

Wszechświat w mojej kieszeni



Supernowe: Te wybuchające gwiazdy



Robert Mochkovitch

Paryż

Instytut Astrofizyki

Pozostałość po supernowej z 1054 roku: Mgławica Kraba. Odkryta przez Charlesa Messiera w 1758 roku, ma numer 1 w jego katalogu mgławic i galaktyk.

Źródło: ESO



Tycho Brahe obserwuje supernową z 1572 roku i sporządza jej rysunek, pokazujący położenie gwiazdy w gwiazdozbiornie Kasjopei (obiekt jest oznaczony niebieskim kółkiem).

Historyczne supernowe

Supernowe to wybuchające gwiazdy. Kiedy gwiazda wybucha jako supernowa, staje się tak jasna, że nawet z dużej odległości może być widoczna gołym okiem. Zdarzyło się to sześć razy w ciągu ostatniego tysiąclecia, w latach 1006, 1054, 1181, 1572, 1604 i 1987.

Supernowa z 1054 roku w gwiazdozbiorze Byka była widoczna w biały dzień przez dwa lata! Dziś możemy używać teleskopów do obserwacji pozostałości po tym wybuchu, słynnej Mgławicy Kraba (patrz tuimp 10).

W okresie renesansu astronomowie Tycho Brahé i Johannes Kepler odkryli dwie supernowe, w 1572 i 1604 roku.

Dopiero w 1987 roku ponownie udało się zaobserwować supernową widoczną gołym okiem (zdjęcie na okładce). Wybuch nastąpił w Wielkim Obłoku Magellana – małej galaktyce satelitarnej Drogi Mlecznej – podczas gdy pięć wcześniejszych takich zjawisk miało miejsce w naszej Galaktyce.



Teleskop na Mount Wilson uruchomiono w 1917 roku. Był to wówczas największy teleskop na świecie, z lustrem o średnicy 2,5 m



Fritz Zwicky



Walter Baade



Supernowa, która pojawiła się w galaktyce M82. 4

Nowe i supernowe

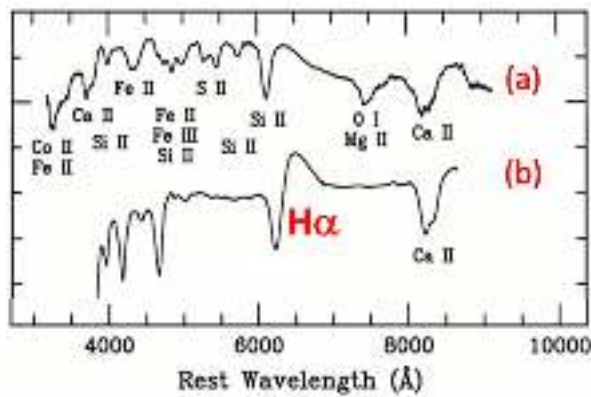
W 1885 roku w mgławicy Andromedy odkryto „nową gwiazdę”, czyli **“nową”**. Jej jasność była tuż poniżej granicy widoczności gołym okiem.

Od połowy lat 20. XX wieku zrozumiano, że niektóre „mgławice” są w rzeczywistości galaktykami znajdującymi poza Drogą Mleczną (zob. tuimp 15). **Mgławica Andromedy** okazała się więc **Galaktyką Andromedy**, oddaloną o ponad dwa miliony lat świetlnych. W związku z tym ponownie oszacowano jasność nowej z 1885 roku, która okazała się niemal miliard razy większa niż jasność Słońca. Wtedy astronomowie Fritz Zwicky i Walter Baade wprowadzili termin **„supernowa”**. Korzystając z teleskopu Mount Wilson, szybko zaobserwowali kilka kolejnych supernowych.

Obecnie każdego roku odkrywa się kilkaset supernowych, z których niektóre znajdują się w odległościach przekraczających miliard lat świetlnych.

Widma:

(a) Typ I: brak linii wodoru;
ale obecne są linie krzemu, żelaza, magnezu i wapnia.

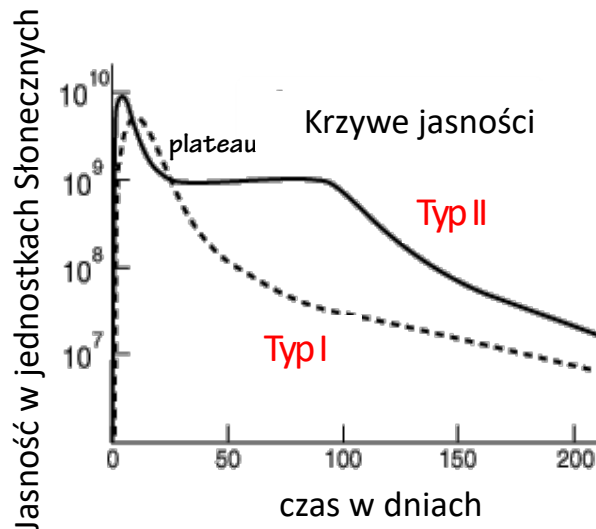


(b) Typ II: obecne są linie wodoru (w szczególności linia $H\alpha$, około $6500 \text{ \AA}$) i linie wapnia.

Krzywe jasności
(jasność w funkcji czasu):

Typ I: bardzo podobne od jednego zdarzenia do drugiego (co jest bardzo przydatne do pomiaru odległości we Wszechświecie i badania jego ekspansji).

Typ II: duża różnorodność zachowań w czasie (plateau nie zawsze jest obecne).



Rysunki zaadaptowane z
Chaisson i McMillan.

Dwa typy supernowych

Za pomocą **spektroskopii** wyróżnia się dwa główne typy supernowych:

- **Supernowe typu I (SNI)**, z brakiem widocznych linii wodoru w widmie. Jest to zaskakujące, ponieważ wodór jest najbardziej rozpowszechnionym pierwiastkiem we Wszechświecie. Główne obecne linie to linie krzemu, wapnia, tlenu, żelaza.
- **Supernowe typu II (SN II)**, których widma są zdominowane przez linie wodoru.

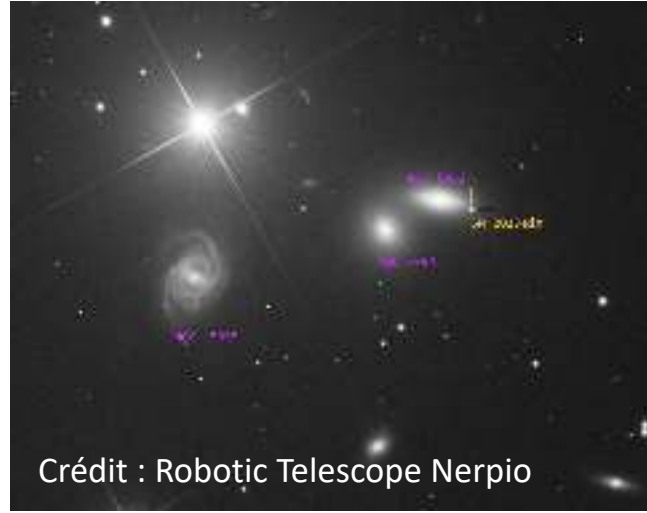
Krzywe jasności obu typów również są różne:

- **SNI** charakteryzują się dużą jednolitością krzywych jasności, które są bardzo podobne od jednego zdarzenia do drugiego.
- **SN II** wykazują dużą różnorodność krzywych jasności, często z plateau jasności, następującym po początkowym spadku.

B.J. Fulton : Las Cumbres Obs.



Crédit : Robotic Telescope Nerpio



Dwie supernowe **typu I**: po lewej stronie w galaktyce eliptycznej; po prawej stronie w galaktyce spiralnej M101.

Crédit : David Mülheims



Crédit : David Mihalic.



Dwie supernowe **typu II** w pobliskich galaktykach spiralnych: po lewej stronie w galaktyce Psów Gończych M51; po prawej, ponownie w M101.

W galaktyce M101 supernową typu I zaobserwowano w 2011 roku, a supernową typu II - w 2023 roku.

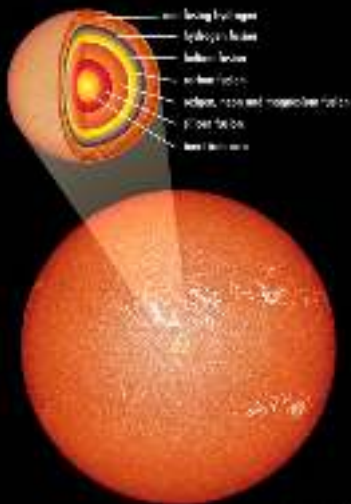
Które gwiazdy wybuchają?

Pierwszą wskazówką dotyczącą natury gwiazd wybuchających jako supernowe jest typ galaktyk, w których występują.

Supernowe typu II (SN II) występują wyłącznie w galaktykach, w których nadal powstają gwiazdy (galaktykach spiralnych lub nieregularnych), i nigdy nie pojawiają się w galaktykach eliptycznych, gdzie proces ten ustał miliardy lat temu. Wskazuje to, że supernowe typu II są wybuchami **masywnych** gwiazd, których życie trwa zaledwie kilka milionów lat.

Supernowe typu I (SN I) obserwuje się natomiast we wszystkich typach galaktyk, także eliptycznych, co sugeruje, że powstają one z gwiazd **o małej masie**, które wybuchają miliardy lat po swoim powstaniu.

Mechanizmy wybuchu obu typów supernowych są odmienne, bardzo złożone i intensywnie badane.



Zdjęcie ESO/VLT

Po lewej: schemat czerwonego nadolbrzyna, który wkrótce wybuchnie.

Uwaga! Skale nie są zachowane: gdybyśmy przedstawili żelazne jądro jako główkę szpilki, warstwy aż do helu zmieściłyby się w kuli o średnicy jednego metra, podczas gdy otoczka wodorowa miałaby promień przekraczający sto metrów!

Credit: Pablo Carlos Budass

Po prawej: Obraz Betelgezy - czerwonego nadolbrzyna - uzyskany za pomocą instrumentu SPHERE zainstalowanego na Europejskim Teleskopie VLT (o średnicy 8,20 m). Betelgeza, o masie od 10 do 20 razy większej od masy Słońca i promieniu niemal tysiąc razy większym, weszła w ostatnie kilka milionów lat swojego życia, jednak dokładnej daty jej eksplozji nie da się przewidzieć.

Jak wybuchają SN II?

W trakcie swojego życia gwiazda o masie ponad dziesięciokrotnie większej od masy Słońca przechodzi przez kolejne etapy reakcji jądrowych, w których powstają coraz cięższe pierwiastki. Gdy wybuchają jako supernowa, składa się z żelaznego jądra otoczonego warstwami krzemu, tlenu, węgla i helu oraz rozległą otoczką wodorową.

Żelazne jądro jest bardzo gęste (około tysiąca ton na centymetr sześcienny). Nie może przekroczyć masy krytycznej, ok. 1,4 masy Słońca. Jego masa jednak rośnie, ponieważ w wyniku spalania krzemu w jego zewnętrznych warstwach powstaje żelazo. Gdy ta granica zostaje przekroczona, jądro zapada się, a następnie gwałtownie odbija, wywołując falę uderzeniową, która powoduje wybuch gwiazdy.

Głębokie, skrajnie gęste jądro pozostałe po wybuchu staje się gwiazdą neutronową lub czarną dziurą, w zależności od pozostałej masy. 1 1

Dwa scenariusze prowadzące do eksplozji supernowej typu I:



Biały karzeł gromadzi materię z gwiazdy towarzyszącej poprzez tzw. dysk akrecyjny. Gdy jego masa zbliża się do wartości krytycznej, ok. 1,4 masy Słońca, dochodzi do gwałtownej eksplozji i gwiazda wybucha jako supernowa.

Credit:

NASA/CXC/M.Weiss

Dwa białe karły w układzie podwójnym stopniowo zbliżają się do siebie, aż dojdzie do kolizji, która powoduje eksplozję.

Credit: GSFC/D.Berry

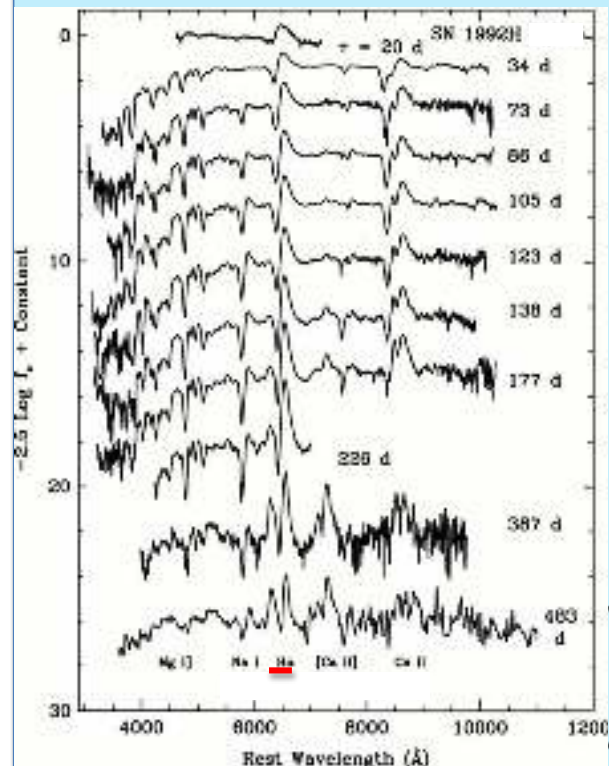


Jak wybuchają SN I?

Mechanizm SN I jest całkowicie odmienny od mechanizmu SN II, chociaż masa krytyczna 1,4 masy Słońca ponownie odgrywa ważną rolę. Gwiazda, która wybuchą, to „biały karzeł”, pozostałość po ewolucji gwiazdy o masie kilku mas Słońca. Składa się z węgla i tlenu i jest „zdegenerowana”, podobnie jak żelazne jądro masywnych gwiazd, ale jego masa jest mniejsza niż 1,4 masy Słońca.

Jednak w układzie podwójnym masa białego karła może wzrosnąć poprzez „akrecję” od towarzysza lub przez połączenie z innym białym karłem. Wtedy kurczy się i nagrzewa. Nowe reakcje jądrowe mogą zatem rozpocząć się w jego centrum i zapalić całą gwiazdę. Front spalania rozprzestrzenia się na zewnątrz i przekształca węgiel i tlen najpierw w nikiel, kobalt i żelazo, a następnie w krzem i magnez. Biały karzeł zostaje zniszczony, a jego materia rozproszona.

ODPOWIEDZI



1) Obecność linii H α wodoru pokazuje że jest to supernowa typu II

2) NIE! Galaktyka to bardzo duży obiekt! W zależności od położenia w jej obrębie odległość

między nami a tymi supernowymi może różnić się nawet o kilka tysięcy lat świetlnych. Różnica w czasie podróży została w tym przypadku skompensowana różnicą czasów wybuchu, co stanowi niezwykle zbieg okoliczności.

3) Nie wiemy! Za 1, 10, 100 lub 300 lat (a może dziś wieczorem?). Czekamy na to od 1604 roku... (Supernowa z 1987 roku wybuchła w Wielkim Obłoku Magellana).

Wszechświat w mojej kieszeni No 44

Ta książeczka została napisana w 2025 roku przez Roberta Mochkovitcha z Instytutu Astrofizyki w Paryżu (IAP) i zrecenzowana przez Grażynę Stasińską z Obserwatorium Paryskiego oraz Stana Kurtza (IRyA, Morelia, Meksyk).

Zdjęcie na okładce: Po lewej stronie Supernowa 1987A tuż po jej wybuchu w lutym 1987 roku w Wielkim Obłoku Magellana. Po prawej zdjęcie tego samego obszaru wykonane przed wybuchem.

Autor: David Malin / Australijskie Obserwatorium Astronomiczne



Aby dowiedzieć się więcej o tej serii i tematach poruszanych w tej książeczce, odwiedź <http://www.tuimp.org>

Tłumaczenie: Grażyna Stasińska
TUIMP Creative Commons



Jak wybuchają SN I?

Mechanizm wybuchu SN I jest całkowicie inny niż mechanizm wybuchu SN II, chociaż masa krytyczna 1,4 masy Słońca ponownie odgrywa ważną rolę. Gwiazdą, która wybuchła, to biały karzeł: pozostałość po ewolucji gwiazdy o masie kilku mas Słońca. Składa się z węgla i tlenu i jest „zdegenerowany”, podobnie jak żelazne jądro masywnych gwiazd, ale jego masa jest mniejsza niż 1,4 masy Słońca.

W układzie podwójnym masa białego karła może wzrastać wskutek akrecji materii z gwiazdy towarzyszącej lub przez połączenie z innym białym karłem. Wtedy obiekt kurczy się i nagrzewa. Nowe reakcje jądrowe mogą rozpocząć się w jego centrum i zapalić całą gwiazdę. Front spalania rozprzestrzenia się, przekształcając węgiel i tlen najpierw w nikiel, kobalt i żelazo, a następnie w krzem i magnez. Biały karzeł zostaje zniszczony, a jego materia rozproszona.