

**Ocena rozprawy doktorskiej mgr. Piotra Antoniego Kołaczka-Szymańskiego  
pt. „Ekscentryczne zmienne elipsoidalne oraz ich oscylacje wzbudzone pływowo”**

Piotr Antoni Kołaczek-Szymański przedstawił dla obrony doktorskiej wyjątkowo starannie i na najwyższym naukowym poziomie przygotowaną pracę, dotyczącą pewnej grupy gwiazd podwójnych, przy czym jeden ze składników systemu podwójnego (albo nawet obydwa) pulsuje, i pulsacje te są wzbudzone pływowo. Praca jest skomponowana jako zbiór czterech opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych kilku autorów z wiodącym udziałem doktoranta oraz jeszcze jednego bardzo szczegółowego i skomplikowanego teoretycznego artykułu, dopiero co przyjętego do druku po dość długim recenzowaniu i, jak się domyślam, odpowiednich modyfikacjach.

Przedstawiona praca doktorska jest idealnie skomponowana i idealnie napisana. Zbiór z pięciu włączonych recenzowanych prac poprzedzają krótkie wprowadzające rozdziały o strukturze rozprawy, kontekście naukowym i podjętej problematyce, a w końcu przedstawione są podsumowanie oraz propozycje dalszych badań.

Bardziej szczegółowo, rozprawa przedstawia się następująco: ona składa się ze STRESZCZENIA (po polsku i po angielsku),

DEKLARACJI zarówno o 5 pracach, stanowiących zawartość rozprawy, jak i o 9 innych pracach z udziałem doktoranta (w sumie – 14 prac doktoranta),

rozdziału PODZIĘKOWANIA,

Części I „WSTĘP” z przedstawieniem struktury rozprawy, kontekstu naukowego oraz problematyki podjętej w cyklu prac,

Części II „CYKL PRAC WCHODZĄCYCH W ZAKRES ROZPRAWY” z włączonymi pięcioma recenzowanymi artykułami z udziałem doktoranta (publikacje w A&A, ApJ i ApJ Suppl.),

Części III „PODSUMOWANIE I PROPOZYCJE DALSZYCH BADAŃ” łącznie z precyzyjnie dobraną bibliografią obejmującą 78 publikacji, oraz

Części IV z OŚWIADCZENIAMI WSPÓLAUTORÓW pięciu przedstawionych w rozprawie prac. Uporządkowanie współautorów w tych publikacjach (w trzech doktorant jest pierwszym autorem, w jednej – drugim autorem z czterech, i jeszcze w jednej – trzecim autorem z szesnastu) oraz oświadczenia współautorów nie zostawiają wątpliwości w decydującym wkładzie Piotra Kołaczka-Szymańskiego w omawianych badaniach, ich wynikach i wnioskach.

Ogólna objętość pracy wynosi 170 stron, z nich 105 stron przypadają na kopie 5 stanowiących zawartość rozprawy artykułów z czasopism A&A, ApJ i ApJ Suppl. Wszystkie te prace są bardzo obszerne (od 13 do 24 stron) i bogato ilustrowane (w sumie – 79 rysunków!), przy czym większość rysunków dotyczy kilku albo nawet mnóstwa obiektów i zjawisk.

Ekscentryczne zmienne elipsoidalne (EEV, eccentric ellipsoidal variables) i wykryte w tych podwójnych układach pulsacje, wymuszone i podtrzymywane regularnymi pływami (TEO, tidally excited oscillations) – to stosunkowo nowy (w przybliżeniu, od dekady) temat w astrosejsmologii. Formalnie, widmo możliwych własnych oscylacji gwiazdy jest nieskończone i częstotliwość jednego z modów własnych może odpowiadać pływowej częstotliwości (częstotliwości ruchu orbitalnego) albo jej harmonice w układzie podwójnym. Te wzbudzone pływowo drgania mogą wymieniać energię z ruchem orbitalnym i tym samym mieć wpływ na ewolucje orbity układu. Przedstawionymi obszernymi pracami doktorant zagwarantował skok w rozwoju tematu. Skok zarówno ze strony obserwacyjnej jak i teoretycznej.

Pierwsze trzy prace cyklu poświęcone są szczegółowej analizie danych obserwacyjnych, przy czym autor koncentruje się na gwiazdach o średnich i dużych masach (większych od około 2 mas Słońca) na ciągu głównym albo bardziej odewoluowanych. Wśród tych obiektów podwójność występuje częściej niż wśród gwiazd-karłów i powoduje rozmaite zjawiska fizyczne, o których pisze autor, uzasadniając swój wybór. Młode układy podwójne często są ekscentrycznymi, a z powodu efektu bliskości składniki mogą być elipsoidalnymi, i właśnie wtedy układ podwójny obserwujemy jako ekscentryczną zmienną elipsoidalną EEV, przy czym zmienność fotometryczna jest największa przy przejściu przez periastron. Wtedy krzywa blasku przypomina fragment kardiogramu, dlatego zmienne ekscentryczne elipsoidalne EEV nazywają również „gwiazdami bijącymi w rytmie serca” (heartbeat stars).

W pierwszej pracy wykorzystano dane fotometryczne z misji kosmicznej TESS, a potencjalnych kandydatów na EEV (około 300 obiektów) wybrano za pośrednictwem katalogu spektroskopowych systemów podwójnych SB9 (ponad 3000 obiektów) jako ekscentrycznych układów z masami głównego komponenta ponad 2 masy Słońca. 109 z nich mieli dane obserwacyjne z TESS. I w tej grupie znaleziono 20 gwiazd EEV, z nich w 7 wykryto pulsacje wzbudzone pływowo (TEO). W poprzednich analizach danych z satelity Kepler innymi badaczami byli wykryte 23 gwiazdy elipsoidalne (publikacja D.G.Koch i innych z 2010 roku z odsyłaczem do J. Blomme i innych z 2010 roku). W dwóch następnych pracach doktoranta przeanalizowano dane fotometryczne OGLE z trzech faz tego projektu (od II do IV). Zaletą projektu OGLE jest długa baza czasowa (około 30 lat), więc okazało się możliwym poszukiwanie ekscentrycznych zmiennych elipsoidalnych z okresami nawet w kilkaset dni wśród układów z czerwonymi olbrzymami. Jako wynik, powstał katalog z około tysiąca obiektów - ekscentrycznych zmiennych elipsoidalnych w zgrubieniu centralnym Galaktyki i Małym Obłoku Magellana, i ogólna liczba znanych zmiennych tego typu zwiększyła ponad pięciokrotnie. W drugiej z prac, opartych na obserwacjach OGLE, doktorant wykonał przykładowe modelowanie krzywych blasku kilku wykrytych EEV w celu oszacowania orbitalnych parametrów tych podwójnych układów. A głównym celem było poszukiwanie TEO (oscylacji wzbudzanych pływowo) w znalezionych układach, przede wszystkim w czerwonych olbrzymach – dla nich po raz pierwszy powstaje możliwość przeprowadzenia badań takich oscylacji. W 52 obiektach z 991 wykrytych ekscentrycznych zmiennych elipsoidalnych wykryto oscylacje TEO.

Praca IV poświęcona jest badaniu ekstremalnego układu podwójnego MACHO 80.7443.1718, główny składnik którego - niebieski nadolbrzym typu widmowego B0.5 Iae, a jego towarzysz, obracający się po bardzo ekscentrycznej orbicie – nieco mniej masywna gwiazda typu O ciągu głównego. Zakres zmian jasności w periastronie wynosi około 0.4 mag i jest największym wśród wszystkich EEV. Przeprowadzono analizę krzywych blasku tego obiektu (z obserwacji naziemnych i satelitarnych) w poszukiwaniu TEO oraz zmian parametrów orbitalnych. Potwierdzono istnienie wzbudzanych pływowo oscylacji z częstotliwościami 23-, 25- i 41-krotnymi częstotliwości orbitalnej i znaleziono dwie nowych oscylacji z 24- oraz z 230-krotnością częstotliwości orbitalnej. Ta szybka ostatnia oscylacja (z okresem około 1/7 doby) powinna należeć do drgań akustycznych czy nawet do tak zwanych modów dziwnych - w odróżnieniu od wszystkich pozostałych TEO, które dla gwiazd ciągu głównego są modami grawitacyjnymi ze znacznie dłuższymi okresami.

Praca V poświęcona jest teorii – modelowaniu szans wystąpienia TEO w EEV ze składnikami o dużej i średniej (kilka mas Słońca) masie na ciągu głównym. Badano warunki powstania rezonansów między widmami oscylacji własnych obydwu składników EEV, a pływowymi

częstotliwościami wymuszającymi, oraz zmiany tych warunków w trakcie ewolucji. W oświadczeniu współautora, Tomasza Różańskiego, dokładnie został określony jego osobisty wkład, polegający na wykorzystaniu metody tak zwanego nauczania maszynowego dla automatyzacji analizy ogromnej ilości danych przy nieznanymi zależnościach między nimi (to podejście, tzn. nauczanie maszynowe, jak się domyślam, należy do obszaru sztucznego intelektu). Właśnie dzięki takiemu podejściu autorom udało się wyodrębnić i systematyzować pewne typy możliwych rezonansów.

Dla konstruowania ogromnej ilości (20 000) wybranych ewolucyjnych modeli masywnych ekscentrycznych elipsoidalnych podwójnych układów na ciągu głównym (jednego albo każdego z dwóch komponentów systemu) autorzy użyli kodu MESABinary, a dla obliczeń oscylacji tych modeli wykorzystano kompatybilny z kodem MESA kod GYRE, opracowany przez Richarda Townsenda. To są najbardziej współczesne i uznane programy, używane dziś w badaniach ewolucji i pulsacji gwiazd<sup>1</sup>. Dla wszystkich modeli zostali policzone częstotliwości własnych kwadrupolowych oscylacji, typowych dla pływowo wzbudzanych pulsacji. Te częstotliwości zmieniają się podczas ewolucji gwiazd, zmieniają się i częstotliwości obrotu orbitalnego, i właśnie przy rezonansie powstają albo mogą powstawać realne oscylacje, wzbudzone pływowo. Okazało się, że ilość rezonansów dla konkretnego układu podwójnego na ciągu głównym może sięgać od 100 do 1000, w zależności od ekscentryczności orbity, przy czym dla bardziej masywnych gwiazd tych rezonansów może być więcej, niż dla mniej masywnych. I na ciągu głównym najwięcej rezonansów występuje w pobliżu TAMS, tzn. w końcowym stadium ewolucji masywnej gwiazdy na ciągu głównym – wypalaniu wodoru w centrum.

W końcu rozprawy autor przedstawia propozycje dalszych badań, do których należą, wśród innego, poszukiwania masywnych EEV i ich TEO w niezbadanych sektorach z misji TESS, poszukiwanie EEV i TEO w zmiennych zaćmieniowych typu widmowego O, B, A, szczególnie w obszarach stałej widoczności TESS (są dane fotometryczne w skali roku). Te prace są w toku, przy czym ostatnia jest wykonana czy wykonywana z grupą licealistów! Ekstremalny obiekt z pracy 4 też już został zbadany spektroskopowo teleskopem SALT, co powinno pomóc wyjaśnić jego rekordową amplitudę zmian jasności w periastronie.

Więc co najmniej trzy nowe prace autora z kolegami są w przygotowaniu. Dodam tutaj jeden drobny fakt, który jednoznacznie świadczy o aktywności i entuzjazmie doktoranta: w podziękowaniach na końcu bardzo skomplikowanej teoretycznej pracy 5 (24 strony, 15 wykresów) autorzy, Piotr Antoni Kołaczek-Szymański i Tomasz Różański piszą, że duża część tej pracy była rozwinięta i napisana podczas Sympozjum IAU 361 „Massive Stars Near & Far” w Irlandii w połowie maja 2022 roku.

Powtórzę, że przedstawiona praca doktorska jest idealnie skomponowana i idealnie napisana. Nie mam żadnych zastrzeżeń – nie tylko do cyklu pięciu recenzowanych artykułów w renomowanych pismach astronomicznych, ale również do wstępnych i sumujących rozdziałów rozprawy.

---

<sup>1</sup> W Polsce, zarówno we Wrocławiu jak i w Warszawie, często używane są współczesne wersje kodu ewolucyjnego Bohdana Paczyńskiego z początku lat 1970-tych oraz kompatybilnego z nim kodu Wojciecha Dziembowskiego z późnych lat 1970-tych dla obliczeń oscylacji, te dwa kody mają bardzo umiarkowane wymagania komputerowe, ale obliczenia z nimi są mniej zautomatyzowane i mniej uniwersalne dla uwzględnienia rozmaitych efektów fizycznych. Osobiście, we wszystkich swoich obliczeniach pulsacji gwiazd wciąż używam kodów Paczyńskiego i Dziembowskiego, nieco ich modyfikując dla potrzeb konkretnego badania.

Trafiłem tylko na jedną mikroskopijną pomyłkę: w liście referencji (str. 139-140) nazwisko jednego z autorów podano jako IJspeerta, a ma być IJspeert.

Oprócz tego, w kilku miejscach pracy autor pisze „peryastron”, a prawidłowo ma być (jeśli się nie mylę) „periastron”.

Na zakończenie recenzji chciałbym zwrócić uwagę na bardzo emocjonalny i szczery rozdział „PODZIĘKOWANIA”. W nim autor dziękuje nie tylko promotorowi oraz członkom swojej rodziny za bardzo istotną pomoc i wsparcie, ale również kilku konkretnym nauczycielom z czasów szkolnych. I ciepło wspomina również śp. doktora Zbigniewa Kołaczkowskiego, swojego promotora pracy licencjackiej (tak się złożyło, że pod koniec roku 2004 byłem recenzentem jego pracy doktorskiej, która zrobiła na mnie bardzo duże wrażenie – jak i praca niniejszego doktoranta).

Rozprawa doktorska Piotra Antoniego Kołaczk-Szymańskiego z dużym nadmiarem spełnia wszystkie wymagania ustawowe i zwyczajowe i jak najbardziej zasługuje na wyróżnienie. Co więcej, uważam, że ta praca doktorska mogła by być podstawą dla dobrej habilitacji. Nie mam wątpliwości, że w najbliższych latach Piotr Antoni Kołaczek-Szymański habilituje się bazując na nowych pracach takiegoż najwyższego poziomu naukowego.

Wnoszę o dopuszczenie magistra Piotra Antoniego Kołaczk-Szymańskiego do publicznej obrony przedstawionej pracy.



Prof. dr hab. Aleksiej Pamiatnych,  
Centrum Astronomiczne im. M. Kopernika,  
Warszawa, 28 stycznia 2023 r.