prof. dr hab. Andrzej Pigulski
Instytut Astronomiczny
Uniwersytetu Wrocławskiego
ul. Kopernika 11
51-622 Wrocław

Wrocław, 5 kwietnia 2019

Recenzja rozprawy doktorskiej mgra Rafała Pawłaszka
„Towards automated spectroscopic and photometric survey of eclipsing binaries with the network of robotic telescopes SOLARIS"

Zgodnie z ustawowym wymogiem stawianym pracom doktorskim (art. 13, ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki; dalej w skrócie Ustawy), rozprawa doktorska powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Dlatego we wstępie rozprawy definiuje się zwykle podejmowany problem, stawia tezy i cele badawcze oraz motywację do podjęcia takiej, a nie innej tematyki, a na końcu przedstawia weryfikację założonych tez i dyskusję odnoszącą się do założonych celów. W przedstawionej mi do oceny pracy doktorskiej mgra Pawłaszka cele badawcze nie są zdefiniowane wprost. Można się co najwyżej domyślać z tematu rozprawy oraz jej treści, że były one w dużej mierze zbieżne z niektórymi celami projektu Solaris. A ten, jak czytamy na str. 10 czy też w Rozdz. 2, stawia sobie obecnie za cel uzyskiwanie w sposób automatyczny danych fotometrycznych i spektroskopowych dla około 20 układów podwójnych rocznie. Dalszym celem projektu jest użycie tych danych do wyznaczenia parametrów gwiazdowych (zwłaszcza ich mas i promieni) z możliwie najlepszą precyzją w celu testowania ewolucji gwiazd.

Precyzyjnych wyznaczeń mas i promieni gwiazd jest w chwili obecnej niewiele. Z punktu widzenia przeglądowej pracy Torresa i in. (2010) – jak zauważa mgr Pawłaszek odwołując się do Rys. 5 czyli wykresu masa-promień (M-R) na str. 21 – projekt Solaris umożliwiał nie tylko uczynienie go dedykowanym przeglądem do badań spektroskopowo podwójnych układów rozdzielonych z podwójnymi liniami (SB2 DEB), ale też eksplorację słabo obsadzonych obszarów wykresu M-R. To ostatnie oznaczałoby w szczególności wyjście poza zakres mas 0,4 – 2,5 $M_\odot$ oraz wybór obiektów spoza ciągu głównego, czyli wypełnienie wspomnianych na str. 21 białych plam. W tym kontekście dziwi wybór obiektów do badań w niniejszej pracy. Masy składników sześciu badanych układów mieszczą się w zakresie 1,1 – 1,6 $M_\odot$, a więc znajdują się w najgęściej obsadzonym obszarze wykresu M-R. W pracy nie ma zresztą uzasadnienia dlaczego akurat te obiekty do badań zostały wybrane. Wydaje się to nielogiczne w kontekście przedstawionej w pracy dyskusji oraz faktu, że było z czego wybierać – na str. 62 mowa jest o 418 układach wyselekcjonowanych z ACVS spełniających przyjęte kryteria selekcji (V < 10 mag, P_{orb} > 3 d).

Zanim przejdę do oceny najważniejszych wyników rozprawy, pozwolę sobie na kilka uwag merytorycznych dotyczących układu pracy i zawartości poszczególnych rozdziałów.

Rozdz. 1 (Wstęp). Wstęp przedstawia bardzo krótki opis historii odkrywania układów podwójnych oraz opis projektu Solaris, w tym opis roli mgra Pawłaszka w tym projekcie. Jak wspomniałem wyżej, nie jest tu sformułowana żadna hipoteza badawcza, czego należałoby się w tym miejscu spodziewać. Jeśli ostatecznym rezultatem rozprawy jest uzyskanie parametrów dla sześciu rozdzielonych układów podwójnych (DEB), to należałoby wyjaśnić dokładnie, po co się to robi i dlaczego akurat te układy zostały wybrane.

Rozdz. 2. Tytuł tego rozdziału (*SOLARIS as a data source for enhancing stellar astrophysics*) nie odpowiada jego treści, bo w treści znajdujemy głównie rozważania dotyczące tego, jakie parametry dla układów podwójnych SB2 da się wyznaczyć, do czego potrzebne są obserwacje zaćmień oraz omówienie zawartości katalogów zawierających

DEB-y. O projekcie Solaris traktuje tylko Rozdz. 2.3, choć samemu projektowi poświęcony jest cały Rozdz. 3, więc raczej tam należałoby ten fragment umieścić. Przedstawione na wstępie tego rozdziału rozważania na temat tego, jakiej dokładności parametrów potrzeba, aby testować teorię ewolucji (str. 11), powinny być na końcu rozprawy przedyskutowane w kontekście uzyskanych wyników. W rozdziale tym podkreślona jest rola zarówno spektroskopii i fotometrii dla uzyskania dokładnych parametrów gwiazdowych. To oczywiste, że dla uzyskania dokładnych mas i promieni potrzebne są zarówno dokładna krzywa prędkości radialnych jak i dobrej jakości krzywa/krzywe blasku. Fragment dotyczący układów SB2 jest w miarę poprawny, choć to nieprawda, że z równania (2) otrzymuje się prędkości radialne (nie wiadomo, co w nim oznacza f i f'). Nie objaśniono, co w równaniach oznacza kąt θ, równanie (13) daje dolną, a nie górną granicę na masy, a K definiuje się nie jako amplitudę (ang. *semi-amplitude*), ale połowę zakresu (*half-range*) zmian prędkości radialnych. Opis geometrii zaćmień jest zbyt szkolny i uproszczony; równania (16) – (18) są przybliżone, bo prędkość tangencjalna nie jest równa prędkości po orbicie podczas całego zaćmienia. No i nie wykorzystuje się tych równań do wyznaczania promieni w tej pracy, tym bardziej, że nachylenie jest różne od 90°.

Rozdz. 3 (*SOLARIS as a global network of autonomous observatories*). Rozdział ten przedstawia projekt Solaris jako sieć robotycznych teleskopów, w tym historię jego powstania oraz podaje szczegóły kilku innych sieci robotycznych, na których częściowo wzorowano się przy tworzeniu projektu. To najdłuższy i najlepiej napisany rozdział całej pracy, co zapewne odzwierciedla zaangażowanie mgra Pawłaszka w techniczną stronę przedsięwzięcia, o czym autor wspomina wielokrotnie (str. 10, 33, 35, 36, 38, 62, 89). Doceniam ten wkład i z zaciekawieniem przeczytałem ten rozdział.

Rozdz. 4 (*Processing pipeline*). W rozdziale tym opisano pakiety i procedury, dzięki którym uzyskano prędkości radialne z obserwacji spektroskopowych wykonanych spektrografem BACHES zainstalowanym na teleskopie Solaris-1 w SAAO. Mgr Pawłaszek korzysta w tym celu z gotowych programów (TODCOR i V2FIT) napisanych przez promotorów swojej rozprawy, sam przygotowując skrypty do ich łatwiejszej obsługi. Wybór programów uważam w tym przypadku za poprawny, choć brakuje mi w tym rozdziale dyskusji szczegółów. Na przykład, jak przygotowywane były widma wzorcowe do programu TODCOR? Jakie były parametry użytych modeli? Czy były poszerzane rotacyjnie? Czy wobec podobieństwa składników można się spodziewać systematycznych błędów w prędkościach radialnych w fazach bliskich zaćmień?

Rozdz. 5 (*Analysis of selected Detached Eclipsing Binaries*). Jako program do wyznaczania parametrów składników (i układów) z jednoczesnego modelowania krzywych blasku i prędkości radialnych, mgr Pawłaszek wybrał JKTEBOP, wersja 34. Wybór JKTEBOP-a do analizy układów rozdzielonych jest do zaakceptowania, choć na przykład należałoby przedyskutować, czy dla układu, dla którego efekty bliskości są najsilniejsze (V4403 Sgr) zaimplementowany w tym pakiecie model jest wystarczający. Pozostałe dwa pakiety, które użyto po uzyskaniu wyników z JKTEBOP-a to MIST zawierający izochrony, ścieżki ewolucyjne i narzędzie do ich interpolacji oraz JKTABSDIM, program do wyznaczania parametrów pochodnych składników układów podwójnych, w tym jasności absolutnych i mocy promieniowania.

Rozdział 5 przedstawia wyniki modelowania dla sześciu układów rozdzielonych, dla których mgr Pawłaszek uzyskał prędkości radialne za pomocą spektrografu BACHES. Potrzebna do modelowania fotometria pochodzi z obserwacji w paśmie V Johnsona projektu ASAS. Dla każdego z tych układów wyznaczane są parametry gwiazdowe za pomocą JKTEBOP-a oraz dodatkowe parametry programami MIST i JKTABSDIM. Końcowe wyniki przedstawiają Tabele 16 i 17. Wyznaczanie parametrów JKTEBOP-em można uznać za z grubsza poprawne, choć należałoby podać więcej szczegółów. Na przykład, jakich wartości współczynników pociemnienia brzegowego i grawitacyjnego

użyto. Parametry wyznaczone pakietami MIST i JKTABSDIM budzą pewne wątpliwości. Zupełnie nie rozumiem dlaczego wartości *E(B-V)* zostały wybrane z pracy Schlafly i Binkmeiera (2011), zwłaszcza kiedy dla wszystkich układów istnieją odległości z Gai i to raczej je należałoby wykorzystać do oszacowania ekstynkcji analizowanych układów. Zwłaszcza dla HD 143055 i V4403 Sgr, które leżą stosunkowo blisko płaszczyzny Galaktyki. W pracy wspomniano, że wyznaczone odległości porównane są z wynikami z Gai, ale nigdzie w pracy odległości z Gai dla analizowanych układów nie znalazłem (są tylko paralaksy w Tabeli 14). Podanie w tabelach odchylenia standardowego residuów od dopasowania krzywych blasku i prędkości radialnych dałoby Czytelnikowi wyobrażenie o dokładności użytych obserwacji.

Końcowy podrozdział (5.3) przedstawia porównanie wyników uzyskanych w tej rozprawie z nieopublikowanymi wynikami analizy tych samych układów w ramach projektu CRÉME. Niestety, żadne szczegóły dotyczące tego, w jaki sposób uzyskane zostały wyniki w projekcie CRÉME nie zostały podane. Cały rozdział 5 cechuje ogólny brak krytycznej dyskusji uzyskanych wyników.

Zanim przejdę do uwag dotyczących redakcyjnej strony pracy i oceny całej pracy z punktu widzenia znaczenia uzyskanych wyników, pozwolę sobie jeszcze na kilka drobnych uwag merytorycznych:

- Układy rozdzielone definiuje się w kontekście geometrii Roche'a, a nie tego czy w układzie doszło wcześniej do wymiany masy (str. 9). Istnieją układy rozdzielone po wymianie masy.
- „*Spectral resolution*" (str. 15) to $\Delta\lambda$, wielkość $R = \lambda/\Delta\lambda$ nazywa się w języku angielskim „*resolving power*".
- To nieprawda, że prędkości radialne są maksymalne podczas zaćmień (str. 18).
- Skoro TDB został wybrany jako wzorzec czasu (str. 40), dlaczego w tabelach z prędkościami radialnymi podawany jest HJD?
- W programie JKTEBOP składniki przybliżane są elipsoidami dwuosiowymi, a nie elipsami (str. 67).
- W katalogach ASAS-a układy zaćmieniowe nie były identyfikowane jako SB1 czy SB2, co sugeruje się na str. 73.
- Jeśli autor widzi na Rys. 39 (str. 86) okresową modulację (ja nie widzę), to należałoby przynajmniej podać okres tej modulacji.

Strona redakcyjna pracy

Strona redakcyjna pracy pozostawia wiele do życzenia. Chyba nie ma wymogu pisania pracy doktorskiej w języku angielskim i w tym wypadku zdecydowanie nie był to najlepszy pomysł. Są zdania, co do których można się tylko domyślać, co autor miał na myśli. „*Circular assumption*" (str. 18) to nie to samo, co założenie kołowej orbity. „*SOLARIS is a project that is binary in its nature*" (str. 20) zdecydowanie nie brzmi dobrze. Inne redakcyjne mankamenty pracy to:

- Treść okrasza bardzo duża liczba literówek, co najmniej kilkadziesiąt (w tym w nazwisku Williama Herschela, str. 9).
- Słabo czytelne są niektóre rysunki, zwłaszcza wykresy M-R z izochronami, na których liczby na osiach są bardzo małe (Rys. 28, 30 i następne). Niekompletne są podpisy pod niektórymi rysunkami, np. brakuje opisu zielonych linii na Rys. 5-7.
- W tabelach z prędkościami radialnymi (Tab. 7 i następne) obserwacje nie są chronologiczne, a same prędkości radialne i ich błędy podane są ze zbyt dużą liczbą cyfr po przecinku.
- W tekście pozostały nieuzupełnione cytowania (np. w tytule Tab. 11, str. 77 i 87) lub niezrozumiałe (pierwsza linia na str. 75).
- W Rozdz. 5.3 kilka razy używa się „km/h" zamiast „km/s".

- Nie wystarczy napisać, że się dane wzięło z literatury (podpisy Tabel 14 i 15). Trzeba napisać konkretnie skąd.

Podsumowanie i konkluzja

Ostatecznie wynikiem rozprawy jest wyznaczenie parametrów składników (w tym mas i promieni) dla sześciu układów podwójnych. Mgr Pawłaszek czyni to w oparciu o prędkości radialne uzyskane za pomocą spektrografu BACHES oraz fotometrię projektu ASAS w paśmie *V* Johnsona. Pytanie, które należy tu postawić jest następujące: skoro nadrzędnym celem, podkreślanym wielokrotnie w pracy, było uzyskanie jak najdokładniejszych parametrów gwiazd (zwłaszcza mas i promieni), dlaczego do ich uzyskania dla badanych układów nie zostały użyte najlepsze dostępne dane? Odnosi się to zwłaszcza do fotometrii. Fotometria ASAS-a jest doskonała do selekcji obiektów do dalszych badań (Rozdz. 4.1.1), ale jej typowa dokładność dla badanych układów jest rzędu 0,01 – 0,02 mag. A więc co najmniej rząd gorsza od zakładanej dokładności rzędu 1 mmag (str. 10 i 89) fotometrii Solarisa. Dlaczego więc nie wykorzystano w niniejszej rozprawie fotometrii z teleskopów Solaris, która – jak się domyślam – dla badanych układów została wykonana? Jeśli były ku temu ważne powody, należało je przedstawić, bo nawet tytuł rozprawy o tej fotometrii jako integralnej części projektu Solaris wspomina. A tymczasem w rozprawie nie ma słowa na ten temat. W świetle błędów promieni rzędu 15 – 40% dla układów HD 15554, HD 143055 i BN Scl, fakt nieużycia lepszej fotometrii wydaje się bardzo poważnym mankamentem. Jeśli fotometria Solarisa jest z jakiś powodów niedostępna, należałoby chociaż przedyskutować (albo zrobić symulacje) jak bardzo zmieni się dokładność parametrów kiedy taka fotometria dostępna już będzie.

To samo w zasadzie dotyczy spektroskopii. Z oczywistych względów (np. rozdzielczość, średnica teleskopu), spektroskopia z BACHES-a prowadzi do obarczonych większymi błędami prędkości radialnych niż te, otrzymane z widm uzyskanych na większych teleskopach w ramach programów TATOOINE czy CRÉME. Dlaczego więc do wyznaczania parametrów nie wykorzystano dodatkowo istniejących obserwacji z tamtych projektów? Choćby opublikowanych już prędkości radialnych z pracy Hełminiaka i in. (2009) dla układu BD $-2°$ 873, ale też nieopublikowanych prędkości radialnych z projektu CRÉME. W rezultacie jedynym układem, dla którego dostajemy nowo wyznaczone parametry, jest BN Scl. Dla pozostałych dokładniejsze są inne wyznaczenia.

Konkludując, uważam, że **przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska w obecnej postaci nie spełnia wymogów art. 13 ust. 1 Ustawy.** Przede wszystkim dlatego, że nie przedstawia oryginalnego rozwiązania problemu naukowego. W pracy brakuje nie tylko tego. Brakuje jasnego przedstawienia problemu naukowego, który próbuje się rozwiązać, postawienia tez i hipotez oraz końcowej ich dyskusji w świetle uzyskanych wyników. Nie wystarczy opisać „*story of the work performed by the author*" (str. 89). Uzyskane wyniki naukowe to zbyt mało jak na pracę doktorską. W jednostronicowym Rozdz. 6 mgr Pawłaszek przyznaje, że zakładana dokładność nie została osiągnięta, ale wynikające stąd wnioski – jak choćby konieczność użycia lepszej fotometrii – nie zostały sformułowane. W pracy ogólnie brakuje refleksji nad uzyskanymi wynikami i ich porządnej dyskusji. Dlaczego na przykład nie umieszczono analizowanych układów na wykresach prezentowanych w Rozdz. 2. choćby wykresach masa-promień (M-R) czy wykresie H-R i nie przedyskutowano tych położeń w kontekście ewolucji składników? Dlaczego nie dyskutuje się rozbieżności rozwiązań (mas w szczególności) dla układu V4403 Sgr (Tabela 21)?

Jednocześnie chciałbym podkreślić, że doceniam wkład mgra Pawłaszka w robotyzację teleskopów Solaris. Nie ulega wątpliwości, że jest on znaczący. Robotyzacja ta jest jednak czymś, co tylko prowadzi do celu – uzyskania danych, dzięki którym otrzyma się istotne wyniki naukowe.

Paragraf 6, ust. 6 rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dn. 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora pozostawia recenzentowi możliwość wnioskowania o uzupełnienie lub poprawę pracy doktorskiej. **Niniejszym stawiam więc wniosek o poprawę pracy doktorskiej mgra Rafała Pawłaszka.** Poprawiona praca powinna zawierać co najmniej:

- Klarowne zdefiniowanie problemu naukowego, który ma być rozwiązany w rozprawie doktorskiej.
- Uzasadnienie wyboru obiektów do analizy w świetle stawianych sobie celów naukowych (dopuszczam inny niż obecny wybór próbki).
- Szczegółową dyskusję otrzymanych wyników w kontekście zdefiniowanego na wstępie problemu naukowego.

W poprawionej pracy do modelowania układów podwójnych i wyznaczania ich parametrów powinny zostać wykorzystane najlepsze dostępne dane obserwacyjne, w tym np. fotometria z projektu Solaris i/lub misji TESS. Alternatywnie, powinno znaleźć się w pracy uzasadnienie dlaczego takie dane nie zostały wykorzystane. To samo dotyczy dostępnej (opublikowanej bądź nie) spektroskopii i wyznaczanych z niej prędkości radialnych.