

Asymetrie w eksplozji supernowej

Sławomir Stachniewicz, IF PK

1. Co to są supernowe?

Supernowe to są gigantyczne **eksplozje kosmiczne**, po których powstaje na niebie **bardzo jasny obiekt**, który **po kilku tygodniach lub miesiącach zanika**. Zasadniczo mogą powstać na dwa sposoby: w wyniku zapadnięcia się jądra masywnej gwiazdy lub w wyniku akrecji materii na istniejącego białego karła.

Typy supernowych:

⇒ Ia – brak linii wodoru i helu, występują linie absorpcyjne krzemu; eksplozja w wyniku akrecji materii na białego karła i przekroczenia **granicy Chandrasekhara** $1.44 M_{\odot}$ lub zderzenia dwóch białych karłów

- ⇒ Ib i Ic – brak linii krzemu, mogą występować słabe linie helu; prawdopodobnie efekt zapadania gwiazd Wolfa-Rayeta, które odrzuciły całą otoczkę wodorową
- ⇒ II – obecność linii wodoru; efekt zapadnięcia gwiazdy o masie powyżej 8-9 M_{\odot} , masa jądra przekraczająca granicę Chandrasekhara.

Supernowe typu Ia, ze względu na zbliżone warunki eksplozji (zawsze w momencie przekroczenia granicy Chandrasekhara), stanowią swego rodzaju **świece standardowe** w kosmologii. Przykład: supernowa w Kasjopei z 1572 r., opisana przez Tychona Brahego. Była widoczna w ciągu dnia. Supernowa 1987A była typu II.

2. Supernowe typu II

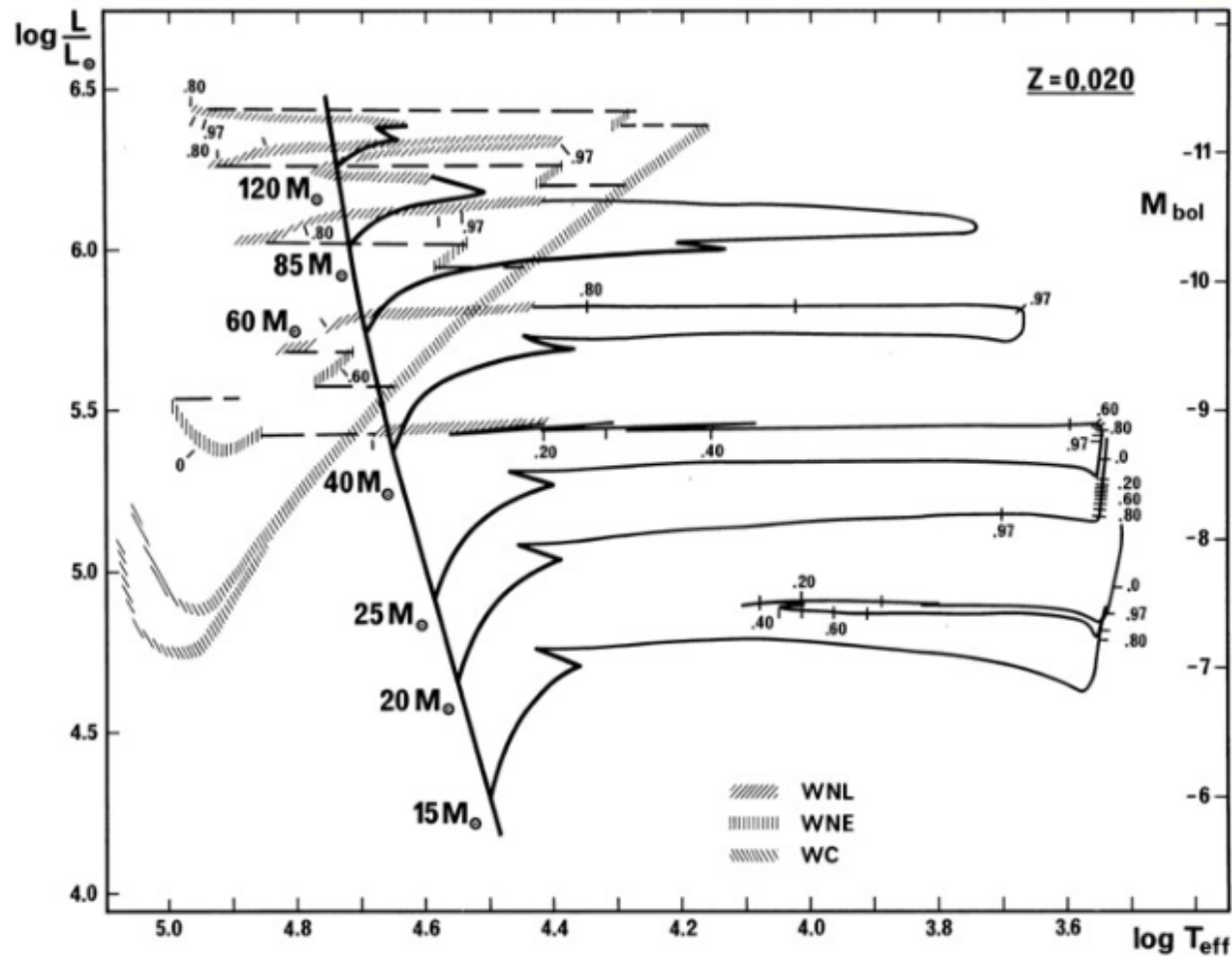
Supernowe typu II powstają w kilku etapach:

- ⇒ gwiazda na ciągu głównym, spalanie wodoru
- ⇒ kończy się wodór w jądrze, spalanie helu
- ⇒ kończy się hel w jądrze, spalanie kolejnych pierwiastków aż do najbardziej związanych żelaza i ^{56}Ni
- ⇒ dalsze spalanie niemożliwe – brak źródła ciśnienia, kolaps jądra
- ⇒ opadające warstwy zewnętrzne zderzają się, odbijają od środka i następuje eksplozja.

W czasie eksplozji mogą zachodzić procesy endotermiczne, np. wytwarzanie pierwiastków cięższych od żelaza.

Massive Star Evolution

1990A&AS...

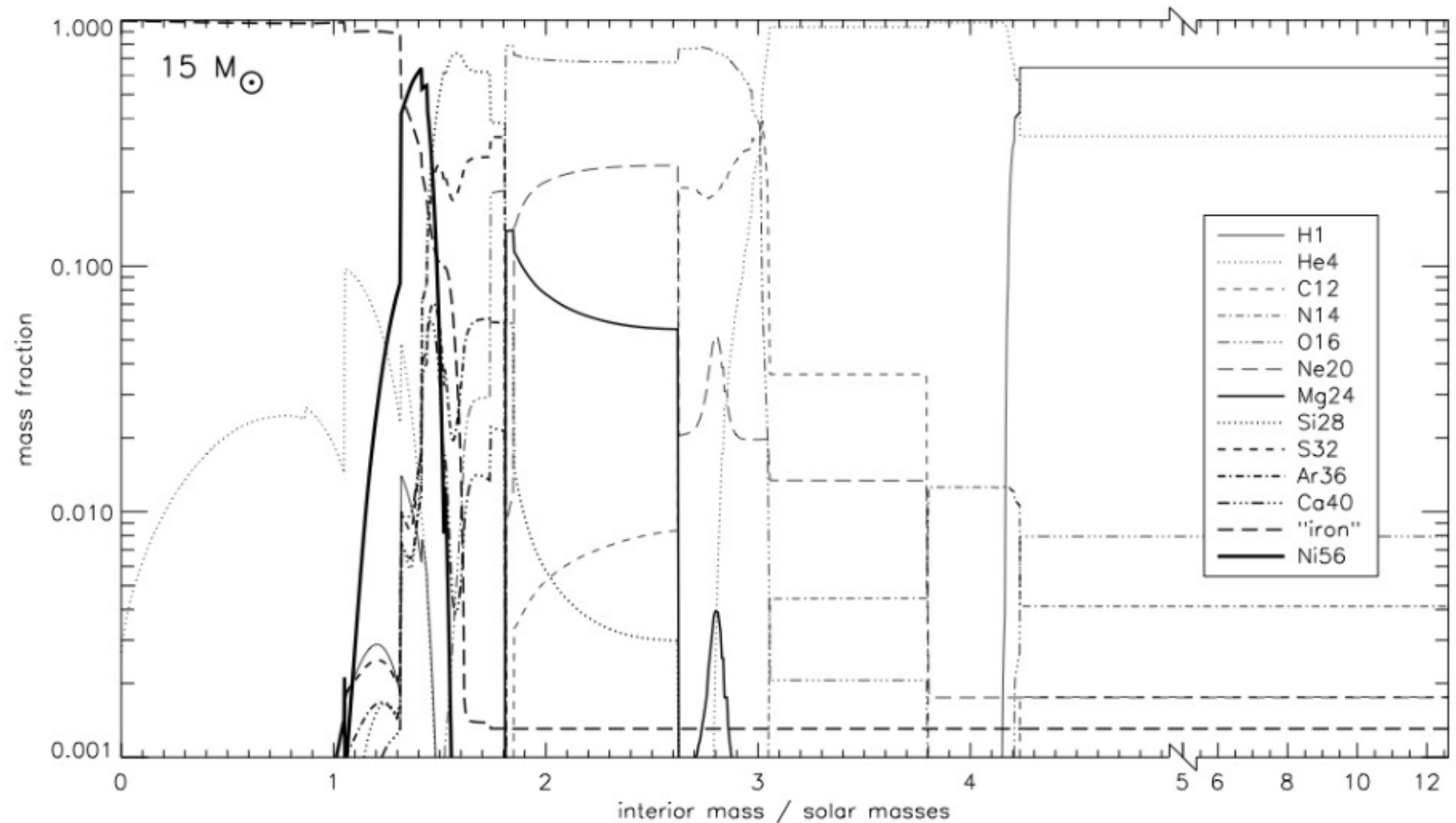


$$\frac{L_{\text{edd}}}{M} = \frac{4\pi G m_{\text{H}} c}{\sigma_{\text{T}}} = 3.2 \times 10^4 \frac{L_{\odot}}{M_{\odot}}$$

Maeder et al. 1990 A&AS 84, 139

Ewolucja masywnych gwiazd

Elemental Abundances Before a Supernova



Woosley, Heeger & Weaver 2002

Abundancje pierwiastków przed wybuchem

3. Eksplozja supernowej

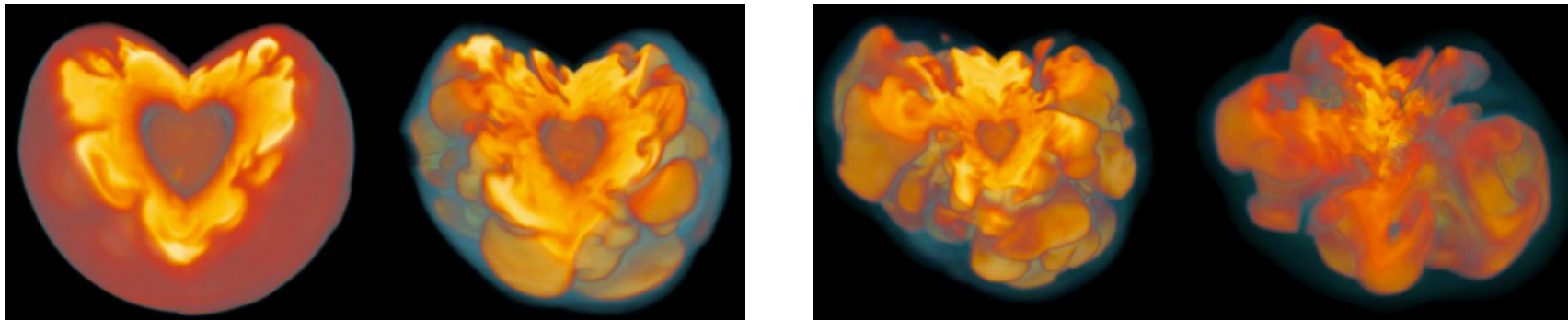
W rdzeniu gwiazdy materia gwałtownie traci energię wskutek wychwytywania elektronów przez protony, czemu towarzyszy emisja neutrin.

- ⇒ Masa przekracza masę Chandrasekhara
- ⇒ prędkości osiągają wartość w granicach $1/4 c$
- ⇒ kolaps od rozmiarów rzędu Ziemi do promienia ok. 30 km w ciągu ok. 1 s
- ⇒ zatrzymanie kolapsu, kiedy gęstość jest rzędu $4-5 \times 10^{14} \text{ g/cm}^3$.

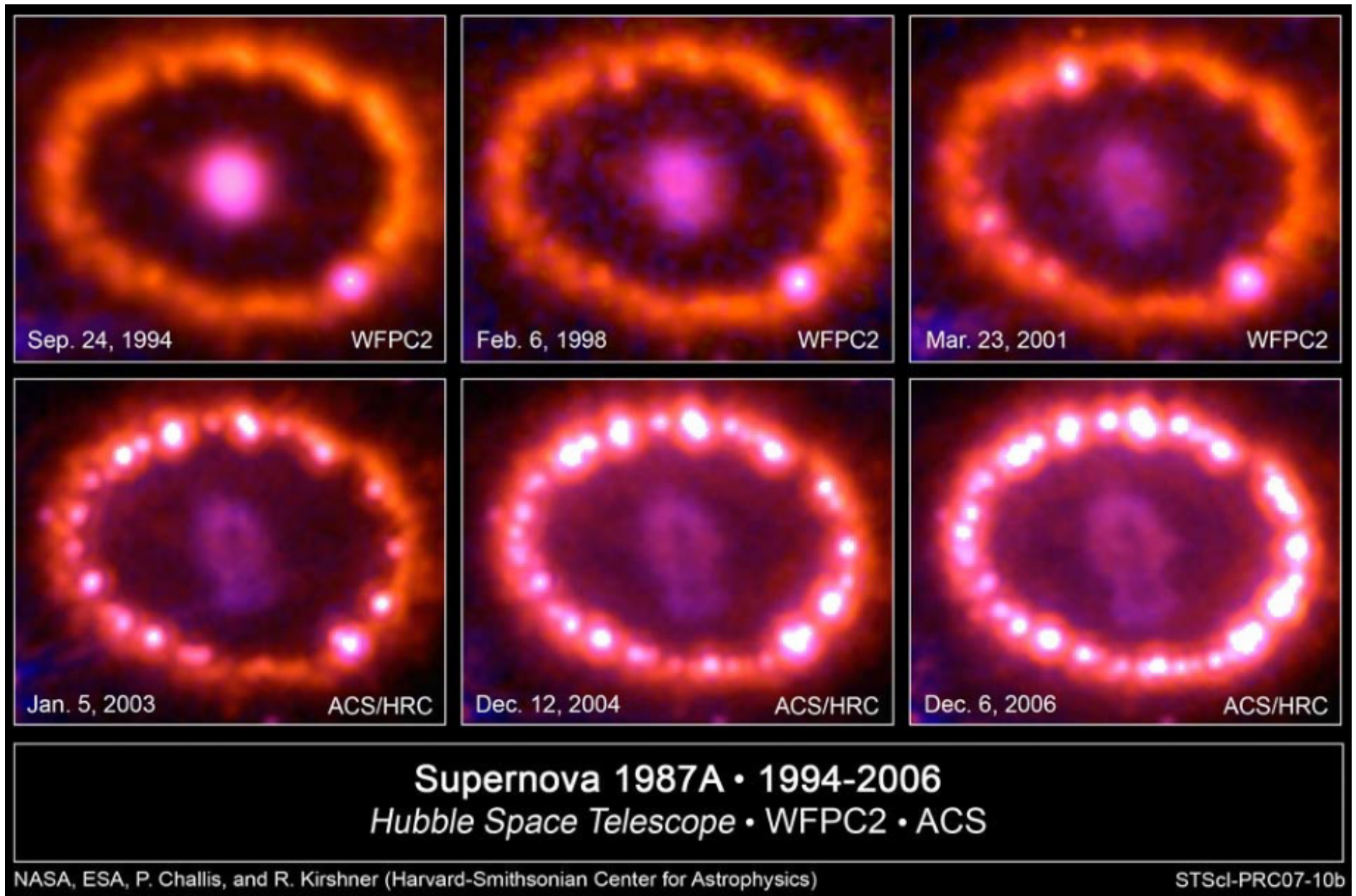
Podobne gęstości ma materia w jądrach atomowych. Wtedy główną rolę grają oddziaływania silne pomiędzy nukleonami.

Gwałtowne zatrzymanie kolapsu powoduje odbicie materii. Odbicie trwa krótko ze względu na unoszenie energii przez neutrina (ok. 99% energii). Materia spada na jądro w tempie kilku M_{\odot} na sekundę, ale przez krótki czas.

Wytwarzają się dynamiczne bąble, które podążają na zewnątrz, rosną i tworzą fale uderzeniowe.



Ekspandujące bąble gorącej materii



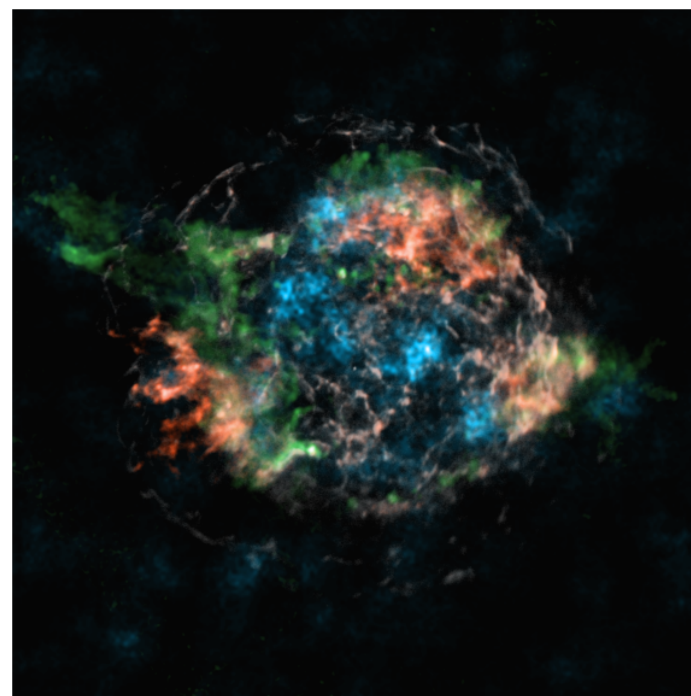
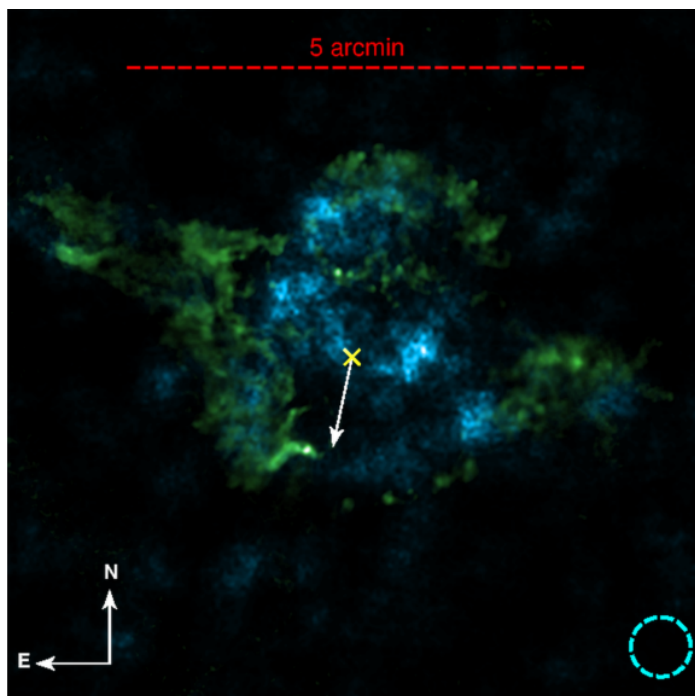
Pozostałość po SN1987A

4. Asymetryczny kolaps

Większość symulacji kolapsu rdzenia gwiazdy wymaga asymetrii, choć poszczególne modele znacznie się różnią. Można ją mierzyć np. przy pomocy badania rozkładu przestrzennego radioaktywnego ^{44}Ti , wytworzonego podczas wybuchu supernowej. Wyniki takich obserwacji w przypadku pozostałości po supernowej Cassiopeia A zostały ostatnio przedstawione w czasopiśmie Nature (2014, tom 506, str. 339-342).

Rozkład wewnątrz obszaru po przejściu fali uderzeniowej okazał się niejednorodny. Nie zauważono korelacji między rozkładem tytanu i linii rentgenowskich żelaza. W ten sposób wykluczono wariant eksplozji symetrycznej (nawet z konwekcją) oraz eksplozji dwubiegunowej (możliwej w przypadku szybkiego

obrotu gwiazdy macierzystej). Obserwacje są zgodne z modelami zakładającymi rozwój niezbyt dużych niestabilności konwekcyjnych podczas zapadania się rdzenia supernowej.



Porównanie rozkładu ^{44}Ti ze strukturą dżetową Cas A i liniami emisyjnymi żelaza

5. Podsumowanie

- ⇒ Supernowe są być może najbardziej spektakularnymi zjawiskami na niebie.
- ⇒ Supernowe powstają wskutek akrecji materii na białe karły (Ia) lub kolapsu rdzeni masywnych gwiazd (II, Ib, Ic).
- ⇒ Kolaps masywnej gwiazdy jest bardzo gwałtowny, ogromna większość energii jest uwalniana w postaci neutrin.
- ⇒ Do dziś fizyka tego zagadnienia nie jest w sposób zadowalający poznana.
- ⇒ Dane z Cas A sugerują, że kolaps rdzenia gwiazdy jest asymetryczny.