



Toruń, 12. kwietnia, 2019 r.

prof. dr hab. Krzysztof Goździewski
Centrum Astronomii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika
Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej
ul. Grudziądzka 5, PL-87-100 Toruń

Recenzja rozprawy doktorskiej mgra Piotra Sybilskiego
*Detection of non-keplerian effects in eclipsing binary stars:
from simulations to “Solaris”, a global network of robotic telescopes*

PRZEDMIOT ROZPRAWY DOKTORSKIEJ I AKTUALNOŚĆ TEMATU BADAŃ.

Rozprawa doktorska mgra Piotra Sybilskiego poświęcona jest badaniom obserwacyjnym i teoretycznym podwójnych, zaćmieniowych układów gwiazdowych. Ich główny cel to możliwie precyzyjne określenie parametrów fizycznych składników takich gwiazd oraz ewentualne wykrycie ich bezpośrednio niewidocznych towarzyszy o małej masie – planet i brązowych karłów lub czerwonych karłów. Rozprawa zawiera także istotny i rozległy wątek naukowo-techniczny, jakim jest udokumentowany i intensywny udział Autora w opracowaniu założeń naukowych, budowie i uruchomieniu sieci czterech robotycznych (autonomicznych) teleskopów optycznych, w ramach projektu SOLARIS, kierowanego przez prof. Macieja Konackiego (Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika PAN w Warszawie).

Problematyka rozprawy jest aktualna w związku z renesansem zainteresowania wielokrotnymi systemami gwiazdowymi, z uwzględnieniem planet i innych mało-masywnych składników tych systemów oraz trwające wysiłki w celu scharakteryzowania funkcji masy w otoczeniu Słońca. W ostatniej dekadzie rośnie lawinowo ilość danych fotometrycznych, dostarczanych przez przeglądy naziemne, a także i przede wszystkim przez dedykowane misje kosmiczne, jak KEPLER, KEPLER-K2 (zakończone), TESS (realizowana obecnie). Planowane jest wkrótce, w perspektywie 2-3 lat uruchomienie fotometrycznych przeglądów CHEOPS i PLATO. Stwarza to potrzebę i możliwość systematycznego monitorowania wybranych obiektów w celu ich identyfikacji i potwierdzenia charakteru (w tym eliminacji zjawisk naśladujących obecność towarzyszy), precyzyjnego wyznaczenia mas i struktury wewnętrznej składników gwiazdowych oraz śledzenia efektów długookresowych (np. pływowych). Sieć SOLARIS może być i już jest, według relacji Autora, efektywnym narzędziem obserwacyjnym, szczególnie w przypadku jasnych gwiazd, którym poświęcone są globalne przeglądy nieba, jak TESS, CHEOPS i PLATO. Rozprawa doktorska mgra Sybilskiego wpisuje się zatem w nurt współczesnej astronomii gwiazdowej w zakresie obserwacji fotometrycznych i spektroskopowych, jak i teorii ewolucji gwiazd podwójnych, szczególnie w systemach wielokrotnych z mniej masywnymi składnikami. Obejmuje ona etapy formowania się układów wielokrotnych, po ich długookresową ewolucję orbitalną, podlegającą efektom fizycznym implikującym „niekeplerowski” charakter, tj. wykraczający poza matematyczne sformułowanie problemu dwóch punktów materialnych z siłą grawitacji, w ramach mechaniki klasycznej. W założeniach, celem rozprawy są symulacje i analiza teoretyczna skali efektów „nie-keplerowskich”, aspekty instrumentalne, po rzeczywiście, „produkcyjny” przegląd wybranych obiektów.

FORMA I ZAWARTOŚĆ ROZPRAWY.

Rozprawa ma formę zbioru czterech publikacji recenzowanych, które opatrzone kilkunastostronicowym streszczeniem w języku polskim, kilkunastostronicowym, rozszerzonym przewodnikiem do materiału w języku angielskim wraz z listą publikacji Autora, bibliografią i dodatkami zawierającymi kopie opublikowanych artykułów. Artykuły te, tworzące trzon rozprawy ukazały się w *Monthly Notices of the RAS*, $IF \approx 5$ (nazywane są tutaj jako prace I, II i IV, w kolejności chronologicznej) oraz w *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, $IF \approx 3.5$ (praca III). Wszystkie artykuły są wieloautorskie, mają od trzech (praca I), czterech (praca II) do siedmiu autorów (prace III i IV). Do każdego z nich dołączono oświadczenia współautorów o szczegółowej kontrybucji do ich treści, wyników i zakresu opracowań. Wynika z nich, że w kluczowych dla rozprawy, z czysto naukowego punktu widzenia – jak oceniam – pracach I, II i IV, mgr Piotr Sybilski jest pierwszym na liście autorem, z udziałem odpowiednio 75%, 70% i 60%. W pracy zbiorowej IV (PASP 2017), poświęconej głównie technicznemu aspektowi sieci SOLARIS, mgr Sybilski występuje jako drugi autor, deklarując udział 20%, porównywalny z trzema innymi osobami na tej liście. Łączny wkład pierwszych czterech autorów do tej publikacji wynosi 85%.

Artykuły składające się na rozprawę opublikowano w latach 2010–2018, więc w dość szerokim interwale czasu. Wszystkie prace ukazały się w wiodących czasopismach astronomicznych o zasięgu globalnym, przez co można uznać, że ich jakość merytoryczna została już zweryfikowana przez kilku niezależnych recenzentów i edytorów tych czasopism. Ułatwia to ocenę z punktu widzenia recenzenta rozprawy doktorskiej. W tym świetle, szczegóły opracowań być może nie są tak istotne, jak skupienie się na wynikach rozprawy, z uwzględnieniem ich wydźwięku i odbioru w środowisku naukowym, jak też oczywiście w kontekście wymagań merytorycznych i formalnych stawianym rozprawom doktorskim, w obowiązującym stanie prawnym i zwyczajowym.

WYNIKI UZYSKANE W ROZPRAWIE.

Dwie najwcześniejsze prace (praca I, MNRAS 2010 i praca II, MNRAS 2013) mają charakter teoretyczny. Poświęcone są symulacjom i analizie skali „nie-keplerowskich” efektów obserwacyjnych dla dwóch najważniejszych technik obserwacyjnych, używanych masowo dla gwiazd podwójnych. Fotometrii i chronometrażowi zaćmień gwiazd podwójnych oraz powiązanemu efektowi propagacji światła (Røemera lub LTT) poświęcona jest praca I. Zaburzenia keplerowskich prędkości radialnych, wynikające z deformacji pływowych, efektów teorii względności i rotacji linii absyd (potocznie zwanej precesją perycentrum) rozważono w pracy II. Dotyczy ona układów SB2 (podwójnych spektroskopowo). Artykuł III poświęcony jest głównie aspektom naukowo-technicznym projektu SOLARIS, a przedstawione w nim obserwacje i wyniki mają charakter bardziej testowy i ilustracyjny niż systematycznych badań. Ukoronowaniem rozprawy można określić pracę IV (MNRAS 2018), w której opublikowano wyniki starannie zaplanowanego i przeprowadzonego przeglądu obserwacji spektroskopowych i fotometrycznych dla czterech gwiazd podwójnych oraz analizy efektu Rossitera-McLaughlina.

W pracy I, *Detecting circumbinary planets using eclipse timing of binary stars – numerical simulations*, MNRAS 405, 2010 (Appendix A) przedstawione są wyniki symulacji i modelowania orbitalnego czasu propagacji światła w systemie składającym się gwiazdy podwójnej i dodatkowego ciała na orbicie okołobinarnej, znanego jako efekt Røemera. Wyjaśnienie obserwowanych odchyłek chronometrażu zaćmień (O-C) poprzez obecność „planet” lub bardziej masywnych obiektów (brązowych lub czerwonych karłów) stało się w ostatniej dekadzie obiektem zainteresowania co najmniej kilku grup międzynarodowych. Ogłoszono w publikacjach odkrycia towarzyszy zarówno wokół ciasnych (np. po fazie wspólnej otoczki), jak i rozdzielonych (będących przedmiotem pracy I) układów podwójnych; często są to systemy opisywane jako wielokrotne i orbitalnie rezonansowe. Niestety, okazuje się, że tylko w kilku przypadkach obiekty takie mogą być rzeczywiste (np. XY Leo – składnik LTT potwierdzony metodą optyki adaptacyjnej; NN Ser – dwie planety jowiszowe blisko rezonansu 2:1; NSVS 14256825 – możliwy brązowy karzeł). Niemal rutynowo tego typu układy złożone

z towarzyszących „planet” jowiszowych lub obiektów o masach nawet czerwonych karłów są orbitalnie niestabilne lub model LTT Irwina (wynikający z teorii ruchu keplerowskiego) jest z gruntu błędny, ponieważ rozbieżność sygnału rzeczywistej dynamiki (N -body) z przybliżeniem orbit Keplera okazuje się porównywalna z amplitudą (zmiennością) obserwowanego sygnału (O-C), np. w gwiazdach HW Vir, SZ Her, EP Andr, HU Aqr. Obserwowane, złożone sygnały (O-C) mają zwykle bardzo długie okresy (rzędu 10-20 lat) i trudno wykluczyć, że ich źródłem są efekty czysto astrofizyczne, zachodzące w samych gwiazdach (np. cykle magnetyczne Applegate i Lanzy-Rodonò).

Przedmiotem pracy I są symulacje efektu Rømera z perspektywy detekcji zmienności (O-C), jako wyniku oddziaływania grawitacyjnego gwiazdy podwójnej z jednym obiektem towarzyszącym, który można wykryć przez precyzyjną fotometrię obarczoną szumem obserwacyjnym, białym i czerwonym. Artykuł zawiera analizę progów detekcji dla reprezentatywnych gwiazd podwójnych z jednym składnikiem na orbicie keplerowskiej typu P (okołobinarnej), przy uwarunkowaniach misji COROT, KEPLER i przeglądów naziemnych oraz reprezentatywnych dla rzeczywistych obserwacji progach szumu i jego charakteru. Taka analiza pierwotnych obserwacji fotometrycznych jest rzadko przedmiotem badań w literaturze, jako że głównym zainteresowaniem cieszą się modele orbitalne przetworzonych wcześniej (O-C).

Główne wnioski pracy I, jak uzyskane zakresy i progi parametrów, jak również przewidywania ilości systemów odkrytych przez KEPLER i COROT zostały pozytywnie zweryfikowane przez rzeczywistość. Głównym celem badań efektu LTT powinny być wyselekcjonowane układy podwójne, ponieważ zgodnie z pesymistycznymi przewidywaniami pracy I, w nawet relatywnie licznej próbie gwiazd sondy KEPLER (125,000 obiektów) i jej kontynuacji KEPLER-K2, maksymalnie kilkanaście planet okołobinarnych odkryto metodą bezpośrednią (przez tranzyty). Artykuł I ma 18 cytowań obcych w ADS, co świadczy, że jest zauważany i cenny dla środowiska, w szczególności dla uczestników międzynarodowego przeglądu chronometrażowego zaćmień DWARF (Pribulla i in.).

Praca II, *Non-Keplerian effects in precision radial velocity measurements of double-line spectroscopic binary stars: numerical simulations*, MNRAS 431, 2013 (Appendix B), poświęcona jest symulacjom i analizie precyzyjnych obserwacji prędkości radialnych (RV) gwiazd spektroskopowo podwójnych. Skupiono się na zmianach RV względem problemu Keplera, które wynikają z deformacji pływowych gwiazd, poprawek relatywistycznych pola grawitacyjnego oraz precesji (rotacji) linii absyd. W artykule przeprowadzono symulacje obserwacji RV w skali do 400,000 układów syntetycznych, których parametry fizyczne (masy, półosie wielkie orbit, nachylenia) były systematycznie zmieniane na reprezentatywnej siatce gwiazdowych modeli ewolucyjnych. Następnie odtwarzano oryginalne elementy orbitalne (w szczególności mimośrod i nachylenia), przy założonych progach niepewności obserwacji (szumie białym). W warstwie koncepcyjnej praca II przypomina pracę I, jednak zakres analizowanych efektów „nie-keplerowskich”, a także symulowanie obserwacji było zadaniem znacznie bardziej złożonym. W artykule określono granice parametrów fizycznych i orbitalnych, które pozwalają na pominięcie niektórych zjawisk i efektów wykraczających poza teorię ruchu keplerowskiego oraz zakresy parametrów, w których „nie-keplerowskie” zjawiska należy bezwzględnie włączyć do modelu ruchu i obserwacji. Jakkolwiek w opublikowanym artykule nie ma wzmianki o skali czasowej i złożoności numerycznej symulacji, w komentarzu do artykułów znajdujemy informację o konieczności zrównoleglenia przez Autora obliczeń wykorzystujących kod Wilsona-Devinneya i ich przeprowadzenia na klastrze komputerowym (podobnie, jak w pracy I).

Praca II jest rzadkim, jeśli nie jedynym w ostatnich latach przykładem szczegółowej analizy modeli RV podwójnych układów gwiazdowych ze składnikami około-binarnymi w zakresie mas planetarnych.

Artykuł IV, *Tracking spin-axis orbital alignment in selected binary systems: The Torun Rossiter-McLaughlin effect survey*, MNRAS 478, 2018 (Appendix D) poświęcono precyzyjnym obserwacjom fotometrycznym i prędkości radialnych dla czterech wyselekcjonowanych

gwiazd podwójnych (FM Leo, NN Del, V963 Cen i AI Phe), z celem detekcji i wyznaczenia względnej orientacji osi obrotu gwiazd i spinu orbitalnego. Efektem obserwacyjnym, który na to pozwala, jest zjawisko znane jako efekt Rossitera-McLaughlina (R-M), polegające na zmianie kształtu profilu i położenia minimum linii widmowej podczas tranzytu. Artykuł ten ilustruje złożoność modelowania precyzyjnych prędkości radialnych gwiazd podwójnych. Odfiltrowanie składowej RV, którą generuje zjawisko Rossitera-McLaughlina, wymagało zaplanowania i przeprowadzenia zarówno obserwacji spektroskopowych jak i fotometrycznych, a następnie kilku złożonych kroków obliczeniowych, w tym wyznaczenia z obserwacji parametrów fizycznych gwiazd i rozdzielenia ich widm. Jednym z wyników artykułu jest wykrycie systemu AI Phe, w którym brak wyrównania spinów implikuje obecność dodatkowego składnika na nachylonej orbicie. Praca IV znacząco poprawia statystykę gwiazd, dla których efekt R-M został szczegółowo przeanalizowany. Jest ona globalnie skromna (kilkanaście obiektów), ale praca IV przynosi wyjaśnienie tego faktu poprzez przedstawienie złożoności procesu obserwacji i ich modelowania. Praca IV dowodzi też, że Autor doskonale rozumie problem od strony obserwacyjnej i astrofizycznej, ale także jako zadanie optymalizacyjne, potrafi też biegle posługiwać się potrzebnymi kodami astrofizycznymi, potrafi je od początku tworzyć, modyfikować i łączyć w tzw. *pipeline*.

Artykuł III, który nieprzypadkowo wymieniam na końcu tego punktu, *Project Solaris, a Global Network of Autonomous Observatories: Design, Commissioning, and First Science Results*, PASP 129, 2017 (Appendix C) opisuje szczegółowo założenia naukowe i techniczne, projektowanie i realizację, sprzętową i numeryczną sieci SOLARIS, złożonej z czterech teleskopów robotycznych klasy 1 m, zainstalowanych w obserwatoriach na trzech kontynentach na półkuli południowej. Praca ta opisuje wstępne testy obserwacyjne i wyniki modelowania wybranych układów podwójnych (np. J02496-3825.6). Z auto-komentarza i deklaracji współautorów tej pracy wynika, że udział mgra Sybilskiego kwalifikuje go jako jednego z czterech najważniejszych twórców projektu. Udział ten opiewa na ponad 13 miesięcy (403 dni) pracy w obserwatoriach, projektowanie, instalowanie i testowanie sprzętu obserwacyjnego i komputerowego, przygotowywanie niskopoziomowego oprogramowania i sterowników urządzeń, opracowanie niezawodnego systemu gromadzenia danych obserwacyjnych i dostępu do nich przez Internet, planowanie i redukcję obserwacji oraz ich modelowanie. Nie mam wątpliwości, że znacznie większy nakład czasowy Autor poświęcił przygotowując i testując sprzęt i oprogramowanie w kraju. Zastanawiałem się, czytając pierwszy raz rozprawę, czy jest zupełnie celowe włączenie do niej pracy III, jako że artykuły I, II i IV stanowiłyby wystarczająco bogaty materiał doktoratu. Rozumiem jednak, że okoliczności i obserwacje gwiazd podwójnych, spójne z tematem rozprawy doktorskiej, odzwierciedlają pasję i zaangażowanie Autora oraz jego kluczową kontrybucję do projektowania, testowania i uruchomienia sieci SOLARIS. Jak też sądzę, praca III dokumentuje i w naturalny sposób uzasadnia długi okres przygotowywania materiału rozprawy, w tym ewidentną lukę czasową pomiędzy pracami I i II (2010–2013) oraz pracami III i IV (2017–2018). Wiedzę i umiejętności (*know-how*) zdobyte w trakcie realizacji rozprawy i projektu SOLARIS, Autor wykorzystuje w działalności na rzecz innych projektów naukowych i obserwacyjnych, w ramach przedsięwzięć typu *spin-off*.

KOMENTARZ I UWAGI.

Uwagi dotyczące zawartości rozprawy ograniczam do kilku punktów, które mają charakter subiektywnej oceny wybranych zagadnień, z którymi Autor się zmierzył, opracowując opisane wcześniej publikacje.

1. Wydaje mi się, że metoda szacowania progów detekcji i znaczenia poszczególnych efektów wykraczających poza problem Keplera poprzez powrotne dopasowanie, jaką przyjęto w pracach I i II, jest w ogólności ryzykowna. Także niezbyt dobrze oddaje trudność rzeczywistego problemu optymalizacyjnego. Widać to na przykładzie rys. 6 w pracy II, ilustrującego niepewności dopasowanych parametrów dla symulowanych obserwacji z różnymi tempami precesji. Uzyskane niepewności są w części eksperymentu porównywalne z amplitudą sygnału. Może to oznaczać nie tylko nieadekwatny model obser-

wacji, ale także brak zbieżności schematu Levenberga-Marquardta *per se*, który jest czuły na dobór parametrów początkowych (zaznaczono to zresztą w pracy II). Przy dużych niepewnościach obserwacyjnych można też uzyskać porównywalne statystycznie modele, z jakościowo różnymi parametrami (ekstrema lokalne funkcji celu). Optymalizacja modeli obserwacji obciążonych dużymi niepewnościami i niskim S/N stanowi oczywiście problem sam w sobie.

Obliczenia metodą L-M, wymagane szczególnie dla modelu RV do odtworzenia parametrów z obserwacji syntetycznych, mogłyby być uzupełnione alternatywnym oszacowaniem progów detekcji, np. okresowości z pomocą uogólnionych periodogramów Lomb-Scargle'a, zaproponowanych w pracach Zeichmatera i Kürstera, A&A 2009 i w pracach Balueva, np. MNRAS 446, 2104 z wcześniejszymi referencjami. Wyniki dopasowań metodą L-M mogłyby być też zweryfikowane za pomocą zmienionego algorytmu optymalizacyjnego, np. częściowo zlinearyzowanego algorytmu L-M, jak w pracy Wrighta i Howarda (ApJS 182, 2009).

2. O ile dobrze zrozumiałem założenia pracy I, model (O-C) Irwina w tym artykule dla układu podwójnego i towarzysza na orbicie typu P nie bierze pod uwagę efektu rotacji linii absyd (precesji). W świetle dolnej granicy oszacowania okresów orbitalnych ≈ 10 dni potencjalnych towarzyszy układu podwójnego z masami rzędu 2 mas Słońca, o okresie ≈ 3 dni (Tab. 2 w pracy I) nie jest zupełnie oczywiste, że pominięcie efektów precesyjnych w modelu całego systemu, przy rozważanych niepewnościach (O-C) rzędu 0.1 sekundy, nie gra roli dla progów detekcji – biorąc pod uwagę dużą rozdzielczość siatek parametrów i całkowity nakład obliczeń.
3. W pracy II rozdzielono efekty pływowe i relatywistyczne od efektów wywołanych precesją, traktując to ostatnie zjawisko indywidualnie (rozdz. 5). Precesja (rotacja linii absyd) jest jednak naturalną konsekwencją nie-newtonowskiego ($\propto r^{-2}$) pola grawitacyjnego. Mogłoby się więc wydawać, że co najmniej część problemów związanych z odtworzeniem parametrów orbitalnych z obserwacji generowanych dla układów gwiazd zdeformowanych pływowo lub wykazujących efekty relatywistyczne, jest konsekwencją pominięcia precesji jako składnika modelu obserwacji. W pracy II brakuje według mnie wyjaśnienia *explicite* tego zapewne pozornego jednak paradoksu – efekt precesji zachodzi w znacznie dłuższej skali czasowej niż okresy orbitalne (rzędy wielkości). Uwaga ta uogólnia też komentarz do pracy I.
4. Decyzja przedstawienia rozprawy w języku angielskim wydaje mi się bardzo dobrym pomysłem, może ona być w ten sposób szybko dostępna dla szerokiej społeczności. Warto byłoby jednak zadbać o dokładniejszą korektę tekstu w języku polskim. Z kronikarskiego obowiązku należy odnotować niezręczne gramatycznie sformułowania, np. „badania wysokiej kadencji obserwacji i J024946-3825.6” (str. 3) lub zawiłą konstrukcję logiczną zdania rozpoczynającego się od „Wynikiem badań . . .”, w ostatnim akapicie streszczenia w języku polskim. Można odnieść wrażenie, że opis ten powstawał w pośpiechu lub Autor nieco bagatelizował jego znaczenie dla rozprawy.

Komentarz i uwagi, opisane wyżej, nie umniejszają wysokiej merytorycznej rozprawy.

PODSUMOWANIE.

Z formalnego i merytorycznego punktu widzenia, rozprawa doktorska mgra Sybilskiego spełnia wymogi ustawy o stopniach naukowych i tytułach naukowych oraz o stopniach i tytułach w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. z późniejszymi zmianami, według ujednoliconego tekstu opublikowanego w Dzienniku Ustaw, 2017, poz. 1789. Cztery artykuły opublikowane w pismach z indeksu ministerialnego, składające się na rozprawę, dotyczą precyzyjnie zdefiniowanego zagadnienia astrofizycznego i tworzą spójny tematycznie zbiór. Artykuły są wieloautorskie, ale deklarowana przez Autora kontrybucja do trzech prac ma charakter dominujący, rzędu 70%, co poświadcza pisemnie ich współautorzy. W czwartej pracy, opisu-

jącej opracowanie, uruchomienie i wstępne wyniki sieci obserwacyjnej SOLARIS, Autor jawi się jako jeden z kluczowych twórców tego oryginalnego i złożonego naukowo, technicznie i logistycznie przedsięwzięcia.

Zagadnienie ustanowienia warunków obserwacyjnych dla detekcji efektów wykraczających poza problem Keplera, a także przeprowadzenie dedykowanego przeglądu obserwacyjnego w celu detekcji efektu Rossitera-McLaughlina dla czterech gwiazd podwójnych, podjęte w rozprawie, stanowi oryginalny i aktualny problem astrofizyczny. Rozprawa zawiera bogaty wkład w zrozumienie, planowanie i przeprowadzenie obserwacji gwiazd podwójnych oraz ich interpretacji (modelowania) w celu wyznaczenia ich parametrów fizycznych i orbitalnych. Należy też wyrazić uznanie dla Autora za wyczerpującą analizę teoretyczną i numeryczną złożonego zagadnienia, determinację w realizacji podjętych badań i ogromny, wieloletni nakład pracy poświęcony projektowi SOLARIS, w ramach którego rozprawa doktorska powstała. W świetle przedstawionego w rozprawie materiału, jej ocena nie może być inna, niż jednoznacznie pozytywna i bardzo wysoka.

Rozprawa dowodzi, że mgr Piotr Sybilski potrafi systematycznie i skutecznie rozwiązywać wielowątkowy problem astrofizyczny. Autor zademonstrował przy tym umiejętności wykształcone w różnych obszarach działalności naukowej i technicznej, okazując się zdolnym astrofizykiem, obserwatorem, programistą, inżynierem i logistyką. Oprócz artykułów tworzących rozprawę doktorską, mgr Sybilski jest współautorem kilkunastu innych artykułów, w tym jest 9 prac recenzowanych oraz 6 artykułów konferencyjnych i specjalistycznych. Jest to niewątpliwie bardzo znaczący, niezwykajny dorobek naukowy na tym etapie kariery naukowej.

Uważam, że rozprawa doktorska mgra Piotra Sybilskiego, poprzez szeroki zakres, dalekie od standardowego ujęcie i formę, uzyskane wyniki i wysiłek poniesiony przez Autora, zasługuje na wyróżnienie. Z pełnym przekonaniem i przyjemnością rekomenduję Radzie Naukowej CAMK dopuszczenie Autora do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

