

dr hab. Jerzy Krzesiński, prof. UJ  
Obserwatorium Astronomiczne  
Uniwersytetu Jagiellonskiego  
ul. Orła 171, 30-244 Kraków

**Recenzja rozprawy doktorskiej pt.:**  
**„Asteroid Phase Curves Using Dense Ground-Based Lightcurves and Sparse Survey Data”.**

autor: **Emil Wilawer**

promotor: dr hab. Agnieszka Kryszczyńska, prof. UAM  
promotor pomocniczy dr Dagmara Oszkiewicz

Rozprawa doktorska pana Wilawera jest monografią z zestawem 3 publikacji (Oszkiewicz et al. 2021, Icarus 357, 114158, Wilawer et al. 2022, MNRAS 513\_3, 3242 i Wilawer et al. 2024, MNRAS 531\_2, 2802). Publikacje poprzedzono wprowadzeniem dotyczącym badań planetoid z wykorzystaniem fotometrii (rodz. 1), metodologii badań i oprogramowaniu (rozdz. 2) oraz wyników badań (rozdział 3). Przy czym rozdział 3 jest krótkim przewodnikiem po publikacjach i wynikających z nich wniosków, natomiast same publikacje załączone zostały w formatach czasopism w jakich je opublikowano. W pierwszej publikacji (Oszkiewicz et al. 2021) pan Wilawer jest drugim współautorem. Przeglądając oświadczenia dot. jego wkładu oraz współautorów do publikacji można stwierdzić, że pan Wilawer odgrywał znaczącą rolę w jej przygotowaniu. W przypadku pozostałych dwóch publikacjach, w których jest autorem wiodącym, jego wkład jest dominujący.

W rozdziale pierwszym autor przedstawia fotometrię jako główne narzędzie do badania planetoid, problem zmian jasności planetoid w zależności od kąta fazowego i zestaw literatury dotyczący rozwoju modeli fotometrycznych stosowanych do opisu zmian jasności. W dalszej części autor skupia się na opisie głównych parametrów modelu (H,G) i jego późniejszych ulepszeniach (w zależności od jasności planetoid i/lub jakości danych), prezentuje klasyczną klasyfikację taksonomiczną planetoid (rys. 2) oraz przedstawia główne źródła danych fotometrycznych (z teleskopów kosmicznych oraz przeglądów naziemnych).

Moim zdaniem wprowadzenie robi wrażenie powierzchownego. Znalazło się w nim również parę niejasności np. H jest opisywane jako magnitudo, G jako parametr nachylenia, by w następnych zdaniach do H, G i ich pochodnych używać określeń system magnitud (żargon). Należy jednak przyznać, że właściwy opis magnitudowych funkcji fazowych (magnitude phase functions) i znaczenie parametrów zawarto w kolejnym rozdziale. Mam również wątpliwości dotyczące liczby obserwowanych planetoid w projekcie SDSS. Pan Wilawer podaje liczbę 50 000, natomiast w literaturze (Sergeyev 2021, A&A 652, A50) można znaleźć informację o ponad 100 tys. planetoidach w SDSS. Brakuje więc odniesienia do źródeł, z których zostały wzięte dane w pracy autora.

Drugi rozdział jest dobrym wprowadzeniem do oprogramowania używanego podczas prac nad redukcją danych CCD, modeli fotometrycznych oraz używanych przez nie parametrów. W szczególności wyjaśniono znaczenie magnitudowych funkcji fazowych H, G ( $G_1, G_2, G_{12}$ ) oraz sposób obliczania ich wartości. Na tym etapie pracy pojawia się jeden skromny rysunek 5, przedstawiający dopasowanie różnych modeli fotometrycznych do wybranego zestawu danych, który jednak nie pozwala na lepsze zorientowanie się jak wrażliwe są przyjęte modele i ich parametry na różne rodzaje danych fotometrycznych, jasności obiektów czy typu taksonomicznego

planetoid. Natomiast w dalszej części opis przygotowania krzywych tj. zredukowane magnitudo vs. kąt fazowy (magnitudowe krzywe fazowe) jest przejrzysty. W rozdziale można również znaleźć informację o udziale autora w rozwoju oprogramowania, w szczególności programu PCFit (w pythonie). Szkoda, że nie podano np. linku do kodów źródłowych (podano jedynie informację dot. bibliotek „NEO phase curve calculation” z 2018 roku), a jednocześnie link do zestawu oprogramowania do redukcji danych CCD autor udostępnia w sieci. Prawdopodobnie brak linku do PCFit związany jest z prawami autorskimi i środowiskiem, w którym PCFit pracuje (tj. NEO Phase-curve Analysis Tool). W kolejnym podrozdziale, pan Wilawer przedstawia przygotowanie oprogramowania LCI (Light Curve Inversion) do obliczeń na superkomputerze. Należy zaznaczyć, że przygotowanie oprogramowania wymaga dużego nakładu pracy i jest jednym z oczywistych wkładów autora do publikacji oraz prezentowanej rozprawy.

Rozdział trzeci to krótki przewodnik po trzech opublikowanych pracach (w których pan Wilawer jest drugim i pierwszym współautorem) oraz podsumowaniem uzyskanych wyników. Całość kończy dodatek z wydrukowanymi pracami.

W pracy 1 (Oszkiewicz et al. 2021) autorzy przeprowadzają analizę magnitudowych krzywych fazowych 20 bazaltowych planetoid typu V (Vestoidy) o krótkich okresach rotacji (do ~14.1 h), średnim i wysokim albedo oraz nie związanych dynamicznie z rodziną planetoid Vesty. Praca bazuje na obserwacjach własnych autorów zebranych w latach 2013-2020. W rezultacie wyznaczono średni parametr  $G_{12}$  (oraz indywidualne magnitudowe funkcje fazowe dla obserwowanych planetoid – tabela 2.) dla planetoid typu V. Na uwagę zasługuje zestaw rysunków z dopasowaniami magnitudowych funkcji fazowych dla wszystkich analizowanych danych fotometrycznych.

Pracę Wilawer et al. (2022) poświęcono wprowadzeniu metody umożliwiającej połączenie rzadkich danych fotometrycznych (w tym przypadku teleskopu GAIA tj. rzadkich, z lat 2014-2016) i naziemnych (gęstych) do przygotowania i analizy magnitudowych krzywych fazowych dla 26 planetoid. Metoda umożliwia istotną poprawę dopasowań parametrów modeli fotometrycznych w porównaniu do dopasowań tych samych parametrów lecz uzyskanych z samych danych gęstych. Poza nową metodą oraz uzyskanymi dopasowaniami parametrów magnitudowych funkcji fazowych praca zawiera bardzo dobrej jakości rysunki sfazowanych kompozytowych krzywych rotacji oraz magnitudowe krzywe fazowe planetoid.

W publikacji Wilawer et al. (2024), korzystając z nowej metody (Wilawer et al. 2022), pan Wilawer używa tym razem katalogu ATLAS (dane rzadkie w dwóch filtrach) oraz danych gęstych (wziętych z literatury) do przeprowadzenia analizy danych fotometrycznych dla 35 planetoid. W pracy autorzy skupili się na dwukolorowych funkcjach fazowych i ich zależności od długości fali. Interesujące wydaje się wyraźne rozdzielanie dopasowanych  $G_1$  i  $G_2$  dla obserwacji w różnych filtrach (cyan i orange) dla planetoid S. Ponownie zwraca uwagę bogaty uzupełniający materiał w postaci zestawu rysunków (dla dwóch filtrów) krzywych fazowych,  $G_1$  vs.  $G_2$  oraz kombinacji  $G_1$  i  $G_2$  dla rozwiązań biegunowych.

Nieco irytujące jest brak zakresu lat danych obserwacyjnych w trzeciej publikacji, podczas gdy w dwóch pierwszych były podane. Pewną wskazówką może być zakres lat, w których rozpoczynały prace kolejne teleskopy przeglądu ATLAS począwszy od pierwszego teleskopu w 2015 r do roku 2022, kiedy uruchomiono ostatni teleskop.

Wszystkie publikacje wykorzystują dane z teleskopu należącego do Obserwatorium Astronomicznego Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.

Cała rozprawa napisana jest zrozumiałym językiem (angielskim), jednak wstęp do poruszanych w niej problemów wydaje się skromny, a praca zyskałaby gdyby dodano do niej rysunki ilustrujące

wprowadzane modele fotometryczne i ich parametry od strony praktycznej np. dla konkretnych danych fotometrycznych i dla znanych składów powierzchni asteroid. W teksie rozprawy można również znaleźć parę literówek/niedociągnięć (str. 2 „The was further improved by introducing...” -> There was further improvement..., str. 15 wzór 9, brak nawiasów przy eksponencie, str. 16 ) lecz ogólnie praca jest od nich wolna. Nie jest to zaskoczeniem, ponieważ gros pracy ujęte jest w postaci publikacji sprawdzonych pod względem językowym oraz merytorycznie przez korektorów i recenzentów.

-----  
**Pytania na które chciałbym usłyszeć (w miarę możliwości) odpowiedź:**

Proszę o odniesienie się do liczby 50 000 tys. planetoid obserwowanych w SDSS (rozbieżność z danymi z pracy Sergejev 2021).

Czy autor rozprawy mógłby zilustrować jak wyglądają przebiegi funkcji bazowych  $\varphi(\alpha)$  (strona 13, poniżej wzoru 5)?

Wykorzystanie rzadkich danych (np. GAIA) i nałożenie ich na dane gęste wymaga uwzględnienia odległości planetoidy oraz poprawki czasu – Teoretycznie, po uzyskaniu modelowych krzywych (wzór 1 w rozprawie) z danych gęstych znany jest przebieg krzywej jasności w czasie (okres rotacji planetoidy i kształt krzywej), gdzie występuje pkt z danych rzadkich. Jednak nie jestem pewny jak wyznaczano odległość/poprawkę czasu, a następnie jak nałożono pkt rzadki na „interpolowaną” krzywą (biorąc pod uwagę poprawki na różne filtry, w których wykonano obserwacje)?

-----  
**Podsumowując**, autor wykazał się samodzielnością w prowadzeniu założonego zakresu badań, opracowaniem danych, przygotowaniem oprogramowania, skryptów oraz publikacji wymaganych w pracy naukowej. Za główne osiągnięcia pana Wilawera należy uznać przygotowanie danych obserwacyjnych z wielu naziemnych teleskopów (w tym teleskopu UAM), opracowanie metody wykorzystującej zarówno rzadkie i gęste dane fotometryczne do uzyskania dokładniejszych parametrów modeli fotometrycznych, przygotowanie oprogramowania do obliczeń na poznańskim superkomputerze (PSNC), a w końcu przeprowadzenie analizy danych fotometrycznych imponującej liczby 81 planetoid.

Wobec tego, pomimo wspomnianych niewielkich braków i nieścisłościami należy uznać, że rozprawa autora zawiera oryginalne rozwiązania, przedstawiono w niej interesujące wyniki, które opublikowano w trzech czasopismach o zasięgu międzynarodowym (z tzw. listy ministerialnej za 140 pktów). Pan Wilawer wykazał się dobrymi umiejętnościami w przygotowaniu i analizie danych pokazując dobre przygotowanie do pracy naukowej. Jego rozprawa spełnia moim zdaniem wszystkie zwyczajowe oraz ustawowe kryteria stawiane pracom doktorskim, wobec tego wnoszę o dopuszczenie mgra Emila Wilawera do dalszych etapów postępowania doktorskiego.

*Wszystko*

Jerzy Krześciński