



# Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Warszawskiego

Al. Ujazdowskie 4,  
00-478 Warszawa  
tel. +48 22-5530507

Prof. dr hab. Łukasz Wyrzykowski  
Obserwatorium Astronomiczne  
Uniwersytetu Warszawskiego  
Al. Ujazdowskie 4  
00-478 Warszawa  
email: lw@astrouw.edu.pl

Warszawa, 15. lutego 2023r.

Recenzja pracy doktorskiej  
**mgra Piotra Kołaczka-Szymańskiego**  
**Instytut Astronomiczny, Uniwersytet Wrocławski**  
pt.:  
***Ekscentryczne zmienne eliipsoidalne oraz ich oscylacje wzbudzone pływowo.***

Tematyka rozprawy doktorskiej dotyczy nowatorskiej metody badań nad układami podwójnymi oraz ich ewolucji za pomocą układów z ekscentrycznością oraz efektami pływowymi. Podjęty temat naukowy jest istotny ze względu na konieczność zweryfikowania ciągle niekompletnego obrazu ewolucji gwiazd w układach podwójnych, jak również ze względu na dostępność nowych danych obserwacyjnych o niespotykanej do tej pory dokładności. Przedstawione w pracy wyniki będą również miały znaczący wpływ na aktywnie rozwijające się obecnie badania nad źródłami fal grawitacyjnych jak również w innych gałęziach astrofizyki.

Na trzon pracy doktorskiej składa się pięć opublikowanych lub zaakceptowanych do druku publikacji, w których wiodącą lub znaczącą rolę odegrał Doktorant. Oprócz tego, w pracy znajdują się napisane po polsku krótkie wprowadzenie w temat rozprawy, spis treści, opis jej struktury oraz podsumowanie wraz z literaturą. Rozprawa zawarta jest w sumie na 169 stronicach. Praca spełnia wszystkie formalne wymogi oczekiwane od prac doktorskich.

Praca I przedstawia opis poszukiwań i analizy nowych przykładów na układy podwójne wykazujące zmienność typu *heartbeat*. Zostały użyte do tego celu unikatowe dane z teleskopu kosmicznego TESS, charakteryzujące się niespotykaną nigdzie indziej gęstością obserwacji i precyzją, oraz naziemne obserwacje spektroskopowe. Autorzy wyodrębnili 20 systemów o masach większych niż 2 masy Słońca, w tym jeden o masie około 150 mas Słońca, najcięższy znany do tej pory obiekt tego typu. W znalezionych obiektach poszukiwane i modelowane były efekty oscylacji pływowych (TEO). Przedstawiona próbka nowych obiektów powiększyła możliwości badawcze układów podwójnych ze zmiennością ekscentryczną i pływową. Praca została opublikowana w 2021 roku i obecnie (luty 2023) posiada już 19 cytowań, co pokazuje duże zainteresowanie społeczności naukowej otrzymanymi wynikami.

Praca II jest kontynuacją poszukiwań nowych przykładów na układy *heartbeat*, tym razem w danych naziemnego projektu OGLE. Blisko 1000 takich obiektów zostało znalezionych w obszarach nieba związanych z Obłokami Magellana oraz Centrum Galaktyki, gdzie dane OGLE posiadały większość swoich pomiarów, często obejmujących kilka dekad (np. górny panel Fig.9). Publikacja zawiera przede wszystkim katalog obiektów *heartbeat* wraz z ich wstępną analizą.

Szczegółowa analiza i modele danych fotometrycznych blisko 1000 obiektów typu *heartbeat* znalezionych w danych OGLE została przedstawiona w pracy III. Podobnie jak w przypadku pracy II, pierwszym autorem tej publikacji jest Marcin Wrona z Uniwersytetu Warszawskiego, członek zespołu OGLE. Wkład Doktoranta do publikacji został wskazany przez głównego autora jako przeprowadzenie analizy danych w sekcjach 4 i 5 publikacji oraz wkład do tworzenia rysunków. Fragment ten dotyczy przede wszystkim symulacji krzywych zmian blasku za pomocą pakietu PHOEBE2, dzięki czemu stało się możliwe ocenienie dokładności wyznaczania parametrów orbitalnych układów za pomocą danych OGLE. Chciałbym

zwrócić uwagę na drobną usterkę edytorską, że sekcja 4 publikacji posiada tylko jeden podrozdział numerowany 4.1, bez kontynuacji w kolejnych podrozdziałach. W sekcji 5 z kolei, poszukiwane były efekty TEO w danych OGLE. Wykrytych zostało 78 systemów z tym efektem. W sekcji 6 dyskutowane są położenia znalezionych obiektów na diagramach kolor-jasność (CMD). Zastanawia mnie na ile problemem mógł być tu blending, czyli wkład dodatkowego światła, mogącego pochodzić zarówno z niezwiązanego obiektu w linii widzenia, których nie ma w gęstych polach w okolicy Centrum Galaktyki czy Obłoków Magellana, jak i od ciemniejszego składnika samego układu. Jaki to może mieć wpływ na wyznaczoną masę układu?

Praca IV dotyczy analizy szczególnego układu ekscentrycznego, MACHO 80.7443.1718, który wykazuje zmienność typu *heartbeat* oraz oscylacje TEO. Przedstawiona analiza częściowo pokrywa się z pierwszą pracą na temat tego obiektu napisaną przez odkrywców układu (Jayasinghe i in. 2021). Wyjątkowością nowej analizy jest użycie zarówno niezwykle dokładnych i gęstych obserwacji z misji TESS, jak i danych naziemnych z przeglądów MACHO, OGLE-III, OGLE-IV i ASAS-SN. Dzięki prawie 30-letniej krzywej zmian blasku Autorom udało się nie tylko wykryć znane wcześniej mody oscylacji, ale też odkryć nowe. Wykryto również zmiany zarówno w amplitudzie zmienności jak i okresie, co jest wyzwaniem dla teorii zachowań takich układów.

W pracy V podjęte zostały teoretyczne rozważania nad naturą i występowaniem efektu TEO w masywnych układach podwójnych. Praca ta jest doskonałym dopełnieniem poprzednich prac zebranych w rozprawie doktorskiej, których przedmiotem były przede wszystkim dane obserwacyjne i ich modelowanie. Tu Autorzy zastosowali szeroko znany i stosowany kod MESA do syntezy układów EEV z masywnymi składnikami ciągu głównego. W zasymulowanych 20 000 układach zbadali warunki w jakich pojawiają się efekty TEO i wygenerowali krzywe rezonansowe, które posłużyły za detektory TEO. Zauważono, że wygenerowane krzywe rezonansowe mają bardzo szerokie spektrum morfologii, jak również zmieniają kształt w czasie. Zidentyfikowane zostały w szczególności grupy rezonansów, które mogą być źródłem TEOs o dużej amplitudzie. Zaobserwowano również, że częstości pływowe często pozostają w rezonansie z normalnymi pulsacjami gwiazd ciągu głównego. Jeden z ważnych wniosków wyciągnięty z przeprowadzonych badań jest stwierdzenie, że TEO powinny być częściej obserwowane w układach masywniejszych typu *heartbeat*. Kolejnym wnioskiem jest zauważenie, że TEO powinny częściej występować w układach z jednym ze składników na granicy ciągu głównego (TAMS). Wnioski te potwierdza istnienie zbadanego w pracy IV układu MACHO 80.7443.1718, jednakże Autorzy sugerują przeprowadzenie badań na szerszą skalę większej próbki układów *heartbeat* w celu potwierdzenia tych obserwacji.

Rozprawa doktorska zakończona jest ogólnym podsumowaniem, w którym Autor zawarł liczne pomysły na temat dalszych możliwych kierunków badań. Wiele z nich zostało już podjętych przez samego Autora, który pracuje już nad kolejnymi publikacjami. Jest to obrazem ważności naukowej przedstawionych w pracy doktorskiej badań jak również wybitności Autora.

Podsumowując, praca doktorska pana mgra Piotra Kołaczka-Szymańskiego porusza tematykę bardzo aktualną i ważną dla wielu dziedzin astrofizyki, jaką jest badanie układów podwójnych i interakcji pływowych. Przedstawione w pracy badania naukowe przeprowadzone są na najwyższym poziomie i zawierają istotne i nowatorskie wyniki, które zostały już opublikowane we wiodących czasopismach naukowych i są już cytowane w środowisku. Uważam, że praca mgra Piotra Kołaczka-Szymańskiego spełnia zatem wszystkie formalne i zwyczajowe normy pracy doktorskiej, dlatego wnoszę o jej dopuszczenie do publicznej obrony. Dodatkowo, uważam, że praca ta jest doskonałym przykładem na dojrzałą, ciekawą naukowo oraz świetnie zaprezentowaną rozprawę, w związku z czym wnoszę również o jej wyróżnienie.



prof. dr hab. Łukasz Wyrzykowski