

AUTOREFERAT

Wojciech Dimitrow

Instytut Obserwatorium Astronomiczne
Wydział Fizyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza
w Poznaniu

Poznań, 2018

1 Życiorys naukowy

1.1 Dane osobowe

- Imię i nazwisko: Wojciech Dimitrow
- Data urodzenia: 24 kwietnia 1976 r.
- Miejsce pracy: Instytut Obserwatorium Astronomiczne, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, ul. Słoneczna 36, 60-286 Poznań, tel. +48 61 829 2776, e-mail: dimitrov@amu.edu.pl

1.2 Wykształcenie i stopnie naukowe

- 1990 – 1994 – Sofijskie Liceum Matematyczne
- 1994 – 1999 – Studia stacjonarne na Wydziale Fizyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, na kierunku fizyka, specjalność astronomia
- 1999 – Uzyskanie tytułu magistra, praca magisterska *Efemerydy zakryć gwiazd przez Księżyc*, promotor prof. UAM dr hab. Piotr Dybczyński
- 2006 – Uzyskanie stopnia doktora nauk fizycznych, praca doktorska *Obserwacje i modelowanie rozdzielonych układów podwójnych — weryfikacja ich odległości i statusu ewolucyjnego*, Wydział Fizyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, promotor - prof. dr hab. Alexander Schwarzenberg-Czerney

1.3 Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu

- 21.09.2006 – 30.09.2007 – pracownik naukowo techniczny, Instytut Obserwatorium Astronomiczne (IOA), UAM
- 01.10.2007 – 30.09.2017 – adiunkt, IOA UAM
- od 01.10.2017 — starszy wykładowca, IOA UAM

2 Osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę postępowania habilitacyjnego

Osiągnięciem naukowym jest monotematyczny cykl publikacji zatytułowany „Układy wielokrotne – detekcja nowych składników oraz wyznaczanie parametrów absolutnych”.



2.1 Wykaz artykułów naukowych stanowiących podstawę postępowania habilitacyjnego

- H1 **Dimitrov, W.**, Fagas, M., Kamiński, K., Kolev, D., Kwiatkowski, T., Bąkowska, K., Rożek, A., Bartczak, P., Borczyk, W., Schwarzenberg-Czerny, A.

Spectroscopy of HD 86222 - a quintuple system with an eclipsing component

Astronomy and Astrophysics

2014, Volume 564, id.A26, IF(2014)=4.378,

Odkryłem czwarty spektroskopowy składnik układu HD 86222 AB oraz wyjaśniłem hierarchie całego układu pięciokrotnego. Brałem udział w obserwacjach spektroskopowych oraz wykonałem 100% redukcji danych i pomiarów prędkości radialnych. Wykonałem modelowanie pary zaćmieniowej. Napisałem cały tekst pracy, wkład własny 85%.

- H2 **Dimitrov, W.**, Kamiński, K., Lehmann, H., Ligeza, P., Fagas, M., Bagińska, P., Kwiatkowski, T., Bąkowska, K., Kowalczyk, A., Polińska, M., Bartczak, P., Przybyszewska, A., Kruszewski, A., Kurzawa, K., Schwarzenberg-Czerny, A. 2015.

V342 Andromedae B is an eccentric-orbit eclipsing binary.

Astronomy and Astrophysics

2015, Volume 575, id.A101, IF(2014)=4.378,

Zorganizowałem międzynarodową kampanię obserwacyjną układu, udało się wyjaśnić hierarchie układu, stwierdzono iż składnik B jest układem zaćmieniowym o eliptycznej orbicie a składnik A okazał się spektroskopowo podwójny. Wykonałem część obserwacji i redukcji danych, wykonałem modelowanie pary zaćmieniowej oraz napisałem 80% tekstu, wkład własny 75%.

- H3 **Dimitrov, W.**, Lehmann, H., Kamiński, K., Kamińska, M. K., Zgórz, M., Gibowski, M. 2017.

The hierarchical triple system DY Lyncis

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society

2017, Volume 466, Issue 1, IF(2014)=5.107,

Odkryłem trzeci spektroskopowy składnik w układzie zaćmieniowym DY Lyn, zorganizowałem międzynarodową kampanię obserwacyjną, przygotowałem dane do modelowania, zinterpretowałem wyniki modelowania. Napisałem program, który umożliwił wyznaczenie prędkości radialnych dla obu orbit. Udało się uzyskać krzywe prędkości radialnych dla ciasnej i szerokiej orbity o okresie 281 d. Napisałem 80% tekstu publikacji, wkład własny 70%.

H4 **Dimitrov W.**, Tomov T., Kamiński K., Polińska M., Iliev I., Kamińska M. K. 2018.

GT Ursae Majoris AB – a possible quadruple system.

Acta Astronomica, 2018, Volume 68, No. 2, IF(2014)=1.980,

Odkryto trzeci spektroskopowy składnik w układzie. Zorganizowałem międzynarodową kampanię obserwacyjną. Udało się zaobserwować ruch orbitalny trzeciego składnika i pary zaćmieniowej. Udowodniłem że wizualny składnik B należy również do układu. Wykonałem część obserwacji i redukcji danych oraz pomiary prędkości radialnych. Wyznaczyłem model układu zaćmieniowego oraz napisałem 80% tekstu.

Wkład własny 75%.

H5 **Dimitrov W.**, Żywucka - Hejzner N., Polińska M., Kamiński K., Kamińska M. K. 2018

Spectroscopy of the eclipsing binary BD-00 2862 – possible multiplicity.

Acta Astronomica, 2018, Volume 68, No. 3, IF(2014)=1.980,

Wszystkie obserwacje układu wykonano na teleskopie PST1. Brałem udział w obserwacjach oraz wyznaczyłem model układu. Znalazłem dowody na to iż wizualny towarzysz jest częścią układu. Napisałem 80% tekstu, a mój wkład własny wynosi 75%.

2.2 Omówienie celu naukowego w.w. prac i osiągniętych wyników

Nasza wiedza o powstawaniu układów podwójnych i wielokrotnych wciąż wymaga uzupełnienia. Wiemy że zarówno obserwacje obszarów gwiazdotwórczych jak i symulacje komputerowe pokazują, że gwiazdy rodzą się w grupach oraz, że 100% gwiazd wieku zerowego należy do układów podwójnych lub wielokrotnych (Bate 2004). W trakcie dynamicznej ewolucji część lżejszych składników zostaje wyrzucona z układów. Obserwacje gwiazd pola pokazują że 60–80% ich należy do układów. Odsetek gwiazd wielokrotnych jest bliski 100% w przypadku masywnych gwiazd i niższy w przypadku gwiazd mało masywnych (Tokovinin 2014). Gwiazdy tworzą się wewnątrz zapadających się obłoków molekularnych. Proces fragmentacji obłoku napędzany jest rotacją i turbulencją, a hamowany jest przez pole magnetyczne (Machida 2008). Obserwacyjne statystyki krotności gwiazd pozwalają ocenić warunki, które kiedyś panowały w obłokach z których powstały.

Aktualnie procesy gwiazdotwórcze są polem intensywnych badań. Najnowsze obserwacje ukazują dwa podstawowe procesy odpowiedzialne za formowanie się układów wielokrotnych: fragmentacja jądra (core fragmentation) – separacje składników rzędu 10^3 – 10^4 AU (Pineda & Offner et al. 2015) oraz fragmentacja dysku tworząca obiekty o separacji $10^{1.5}$ – $10^{2.5}$ AU (Tobin & Crater 2016). Jedną z podstawowych teorii powstawania ciasnych układów podwójnych o separacjach rzędu 10^{-1} AU zakłada kurczenie się orbity wewnętrznej w obecności trzeciego ciała na skutek cykli Kozai – Lidov z tarciem pływowym (Eggleton & Kiseleva-Eggleton 2001). Najnowsze wyniki

są prezentowane w licznych artykułach przeglądowych Tholine (2002), Zinnecker (2002), Bate (2004) and Moe & Di Stefano (2017).

Znamy ponad 100 par zaćmieniowych, które należą do układów wielokrotnych jednak większość z nich to układy potrójne (Zasche et al. 2009). Zaledwie garstka z nich to układy o wyższej krotności, które są dobrze zbadane i znamy ich parametry absolutne z dużą dokładnością. Badanie tych obiektów pozwala poszerzać wiedzę na temat powstawania układów wielokrotnych oraz formowania się gwiazd w obłokach molekularnych. W tym kontekście prace obserwacyjne uzupełniające statystyki i parametry absolutne dla układów wielokrotnych mają ogromne znaczenie. Temu zagadnieniu poświęcone są wyżej wymienione prace.

Rzeczonych metod obserwacyjnych pozwala na poszerzenie naszej wiedzy o układach wielokrotnych. Optyka adaptacyjna oraz metody interferometryczne pozwalają przełamać negatywny wpływ atmosfery ziemskiej na uzyskiwane obrazy pozwalając na detekcje składników o małej separacji kątowej. Teleskopy kosmiczne takie jak Hubble czy Spitzer pozwalają podejrzeć dyski protogwiazdowe i protoplanetarne. Teleskop kosmiczny Kepler służący do fotometrii oraz dedykowany do detekcji tranzytów planetarnych pozwolił po raz pierwszy na obserwacje planet w układach wielokrotnych. Efektem ubocznym były krzywe blasku dla gwiazd zaćmieniowych i pulsujących z niespotykaną dotąd precyzją, rozrzut w danych jest na poziomie 10^{-6} .

Obecność pary zaćmieniowej w układzie wielokrotnym daje nam unikalną możliwość wyznaczenia parametrów absolutnych z dokładnością 1% lub lepszą. Do modelowania wybranych układów zaćmieniowych zastosowałem metodę Wilsona–Devinney (1971). Jednoczesna analiza krzywych blasku i prędkości radialnych pozwala na wyznaczenie pełnego modelu – masy, promienie, nachylenie orbitalne etc. Uzyskane wyniki można skonfrontować z teorią ewolucji gwiazd, do tego celu korzystałem z wyników Yonsei-Yale (Yi et al. 2001, 2003; Kim et al. 2003). Dodatkowo wykorzystałem wyniki z misji Hipparcos i GAIA, które dostarczyły informacji o paralaksach trygonometrycznych oraz ruchach własnych badanych gwiazd.

Podstawowym narzędziem badawczym w tym programie obserwacyjnym był Poznański Teleskop Spektroskopowy 1. Pracowałem w projekcie PST1 na wszystkich etapach od projektowania i budowy poprzez wdrażanie i modernizacje oraz obserwacje i analizę danych. Drugim głównym instrumentem w programie był PST2 pracujący w Arizonie. Teleskop okazał się bardzo produktywny dzięki wysokiemu stopniowi automatyzacji oraz dobremu astroklimatowi. Oba teleskopy współpracujące w projekcie GATS¹ (Globalny Teleskop Astrofizyczny) nagromadziły już ponad 20 000 widm głównie dla gwiazd pulsujących oraz zaćmieniowych. Oba teleskopy są wyposażone w spektrografy wysokiej rozdzielczości ($\sim 40\,000$), które wybudowano w IOA w Poznaniu. Głównym celem przy ich budowie była minimalizacja strat światła, w tym dobre dopasowanie do parametrów światłowodu/teleskopu. Dodatkowo zadbane o stabilność termiczną spektrografów – w ciągu jednej nocy rozrzut pomiarów prędkości jest na poziomie 40 ms^{-1} . Korzys-

¹<http://www.astro.amu.edu.pl/GATS>

tałem również z danych z teleskopów klasy 2-m – David Dunlap Observatory (Kanada), NAO Rozhen (Bułgaria) oraz Tübingen Landessternwarte koło Tautenburga (Niemcy). Dla większości badanych obiektów zorganizowałem międzynarodowe kampanie obserwacyjne. Korzystałem z obserwacji fotometrycznych z przeglądów nieba takich jak ASAS, SAVS czy SuperWASP oraz z danych satelitarnych. Część pomiarów uzyskano na małych teleskopach w Poznaniu. Do pomiarów prędkości radialnych stosowano metody: crosscorrelacja (CCF), broadening function (BF) oraz spectrum disentangling, a do analizy profili linii widmowych zastosowano metodę least square deconvolution (LSD). Do analizy błędów przy modelowaniu metodą Wilsona-Devinney stosowałem metody Monte Carlo oraz Bootstrap.

Do analizy wybrałem dotychczas niezbadane spektroskopowo obiekty zaćmieniowe należące do układów wizualnie podwójnych lub potrójnych. Część z nich jest skatalogowana w katalogach gwiazd wizualnie podwójnych takich jak Washington Double Star Catalog (WDS) czy Catalogue of the Components of Double and Multiple Stars (CCDM). W czterech z pięciu obiektów odkryłem nowe spektroskopowe składniki. W dwóch przypadkach udało mi się zaobserwować spektroskopowo ruch na ciasnej i rozległej orbicie w układzie.

HD 86222

Pierwszy badany obiekt to HD 86222 (publikacja H1). Jest to para zaćmieniowa w układzie wizualnie potrójnym, dotychczas niezbadany spektroskopowo. Główne składniki A i B znajdują się w odległości kątowej 0.5" a dalszy składnik C – 11". Obserwacje spektroskopowe prowadzono dla części centralnej A/B układu, które są nierozdzielone przy krótkich ogniskowych czy dużym seeingu. Dane zgromadzono na 2-m teleskopie NAO Rozhen wyposażonym w spektrograf typu Coudé (Bułgaria) oraz 0.5-m teleskopie PST1 w Borowcu. Dane uzyskane w Borowcu są porównywalne z tymi z 2-m teleskopu dzięki niskim stratom światła i zasilanym światłowodem spektrografie typu Echellé, który ma znacznie szerszy zakres widmowy, co daje nam znacznie większą liczbę linii do korelacji. Uzyskane widma wskazują że mamy do czynienia z układem spektroskopowo poczwórnym. Wszystkie cztery piki na wykresie kroskorelacji poruszają się (Rys. 1), dwa z nich o większej amplitudzie mają okres zgodny z okresem orbitalnym pary zaćmieniowej. Więc jeden ze składników A/B to para zaćmieniowa, a drugi para spektroskopowo podwójna. Biorąc pod uwagę również dalszy składnik C układ jest hierarchicznym układem pięciokrotnym. Znane jest zaledwie kilka obiektów o tak wysokiej krotności w, których zachodzą zaćmienia i dla których znamy dobrze parametry absolutne. Modelowanie pary zaćmieniowej pokazało że jest to bliźniacza para gwiazd na ciągu głównym o masach 1.33 ± 0.09 oraz $1.29 \pm 0.09 M_{\odot}$. Okres orbitalny wynosi 0.987 d co jest kłopotliwe przy gro-

madzeniu danych. Pół wielka orbity wynosi $6 R_{\odot}$. Oszacowałem okres i rozmiar orbity wizualnej A/B na 900 lat i 100 AU. Dalszy wizualny składnik C znajduje się w odległości 3000 AU, a okres oszacowałem na 3×10^3 lat.

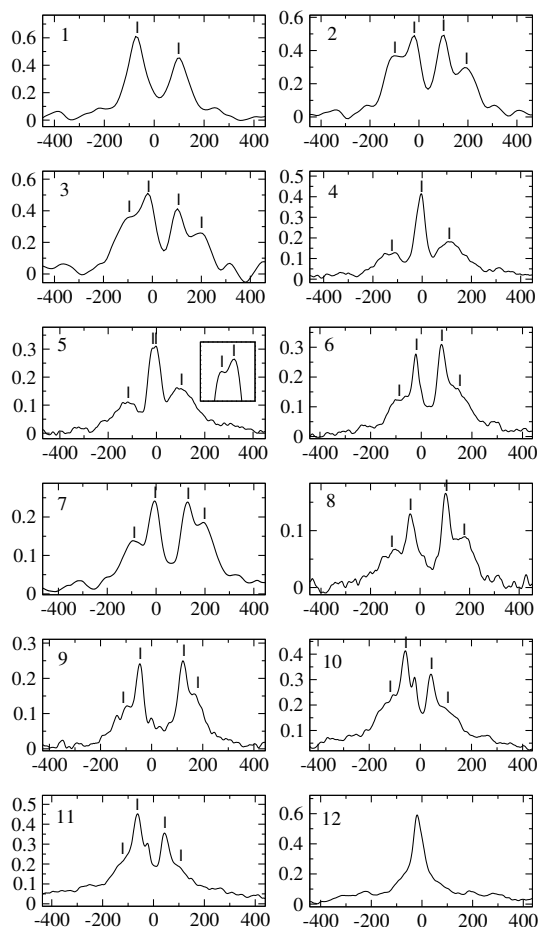


Figure 1: Funkcja kros korelacji dla uzyskanych widm HD 86222. Pierwsze trzy wykresy dotyczą widm z NAO Rozhen, a pozostałe z Borowca.

V 342 Andromedae

Kolejnym badanym obiektem to V342 Andromedae, który jest układem wizualnie podwójnym (praca H2). Separacja składników A i B mających porównywalną jasność wynosi około $5''$. Moją uwagę na ten układ skierowało odkrycie zaćmienia przez satelitę Hipparcos. Zorganizowałem międzynarodową kampanię obserwacyjną, w którą były zaangażowane teleskopy 1.88-m DDO oraz 2-m teleskop w Tautenburgu. W Poznaniu wykonaliśmy widma oraz krzywą blasku. Pierwsze widma uzyskałem w DDO na szczelinowym spektrografie w ognisku Cassegraina. Początkowo nie było wiadomo, który składnik A czy

B jest zaćmieniowy. Spektrograf nie był wyposażony w derotator pola jednak szczęśliwie kąt pozycyjny pary pozwolił na ustawienie obu składników na szczelinie i uzyskanie widm dla obu składników. Okazało się, że para zaćmieniowa to wizualny składnik B. Pierwszą krzywą prędkości radialnych uzyskano metodą "Broadening function" zastosowaną do danych z DDO. Orbita okazała się eliptyczna o mimośrodku $e=0.08$. Kolejny zestaw danych uzyskaliśmy na teleskopie PST1. Teleskop ma znacznie krótszą ogniskową więc oba wizualne składniki A i B trafiły na światłowód. Dane z teleskopów 1.88 DDO oraz PST1 użyłem przy modelowaniu pary zaćmieniowej metodą Wilsona – Devinney. Do celów analizy widmowej uzyskano widma składników A i B na 2-m teleskopie TLS w Niemczech. Wyniki te posłużyły między innymi do określenia składu chemicznego składników pary zaćmieniowej. Po przeanalizowaniu średniego profilu linii widmowych w danych z PST1 oraz TLS okazało się że zarówno para zaćmieniowa (B) jak i składnik A są spektroskopowo podwójne (Rys. 2 i 3). Oszacowałem rozmiar wizualnej orbity A/B na 460 AU a okres na 2×10^4 lat. Analizując ścieżki ewolucyjne wiek układu oszacowałem na 2 – 3 Gyr.

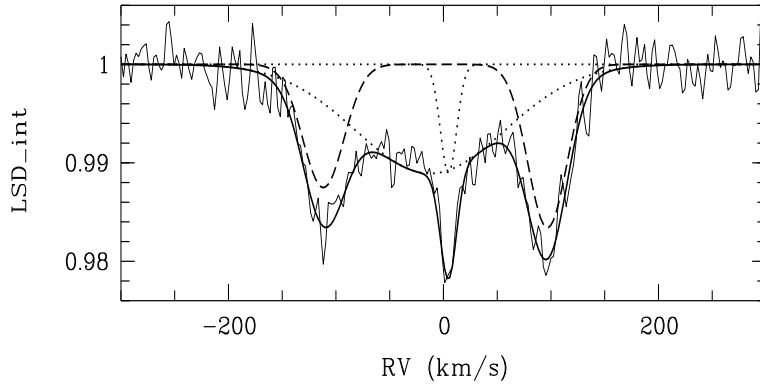


Figure 2: Średni profil linii widmowej V342 And A/B dla teleskopu PST1 – widoczne są trzy wąskie linie i szeroka składowa. Zewnętrzne linie związane są z parą zaćmieniową

DY Lyncis

Obiektem, dla którego w mojej opinii uzyskałem najciekawsze wyniki to DY Lyncis. W 2009 roku odkryłem, wraz z moją magistrantką, trzeci spektroskopowy składnik w układzie. Zaanonsowaliśmy ten wynik krótką publikacją w Sękańska & Dimitrov et al. (2010). Zauważyłem również zmiany w prędkości radialnej trzeciego składnika, co skłoniło mnie do zorganizowania kampanii obserwacyjnej w nadziei, że uda się zaobserwować ruch wokół wspólnego środka mas dla dużej orbity. Wyniki tej kampanii zostały zawarte w pracy H3. Gromadzenie danych trwało 6 lat. Długa kampania opłaciła się,

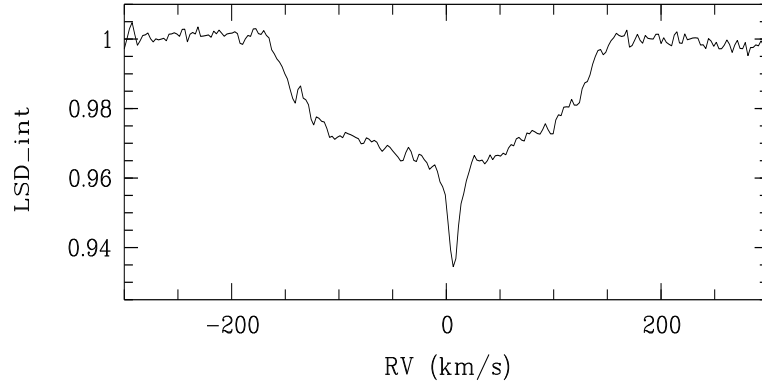


Figure 3: Średni profil linii dla składnika V342 And A z teleskopu TLS wskazuje na prawdopodobną podwójność składnika.

udało się wyznaczyć parametry ciasnej i rozległej orbity. Amplituda zmian prędkości na rozległej orbicie jest znaczna (Rys. 4). Zmierzone prędkości radialne dla trzech składników są złożeniem ruchu na obu orbitach. Aby rozdzielić wpływ obu ruchów orbitalnych napisałem program, który metodą iteracyjną wyznacza obie krzywe prędkości radialnych. Orbita rozległa ma okres 281 dni i znaczny mimośród $e=0.3$ (Rys 5). Dobrym potwierdzeniem uzyskanych wyników, było porównanie wyników ze spektroskopii z wynikami chronometrażu zaćmień. Na Rys. 6 pokazane są odchyłki od efemerydy momentów zaćmień sfazowane z okresem rozległej orbity. Mamy bardzo dobrą zgodność z krzywą syntetyczną przeliczoną z krzywej RV dla środka mas pary zaćmieniowej. Mamy więc efekt "Light time" w układzie, który jest związany z ruchem po orbicie długookresowej.

GT Ursae Majoris

Pierwsze obserwacje układu były wykonane na 2-m teleskopie NAO Rozhen na spektrografie Coudé. Odkryto trzeci spektroskopowy składnik układu. Jednak pomiary prędkości radialnych były niezadowalające. Spowodowane to było zbyt krótkim zakresem widmowym i zbyt małą ilością linii widmowych do pomiaru. By zwiększyć zakres widmowy zastosowałem spektrograf typu Echellé, wykonałem testowe obserwacje na PST1. Pomiary prędkości radialnych posiadały znacznie mniejsze błędy. Główną część danych zgromadziłem na teleskopie PST2 w Arizonie. Zaobserwowałem wyraźne zmiany prędkości 3-go składnika. Krzywa RV dla pary zaćmieniowej również wykazuje charakterystyczne przesunięcia. Mamy więc do czynienia z ruchem wokół wspólnego środka mas układu potrójnego.

Do zbadania wizualnego towarzysza B wykorzystałem 2-m teleskop NAO

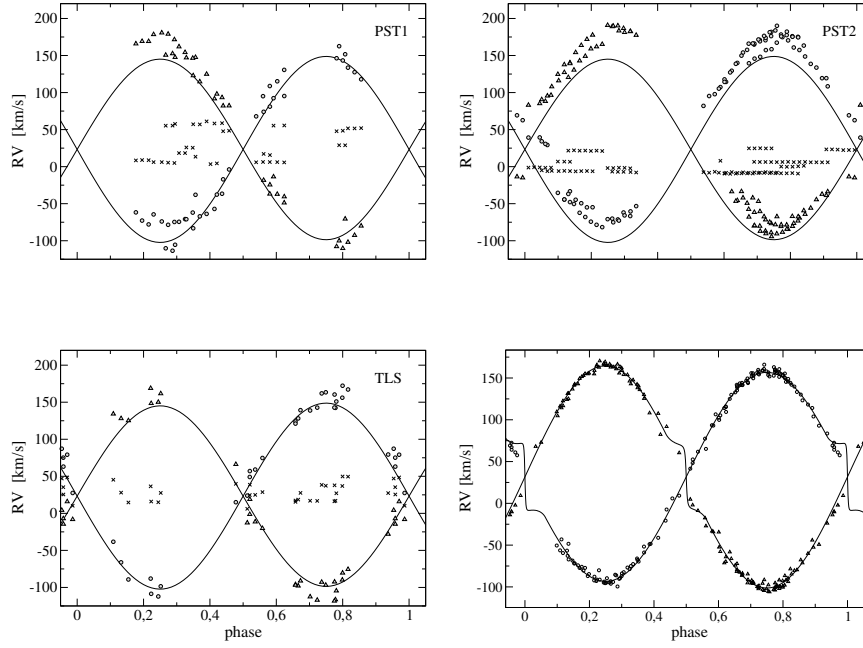


Figure 4: Pomiary RV z trzech teleskopów przed korektą na ruch wokół wspólnego środka mas. Ostatni wykres pokazuje pomiary po korekcie.

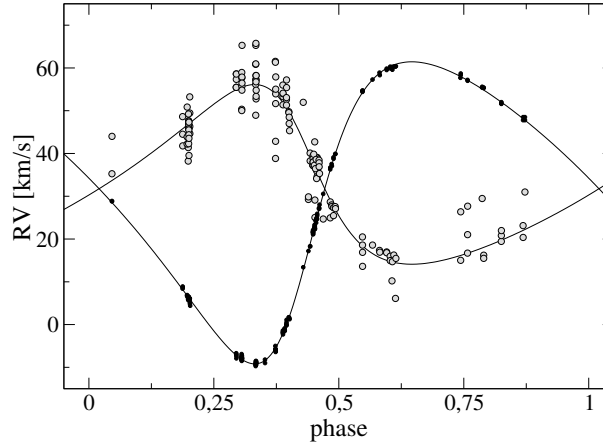


Figure 5: Krzywa prędkości radialnych dla dużej orbity DY Lyncis o okresie 281 d. Kółka prezentują pomiary dla środka mas pary zaćmieniowej a punkty dla trzeciego składnika.

Rozhen oraz nowy spektrograf typu Echellé ESPERO, w budowę którego byłem zaangażowany (Bonev et al. 2017). Zmierzona prędkość radialna świadczy o tym, że składnik jest dynamicznie związany z głównym spektroskopowo potrójnym składnikiem A. Inne argumenty świadczące o przynależności wizualnego składnika B do układu to zbliżone wartości paralaks oraz ruchów własnych składników A i B. Mamy zatem do czynienia z czterokrotnym hierarchicznym układem zawierającym parę zaćmieniową.

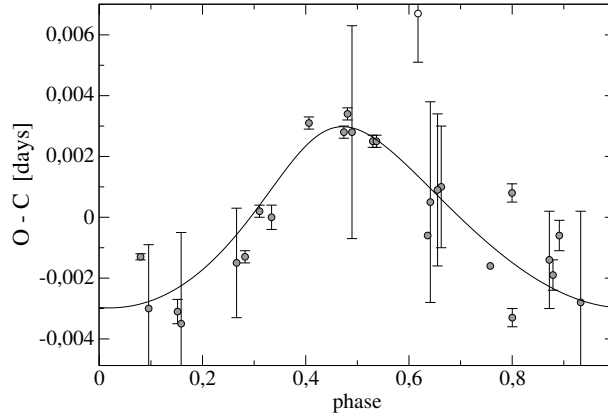


Figure 6: Odchylenia od efemerydy fotometrycznych momentów zaćmień dla DY Lyncis sfazowane z okresem dużej 281 dniowej orbity. Linia ciągła prezentuje krzywą prędkości radialnych dla środka mas pary zaćmieniowej przeliczoną na czas. Wyniki uzyskane z chronometrażu oraz spektroskopii wykazują bardzo dobrą zgodność potwierdzając poprawność uzyskanego modelu.

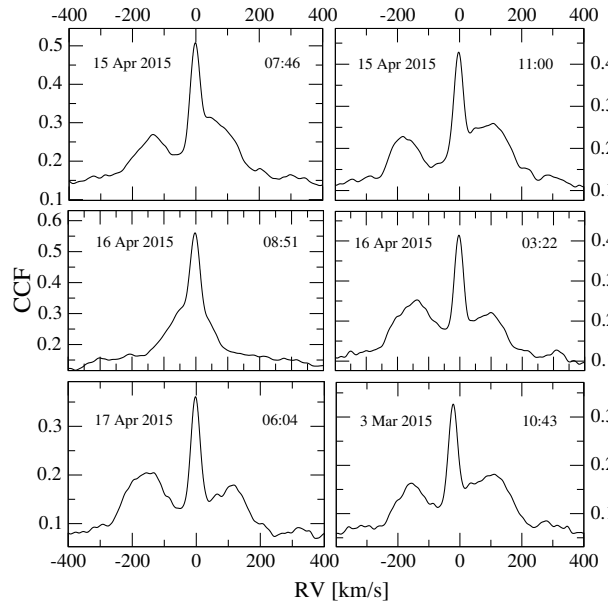


Figure 7: Ruch trzech pików w funkcji kros korelacyjnej dla GT UMa.

BD-00 2862

Piąty zaćmieniowy obiekt z cyklu to BD-002862 (publikacja H5). Powodem zainteresowania się nim była obecność wizualnego towarzysza oraz obecność trzeciego spektroskopowego komponentu, w niektórych uzyskanych widmach. Wszystkie widma dla układu uzyskano teleskopem PST1. Poszukiwania danych w katalogach, które potwierdzą przynależność towarzysza wizualnego B do układu zakończyły się sukcesem. Ruchy własne składników A i B są zbliżone. Ponadto odległości wyznaczone metodą paralaksy try-

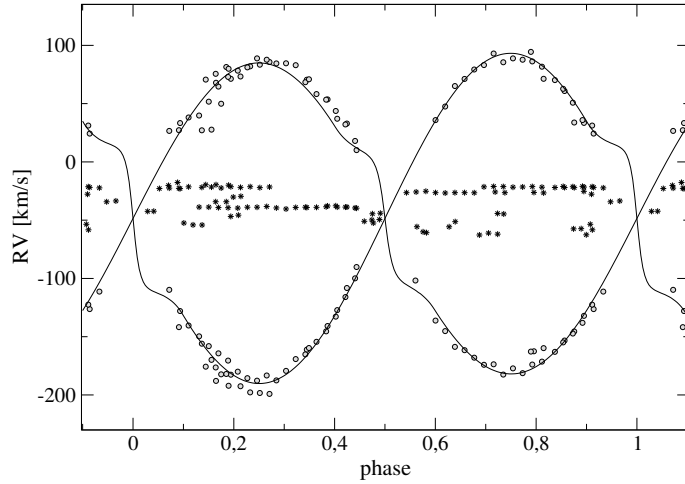


Figure 8: Prędkości radialne zmierzone dla trzech spektroskopowych składników GT UMa A.

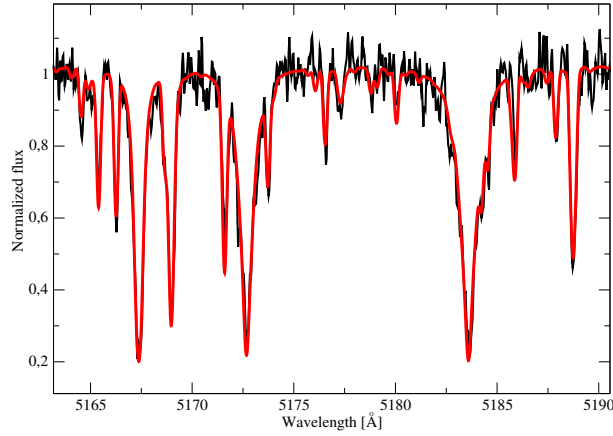


Figure 9: Dopasowanie widma syntetycznego do obserwacji dla trypletu magnezu MgIb dla towarzysza wizualnego GT UMa B.

gonometrycznej przez misję GAIA DR2 (GAIA collaboration et. al 2016; Lindgren et. al 2016) dla obu składników: głównego A, czyli pary zaćmieniowej, oraz B, wizualnego towarzysza, są zgodne w granicach błędów. Korzystając z uzyskanej na PST1 krzywej prędkości radialnych i obserwacji fotometrycznych z ASAS uzyskałem model układu stosując metodę Wilsona-Devinney. Parametry absolutne mają błędy 3% dla mas oraz 1% dla promieni. Na podstawie modelu pary zaćmieniowej, wyznaczyłem paralaksę fotometryczną. Zgodność wyznaczonej dwoma metodami odległości jest bardzo dobra 131 ± 5 pc z modelu oraz 130 ± 4 pc z misji astrometrycznej GAIA. Porównanie wyników z modelami ewolucyjnymi pokazuje że jest to bardzo młody układ znajdujący się na krótkotrwałym etapie przed ciągiem głównym (Rys. 11).

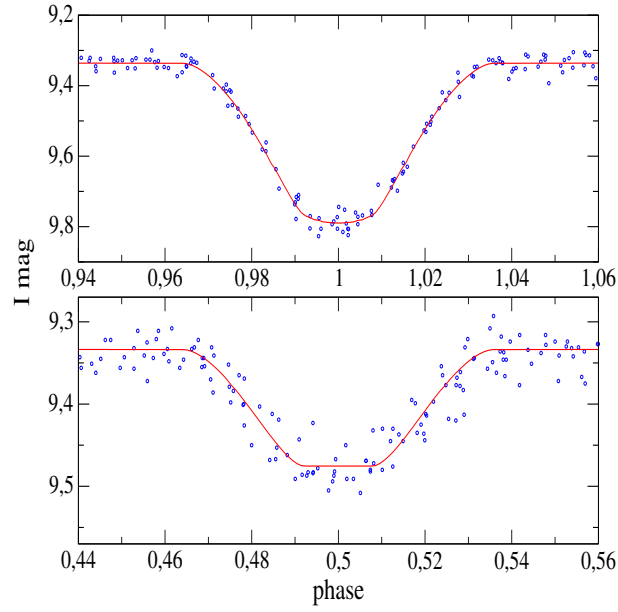


Figure 10: Krzywa blasku dla BD-002862 A w okolicy zaćmień głównego i wtórnego.

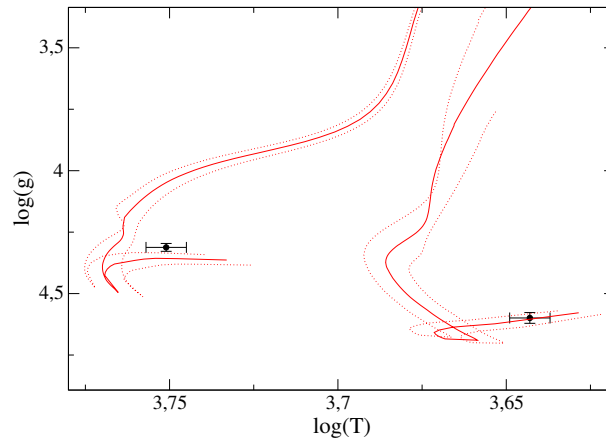


Figure 11: Ścieżki ewolucyjne dla obu składników BD-002862 A i.e. pary zaćmieniowej. Linie ciągłe prezentują ścieżki ewolucyjne a punktowane zakres błędów wynikający z błędów w wyznaczeniu mas składników.

Dotychczasowe badania tych pięciu obiektów można kontynuować. Ciekawym kierunkiem jest badanie potencjalnych rezonansów. Przykładowo dla HD 86222 pomiędzy dwoma centralnymi parami spektroskopowymi. Długookresowy monitoring fotometryczny pozwoliłby na poszukiwanie nowych składników metodą chronometrażu zaćmień. Tą metodą można by zarejestrować też obecność masywnych planet co byłoby bardzo ciekawym wynikiem. Kolejnym kierunkiem przyszłych badań może być obrazowanie przy pomocy optyki adaptacyjnej oraz metod interferometrycznych.

2.3 Podsumowanie

Przedstawione powyżej publikacje poświęcone są detekcji nowych składników w układach zaćmieniowych oraz ich modelowaniu. Główne wyniki pracy to:

- Odkrycie nowych spektroskopowych składników w badanych układach, w tym w układach o wysokiej krotności – cztero i pięciokrotnych.
- Wyjaśnienie hierarchii w badanych układach wielokrotnych.
- Zorganizowanie międzynarodowych spektroskopowych kampanii obserwacyjnych, z wykorzystaniem teleskopów klasy 2-m w Kanadzie, Bułgarii oraz Niemczech.
- Budowa instrumentów badawczych, teleskopów i spektrografów również zagranicznych, które były użyte do obserwacji układów wielokrotnych.
- Detekcja ruchu wokół wspólnego środka mas dla dużych orbit dla dwóch układów spektroskopowo potrójnych DY Lyn oraz GT UMa.
- Wyznaczenie dokładnych parametrów rozległej 281 dniowej orbity w układzie DY Lyn.
- Napisanie programu który pozwolił na "rozplątanie" ruchów na ciasnej i dużej orbicie w układach DY Lyn oraz GT UMa.
- Wykrycie efektu "Light Time" w układzie DY Lyn.
- Wyznaczenie parametrów absolutnych dla par zaćmieniowych (masy, promienie, temperatury, wiek, odległość) – modelowanie metodą Wilsona–Devinney.
- Udowodnienie przynależności dynamicznej do układów dla niektórych wizualnych składników.

Bibliografia

Bate, M. R., 2004, Rev. Mex. AA Ser. Conf., 21, 175

Gaia Collaboration, Brown, A. G. A., Vallenari, A., Prusti, T., de Bruijne, J. H. J., Mignard, F., et al., 2016, A&A, special Gaia volume

Lindgren, L., Lammers, U., Bastian, U., Hernández, J., Klioner, S., Hobbs, D., et al., 2016, A&A, special Gaia volume

Machida, M. N., Tomisaka, K., Matsumoto, T., and Inutsuka, S.-i., 2008, ApJ, 677, 327

Pineda, Jaime E., Offner, Stella S. R., et al., 2015, Nature, 518, 7538

- Tholine, J. E., 2002, ARA&A, 40, 349
- Tobin, John, J. and Kratter, Kaitlin, M., et al., 2016, Nature, 538, 7626
- Kim, Y.-C., Demarque, P., Yi, S. K., and Alexander, D. R., 2002, ApJS, 143, 499
- Yi, S., Demarque, P., Kim, Y.-C., Lee, Y.-W., Ree, C. H., Lejeune, T., and Barnes, S., 2001, ApJS, 136, 417
- Yi, S. K., Kim, Y.-C., Demarque, P., 2003, ApJS, 144, 259
- Wilson, R. E., Devinney, E. J., 1971, ApJ, 166, 605
- Zinnecker, H., 2002, ASP Conf. Ser., 285, 313

3 Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

3.1 Budowa instrumentów badawczych

W trakcie ostatniej dekady brałem udział w budowie trzech instrumentów badawczych. Pracowałem na wszystkich etapach od projektowania poprzez budowę, pisanie oprogramowania, uruchomienia, szkolenia obserwatorów, oraz serwisowania i modernizacji Poznańskiego Teleskopu Spektroskopowego 1. Byłem zaangażowany w budowie dwóch kolejnych instrumentów: PST2 oraz spektrografu Echelle dla 2-m teleskopu NAO Rozhen w Bułgarii. Brałem również udział w modernizacji oraz serwisowaniu 0.4-m teleskopu fotometrycznego w Borowcu k. Poznania.

Od października 2018 planuję włączyć się w budowę teleskopu satelitarnego PST3 (Poznań Satellite Telescope). Docelowo system ma być w pełni automatyczny, ma samodzielnie planować i wykonywać obserwacje astrometryczne satelitów. Budowa systemu zaplanowana jest w Parku Ciemnego Nieba w Chalinie, około 70 km od Poznania. System będzie się składał z 0.7-m teleskopu CDK 700 firmy Planewave oraz 4 mniejszych teleskopów do poszukiwania śmieci kosmicznych.

Poznański Teleskop Spektroskopowy 1 – Pracę w projekcie PST1 rozpocząłem od razu po ukończeniu doktoratu w roku 2006 na etacie naukowo technicznym. Wraz z inż. R. Baranowskim pracowałem nad montażem teleskopu i spektrografu jak również nad justowaniem optyki obu instrumentów. Brałem udział w projektowaniu niektórych elementów.

Po ukończeniu teleskopu uzyskałem pierwsze widmo. Szybko okazało się że teleskop spełnia pokładane w nim nadzieje. Zasięg oceniliśmy na 11 mag dla 0.4-m luster, które były zainstalowane w początkowym okresie. Opracow-

ałem procedury obserwacyjne i przeszkoliłem obserwatorów. W pierwszym roku obserwacji udało się zgromadzić 1800 widm. Spektrograf charakteryzuje się dobrą stabilnością. W długim okresie czasu rozrzut danych wynosi około 100 ms^{-1} a w ciągu jednej nocy zaledwie 35 ms^{-1} .

Przez wszystkie 11 lat pracy teleskopu zajmowałem się serwisowaniem i modernizacjami teleskopu. Między innymi pracowałem przy wymianie zwierciadeł, justowaniu i czyszczeniu optyki oraz remontach kamery CCD spektrografu. Ostatnią dużą modernizację teleskopu wykonałem w 2015 roku. Celem zmian w systemie było umożliwienie pracy zdalnej teleskopu. Aktualnie cały proces obserwacji można prowadzić zdalnie przez internet.

Poznański Teleskop Spektroskopowy 2 – Projekt GATS

Na podstawie doświadczeń z teleskopu PST1 powstał nowy teleskop PST2. Kierownikiem projektu jest dr Krzysztof Kamiński. Teleskop był zaprojektowany do pracy zdalnej i posiada wysoki stopień automatyzacji. System składa się z 0.7-m teleskopu na montażu azymutalnym z silnikami typu direct drive firmy Planevawe oraz spektrografu Echellé zbudowanego w Poznańskim obserwatorium. Teleskop posiada dwa ogniska Nasmytha, w jednym z nich znajduje się FUI (Fiber Injection Unit), a w drugim szybka kamera Andor do obserwacji satelitów oraz fotometrii. W projekcie GATS pracowałem głównie przy analizie uzyskanych danych oraz jako konsultant przy budowie teleskopu. Pomagałem również przy wykonaniu niektórych elementów instrumentu.

Spektrograf Echellé dla NAO Rozhen Bułgaria Współpraca przy budowie nowego spektrografu dla 2-m teleskopu NAO Rozhen rozpoczęła się od zainteresowania strony bułgarskiej spektrografami wybudowanymi w Obserwatorium w Poznaniu. Zostałem zaproszony na konferencję poświęconą 30-to leciu pracy teleskopu, na której przedstawiłem wyniki naszej pracy oraz szczegóły techniczne dotyczące spektrografów. Zorganizowałem przyjazd grupy astronomów i optyków z Bułgarii oraz zaprezentowałem szczegóły konstrukcji i działania teleskopów i spektrografów PST1 i PST2. Dzięki tej współpracy powstał spektrograf Echellé dla 2-m teleskopu. Wspólne programy prowadzimy do dziś. Pierwsze testy i wyniki zostały opublikowane w pracach Bonev et al. 2014 oraz Bonev et al. 2017, których jestem współautorem.

3.2 Testy nowych metod kalibracji widm

W ciągu pierwszych lat pracy teleskopu PST1 przeprowadziłem różne testy i eksperymenty dotyczące kalibracji widm w długości fali. Spektrograf jest dobrze ustabilizowany termicznie, nie posiada jednak stabilizacji ciśnieniowej, która jest zbyt skomplikowana i kosztowna. Stabilizacja temperatury jest pasywna i aktywna. Za aktywną stabilizację odpowiada termostat i grzejnik, które utrzymują temperaturę pomieszczenia spektrografu $20 \pm 1^\circ\text{C}$. Obudowa spektrografu to podwójna skrzynia aluminiowa z 5-cio cm warstwą styropianu pomiędzy. We wnętrzu znajduje się 300 kg płyta granitowa, która zapewnia stabilność mechaniczną i działa jak akumulator ciepła, który nie pozwala

na szybkie wahania temperatury we wnętrzu spektrografu. Całość oparta jest na 4 podporach z warstwami antywibracyjnymi które pochłaniają różne częstotliwości. Kamera spektrografu chłodzona jest 5-cio stopniowym blokiem Peltiera do temperatury -100°C , a ciepło odprowadzane jest węzami z płynem chłodniczym o temperaturze 15°C . Standardowo teleskop pracuje w klasycznym trybie kalibracji, przed i po widmie obiektu wykonywane są widma kalibracyjne lampy torowo-argonowej. Pierwsze testy jakie prowadziłem to wykonywanie długich serii widm obiektu bez widm kalibracyjnych bazując na dobrej stabilności spektrografu. Na początku i końcu trzygodzinnej serii wykonywałem pięć ramek kalibracyjnych do uśrednienia. Wynik takiego testu pokazuje Fig. 12. Uzyskałem rozrzut w danych 35 ms^{-1} oraz dużą częstość próbkowania. Jest to krzywa prędkości radialnych dla gwiazdy pulsującej γ Pegassi.

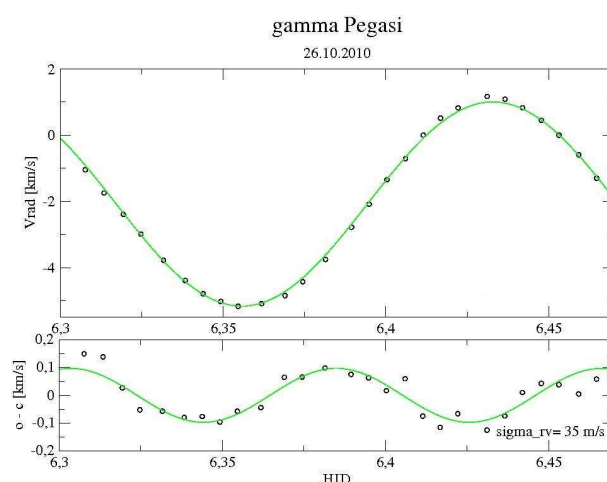


Figure 12: Krzywa prędkości radialnych dla γ Pegassi.

W ramach jednego z grantów na teleskopie PST1 w Borowcu testowałem komórki jodowe. Są to prawdopodobnie pierwsze w Polsce obserwacje gwiazd przy pomocy komórki jodowej. Idea stosowania komórki w celu zwiększenia dokładności pomiarów prędkości radialnej polega na przepuszczeniu światła obiektu przez opary jodu, które dają dużą ilość wąskich linii absorpcyjnych w okolicy $5000\text{-}6000\text{ \AA}$. Linie te stosowane są jako markery długości fali. Naświetlane są jednocześnie z liniami obiektu więc wszelkie przesunięcia powodowane zmianami ciśnienia i temperatury są jednakowe dla obiektu i widma kalibracyjnego. Technika ta stosowana jest w przypadkach kiedy wymagana jest dokładność poniżej 10 ms^{-1} , głównie do obserwacji efektów dynamicznych wywołanych planetami pozasłonecznymi. Komórka jodowa była zamontowana przed wejściem do światłowodu zasilającego spektrograf w ognisku teleskopu. Testy wykazały, że jesteśmy w stanie w przypadku PST1 za pomocą komórki jodowej zejść z dokładnością co najmniej do 17 ms^{-1} (Rys. 13).

Jednoczesne naświetlanie widma obiektu i kalibracyjnego pozwala na zwiększenie dokładności kalibracji. Przeprowadziłem testy mieszania światła kali-

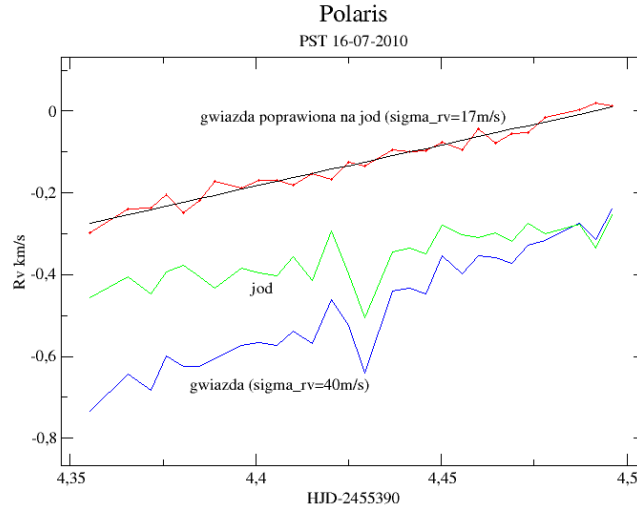


Figure 13: Obserwacje Polaris przy pomocy komórki jodowej.

bracyjnego z tym od obiektu. Do tego celu lampa kalibracyjna wraz z układem optycznym dającym równoległą wiązkę były zamontowane na wejściu teleskopu i skierowane na zwierciadło główne równoległe do osi optycznej. Na Rys. 14 widać widmo gwiazdy z nałożonymi liniami emisyjnymi lampy kalibracyjnej które są naszymi markerami długości fali.

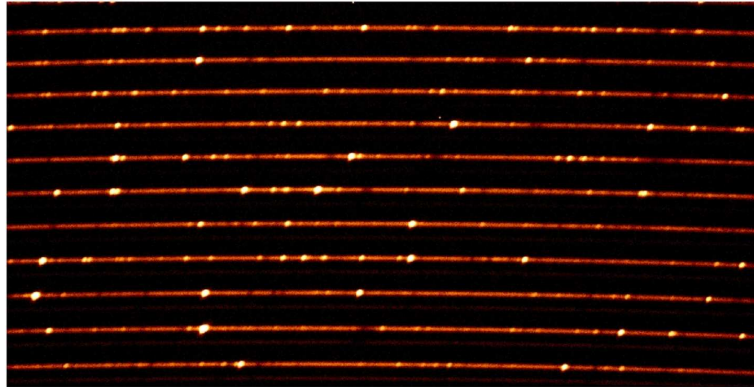


Figure 14: Mieszanie światła od obiektu i lampy kalibracyjnej.

Spektrograf PST1 posiada stabilizację termiczną jednak stabilizacja ciśnieniowa jest zbyt kosztowna i posiadają ją tylko najlepsze spektrografy na świecie. Rozpocząłem również testy możliwości wprowadzania poprawek do pomiarów RV na podstawie pomiarów ciśnienia i temperatury. Badania te kontynuował dr K. Kamiński na teleskopie PST2, po zakupieniu wysokiej klasy mierników ciśnienia i temperatury.

Testy i eksperymenty wykonane na PST1 posłużyły i będą służyć w przyszłości przy rozwoju Poznańskich Teleskopów Spektroskopowych. W

przyszłości planuję wprowadzenie jednoczesnego naświetlania widma ThAr i obiektu jako dwa równoległe widma stosując dwa światłowody. Technika ta jest stosowana między innymi w przypadku HARPS.

3.3 Obserwacje oraz modelowanie planet pozasłonecznych

Kolejnym kierunkiem zainteresowań w mojej pracy badawczej są planety pozasłoneczne. Zajmowałem się obserwacjami spektroskopowymi oraz zastosowaniem metody Wilsona–Devinney do modelowania par gwiazda macierzysta planeta. Zajmowałem się elipsoidalnymi zmianami blasku oraz plamami na powierzchni gwiazdy macierzystej indukowanymi planetą. Opiekowałem się dwoma pracami magisterskimi z zakresu badań planet pozasłonecznych. Teleskop oraz spektrograf PST1 okazały się wystarczająco stabilne do obserwacji jasnych układów, o dużej amplitudzie zmian prędkości radialnej dla gwiazdy macierzystej. Takim obiektem jest τ Bootis A, który posiada planetę o masie około $7 M_{jup}$. Amplituda zmian prędkości wynosi około 500 m s^{-1} , a okres 3.3 doby. W ramach jednej z prac magisterskich uzyskano krzywą prędkości radialnych (Rys. 15). Wykres pokazuje długookresową stabilność spektrografu, w przypadku tego obiektu rozrzut danych wynosi 83 m s^{-1} .

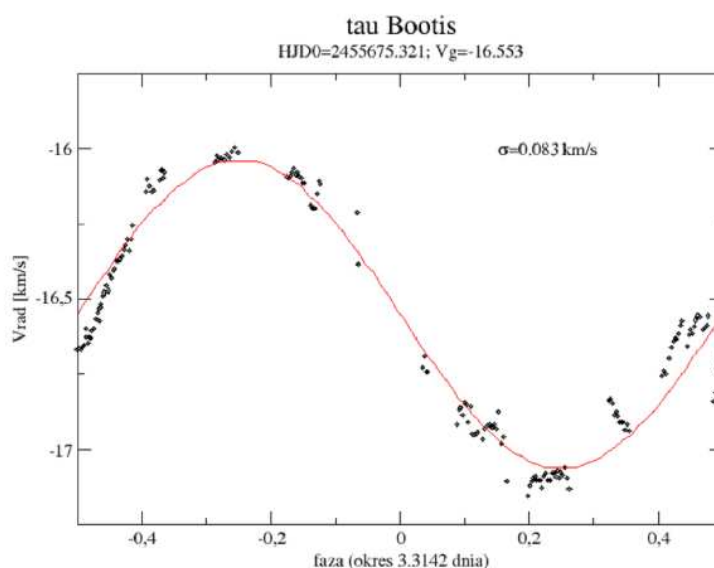


Figure 15: Krzywa prędkości radialnych dla gwiazdy macierzystej τ Bootis A.

Bibliografia

- Bonev, T. et al., 2014, The Astronomer's Telegram, No. 5829, 1B
 Bonev, T. et al., 2017, Bulgarian Astronomical Journal, Vol. 26, p. 67

3.4 Autorstwo i współautorstwo publikacji naukowych

Jestem współautorem ogółem 16 publikacji z bazy Journal Citation Reports (JCR), część A, z których 14 ukazały się po uzyskaniu przeze mnie stopnia naukowego doktora. Jestem również autorem lub współautorem 19 innych publikacji. Łączna liczba cytowań wg. SAO/NASA Astrophysic Data System (ADS) wynosi 144. Na podstawie bazy Web of Knowledge wynosi 87. Mój indeks Hirscha wynosi 6.

Szczegółowa lista publikacji w załączeniu.

W większości prac przyjąłem pisownie nazwiska "Dimitrov", które oryginalnie jest pisane cyrylicą. Jednak w paru pracach użyto pisowni "Dymitrov" lub "Dimitrow". Pełną listę moich publikacji można znaleźć na stronie <http://pallas.astro.amu.edu.pl/~voyager/>
odnośnik: PUBLIKACJE

3.5 Udział w projektach badawczych

Wykonawca w grantie ESA *"Space Surveillance and Tracking in Observational Network with Event-based Sensors"*, Contractors: 6ROADS, OA UAM, ITTI, UZH Zurich, 12 miesięcy, 2018/2019 r.

Wykonawca w grantie *"System optycznych robotycznych sensorów satelitarnych"*, kierownik grantu dr Krzysztof Kamiński, grant aparaturowy MNiSW 6725/IA/SP/2017.1, 2017-2019 r.

Wykonawca w grantie *"Globalny Teleskop Astrofizyczny"*, kierownik grantu dr Krzysztof Kamiński, 2011/01/D/ST9/00427, 2011–2016 r.

Wykonawca w grantie *„Badanie cefeid za pomocą prędkości radialnych”*, kierownik grantu: dr hab. T. Kwiatkowski, 1P03D 025 29, zakończenie grantu listopad 2008 r.

Wykonawca w grantie *„Spektroskopia i fotometria układów zaćmieniowych do ich kalibracji jako kosmologicznych wskaźników odległości”*, kierownik grantu: dr hab. T. Kwiatkowski, 5P03 D002 20, 2001–2003 r.

Wykonawca w grantie KBN, CAMK, *"SHAPE: Odległości Cefeid z kształtu ich krzywej blasku"*, kierownik prof. Aleksander Szwarczenberg-Czerny, KBN 2P03 D018 18, 2000–2002 r.

3.6 Nagrody i wyróżnienia

- Nagroda Zespołowa II stopnia Rektora UAM za osiągnięcia naukowe, 2016r.
- Wniosek o Nagrodę Zespołową II stopnia Rektora UAM za osiągnięcia naukowe w 2018r. Wniosek został poparty przez Radę Wydziału.

3.7 Udział w konferencjach międzynarodowych

- „Wrocław HELAS Workshop – Interpretation of astroseismic data”
(23 - 27 czerwca 2008), Wrocław, Poland
Referat: Radial-velocity observations of pulsating stars with a new Poznań Spectroscopic Telescope
- „Binaries – Key to Comprehension of the Universe”
(8 - 12 czerwca 2009), Masaryk University, Brno, Czech Republic.
Poster: FM Leonis - the tale of twins, (współautor)
- „Rozhen National Astronomical Observatory: Thirty Years Eyes on the Sky” (26 - 29 września 2011), Bułgarska Akademia Nauk
Referat zaproszony:
Fiber Fed Echelle Spectroscopy in Poznań
- „Second National Congress on Physical Sciences, Bulgaria”
25–29 September 2013, Sofia
Union of Physicists in Bulgaria, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia University St. Kliment Ohridski, Ministry of Education, Youth and Science
- „KOLOS Slovakia - variable stars”
3 – 5 December 2015, Slovakia Vihorlat Observatory, Humenné
Referat:
Spectroscopy of multiple stars with eclipsing component
- „International meeting on variable stars research”
1 - 3 December 2016, Slovakia, Vihorlat Observatory, Humenné
Referat: Echelle spectroscopy in Poznań

3.8 Konferencje krajowe

- „GATS Workshop”, (20-21 Maja 2017)
Instytut Obserwatorium Astronomiczne UAM, Poznań
główny organizator
Referat: Teleskop w Borowcu (PST1)
Referat: Modernizacja teleskopu PST1

- „Wykorzystanie Małych Teleskopów II” (16 - 17 czerwca 2011) Instytut Fizyki Uniwersytetu Opolskiego
Referat: Poznański Teleskop Spektroskopowy
Poster (współautor)
- „XXXV Zjazd Polskiego Towarzystwa Astronomicznego” (11 - 15 września 2011) Instytut Fizyki Uniwersytetu Opolskiego
Referat: Poznański Teleskop Spektroskopowy
Poster (współautor)
- „50 lat zaćmień U Geminorum” (5 grudnia 2011 roku) Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika PAN
- „Wykorzystanie małych teleskopów” (Kraków-Koninki 10-12 Maja 2013) Katedra Astronomii Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie,
Członek SOC,
Referat: Globalny Teleskop Astrofizyczny (współautor Krzysztof Kamiński)
- „Software Systems for Astronomy” 7-18 July 2014, Poznań Institute Astronomical Observatory, Faculty of physics, Adam Mickiewicz University
Referat zaproszony: Spectroscopy with PST1
- „Polska w Kosmosie” 26-27 listopada 2015, Warszawa, Instytut Lotnictwa
- „Udział Polski w europejskim programie SSA (Space Situational Awareness)” 6 kwietnia 2016, Poznań Polska Agencja Kosmiczna - POLSA i Instytut Obserwatorium Astronomiczne, Wydział Fizyki, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza
- „Warsztaty praktyczne ESO” 7 lutego 2017, Warszawa Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika PAN (CAMK PAN) oraz Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Warszawskiego
- „Spotkanie z przedstawicielem NASA Arturem B. Chmielewskim (Rosetta PI) oraz przedstawicielami polskich firm branży kosmicznej” 4 czerwca 2018, Poznań Instytut Obserwatorium Astronomiczne, Wydział Fizyki, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza

3.9 Członkostwo w międzynarodowych i krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych

- Jestem członkiem Międzynarodowej Unii Astronomicznej

3.10 Staże w zagranicznych ośrodkach naukowych lub akademickich

- Bułgaria, wielokrotne wyjazdy na obserwacje do obserwatorium NAO Rozhen – obserwacje spektroskopowe na 2-m teleskopie Ritchey-Cretien Coudé.
- Kanada, miesięczny wyjazd do David Dunlap Obserwatory – obserwacje spektroskopowe na 1.88-m teleskopie.

3.11 Szkolenia z zakresu obsługi teleskopu spektroskopowego PST1 oraz redukcji danych

Poza corocznymi praktykami dla studentów z Polski prowadziłem również szkolenia dla doktorantów i adiunktów z obsługi teleskopu PST1, z redukcji danych z spektrografu Echelle oraz pomiarów prędkości radialnych.

- Tomasz Zdrawkow – obserwacje gwiazd pulsujących
– doktorant, CAMK Warszawa
- Sebastian Kurowski – obserwacje układów zaćmieniowych
– doktorant, Kraków
- dr Waldemar Ogłóza – obserwacje układów zaćmieniowych
– adiunkt, UP Kraków

3.12 Kierownictwo i opieka nad pracami magisterskimi

W trakcie ostatnich 10 lat byłem kierownikiem lub zajmowałem się opieką nad 8 pracami magisterskimi. Pomagałem studentom włączyć się w pracę naukową zespołu spektroskopowego. Cztery osoby z którymi pracowałem kontynuowały kształcenie z zakresu astronomii na studiach doktoranckich w Polsce lub za granicą.

Opiece nad studentami poświęciłem ogromną ilość czasu. Aby móc poświęcić się przygotowaniu rozprawie habilitacyjnej, decyzją dyrekcji IOA, zostałem zwolniony z kierowania pracami magisterskimi od 2014 r.

Wyznaczenie parametrów układów podwójnych zaćmieniowych

FM Leo i FK Leo

Milena Ratajczak (Poznań 2008)

aktualnie: ukończyła doktorat CAMK Warszawa

– opiekun pracy

Modelowanie układów zaćmieniowych BD-002862 i HD 67894

Rafał Szudera (Poznań 2009)

– opiekun pracy (nieformalne kierownictwo pracy)

Badania planet pozastonecznych – zastosowanie metody Wilsona-Devinney

Elżbieta Andrzejewska (Poznań 2010)

– opiekun pracy (nieformalne kierownictwo pracy)

Obserwacje spektroskopowe oraz modelowanie układu HD 65498

Justyna Sękańska (Poznań 2010)

– opiekun pracy (nieformalne kierownictwo pracy)

Obserwacje spektroskopowe układów zaćmieniowych pół-rozdzielonych

Patrycja Bagińska (Poznań 2011)

aktualnie doktorant UAM Poznań

– kierownik pracy

Obserwacje spektroskopowe planety pozastonecznej τ Bootis

- badanie stabilności spektrografu

Tomasz Kowalczyk (Poznań 2011)

– kierownik pracy

Obserwacje spektroskopowe oraz modelowanie układów HT Vir i RR Lyn

Katarzyna Bensch (Poznań 2012)

aktualnie doktorant IAA Hiszpania

– opiekun pracy (nieformalne kierownictwo pracy)

Analiza obserwacji spektroskopowych gwiazd zaćmieniowych i pulsujących
Natalia Żywucka (Poznań 2013)
aktualnie doktorant UJ Kraków
– kierownik pracy

Modelowanie gwiazdy symbiotycznej SY Mus na podstawie obserwacji fotometrycznych i spektroskopowych
Aleksandra Leśniewska (Poznań 2018)
– pomagałem przy analizie danych nie będąc kierownikiem ani opiekunem pracy

3.13 Pomoc przy pracach doktorskich

Oscylacje hybrydowe gwiazd typu B ciągu głównego
Warszawa 2013
dr Tomasz Zdrawkow, CAMK
– pomagałem w obserwacjach i redukcji danych

Spektroskopia gwiazd podwójnych
Patrycja Bagińska, doktorant UAM, Poznań
– pomagałem w obserwacjach, analizie danych i pisaniu publikacji
– po otwarciu przewodu doktorskiego będę promotorem pomocniczym lub promotorem

Spektroskopia gwiazd pulsujących
Ewa Kosturkiewicz, doktorant UAM, Poznań
– pomagałem w redukcji danych i przygotowaniu do konferencji