

## **Wpływ ewolucji w układach podwójnych na własności gwiazd pulsujących na przykładzie cefeid oraz gwiazd typu RR Lutni**

**Paulina Karczmarek**

Rozprawa doktorska opisuje, jak własności gwiazd pulsujących typu RR Lutni oraz cefeid mogą zostać zmienione w wyniku obecności towarzysza w układzie podwójnym. Studium to jest wieloaspektowe i składa się z trzech projektów z możliwością ich rozwinięcia oraz włączenia kolejnych projektów w przyszłości.

Pierwszy projekt ma na celu pokazanie, że gwiazdy pulsujące typu RR Lutni (RRL) są wiarygodnymi i precyzyjnymi świecami standardowymi, które spełniają zależność okres-jasność-metaliczność w bliskiej podczerwieni. Ta zależność jest wykorzystana do wyznaczenia odległości do dwóch galaktyk Grupy Lokalnej: Carina i Fornax. Wyniki są zgodne z istniejącymi w literaturze wyznaczeniami odległości, ale charakteryzują się większą precyzją, na poziomie 5%. Za ten stan rzeczy odpowiada zredukowanie wpływu błędów systematycznych i statystycznych. Między innymi, obserwacje w bliskiej podczerwieni charakteryzują się mniejszą czułością na ekstynkcję międzygwiazdową niż obserwacje w zakresie widzialnym. Ponadto, wpływ metaliczności na jasność gwiazd RRL w bliskiej podczerwieni jest mniejszy niż w zakresie widzialnym. Te cechy czynią zależność okres-jasność-metaliczność w bliskiej podczerwieni dla gwiazd RRL cennym narzędziem do wyznaczania odległości, w szczególności do pobliskich galaktyk, których moduł odległości jest nie większy niż około 22 mag, a w których nie ma cefeid. Odległości wyznaczone do galaktyk Carina i Fornax zgadzają się z wyznaczeniami dokonanyymi w ramach projektu Araucaria za pomocą innych świec standardowych, takich jak gwiazdy red clump lub gwiazdy na wierzchołku gałęzi czerwonych olbrzymów. Ewentualna znaczna rozbieżność osiągniętych wyników z innymi wyznaczeniami oznaczałaby, że dodatkowe i do tej pory nie uwzględnione efekty mogły zakłócić pomiar odległości. Jeden z tych efektów – obecność towarzysza w układzie podwójnym – został omówiony w dalszej części pracy.

Kolejne dwa projekty mają charakter teoretyczny i wykorzystują kod do syntezy populacji układów podwójnych StarTrack, stworzony przez Belczyńskiego et al. (2002, ApJ 572, 40; 2008, ApJS 174, 223) i nieustannie od tego czasu rozwijany. Praca z syntetyczną populacją umożliwia opisanie w sposób statystyczny właściwości układów podwójnych, prześledzenie etapów ich ewolucji oraz stopnia i charakteru interakcji między składnikami. Oba projekty badają układy podwójne z przynajmniej jednym składnikiem w pasie niestabilności, przy czym jeden projekt skupia się na układach, w których między składnikami nastąpiła interakcja w postaci transferu masy, podczas gdy drugi projekt bada własności gwiazd związanych jedynie grawitacyjnie, w których nie nastąpił transfer masy.

Badania nad syntetyczną populacją, w której gwiazdy doświadczają transferu masy, prowadzą do potwierdzenia istnienia nowej klasy gwiazd pulsujących, tzw. BEP (ang. *Binary Evolution Pulsator*). Pierwszą i do tej pory jedyną gwiazdą BEP jest OGLE-BLG-RRLYR-02792, obiekt o którego odkryciu donosi publikacja Soszyński et al. (2010, Acta Astron. 60, 165) i który został opisany obszerniej przez autorów Pietrzyński et al. (2012, Nature 484, 75) oraz Smolec et al. (2013, MNRAS 428, 3034). BEP wykazuje pulsacje podobne do gwiazd RRL, lecz różni się od nich masą i ścieżką ewolucji, właśnie dlatego, że znajduje się w układzie podwójnym, w którym interakcja między

składnikami przebiegła pod postacią transferu masy. Projekt poświęcony BEP-om pokazuje, że gwiazdy te powinny istnieć wewnątrz pasa niestabilności, w obszarze małych jasności, charakterystycznych dla gwiazd RRL, ale także w wyższych partiach pasa niestabilności, w którym znajdują się cefeidy. Obiekty te mogą być błędnie klasyfikowane ze względu na kształt krzywych zmian blasku jako gwiazdy RRL lub cefeidy. Najskuteczniejszym sposobem ich detekcji jest zaobserwowanie zaćmień w krzywej zmian blasku lub zmian związanych z ruchem orbitalnym w krzywej prędkości radialnych. Nierozpoznanych BEP-ów powinno być na tyle mało, by ich obecność nie zaburzała pomiarów odległości opartych na zależnościach okres-jasność dla cefeid i gwiazd RRL. Niemniej, interesujące właściwości oraz ścieżki ewolucji tych obiektów zachęcają do poszukiwania kolejnych gwiazd należących do tej nowej klasy oraz do dalszego studiowania znanych już kandydatek. Projekt potwierdza, że interakcje w układach podwójnych są kluczowe dla wytłumaczenia zaobserwowanych własności niektórych gwiazd pulsujących w układach podwójnych.

Kolejny projekt poświęcony jest układom podwójnym, w których nie doszło do transferu masy i ma na celu sprawdzić, czy gwiazdy w pasie niestabilności – konkretnie cefeidy klasyczne – realizują zależność okres-jasność w sposób niezaburzony obecnością towarzysza, czy raczej dodatkowe światło od towarzysza powoduje systematyczne zawyżenie zależności okres-jasność. Temat ten był wielokrotnie poruszany w literaturze i dyskutowany w sposób jakościowy. Odosobnione przypadki cefeid w układach podwójnych, które znajdują się znacząco ponad zależnością okres-jasność zostały opisane w publikacjach autorstwa Pietrzyński et al. (2010, Nature 468, 542) oraz Pilecki et al. (2018, ApJ 862, 43). Natomiast przedstawiony w niniejszej pracy projekt po raz pierwszy realizuje temat w ujęciu nie tylko jakościowym, ale i ilościowym. Dla trzech syntetycznych populacji gwiazd podwójnych o metalicznościach Drogi Mlecznej, Małego i Wielkiego Obłoku Magellana oszacowano, jak poważne jest zagrożenie zawyżenia pomiarów odległości za pomocą zależności okres-jasność dla cefeid dla różnych długości fali i różnego odsetka układów podwójnych. Wnioski płynące z pracy uspokajają, że wyznaczenia odległości z zależności okres-jasność dla mieszanej próbki cefeid (pojedynczych i podwójnych) obarczone są tylko nieznacznym błędem systematycznym wynikającym z obecności towarzysza i mogą być dodatkowo zminimalizowane, jeśli obserwacje prowadzone są na większych długościach fali.

**Słowa kluczowe:**

układy podwójne  
gwiazdy pulsujące: cefeidy, RR Lutni  
zależność okres-jasność  
odległości  
Grupa Lokalna  
ewolucja gwiazdowa  
synteza populacji