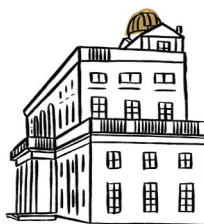




UNIwersytet
Warszawski



OBSERWATORIUM
ASTRONOMICZNE
UNIwersytetu
Warszawskiego

Warszawa, 23 grudnia 2025 r.

Prof. dr hab. Szymon Kozłowski
Obserwatorium Astronomiczne
Uniwersytet Warszawski
Al. Ujazdowskie 4
00-478 Warszawa

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Antoine Choukroun
pt. „Sizes and thermal properties of asteroids”
napisanej pod opieką naukową dr hab. Anny Marciniak, prof. UAM.**

Zgodnie z Art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce zadaniem recenzenta jest stwierdzenie czy rozprawa doktorska spełnia następujące wymagania:

1. rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej;
2. przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne;
3. rozprawę doktorską może stanowić praca pisemna, w tym monografia naukowa, zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, raca projektowa, konstrukcyjna, technologiczna, wdrożeniowa lub artystyczna, a także samodzielna i wyodrębniona część pracy zbiorowej;
4. do rozprawy doktorskiej dołącza się streszczenie w języku angielskim, a do rozprawy doktorskiej przygotowanej w języku obcym również streszczenie w języku polskim. W przypadku gdy rozprawa doktorska nie jest pracą pisemną, dołącza się opis w językach polskim i angielskim.

Informacje ogólne.

Rozprawa doktorska mgr Antoine Choukroun pt. „Sizes and thermal properties of asteroids” przygotowana została pod opieką naukową dr hab. Anny Marciniak, prof. UAM. Rozprawa ta składa się z czterech oryginalnych rozdziałów i bibliografii, a także z czterech dołączonych recenzowanych i opublikowanych prac naukowych. Do rozprawy doktorskiej dołączone zostały oświadczenia doktoranta oraz współautorów opublikowanych prac, które precyzyjnie określają wkład doktoranta w te publikacje.

Rozprawa jest wielowątkowa – z jednej strony obejmująca obserwacje fotometryczne planetoid, napisanie dedykowanego oprogramowania do automatycznej redukcji obrazów i tworzenia krzywych zmian blasku, napisanie oprogramowania do modelowania zaćmień gwiazd przez planetoidy, a z drugiej strony zawierająca modelowanie planetoid (dane fotometryczne, podczerwone i zaćmieniowe), po to aby uzyskać podstawowe parametry fizyczne dla kilkudziesięciu planetoid, w tym ich kształty, rozmiary i parametry obrotu. Jestem pod dużym wrażeniem jakości i ilości wykonanej pracy, którą omawiam poniżej.

Stwierdzenie czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej.

Rozdział pierwszy to wprowadzenie do tematyki planetoid, wprowadzenie zawierające prezentację podstawowych metod obserwacyjnych tych ciał, a kończące się prezentacją celów i metodologii użytej w rozprawie. Rozdział ten jest dobrze napisany, znalazłem jednak kilka nieścisłości, które wymieniam na końcu tej recenzji.

Rozdział drugi poświęcony jest zagadnieniom wyznaczenia kształtów i rotacji planetoid. Najpierw w skrótovej formie zaprezentowane zostały źródła danych obserwacyjnych, a następnie oprogramowanie o nazwie STERIOD – dokładnie omówione w pracy nr 1. Następnie zaprezentowana została metoda inwersji krzywych zmian blasku, zarówno podstawy teoretyczne, jak i przykład jej zastosowania dla planetoidy (931) Whittemora.

W rozdziale trzecim omówione zostały dane i metodologia stosowana w wyznaczaniu rozmiarów planetoid. Najpierw zaprezentowane zostało działanie metody zaćmień gwiazd przez planetoidy, a następnie przedstawiono napisane przez doktoranta oprogramowanie do dopasowania trójwymiarowego modelu planetoidy (dwuwymiarowy rzut/przekrój widziany z Ziemi) do danych zaćmieniowych. Znaczna część tego rozdziału poświęcona została omówieniu metody CITPM (termofizyczny model z inwersją wypukłą).

Rozdział czwarty to podsumowanie i prezentacja planów badawczych.

W mojej opinii ta część rozprawy dowodzi, że mgr Antoine Choukroun prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie astronomia z nakierowaniem na małe ciała Układ Słoneczny, a także wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej (o czym także poniżej), czyli spełnia wymaganie ww. ustawy - Art. 187 ust. 1.

Stwierdzenie czy przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne.

Praca nr 2 w rozprawie doktorskiej dotyczy badań nad 15 planetoidami, dla których doktorant zmierzył średnice, trójwymiarowy kształt oraz parametry rotacji na bazie danych fotometrycznych i podczerwonych oraz zaćmień gwiazd przez te planetoidy. Za cel obrano planetoidy o małej amplitudzie zmian blasku (poniżej 0,3 mag), długim okresie obrotu ($P > 12h$) i dotychczas słabo przebadanych. Dane fotometryczne zostały zebrane z literatury oraz z własnej kampanii obserwacyjnej (Marciniak i in. 2015). Dane podczerwone to przede wszystkim obserwacje z satelity WISE (W3 i W4, 11 i 23 mikrony) uzupełnione o istniejące dane z IRAS (12-60 mikronów) i Akari (9 i 18 mikronów). Zainicjowane zostały także obserwacje zaćmień gwiazd przez te planetoidy. W pierwszym kroku analizy zastosowano metodę inwersji wypukłej (convex

inversion method) dla danych fotometrycznych, aby uzyskać trójwymiarowe (bezwymiarowe) modele planetoid. Modele te wraz z danymi podczerwonymi posłużyły jako dane wejściowe dla modelu termofizycznego z inwersją wypukłą (CITPM), dostarczając rozmiary planetoid w większości przypadków zgodne do 5% z rozmiarami wyznaczonymi z zaćmień. Wyniki te zostały opublikowane jako recenzowana praca w renomowanym periodyku astronomicznym *Astronomy & Astrophysics*, gdzie doktorant jest pierwszym i głównym autorem. Oświadczenia doktoranta oraz współautorów jasno wskazują, że był on głównym wykonawcą tych badań oraz publikacji.

Kolejnym rezultatem zaprezentowanym w rozprawie doktorskiej (praca nr 3) jest analiza własności fizycznych nietypowej planetoidy Justitia, która została obrana jako jeden z celów misji kosmicznej MBR explorer (w 2034 roku). Planetoida ta ma nietypowe, bardzo czerwone widmo, co może oznaczać istnienie materii organicznej na jej powierzchni (zmierzone w pracy albedo wynosi $0,058 \pm 0,006$), a to z kolei sugeruje jej możliwe pochodzenie z obszaru transneptunowego (za linią śniegu). Obserwacje fotometryczne w filtrach L i R wykonane zostały z wielu krajów europejskich, a także z Turcji i Korei Południowej aby zmaksymalizować pokrycie 33-godzinnego okresu obrotu tej planetoidy. Krzywe zmian blasku w zakresie optycznym zostały przeanalizowane z użyciem metody inwersji krzywej, aby wyznaczyć wstępny kształt i obrót planetoidy. Następnie użyto danych z przeglądu ATLAS, aby skalibrować zebrane dane fotometryczne. W kolejnym kroku pobrano z literatury dane podczerwone w zakresie 9-60 mikronów (z projektów IRAS, Akari, WISE). Z użyciem metody CITPM udało się ustalić parametry fizyczne planetoidy Justitia – kształt, rozmiar (średnica 58 ± 2 km) i rotację (okres 33,12962 d). Wyniki tych badań ukazały się jako recenzowana praca w czasopiśmie *The Planetary Science Journal* w 2025 roku, w której doktorant jest drugim autorem (a promotorka pierwszą i główną autorką). Z dostarczonych oświadczeń wynika, że doktorant wykonał redukcję i modelowanie danych.

Czwarta recenzowana praca naukowa stanowiąca część rozprawy doktorskiej, także poświęcona jest wyznaczaniu parametrów fizycznych (rozmiarów, kształtów i okresów obrotu) dla 16 planetoid o długim okresie obrotu ($P > 12h$). W tym przypadku nie były dostępne dane podczerwone, dlatego badania oparte były na inwersji krzywych zmian blasku oraz analizie zaćmień gwiazd przez te planetoidy. Wyniki badań opublikowane zostały jako artykuł w renomowanym periodyku astronomicznym *Astronomy & Astrophysics*, w którym doktorant jest trzecim autorem.

Pierwsza recenzowana praca zaprezentowana w rozprawie dotyczy dedykowanego i napisanego przez doktoranta oprogramowania o nazwie STERIOD, służącego do automatyzacji fotometrii planetoid. Wymieniam te osiągnięcie na dalszym miejscu w mojej recenzji, gdyż uznałem, że wyniki naukowe mają wyższy priorytet nad wynikami programistycznymi. Pakiet STERIOD jest napisany w języku python i opiera się o kilka podstawowych bibliotek: numpy, matplotlib, czy scipy i jest dostępny do pobrania w serwisie GitHub (z bardzo dobrym opisem). Jest to zestaw procedur, które z dostarczonych zdjęć wybierają gwiazdy i poruszające się obiekty, a następnie tworzą krzywe zmian blasku. Doktorant jest pierwszym autorem pracy opublikowanej w *Acta Astronomica*. Z oświadczeń doktoranta i współautorów jasno wynika, że jest on głównym wykonawcą tego oprogramowania oraz artykułu.

W mojej opinii mgr Antoine Choukroun przedstawia oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a zatem spełnia wymagania ww. ustawy - Art. 187 ust. 2.

Rozprawa doktorska mgr Antoine Choukroun jest pracą pisemną, zbiorem opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, a co za tym idzie w mojej opinii spełnia wymagania ustawy - Art. 187 ust. 3.

Rozprawa doktorska mgr Antoine Choukroun napisana jest w języku angielskim i zawiera streszczenie w języku polskim, czym spełnia wymaganie ww. ustawy - Art. 187 ust. 4.

Podsumowując, rozprawa doktorska *mgr Antoine Choukroun* zawiera wartościowe osiągnięcia naukowe, w tym oryginalne rozwiązania. Cel pracy został dobrze określony jako „badania planetoid o długim okresie obrotu i małych amplitudach zmienności blasku, obiektów do tej pory sporadycznie badanych”, w tym „ustalenie ich rozmiarów z najwyższą możliwą precyzją i porównanie wyników otrzymanych dwoma precyzyjnymi metodami”. Rozprawa doktorska, w tym opublikowane prace dowodzą, że dla wielu planetoid udało się ten cel zrealizować.

Z przyjemnością stwierdzam, że przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska spełnia wszystkie cztery ustawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Oceniam ją bardzo pozytywnie. Rekomenduję dopuszczenia doktoranta do dalszych etapów postępowania.

Prof. dr hab. Szymon Kozłowski

Uwagi:

- Strona 2. „... duże planetoidy w szczególności ... zachowują względnie pierwotny skład Układu Słonecznego sprzed 4,6 mld lat.” Duże planetoidy i planety przeszły proces dyferencjacji, więc pierwotny skład został wymazany. Pierwotny skład Układu Słonecznego można znaleźć w ciałach macierzystych chondrytów (tj. małych planetoidach nigdy nie będących częścią większej planetoidy).
- Strona 3. „planetoidy o rozmiarach powyżej 100 km uważane są za prymitywne i niezmienione”. Patrz punkt wyżej. W mojej opinii kolejne zdanie w rozprawie jest błędne. Większość meteorytów to chondryty zwyczajne i tylko 23% z nich to brekcje.
- Strona 4. „Fotometria jest pomiarem zmian jasności ... w czasie”. Nie jest. Fotometria – jak sama nazwa wskazuje – jest pomiarem liczby fotonów (natężenia światła) od obiektu. Doktorant zapewne w tym miejscu miał na myśli analizę krzywych zmian blasku.
- Strona 9. „Definitywne połączenie pomiędzy planetoidą Westa a typem meteorytów HED”. Taki jest konsensus, z którym ja się nie zgadzam. Praca McCord i in. (1970) pokazuje jedynie, że na powierzchni Westy są pirokseny. Nawet z wynikami misji NASA Dawn, która przez 14 miesięcy okrążyła i badała Westę, nie istnieje „definitywne połączenie” pomiędzy meteorytami HED a Westą. W szczególności Scott i in (2009, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 73, 9, pp. 5835-5853) pokazał na podstawie mineralogii i izotopów tlenu, że meteoryty HED pochodzą najprawdopodobniej z sześciu różnych ciał typu Westa, natomiast Wasson (2013, *Earth and Planetary Science Letters*, Volume 381, p. 138-146.) analizując meteoryty żelazne pokazał, że pochodzą one z 26 różnych zdyferencjonowanych i do dzisiaj zniszczonych ciał macierzystych (które musiały mieć krzemianowy płaszcz i skorupę). Dodatkowo izotopowe połączenie meteorytów HED z meteorytami żelaznymi z grupy IIIAB (pochodzącymi z jądra rozbitej planetoidy) może wskazywać na to, że planetoida z której pochodzą meteoryty HED nie istnieje.
- Strona 20. Rysunek 2.3. W opisie nie jest wyjaśnione czym są trzy prezentowane krzywe (natomiast w pracy nr 1 jest to wyjaśnione).