

Gwiazdy zmienne zaćmieniowe

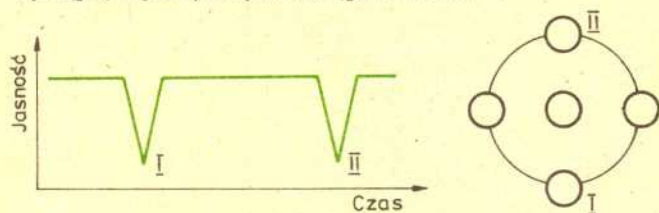
Mgr Joanna UDALSKA

Wszystkie gwiazdy na niebie wyglądają bardzo podobnie i przez to wielu ludzi wydają się po prostu nieciekawe. Jakie informacje może nieść światło tak bardzo odległych obiektów, skoro nawet w najpotężniejszych teleskopach widać je zaledwie w postaci świecących punktów o mniejszych lub większych jasnościach? A jednak właśnie dzięki rejestracji i badaniom natężenia docierającego do Ziemi promieniowania gwiazd uzyskujemy najwięcej danych pozwalających wnioskować o ich cechach fizycznych i ewolucji. Wnioski z pobieżnych obserwacji i tradycyjne przekonanie o stałości gwiazd są mylące – w rzeczywistości ich „życie” składa się z szeregu faz ciągłych przemian, co dla nas – ziemskich obserwatorów – przejawia się przede wszystkim w postaci bardziej lub mniej gwałtownych zmian ich blasku.

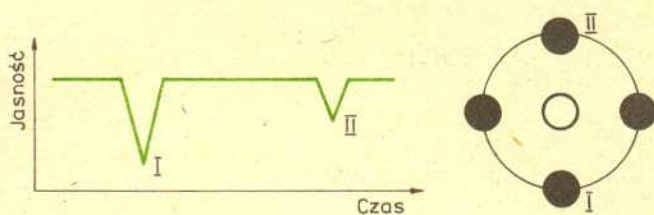
Prawdziwą „kopalnię” informacji stanowią tzw. układy zaćmieniowe, tj. gwiazdy podwójne, których płaszczyzna ruchu jest tak zorientowana w przestrzeni, że możemy obserwować z Ziemi okresowe wzajemne zakrycia składników. Zwykle – wskutek dużej odległości tych układów w porównaniu z ich rozmiarami – nie można dostrzec każdej z gwiazd osobno, stwierdzamy jedynie spadek całkowitej jasności układu podczas kolejnych zaćmień.

Prześledźmy, ile ciekawych informacji dotyczących własności geometrycznych układu podwójnego można „wydobyć” z jego krzywej blasku (zależności jasności od czasu). Od stosunkowo mało skomplikowanych, wyidealizowanych sytuacji będziemy przechodzić do coraz bardziej złożonych – bliższych rzeczywistości.

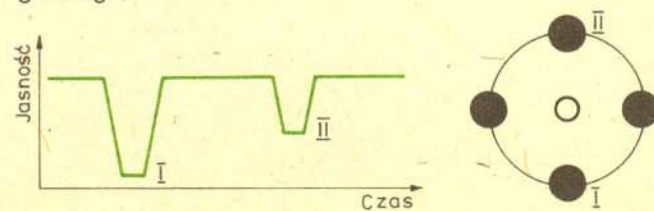
Na początek wyobraźmy sobie, że układ podwójny składa się z dwóch kulistych gwiazd o jednakowych rozmiarach i jasnościach powierzchniowych, oraz że nachylenie jego kołowej orbity względem płaszczyzny stycznej do sfery niebieskiej wynosi dokładnie 90° . Podczas każdego pełnego obiegu gwiazd wokół ich wspólnego środka masy zaobserwujemy dwukrotnie jednakowe zaćmienia, przy czym w minimum łączna jasność układu zmniejszy się do połowy, czyli o 0,75 mag. Poza zaćmieniami jasność będzie utrzymywać się na stałym poziomie, a kolejne minima wystąpią w jednakowych odstępach czasu.



Dopuszczmy teraz sytuację, w której składniki są wciąż jednakowych rozmiarów, ale znacznie różnią się jasnością powierzchniową. Teraz łączny blask układu jest najbardziej osłabiany, gdy zasłaniana jest gwiazda jaśniejsza, podczas zaś zasłaniania ciemniejszej gwiazdy osłabienie całkowitej jasności jest słabsze. Na krzywej blasku widać głębsze tzw. minimum główne i płytsze – tzw. wtórne.

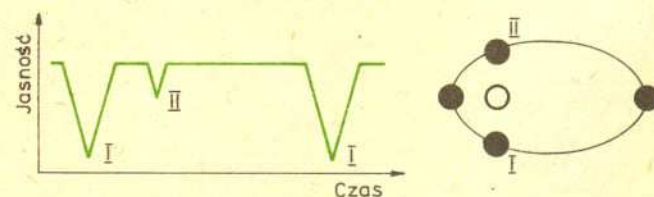


A jak na krzywej blasku odbije się fakt, że np. ciemniejsza gwiazda ma rozmiary znacznie większe niż gwiazda jaśniejsza? Podobnie jak poprzednio, gdy mniejsza z nich (jaśniejsza) zostanie całkowicie zakryta przez większą (ciemniejszą), nastąpi znaczny spadek jasności całkowitej układu – zaćmienie całkowite, a gdy przed wielką – ciemniejszą gwiazdą znajdzie się mała – jaśniejsza, łączny blask układu ulegnie znacznie mniejszemu osłabieniu. Czyżbyśmy mieli otrzymać krzywą blasku taką samą jak w poprzednim przypadku? Otóż nie – teraz, podczas minimum wtórnego występuje tzw. zaćmienie obrączkowe (analogiczne do obrączkowego zaćmienia Słońca) – nie cała zaćmiewana gwiazda skryła się za swym towarzyszem. Przez cały czas trwania tej fazy – gdy mniejsza gwiazda przesuwana się na tle większej – obserwujemy stały blask układu, tzw. płaskie dno. Podobnie jest w fazie minimum głównego.



Gdy składniki będą różnych rozmiarów, ale nachylenie płaszczyzny orbity układu nie będzie równe dokładnie 90° , płaskiego dna nie zaobserwujemy – wystąpią tzw. zaćmienia częściowe.

W przedstawionych wyżej przypadkach minima wtórne położone są dokładnie w środku pomiędzy minimami głównymi. Jednak nie zawsze musi tak być – przypominamy, że nasze dotychczasowe rozważania dotyczyły orbit kołowych. Gdy gwiazdy obiegają wspólny środek masy po orbicie eliptycznej, występuje asymetria w położeniu minimum wtórnego – jest ono przesunięte względem położenia środkowego między minimami głównymi.



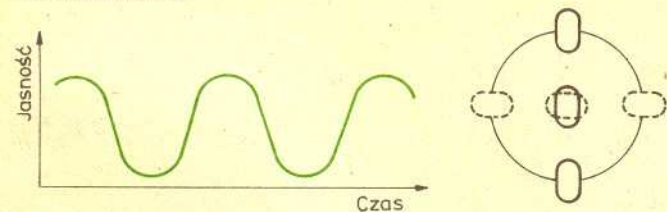
W układach fizycznie związanych gwiazd nie sposób pominąć wzajemnego oddziaływania składników, które przede wszystkim mogą się nawzajem oświetlać. Rzecz jasna, ważny do uwzględnienia jest jedynie efekt oświetlenia składnika ciemniejszego przez jaśniejszy. Dla obserwatora na Ziemi, wskutek ruchu obiegowego gwiazd po orbicie, zmienia się widoczne oświetlone (gorętsze) pole powierzchni ciemniejszej gwiazdy. Największa oświetlona

powierzchnia jest widoczna podczas minimum wtórnego, a więc obserwujemy powolny wzrost jasności układu między minimum głównym i wtórnym oraz jej spadek między minimum wtórnym i głównym. Zjawisko to, zwane efektem refleksu (odbicia), występuje zatem w okresie, w którym w poprzednich przypadkach mieliśmy do czynienia z fazą tzw. stałego blasku gwiazdy zaćmieniowej.



Wzajemne oświetlanie się prowadzi również do powstania dodatkowego fizycznego świecenia, którego natężenie zależy od odległości między składnikami, jest więc zauważalne w układach o orbitach eliptycznych. Natężenie tego dodatkowego promieniowania staje się największe przy najmniejszej odległości między składnikami, tj. w momencie, gdy mniej masywny z nich przybliży się maksymalnie do towarzysza – znajdzie się w peryastronie. Dlatego zjawisko to nazywa się efektem peryastronu.

Składniki wielu obserwowanych układów podwójnych nie mają kształtu dokładnie kulistego. Dotyczy to przede wszystkim układów o niewielkich rozmiarach, w których na skutek działania sił przyptywowych gwiazdy przyjmują kształt elipsoid o największych osiach skierowanych wzdłuż prostej łączącej ich środki. Wtedy oprócz efektów wywołanych przez obieg wspólnego środka masy trzeba również wziąć pod uwagę obrót samych składników, gdyż z różnych stron wyglądają one inaczej. Na krzywej blasku nie występuje w ogóle faza stałej jasności, ponieważ ciągle obserwujemy różne pola powierzchni gwiazd. Zmiany jasności stają się ciągłe – krzywa zmian blasku ulega „wygładzeniu”, nie można określić dokładnego momentu początku i końca poszczególnych faz. Łączny blask układu jest największy, gdy prosta łącząca środki obu gwiazd ustawia się prostopadle do kierunku widzenia, w minimum do obserwatora zwrócona jest najmniejsza powierzchnia obu składników.



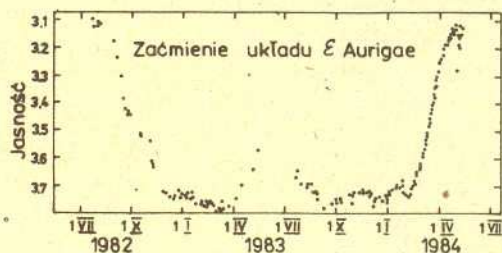
Podobnie, jak w przypadku układów zawierających składniki kuliste, gdy gwiazdy eliptyczne różnią się rozmiarami lub jasnością powierzchniową, na krzywej blasku można wyróżnić głębsze minimum główne i płytsze – wtórne.

„Wygładzanie” krzywej blasku następuje również wskutek występowania tzw. pociemnienia brzegowego. Jasności powierzchniowe gwiazd są największe w środku ich tarcz i maleją na zewnątrz. Efekt ten wyraźnie widzimy w przypadku Słońca, a jego przyczyną jest to, że patrząc na środek tarczy sięgamy do głębszych, gorętszych, a więc i jaśniejszych warstw, natomiast przy brzegu widzimy jedynie chłodne warstwy powierzchniowe.

Przy obserwacjach gwiazd zmiennych zaćmieniowych efekt ten ma mniejsze znaczenie dla zaćmień całkowitych i częściowych, najbardziej widoczny jest podczas zaćmień obrączkowych.

W rzeczywistości obserwowane krzywe blasku są znacznie bardziej skomplikowane niż te, które zostały przedstawione na naszych schematycznych rysunkach – choć opisane przypadki wyczerpują w zasadzie wszystko, co uwzględnia się w tradycyjnej klasyfikacji gwiazd zmiennych zaćmieniowych. Podstawę tej klasyfikacji stanowią trzy rodzaje krzywych blasku, dla których wzorcami są β Persei (Algol), β Lyrae i W Ursae Majoris. Algole, najliczniej reprezentowane wśród zmiennych zaćmieniowych, są układami złożonymi z niemal kulistych gwiazd znacznie oddalonych. Na ich krzywych blasku dobrze widać fazy stałej jasności i wyraźne minima. Układy podwójne typu β Lyrae składają się z dwóch eliptycznych gwiazd o różnych rozmiarach, a więc na ich krzywych blasku nie można wyróżnić fazy stałej jasności, gdyż wciąż zmienia się ona zarówno na skutek wzajemnego zasłaniania składników, jak też na skutek ich eliptycznego kształtu. Zmienne typu W Ursae Majoris tym różnią się od gwiazd typu β Lyrae, że ich eliptyczne składniki mają rozmiary na tyle duże w porównaniu ze wzajemnymi odległościami, iż stykają się powierzchniami.

Tradycyjna klasyfikacja nie obejmuje całego bogactwa gwiazd zmiennych zaćmieniowych. Trudno byłoby zaliczyć do któregoś ze wspomnianych wyżej typów tak osobliwą zmienną jak np. ϵ Aurigae (pisaliśmy o niej w *Delcie* 2/1988), gdzie postulują się istnienie trzech gwiazd, dwóch dysków akrecyjnych, rozległej gazowej otoczki, a na geometryczne zmiany jasności nakładają się zmiany związane z procesami fizycznymi.



Wiele uwagi poświęca się obserwacjom osobliwych układów, w których dodatkowe efekty na krzywych blasku wywołane są przede wszystkim przepływem materii między składnikami. Wiąże się to z powstawaniem dysków akrecyjnych, tzw. gorących plam – jasnych, świecących obszarów w miejscu, gdzie strumień materii trafia w dysk i występowaniem ciągłych zmian okresów układów zaćmieniowych. Szczególnie efektywnym zjawiskiem związanym z przepływem masy są wszelkiego rodzaju wybuchy – okresowe, gwałtowne zmiany jasności spowodowane nagłym (wybuchowym) zapaleniem materii opadającej z jednej z gwiazd i gromadzonej na drugiej. Do opisu tego typu efektów nie wystarczają rozważania geometryczne. Konieczne jest również zwiększenie zakresu obserwacji – oprócz fotometrycznych (rejestracja natężenia dochodzącego od gwiazdy promieniowania) niezbędne są również spektroskopowe (badania widma). Dopiero na podstawie możliwie bogatego materiału obserwacyjnego konstruuje się szereg modeli rachunkowych opisujących przewidywane efekty zgodnie ze znanymi nam prawami fizyki.