

Prof. dr hab. Stanisław Zoła
Obserwatorium Astronomiczne UJ
ul. Orla 171, 30-244 Kraków
e-mail: szola@oa.uj.edu.pl

Kraków 5-11-2018

OBSERWATORIUM ASTRONOMICZNE UW

wpłynęło dnia 5.11.2018 *ju*

Opinia o pracy doktorskiej „*Gwiazdy olbrzymy w układach podwójnych zaćmieniowych jako doskonale laboratorium astrofizyczne*” autorstwa mgr Kseni Suchomskiej (promotor: prof. dr hab. Grzegorz Pietrzyński)

Przedstawiona mi do oceny rozprawa zawiera wyniki analizy pięciu układów podwójnych zaćmieniowych, ze składnikami na etapie czerwonego olbrzyma. Celem podjętej pracy było jak najdokładniejsze wyznaczenie parametrów fizycznych składników wybranych układów, wyznaczenie odległości do nich oraz porównanie dwóch modeli ewolucji gwiazd. Zadanie to doktorantka wykonała poprzez jednoczesne modelowanie obserwacji spektroskopowych oraz fotometrycznych. Obiekty, którymi zajmowała się mgr Suchomska to 1 układ z przeglądu ASAS oraz 4 z przeglądu OGLE. Dane fotometryczne pochodziły z archiwów tych przeglądów (w zakresie optycznym), 2MASS w zakresie podczerwonym (pasma J, H i K). Doktorantka także zebrała nowe obserwacje (szkoda, że tak nieliczne) dla 4 badanych gwiazd używając teleskopu NTT w ESO. Obserwacje spektroskopowe zostały w całości uzyskane przez autorkę pracy (i współpracowników?) za pomocą światowej klasy instrumentów: 3.6m teleskopu ze spektrografem HARPS w ESO, 6.5 m teleskopu ze spektrografem MIKE oraz niedużym, klasy 1m, teleskopem Eulera w La Silla. Zaobserwowane widma mają zdolność rozdzielczą od 40 000 – 80 000 i świetnie nadają się do wiarygodnego wyznaczenia prędkości radialnych i w rezultacie stosunku mas badanych układów. Widma te użyte zostały dodatkowo do analizy parametrów atmosferycznych (temperatury i metaliczności) składników analizowanych układów.

Rozprawa ma charakter „klasyczny”, składa się z 6 rozdziałów, dodatku w którym autorka zawarła tabelę z wyznaczonymi odległościami badanych układów, porównując swoje wyniki z rezultatami z misji Gaia dostępnymi w DR2 oraz pracy Bailer-Jones (także oparte o dane z tej sondy). Rozprawę kończą: szeroki spis literatury w temacie wykonanych badań oraz spisy rysunków i tabel zawartych w rozprawie. Rozprawa zawiera wyniki dla układu ASAS J180057-2333.8) już opublikowane w czasopiśmie MNRAS a doktorantka jego pierwszą autorką artykułu, reszta wyników nie została wcześniej opublikowana i w rozprawie przedstawiana jest po raz pierwszy. Mgr Suchomska rozpoczyna rozprawę od krótkiego wstępu w którym przedstawia przedmiot badań: gwiazdy i układy podwójne gwiazd w szczególności. Przedstawiony we wstępie został cel wykonanych badań, a z treści tego rozdziału wynika, że

najważniejszym zadaniem miało być wyznaczenie odległości do 5 wybranych rozdzielonych układów zaćmieniowych z wyewoluowanymi składnikami dla których istniała już fotometria, przede wszystkim w bazie OGLE. Analizując krzywe zmian blasku w połączeniu z obserwacjami spektroskopowymi, możliwe jest dokładnie wyznaczenie parametrów absolutnych składników układów, a te z kolei posłużą autorce do wyznaczenia odległości do układów (gdy uwzględni się poprawnie poczerwienienie międzygwiazdowe).

Rozdział drugi poświęcony został na przybliżenie aktualnej wiedzy o stadiach ewolucji gwiazd mała i średnio masywnych po opuszczeniu ciągu głównego (MS).

Schematycznie opisana została ewolucja na gałęzi olbrzymów, gałęzi horyzontalnej i asymptotycznej (podrozdziały 2.1.1-2.1.3), z bardziej szczegółowym opisem mechanizmu transportu konwektywnego energii, nadal nie do końca poznanego, oraz związanego z tym procesem przestrcieliwania konwektywnego. Autorka podsumowuje ten rozdział wskazaniem konieczności bardzo dokładnego wyznaczania parametrów fizycznych gwiazd na tych zaawansowanych etapach ewolucji, niezbędnego do poznania mechanizmu działania konwekcji w gwiazdach i tym samym szczegółowego zrozumienia ich ewolucji.

W rozdziale trzecim doktorantka zrobiła bardzo krótki opis (prawie w popularnym stylu) rodzajów zmienności gwiazd oraz typów układów podwójnych zaćmieniowych z podziałem ze względu na ich konfigurację, kończąc ten wstęp przedstawieniem układów typu SB2 (podrozdział 3.2.1). W kolejnych podrozdziałach znalazły się już bardziej szczegółowe dane przybliżające czytelnikom rozprawy parametry układów podwójnych spektroskopowo rozdzielanych wraz z metodami ich wyznaczania. Mgr Suchomska zakończyła rozdział trzeci podsumowaniem wiedzy wynikającej z badań układów podwójnych zaćmieniowych z zaawansowanymi ewolucyjnie składnikami oraz w sposób bardziej szczegółowy niż we wstępie cel prowadzonych badań a także ich pozycję na tle prowadzonych na świecie badań i wyników uzyskiwanych przez innych badaczy.

Rozdział czwarty doktorantka poświęciła opisowi metod, które zastosowała w przeprowadzonych badaniach. Ukierunkowane były one na wyznaczenie odległości do 5 zaćmieniowych układów podwójnych, dla których dane optyczne autorka opisała w podrozdziale 4.1.1 a nowe obserwacje podczerwone w 4.1.2. Podrozdziały 4.2-4.3 zawierają opis wykonanych obserwacji spektroskopowych, wraz z ich redukcją i analizą prowadzącą do wyznaczenia krzywych prędkości radialnych składników badanych układów (4.3.1-4.3.2), separację ich widm oraz wyznaczenie parametrów atmosferycznych (podrozdział 4.6). Używany przez mgr K. Suchomską program do wyznaczenia parametrów fizycznych układu to powszechnie stosowany kod Wilsona-Devinney'a (W-D). Opis jego działania jest dość pobieżny, w większości jakościowy, ale uwzględnia przyjętą przez autora kodu geometrię układu opisywaną przez geometrię Roche'a, co zwykle stanowi trudność w zrozumieniu działania tego programu. Bardziej szczegółowo opisane zostały parametry pociemnienia brzegowego, wyjaśnienia grawitacyjnego oraz związane z efektem odbicia, mimo że wpływ na kształt

krzywej zmian blasku tych dwu ostatnich ma niewielkie znaczenie. Pominięte zostały parametry jasności składników oraz trzeciego światła. Autorka użyła do dopasowania wbudowaną w kod metodę poprawek różniczkowych, ale zdecydowała się oszacować błędy innym kodem: JKTEBOP (podrozdział 4.5). Podrozdział 4.7 opisuje dwie metody wyznaczenia poczerwienienia, a kolejny podaje sposób obliczenia odległości do układów. Rozdział czwarty kończy podrozdział, w którym doktorantka zawarła informacje dotyczące użytych programów (PARSEC i MESA) do analizy statusu ewolucyjnego oraz zbadania wpływu przestrzeliwania konwekcyjnego.

Rozdział piąty to najważniejsza część rozprawy prezentująca otrzymane wyniki dla każdego z układów z osobna. Po statystycznej prezentacji użytych w analizie obserwacji fotometrycznych i spektroskopowych w podrozdziale 5.1 (tabele 4 i 5), w kolejnych podrozdziałach zawarte zostały wyniki końcowe z opracowania obserwacji spektroskopowych dla pięciu badanych układów: wyznaczone prędkości radialne składników, wyznaczone z modelowania kodem W-D parametry, poczerwienienie z kalibracji koloru oraz map ekstynkcji, by w końcu wyznaczyć odległość oraz wartości mas i rozmiary składników układów. Te ostatnie posłużyły do nakreślenia statusu ewolucyjnego dla trzech z pięciu analizowanych układów, a w przypadku obiektu ASAS-180057 także przebiegu jego ewolucji pływowej. Rozdział kończy próba prześledzenia zależności metaliczności od wieku układów oraz ich odległości od centrum Galaktyki. Doktorantka wykonała wykresy tych zależności dla olbrzymów ze swojej próbki oraz 7 innych olbrzymów, dla których opublikowana została metaliczność. Próba dopasowania trendu liniowego dla obu tych zależności wprawdzie pokazała bardzo niewielki gradient, ale patrząc na rysunki przedstawiające pomiary oraz dopasowane proste (31 i 32) wydaje się, że to tylko formalny wynik o bardzo niskiej ufności statystycznej. Podejrzewam, że po usunięciu jednego z pomiarów (zresztą obciążonego dużym błędem) w wyniku otrzymano by brak jakiegokolwiek zależności dla obu rozważanych parametrów.

Rozprawę kończy podsumowanie i krótka dyskusja otrzymanych wyników w tym niepewności ich wyznaczenia, zwłaszcza odległości do badanych układów oraz porównanie wyznaczeń doktorantki z tymi opublikowanymi w DR2 satelity Gaia.

Rozprawa mgr Kseni Suchomskiej to kolejny krok na drodze do uściślenia kilku nadal nie do końca zrozumianych późnych etapów ewolucji gwiazd w stadium olbrzyma. Jak słusznie zauważa autorka rozprawy, aby teorie ewolucji gwiazd można było weryfikować, niezbędne są obserwacje, które umożliwią bardzo precyzyjnie wyznaczenie parametrów fizycznych gwiazd na zaawansowanych etapach ewolucji (masy, promienie, temperatury czy też skład chemiczny atmosfer). Obserwacje fotometryczne (krzywe zmian blasku) niezbędne do otrzymania kątów nachylenia orbit i promieni cząstkowych składników zostały zaczerpnięte z publicznie dostępnych baz danych przeglądów ASAS i OGLE. Dodatkowe obserwacje w podczerwieni zostały wykonane teleskopem NTT w ESO (instrument SOFI). Obserwacje spektroskopowe zebrane trzema teleskopami w Chile (Las Campanas i La Silla) stanowią wysokiej

jakości komplementarne dane.

Pierwotnie podstawowym celem tej pracy wydaje się być wyznaczenie odległości do próbek zaćmieniowych układów podwójnych z zaawansowanymi ewolucyjnie składnikami. Aby to osiągnąć konieczne było również wyznaczenie parametrów fizycznych gwiazd z najlepszą możliwą do uzyskania dokładnością. Po opublikowaniu danych w DR2 ten aspekt stracił na ważności, przede wszystkim dla bliższych obiektów. Jednak nadal mogą posłużyć do weryfikacji innych wyznaczeń odległości (w tym misji Gaia) oraz być podstawą szacowania odległości na granicy możliwych pomiarów tego satelity oraz poza nią. Wyznaczone wartości parametrów składników zaawansowanych ewolucyjnie gwiazd oceniam za ważny przyczynek naukowy.

Rozprawa zawiera oryginalny materiał obserwacyjny, którym są widma o wysokiej zdolności rozdzielczej oraz nowe obserwacje podczerwone. Na podstawie tych pierwszych, autorka wyznaczyła krzywe prędkości składników układów oraz 2 podstawowe parametry opisujące ich atmosfery: temperatury efektywne i metaliczność. Oceniam te dane oraz uzyskane w wyniku ich analizy wyniki za najbardziej naukowo cenną część tej pracy, które z pewnością zostaną wykorzystane w przyszłości przez innych badaczy.

W wyniku modelowania krzywych zmian blasku i krzywych prędkości radialnych otrzymane zostały precyzyjne wartości parametrów fizycznych 5 układów ze składnikami na późnych etapach ewolucyjnych (choć moim zdaniem oszacowania błędów wyznaczeń są zbyt optymistyczne), znacząco powiększając liczbę zbadanych gwiazd tego typu. Wyniki przedstawione w rozprawie otrzymane zostały przez jej autorkę, ale także przez współpracowników z zespołu. Moja ocena zawarta w tej opinii i kończącej ją konkluzji dotyczy pracy oraz wyników uzyskanych przez autorkę samodzielnie. Domyślam się, że te drugie zostały włączone do rozprawy dla ukazania możliwie kompletnego obrazu badanych układów oraz pokazania potencjału naukowego z nich wynikających.

Mgr Ksenia Suchomska wykorzystała standardowe i sprawdzone już przez innych astronomów narzędzia gwarantujące wiarygodność otrzymanych wyników, a sama praca napisana jest w poprawnej polszczyźnie, także jej układ jest logiczny. Mimo to, znalazłem nieścisłe sformułowania, z których część wymieniam poniżej. Mam też kilka uwag dotyczących przeprowadzonego modelowania krzywych zmian blasku i wyznaczenia parametrów fizycznych gwiazd.

1. Wstęp

„Dla rozdzielonych układów podwójnych zaćmieniowych, których składnikami są gwiazdy olbrzymy, możliwe jest bowiem wyznaczenie odległości do badanego systemu z dokładnością rzędu 2% (Pietrzyński 2013).” - takie sformułowanie sugeruje, że tylko dla układów z wyewoluowanymi składnikami taka dokładność jest możliwa. A co gdy składnikami układu są gwiazdy ciągu głównego?

„...których składnikami są gwiazdy zaawansowane ewolucyjnie są niezmiernie rzadkie,...” - stwierdzenie w tak ogólnikowej formie przesadne, także np. układy kataklizmiczne są układami ewolucyjnie zaawansowanymi

2.

„... w stanie degeneracji osiągnie temperaturę odpowiednią do ...” czyli jaką?

3.1

„Wzajemny obieg” nie w każdym przypadku będzie powodował zmienność.

Czym różnią się gwiazdy niestacjonarne od aktywnych chromosferycznie?

Układy kontaktowe to znacznie szersza klasa niż tylko „pokrywanie się rozmiaru z powierzchnią Roche'a” - taka definicja implikuje wyłącznie jeden punkt wspólny. A co ze wspólną otoczką?

„krytyczna powierzchnia Roche'a” → powierzchnia Roche'a

3.3

„W przypadku gdy dysponujemy wystarczającym materiałem obserwacyjnym możliwe jest uzyskanie zarówno krzywej zmian blasku, jak i krzywej prędkości radialnych.” → skoro dysponujemy, nie ma co uzyskiwać

znak w funkcji mass (wzór 19)

4.1.1

„... I filter w paśmie I,”

4.4.1

„Powierzchnia ta opisana jest za pomocą czterech promieni...” → nie da się opisać jej tylko czterema promieniami

4.4.2.1

„Możemy zauważyć spadek jasności powierzchniowej skierowany od środka tarczy gwiazdy w kierunku jej brzegów, który zależy od długości fali, na której przeprowadzane są obserwacje.” → także zależy od τ_{eff}

„...to promieniowanie, które zostało wyemitowane wzdłuż normalnej do powierzchni atmosfery ma do pokonania mniejszą grubość optyczną, niż, promieniowanie, które zostało wyemitowane pod pewnym kątem.” → tak skonstruowane zdanie niewiele tłumaczy przyczynę obserwowanego pociemnienia brzegowego.

„W moich rozważaniach przyjął $\beta = 0.32$, co jest wartością odpowiednią dla badanych przeze mnie gwiazd (Lucy 1967).” → dlaczego „odpowiednią”

4.4.3

„W trakcie badania obiektów przedstawianych w niniejszej rozprawie starałam się dopasowywać jak największą ilość parametrów:” → jednocześnie, czy w podzbiorach? Próba dopasowania wielu parametrów jednocześnie z użyciem metody poprawek różniczkowych może w rezultacie dać rozwiązanie lokalne.

4.5

Użycie innego modelu (JKTEBOB) do oszacowania niepewności niż używanego do modelowania da niespójne wyniki. Dlaczego np. nie wyodrębniono procedury MC z tego kodu i wykorzystano samego tylko programu LC do oszacowania błędów dopasowywanych parametrów?

4.9+

Autorka używa takich samych oznaczeń L_1 , L_2 na różne wielkości. Może to być mylące.

5.

Modelowanie zostało przeprowadzone w 2 filtrach tylko dla 2 układów, pozostałe 3 modelowano praktycznie w jednym filtrze, bo ilość pomiarów w podczerwieni jest bardzo mała. Przy takim podejściu wyznaczanie temperatury z modelowania jest mocno problematyczne.

W modelowaniu przyjęto logarytmiczny rozkład pociemnienia brzegowego argumentując, że dla takiego otrzymano najlepsze dopasowanie. Dla wszystkich układów? Sądzę, że to przypadek, bo nawet próby wyznaczania z danych Keplera nie dają jednoznacznej odpowiedzi, który z rozkładów daje najlepsze dopasowanie (i powinien być stosowany).

Podane w tabelach z wynikami z modelowania błędy są niewiarygodnie niskie (np. te dla temperatur). Jak zostały oszacowane? MC czy wzięte z W-D?

5.2.2+

Po co robione były modele wstępne za założonymi temperaturami pierwszego składnika, zamiast od razu z temperaturą wyznaczoną ze spektroskopii?

5.2.4

Rys. 17: Czy układ ten ma rzeczywiście płaskie dno w minimum głównym?

5.2.5

Dlaczego błąd systematyczny jest mniejszy od statystycznego dla układu ASAS-180057?

5.4.3 + 5.5.3

Co było powodem ustalenia rozmiaru jednego ze składników tych układów?

Tabela 31: ASAS-180047?

Błędy wyznaczeń parametrów fizycznych oraz odległości wydają się być zbyt optymistyczne. Jak je wyznaczono? Czy uwzględnione zostały wszystkie składowe?

6

Pisanie o zgodności wyników przy tak ogromnych błędach wyznaczeń do ponad 50% (zwłaszcza BLG-305487) nie wnosi.

Te negatywne uwagi tylko w niedużym stopniu pomniejszają wartość pracy, przy czym nie wartość naukową zaprezentowanych w niej wyników.

Konkluzja końcowa:

Przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska moim zdaniem spełnia wszystkie wymagania zwyczajowe i wymagania określone w art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003r z późniejszymi zmianami „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” i wnoszę o dopuszczenie mgr Kseni Suchomskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego, w tym do publicznej obrony.



