



50 ST. GEORGE STREET
UNIVERSITY OF TORONTO
TORONTO ONTARIO
CANADA M5S 3H4
TEL. (416) 946-5243
FAX (416) 946-7287

28 września 2017 r.

Centrum Astronomiczne im. M. Kopernika
Polska Akademia Nauk
ul. Bartycka 18
00-716 Warszawa

Recenzja pracy doktorskiej mgr Stanisława Kozłowskiego "Photometry and Spectroscopy of Selected Eclipsing Binaries with the Solaris Robotic Telescopes"

Zanim przejdę do spraw merytorycznych, chcę poinformować, że mgr Kozłowski nie znam osobiście i nie współpracowałem z nim nigdy. Ściśle mówiąc – według moich notatek – spotkałem się z nim podczas egzaminu do mojego wykładu dla doktorantów w CAMK, "Physics of Stars" (<https://www.camk.edu.pl/pl/archiwum/2013/04/03/physics-stars/>), na wiosnę 2013 roku, gdy przyjechał specjalnie z Torunia. Wykład ten był transmitowany przedtem przez kilka tygodni na bieżąco z CAMK-u do Torunia, ale słuchacze przyjechali na egzamin do Warszawy.

Moja ocena oparta jest na czterech opublikowanych pracach w amerykańskich i brytyjskich (2x PASP, 2x MNRAS) publikacjach naukowych oraz na obszernym podsumowaniu tych prac w sensie założeń, użytych metod i wyników. Pierwszym autorem wszystkich czterech prac jest mgr Kozłowski, z wkładem – według podanych deklaracji – ocenianym na 2/3 dla trzech pierwszych i 1/4 dla ostatniej. Podsumowanie było bardzo dobrze przygotowane i znacznie ułatwiło orientację w całości przedmiotu. Wersja angielska podsumowania wydaje mi się lepiej napisana i zawiera więcej informacji niż wersja polska.

Poza czterema publikacjami przedstawionymi w ramach pracy doktorskiej do oceny, ADS zestawia w tym momencie w sumie 19 innych publikacji, których mgr Kozłowski był

współautorem. Wszystkie zostały wykonane w ramach toruńskiego programu *Solaris*, prowadzonego przez profesora Macieja Konackiego. Z 19 publikacji podanych w ADS, 10 opublikowano w MNRAS, 2 w PASP i jedną w A&A. Inne publikacje pochodzą z konferencji, z tym że dwie z konferencji SPIE. Konferencje te mają wysoką rangę, ale nie wiem, czy tam publikacje podlegają recenzji – możliwe, że tak. Fakt, że cztery prace w ramach pracy doktorskiej były już oceniane przez wielu ludzi i przeszły przez (w zamierzeniu) rygorystyczny proces recenzji oczywiście ułatwił mi zadanie. Myślę, że obecny format składania prac doktorskich polegający na połączeniu publikacji oszczędza wiele czasu i wysiłku wszystkim uczestnikom przewodu doktorskiego.

Ważną okolicznością pod względem merytorycznej wartości prac przedstawionych do oceny jest fakt, że różnią się one zawartością i stylem, bo są adresowane do nieco odmiennych odbiorców: Pierwsza praca¹ z 2011 roku zawiera opis użycia archiwalnych obserwacji z projektu ASAS do wyznaczania momentów minimów gwiazd zaćmieniowych i jest w pewnym sensie najbardziej "astronomiczna" pod względem stylu. Pozostałe trzy prace² z lat 2014 – 2017 zawierają założenia konstrukcyjne, opisy techniczne i metody użyte przy testowaniu instrumentów właśnie uruchomionego projektu *Solaris* wykorzystującego cztery teleskopy o aperturach 0,5 metra w trzech obserwatoriach na południowej półkuli.

Można się domyślać ze sposobu sformułowania i prezentacji problemu, iż praca #1 miała w zamierzeniu stanowić jeden z elementów przygotowawczych do projektu *Solaris* prowadzonego przez Promotora pracy doktorskiej. Pod względem oceny, której musiałem się podjąć istnieje tu pewna subtelna rozbieżność pod względem zawartości opublikowanej pracy i streszczenia (w wersji angielskiej). Opublikowana praca – ze względu na jej bardzo oszczędny styl – zostawia wrażenie powierzchownego potraktowania tematu: Brak tam odniesienia do ogromnego materiału już istniejącego dla gwiazd zaćmieniowych w sensie powszechnego użycia dla nich "O-C diagrams" oraz nawiązania do najważniejszych choćby uzasadnień astrofizycznych dla obserwowanych zmian okresów orbitalnych. Diagramy te, używane już przez wiek lub dłużej pozwalają – ze względu na ich kumulatywny charakter – na wykrywanie zmian okresów ze względną dokładnością typowo lepszą niż 10^{-5} , a przekraczającą czasem nawet 10^{-10} . Analizowano z ich pomocą zjawiska poczynając od procesów grawitacyjnego zakłócania przez

¹ Praca #1: "Radio Pulsar Style Timing of Eclipsing Binary Stars from the All Sky Automated Survey Catalogue", 2011, MNRAS, 416, 202 (S. K. Kozłowski, M. Konacki, P. Sybilski)

² Trzy prace techniczne to: #2: "BACHES – a Compact Echelle Spectrograph for Radial-Velocity Surveys with Small Telescopes", 2014, MNRAS, 443, 158 (S.K. Kozłowski, M. Konacki, M. Ratajczak, P. Sybilski, R.K. Pawłaszek, K.G. Hełminiak); #3: "Spectroscopic Survey of Eclipsing Binaries with a Low-cost echelle Spectrograph: Scientific Commissioning", 2016, PASP, 128, 074201 (S.K. Kozłowski, M. Konacki, P. Sybilski, M. Ratajczak, R.K. Pawłaszek, K.G. Hełminiak); #4: "Project Solaris – a Global Network of Autonomous Observatories – Design, Commissioning and First Science Results", 2017, PASP, 129, 105001 (S.K. Kozłowski, P. Sybilski, M. Konacki, R.K. Pawłaszek, M. Ratajczak, K.G. Hełminiak, M. Litwicki)

gwiazdowych lub planetarnych towarzyszy, czy bardziej skomplikowanych zjawisk przepływów materii lub zmian momentu bezwładności, aż do testowania struktury wewnętrznej gwiazd i ogólnej teorii względności. Odnośnik do bardzo ogólnikowej pracy Sterkena (2005) to za mało, aby czytelnik docenił wagę przedmiotu. Praca #1 zawiera jednak pewną nowość w postaci zastosowania wielomianów trygonometrycznych do aproksymacji krzywych zmian jasności, aby w ten sposób lepiej wyznaczać momenty zaćmień. Jest to ciekawe podejście, z tym jednak, że pomysł zastosowania krzywych modelowych jako "templates" istniał już w literaturze wcześniej: Bob Wilson (twórca znanego programu syntezy krzywych zmian jasności "Wilson-Devinney") zasugerował zastosowanie tego podejścia pewnie już ze dwadzieścia lat wcześniej... To nie zostało wymienione w pracy i uważny recenzent powinien to wykryć. Gdybym był recenzentem tej pracy dla wydawnictwa, to pewnie nie doszedłbym aż do skrajności jej odrzucenia, ale zasugerowałbym wprowadzenie dużych uzupełnień i dodanie kilku ważnych referencji. Takie jest moje wrażenie z opublikowanej pracy, natomiast angielska wersja streszczenia do pracy doktorskiej daje lepsze uzasadnienie wspominając, że programy komputerowe przygotowane w ramach pracy #1 były wykorzystane w innych pracach wykonanych w ramach programu *Solaris*; podane są tam też konkretne zastosowania. W tym sensie praca ta spełniła zapewne oczekiwania Promotora i zespołu *Solaris*. Właśnie zastosowania łączą ją z resztą pracy doktorskiej, zupełnie odmiennie w zawartości i opisie.

Trzy prace techniczne (#2, #3 i #4) włączone do pracy doktorskiej ściśle dotyczą technicznych aspektów projektu *Solaris*. Mają one zupełnie inny charakter od pierwszej pracy omawiającej aktywności związane z uruchomieniem nowoczesnego instrumentarium astronomicznego, a więc dotyczą obszaru gdzie eksperyment spotyka się ze współczesną nauką. Prace te opisują konstrukcję oraz metody i wyniki testów instrumentów współpracujących z 0,5-metrowymi teleskopami tego ciekawego i unikatowego projektu. Cztery teleskopy *Solaris* mają za zadanie wykonywanie fotometrycznych, wielobarwnych obserwacji gwiazd podwójnych zaćmieniowych oraz spektroskopię średniej rozdzielczości ($R \sim 20,000$) na jednym z tych teleskopów (*Solaris-1* w SAAO w Południowej Afryce); trzy ściśle fotometryczne teleskopy są zainstalowane w trzech obserwatoriach: *Solaris-2* również w SAAO, *Solaris-3* w Siding Springs w Australii, a *Solaris-4* w Obserwatorium El Leoncito w Argentynie. Miejsca lokalizacji zostały dobrane pod kątem dostępności do ciągle słabo zbadanego nieba południowej półkuli, zwłaszcza pod kątem zmienności gwiazd, w tym gwiazd podwójnych zaćmieniowych, ale również w celu zapewnienia należytej infrastruktury koniecznej do prowadzenia zdalnych obserwacji z Polski.

Ponieważ celem projektu *Solaris* jest uzyskanie danych fotometrycznych i spektroskopowych dla głównie rozdzielonych układów gwiazd zaćmieniowych. Wyniki mają prowadzić do wyznaczeń mas z dokładnością lepszą niż 3%, więc bardzo ważnym składnikiem jest spektroskopia. Podczas gdy fotometria takich gwiazd wykonywana jest z typową kadencją na poziomie minut, spektroskopia wymagająca po prostu więcej fotonów na ekspozycję dyktuje albo dłuższe czasy naświetlania albo większe apertury teleskopów. W rezultacie – na skutek zwykłych ograniczeń czasowych lub budżetowych – wykorzystuje się o rząd wielkości mniejszą liczbę widm niż

obserwacji fotometrycznych, ale spektrografy mają narzucony wymóg wysokiej stabilności i doskonałej kalibracji. Spektroskopia jest ważną częścią projektu, bowiem tylko drogą mierzenia prędkości radialnych za pomocą efektu Dopplera można wyznaczyć masy gwiazd. Domyślam się, że projekt *Solaris* będzie wymagał okazjonalnego uzyskiwania widm na większych teleskopach z aperturami >2 metrów, ale dla ogromnej części obiektów wystarczy spektroskopia średniej rozdzielczości na poziomie $R \sim 20,000$ zapewniająca dokładność wyznaczeń prędkości radialnych lepszą od 1 km/s; takie obiekty będą obserwowane za pomocą nowego spektrografu typu echelle nazwanego BACHES.

Prace #2 i #3 przedstawione do obecnej oceny dotyczą technicznych aspektów uruchamiania spektrografu BACHES. W tej chwili używany jest jeden taki spektrograf na dedykowanym teleskopie Solaris-1 w SAAO, który ma dwie możliwości pracy, spektroskopowej lub fotometrycznej; pozostałe trzy teleskopy przeznaczone są do fotometrii. Jak zrozumiałem z opisu instrumentów chodzących w skład *Solaris*, elementy systemu starano się uzyskać droga komercyjną, a tylko niektóre podzespoły były konstruowane specjalnie do konkretnych celów i to raczej pomocniczych. Wykorzystanie gotowych elementów nie oznacza, że muszą one dobrze pracować razem. Oprócz tego, domyślam się, niektórzy obecni wykonawcy małych teleskopów, fotometrów czy spektrografów jako klientelę mają głównie zasobnych amatorów, a nie profesjonalistów. Obecne wymagania konstrukcyjne są szczególnie wysokie w przypadku spektrografów, dla których trudne jest zapewnienie należytej odporności mechanicznej na gięcia i efekty temperaturowe.

W pracy #2 opisane są testy spektrografu BACHES na teleskopie Solaris-4 w Argentynie. Używana była prototypowa (przed-produkcyjna) wersja spektrografu, do którego mgr Kozłowski zaprojektował, a potem przetestował moduł zapewniający możliwość przyłączania między modułami fotometrycznym i spektroskopowym. Przygotował również programy komputerowe do zdalnego wykorzystania modułu. Z lektury opublikowanej pracy wynika, że podczas testów wykryto szereg istotnych niedociągnięć mechanicznych, zwłaszcza pod względem sztywności, których – można mieć nadzieję – uniknięto w ostatecznej wersji spektrografu. Ten bardzo mały spektrograf (waga tylko 1,5 kg) na teleskopie 0,5-m okazał się mieć zupełnie dobre parametry, pozwalając na uzyskiwanie widm z dokładnością prędkości radialnych na poziomie ~ 1.5 km/s dla gwiazd jasności $V=10$. Jest to dobry wynik³.

Praca #3 opisuje identyczny spektrograf, jak w poprzedniej pracy, ale już w wersji produkcyjnej, podczas testów na teleskopie Solaris-1. Ściśle mówiąc, przeprowadzono "scientific commissioning", tzn. testy były prowadzone podczas pracy w normalnym trybie naukowym.

³ Wspomnę, z moich własnych, ale raczej obfitych doświadczeń: W David Dunlap Observatory w Toronto, po wielu latach prób i ulepszeń, spektrograf z $R \sim 15,000$ (również z gięciami, bo też w ognisku Cassegraina) uzyskiwał dla gwiazd $V \sim 10$ dokładność na poziomie 0.7 - 1.0 km/s, ale rozmiary lustra były 1.9 metra. Kolosalne zmiany temperatury w Toronto, od -25C do +35C były naszym głównym wrogiem, ale tak wielkich zakresów temperatury unika się zwykle w wysokogórskich obserwatoriach.

Oprócz obserwacji standardów prędkości radialnych, obserwowano 6 rozdzielonych układów podwójnych z okresami kilku dni i jasnościami w zakresie $6 < V < 10$ mag. Uzyskane dokładności były na poziomie ~ 1.5 km/s. Jak na pierwsze testy, to wynik w zasadzie zadawalający, ale można się domyślać, że dalsze próby pójną w kierunku obniżenia błędów poniżej 1 km/s. Autorzy pracy zwracają uwagę na efekty temperaturowe podczas ekspozycji, których eliminacja powinna być teraz priorytetem w dalszych ulepszeniach systemu. W sumie prace #2 i #3 sprawiają bardzo dobre wrażenie: mgr Kozłowski uczestniczył w istotny sposób w aktywnościach związanych z testami spektrografu w obu lokalizacjach. Jak napisał w streszczeniu, praca przy teleskopach w latach 2011 – 2014 wymagała 10-ciu wizyt w obserwatoriach na półkuli południowej w sumie zajmując 520 dni. Wyraźnie odgrywał znaczną rolę w tych pracach, bowiem ocena jego wkładu pracy do każdej z prac została podana jako 67%.

Przy okazji lektury prac #2 i #3 uzmysłowilem sobie, iż w obserwatoriach uniwersyteckich w Polsce od wielu lat króluje fotometria, podczas gdy spektroskopia byłaby dogodniejsza i łatwiejsza w polskich warunkach pogodowych. Spektrografy podobne do BACHES byłyby zupełnie wystarczające do skonfrontowania studentów z wymaganiami pracy naukowej. Nie miejsce tu na analizę dlaczego tak się stało i skąd wzięła się awersja do spektrografów, ale uważam, że doświadczenia mgr Kozłowskiego w tej dziedzinie mogłyby być bardzo użyteczne w kontynuowaniu tej myśli i w wykorzystaniu jego umiejętności.

Praca #4 jest najobszerniejsza z czterech przedstawionych do oceny. Jest ona opisem pełnego systemu teleskopów programu *Solaris*, wraz z ocenami ich naturalnych możliwości pod względem specyfiki topografii miejsc, w których są zainstalowane, możliwości ciągłych obserwacji (tzn. zachodzących na siebie w czasie, w tym wypadku do 19 godzin na dobę) oraz detalicznych charakterystyk oddzielnych składników systemu. Wszystkie teleskopy mają kamery z matrycami CCD o rozmiarach 2x2K, a jeden (jak opisane wyżej) ma mały spektrograf. Zapewnienie automatycznej pracy całego systemu bez nadzoru wymagało zainstalowania złożonych zabezpieczeń przed różnego rodzaju nieprzewidzianymi możliwościami zarówno pod względem warunków pogodowych jak i dostępu elektryczności czy też połączeń Internetowych. Choć udział mgr Kozłowskiego w tej pracy oceniony jest na poziomie 1/4, to trzeba wziąć pod uwagę, iż zespół uczestniczący w instalacji i uruchomieniu całego systemu był o wiele większy i składał się z siedmiu osób; można się domyśleć, że mgr Kozłowski miał w zespole wiodącą rolę pod względem technicznym.

Po przeczytaniu całej pracy doktorskiej jest moim wrażeniem, że *forte* Mgr Kozłowskiego to praca eksperymentalna na pograniczu techniki z technologią i astronomią. Zapewne lepiej się tu czuje, niż w astronomii jako nauce. W tym sensie doskonale pasuje się on w obszarze spotkania, gdzie astronomia obserwacyjna narzuca wyjątkowe wymagania instrumentalne i gdzie umiejętności oraz zakres możliwości inżynierskich mogą być spełnione przez niewielu ludzi.

Projekt *Solaris* jest bardzo ambitnym i niezwykłym przedsięwzięciem. Nie jestem pewny, czy – poza bardzo projektem OGLE – polska "naziemna" astronomia optyczna dokonała równie dużego, samodzielnego i ambitnego postępu instrumentalnego podczas mojego aktywnego życia. Cieszę się, że dane jest mi być tego świadkiem. W trakcie pracy w zespole mgr Kozłowski uzyskał doświadczenia, których nie dałyby mu typowe działania w celu uzyskania stopnia doktora w dziedzinie astronomii. I tu pojawia się kwestia, czy przedstawiona praca spełnia warunki oczekiwane od tego rodzaju prac w sensie kwalifikacji do tytułu doktorskiego. W moim przekonaniu spełnia je ze względu na skalę wykonanej pracy, na jej doskonałe osadzenie w realiach współczesnej astrofizyki obserwacyjnej oraz na wyjątkowość tego rodzaju doświadczenia w sensie przydatności dla polskiej społeczności naukowej. Dlatego wnioskuję o uznanie pracę za spełniającą formalne warunki stawiane pracom doktorskim i o dopuszczenie mgr Stanisława Kozłowskiego do publicznej obrony.



Prof. dr hab. Sławomir Ruciński, Professor Emeritus
Department of Astronomy and Astrophysics
University of Toronto
50 St. George Street, Toronto, ON M5S 3H4
rucinski@astro.utoronto.ca
<http://www.astro.utoronto.ca/~rucinski/>