

Toruń, 20.03.2024

Prof. dr hab. Andrzej T. Niedzielski  
Instytut Astronomii UMK w Toruniu

## **Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Karoliny Jadwigi Dziadury zatytułowanej „Determination of physical and dynamical properties of asteroids observed by the Gaia mission”.**

Rozprawa została przygotowana w języku angielskim i ma formę przewodnika po trzech powiązanych tematycznie recenzowanych publikacjach naukowych, które zawierają wyniki rozprawy. Składa się ona ze streszczenia w językach polskim i angielskim, listy publikacji stanowiących merytoryczną treść rozprawy, wprowadzenia do tematyki doktoratu, opisu celów pracy i wyników uzyskanych w kolejnych publikacjach, oraz kopii trzech publikacji recenzowanych. Do rozprawy dołączono wymagane oświadczenia współautorów prac wieloautorskich oraz oświadczenie doktorantki, z których jasno wynika wkład poszczególnych współautorów we wszystkie publikacje stanowiące podstawę prezentowanej rozprawy. W szczególności wkład mgr Dziadury w prace drugą i trzecią jest wiodący.

Rozprawa dotyczy aktualnej i interesującej tematyki naukowej, jaką są badania właściwości małych ciał Układu Słonecznego. W szczególności przedmiotem dwóch publikacji jest analiza wpływu efektu Jarkowskiego na ruch orbitalny szeregu planetoid z grupy obiektów zbliżających się do Ziemi (NEA). Jest to bardzo ciekawy i ważny problem, gdyż wiele z tych ciał to obiekty potencjalnie zagrażające Ziemi. Ten subtelny efekt termodynamiczny wpływa na orbity planetek o rozmiarach 10m - 30km bardzo powoli (w tempie rzędu  $10^{-4}$  au  $My^{-1}$ ) zmieniając ich orbity. Początkowo zidentyfikowany w przypadku planetoidy 6489 Golevka dziś jest obserwowany w znacznej ilości ciał. W jakim stopniu efekt ten będzie wpływał na zmiany orbity danego ciała zależy o szeregu jego właściwości fizycznych, takich jak rozmiary, masa, gęstość, właściwości termiczne powierzchni. Stąd możliwość zastosowania efektu Jarkowskiego do wyznaczenia własności planetek w inny sposób niedostępnych analizom. Doskonałym przykładem jest wyznaczenie gęstości planetki Golevka (Chesley et al. 2003).

### **Opis pracy oraz uzyskane wyniki.**

Tematyka rozprawy jest zgodna z jej tytułem. W kolejnych trzech publikacjach naukowych analizowane są parametry planetoid: rozmiary, niegravitacyjne przyspieszenia spowodowane efektem Jarkowskiego czy też średnie gęstości. Analizowane planetoidy to obiekty albo przewidziane do obserwacji ramach misji Gaia, albo obiekty już obserwowane, dla których dane misji Gaia pozwalają uściślić parametry.

**Pierwsza praca** powstała z udziałem mgr Dziadury (Podlewska-Gaca i inni. 2020) dotyczy analizy kształtów oraz ocen objętości 13 planetoid z listy obiektów przewidzianych do

wyznaczeń masy z precyzją lepszą niż 10% na podstawie nowych obserwacji astrometrycznych misji Gaia (Mouret i inni 2007). Doktorantka opracowała narzędzie programistyczne do modelowania zjawisk zakrycia gwiazd przez planetoidy. W omawianej pracy wykorzystano wyniki zakryć gwiazd oraz modelowania termo-fizycznego do skalowania modeli 3D planetoid i uzyskania informacji o rzeczywistych rozmiarach badanych obiektów. Wyniki tej obszernej pracy są interesujące i ważne bowiem po uzyskaniu pomiarów mas badanych planetoid w ramach misji Gaia pozwolą na precyzyjne oceny gęstości, a co za tym idzie przyczynią się do lepszego poznania właściwości fizycznych materii, z której formowały się planety w Układzie Słonecznym.

Kolejne dwie prace wchodzące w skład omawianej dysertacji poświęcone są próbom wyznaczenia niegrawitacyjnego przyspieszenia w ruchu orbitalnym planetoid spowodowanego efektem Jarkowskiego. W **pracy drugiej** (Dziadura i inni 2022) podjęto taką próbę dla 42 planetoid z listy Mouret i Mignard (2011) dla których dostępne były obserwacje misji Gaia DR2. Niegrawitacyjne przyspieszenie  $A_2$  wyznaczono w drodze dopasowania do dostępnych danych obserwacyjnych orbit opisanych przez 6 parametrów oraz parametr  $A_2$ . Wykorzystano w tym celu model Układu Słonecznego obejmujący poza Słońcem osiem planet, Księżyc, 16 najbardziej masywnych planetoid oraz Pluto. W pracy sporo uwagi poświęcono właściwemu ważeniu poszczególnych zestawów danych. Uzyskane wyniki poddano weryfikacji poprzez ocenę jakości dopasowania ( $SNR_{A_2}$ ) oraz porównanie z oczekiwanymi wartościami parametru  $A_2$  pochodzącego od efektu Jarkowskiego, podobnie jak w pracy Del Vigna et al. (2018), za pomocą parametru  $S$ . W pracy wykazano, że uwzględnienie danych misji Gaia znacznie podnosi wiarygodność uzyskanych wyników ( $SNR_{A_2}$ ) w przypadku 20 obiektów. Spośród uzyskanych 42 wyznaczeń 12 uznano za najbardziej wiarygodne. Uzyskano dobrą zgodność z wcześniejszymi wyznaczeniami innych autorów.

**Trzecia praca** bazuje na danych Gaia DR3 (Dziadura i inni 2023). Tutaj doktorantka wykorzystuje w pełni uzyskane wcześniej doświadczenie w modelowaniu danych obserwacyjnych pochodzących z różnych źródeł. Podejmuje ona próbę oceny niegrawitacyjnego przyspieszenia  $A_2$  w grupie 446 NEA (w tym 93 potencjalnie zagrażające Ziemi) oraz 5404 planetoid z pasa głównego i planetoid, których orbity przecinają orbitę Marsa, dla których dostępne były obserwacje Gaia DR3. W sumie modelowano orbity 54663 obiektów przyjmując podobny model Układu Słonecznego jak w pracy drugiej. Uzyskane wyniki weryfikowane były za pomocą zdefiniowanych w pracy drugiej parametrów  $SNR_{A_2}$  i  $S$ , ale także poprzez modelowanie różnych zestawów danych, w tym z wykorzystaniem danych Gaia lub bez. Istotnym novum w stosunku do pracy drugiej jest tu także wykorzystanie danych dla planetoidy Apophis zamiast Bennu jako punktu odniesienia w analizie efektu Jarkowskiego. Za wiarygodne uznano wyznaczenia efektu Jarkowskiego dla 49 planetoid (41 bez danych Gaia DR3) NEA. Interesującym wynikiem tej pracy jest także próba oceny gęstości badanych planetoid. Podjęto w pracy próbę detekcji Jarkowskiego dla obiektów IMBA i przecinających orbitę Marsa lecz bez sukcesu.

W mojej ocenie najciekawsze wyniki rozprawy zawarte są w pracy trzeciej. Zademonstrowane w pracy drugiej umiejętności krytycznego doboru materiału obserwacyjnego oraz jego numerycznego modelowania zostały tu rozwinięte i w pełni wykorzystane. Doktorantka zaproponowała nieco odmienne podejście do często poruszanego

w literaturze problemu empirycznych wyznaczeń wielkości  $A_2$  definiując zbiór badanych obiektów na podstawie dostępności obserwacji wysokiej jakości pochodzących z misji Gaia (DR3). Uzyskała nowe wyniki dla 49 obiektów, które poddała krytycznej analizie.

## Uwagi

Ogólnie praca została bardzo dobrze zaplanowana i wykonana. Została przygotowana w mojej ocenie starannie i w eleganckiej postaci. Również przewodnik po pracach stanowi ciekawą lekturę. Niestety autorka nie uchroniła się przed nieco technicznym, hermetycznym opisem podjętego problemu. Choć streszczenie rozpoczyna się od podkreślenia roli planetoid w formowaniu i ewolucji Układu Słonecznego, czy innych układów planetarnych oraz w badaniach pochodzenia wody na Ziemi, doktorantka do tej tematyki niestety nie powraca w dyskusji uzyskanych wyników.

W kilku miejscach przewodnika tekstowi brakuje precyzji. Przykładem niech będzie parametr  $A_2$ , który pojawia się w przewodniku na stronie 19 bez wprowadzenia. O tym czym on jest czytelnik dowie się dopiero we wstępie do drugiej publikacji. Równanie (1) nie jest poprawnie opisane (strona 26). Na stronie 29 znajdziemy opis efektu Jarkowskiego, z którego czytelnik dowie się czym ten efekt jest i jak wpływa na orbity małych ciał ale nie dowie się dlaczego. Drugi akapit na stronie 39 („The program now ...”) wydaje się być pozbawiony kontekstu. Na stronie 45 wprowadzony zostaje termin „magnitude class” bez wyjaśnienia czym on jest. Co ciekawe, w pracy trzeciej na rysunku 7 brak jednostek gęstości.

Sporo uwagi autorka poświęciła procedurom i aspektom technicznym pracy zapominając czasami, jak się wydaje, o szerszej perspektywie, w jakiej należy umieścić badany problem. Nawet jeśli wykorzystywane metody są powszechnie używane w literaturze.

Pierwsze pytanie jakie się pojawia po lekturze rozprawy to pytanie o to co faktycznie mierzy parametry  $A_2$ ? Skoro jest to jedyny parametr opisujący czynniki inne niż oddziaływania grawitacyjne ujęte w stosowanym modelu oznacza to, że faktycznie zawiera on efekty oddziaływań grawitacyjnych od obiektów nieuwzględnionych w stosowanym modelu oraz wszystkie inne efekty, w tym niegrawitacyjne, jak na przykład oddziaływanie planetek z wiatrem słonecznym. W pracy brakuje moim zdaniem dyskusji tego problemu, oceny udziału poszczególnych efektów w wartości parametru  $A_2$ .

Drugi problem dotyczy sposobu ewaluacji uzyskanych wyników. Stosowany parametr  $SNR_{A_2}$  (czy  $S/N_{A_2}$  w pracy trzeciej) oddający jakość dopasowani wydaje się być wiarygodną oceną precyzji wyznaczenia wartości parametru  $A_2$ . Natomiast parametr  $S$  (Del Vigna et al. 2018) czyli iloraz wartości  $A_2$  uzyskanej empirycznie (z modelowania) i wartości „oczekiwanej” wynikającej z teorii efektu Jarkowskiego przy założeniu szeregu faktycznie nieznanymi wielkościami, w szczególności w połączeniu z parametrem  $\xi$  w pracy drugiej, jest już dalece subiektywny i przyjęcie jego konkretnego przedziału ma bezpośredni wpływ na uzyskane wyniki. Czy nie ma alternatywy dla takiej procedury?

Trzecie pytanie jakie się nasuwa po lekturze rozprawy dotyczy zestawienia/porównania wyników uzyskanych w ramach rozprawy z wynikami innych autorów. W pracy trzeciej na

rysunku 2 zamieszczono takie porównanie z wynikami kilku prac. Jednak ilość obiektów występujących równocześnie w kilku pracach jest zastanawiająco mała (faktycznie w pracy brak informacji ile takich obiektów mamy na rysunku 2, w pracy drugiej na rysunku 3 jest ich 21). Zważywszy na to, że autorzy wykorzystują podobne metody, podobne dane i uzyskują wyniki dla wielu obiektów (na przykład Greenberg et al. 2020 dla 247, Del Vigna et al. 2018 dla 87) na czym polegają różnice w wynikach i zestawach obiektów będących rezultatem poszczególnych prac?

### **Podsumowanie i konkluzja**

Powyższe uwagi mają charakter polemiki naukowej z doktorantką i nie umniejszają jakości rozprawy czy wartości wyników uzyskanych w przedstawionej rozprawie. Mgr Karolina Jadwiga Dziadura w swojej rozprawie doktorskiej zaprezentowała ogólną wiedzę teoretyczną oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Przedmiotem jej rozprawy jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Przedstawiona rozprawa spełnia ze sporym naddatkiem zwyczajowe i ustawowe wymogi stawiane pracom doktorskim z zakresu astronomii. Wnoszę zatem o dopuszczenie mgr Karoliny Dziadury do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

