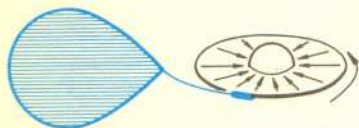
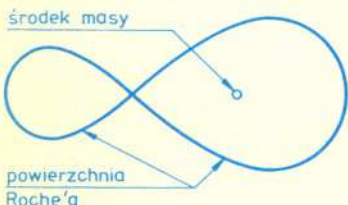


Polary — podwójne gwiazdy wybuchowe o silnym polu magnetycznym

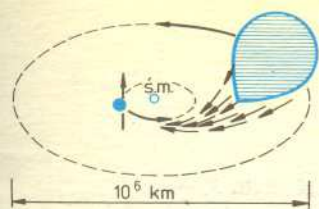
Doc. dr Wojciech KRZEMIŃSKI



Wśród gwiazd zmiennych niezmiernie interesującą grupę stanowią gwiazdy eruptywne nazywane też zmiennymi kataklizmicznymi. Do grupy tych gwiazd należą gwiazdy nowe, nowe powrotne, nowe karłowate (nazywane też gwiazdami typu U *Geminorum*) i nowopodobne. Najbardziej charakterystyczną obserwowaną cechą tych gwiazd są ich wybuchy, które dla gwiazd nowych czasami prowadzą do ponad milionkrotnego wzrostu ich jasności. Te zastanawiające wybuchy były już obserwowane w starożytności i zawsze stanowiły i stanowią źródło wielu pytań zadawanych astronomom, tak antycznym jak i współczesnym. Badania ostatnich dwudziestu pięciu lat, zintensyfikowane w ostatnim dziesięcioleciu, pokazały, że zmienne kataklizmiczne są układami ciasnych, oddziaływających ze sobą gwiazd podwójnych na zaawansowanych etapach ewolucji. Koncepcja modelu systemu eruptywnego, a w ogólności ciasnego systemu podwójnego, opiera się na podstawowym założeniu, że jeden ze składników wypełnia tzw. powierzchnię ekwipotencjalną (powierzchnię Roche'a) i wskutek ekspansji ewolucyjnej traci materię do wnętrza analogicznej powierzchni wokół swojego towarzysza. Gwiazda tracąca masę jest — dla większości systemów — około dwóch razy chłodniejsza od Słońca o rozmiarach niewiele odeń mniejszych, jej towarzysza jest natomiast „białym karłem”, gwiazdą o rozmiarach Ziemi, lecz temperaturze kilkunastu lub więcej tysięcy stopni. Strumień materii niosącej znaczny moment pędu tworzy szybko wirujący dysk wokół białego karła. W miejscu zetknięcia strumienia z dyskiem powstaje obszar o podwyższonej temperaturze, nazywany umownie „gorącą plamą”. Ponieważ składnik tracący masę jest gwiazdą chłodną, zaś masywny dysk pochłania większość promieniowania leżącego wewnątrz niego białego karła, obraz, jaki widzimy, jest różny od stereotypowych wyobrażeń: gwiazdy dają niewielki przyczynek do rejestrowanego promieniowania, które jest zdominowane przez przyczynki od źródeł pozagwiazdowych — gorącą plamę i dysk. Ten — jak się wydaje — niesprzeczny i ogólny model podwójnej gwiazdy eruptywnej wywodzi się z danych obserwacyjnych odnoszących się tak do stanu spokojnego, jak i wybuchowego tych gwiazd.

Oto krótkie zestawienie danych oparte na analizie około 30 podwójnych systemów eruptywnych: blisko 90% układów ma okresy orbitalne pomiędzy 1,3 i 10 godzin, masy składnika tracącego materię $0,1 \div 1,2 M_{\odot}$, masy białego karła $0,7 \div 1,2 M_{\odot}$; jasności nowych karłowatych wynoszą poza erupcjami około 40% L_{\odot} (jasności Słońca), nowych co najmniej dziesięć razy więcej. Nie ma zależności między masą składników gwiazdowych i charakterem wybuchu: całkowite energie są $\sim 10^5$ razy większe u nowych niż u nowych karłowatych, masy zaś identyczne. Promieniowanie gorącej plamy odbywa się kosztem energii kinetycznej dopływającego strumienia. Rozmiar plamy jest rzędu 10 tys. km (mniej niż 10% rozmiarów dysku). Zarówno plama jak i dysk są źródłem krótkookresowych (rzędu sekund) fluktuacji blasku. Masę nieprzezroczystego dysku szacuje się na $\sim 10^{-5} M_{\odot}$. Pomimo istnienia wielu niemal identycznych parametrów (np. masy) dla rozpatrywanej grupy gwiazd i kuszącej tendencji traktowania erupcji nowej karłowatej jako mini-wybuchu nowej, należy rozpatrywać je jako odrębne zjawiska. Najbardziej przekonującym mechanizmem erupcji nowej karłowatej (gdzie obserwuje się wielokrotne pojaśnienie centralnych części dysku bez jego znacznej ekspansji) jest uwolnienie energii grawitacyjnej zmagazynowanej w dysku przez gwałtowną akrecję (czyli osadzanie) materii na powierzchni białego karła. Problem powstania niestabilności w masywnym dysku prowadzącej do takiej zmasowanej akrecji jest obecnie przedmiotem wielu prac teoretycznych grupy warszawskich astrofizyków. Wybuchy gwiazd nowych są zadowalająco tłumaczone przez gwałtowną ekspansję zewnętrznych warstw białego karła, spowodowaną zainicjowaniem łańcucha reakcji termojądrowych w wyniku akrecji znacznej ilości materii bogatej w wodor; wyrzucona otoczka ma masę $\sim 10^{-5} \div 10^{-4} M_{\odot}$ i energię kinetyczną $\sim 10^{44} \div 10^{45}$ ergów. W konkluzji należy więc podkreślić, że u podłoża wszelkich mechanizmów powodujących kataklizmiczne wybuchy leży przepływ masy w osobliwym ciasnym układzie podwójnym, jakim jest gwiazda eruptywna.

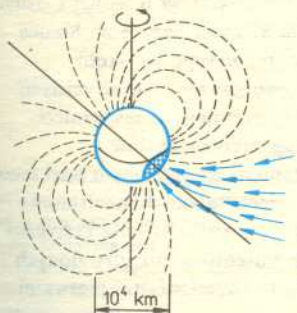
Prace obserwacyjne ostatniego dziesięciolecia pokazały, że około 6÷7% pojedynczych białych karłów posiada silne pole magnetyczne o natężeniu miliona do kilkunastu milionów gausów. Kuszącym było zatem sprawdzenie, czy i białe karły w podwójnych układach eruptywnych nie są również gwiazdami magnetycznymi. W latach 1976–1977 odkryto trzy układy eruptywne o silnych polach magnetycznych (100÷300 megagausów): *AM Herculis*, *AN Ursae Majoris*, *VV Puppis*. Wszystkie te układy charakteryzują się bardzo silnymi efektami działania pola magnetycznego, m.in. tzw. kołową polaryzacją ich promieniowania w dziedzinie optycznej i bliskiej podczerwieni ($\sim 1 \mu\text{m}$).



Obserwowana jest również i liniowa polaryzacja ich promieniowania. Właściwości polaryzacyjne doprowadziły do zaproponowania nazwy „polary” dla tej podklasy zmiennych kataklizmicznych.

Silne pole magnetyczne białego karła o natężeniu ~ 100 milionów gausów modyfikuje szereg procesów fizycznych w klasycznej zmiennej kataklizmicznej: (1) Akrecja nie jest już wtedy izotropowa, lecz zachodzi w „kolumnie akrecyjnej” wzdłuż linii sił pola magnetycznego. (2) Biały karzeł, który w systemie erupcyjnym bez pola magnetycznego szybko rotuje (okres rotacji rzędu jednej minuty), zostaje wyhamowany tak, że jest zwrócony do drugiej gwiazdy zawsze tą samą stroną (podobnie jak nasz Księżyc). (3) Istnienie dysku staje się mało prawdopodobne, gdyż gęstość energii magnetycznej jest na tyle duża, że „wypycha” materię znajdującą się w dysku niemal aż do orbity składnika tracącego masę w takim układzie podwójnym.

Jak widzimy, istnienie pola magnetycznego wokół białego karła otwiera ogromne bogactwo zjawisk towarzyszących akrecji materii na jego powierzchnię. Z akrecją tą związana jest emisja promieniowania, które nazywamy cyklotronowym i które jest wysyłane przez naładowane cząstki poruszające się w silnym polu magnetycznym. Promieniowanie to dotychczas można było wytwarzać i badać w bardzo kosztownych akceleratorach cząstek lub też badać za pomocą równie drogich satelitów. Poprzez obserwacje astronomiczne polarów w dziedzinie optycznej i podczerwieni również możemy uzyskiwać informacje o naturze promieniowania cyklotronowego i to w sposób znacznie mniej kosztowny.



Laboratorium w domu

Co i czym obserwować

Astronomia aż do najnowszych czasów nie była nauką eksperymentalną. Dzisiaj również nasze „Laboratorium w domu” nie będzie zaczynało się od słów „weź kamień księżycowy i polej go wodą królewską...”

Astronomowie mają do swojej dyspozycji największe laboratorium świata — bezgraniczny Wszechświat; jednak, niestety, nie są w nim jedynymi panami, więcej — nie są żadnymi panami i pozostaje im tylko podglądanie eksperymentów przeprowadzanych przez Naturę. Najpopularniejszym instrumentem służącym do podglądania i dostępnym dla każdego jest jego oko. Rejestruje ono przeważnie energię kwantów światła (czyli kolor) i jego natężenie. Czułość tego instrumentu można opisać wzorem

$$\text{wrażenie} = \text{stała} \times \log \text{arytm oświetlenia} + \text{inna stała.}$$

Z tego powodu jasność gwiazd podawana jest w tzw. wielkościach gwiazdowych m (z łac. *magnitudo*)

$$m = -2,5 \log(I) + c,$$

gdzie I jest ilością energii wpadającej do źrenicy, natomiast c jest dobrane tak, żeby było wygodnie.

Najjaśniejsza gwiazda — *Syriusz* — ma w tych jednostkach $-1^m,4$, natomiast najslabsze gwiazdy widoczne gołym okiem mają jasność $+6^m$.

Niestety większość ciekawych obiektów na niebie ma jasność mniejszą i gołym okiem można oglądać tylko: Księżyc, niektóre planety, jasne komety i meteory, kilkadziesiąt gwiazd zmiennych, kilka gromad gwiazd i ledwo widoczne: mgławicę w Orionie i Wielką Galaktykę Andromedy.

Jednym z najprostszych i najłatwiej dostępnych przyrządów astronomicznych jest lornetka, zarówno teatralna, jak i pryzmatyczna. Im większa jest średnica obiektywów lornetki, tym większy jest jej zasięg. Lornetka o średnicy obiektywów 50 mm dodatkowo umieszczona na statywie (żeby nie drgała) roztacza przed nami nowy, wspaniały świat.

Można postarać się również o lunetę, a nawet o teleskop. Kupno ich w Polsce jest praktycznie niemożliwe. Trzeba je więc albo przywieźć z zagranicy, co drogo kosztuje, albo zrobić samemu, co nie jest bardzo trudne. Wszelkich rad oraz pomocy merytorycznej i technicznej udzielają oddziały Polskiego Towarzystwa Miłośników Astronomii. Oddział Warszawski PTMA mieści się w Centrum Astronomicznym im. M. Kopernika PAN, Warszawa, ul. Bartycycka 18.

Mgr Tomasz CHLEBOWSKI