

Recenzja rozprawy doktorskiej Antoine Choukroun'a
pt. "Sizes and thermal properties of Asteroids"
(Rozmiary i właściwości termiczne planetoid).

Promotor dr hab. Anna Marciniak, prof. UAM.

Rozprawa składa się z opracowania monograficznego składającego się z 4 rozdziałów z dołączonymi 3 publikacjami i jednym artykułem w recenzji. Niestety tekstu w recenzji tj.:

1. "STEROID: A python package to automatise asteroid and star photometry." Choukroun A., Kaminski K., and Marciniak A., 2025, przesłany do Acta Astronomica.

nie można traktować jako publikacji. Uznaję go jako część manuskryptu i w takiej formie został zrecenzowany (w dalszej części odnoszę się do tej części jako tekst [1]). W jego powstaniu udział pana Choukroun'a był znaczący (pisanie tekstu, oprogramowania, dokumentacji oprogramowania oraz opracowania wyników. Gotowy pakiet programów został udostępniony przez autora na stronach www).

W publikacji:

2. "Asteroid sizes determined with thermophysical model and stellar occultations." Choukroun, A., Marciniak, A., Ďurech, J., Perla, J., Ogłóza, et al., 2025 Astronomy & Astrophysics, 698, A298.

pan Choukroun jest pierwszy autorem i miał znaczący udział podczas pisania tekstu, przygotowania danych oraz opracowania wyników.

3. "Thermophysical model of (269) Justitia – Main Belt Asteroid Possibly Implanted from Trans-Neptunian Region." Marciniak, A., Choukroun, A., Perla, J., Ogłóza, W., Szakats, R. et al., 2025 The Planetary Science Journal, 6, 60.

wkład pana Choukroun'a jako drugiego autora wydaje się dostatecznie duży (ok. 30-40%) przy czym czasopismo, w którym opublikowano artykuł nie jest na liście ministerialnej.

W kolejnej publikacji:

4. "Scaling slowly rotating asteroids with stellar occultations." Marciniak, A., Ďurech, J., Choukroun, A., Hanuš, J., Ogłóza, W. et al., 2023 Astronomy & Astrophysics, 679, A60.

pan Choukroun jest trzecim współautorem wieloautorskiej pracy, więc jego wkład w przygotowanie artykułu jest trudny do oszacowania. Prawdopodobnie jest to 10-20%.

Rozprawa poświęcona jest badaniom wybranych obiektów z pasa głównego planetoid o długich okresach rotacji i niskich amplitudach zmian jasności. Jej głównym celem było precyzyjne wyznaczenie rozmiarów planetoid oraz porównanie dwóch niezależnych metod użytych do ich obliczenia tj. termofizycznej - CITPM oraz okultacyjnej.

Rozdział 1 zawiera opis odkryć pierwszych planetoid, rozwoju wiedzy na ich temat wraz rozwojem technik obserwacyjnych (m.in. fotometrii, obserwacji radiowych, astrometrii, spektroskopii, analizy składu meteorytów, misji kosmicznych i zakryć gwiazd przez planetoidy) oraz modeli (termofizycznych i fotometrycznych) do analizy kształtu, rotacji, a także rozmiarów planetoid. Przedstawiony opis jest raczej skrótowy jednak ostatecznie pozwala uzyskać pewien ogólny obraz problemów związanych z metodami obserwacyjnymi oraz interpretacją wyników. Przypis [4] w rozdziale 1 (tj. 1.2.5) odnosi do strony www zawierającej zbyt ogólny zakres informacji aby

wyszukać tę wskazaną przez autora (cyt: "Lance Benner says, some radar images of asteroids rival the resolutions of spacecraft flyby missions", strona <https://www.space.com/>).

Rozdział 2 prezentuje zestaw danych fotometrycznych użytych do analizy, omawia pakiet programów STERIOD do redukcji i opracowania danych oraz teoretyczne podstawy rekonstrukcji kształtu planetoidy na podstawie obserwacji fotometrycznych. Informacje dot. danych są skąpe. Czytając można dowiedzieć się jedynie, że obserwacji było dużo (1151 krzywych), jednak szczegółowe informacje podano w dołączonych publikacjach. Natomiast pakiet STERIOD do automatycznego przetwarzania danych (napisany w pythonie) opisany został w szczegółach co wraz z tekstem [1] umożliwia zrozumienie podstaw jego działania. Należy nadmienić, że pakiet udostępniony jest publicznie i pozwala na stosowanie go zarówno do poruszających się obiektów jak i fotometrii gwiazd. Rozdział zawiera również wstęp do teorii rekonstrukcji kształtu planetoidy z obserwacji fotometrycznych oraz przykładowe rozwiązania (parametry i model) dla planetoidy (931) Whitemora. Rozdział jest napisany zrozumiałym językiem ale zawiera parę niedociągnięć: na rys. 2.4 nie napisano czym jest P. Jest co prawda mowa o konstrukcji złożonej krzywej jasności, podczas której wyprowadza się okres synodyczny lecz czym naprawdę jest P dowiadujemy się dopiero czytając opis wzoru 2.7 parę stron dalej. Rysunki 2.8 i 2.9 ilustrujące rotację syderyczną i synodyczną są moim zdaniem zbędne.

Rozdział 3 poświęcono metodzie wyznaczania średnic planetoid z obserwacji okultacyjnych. Na uwagę zasługuje rozwinięty przez autora pakiet programów w pythonie (occultationFit, udostępniony na stronach www) do obliczeń rozmiarów planetoid z obserwacji okultacji gwiazd oraz wyznaczenie za pomocą programu średnic paru przykładowych obiektów. Opis programu moim zdaniem mógł być pełniejszy (np. wzbogacony o przykłady plików wejściowych, wynikowych itd.). Dodatkowe informacje na temat jego użycia i działania można uzyskać na podanej stronie www. W rozdziale stwierdzono, że wyniki uzyskane z occultationFit bardzo dobrze zgadzają się z wynikami uzyskanymi programem Marciniak et al. (2003). W dalszej części autor opisuje technikę modelowania emisji termicznej planetoid na podstawie wstępnie zdefiniowanego kształtu, danych w podczerwieni (termicznych) oraz danych fotometrycznych. Rozdział jest również dobrym wprowadzeniem do modeli termofizycznego Lagerrosa oraz fotometrycznego Hapke używanych w modelowaniu termicznym CITPM (Convex Inversion Thermophysical Model). Autor rozprawy, opisuje również opracowaną przez siebie procedurę postępowania z danymi oraz skryptami pomocniczymi przygotowującymi dane do CITPM dzięki czemu czas obliczeń znacząco zostaje skrócony. Imponująca jest dokładność (58 ± 2 km) wyznaczenia rozmiarów i albedo ($p_v = 0.058 \pm 0.006$) planetoidy (269) Justitia. W dalszej części autor w skrócie informuje o wyznaczeniu średnic 15 planetoid z pasa głównego wykorzystując dane okultacyjne i modelowanie termofizyczne oraz o porównaniu wyników z uzyskanymi z CITPM. Niestety bez przeczytania wskazanej publikacji, niewiele więcej z podrozdziału 3.3 da się uzyskać.

Rozdział 4 podsumowuje pracę autora dysertacji wspominając uzyskane wyniki.

Tekst [1] wysłany do publikacji w Acta Astronomica poświęcony jest przygotowaniu, testom i opisowi dokumentacji pakietu oprogramowania "STERIOD" do automatycznej redukcji (bias, dark, flat) i opracowania danych fotometrycznych CCD zarówno gwiazd jak i poruszających się obiektów. Jako wynik uzyskuje się aperturowe krzywe jasności. Program automatycznie wykrywa poruszające się obiekty i nie korzysta z astrometrycznej identyfikacji pola obserwacji. Cały pakiet udostępniono na github. Jedną z głównych zalet programu jest m.in. transformacja położenia obiektów w STERIOD względem zdjęcia wzorcowego, która przeprowadzana jest algebraicznie (bez interpolacji) co zmniejsza błędy fotometrii. Proces poszukiwania obiektów na zdjęciach został zautomatyzowany dzięki autorskiej metodzie obliczania poziomu odcinania/tła oraz metodzie konturów do wyznaczania ich pozycji na zdjęciach. Program bardzo dobrze nadaje się do opracowania krzywych jasności poruszających się obiektów ze zdjęć CCD niewykazujących problemów ze zmiennym tłem/artefaktami utworzonymi podczas złej kalibracji flatem.

Publikacja [2] jest najważniejszą publikacją pana Choukroun'a, w której przedstawia analizę gęstych danych fotometrycznych, obserwacji w podczerwieni i danych okultacyjnych do wyznaczenia kształtu, parametrów rotacji, rozmiarów, chropowatości powierzchni, bezwładności cieplnej 15 planetoid z pasa głównego. Wszystkie były słabo poznane i charakteryzowały się długimi okresami rotacji (powyżej 12 godzin) oraz niską amplitudą zmian jasności (poniżej 0.3 mag). Ponieważ rozdział 3 jest w zasadzie wprowadzeniem do publikacji [2], wobec tego podkreślę jedynie, że analiza danych przedstawiona w publikacji [2] przeprowadzona została dla danych satelitarnych oraz danych zebranych w ramach międzynarodowych kampanii obserwacyjnych. W tym ze znacznym zaangażowaniem astronomów amatorów. Dzięki temu możliwe było m.in. uzyskanie krzywych zmian jasności oraz pomiarów okultacyjnych z wielu punktów na Ziemi, co ma podstawowe znaczenie podczas próby określenia rozmiarów i kształtu obserwowanego obiektu. Wrażenie jednak robi znaczna liczba opracowanych (w większości przez autora dysertacji) danych fotometrycznych - gęstych danych z wielu naziemnych kampanii obserwacyjnych, danych z teleskopów kosmicznych TESS, KEPLER oraz danych w podczerwieni (WISE, IRAS AKARI) dla każdej z planetoid (tab. 2 publikacji + strona [www.zenodo](http://www.zenodo.org) z listą kampanii oraz długą listą obserwatorów).

Publikacja [3] dotyczy pojedynczej planetoidy (269) Justitia typu D, z głównego-pasa, która w dł. autorów najprawdopodobniej jest trans-Neptunową planetoidą. Planetoida przedstawia nietypowe cechy ma wyjątkowo czerwony kolor powierzchni oraz zwiększoną refleksyjność w dłuższych długościach fal. Ponieważ planetoida została wyznaczona jako główny cel misji kosmicznej MBR Explorer, autorzy wykorzystali dostępne obserwacje fotometryczne i w podczerwieni, do rekonstrukcji jej kształtu. Zastosowanie modelowania CITPM umożliwiło uzyskanie bardziej realistycznego kształtu (niż w literaturze), dokładnego rozmiaru planetoidy, bezwładności cieplnej (uwaga: z dużymi błędami od -40 do +110, które mogą wynikać z dużych różnic odległości planetoidy od 0.6 do 2.74 AU w czasie jej ruchu wokół Słońca), chropowatości powierzchni i albedo. Autorzy wykazali, że oś obrotu (269) Justitii nachylona jest do ekliptyki pod dużym kątem, a obrót jest wsteczny. Zastanawiające, że w publikacji z 2025 roku, na początku rozdziału 5 (Discussion and Conclusions) mowa jest o nadchodzącym zakryciu (w domyśle: wspomnianym w abstrakcie, które zaszło w 2023 roku), a na końcu tego rozdziału autorzy stwierdzają, że ich model okazał się użyteczny w planowanej kampanii zakryciowej (czyli z 2023 roku). Natomiast oczywistym jest, że parametry Justitii będą istotne dla MBR Explorer.

Publikacja [4] przedstawia wyniki modelowania 16 planetoid (skalowania) z wykorzystaniem danych archiwalnych (naziemnych i satelitarnych: TESS, KEPLER) i dwóch międzynarodowych kampanii obserwacyjnych, w których uzyskano dane fotometryczne oraz okultacyjne. Podobnie jak w publikacji [2], obserwacje prowadzone były również przez wielu astronomów amatorów. Modelowanie danych umożliwiło wyznaczenie parametrów rotacji oraz rozmiarów badanych planetoid. Przy czym rozmiary planetoid określone w publikacji są średnicami kul o równoważnej objętości, natomiast rozmiary wyznaczane z pomiarów w podczerwieni odnoszą się do kul o równoważnej powierzchni. Różnice między średnicami z tych dwóch metod oszacowano na mniejsze niż 5%. W paru przypadkach, wykorzystano zarówno krzywe blasku, jak i czasy zakryć do rekonstrukcji kształtu i wyznaczenia parametrów rotacji oraz rozmiarów. Na uwagę zasługuje dodatek w publikacji z umieszczonymi rysunkami sfazowanych krzywych jasności 16 planetoid zebranych z kampanii obserwacyjnych w kolejnych latach. Dołączona jest również długa lista obserwatorów.

Publikacje [2,3,4] przeszły proces recenzji i korekty językowej, wobec tego nie zawierają wielu błędów redakcyjnych i nieścisłości (z wyjątkiem niejasności wskazanej w publikacji [3]), a rysunki przygotowane są przejrzyste i dobrze opisane. Z drugiej strony, monografia nie jest wolna od błędów edytorskich, problemów z rysunkami, wzorami, a czasem niezrozumiałym opisem.

Przykładowo:

Summary: "the contribution of the thesis",

Streszczenie: "w szerokim zakresie of kilku".

Str. 19: "observations from 22 June" (powinno być on), str. 24 "poorly constained stretch" (brak "r" w słowie constrained).

Rys. 2.1: za mały przez co nieczytelny.

Wzór 2.1: brakuje odjęcia darku od flatu, a także kalibracji darku czasem integracji flatu (co ma znaczenie gdy czas darku jest różny od czasu integracji flatu).

Rys. 2.3: prawdopodobnie czerwony pkt. odrzucony przez STERIOD pokazano również w zbinowanej krzywej.

Rys 3.4: Przy opisie analizy chropowatości powierzchni planetoidy (279) Thule, rysunek opisany został w treści rozdziału tylko dla panelu a), pozostałe panele b) i c) zostawione zostały bez komentarza.

Str. 37: "In addition, the other tasks carried out (familiarization with the research field, mastering the various modeling techniques, test runs with a mobile occultation observing station, data processing, creating STERIOD pipeline, developing the code to fit occultations, a required 3-month internship abroad, etc.) - zdanie niczego nie wnosi do rozprawy.

W tekście [1]:

Rys. 2: "visible on the orange curve as the fast oscillation intersecting the data on the red point." - odnosi się do punktu, który nie jest zaznaczony na rysunku (zaznaczony jest tylko poziom detekcji jako linia przerywana).

Str. 6: Zdanie: "isolate each objects to each other" -> "isolate objects from each other".

Próba instalacji pakietu STERIOD pokazuje drobny błąd związany z plikiem setup.py, w którym nazwa kartoteki z zestawem modułów do instalacji to "steroid", a plik Steroid-main.zip z github tworzy po rozpakowaniu kartotekę "Steroid". Zmiana nazwy kartoteki na "steroid" usuwa problem.

Str. 9: "due to not behing detected"

Rys. 7: "Numbers under the corner of boxes represent the width and height of the layer." Przy rogu pudełek jest tylko 1 numer (nie numery) oznaczający wysokość = szerokość warstwy.

Str. 11: Problem z dwoma pierwszymi zdaniami paragrafu 4.4. (str. 11).

Str. 15: "However, in image b), the aperture around the asteroid appears red." - dotyczy rys. c).

Powyższe błędy nie są jednak krytyczne dla zrozumienia całości. Natomiast chciałbym usłyszeć odpowiedź/komentarz na następujące pytania:

A) Na czym polega proces przetwarzania danych radarowych pozwalających uzyskać wysoką zdolność rozdzielczą obrazów powierzchni asteroid (str. 8 "Through sophisticated processing, radar can even produce images with resolution as fine as a few meters in the best cases").

B) Rys. 2.2 a) oraz b) pokazują różne powierzchnie (wypukłą i niewypukłą) i ich odwzorowanie na Gausowskiej powierzchni gęstości. Na rys. a) wektory prostopadłe do powierzchni niewypukłej wybrano jako równoległe (czerwony i czarny) i uzyskano nakładające się wektory na odwzorowaniu. Czy gdyby na rys. b) (z lewej strony) - dla powierzchni wypukłej - również wybrać dwa równoległe wektory normalne, nie uzyskalibyśmy podobnego efektu nakładania się wektorów na odwzorowaniu (rys. b z prawej)? Innymi słowy: czy różnica wynika z geometrii powierzchni, czy wyłącznie z doboru kierunków wektorów normalnych?

C) Str. 23 "To do this, the model is re-projected along its principal inertia axes to confirm that the rotation axis remains well aligned with the z-axis." - W jaki sposób ustalano oś największej bezwładności i czy zakładano jakiś rozkład gęstości asteroidy?

D) Tekst [1] Nie jest dla mnie jasne (str. 6 "For star background matching blended images are as good as deblended images, for targets we decided to disregard such photometry because of its lower quality.") jak odróżniane są obrazy nakładające się (blended) od obrazów gwiazd pojedynczych.

Podsumowując:

Należy stwierdzić, że autor dysertacji włożył znaczny wysiłek w przygotowanie oprogramowania STERIOD, pakietu OccultationFit, skryptów oraz procedur optymalizujących modelowanie termiczne programem CITPM. Wykorzystując oprogramowanie opracował dane obserwacyjne (fotometryczne, termiczne, zakryciowe) z wielu teleskopów naziemnych i kosmicznych, a następnie wyznaczył parametry orbitalne, własności powierzchniowe i rozmiary 15 wolno rotujących planetoid z pasa głównego. Przyczynił się też (m.in) do określenia prawdopodobnego pochodzenia planetoidy (269) Justitia oraz jej parametrów. Dla 16 innych planetoid opracował dane fotometryczne. Duża część jego pracy ukazała się w formie publikacji. Nie bez znaczenia jest również fakt, że oprogramowanie, którego autorem jest pan Choukroun udostępnione zostało publicznie.

Przedstawiona dysertacja świadczy o dobrym przygotowaniu autora do pracy naukowej, współpracy i pracy zespołowej, opanowaniu technik redukcji danych, biegłości programowania, znajomości wielu baz danych, oraz krytycznej ocenie wyników. Autor dysertacji wykazał się odpowiednią samodzielnością w prowadzeniu przyjętego zakresu badań oraz pisaniu publikacji, co stanowi podstawę pracy naukowej. Pomimo wspomnianych niewielkich braków i nieścisłościami należy uznać, że rozprawa zawiera oryginalne rozwiązania, a wyniki w niej przedstawione są interesujące. Rozprawa spełnia zwyczajowe oraz ustawowe kryteria stawiane pracom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie mgra Antoine Choukroun'a do dalszych etapów postępowania doktorskiego.

Jerzy Krzesiński

