

**“Towards automated spectroscopic and photometric survey of eclipsing binaries with the network of robotic telescopes SOLARIS”**

To John Goodricke w 1783 roku jako pierwszy zasugerował zjawisko zaćmiewania światła jednej gwiazdy przez inną, by wyjaśnić efekt zmian blasku w obserwacjach  $\beta$  Persei. Jednak terminu *gwiazda podwójna* jako pierwszy użył William Herschel, gdy udało mu się zaobserwować układ gwiazd podwójnych astrometrycznie, czyli gdy na kliszy fotograficznej można było rozróżnić dwie gwiazdy obok siebie. Dalsza historia prowadzi do roku 1889, kiedy to Edward Pickering rozpoczął badania ciasnych układów gwiazd podwójnych, co było spowodowane spektroskopową obserwacją zaskakującego zachowania linii widmowych gwiazdy Mizar. Otóż linie te nie tylko się przemieszczały, ale czasem stawały się podwójne. Nieco później Carl Vogel, wyjaśniając naturę tych ruchów, utworzył termin układ podwójny spektroskopowo. Pierwszym jednak układem, który nie tylko był podwójny – co przejawiało się przemieszczaniem i rozdzieleniem linii widmowych – lecz także zaćmieniowy – co z kolei widoczne było w ciągu obserwacji fotometrycznych jako wyraźny okresowy spadek jasności obiektu – był  $\beta$  Aurigae, odkryty przez Joela Stebbinsa w 1911 roku.

Od tamtego momentu rozpoczęły się poszukiwania i badanie zaćmieniowych układów gwiazd podwójnych. Wynika to z tego, że bazując jedynie na obserwacjach fotometrycznych i spektroskopowych jesteśmy w stanie wyznaczyć podstawowe parametry gwiazd oraz przeprowadzić szeroką gamę testów dotyczących struktury, ewolucji i dynamiki gwiazd. Henry Russell nazwał wręcz badanie układów zaćmieniowych *królewską drogą astrofizyki gwiazdowej*.

Z tej grupy gwiazd bardzo interesującą podgrupą są podwójne układy rozdzielone (ang. *Detached Eclipsing Binaries, DEBs*). Układem rozdzielonym nazywany jest układ, którego gwiazdy są na tyle odległe, że można założyć, iż nie zachodziła między nimi wymiana materii. To z kolei pozwala przyjąć, że ewolucja składników układu może być rozpatrywana tak jak ewolucja gwiazd pojedynczych. Obecnie jednak precyzyjnie zbadanych jest około 200 układów tego typu. Dlaczego tak jest?

W ostatnim szerokim przeglądzie z 2010 roku przedstawiono wyniki i analizy z kilku dekad obserwacji dla grupy 94 układów. Jednym z wniosków z tej pracy jest to, że podstawową przyczyną tak długiego czasu przygotowania wyników i skromną próbką precyzyjnie zbadanych układów jest oczekiwanie na czas obserwacyjny.

Jest to, w istocie, podstawą ideową projektu SOLARIS w ogólności oraz pracą autora tezy jako członka grupy projektowej. Pomimo, że SOLARIS jest projektem naukowym z natury, w ramach wczesnych faz przygotowawczych zrozumianym było, iż będzie to projekt bardzo techniczny w realizacji. Przeważnie jest to prawdą, że wkraczając w nowe dziedziny należy spodziewać się niespodziewanego, a by osiągnąć zamierzone cele wiele niespodziewanych problemów będzie musiało być rozwiązanych po drodze. Ponadto, zawsze pojawiają się nowe okoliczności i możliwości, które mogą potencjalnie ubogacić pierwotne idee, lecz jednak zwiększą liczbę zadań do wykonania. Bardzo ciężkim jest je uwzględnić, lecz jesteśmy odkrywcami, a nowe rzeczy nas pociągają.

Z początku projekt SOLARIS planowany był jako przegląd fotometryczny. Niemniej w 2013 roku do sprzętu projektowego dołączył spektrograf BACHES, który miał na celu umożliwienie prowadzenie równoległych obserwacji przeglądowych fotometrycznych i spektroskopowych, których rezultaty – prędkości radialne

oraz krzywe zmian blasku – miałyby po analizie przyczynić się do rozszerzenia małej obecnie próbki precyzyjnie przeanalizowanych układów DEB.

Przygotowana rozprawa doktorska jest historią przedsięwzięcia jakim było i jest ustanowienie SOLARIS-a jako automatycznego fotometrycznego i spektroskopowego przeglądu gwiazd podwójnych w celu dostarczania precyzyjnie przeanalizowanych układów podążając królewską drogą astrofizyki gwiazdowej i ostatecznie – zwiększenia naszego zrozumienia Wszechświata. W szczególności istotną częścią jest prowadzenie obserwacji spektroskopowych oraz uwzględnienie w systemie teleskopu SOLARIS-1 wraz z podłączonym spektrografem BACHES jako rozszerzenia podstawowej funkcjonalności sieci.

Obecnym celem projektu jest działanie w ramach pełnej automatyzacji podczas wykonywania fotometrycznych i spektroskopowych obserwacji przeglądowych zaćmieniowych układów podwójnych gwiazd w ramach uzyskiwania  $\sim 20$  nowo opisanych układów rocznie. Przegląd fotometryczny docelowo ma produkować dane wysokiej jakości, z błędami na poziomie  $\sim 1\text{mmag}$ , niemniej przegląd spektroskopowy nie osiągnie wysokiej precyzji, czyli precyzji na poziomie  $\text{ms}^{-1}$ , a precyzję rzędu kilku  $\text{km s}^{-1}$ , czyli wyznaczenie mas z precyzją  $\sim 3\%$ . Ta praca pokazuje, że w korzystnych warunkach precyzja może zejść nawet do poziomu  $\sim 1\%$ . Stąd dla najbardziej interesujących i wymagających obserwacyjnie obiektów podejściem jest ubieganie się o czas na dużych teleskopach wyposażonych w spektrografy wysokiej rozdzielczości tak, by uzyskiwać precyzję wyznaczania mas i promieni na poziomie  $\sim 1\%$ , bądź lepszym.

Autor brał udział w fizycznym ustanawianiu sieci SOLARIS oraz w pracach podtrzymujących jakość i poziom pracy, jest kluczowym architektem tworzącym rozwiązania programistyczne dedykowane zadaniowaniu i kontroli (ang. *Command and Control, C2*), administracji, zarządzaniu oraz monitorowaniu poszczególnych węzłów sieci oraz sieci jako całości; przygotowywał i implementował protokoły i systemy komunikacji i transferu danych obserwacyjnych; pracował w celu ustanowienia warstwy utrzymania danych i metadanych; implementował kluczowe części systemu procesowania (uwzględniając przygotowanie dedykowanej biblioteki do odczytu i zapisu danych FITS, jak i opracowanie biblioteki transformacji czasowych dla projektu); oraz jest architektem i wdrażał zrobotyzowany system prowadzenia obserwacji spektroskopowych w sieci SOLARIS. W kontekście ustanowienia trzonu technologicznego projektu autor pracował głównie z Piotrem Sybilskim oraz Stanisławem Kozłowskim. W kontekście dyskusji naukowych, analizy i modelowania danych astronomicznych autor pracował przede wszystkim z Krzysztofem Hełminiakiem oraz Piotrem Sybilskim.