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

Wrocław, 13 września 2019

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

Na początku chciałbym zaznaczyć, że niniejsza recenzja odnosi się do poprawionej rozprawy doktorskiej mgra Rafała Pawłaszka. O taką poprawę rozprawy wnioskowałem w mojej recenzji z dn. 5 kwietnia br. stwierdzając, że w poprzedniej formie praca doktorska nie spełniała ustawowych wymagań. Wniosek o poprawę pracy doktorskiej wynikał z możliwości, którą daje rozporządzenie 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. W konkluzji swojej recenzji napisałem, że *„poprawiona praca powinna zawierać co najmniej następujące poprawki:*

- *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."*

Napisałem też, że *„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."*

Powyższe wypunktowane wymagania – zwłaszcza pierwsze i trzecie – wynikają wprost z ustawy, która mówi, że przedmiotem rozprawy doktorskiej jest *„oryginalne rozwiązanie problemu naukowego"*, którego w pierwotnej wersji pracy – moim zdaniem – nie było. Napisałem też *„co najmniej"*, gdyż żądane poprawki mogły skutkować zmianami, których nie wymagałem wprost, a które być może byłyby konieczne dla zachowania spoistości pracy. W dalszej części recenzji będę się więc odnosił przede wszystkim do zmian dokonanych w pracy, nie powtarzając moich ocen tych jej fragmentów, które nie uległy zmianie lub zostały zmienione marginalnie. Najważniejsza ze zmian wprowadzonych w pracy to wykorzystanie w połączeniu z prędkościami radialnymi ze spektrografu BACHES fotometrii z satelity TESS dla czterech z sześciu badanych układów podwójnych w Rozdz. 5.2. Ponadto dodano ogólne omówienie fotometrii z TESS-a w Rozdz. 4.1.2 oraz Rozdziały 2.4 i 6.2 (zgodnie ze strukturą pracy ten drugi powinien mieć numer 5.4). W Rozdz. 2.4 zawarta jest ogólna dyskusja tego, co może być interesujące w rozdzielonych układach podwójnych, zaś w Rozdz. 6.2 dodano analizę zmian poza zaćmieniem dla trzech badanych układów, co nazwane jest w tytule „identyfikacją interesujących własności".

Zacznę od problemu naukowego, który powinien być zdefiniowany, a następnie rozwiązany w rozprawie doktorskiej. Jak pisałem w mojej pierwszej recenzji – takiej definicji problemu nie znalazłem w pierwotnej wersji pracy doktorskiej. Mgr Pawłaszek dodał teraz do Wstępu dwa akapity. W jednym z nich napisał, że naukowym celem tego projektu było praktyczne wykorzystanie zestawu obserwacyjnego do wyznaczenia parametrów sześciu układów. I choć są one dość typowe – jak pisze autor zapewne w odpowiedzi na mój zarzut, że wybór taki jest niejasny w kontekście wypełniania białych plam na wykresie M-R – to dalszym celem jest pokazanie, że obiekty te z pewnych względów (pulsacje, obecność innych składników) mogą być ciekawe. W tym duchu dodany został zapewne Rozdz. 2.4, w którym mowa jest o problemie przestrzeliwania konwektywnego, układach ze składnikami na różnych etapach ewolucji, pulsacjach (typu δ Sct i γ Dor) składników i wielokrotności układów. Kłopot w tym, że jeśli rzeczywiście zbadanie któregoś z tych problemów byłoby prawdziwym powodem takiego wyboru badanej próbki układów podwójnych, wybór ten powinien być inny (przypominam, że wyboru dokonano z próbki kilkuset

układów zaćmieniowych obserwowanych przez ASAS-a). Gdyby chciano badać pulsacje, należało wybrać gwiazdy nieco masywniejsze, bo pulsacje typu δ Sct i γ Dor obserwujemy w gwiazdach typów widmowych od wczesnych A do mniej więcej F2. Tylko dwie gwiazdy z sześciu mają typy F2 i F3, pozostałe mają zbyt późne typy widmowe aby spodziewać się pulsacji typu δ Sct i γ Dor. Do badania przestrzeliwania konwektywnego też należałoby wybrać nieco masywniejsze układy, choć ten wybór jeszcze jako tako się broni (nie ma za to żadnej dyskusji otrzymanych mas i promieni). Nie ma wśród wybranej próbki układu ze składnikami na różnych etapach ewolucji – wszystkie mają składniki na ciągu głównym. Dokonany wybór praktycznie nie broni się więc w kontekście zdefiniowanych wcześniej „interesujących" problemów, a nowy tekst sprawia wrażenie dorabianego na siłę uzasadnienia do projektu, który tak naprawdę nie był przemyślany na samym początku i nie było jasne, jaki problem ma pomóc rozwiązać. Nie bardzo też broni się twierdzenie, że jednym z celów pracy było pokazanie, że automatyczny (czy rzeczywiście jest taki?) przegląd za pomocą BACHES-a dostarcza danych wystarczających do identyfikacji interesujących układów podwójnych (str. 27). Choćby dlatego, że niektóre obserwacje spektrografami wysokiej rozdzielczości były robione wcześniej niż obserwacje BACHES-em, a na przykład pulsacje wykrywane są raczej w fotometrii, a nie spektroskopii. Przy okazji, nie ma potrzeby sprawdzania za pomocą spektroskopii, czy układ zaćmieniowy jest spektroskopowo podwójny (str. 12). Na pewno jest. Jest też dla mnie dość oczywiste, że taki spektrograf jak BACHES będzie produkował wartościowe dane naukowe, w szczególności wystarczająco dokładne prędkości radialne, aby używać ich do wyznaczania mas w układach podwójnych. W literaturze jest wystarczająco wiele przykładów obserwacji podobnym sprzętem, żeby na takie pytanie odpowiedzieć twierdząco. Podsumowując, w dalszym ciągu nie widzę jasnego zdefiniowania problemu naukowego, który praca ta stawiałaby sobie za cel rozwiązać i dobrego uzasadnienia dla wyboru sześciu układów podwójnych analizowanych w tej pracy.

Co się tyczy wymagania użycia najlepszych danych obserwacyjnych, mgr Pawłaszek zdecydował się na włączenie do analizy fotometrii TESS-a dla czterech układów, dla których dostępna była fotometria z dwuminutową kadencją. To na pewno dobry wybór w porównaniu z użyciem fotometrii ASAS-a, co najlepiej widać porównując błędy promieni w pierwotnej wersji pracy, gdzie wykorzystana była fotometria ASAS-a i wyznaczane w poprawionej wersji pracy z użyciem fotometrii TESS. Precyzja danych TESS jest mniej więcej dwa rzędy wielkości lepsza niż w danych ASAS-a, choć w danych z tego satelity obecne są niewielkie efekty instrumentalne. Fotometria z TESS została omówiona w nowym Rozdz. 4.1.2, a w Rozdz. 5.1.1 dowiadujemy się, w jaki sposób ta fotometria została „poprawiona". Prawdę mówiąc nie rozumiem idei dzielenia obserwacji na kawałki i dopasowywania ich oddzielnie zamiast jednoczesnego użycia wszystkich danych. Zupełnie niezrozumiała jest też dla mnie procedura „detrendowania" zmian poza zaćmieniami za pomocą wielomianów i sinusoid (z jakimi okresami dowiadujemy się tylko dla jednej gwiazdy w Rozdz. 6.2). Zmiany poza zaćmieniami wynikają najczęściej z efektów bliskości, na przykład efektu elipsoidalności, które JKTEBOP modeluje (nie najlepiej, ale zawsze). Ich odjęcie powoduje, że dopasowane parametry modelu mogą być zafałszowane. Rysunki nie wyjaśniają sytuacji. Na Rys. 32a widać, że model dobrze pasuje do obserwacji i zarówno w obserwacjach jak i zmianach modelowych widać efekt elipsoidalności. Powstaje więc pytanie czy zmiany poza zaćmieniem zostały odjęte (tak rozumiem detrendowanie) jak napisano w Rozdz. 5.1.1 i co widać na Rys. 42 czy też nie? Na Rys. 28a model też dobrze pasuje do danych, ale na pewno nie jest to model z JKTEBOP-a, bo zmiany poza zaćmieniami są różne dla kolejnych okresów orbitalnych. Jak więc definiowany jest w tym przypadku model?

Wyniki dopasowań zostały podsumowane w Tabeli 15. Jak pisze mgr Pawłaszek w streszczeniu, pięć z tych rozwiązań to zupełnie nowe modele, choć raczej należałoby napisać, że nowe zestawy parametrów układów. Chcąc zobaczyć jaki był wpływ użycia dokładniejszej fotometrii (TESS *versus* ASAS) na wyznaczane parametry, porównałem Tabelę 16 z pierwotnej wersji pracy z Tabelą 15 w poprawionej wersji. Oczywistą zmianą są dużo mniejsze błędy promieni składników czterech układów z fotometrią TESS-a. Dlatego właśnie sugerowałem w pierwszej recenzji użycie fotometrii Solarisa lub TESS do dopasowań. W niektórych układach odwrotnie niż wcześniej zdefiniowane są składniki. W ogólności nie ma w tym nic dziwnego, gdyż w układach z podobnymi składnikami nie zawsze wiadomo, który składnik jest bardziej masywny czy jaśniejszy. Taka zamiana powinna jednak skutkować zmianą T_0 o $P_{orb}/2$. Tymczasem zmiany, które zaszły między starą Tabelą 16 a nową Tabelą 15 są dość niepokojące:

- J022948-1314.8: Sądząc po masach, składniki zostały zamienione miejscami. T_0 zmieniło się jednak nie o $P_{orb}/2$, ale o $P_{orb}/2$ – 0,5 d. Mimośród w granicach błędu jest równy 0, więc raczej nie ma powodu do zakładania, że orbita jest ekscentryczna. Jeśli rzeczywiście widać w danych TESS, że wtórne zaćmienie nie wypada w fazie 0,5 (str. 75), powinno to znaleźć odzwierciedlenie w wyraźnie niezerowej wartości mimośrodu.
- J042041-0144.4: Masy składników pozostały podobne, „odwróciły się" za to ich promienie. Teraz masywniejszy składnik ma też większy promień, inaczej niż wcześniej. Czy to znaczy, że w starej tabeli był błąd?
- J160026-5107.1: T_0 zmieniło się o 0,5 d (dlaczego?), parametry są z grubsza takie same, w czym nie ma nic dziwnego, bo użyto tych samych danych (BACHES + ASAS).
- J184211-3402.4: To druga gwiazda, dla której użyto tych samych danych fotometrycznych, co poprzednio (ASAS), więcej jest jednak obserwacji z BACHES-a. Stąd pewnie bierze się dość duża zmiana (powyżej błędów) mas składników. Logarytm wieku układu w Tabeli 15 to 9.225, a w tekście (str. 81) i na rysunku (Rys. 37) jest 9.26.
- J224119-4350.5: Sądząc po masach i promieniach składniki zostały zamienione miejscami. Jednak T_0 zmieniło się o P_{orb} + ~1 d. Dlaczego? Rozbieżność dotyczy też logarytmu wieku: w tekście (str. 81) jest 9.25, na Rys. 38 jest 9.26, a w Tabeli 15 jest 9.40.
- J230743-3013.9: Kolejna zmiana T_0 o 0,5 d. I znowu różnica w log wieku: 9.25 w tekście (str. 83), 9.20 w Tabeli 15.

Ta zdecydowanie za duża liczba pomyłek i rozbieżności sprawia wrażenie, że autor nie zadbał o rzetelne przedstawienie wyników. W powiązaniu z procedurą „detrendowania" sprawia to, że ich wiarygodność jest niska. Nie zawsze też wiadomo, które liczby są prawdziwym wynikiem. W pracy nie ma w dalszym ciągu wyjaśnienia dlaczego nie została użyta fotometria projektu Solaris. Przypominam, że dość często podkreśla się w niej znaczenie tego projektu jako autonomicznego pod względem uzyskiwania zarówno obserwacji spektroskopowych jak i fotometrycznych (ma to też odzwierciedlenie w tytule pracy). Co ważniejsze, nie ma dyskusji uzyskanych wyników, zwłaszcza otrzymanych mas i promieni, w kontekście dość enigmatycznie sformułowanych celów pracy.

Porównanie z wynikami podobnych dopasowań, w których użyte zostały prędkości radialne ze spektrografów innych niż BACHES (Rozdz. 6.1, powinien być 5.3) nie wnosi nic istotnego do dyskusji w sytuacji kiedy żadne szczegóły tamtych obserwacji, ich redukcji i modelowania nie zostały przedstawione. Nie wiadomo dlaczego przy modelowaniu dopasowuje się niezależne średnie prędkości radialne dla obydwu składników. Nie wiadomo dlaczego syntetyczne widma używane w TODCOR-ze nie są poszerzane rotacyjnie (str. 6, streszczenie) skoro wiadomo, że niektóre z układów są na tyle ciasne, że składniki muszą rotować synchronicznie. Nie wiadomo jak to wpływa na wyniki.

Rozdział 6.2 mógłby być ciekawym uzupełnieniem wyznaczania parametrów układów, tym bardziej, że pulsacje uznane zostały (str. 12) za jeden z najważniejszych czynników, które czynią układ podwójny interesującym i wartym dalszych badań. Mógłby być, ale nie jest. Ze wstępnych rozważań, wynikających z wyznaczonych mas składników (str. 97) mgr Pawłaszek identyfikuje trzy główne składniki i cztery wtórne jako „prawdopodobne kandydatki" na gwiazdy pulsujące typu δ Sct i/lub γ Dor. Pod kątem zmienności składników sprawdzane są tylko trzy układy. Nie wiem czemu nie cztery albo wszystkie sześć, w końcu pulsacje to tylko jedno z możliwych źródeł zmienności składników. W celu znalezienia zmienności wyliczane są periodogramy Lomba-Scargle'a z residuów od dopasowania modeli zaćmieniowych. Dyskusja tych wyników pokazuje, niestety, brak doświadczenia w analizie szeregów czasowych pana Pawłaszka. Po pierwsze, częstość Nyquista jest wielkością mającą sens tylko dla obserwacji równoodległych w czasie, a takimi dane ASAS-a nie są. Po co więc o niej wspominać skoro i tak periodogramy liczone są do 20/d? Po drugie, aby wyciągnąć wnioski co do tego, czy widać pulsacje składników czy nie, trzeba przedyskutować istotność maksimów, które widać w periodogramach. Takiej dyskusji w pracy nie ma, nie wiadomo więc czy wskazywane maksima są w ogóle istotne. Wysnute wnioski są więc bardzo niepewne. Ponieważ analizowałem dane ASAS-a i TESS dla wielu gwiazd, pozwoliłem sobie sprawdzić zmienności sześciu analizowanych gwiazd. Maksimum dla ASAS J160026-5107.1 dla częstotliwości 1/d jest oczywistym artefaktem, jak słusznie podejrzewa pan Pawłaszek. Nie znalazłem żadnych istotnych zmienności dla ASAS J184211-3402.4, które jakoby widać na Rys. 41, a które przypisywane są zmiennościom typu γ Dor i δ Sct. Wprawdzie nie ma obser-

wacji TESS z dwuminutową kadencją dla tej gwiazdy, można się jednak było pokusić o sprawdzenie fotometrii z 30-minutową kadencją. Istnieją ogólnodostępne pakiety do robienia takiej fotometrii. Wreszcie ostatnia gwiazda, ASAS J230743-3013.9, dla której mgr Pawłaszek przeprowadza „detrendowanie", w związku z czym sygnał w periodogramie poniżej 0,6/d praktycznie znika. Dwa maksima na 1,1 i 1,9/d interpretowane są jako możliwe pulsacje typu γ Dor, choć wspomniane jest również, że mogą to być artefakty związane z „nieperfekcyjnym detrendowaniem". Zgadzam się, perfekcyjne detrendowanie odjęłoby cały sygnał, tyle że wtedy żadnych pulsacji czy innej zmienności nie dałoby się stwierdzić. Za zupełnie niezrozumiałe uważam zdanie, w którym napisane jest, że poszukiwanie pulsacji w danych TESS leży poza tematem niniejszej pracy. To po co w takim razie jest Rozdz. 6.2 i wskazywanie na zmienności poza zaćmieniami jako jeden z celów pracy (np. na str. 12)? Z mojej analizy wynika, że akurat zmienność poza zaćmieniem w tej gwieździe jest bardzo ciekawa, bo nie pasuje do żadnego z efektów bliskości, a fazuje się dobrze z okresem orbitalnym (widać to trochę na Rys. 33). To prawdopodobnie plama(-y) na rotującym synchronicznie składniku(-ach). Niewielki residualny sygnał może wskazywać na ewolucję plamy lub rotację różnicową. To mógłby być przyczynek do ciekawej dyskusji, której w pracy, niestety, nie znalazłem.

Co do liniowego trendu zmian prędkości radialnych ASAS J160026-5107.1, pokazanych na Rys. 27, które autor uznał za dowód istnienia trzeciego składnika w tym układzie i jeden z ciekawych wyników tej pracy. Otóż żeby taki wniosek wyciągnąć należałoby pokazać najpierw, że współczynnik liniowy jest znacząco różny od zera (takiej liczby nie ma w pracy), w co – biorąc pod uwagę pokazane błędy – wątpię.

Podsumowanie i konkluzja

Ostatecznie wynikiem rozprawy jest wyznaczenie parametrów składników (w tym mas i promieni) dla sześciu układów podwójnych oraz próba zbadania zmienności pochodzących od pulsacji w obserwacjach poza zaćmieniami w trzech układach. Z uwagi na zastosowaną niejasną procedurę „detrendowania" zmienności poza zaćmieniem, uzyskane wyniki uważam za niepewne. Próba zbadania zmienności poza zaćmieniami też nie jest udana, a sugerowane pulsacje typu γ Dor i δ Sct nie znajdują potwierdzenia w niezależnej analizie. Wprowadzone w pracy poprawki nie przynoszą więc jakościowej zmiany wyniku naukowego, a czasami wręcz przeciwnie – obnażają słabości warsztatu naukowego. Konkludując, uważam, że **przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska nie spełnia wymogów art. 13 ust. 1 Ustawy** gdyż nie przedstawia oryginalnego rozwiązania problemu naukowego. Jednocześnie chciałbym powtórzyć, że doceniam wkład mgra Pawłaszka w robotyzację teleskopów Solaris. Mgr Pawłaszek złożył jednak niniejszą rozprawę występując o doktorat z astronomii, a nie robotyki, należało zatem oczekiwać, że będzie ona zawierać naukowy wynik z astronomii.

Andrzej Pigulski