



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

stronie: www.atoptics.co.uk/cha2.htm) to mała, lecz intensywna tęcza 46° na południe od Słońca, na niebie zasnutym cienkimi chmurami. Do tego zjawiska może dojść tylko wtedy, gdy wysokość Słońca nad horyzontem przekracza 58° , co na naszych szerokościach geograficznych ma miejsce tylko od końca maja do końca lipca.

Księżyc 1 maja przejdzie przez ostatnią kwadrę, a tydzień później – przez nów, stąd przez kilka pierwszych dni miesiąca można go dostrzec o świcie nisko nad południowo-wschodnią częścią nieboskłonu. Obserwacje Księżyca są trudne, ponieważ ekliptyka o tej porze doby wiosną tworzy mały kąt z horyzontem, a ponadto Srebrny Glob znajduje się kilka stopni pod nią.

Jedynym wartym odnotowania zjawiskiem związanym z Księżycem w tym czasie jest zakrycie świecącej z jasnością obserwowaną $+4,5^m$ gwiazdy ϵ Cap, 2 maja. Tego ranka Srebrny Glob pokaże tarczę oświetloną w 43% i około godziny 4:30, 1,5 godziny po swoim wschodzie, minie tę gwiazdę w małej odległości. Zakrycie da się dostrzec jedynie na bardzo małym obszarze naszego kraju – w Bieszczadach, na południowy wschód od Sanoka.

Jak co roku w dniach 5–6 maja maksimum aktywności osiągają meteory z roju η -Akwarydów. Są to szybkie i jasne meteory. Ich prędkość zderzenia z atmosferą wynosi 66 km/s i często pozostają po nich długo trwające smugi. W maksimum aktywności można spodziewać się około 50 zjawisk na godzinę. W tym roku maksimum jest przewidywane 5 maja, około godziny 23 naszego czasu. W Polsce 6 maja rano można spodziewać się mniej więcej 20% tej aktywności, ale i tak warto udać się na ich obserwacje. Radiant roju znajduje się nieco ponad 1° pod gwiazdą $\zeta 1$ Aqr i około godziny 3:30 zajmuje pozycję na wysokości 10° nad wschodnim horyzontem. W obserwacjach nie przeszkodzi bliski już nowiu Księżyc.

Srebrny Glob na wieczorne niebo powróci już 8 dnia miesiąca. Nów nastąpi przed godziną 5:30, a 15 godzin później, 30 minut po zachodzie Słońca można próbować dostrzec bardzo cienki sierp naturalnego satelity Ziemi, zawieszony na wysokości 5° , blisko punktu NW horyzontu. Niezbędna jest do tego jednak bardzo dobra przejrzystość powietrza. Przyda się także lornetka lub teleskop z małym powiększeniem i dużym polem widzenia, ponieważ sierp Księżyca pokaże wtedy fazę $0,5\%$, i może nie udać się go odnaleźć bez pomocy przyrządów optycznych. Jest to jedna z lepszych, jeśli nie najlepsza okazja w tym roku na dostrzeżenie księżycowej tarczy w ekstremalnie małej fazie. W odległości 4° na godzinie 7 względem Księżyca znajdzie się planeta Jowisz, ale nie będzie raczej możliwe dostrzeżenie jej nawet przez teleskop.

W kolejnych nocach Srebrny Glob stanie się ozdobą wieczornego nieba, bardzo ładnie prezentując tzw. światło popielate, czyli swoją nocną stronę, oświetloną światłem słonecznym odbitym od Ziemi. Warto pamiętać, że fazy Księżyca widzianego z Ziemi i Ziemi widzianej z Księżyca uzupełniają się do pełni. Jeśli zatem na Ziemi Księżyc jest bliski nowiu, to na Księżycu Ziemia jest bliska pełni i odwrotnie. Dodatkowo atmosfera naszej planety odbija w przestrzeń kosmiczną dużo więcej padającego nań promieniowania niż pozbawiona atmosfery powierzchnia Księżyca. Ziemia ma też ponad 3-krotnie większą średnicę.

To wszystko sprawia, że na księżycowym niebie świeci ona znacznie jaśniej niż Księżyc na naszym. Stąd nie należy się dziwić, że jeśli Srebrny Glob jest w fazie sierpa, to jego nocna strona jest dobrze widoczna gołym okiem.

Dostrzeżenie Księżyca nie sprawi już kłopotu 9 maja. Godzinę po zachodzie Słońca zajmie on pozycję na wysokości 9° i w takiej samej odległości od Aldebarana, najjaśniejszej gwiazdy Byka, widocznej na godzinie 7 względem niego. Sierp Księżyca urośnie do tego czasu do 4%. Dobę później faza Srebrnego Globu zwiększy się do prawie 9% i dotrze on do gwiazdy El Nath, drugiej co do jasności gwiazdy Byka. Oba ciała niebieskie przedzieli dystans $2,5^\circ$.

11 i 12 maja Srebrny Glob odwiedzi gwiazdozbiór Bliźniąt. Najpierw jego tarcza w fazie 16% pokaże się 3° od Meksuty, gwiazdy 3. wielkości, oznaczanej na mapach nieba grecką literą ϵ . Następnie Księżyc zwiększy fazę do 24%, docierając na odległość 3° od Polluksa, najjaśniejszej gwiazdy Bliźniąt. 13 maja księżycowa tarcza przejdzie przez środek gwiazdozbioru Raka, zwiększając fazę do 34% i świecąc 4° na północ od M44, widocznej na ciemnym niebie gołym okiem gromady otwartej gwiazd. 15 maja zaś Księżyc osiągnie I kwadrę, świecąc na linii łączącej Regulusa, najjaśniejszą gwiazdę Lwa, z gwiazdą η Leonis, 3° na północ od pierwszej z wymienionych gwiazd.

Między I kwadrą a pełnią warto odnotować spotkanie Księżyca ze Spiką, najjaśniejszą gwiazdą Panny, 20 i 21 maja. Do tego czasu jego faza przekroczy 90% i najpierw jego tarcza pokaże się 6° na północny zachód, drugiej zaś nocy – 6° na południowy wschód od Spiki.

Pełnia Księżyca przypada 23 maja po południu naszego czasu, stąd zarówno w nocy z 22 na 23, jak i z 23 na 24 maja jego tarcza pokaże praktycznie fazę 100%. Drugiej z wymienionych nocy Srebrny Glob wjeździe w towarzystwie Antaresa, najjaśniejszej gwiazdy Skorpiona. Tuż po wschodzie obu ciał niebieskich przed godziną 23 dystans między nimi przekroczy 3° , by do rana zmniejszyć się do $1,5^\circ$. Srebrny Glob 26 maja rano spotka się z jaśniejszą od 3^m gwiazdą Strzelca, Kaus Meridianalis, oznaczanej na mapach nieba grecką literą δ . Około godziny 2 oba ciała niebieskie przedzieli dystans $30'$. 5° pod tą parą znajdzie się jaśniejsza o 1^m gwiazda Kaus Australis, czyli ϵ Sgr.

30 maja Księżyc przejdzie przez ostatnią kwadrę, a ostatniego poranka miesiąca spotka się z powracającą na niebo planetą Saturn, do której zbliży się na 4° . Szóstej planety od Słońca można szukać w trzeciej dekadzie maja nisko nad wschodnią częścią nieboskłonu, świecącej z jasnością $+1,2^m$. W tym i przyszłym sezonie obserwacyjnym warto zwrócić uwagę na tę planetę o tyle, że w marcu przyszłego roku (pechowo, bo akurat wtedy znajdzie się ona w koniunkcji ze Słońcem) Ziemia przejdzie przez płaszczyznę pierścieni Saturna, a zatem znikną one w małych teleskopach i Saturn zacznie przypominać Jowisza. Tak samo jak na Jowiszu, na tarczy przypominającej Jowisza. Tak samo jak na Jowiszu, na tarczy Saturna również będą pojawiać się cienie jego wszystkich księżyców, a także sami ich właściciele. W maju i czerwcu stosunek małej do wielkiej półosi elipsy pierścieni osiągnie tegoroczne minimum 0,03. Jesienią urośnie on do 0,09, ale potem znów zacznie się zmniejszać.

Ariel MAJCHER