

# Chapter 1

## Streszczenie (Abstract, PL)

Niniejszy dokument jest ekwiwalentem rozprawy doktorskiej realizowanej w tak zwanym nowym trybie, t.j. forma klasycznej tezy została zastąpiona opublikowanymi pracami recenzowanymi uzupełnionymi obszernym opisem w j. angielskim oraz streszczeniem w j. polskim. Dokument przedstawia wyniki badań wstępnych, symulacji, pracy nad sprzętem, projektowaniem i wykonaniem oprogramowania, pozyskiwaniem danych, ich redukcją i analizą w kontekście niekeplerowskich efektów w gwiazdach podwójnych, zaćmieniowych. Wykonana praca pokrywa szerokie spektrum zagadnień związanych z badaniem tematu, od budowy instrumentów, ich uruchomienia, przez symulacje efektów przewidzianych przez teorię w warunkach zbliżonych do rzeczywistych do stworzenia kompletnego środowiska redukcji i analizy danych spektroskopowych, planowania, wykonania i analizy danych z kampanii obserwacyjnych. Niniejsza rozprawa składa się ze streszczeń w języku angielskim i polskim, szczegółowego streszczenia w języku angielskim i czterech załączników będących recenzowanymi publikacjami opublikowanymi w czasopiśmie z Journal Citation Reports (JCR) zgodnie z wymogami polskiego prawa.

Wstępne badania rozpoczęły się wyborem efektów nie-keplerowskich, których badanie może najwięcej skorzystać na rozwoju nowych komponentów sprzętowych i programistycznych. Pierwszy wybrany efekt był oparty na wpływie względnie odległego trzeciego ciała na wewnętrzny składnik podwójny. Precyzyjne obserwacje fotometryczne gwiazd zaćmieniowych zostały wybrana jako sposób pomiaru, a chronometraż zaćmień jako metoda pozwalająca na detekcję trzeciego ciała, bazująca na efekcie światła i czasu (ang. Light Time Effect, LTE). Autor stworzył numeryczny, geometryczny model układu podwójnego i towarzyszące narzędzia do przeprowadzania symulacji na dużą skalę (setki tysięcy układów), analizę danych. Symulacje koncentrowały się na ustalaniu granic wykrywalności dla planet około-podwójnych, tzw. planet typu p. Misje satelitarne Kepler i CoRoT, a także potencjalne limity dla naziemnych obserwacji fotometrycznych zostały wybrane jako studia przypadku. Badano zależności wiążące możliwość odkrycia planety z fizycznymi parame-

trami układów podwójnych i z parametrami geometrycznymi krzywych blasku. Sprawdzono wpływ białego i czerwonego szumu na spodziewane wyniki i ustalono czułość metody. Ważnym wynikiem pracy stała się sugestia dotyczące najlepszych celów i strategii obserwacji w zakresie wykrywania planet około-podwójnych za pomocą efektu LTE. Wyniki wpłynęły na selekcję obiektów i strategię obserwacyjną w Projekcie Solaris. Praca została opublikowana pt. *Non-Keplerian effects in precision radial velocity measurements of double-line spectroscopic binary stars: numerical simulations* w Monthly Notices of the Royal Astronomical Society w 2010 roku i jest przedstawiona w załączniku A.

Różne nie-keplerowskie efekty wpływają na kształt krzywej prędkości radialnych (ang. radial velocity RV). Gdy dokładność pomiarów osiąga  $2\text{ms}^{-1}$  widoczne stają się pływowe i rotacyjne zniekształcenie składników gwiazdy podwójnej. Efekty relatywistyczne oraz precesja orbity muszą być wtedy brane pod uwagę. Autor rozszerzył oprogramowanie modelujące gwiazdy podwójne stworzone w ramach poprzedniej publikacji i dodał do niego wybrane efekty wpływające na krzywą prędkości radialnych, dodatkowo optymalizując narzędzia do wysokowydajnych obliczeń i analizy dużych zbiorów danych. Autorzy zbadali związek między zniekształceniami pływowymi kształtu gwiazd, a dopasowaniem eliptycznej orbity, możliwością zmierzenia inklinacji orbity gwiazdy podwójnej bez widocznych zaćmień poprzez wykorzystanie efektów relatywistycznych, a także limitów na detekcję precesji orbity w zależności od precyzji pomiaru. Większość syntetycznych układów podwójnych analizowanych przez autorów wymagała korekty na analizowane efekty. Wyniki dają wgląd w spodziewane nie-keplerowskie zniekształcenia dokładnych pomiarów RV gwiazd podwójnych, ich skali i prawdopodobieństwa wystąpienia na podstawie modeli gwiazdowych Yonsei-Yale. Praca została opublikowana pt. *Non-Keplerian effects in precision radial velocity measurements of double-line spectroscopic binary stars: numerical simulations* w Monthly Notices of the Royal Astronomical Society w 2013 roku i jest przedstawiona w załączniku B.

Badania nad wykrywaniem nie-keplerowskich efektów objęły także prace nad stworzeniem sieci zrobotyzowanych teleskopów dedykowanych do pomiarów fotometrycznych gwiazd podwójnych zaćmieniowych, Projektu Solaris. Projekt został sfinansowany pod koniec 2010 r. Projekt, instalacja i uruchomienie miały miejsce w latach 2011-2014 i obejmowały 10 wizyt instalacyjnych w obserwatoriach na półkuli południowej. Autor spędził 403 dni wykonując instalację czterech obserwatoriów Solaris: w South African Astronomical Observatory w Republice Południowej Afryki (Solaris-1 i Solaris-2), w Siding Spring Observatory w Australii (Solaris-3) oraz w Complejo Astronómico El Leoncito w Argentynie (Solaris-4). Wszystkie cztery systemy są autonomiczne, działają bez ludzkiego nadzoru i zostały zaprojektowane w taki sposób aby być nowoczesnym narzędziem współczesnej astrofizyki. Autor pełnił wiodącą rolę w projektowaniu, wyko-

naniu i wdrażaniu infrastruktury informatycznej dla pojedynczych obserwatoriów i całej sieci, łącznie z przygotowaniem niezbędnych sterowników sprzętu, narzędzi pomocniczych, projektowaniem i oprogramowaniem bazy danych, pierwszą wersją systemu redukcji i analizy danych. Podczas budowy obserwatoriów autor był odpowiedzialny za szereg zagadnień technicznych związanych z instalacją, tj. logistykę, planowanie i wsparcie prac budowlanych, montaż kopuły, instalację i konfigurację sprzętu, kolimację optyczną i integrację systemu. Autor przeprowadził początkowe obserwacje, dokonywał ich redukcji i analizy, które posłużyły do oceny jakości i wydajności poszczególnych obserwatoriów oraz całego systemu, jego dalszych optymalizacji oraz wspierał dalsze obserwacje i analizę danych uwzględnionych w publikacji. Zbiór opublikowanych danych obejmuje modelowanie tranzytów planet pozasłonecznych (Wasp-4b, Wasp-64b i Wasp-98b) do celów analizy sensorów, PG1336-018, układ podwójny zaćmieniowy ze składnikiem pulsującym do badania wysokiej kadencji obserwacji i J024946-3825.6, układ podwójny o niskiej masie dla którego kompletny model został stworzony po raz pierwszy. Wyniki te zostały opublikowane w pracy pt. *Project Solaris – a Global Network of Autonomous Observatories - Design, Commissioning and First Science Results* w czasopiśmie *Publications of the Society of the Pacific* w 2017 roku (załącznik C).

Ostatnim aspektem badań była przeglądowa kampania obserwacyjna „Torun Rossiter-McLaughlin Survey”, w ramach której autor wyselekcjonował zestaw układów podwójnych zaćmieniowych, przeprowadził ich obserwacje, zredukował i przeanalizował uzyskane dane, aby zmierzyć wyrównanie osi obrotu gwiazd z orbitą wykorzystując dane spektroskopowe oraz fotometryczne. Prace obejmowały przygotowanie i przeprowadzenie kampanii obserwacyjnej na różnych instrumentach, projektowanie i rozwój oprogramowania umożliwiającego modelowanie widm i krzywej blasku podczas zaćmienia, w oparciu o równania analityczne. Wynikiem badań są zmierzone nachylenia osi obrotu do orbity dla pięciu gwiazd, badanie znacząco zwiększyło (z 9 do 14) precyzyjnie zmierzoną próbkę gwiazd, dla których ten kąt został zmierzony. Badania przyczyniły się do pogłębienia wiedzy w zakresie odpowiedzi na pytanie czy elementy orbitalne odzwierciedlają właściwości obłoku molekularnego (ang. protostellar cloud), czy też wynikają z dynamicznej ewolucji układu po jego uformowaniu. Opracowane oprogramowanie z dalszymi obserwacjami może w przyczynić się do powiększenia naszej wiedzy na temat źródła niewyrównanych osi obrotu gwiazd w stosunku do ich orbity w układach podwójnych. Obserwacje i prace są kontynuowane. Praca została opublikowana pt. *Tracking spin-axis orbital alignment in selected binary systems: the Torun Rossiter-McLaughlin effect survey* w *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* w 2018 roku i jest przedstawiona w załączniku D.

