

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

Kraków 10-10-2017

Opinia o pracy doktorskiej „*Poszukiwanie i analiza statystyczna układów podwójnych w Obłokach Magellana*” autorstwa mgr Michała Pawlaka (promotor: prof. dr hab. Igor Soszyński)

Przedstawiona mi do oceny rozprawa zawiera wyniki przeszukiwania danych zbieranych przez projekt OGLE. Pierwsza część wykonanej przez doktoranta pracy polegała na opracowaniu algorytmów numerycznych tak, by z obszernej bazy danych skumulowanych w wyniku wieloletnich obserwacji wyselekcjonować układy podwójne zaćmieniowe zlokalizowane w Obłokach Magellana. Rozprawa oparta jest na cyklu trzech prac opublikowanych w Acta Astronomica (2 prace) oraz MNRAS (kolejność niechronologiczna):

1. „*The OGLE collection of Variable Stars, Eclipsing Binaries in the Magellanic System*”
2. „*Period-Luminosity Relations for Ellipsoidal Binary Stars in the OGLE-III Fields of the Large Magellanic Cloud*”
3. „*Period-Luminosity-colour relation for early-type contact binaries*”

Mgr M. Pawlak jest pierwszym autorem każdej z tych prac i jedynym pracy Numer 3. W dokumentacji przesłanej mi do oceny rozprawy autor załączył także opis wyników w języku polskim, zawierający wstęp i bardzo skrócone przedstawienie układów podwójnych (rozdział 2) oraz historii samego projektu OGLE wraz z pół stronicowym opisem technicznym sprzętu używanego do obserwacji oraz sposobu ich wykonywania. Kolejne rozdziały tego podsumowania zawierają opis technik numerycznych zastosowanych do selekcji i klasyfikacji układów podwójnych w Obłokach Magellana (rozdział 4), przedstawieniu ich statystycznych własności (5 stronicowy rozdział 5) wyselekcjonowanej próbki oraz najważniejszych wyników rozprawy, czyli zbadania zależności okres jasność (P-L) dla układów o charakterystycznej eliptycznej zmienności a także bardzo ciasnych układów o konfiguracji kontaktowej. Oceniając wyniki naukowe doktoranta opieram się w tej opinii na pracach recenzowanych, gdyż podsumowanie w języku polskim jest prawie wiernym tłumaczeniem opublikowanych artykułów.

Praca Nr. 1 (opublikowana w Acta Astronomica, 2016, 66, 421): W tej publikacji zawarty został opis klasyfikacji obiektów zmiennych fotometrycznie na poszczególne typy układów podwójnych. Temu zadaniu autor dysertacji poświęcił rozdział 4, będący streszczeniem pracy

Nr. 1, tytułując go „Poszukiwanie układów podwójnych”. O ile sama selekcja gwiazd zmiennych nie przedstawia większych trudności i po wyeliminowaniu w większości oczywistych obserwacyjnych artefaktów możliwe jest wygenerowanie próbki takich gwiazd z dużą istotnością statystyczną, to już ich klasyfikacja na poszczególne typy staje się wyzwaniem. Wbrew tytułowi, to problemowi klasyfikacji i opisie zastosowanych technik numerycznych prawie w całości poświęcony został rozdział 4 (tak jak i praca Nr. 1). Biorąc pod uwagę ilość danych gromadzonych przez projekt OGLE (zwłaszcza jego faza IV), klasyfikacja manualna ze względu na jej czasochłonność nie wchodzi w grę. Muszą zostać zastosowane zaawansowane algorytmy numeryczne do wydzielenia grup zaćmieniowych układów podwójnych prowadzące do utworzenia próbek w których idealnie byłyby wszystkie układy danego typu oraz zero układów do tego typu nie należących. W rzeczywistości, nawet najlepsze algorytmy pomina pewną liczbę obiektów i wprowadzą do próbki takie, które do tej klasy nie należą. Aby zmaksymalizować pierwszą liczbę i zminimalizować drugą, mgr M. Pawlak zbudował algorytm bazując na publicznie dostępnych programach, a opierający się o metodę „Random Forest” - zamiast pojedynczego drzewa decyzyjnego w tym algorytmie mamy ich wiele). Klasyfikacja odbywa się w oparciu o szereg parametrów, z których okres zmienności wyznaczony został wcześniej, poza tym algorytmem, oraz w dwu krokach. W pierwszym uwzględniane jest 11 parametrów oraz wykryty okres zmienności, natomiast w drugim kolejne 5. W wyniku tej dwukrokowej klasyfikacji gwiazd zmiennych w Obłokach Magellana zidentyfikowane zostało prawie 50 tysięcy układów podwójnych zaćmieniowych różnych typów, w tym takie, w których jednym ze składników układu jest gwiazda zmienna fizycznie. Po wygenerowaniu tej próbki doktorant przedstawia jej podstawowe własności statystyczne: histogramy jasności i okresów orbitalnych a także wykresy HR dla każdego z Obłoków z osobna.

Wyniki naukowe uzyskane z analizy tej próbki przedstawione są w pracach Nr. 2 i 3 (Acta Astronomica, 2014, 64, 293, MNRAS, 2016, 457, 4323), w streszczeniu w języku polskim znalazły się one w rozdziale 6. Autor dysertacji zajął się przebadaniem zależności okres jasność dla dwu grup w sklasyfikowanych przez siebie próbce układów: olbrzymami w układach wykazujących zmienność elipsoidalną oraz układami o konfiguracji kontaktowej. Głównym celem było sprawdzenie, czy wcześniej znalezione zależności pomiędzy tymi dwoma parametrami dla układów w Drodze Mlecznej zostaną potwierdzone czy uściślone na dużej próbce układów oraz odpowiedź na pytanie na ile różnią się dla układów w środowisku ubogim w metale. Wyniki opublikowane w pracy Nr. 2 poświęcone są próbce układów elipsoidalnych, klasyfikowanych na podstawie morfologii krzywych zmian blasku. Doktorant z pierwotnie wydzielonego zbioru prawie 20 tysięcy układów, na podstawie wyglądu ich krzywych zmian blasku zaliczył do finalnego zbioru 5334 układy zaobserwowanych w fazie III projektu OGLE i dla nich wyliczył wskaźnik Wesenheita (W_1) a następnie skonstruował diagramy P- W_1 . Tak liczna próbka układów ukazała bardziej szczegółowo niż wcześniej znano strukturę tzw. rejonu E wykresu. Oprócz obszarów oznaczanych jako E_1 i E_2 , zauważona została kolejna oddzielna podgałąź, którą autor dysertacji oznaczył jako E_3 . Analizując amplitudy zmienności układów należących do tych obszarów na wykresie P- W_1 wysunięta została hipoteza, że przyczyną fizyczną separacji na podgrupy E_2 i E_3 może być towarzysz zniekształconego przez efekty pływowe olbrzyma: olbrzym w tej pierwszej i karzeł w drugiej. Tymczasem, oba te typy są wymieszane w gałęzi E_1 . W wyniku tego, wyliczane są 2 relacje okres-jasność dla każdej z tak zdefiniowanych grup układów. Osobno rozpatrywane są

układy, które z powodu silnych asymetrii ich krzywych zmian blasku interpretowane są jako układy z niekołową orbitą. Dla tego podzbioru składającego się z prawie 300 układów obserwowanych w fazie OGLE III wyliczana jest jeszcze jedna (różna od poprzednich) zależność P-L.

Trzecia praca, na której oparta jest rozprawa doktorska mgr Michała Pawlaka również analizuje zależność okres - jasność (tym razem, wykorzystując dobrze wyznaczoną odległość do Dużego Obłoku Magellana, dla wyznaczonych wartości jasności absolutnych) dla ciasnych układów zaćmieniowych wczesnych typów. Doktorant wyselekcjonował 64 układy i uwzględniając poczerwienienie międzygwiazdowe wyznaczył jasności absolutne wyselekcjonowanych obiektów i w konsekwencji dopasował metodą najmniejszych kwadratów relację P-Mv. Okazało się, że rzeczywiście układają się one w pobliżu płaszczyzny przez tę relację wyznaczonej, ale jest ona bardziej stroma i rozrzut jest znacząco większy od wyznaczonych dla układów galaktycznych, rzeczywiście o konfiguracji kontaktowej i późniejszych typów: zależności P-L opublikowanej przez S. Rucinskiego w 2004r. Analizując przyczyny rozbieżności, dyskutowane są jej przyczyny: od zależności od kolejnych parametrów układów (np. stosunku mas) oraz autor wyznaczył tę relację dla podzbioru, który doktorant uznał (na podstawie wyłącznie kształtu krzywej zmian blasku) za faktycznie kontaktowe oraz pozostałych obiektów. Jak można było się spodziewać otrzymane zostały statystycznie różne zależności, ale potwierdzone zostało również to, że relacja dla układów o wczesnych typach spektralnych z dużym prawdopodobieństwem kontaktowych jest inna niż ta, która spełniają galaktyczne układy kontaktowe późniejszych typów i to zarówno w wyrazie przy okresie jak i kolorze.

Rozprawę doktorską mgr Michała Pawlaka, opartą na trzech recenzowanych pracach, w tym jedną jedno autorską, oceniam jako istotny przyczynek do badań nad zależnościami okres-jasność w poszukiwaniu świec standardowych. Szczególne znaczenie moim zdaniem ma to, że przeanalizowane zostały bardzo duże próbki (dotyczy to w głównej mierze gwiazd olbrzymów badanych w pracy Nr. 2) oraz przeprowadzono te badania na jednorodnym obserwacyjnie materiale. Wysoko oceniam także zastosowane metody numeryczne (algorytmy uczące się) zastosowane do klasyfikacji układów w oparciu o kształt ich krzywych zmian blasku. Jak już napisałem powyżej chciałoby się otrzymać z klasyfikacji grupy w 100% jednorodne ale rezultat osiągnięty przez doktoranta, opisany w pracy No. 1 (81.5%), jest całkowicie zadowalający i pozwala na stwierdzenie dużej wiarygodności wyników uzyskanych w pracach Nr. 2 i 3 gdzie wyznaczane są zależności P-L.

Najważniejsze wyniki tej rozprawy to: (1) numeryczna klasyfikacja (zakończona oglądem wizualnym) i wyselekcjonowanie próbki układów o bardzo ciasnej konfiguracji, (2) zauważenie struktur w sekwencji E w zależności P-L dla olbrzymów i zaproponowanie co może być jej przyczyną oraz (3) pokazanie, że relacja P-L dla układów (prawdopodobnie) kontaktowych wczesnego typu w Dużym Obłoku Magellana jest inna niż ta spełniana przez galaktyczne układy kontaktowe (w większości późnych typów).

Oprócz tych pozytywnych uwag i stwierdzeń mam też kilka wątpliwości i pytań:

Wybór opublikowanych prac, na których oparto pracę doktorską jest niezrozumiały: praca Nr. 1 dotyczy klasyfikacji układów z fazy OGLE IV, podczas gdy własności statystyczne

sklasyfikowanych układów dotyczą fazy OGLE III. Wyjaśnienie takiego doboru zostało pominięte w streszczeniu. Jak ma się klasyfikacja i katalog zaprezentowany w pracy Nr. 1 do wyników zaprezentowanych w pracach Nr. 2 i 3?

Istnienie towarzyszy układów kontaktowych, które wydaje się być dość powszechne wśród układów galaktycznych i potwierdzone przez obserwacje spektroskopowe i fotometryczne z użyciem optyki adaptatywnej (np. prace S. Rucinskiego czy D'Angelo) jest zupełnie niepodnoszone w dyskusji wyników. Dodatkowe światło w układzie spowoduje dwa efekty: większą jasność całkowitą ale także spłaszczenie amplitudy zmienności.

Niejednorodność próbki w przypadku składników układów eliptycznych wdaje się być znacznie większa niż uważa autor dysertacji. Np. amplituda zmian blasku zależy zarówno od stosunku mas składników (dyskutowana w rozprawie) ale także od kąta nachylenia orbity i stopnia wypełnienia powierzchni Roche'a przez olbrzyma (i towarzysza). Co gorsza, ta niejednorodność jest jeszcze większa dla układów kontaktowych, do których zaliczono układy ciasne i bardzo ciasne, ale niekoniecznie o konfiguracji kontaktowej. To czy dany układ na pewno ma geometrię ze wspólną otoczką można dopiero wiarygodnie stwierdzić na podstawie modelowania krzywych zmian blasku i jak słusznie wskazuje doktorant, gdy dostępne jest spektroskopowe wyznaczenie stosunku mas. Z powodu tych ograniczeń wyznaczone w dysertacji relacje P-L moim zdaniem będą miały raczej ograniczone zastosowanie.

Dlaczego nie pokuszono się o weryfikację hipotezy o podziale na E_2 i E_3 ? Czy wykonane były próby modelowania krzywych zmian blasku? Jeśli w tej kolekcji są takie z płaskim dnem, to dla nich otrzymane parametry byłyby wiarygodne. Dotyczy to także układów kontaktowych.

Streszczenie w języku polskim, zwłaszcza w części wprowadzającej (rozdział 2) jest niezwykle skąpe. Szczątkowy opis (wstęp) układów podwójnych – zarys historyczny - zdecydowanie mógłby być znacznie bogatszy. To przecież główny temat przeprowadzonych przez doktoranta badań. To samo dotyczy historii wyznaczeń zależności P-L dla gwiazd fizycznie zmiennych. Tu nie wypada nie wspomnieć pionierskiej pracy *Henrietty Leavitt (1912)*.

W opisie algorytmu użytego do klasyfikacji typów układów brak wzmianki o tym jak oddzielono układy podwójne od gwiazd fizycznie zmiennych.

Samo streszczenie napisane jest w poprawnym języku. Jednak doktorant nie ustrzegł się niezręczności i błędów (pozwolę sobie wymienić tylko kilka):

str. 19 brak referencji: Scarlage 1982,

str. 19 walidacja krzyżowa – termin walidacja wprawdzie jest używany w naukach technicznych, ale moim zdaniem bardziej trafne byłoby użycie słowa weryfikacja

str. 20 użyte zostały dwie wielkość

str. 20 indeks von Newmanna

str. 23 stwierdzenie „... i oba składniki mają jednakową temperaturę powierzchniową.” nie jest ogólnie prawdziwe. W układach kontaktowych ta różnica temperatur zwykle sięga niewielkich

kilkuset K (nawet do ok. 1200K)

str. 30 W obu rysunkach skopiowano ostatnie zdanie w podpisie. Tymczasem przedstawiają one co innego.

Te umiarkowane negatywne uwagi w niewielkim stopniu pomniejszają wartość naukową pracy, której najbardziej wartościowym wkładem jest katalog aż ok. 50 tysięcy układów podwójnych w Obłokach Magellana.

Także wypracowany algorytm klasyfikacyjny może zostać wykorzystany przez innych badaczy. Z tych powodów, uważam jak stwierdza konkluzja poniżej.

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 Michała Pawlaka do publicznej obrony.



