

Toruń, 1 lutego 2023 r.

dr hab. Gracjan Maciejewski, prof. UMK
Instytut Astronomii
Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej
Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu
ul. Grudziądzka 5, 87-100 Toruń
email: gmac@umk.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgra Piotra Kołaczka-Szymańskiego
„Ekscentryczne zmienne elipsoidalne oraz ich oscylacje wzbudzone pływowo”

1. Podstawowe informacje o ocenianej rozprawie doktorskiej

Przedmiotem rozprawy doktorskiej mgra Piotra Kołaczka-Szymańskiego są badania niezwykle interesującej grupy gwiazd podwójnych, w krzywych blasku których uwidaczniają się charakterystyczne efekty bliskości obu składników wynikające z ich nierzadko silnie niekołowych orbit. Gwiazdy te tworzą podtyp gwiazd zmiennych elipsoidalnych – tzw. ekscentryczne zmienne elipsoidalne (ang. *eccentric ellipsoidal variables*, zwane dalej EEV). Zmienny potencjał pływowy, będący następstwem zmian odległości orbitalnej dzielącej oba składnikami wskutek ich ruchu po niekołowych orbitach, wpływa na kształt ich brył i tym samym na zmienną gęstość strumienia w funkcji fazy orbitalnej. Rejestrowany sygnał fotometryczny nieco przypomina elektrokardiogram, przez co gwiazdy te nazwane zostały „bijącymi w rytmie serca” (ang. *heartbeat stars*, zwane dalej HBS). Jednak zakres zmian blasku jest względnie niewielki (poniżej 0.1 mag, zwykle kilka części na tysiąc) i przed nastaniem ery Teleskopu Kosmicznego Keplera znanych było niewiele gwiazd zmiennych tego typu.

Dla pewnej części gwiazd HBS rejestruje się także zmienność o charakterze oscylacji wymuszonych, które są wzbudzone rezonansowo przez oddziaływanie pływowe (ang. *tidally excited oscillations*, zwane dalej TEO). Oscylacje te pojawiają się, gdy któraś z harmonicznymi częstotliwości orbitalnej trafia precyzyjnie w częstotliwość modu własnego gwiazdy. Oczekuje się, że bazująca na nich asteroseismologia pływowa stanie się ważnym narzędziem do sondowania struktury wewnętrznej gwiazd. Możliwe też będzie śledzenie ich wpływu na parametry orbitalne układów.

Trzon pracy doktorskiej mgra Kołaczka-Szymańskiego stanowi cykl pięciu oryginalnych, angielskojęzycznych, recenzowanych artykułów naukowych opublikowanych w renomowanych czasopismach astronomicznych¹ o zasięgu międzynarodowym. W przypadku trzech z nich doktorant jest pierwszym autorem, co pozwala wnioskować o jego dominującym wkładzie w ich powstanie. Jak wynika z oświadczeń współautorów, dwie pozostałe prace powstały przy znaczącym udziale mgra Kołaczka-Szymańskiego. Wszystkie prace są związane tematycznie z gwiazdami EEV i są owocem sekwencji prac badawczych podjętych w ramach studiów doktoranckich mgra Kołaczka-Szymańskiego. Tak przygotowany zestaw publikacji składających się na ocenianą rozprawę doktorską nie budzi zastrzeżeń od strony formalnej.

Złożona praca doktorska liczy ponad 160 stron i została podzielona na cztery części. W pierwszej z nich przedstawiono strukturę pracy oraz pokrótce omówiono kontekst naukowy i problematykę

¹ Ostatni artykuł z cyklu składającego się na recenzowaną rozprawę doktorską ma w dniu pisania recenzji status artykułu przyjętego do druku.

podjętych badań. W część drugiej zebrano pięć artykułów stanowiących meritum rozprawy. Podsumowanie, propozycje dalszych badań, a także spis wykorzystanej bibliografii zawarto w części trzeciej. Ostatnia część zawiera oświadczenia o współautorstwie. Przyjęty układ pracy uznać należy za w pełni poprawny, choć część czwarta raczej mogłaby zostać przedstawiona w formie dodatku.

Część pierwsza rozprawy ma charakter wstępu wprowadzającego czytelnika do poruszanej tematyki. Jest napisana w sposób bardzo zwięzły, być może zbyt ogólnikowy. Co prawda, wprowadzenia zawarte w oryginalnych publikacjach są bardzo szczegółowe (podobnie jak dyskusje wyników), wręcz przeglądowe i w sposób kompletny prezentują aktualny stan wiedzy na polu gwiazd HBS, to jednak pewne rozbudowanie wstępu rozprawy (i jej podsumowania) z pewnością ułatwiłyby czytelnikowi zapoznanie się z tematyką rozprawy. W opisie rysunku 2 (str. 18) wprowadzony jest skrót *ppt* oznaczający część na tysiąc (ang. *parts per thousand*). Może on jednak być mylony z *parts per trillion* (części na bilion), dlatego zalecane jest używanie skrótu *ppth*.

W rozdziale trzecim zatytułowanym *Problematyka podjęta w cyklu prac* opisy poszczególnych publikacji cyklu są bardzo ogólnikowe, a mogłyby osiągnąć poziom uszczegółowienia dorównujący streszczeniom zawartym w oryginalnych publikacjach. Byłaby to okazja do zaakcentowania wkładu doktoranta, tj. zakresu wykonanej pracy badawczej, w poszczególne artykuły. Informacje te można jednak pozyskać pośrednio na podstawie oświadczeń zebranych w części czwartej rozprawy.

W części drugiej niedogodnością natury redakcyjnej jest brak numeracji stron w ramach samej rozprawy. Może to utrudniać szybkie dotarcie do wybranego jej fragmentu.

Na część trzecią składają się dwa krótkie rozdziały, w których zawarto wnioski z wykonanych badań oraz nakreślono pomysły i plany dalszej pracy badawczej. Na stronie 136 czytamy, że pierwsza praca dotyczyła głównie sektorów TESS położonych na północnej półkuli ekliptycznej. Tymczasem była to półkula południowa, a przygotowywana kolejna praca będzie zapewne dotyczyć sektorów nie południowych lecz północnych.

Na szczególnie wysoką ocenę zasługuje staranne przygotowanie rozprawy od strony redakcyjnej i spisanie jej piękną polszczyzną.

2. Charakterystyka zestawu publikacji składających się na ocenianą rozprawę doktorską

Celem pracy było lepsze poznanie zjawisk zachodzących w układach gwiazd zmiennych typu HBS. Początkowo znana próbka liczyła nieco ponad 100 gwiazd tego typu, z których przytłaczająca część została odkryta względnie niedawno w oparciu o obserwacje wykonane Teleskopem Kosmicznym Keplera. Wraz ze współpracownikami, mgr Kołaczek-Szymański nie tylko poszerzył tę próbkę ponad dziesięciokrotnie, ale także przeprowadził podstawowe modelowanie krzywych blasku dla blisko tysiąca układów, odkrył kilkadziesiąt przejawiających TEO, wykonał dogłębną analizę układu o skrajnie wysokim zakresie zmian obserwowanej jasności. Co więcej, w oparciu o modelowanie teoretyczne podjął badania, których celem było nakreślenie okoliczności zaistnienia TEO w masywnych układach EEV w czasie ich ewolucji na ciągu głównym.

Cykl artykułów składających się na ocenianą rozprawę doktorską otwiera pozycja pierwszoautorska pt. *Massive heartbeat stars from TESS. I. TESS sectors 1–16* (2021, A&A 647, A12). W oparciu o katalog gwiazd spektroskopowo podwójnych SB9 wyselekcjonowano próbkę ponad 300 układów o wysokich mimośrodkach orbitalnych, a następnie dla 109 pozyskano ciągi obserwacji fotometrycznych z teleskopu kosmicznego TESS, które przeszukano pod kątem występowania sygnatur HBS i TEO. Zaowocowało to odkryciem 20 HBS, w tym 7 z oscylacjami wzbudzonymi pływowo o częstotliwościach będącymi krotnościami częstotliwości orbitalnych w zakresie od 3 do 36. Sześć układów okazało się stanowić gwiazdy zaćmieniowe, w przypadku 9 stwierdzono zmienność fotometryczną

wynikającą z niestabilności pulsacyjnej. Pokazano także, że uproszczony model Kumara i in. z 1995 roku nie opisuje zjawiska w stopniu zadowalającym (w szczególności dla gwiazd gorących) z powodu nieuwzględnienia efektów odbicia. Wyniki pracy poszerzyły próbkę znanych HBS o ok. 10%, głównie o gwiazdy o średnich i dużych masach. Z załączonych oświadczeń o współautorstwie można wywnioskować, że wkład doktoranta był dominujący i polegał na opracowaniu koncepcji badań, selekcjonowaniu próbki, pozyskaniu danych fotometrycznych, ich analizie i zredagowaniu wyników.

Druga publikacja zatytułowana *The OGLE Collection of Variable Stars: One Thousand Heartbeat Stars in the Galactic Bulge and Magellanic Clouds* (2022, ApJS 259, 16) liczy 16 autorów, przy czym mgr Kołaczek-Szymański jest wymieniony na trzecim miejscu. Bazując na załączonych oświadczeniach o współautorstwie, można ocenić wkład doktoranta jako znaczący, gdyż wg oświadczenia pierwszego autora, mgra Marcina Wrony, mgr Kołaczek-Szymański uczestniczył w pracach koncepcyjnych nad przygotowaniem katalogu, dokonał inspekcji krzywych zmian blasku gwiazd typu HBS w celu potwierdzenia ich klasy zmienności, przygotował model dla jednego z obiektów, a także współredagował manuskrypt. Praca jest niewątpliwie przełomowa, gdyż poszerza katalog HDSów o blisko 1000 nowych obiektów z galaktycznego zgrubienia centralnego oraz Wielkiego i Małego Obłoku Magellana, wykrytych w oparciu o dane fotometryczne z projektu OGLE. Jej naturalną kontynuacją jest praca trzecia pt. *Photometric Analysis of the OGLE Heartbeat Stars* (2022, ApJ 928, 135), której doktorant jest drugim autorem. Także i w tym przypadku wkład mgra Kołaczka-Szymańskiego można uznać za znaczący, gdyż wg oświadczenia pierwszego autora, mgra Marcina Wrony, doktorant przeprowadził analizę wpływu efektu odbicia na kształt krzywych blasku i poszukiwał gwiazd z oscylacjami wzbudzonymi pływowo, co następnie opisał w rozdziałach 4 i 5. Był także współautorem wprowadzenia (rozd. 1) i wniosków (rozd. 7) oraz uczestniczył w pracach redakcyjnych. Znaczna część nowo odkrytych gwiazd HBS, bo ok. 900, to układy z chłodnymi składnikami z gałęzi olbrzymów. Porównując rezultaty modelowania syntetycznych krzywych blasku wygenerowanych programem PHOEBE 2, mgr Kołaczek-Szymański wykazał, że w przypadku tego typu obiektów wyniki uzyskiwane modelem Kumara i in. można uznać za zgodne z parametrami wejściowymi. Natomiast w przypadku gwiazd gorętszych (stanowiących zaledwie 10% analizowanej próbki) mogą pojawiać się istotne rozbieżności. Zmienność fotometryczna charakterystyczna dla TEO została stwierdzona w ok. 5% obiektów. Pozwoliło to na skonstruowanie diagramu przedstawiającego zależność pomiędzy numerem harmoniki częstotliwości orbitalnej TEO a wartością mimośrod orbitalnego.

Czwarty artykuł zatytułowany *Tidally excited oscillations in MACHO 80.7443.1718: Changing amplitudes and frequencies, high-frequency tidally excited mode, and a decrease in the orbital period* (2022, A&A 659, A47) przedstawia pogłębione badania układu MACHO 80.7443.1718 o wyjątkowo dużym zakresie zmian jasności (ok. 0.4 mag) wywołanych efektem bliskości. Analizę oparto o dane archiwalne z projektów MACHO, OGLE i ASAS-SN, a także o obserwacje z teleskopu TESS. Staranna analiza materiału obserwacyjnego, ze względu na silną kontaminację fotometryczną zredukowanego za pomocą metody odejmowania obrazów, doprowadziła do odkrycia TEO o kolejnych wielokrotnościach częstotliwości orbitalnej, w tym o niespodziewanie wysokiej wartości wynoszącej aż 230. Odkryto zmienność zakresu zmian jasności TEO i ich częstotliwości w skalach czasowych rzędu miesięcy i lat, a także stwierdzono skracanie się okresu orbitalnego w tempie 11 s rocznie. Dyskusji poddano możliwe mechanizmy fizyczne odpowiedzialne za odkryte zjawiska, w tym zacieśnianie orbity wskutek dyssypacji energii pływów. Z treści załączonych oświadczeń o współautorstwie wynika, że wkład mgra Kołaczka-Szymańskiego był kluczowy dla powstania publikacji i polegał na opraco-

waniu koncepcji badań, przeprowadzeniu większości prac związanych z redukcją materiału obserwacyjnego i jego analizą, a także dyskusji wyników i przygotowaniu ich do druku.

Pierwsze trzy artykuły wchodzące w skład rozprawy znacząco powiększyły próbkę znanych gwiazd HBS, co pozwoliło przeprowadzić pierwsze rzetelne analizy statystyczne ich własności. Jednym z ważniejszych pytań jest, jak często zjawisko TEO występuje w układach EEV. Z uwagi na wymuszony charakter tego typu oscylacji, mogą one wpływać na ewolucję orbitalną i gwiazdową tego typu układów podwójnych. Zagadnienie to zostało przebadane dla układów z masywnymi składnikami na ciągu głównym w ramach piątej pracy pt. *Theoretical investigation of the occurrence of tidally excited oscillations in massive eccentric binary systems* (2023, A&A, przyjęta do druku). Cel ten został osiągnięty poprzez analizę 20 tysięcy modeli układów EEV wygenerowanych kodem MESA, który powszechnie wykorzystywany jest w badaniach budowy i ewolucji gwiazdowej, przy jednoczesnym wykorzystaniu kodu do modelowania pulsacji gwiazdowych GYRE. Wyniki wskazują m.in., że osiągnięcie fazy TEO odbywa się wielokrotnie w czasie ewolucji układu i szczególnie często tuż przed odejściem gwiazd z ciągu głównego, a charakterystyka oscylacji zależy od parametrów orbitalnych i mas składników. W świetle tych wyników przedyskutowano wcześniej przebadany układ MACHO 80.7443.1718, który z zaobserwowanymi zmianami charakterystyki TEO wpisuje się w konkluzje badań teoretycznych. Niewątpliwie dalsze badania tego układu mogą posłużyć do weryfikacji modeli ewolucji gwiazdowej. Zgodnie z załączonym oświadczeniem o współautorstwie mgra inż. Tomasza Różańskiego, znaczna część pracy badawczej została wykonana samodzielnie przez mgra Kołaczkę-Szymańskiego.

3. Ocena wkładu kandydata w powstanie publikacji składających się na ocenianą rozprawę doktorską

Trzy publikacje, których mgr Kołaczek-Szymański jest pierwszym autorem, cechują się rozbudowanymi wprowadzeniami, szczegółowymi omówieniami wyników i płynących z nich wniosków. Bogaty wybór źródeł literaturowych i ich wykorzystanie nie budzą zastrzeżeń. Wymienione powyżej składowe rozprawy dowodzą dobitnie, że doktorant posiadał ogólną wiedzę teoretyczną niezbędną do realizacji zaplanowanych zadań badawczych. Dobór i wykorzystanie, często zaawansowanych, metod badawczych świadczą, że kandydat opanował w stopniu bardzo dobrym umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej i zarządzania grupą badawczą. Warto podkreślić, że publikacje zostały przygotowane z wielką starannością także od strony redakcyjnej, kultywując tym samym najlepsze tradycje szkoły wrocławskiej.

Kontrybucje do dwóch pozostałych prac, których mgr Kołaczek-Szymański jest współautorem, tylko dopełniają powyższe oceny. Dowodzą jego pracowitości (inspekcja setek krzywych blasku) i rzetelności (jak czytamy w oświadczeniu pierwszego autora, mgra Marcina Wrony – „bardzo wnikliwa redakcja i korekta [...] publikacji”).

4. Podsumowanie

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgra Kołaczkę-Szymańskiego niewątpliwie stanowi oryginalne rozwiązanie dobrze zdefiniowanego problemu naukowego. Dzięki znacznemu zwiększeniu liczebności skatalogowanych gwiazd EEV, w czym znaczący udział miał doktorant, możliwa stała się analiza statystyczna ich własności w kontekście występowania oscylacji wzbudzanych pływowo. Oryginalne wyniki uzyskane dla jednego z układów o skrajnie wysokim zakresie zmian jasności pozwalają zaryzykować stwierdzenie, że kolejne ciekawe obiekty mają szansę zostać opisane już w niedalekiej przyszłości. Zawartość merytoryczna rozprawy dowodzi, że doktorant opano-

wał przedmiotową wiedzę na poziomie eksperckim. Stwierdzam zatem, że kryteria określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r., poz. 1668 z późn. zm.) są spełnione z nadwyżką. Co więcej, doktorant wykazał się ponadprzeciętną umiejętnością samodzielnej identyfikacji i rozwiązywania problemów badawczych. Wniosuję zatem o dopuszczenie mgra Piotra Kołaczka-Szymańskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego i wyrażam przekonanie, że rozprawa zasługuje na wyróżnienie.

dr hab. Gracjan Maciejewski, prof. UMK

A handwritten signature in blue ink, reading "G. Maciejewski". The signature is written in a cursive style with a large initial "G" and a long, sweeping underline.