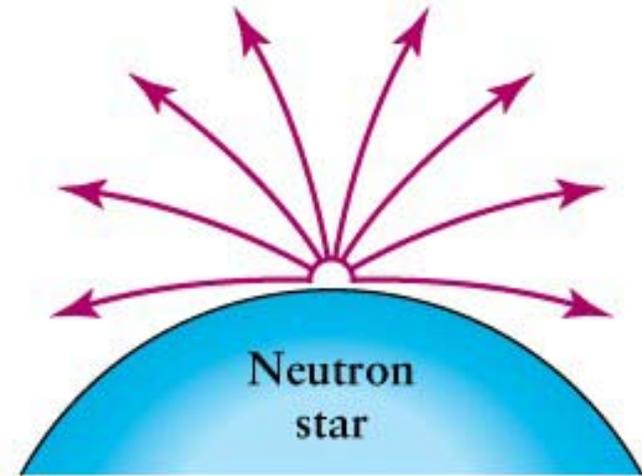
Was bleibt sonst noch?

- Schwarzes Loch
 - Masse grösser als Grenzmasse eines Neutronensterns
 - → Schwerkraft bewirkt totalen Kollaps
 - Raum und Zeit extrem verzerrt
 - → es wird ein Loch in die Raum-Zeit gestanzt

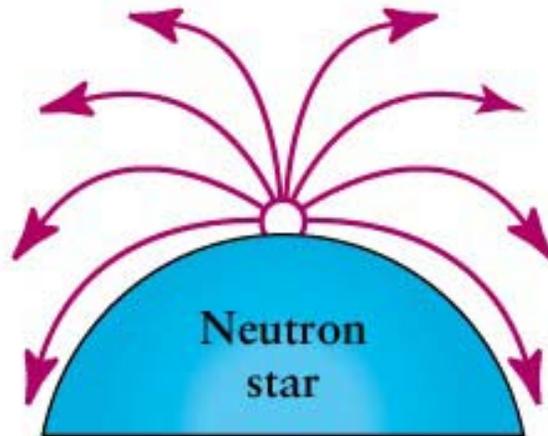
Schwarze Löcher



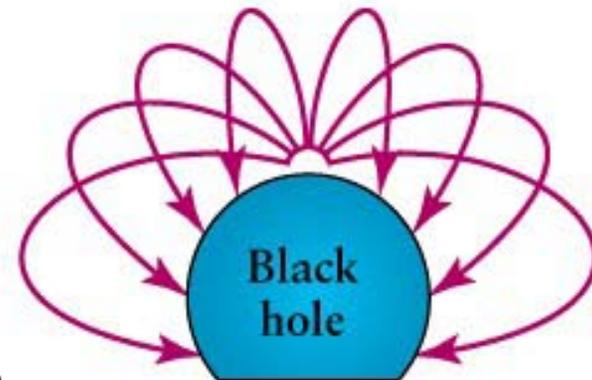
a



b

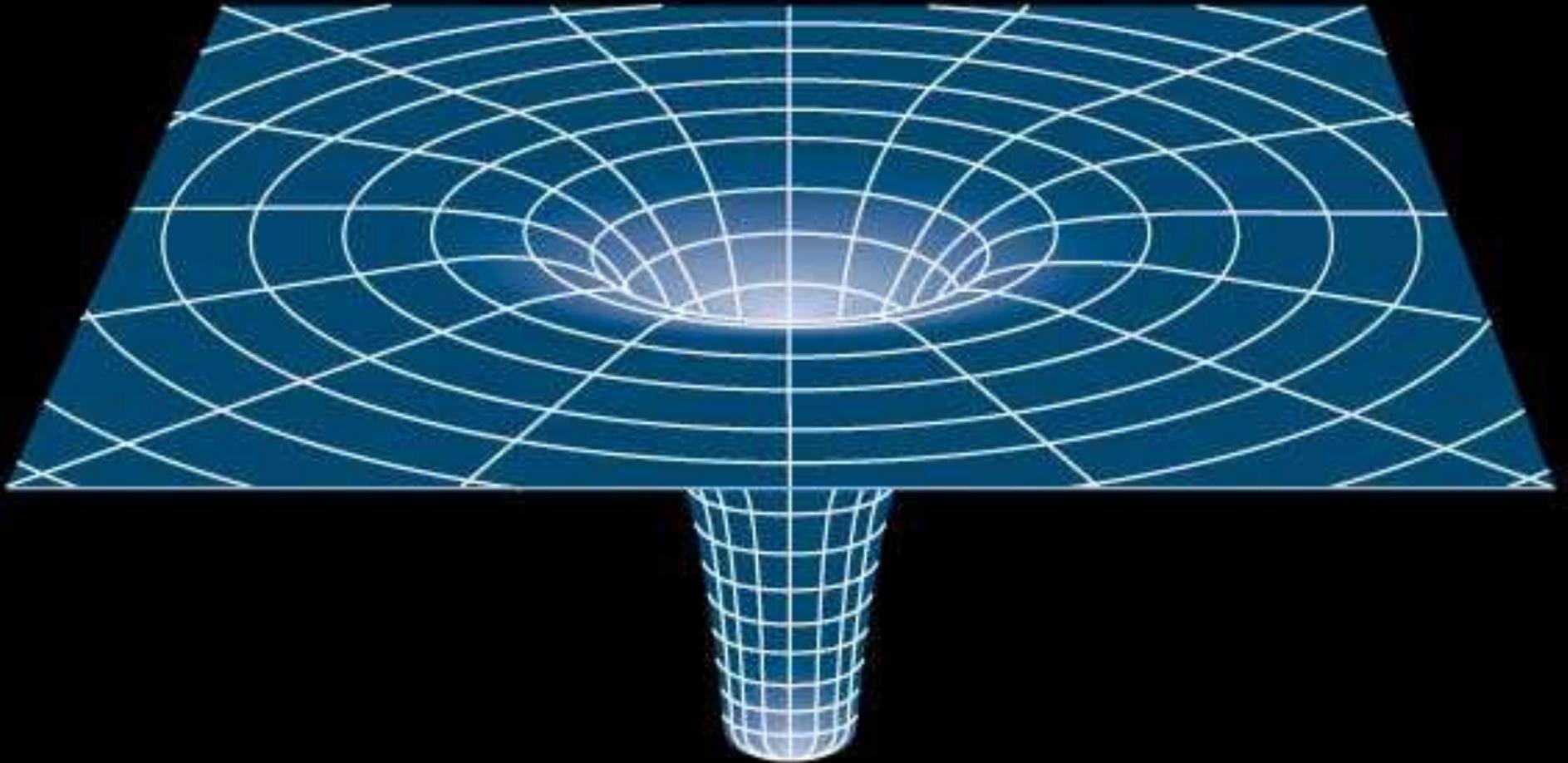


c



d

Schwarze Löcher



Schwarze Löcher

- innerhalb eines Schwarzes Loches sind Raum und Zeit vertauscht
- ein Beobachter könnte die Zeit beeinflussen aber nicht den Raum
- im Zentrum (der Singularität) verlieren Raum und Zeit ihre Identität
- die Singularität selber verhält sich unvorhersehbar
- das kann nicht beobachtet werden da aus dem Loch keine Information kommen kann

Zusammenfassung

- Typ II Supernovae = alte Sterne die explodieren
- Kern kollabiert, Hülle durch Schockwelle abgestossen
- produzieren alle schweren Elemente
- hinterlassen expandierenden Nebel und Neutronenstern/Schwarzes Loch