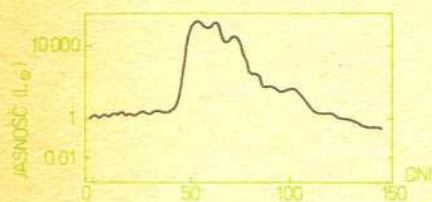
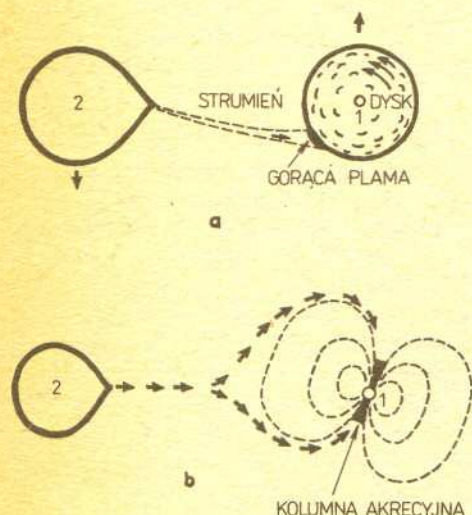


# Skąd się wzięły gwiazdy nowe?

Mgr Marek J. SARNA



Rys. 1. Przebieg zmian jasności podczas wybuchu typowej gwiazdy nowej.



Rys. 2. Układy wybuchowe pokazane w płaszczyźnie orbitalnej:  
a) obraz w przypadku braku pola magnetycznego; 1 oznacza białego karła, a 2 czerwonego karła.  
b) obraz z polem magnetycznym — obecność pola obrazują linie przerywane, znaczenie 1 i 2 tak jak w a).

Pierwszych europejskich obserwacji pojawienia się zupełnie nowych gwiazd na sferze gwiazd stałych dokonał Tycho Brahe. Podobne obserwacje gwiazdy z 1054 r., wykonane w Chinach, nie były znane w Europie. Zaobserwowane wtedy gwiazdy określa się mianem supernowych, gdyż pojawiały się tam, gdzie nie było widać żadnej gwiazdy i zwiększały swą jasność dziesiątki tysięcy razy. Pojawiały się też nieco słabiej rozbłyskujące gwiazdy, które nazwano nowymi (rys. 1).

Obserwacje gwiazd nowych zaczęły rozwijać się pod koniec ubiegłego wieku, analiza tych danych pozwoliła Otto Struwegowi postawić hipotezę, że wszystkie nowe są układami dwóch fizycznie związanych gwiazd (tzw. układy podwójne). Lata sześćdziesiąte przyniosły prace obserwacyjne (m.in. astronomów polskich: Wojciecha Krzemieńskiego i Józefa Smaka) potwierdzające hipotezę Struwego, a jednocześnie dostarczyły ogromu danych o fizycznych własnościach tych układów. Okazało się, że jedna z gwiazd układu jest białym karłem, druga zaś — gwiazdą o małej masie palącą wodór w centrum. Ten drugi składnik ma rozmiary na tyle duże, że część swojej masy przekazuje w kierunku białego karła. Opadająca materia w zależności od natężenia pola magnetycznego białego karła (rys. 2) tworzy wokół niego dysk lub kolumny akrecyjne (przy dużym natężeniu). W układzie takim może następować wybuch i związane z tym pojaśnienie. Z obserwacji znamy szereg cech gwiazd nowych, i tak:

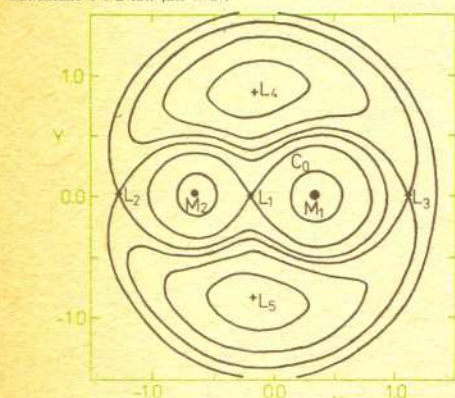
- podczas wybuchu układ zwiększa swoją jasność o 3 do 13 mag (czyli od 16 do 16 000 razy);
- ilość energii wypromieniowanej w czasie całego wybuchu w widzialnej części widma waha się w granicach  $10^{38}$  do  $10^{45}$  ergów, to jest tyle, ile Słońce wypromieniowuje w ciągu od 7 godzin do 8100 lat;
- w zależności od rodzaju gwiazdy wybuchowej wybuchy powtarzają się w okresach od 10 dni do 100 lat, przy czym im częstsze wybuchy, tym mniejsza ich jasność;
- w czasie wybuchów ubytki masy z układu zamykają się w dość szerokich granicach od dziesiątych części do kilkuset mas Ziemi;
- czasy obiegu gwiazd układu (czyli okres orbitalny) wynoszą od kilkudziesięciu minut do kilkunastu godzin.

Dla dalszego opisu powstawania gwiazdy nowej niezbędne jest wyobrażenie o polu grawitacyjnym wokół obu gwiazd. Na rysunku 3a przedstawione są powierzchnie stałego potencjału grawitacyjnego. Ponad powierzchnią oznaczoną  $C_0$  cząstki utrzymywane są w układzie przez sumaryczne przyciąganie obu gwiazd. Poniżej tej powierzchni, zwanej wewnętrzną krytyczną powierzchnią Roche'a, na cząstki materii oddziałuje praktycznie tylko jedna z gwiazd. Na rysunku 3a zaznaczono również punkty Lagrange'a ( $L_1$ — $L_5$ ). Największe zagrożenie dla ewolucji układu podwójnego mają punkty  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  (patrz Delta 2/1985). Przez punkt  $L_1$  może następować wymiana masy między składnikami, zaś przez  $L_2$  i  $L_3$  — jej odpływ z układu (rys. 3b).

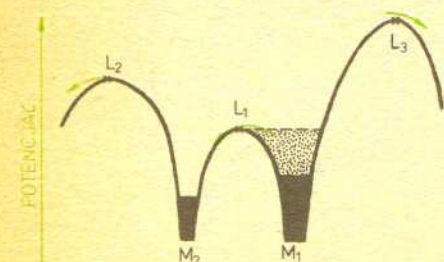
Chcąc przedstawić ciąg modeli prowadzący do powstania typowego układu wybuchowego jesteśmy w rozterce! Z jednej strony dzięki temu, że znane gwiazdy i układy mają różne masy, wiek itd. (są różnie zaawansowane ewolucyjnie), jesteśmy w stanie zaobserwować każde ze stadiów rozwoju, z drugiej — różnorodność wśród obserwowanych układów podwójnych jest tak duża, że szalenie trudno jest je ułożyć w jeden ciąg. Co więc robią astronomowie? — Konstruują taki ciąg modeli, który oprócz tego, że daje dobry model końcowy, ma w punktach pośrednich swoje obserwacyjne odpowiedniki.

Od czego więc zaczynamy? — Od założeń! Podstawowym założeniem jest, że gwiazda nowa powstała z układu podwójnego, o składnikach dość znacznie różniących się masą (rys. 4a). Na początku odległość między gwiazdami wynosiła kilkaset promieni słonecznych, odpowiadała to okresowi orbitalnemu od 100 do 300 dni. Na wszystkich rysunkach 4 (a do g) linią przerywaną zaznaczona jest wewnętrzna powierzchnia Roche'a z punktem  $L_1$ , zwana linią prędkości zerowej.

Na początku składniki układu ewoluują tak, jakby były gwiazdami pojedynczymi (rys. 4a). Gwiazda bardziej masywna szybko wypala wodór w centrum i staje się czerwonym olbrzymem (gwiazdą o małym helowym jądrze i ogromnej, mającej wiele jednostek astronomicznych, otoczce). Natomiast mniej masywny składnik układu podwójnego wypala tylko niewielką ilość wodoru tak, że niewiele się zmienia. Przykładem układu podwójnego w tej fazie ewolucji może być HD 200428/9. Obie gwiazdy znajdują się wewnątrz swoich powierzchni Roche'a, a okres ich obiegu wynosi 113 dni. Ten etap rozwoju, trwający od kilku milionów do miliardów lat, kończy się w momencie, gdy bardziej masywna gwiazda, czerwony olbrzym, zwiększy promień



Rys. 3a). Na rysunku pokazane są krytyczne powierzchnie Roche'a w płaszczyźnie orbity układu podwójnego. Zaznaczone są punkty Lagrange'a. Jednostka na osi X i Y odpowiada odległości między masami  $M_1$  i  $M_2$ .



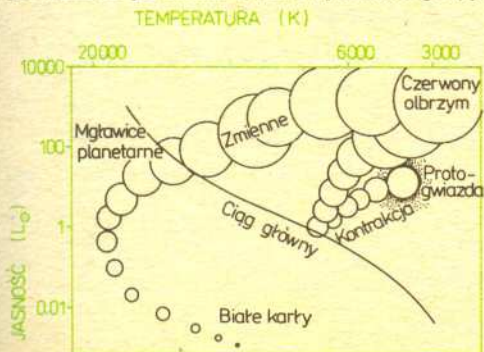
Rys. 3b). Strzałki pokazują możliwe kierunki przepływu materii. Rysunek b jest przekrojem płaszczyzną prostopadłą do płaszczyzny rysunku a przechodzącą przez punkty  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ .

na tyle (przykład SS *Leporis*, rys. 4b), że nadmiar materii zacznie przelewać się na drugą gwiazdę przez punkt  $L_1$  (rys. 4b i rys. 3b). W przypadku dużej różnicy mas i konwektywnej otoczki czerwonego olbrzyma po krótkim czasie przepływ przez  $L_1$  zmienia się w prawdziwy kataklizm. Rozmiary drugiego, małowasywnego składnika układu (czerwonego karła — małowasywnej gwiazdy ciągu głównego) rosną bardzo szybko. Nie jest ona jednak w stanie przyswoić sobie tak wielkich ilości materii. Materia wylewa się na zewnątrz. Oba składniki układu znajdują się w rzadkiej i nieprzezroczystej chmurze gazu. Teraz zmiany zachodzą bardzo szybko. W ciągu kilkudziesięciu tysięcy lat obie gwiazdy — czerwony karzeł i olbrzym (o helowym lub węglowym jądrze) — zbliżają się do siebie. Faza ta nosi nazwę wspólnej otoczki. W pewnym momencie zbliżanie ustaje, a otoczka rozprasza się w przestrzeni (rys. 4c). To, co ukazuje się naszym oczom po rozdmuchaniu wspólnej otoczki, jest ciasnym układem podwójnym (odległość składników zmniejszyła się kilkadziesiąt razy — zwróćcie uwagę na zmianę skali rysunku pomiędzy rys. 4c a 4d), złożonym z czerwonego karła i gwiazdy palącej wodór (lub wodór i hel) w cienkiej zewnętrznej warstwie (z gwiazdy tej w dalszej ewolucji powstanie biały karzeł), zanurzonym w mgławicy planetarnej (rys. 4d). Przykładem takiego układu jest UU *Sagittae*. Jest to mgławica planetarna, w której centrum znajduje się układ podwójny złożony z białego karła i gwiazdy ciągu głównego o masach 1,1 i 0,6  $M_{\odot}$  i okresie około 11 godzin. Gdy mgławica rozprasza się i przestaje być widoczna, a dzieje się to dość szybko, bo w czasie od 10<sup>4</sup> do 10<sup>5</sup> lat, pozostaje (rys. 4e) układ podwójny, np. AA *Doradus*, w którym jedna z gwiazd dopala resztki wodoru i helu w cienkiej warstwie na powierzchni, druga zaś jest czerwonym karłem. Obie znajdują się wewnątrz swoich powierzchni Roche'a, a okres układu wynosi kilka godzin. Dalsze zmiany są nieznaczne (rys. 4f): pierwszy składnik po wypaleniu paliwa jądrowego kurczy się i staje się białym karłem, drugi zaś nie ulega zmianie. Najbardziej znanym układem tego typu jest V471 *Tauri*. Ma on okres około 12,5 godziny, a masy białego karła i czerwonego karła są równe i wynoszą około 0,8  $M_{\odot}$ .

A co dzieje się dalej? Wydawałoby się, że nastąpił impas, bo jeśli drugi składnik ma masę mniejszą niż 0,8  $M_{\odot}$ , to aby na skutek ewolucji zwiększył swój promień do powierzchni Roche'a, musiałby upłynąć czas dłuższy od wieku Wszechświata. Jak więc mechanizmy fizyczne mogą „zbliżyć do siebie” dwie gwiazdy (spowodować utratę momentu pędu z układu) tak, aby czerwony karzeł wypełnił swoją powierzchnię Roche'a i zaczął przelewać materię na białego karła?

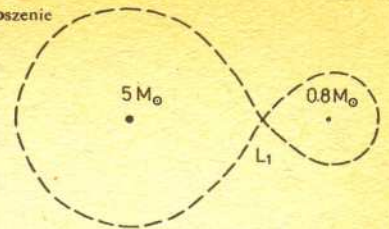
Zaproponowano dwa sposoby utraty momentu pędu z układu: — na skutek aktywności atmosferycznej czerwonego karła, analogicznej do wiatru słonecznego, tylko na znacznie większą skalę, — przez promieniowanie grawitacyjne — trzeba tu nadmienić, że istnienie fal grawitacyjnych nie zostało doświadczalnie potwierdzone.

Pierwszy mechanizm funkcjonuje wydajnie tam, gdzie okresy obiegów wynoszą kilka godzin; dla okresów dłuższych decyduje ewolucja nuklearna. Charakterystyczne czasy skracania okresu wahają się od 10 do 100 mln lat. Promieniowanie grawitacyjne jest dominujące przy niewielkich odległościach gwiazd (małe okresy). Przykładowo: czas spadku na siebie dwu gwiazd o masach 1  $M_{\odot}$  i 0,8  $M_{\odot}$  i o okresie początkowym 1,5 godziny wynosi 44 mln lat, a dla okresu 12 godzin — 11 mld lat. O ewolucji decyduje ten mechanizm, który w danych warunkach działa szybciej. W ten sposób udało się nam zamknąć cały łańcuch modeli, który prowadzi do powstania układu wybuchowego (rys. 4g).

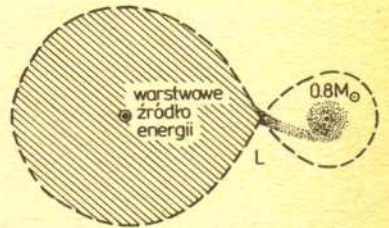


Rys. 5. Diagram H-R z pokazaną ewolucją gwiazdy o masie około 1  $M_{\odot}$ . Różne wielkości kół obrazują, jak zmienia się promień podczas ewolucji.

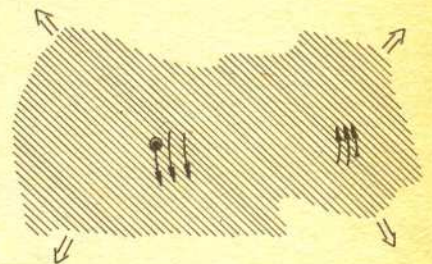
Konwekcja jest to przenoszenie ciepła razem z materią.



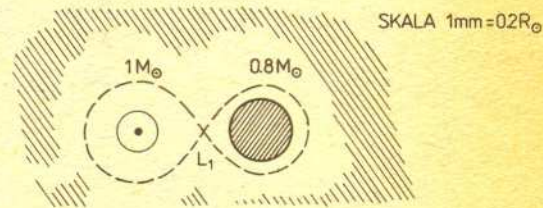
Rys. 4a). Okres orbitalny  $P = 200$  dni, odległość między gwiazdami  $A = 260 R_{\odot}$ , czas życia na tym etapie  $6,5 \cdot 10^7$  lat. Przykład: HD 200428/9.



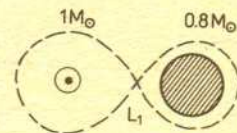
b).  $P = 200$  dni,  $A = 260 R_{\odot}$ , czas przelewania się materii około 10<sup>4</sup> lat. Przykład: SS *Lep*.



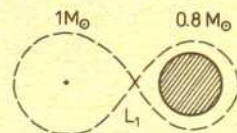
c). Faza wspólnej otoczki. Czas zbliżania się czerwonego karła do jądra czerwonego olbrzyma 10<sup>4</sup> do 10<sup>5</sup> lat. Brak przykładu.



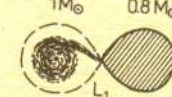
d). Faza mgławicy planetarnej.  $P = 0,5$  dnia,  $A = 3,23 R_{\odot}$ , czas rozprzaskania mgławicy do 10<sup>5</sup> lat. Przykład: UU-*Sge*.



e).  $P = 0,5$  dnia,  $A = 3,23 R_{\odot}$ , czas dopalania wodoru i helu w warstwach źródłach energii około 10<sup>5</sup> lat. Przykład: AA *Dor*.



f).  $P = 0,5$  dnia,  $A = 3,23 R_{\odot}$ , utrata momentu pędu poprzez promieniowanie grawitacyjne lub aktywność atmosferyczną — czasy zachodzenia tych procesów 10<sup>7</sup> do 10<sup>8</sup> lat. Przykład: V471 *Tau*.



g).  $P = 0,285$  dnia,  $A = 2,2 R_{\odot}$ , czas przelewania materii około 10<sup>9</sup> lat. Przykład: Z *Cam*.