



Prosto z nieba: Jak powstają gwiazdy neutronowe i czarne dziury?

W procesie fuzji termojądrowej energia jest wydzielana głównie poprzez łączenie się jąder lżejszych pierwiastków (np. wodoru czy helu), które mają niższą energię wiązania na nukleon niż jądra żelaza. Natomiast dołączenie dowolnej liczby nukleonów do jądra żelaza wymaga dostarczenia dodatkowej energii.

Nazwa historycznie odnosi się do gwiazd *nowych*, w rzeczywistości ciasnych układów podwójnych, złożonych z białego karła i gwiazdy-towarzysza. Mechanizm wybuchu to eksplozja termojądrowa materii akreowanej z towarzysza na powierzchnię białego karła.

Zachowanie się krzywej zmian blasku jest główną metodą klasyfikacji supernowych: typ I nie zawiera wodoru w widmie, typ II zawiera wodór; podtypy: Ib – brak zjonizowanego helu, Ic – słabe linie helu, II-P/L – brak wąskich linii widmowych, II-P – osiąga „płaskowyż” w krzywej zmian blasku, II-L – liniowy w czasie spadek jasności, II-n – wąskie linie widmowe.

Ping Chen et al., „A 12.4-day periodicity in a close binary system after a supernova”, *Nature* (2024).
T. Moore et al., „SN 2022jli: A Type Ic Supernova with Periodic Modulation of Its Light Curve and an Unusually Long Rise”, *The Astrophysical Journal Letters* (2023).

Gwiazdy o masie początkowej większej od około $8 M_{\odot}$ osiągają kres swojego „życia” w bardzo spektakularny sposób. Ewolucja takich gwiazd polega na stopniowym przetwarzaniu wodoru w hel (i kolejne cięższe pierwiastki aż do żelaza), przy jednoczesnej emisji energii w postaci promieniowania (zob. Δ_{18}^7). Jądro żelaza jest najsilniej związanym jądrem atomowym – ma najwyższą energię wiązania na nukleon – co oznacza, że nie nadaje się do produkcji energii termojądrowej. Gwiazda z żelaznym jądrem przestaje więc efektywnie produkować promieniowanie, które utrzymuje ją w stanie równowagi względem grawitacji; gwiazda „nie ma innego wyjścia”, jak tylko zacząć się zapadać pod własnym ciężarem. Eksplozję będącą skutkiem takiego zapadnięcia się gwiazdy nazywamy *supernową*.

Astronomowie uważają, że po wybuchu tego typu supernowej coś pozostaje: bardzo gęste, zgniecione przez implozję jądro gwiazdy. W zależności od tego, jak masywna jest gwiazda, pozostałość ta jest albo gwiazdą neutronową – obiektem o dużo większej gęstości niż gęstość jąder atomowych (łyżeczka materiału gwiazdy neutronowej waży więcej niż cała obecna ludzka populacja!) – albo czarną dziurą: skrajnie relatywistycznym obszarem czasoprzestrzeni ugiętej w tak ekstremalny sposób, że „odcina” wewnątrz czarnej dziury od świata zewnętrznego (spod horyzontu czarnej dziury nie da się uciec, nawet poruszając się z prędkością światła). Tyle teoria. A co na to obserwacje? Jak do tej pory znaleziono wiele pośrednich dowodów sugerujących, że po wybuchu supernowej coś zostaje. Takim dowodem jest np. obecność gwiazdy neutronowej – pulsara PSR B0531+21 w Mgławicy Krab (M1 w katalogu Messiera), która powstała po wybuchu supernowej w 1054 roku. Jednak nigdy wcześniej nie zaobserwowano całego procesu „na żywo” od początku do końca. Przełom nastąpił w 2022 roku, gdy astronom-amator Berto Monard odkrył supernową SN 2022jli w pobliskiej galaktyce NGC 157 (odległość: 75 milionów lat świetlnych). Doniosłość tej obserwacji została zauważona przez profesjonalistów z grup Instytutu Weizmanna w Izraelu i Queen’s University w Belfaście.

Zazwyczaj po eksplozji jasność supernowych zmniejsza się wraz z upływem czasu w jeden z kilku charakterystycznych sposobów. Ma to związek ze składem chemicznym gwiazdy i obecnością pierwiastków radioaktywnych, które są źródłem energii rozświetlającej rozszerzającą się, gorącą chmurę materii. Zachowanie SN 2022jli było jednak bardzo osobliwe, ponieważ jej jasność zmieniała się regularnie z okresem około 12 dni. Taki efekt można wytłumaczyć obecnością więcej niż jednej gwiazdy w układzie. Masywne gwiazdy często znajdują się w układach podwójnych. Niezwykle jest to, że gwiazda-towarzysz przetrwała wybuch supernowej i pozostała w układzie podwójnym.

Dokładne obserwacje teleskopów Europejskiego Obserwatorium Południowego (NTT, New Technology Telescope, oraz VLT, Very Large Telescope) pozwoliły na odtworzenie przebiegu wydarzeń: gwiazda-towarzysz weszła w interakcję z materiałem wyrzuconym przez supernową, powiększając nieco swoją atmosferę. Następnie pozostałość po wybuchu oddziaływała regularnie z atmosferą towarzysza podczas jego ruchu po orbicie, akreując materię, rozgrzewając ją i wywołując przejściowe zmiany jasności. Z energetycznego punktu widzenia takie zmiany jasności mogą być wywołane jedynie przez gwiazdę neutronową lub czarną dziurę. Powstający właśnie teleskop ELT ESO (Extremely Large Telescope), o lustrze mierzącym 40 metrów, pozwoli na szczegółowe zbadanie tego niezwykle układu. Niestety musimy poczekać na jego uruchomienie do 2028 roku.

Michał BEJGER

Zakład Astrofizyki, Departament Badań Podstawowych, Narodowe Centrum Badań Jądrowych



Niebo w maju

Nadejście maja oznacza, że Słońce dotarło już prawie do szczytu swojej rocznej drogi po niebie, dni są długie, a noce krótkie. 20 dnia miesiąca Słońce przekroczy równoleżnik 20° deklinacji i od tego momentu do trzeciej dekady lipca jego położenie na niebie zmieni się tylko o $3,5^{\circ}$, z kulminacją 20 czerwca, w dniu przesilenia letniego.

W tym miesiącu zaczyna się sezon na dwa zjawiska widoczne tylko latem. Są to obłoki srebrzyste i łuk okołohoryzontalny. Obłoki srebrzyste to wysoko zawieszony w atmosferze chmury typu cirrus, oświetlone przez schowane płytko pod horyzontem Słońce. Natomiast łuk okołohoryzontalny (więcej o nim na angielskiej