

Autoreferat

Przemysław Bartczak

Instytut Obserwatorium Astronomiczne
Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza
w Poznaniu

Poznań, 2019

1 Życiorys naukowy

1.1 Dane osobowe

- Imię i nazwisko: Przemysław Bartczak
- Miejsce pracy: Instytut Obserwatorium Astronomiczne, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, ul. Słoneczna 36, 60-286 Poznań, tel. +48 61 829 2775, e-mail: przebar@amu.edu.pl

1.2 Wykształcenie i stopnie naukowe

- 1994-1999 — Studia na Wydziale Fizyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, na kierunku fizyka, specjalność astronomia
- 1999 — Uzyskanie tytułu magistra, praca magisterska *Orientacja osi wertykalnej astrolabii względem układu odniesienia zadanego przez katalog Hipparcos*, Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza, promotor: prof. UAM dr hab. Krystyna Kurzyńska
- 2005 — Uzyskanie stopnia doktora nauk fizycznych, praca doktorska *Potencjał grawitacyjny układu odcinków materialnych i jego zastosowania w badaniach planetoid podwójnych*, Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza, promotor: dr hab. Sławomir Breiter

1.3 Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu

- 17.07.1998 — 30.09.1999 — pracownik techniczny, Obserwatorium Astronomiczne, UAM
- 01.10.1999 — 30.09.2004 — doktorant, Obserwatorium Astronomiczne, UAM
- 01.10.2004 — 30.11.2005 — pracownik techniczny, Obserwatorium Astronomiczne, UAM
- 01.12.2005 — 30.03.2006 — pracownik naukowo-techniczny, Obserwatorium Astronomiczne, UAM
- 01.04.2006 — 31.03.2009 — staż naukowy typu post-doc w Institut d'Astrophysique et de Géophysique Université de Liège, Belgium
- od 1.04.2009 — adiunkt, Instytut Obserwatorium Astronomiczne, UAM

2 Osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę postępowania habilitacyjnego

Osiągnięciem naukowym jest cykl publikacji zatytułowany „Modelowanie kształtu i parametrów rotacji planetoid w oparciu o dane fotometryczne”.

2.1 Wykaz artykułów naukowych stanowiących podstawę postępowania habilitacyjnego

- H1 Santana-Ros, T., **Bartczak, P.**, Michałowski, T., Tanga, P. and Cellino, A. 2015.
Testing the inversion of asteroids' Gaia photometry combined with ground-based observations
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 450, 333-341,
IF(2015)=4.952,
W publikacji testowałem metodę inwersji opracowanej na potrzeby misji Gaia na podstawie wykonanych przeze mnie symulacji obserwacji fotometrycznych, wkład własny 40%.
- H2 **Bartczak, P.**, Michałowski, T., Santana-Ros, T. and Dudziński, G., 2014.
A new non-convex model of the binary asteroid 90 Antiope obtained with the SAGE modelling technique
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 443, 1802-1809,
IF(2014)=5.107,
Publikacja zawiera wyniki modelowania układu podwójnego (90) Antiope, wkład własny 60%
- H3 **Bartczak, P.**, Kryszczyńska, A., Dudziński, G., Polińska, M., Colas, F., Vachier, F., Marciniak, A., Pollock, J., Apostolovska, G., Santana-Ros, T., Hirsch, R., Dimitrow, W., Murawiecka, M., Wietrzycka, P. and Nadolny, J., 2017.
A new non-convex model of the binary asteroid (809) Lundia obtained with the SAGE modelling technique
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 471, 941-947,
IF(2017)=5.194,
Publikacja zawiera wyniki modelowania układu podwójnego (809) Lundia, wkład własny 60%.
- H4 **Bartczak, P.** and Dudziński, G. 2018.
Shaping asteroid models using genetic evolution (SAGE)
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 473, 5050-5065,
IF(2017)=5.194
Publikacja opisuje stworzoną przeze mnie metodę inwersji niewypukłej, wkład własny 60%.
- H5 **Bartczak, P.** and Dudziński, G. 2019.
Volume uncertainty assessment method of asteroid models from disk-integrated visual photometry
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society doi:10.1093/mnras/stz300,
IF(2017)=5.194
Publikacja opisuje stworzoną przeze mnie metodę wyznaczania niepewności parametrów fizycznych modeli planetoid, wkład własny 60%.

2.2 Opis celów naukowych i rezultatów

Szacuje się, że planetoidy stanowią grupę ciał w naszym Układzie Słonecznym składającą się z kilku milionów obiektów. Odkryto ponad 200 obiektów o średnicach przekraczających 100 kilometrów. Na podstawie pomiarów w podczerwieni stwierdzono, że około 1,7 miliona ma średnice powyżej 1 km (Tedesco i Desert, 2002). Zdecydowana większość planetoid znajduje się w pasie między orbitą Marsa i Jowisza. Mimo, że masa wszystkich planetoid szacowana jest na ok 4% masy Księżyca (Krasinsky i inni, 2002), są one ważnym źródłem informacji, dzięki którym możemy dowiedzieć się jak powstał Układ Słoneczny i jak będzie przebiegać jego ewolucja. Położenie osi obrotu, okres rotacji i kształt planetoid są ważnymi parametrami w procesie modelowania efektu Jarkowskiego i YORP (Yarkovsky-O'Keefe-Radzievskii-Paddack) (Vokrouhlický i inni, 2015). Efekt Jarkowskiego odpowiedzialny jest za zmianę parametrów orbity planetoid. W przypadku obiektów zbliżających się do Ziemi, zmiana parametrów orbity może doprowadzić do kolizji z naszą planetą i zagrozić bezpieczeństwu naszej cywilizacji. Efekt YORP wpływa na zmianę położenia osi obrotu i okresu rotacji planetoidy od których zależy efekt Jarkowskiego. Zwiększenie prędkości obrotu może również doprowadzić do rozerwania planetoidy. Ewolucja tych parametrów pod wpływem YORP zależy bardzo silnie od kształtu ciała.

Obecnie obserwacje planetoid z powierzchni Ziemi prowadzone są za pomocą różnych technik pomiarowych takich jak: rejestracja czasu podczas zakrycia gwiazd przez planetoidy, obserwacje za pomocą optyki adaptacyjnej, obserwacje radarowe z wykorzystaniem efektu Dopplera, obserwacje w podczerwieni, spektroskopowe i polarymetryczne. Jednak najstarszą techniką, dostarczającą najliczniejsze obserwacje jest fotometria, obejmująca największą liczbę obiektów znanej nam populacji planetoid. Rozwój teleskopów i światłoczułych klisz fotograficznych umożliwiły pomiary względnej i absolutnej jasności planetoid dla większej ilości obiektów i większego zakresu obserwowanego kąta fazowego. Szybki rozwój kamer CCD pozwolił na zwiększenie rozdzielczości czasowej i fotometrycznej krzywych jasności.

Rozwój obserwacji radarowych, optyki adaptacyjnej oraz zakryć gwiazd przez planetoidy umożliwiły otrzymanie dodatkowych informacji o kształcie obserwowanych planetoid, jednak pierwszych bezpośrednich zdjęć planetoid dostarczyła sonda Galileo w latach 1991-1993 w czasie przelotu w pobliżu planetoid 951 Gaspra i 243 Ida (Belton i inni, 1992, 1996). Misje kosmiczne realizowane w dalszych latach dostarczyły nam bezpośrednich obserwacji planetoid, na podstawie których powstały ich modele. Niestety, sytuacja ta dotyczy tylko kilkunastu obiektów wśród ponad 700 tysięcy znanych aktualnie planetoid. Wykonane w czasie misji zdjęcia ukazały nieregularne, niewypukłe kształty planetoid z pokraterowanymi powierzchniami. Dalszy rozwój technik obserwacyjnych, dzięki którym otrzymujemy nowe, dokładniejsze informacje na temat planetoid, wymusza powstawanie nowych metod modelowania mogących je wykorzystać.

Pierwsze rozważania na temat rekonstrukcji kształtów planetoid na podstawie fotometrycznych krzywych zmian jasności podjęto w roku 1906 (Rus-

sell, 1906). Analizę przeprowadzono przy założeniu geometrycznego prawa odbicia światła oraz danych fotometrycznych uzyskanych przy zerowym kącie fazowym. Stwierdzono, że na podstawie obserwacji fotometrycznych można określić położenie osi obrotu obiektu w przestrzeni. Natomiast wyznaczenie jednoznacznego modelu kształtu planetoid jest poza zasięgiem tej techniki obserwacyjnej, ponieważ zmiana jasności w czasie obrotu następuje nie tylko z powodu nieregularności bryły, ale również z powodu nierównomiernego albedo na jej powierzchni. W związku z tym obecnie w metodach rekonstrukcji kształtów z danych fotometrycznych zakładamy, że albedo jest stałe w przypadku, gdy nie posiadamy żadnych informacji na temat jego zróżnicowania na powierzchni.

Pojawienie się nowych technik obserwacyjnych (CCD) i związany z tym przyrost danych dla rosnącej liczby znanych planetoid zainspirowały poszukiwania nowych metod wyznaczania kształtu na przełomie dekad 1980/90.

Opracowano analityczną metodę łączącą jasność absolutną oraz amplitudę krzywej jasności z metodą epok (Magnusson i inni, 1989; Michałowski, 1993), która umożliwia wyznaczenie półosi elipsoidy trójosiowej z obserwacji fotometrycznych. Równocześnie powstała koncepcja zastąpienia trójosiowej elipsoidy modelem kształtu składającym się z połączenia 8 oktantów różnych elipsoid (Cellino i inni, 1989). Z przytoczonych wyżej prac wynikało, że wyznaczone położenie osi obrotu i kształt planetoidy są ze sobą nierozzerwalnie powiązane. Z tego względu w dalszej części autoreferatu używać będę terminu **parametry kształtu-rotacji (PKR)** jako wspólnej nazwy dla okresu obrotu, orientacji osi obrotu i modelu kształtu.

Rozwój komputerów i rosnąca moc obliczeniowa procesorów doprowadziły do pojawienia się metod numerycznych (Uchida i Goguen, 1987; Karttunen i Bowell, 1989), opartych na reprezentowaniu modelu kształtu planetoid za pomocą małych elementów powierzchniowych umożliwiając jednocześnie zastosowanie bardziej wyrafinowanych praw odbicia światła na poszczególnych elementach powierzchni. Umożliwiło to poprawienie zgodności obserwacji z modelowaniem krzywej zmian jasności dla trójosiowej elipsoidy. Stosowanie uproszczonych modeli kształtu bazujących na trójosiowych elipsoidach uniemożliwiało dokładne wyjaśnienie zmian jasności obserwowanych planetoid.

Przełomem okazała się metoda inwersji wypukłej (Kaasalainen i Torppa, 2001; Carry i inni, 2010b), w wyniku której otrzymujemy PKR. Warunkiem uzyskania prawidłowego rozwiązania jest wykorzystanie obserwacji fotometrycznych z wielu lat, które wykonane zostały dla różnych geometrii Słońce-planetoida-Ziemia. Niestety, wspomniane metody, bazujące na obserwacjach fotometrycznych, ograniczają się do modelowania tylko kształtów wypukłych bez względu na faktyczny kształt obiektu.

Znajomość realistycznego modelu kształtu oraz poprawna informacja o gęstości ciała jest warunkiem koniecznym do prowadzenia badań związanych z dynamiką odkrywanych układów podwójnych oraz stabilnością grawitacyjną odkrywanych pierścieni wokół niektórych planetoid (Braga-Ribas i inni, 2014; Ortiz i inni, 2017). Poprawne wyznaczenie gęstości ciała wymaga znajomości jego objętości, która powiązana jest z jego kształtem. Wyznaczenie

efektu Jarkowskiego i YORP oraz planowanie przyszłych manewrów w polu grawitacyjnym w czasie misji kosmicznych do planetoid wymaga również dostarczenia dokładniejszych modeli kształtu planetoid.

Aby przezwyciężyć ograniczenia metod inwersji wypukłej opracowano metodę KOALA (Carry i inni, 2010a), w której modelowanie opiera się na obserwacjach fotometrycznych wspomaganych przez obserwacje wykonane przez teleskopy z zastosowaniem optyki adaptacyjnej. Natomiast metoda ADAM (Viikinkoski i inni, 2015) uwzględnia większą ilość informacji pozyskanych z innych technik obserwacyjnych. Metoda SHAPE wykorzystuje dane fotometryczne i radarowe do rekonstrukcji kształtu (Hudson, 1993).

Wymienione metody dostarczają niewypukłe modele kształtów planetoid. Niestety liczba planetoid dla których udaje się pozyskać dane obserwacyjne innymi metodami niż fotometria jest niewielka i ograniczona do dużych i/lub bliskich Ziemi obiektów.

Dla planetoid, które posiadają liczne obserwacje fotometryczne, a nie posiadają dodatkowych informacji z innych technik obserwacyjnych, nie istniała dotychczas metoda inwersji umożliwiająca modelowanie niewypukłych kształtów. Ten fakt stał się inspiracją do rozpoczęcia moich badań naukowych nad nową metodą inwersji niewypukłej oraz metodą wyznaczenia niepewności dla parametrów fizycznych otrzymywanych modeli.

Dodatkowo modele dostarczone przez misje kosmiczne, wykorzystałem do weryfikacji poprawności wyników otrzymanych za pomocą stworzonych przeze mnie metod.

2.2.1 Cele naukowe

Celem moich badań naukowych było znalezienie odpowiedzi na poniższe pytania dotyczące modelowania małych ciał Układu Słonecznego w oparciu o dane fotometryczne:

1. Jakie ograniczenia występują w wyznaczeniu PKR planetoid ?
2. Czy możliwe jest wyznaczenie PKR planetoid metodą inwersji niewypukłej ?
3. Jakie są niepewności wyznaczonych PKR ?

2.2.2 Testowanie ograniczeń w wyznaczeniu PKR na podstawie obserwacji fotometrycznych

Pierwszy aspekt moich badań związany z modelowaniem planetoid dotyczy wpływu ilości informacji zawartej w obserwacjach fotometrycznych na wyniki modelowania. Najbardziej powszechne są fotometryczne obserwacje z powierzchni Ziemi, które wyznaczają jasność planetoid poprzez ich porównanie z jasnością pobliskich gwiazd. W wyniku obserwacji nie otrzymujemy informacji o jasności absolutnej planetoidy, ale jedynie o zmianach jej jasności w czasie. Natomiast fotometryczne przeglądy nieba wykonywane z

powierzchni Ziemi zawierają informację o chwilowej jasności absolutnej planetoid, ale nie dostarczają krzywych zmian jasności. Dokładność obserwacji krzywych zmian jasności jest na poziomie 0.01 mag, a fotometrycznych przeglądów nieba na poziomie 0.1 mag. Misja kosmiczna Gaia od 2013 roku wykonuje fotometryczny przegląd nieba z bardzo dużą dokładnością ok. 0.001 mag (Spoto i inni, 2018).

Badałem wpływ ilości i jakości obserwacji na proces wyznaczania PKR w czasie modelowania (**H1**). W tym celu na podstawie uzyskanych danych technicznych misji Gaia symulowałem obserwacje fotometryczne dla ponad 10000 losowych modeli kształtów i losowych położeń ich osi obrotu. Wsymulowane dane fotometryczne wykorzystałem do wyznaczenia parametrów PKR, za pomocą genetycznej metody inwersji przygotowanej do redukcji danych z misji (Cellino i inni, 2006). Otrzymane wartości PKR porównałem z wartościami parametrów modeli kształtów wykorzystanych do symulacji.

W pracy **H1** wykazano, że rekonstrukcja PKR z obserwacji fotometrycznych obarczona jest zawsze wpływem geometrii Słońce-planetoida-Ziemia, kierunkiem osi obrotu modelowanego ciała, kształtem ciała oraz jakością punktów pomiarowych.

Ograniczenia związane z geometrią Słońce-planetoida-Ziemia możemy minimalizować uwzględniając ją w kampaniach obserwacyjnych. Zaproponowałem wsparcie obserwacji satelitarnych naziemnymi obserwacjami fotometrycznymi. Dzięki uzyskaniu finansowania z Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA) powstał serwis internetowy GaiaGOSA, który umożliwi synchronizację obserwacji naziemnych z satelitarnymi (<http://gaiagosa.eu>).

Poprawa dokładności pomiarów fotometrycznych jest również ważnym czynnikiem ograniczającym niepewności wyznaczonych wartości PKR. Rozwój technik obserwacyjnych umożliwia nam zwiększenie dokładności punktów pomiarowych.

Niestety dwa ostatnie czynniki: orientacja osi obrotu i kształt ciała, od których w największym stopniu zależy sukces naszego modelowania, są od nas niezależne.

Przeprowadzone w pracy **H1** testy wykazały, że metoda inwersji oparta na danych fotometrycznych wprowadza systematyczne błędy w PKR. Nieznajomość tych błędów może prowadzić do nieprawidłowych wniosków naukowych. Przykładem tego może być interpretacja rozkładów biegunów jako wpływ efektów niegrawitacyjnych na ewolucję populacji planetoid (Vokrouhlický i inni, 2015). Nieprawidłowe parametry kształtu wpływają na wyznaczoną wartość objętości ciała, która jest wykorzystywana do obliczenia gęstości.

2.2.3 Wyznaczenie parametrów fizycznych planetoid metodą inwersji niewypukłej

Drugim aspektem moich badań było opracowanie, zaprogramowanie i przetestowanie metody inwersji niewypukłej SAGE (Shaping Asteroids with Genetic Evolution). Metoda oparta jest na algorytmach genetycznych wspomagających poszukiwanie globalnego minimum funkcji PKR, umożliwiając

modelowanie zarówno planetoid podwójnych jak i pojedynczych.

W pierwszej kolejności stworzyłem metodę SAGE dla planetoid podwójnych opisaną w pracy **H2**. Ograniczyłem się do układów podwójnych synchronicznych, ponieważ są one dynamicznie ustabilizowane. Proces rozpoczynany od budowy modelu układu podwójnego składającego się z dwóch ciał znajdujących się w pewnej odległości od siebie. Położenie osi obrotu, odległość i stosunek wielkości składników układu podlegają procesowi modelowania wraz z ich kształtami. Modelowanie rozpoczyna się od sferycznych ciał, których kształt zaburzany jest losowo przez funkcje mutującą. Dodatkowo funkcja mutująca zmienia orientację osi obrotu ciała w przestrzeni, stosunek wielkości składników i odległość między nimi. Dla każdego powstałego w ten sposób nowego modelu obliczane są środek masy oraz położenie osi bezwładności każdej bryły w celu zachowania własności dynamicznych (obrót wokół osi największej bezwładności, przechodzącej przez środek masy). Następnie obliczana jest syntetyczna krzywa zmian jasności za pomocą bibliotek programistycznych umożliwiających prowadzenie szybkich obliczeń na procesorach kart graficznych. Porównanie syntetycznej krzywej jasności z obserwacjami, pozwala nam wyznaczyć okres obrotu oraz wartość parametru RMSD (Root Mean Square Deviation), który staje się kryterium wyboru najlepszego zaburzonego modelu kształtu. Wybrany model staje się modelem bazowym dla następnych mutacji parametrów fizycznych. W ten sposób otrzymuję zamknięty proces ewolucyjny. Modelowanie zostaje zakończone gdy wartość parametru RMSD stabilizuje się, co świadczy o znalezieniu rozwiązania. Dodatkowo stworzyłem dynamiczną funkcję wagowania poszczególnych danych obserwacyjnych w trakcie modelowania, która wspomaga proces znalezienia globalnego rozwiązania.

Za pomocą stworzonej przeze mnie metody wyznaczyłem PKR układu podwójnego 90 Antiope (**H2**). Porównałem otrzymany model układu podwójnego z obserwacjami zakryć gwiazd przez planetoidę z 2011 roku. Obserwacje zakryć gwiazd przez planetoidę potwierdziły poprawność modelu i umożliwiły wyznaczenie rozmiaru i gęstości układu. Metodę wykorzystałem również do wyznaczenia PKR planetoidy 809 Lundia (**H3**). W tym przypadku, wykorzystałem informacje dostarczone przez teleskop kosmiczny Spitzer do wyznaczenia rozmiaru układu podwójnego, co umożliwiło wyznaczenie również jego gęstości.

Następnie stworzyłem wersję metody SAGE dla planetoid pojedynczych opisaną w pracy **H4**. Modelowanie również rozpoczyna się od sferycznego ciała, z którego tworzone są kształty zaburzane losowo przez funkcje mutującą. Funkcja mutująca zmienia dodatkowo orientację osi obrotu bryły w przestrzeni. Dla każdego powstałego w ten sposób nowego modelu obliczane są środek masy oraz położenie osi bezwładności bryły, syntetyczna krzywa jasności i parametr RMSD - podobnie, jak w wersji dla układów podwójnych. Modelowanie zostaje zakończone po ustabilizowaniu się parametru RMSD.

Za pomocą metody SAGE przeprowadziłem modelowanie PKR planetoid 9 Metis i 433 Eros (**H4**). Porównałem wyniki modelowania planetoidy 9 Metis z obserwacjami z optyki adaptacyjnej, potwierdzając poprawność roz-

wiązania. Również zakrycia gwiazd przez planetoidę wskazują, że otrzymane rozwiązanie jest prawidłowe i dodatkowo dostarczają informacji o rozmiarze ciała. W pracy **H4** pokazane jest również porównanie otrzymanego modelu planetoidy 433 Eros z modelem dostarczonym przez misję NEAR Shoemaker (Zuber i inni (2000)). Wyznaczony model jest zbliżony do modelu wykonanego za pomocą pomiarów dalmierzem laserowym sondy kosmicznej.

Metoda SAGE znalazła zastosowanie w projekcie p.t. „Efekty selekcji obserwacji w fizyce planetoid”, kierowanym przez dr Annę Marciniak (SONATA 7 [2014/13/D/ST9/01818]), którego byłem głównym wykonawcą. Wyzaczyłem wartości PKR dla planetoid 159 Aemilia, 227 Philosophia, 329 Svea, 478 Tergeste i 487 Venetia (Marciniak i inni, 2018).

Ponadto zastosowałem metodę SAGE w projekcie „Small Bodies Near and Far” finansowanego przez europejski program H2020-COMPET-2015 wyznaczając PKR dla planetoid 68 Leto, 114 Kassandra, 654 Zelinda, 402 Chloe, 441 Bathilde, 145 Adeona, 297 Caecilia, 308 Polyxo, 3 Juno, 381 Myrrha, 89 Julia, 13 Egeria, 14 Irene, 721 Tabora, 704 Interamia, 64 Angelina i 21 Lutetia. Wyniki są w trakcie publikowania i stanowią część sprawozdania końcowego projektu.

Stworzyłem serwis internetowy ISAM (Interactive Service of Asteroid Models), który umożliwia obrazowanie i generowanie krzywych zmian jasności dostępnych modeli planetoid na dowolny moment czasu. Jest on publiczny i wykorzystywany przez zespoły naukowe do wyznaczania rozmiarów planetoid z obserwacji zakryć gwiazd przez planetoidy (<http://isam.astro.amu.edu.pl>).

Obliczenia oparte na algorytmach genetycznych i bibliotekach graficznych wymagają dużej mocy obliczeniowej. Dzięki otrzymanemu grantowi z Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod tytułem „Modele kształtów niesymetrycznych planetoid wykorzystywanych do badań efektów YORP i Jarkowskiego” [N 203 404139] rozwijałem moją metodę oraz sfinansowałem zakup 18 komputerów wyposażonych w karty graficzne. Zbudowałem i oprogramowałem klaster obliczeniowy tak, aby w pełni wykorzystać moc obliczeniową w procesie modelowania metodą SAGE.

Dzięki finansowaniu projektu „Small Bodies Near and Far” przez program H2020-COMPET-2015 rozbudowałem klaster komputerowy o następne 65 komputerów. Uzyskana moc obliczeniowa umożliwi mi prowadzenie dalszych badań związanych z metodą SAGE.

Doświadczenie zdobyte w czasie badań opisanych w publikacji **H4** jednoznacznie wskazywało, że do prawidłowej interpretacji własności fizycznych modeli otrzymanych z metod inwersji niezbędne jest posiadanie informacji o niepewnościach wyznaczonych PKR.

2.2.4 Wyznaczanie niepewności PKR planetoid

Trzecim aspektem moich badań było wyznaczenie niepewności PKR planetoid uzyskanych w procesie inwersji wypukłej lub niewypukłej z wykorzystaniem danych fotometrycznych. W tym celu opracowałem i zaprogramowałem metodę wyznaczania niepewności PKR na podstawie obserwowanych krzywych zmian jasności oraz danych dostarczanych przez fotometryczne prze-

glądy nieba (**H5**).

Opracowana przeze mnie metoda polega na sprawdzeniu dopuszczalnych zmian wartości PKR akceptowanych w ramach błędu dopasowania modelowanych i obserwowanych danych fotometrycznych. W tym celu badany model planetoidy (bazowy) zostaje powielony (klony) a nominalne wartości PKR zmienione zgodnie z losową funkcją zaburzającą. Warunkiem koniecznym dla powstania prawidłowej próbki statystycznej było dostarczenie dużej ilości klonów (ok. 1.2 mln) oraz zapewnienie równomiernego rozkładu statystycznego zaburzeń poszczególnych PKR. Granice akceptacji poszczególnych klonów ustalamy na bazie wartości parametru RMSD otrzymanego przez porównanie modelowanych danych fotometrycznych dla modelu bazowego z obserwowanymi, uwzględniając liczbę obserwacji i ilość parametrów swobodnych modelu.

Wszystkie klony, dla których wartość parametru RMSD wyznaczona przez porównanie modelowanych i obserwowanych danych fotometrycznych jest mniejsza niż granica akceptacji, wchodzi do zbioru klonów, które reprezentują odchylenia PKR modelu bazowego. Analiza statystyczna otrzymanego zbioru klonów dostarcza nam informacji na temat niepewności PKR i objętości.

Zaprezentowana w pracy **H5** analiza zagadnienia wykazała, że względne obserwacje fotometryczne nie zawierają wystarczającej ilości informacji do wyznaczenia spłaszczenia ciała wzdłuż osi obrotu, które jest głównym czynnikiem wpływającym na niepewność wyznaczonej objętości. Zaproponowałem wykorzystanie danych z fotometrycznych przeglądów nieba w procesie wyznaczania niepewności PKR, ponieważ zmiany spłaszczenia modelu planetoidy wzdłuż osi obrotu wpływają na jej jasność absolutną, dla różnych geometrii Słońce-planetoida-Ziemia.

W pracy **H5** przedstawiono szczegółową analizę potencjalnego wykorzystania dostępnych danych fotometrycznych do wyznaczania niepewności PKR modelu z uwzględnieniem ograniczeń związanych z jakością obserwacji, ilością punktów pomiarowych oraz wpływem geometrii obserwacji. Okazuje się, że wyznaczane niepewności PKR planetoid zależą głównie do warunków obserwacji i wartości PKR, co uniemożliwia stworzenie prostego uniwersalnego systemu opisującego „jakość” badanego modelu.

Przedstawiona w **H5** metoda wyznaczania niepewności PKR planetoid po raz pierwszy pozwala zmienić podejście deterministyczne na stochastyczne.

Zastosowałem moją metodę do wyznaczenia niepewności PKR planetoid 21 Lutetia, 433 Eros, 89 Julia, 243 Ida i 162173 Ryugu (**H5**). Następnie porównałem otrzymane PKR i ich niepewności z wartościami parametrów fizycznych dostarczonych przez misje kosmiczne. Testy wykazały, że metoda poprawnie wyznacza wartości niepewności poszczególnych PKR planetoid potwierdzając poprawność otrzymanych wyników.

Prawidłowe wartości niepewności PKR planetoid są konieczne do propagacji niepewności wartości fizycznych obliczanych na ich podstawie. Muszą one też być uwzględnione, gdy model planetoidy jest wykorzystywany do wyznaczania dodatkowych parametrów fizycznych z wykorzystaniem innych

technik obserwacyjnych. Dzięki temu, że metoda opisana w pracy **H5** dostarcza nam zbiór klonów dla poszczególnych modeli planetoid, możliwe jest ich wykorzystanie w tym procesie. Umożliwia to np. wyznaczenie rozmiaru ciała na podstawie danych z zakryć gwiazd przez planetoidę, uwzględniając niepewność obserwacji wraz z niepewnościami modelu.

2.3 Podsumowanie

Przedstawione powyżej publikacje poświęcone są modelowaniu PKR planetoid Układu Słonecznego. Prace badawcze obejmują testowanie istniejących metod inwersji, opracowanie nowej metody modelowania PKR planetoid oraz wyznaczenia ich niepewności na podstawie danych fotometrycznych.

Testowałem metodę inwersji wypukłej stworzonej do redukcji danych otrzymanych z misji Gaia (**H1**).

Stworzyłem dwie metody dotyczące:

- modelowania niewypukłego kształtu planetoid na podstawie danych fotometrycznych SAGE (Shaping Asteroids with Genetic Evolution) (**H2**, **H4**),
- wyznaczania niepewności PKR planetoid (**H5**),

które są pierwszymi i unikalnymi rozwiązaniami w tej dziedzinie badań. Obie metody wymagają znacznej ilości kart graficznych o dużej mocy obliczeniowej, dlatego zbudowałem klaster komputerowy umożliwiający prowadzenie moich badań sfinansowany przez grant MNiSW (N N203 404139), którego byłem kierownikiem, oraz grant europejski H2020-COMPET-2015, którego kierownikiem jest Thomas Müller (Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik (MPE)).

Wyznaczyłem PKR dla planetoid

- podwójnych: 90 Antiope (**H2**) i 809 Lundia (**H3**)
- pojedynczych: 9 Metis (**H4**), 433 Eros (**H4**) i 89 Julia (**H5**)
(modele 159 Aemilia, 227 Philosophia, 329 Svea, 478 Tergeste, 487 Venetia, 68 Leto, 114 Kassandra, 654 Zelinda, 402 Chloe, 441 Bathilde, 145 Adeona, 297 Caecilia, 308 Polyxo, 3 Juno, 381 Myrrha, 89 Julia, 13 Egeria, 14 Irene, 721 Tabora, 704 Interamia, 64 Angelina i 21 Lutetia opublikowane zostały w pracach lub stanowią część sprawozdania z projektu nie wchodzących w skład osiągnięcia habilitacyjnego).

Dodatkowo powstały dwa serwisy internetowe:

- Interactive Service for Asteroid Models (ISAM),
- Gaia-Groundbased Observational Service for Asteroids (GaiaGOSA),

wspomagające pozyskiwanie danych obserwacyjnych i prezentowanie otrzymanych wyników modelowania dla planetoid.

W najbliższym czasie planuję rozbudowę metody SAGE umożliwiającą wykorzystanie w procesie modelowania innych technik obserwacyjnych: obserwacji radarowych, optyki adaptacyjnej, zakryć gwiazd przez planetoidy i fotometrii absolutnej.

Literatura

- Belton, M. J. S., Chapman, C. R., Klaasen, K. P., Harch, A. P., Thomas, P. C., Veverka, J., McEwen, A. S., i Pappalardo, R. T. (1996). Galileo's Encounter with 243 Ida: An Overview of the Imaging Experiment. *Icarus*, 120:1–19.
- Belton, M. J. S., Veverka, J., Thomas, P., Helfenstein, P., Simonelli, D., Chapman, C., Davies, M. E., Greeley, R., Greenberg, R., Head, J., Murchie, S., Klaasen, K., Johnson, T. V., McEwen, A., Morrison, D., Neukum, G., Fanale, F., Anger, C., Carr, M., i Pilcher, C. (1992). Galileo Encounter with 951 Gaspra: First Pictures of an Asteroid. *Science*, 257:1647–1652.
- Braga-Ribas, F., Sicardy, B., Ortiz, J. L., Snodgrass, C., Roques, F., Vieira-Martins, R., Camargo, J. I. B., Assafin, M., Duffard, R., Jehin, E., Pollock, J., Leiva, R., Emilio, M., Machado, D. I., Colazo, C., Lellouch, E., Skottfelt, J., Gillon, M., Ligier, N., Maquet, L., Benedetti-Rossi, G., Gomes, A. R., Kervella, P., Monteiro, H., Sfair, R., El Moutamid, M., Tancredi, G., Spagnotto, J., Maury, A., Morales, N., Gil-Hutton, R., Roland, S., Ceretta, A., Gu, S.-H., Wang, X.-B., Harpsøe, K., Rabus, M., Manfroid, J., Opitom, C., Vanzi, L., Mehret, L., Lorenzini, L., Schneider, E. M., Melia, R., Lecacheux, J., Colas, F., Vachier, F., Widemann, T., Almenares, L., Sandness, R. G., Char, F., Perez, V., Lemos, P., Martinez, N., Jørgensen, U. G., Dominik, M., Roig, F., Reichart, D. E., Lacluyze, A. P., Haislip, J. B., Ivarsen, K. M., Moore, J. P., Frank, N. R., i Lambas, D. G. (2014). A ring system detected around the Centaur (10199) Chariklo. *Nature*, 508:72–75.
- Carry, B., Dumas, C., Kaasalainen, M., Berthier, J., Merline, W. J., Erard, S., Conrad, A., Drummond, J. D., Hestroffer, D., Fulchignoni, M., i Fusco, T. (2010a). Physical properties of (2) Pallas. *ICARUS*, 205:460–472.
- Carry, B., Kaasalainen, M., Leyrat, C., Merline, W. J., Drummond, J. D., Conrad, A., Weaver, H. A., Tamblyn, P. M., Chapman, C. R., Dumas, C., Colas, F., Christou, J. C., Dotto, E., Perna, D., Fornasier, S., Bernasconi, L., Behrend, R., Vachier, F., Kryszyńska, A., Polinska, M., Fulchignoni, M., Roy, R., Naves, R., Poncy, R., i Wiggins, P. (2010b). Physical properties of the ESA Rosetta target asteroid (21) Lutetia. II. Shape and flyby geometry. *Astronomy and Astrophysics*, 523:A94.

- Cellino, A., Delbò, M., Zappalà, V., Dell’Oro, A., i Tanga, P. (2006). Rotational properties of asteroids from Gaia disk-integrated photometry: A ”genetic” algorithm. *Advances in Space Research*, 38:2000–2005.
- Cellino, A., Zappala, V., i Farinella, P. (1989). Asteroid shapes and lightcurve morphology. *Icarus*, 78:298–310.
- Hudson, S. (1993). Three-dimensional reconstruction of asteroids from radar observations. *Remote Sensing Reviews*, 8:195–203.
- Kaasalainen, M. i Torppa, J. (2001). Optimization Methods for Asteroid Lightcurve Inversion. I. Shape Determination. *Icarus*, 153:24–36.
- Karttunen, H. i Bowell, E. (1989). Modelling asteroid brightness variations. II - The interpretability of light curves and phase curves. *Astronomy and Astrophysics*, 208:320–326.
- Krasinsky, G., Pitjeva, E., Vasilyev, M., i Yagudina, E. (2002). Hidden mass in the asteroid belt. *Icarus*, 158(1):98 – 105.
- Magnusson, P., Barucci, M. A., Drummond, J. D., Lumme, K., Ostro, S. J., Surdej, J., Taylor, R. C., i Zappalà, V. (1989). Determination of pole orientations and shapes of asteroids. In Binzel, R. P., Gehrels, T., i Matthews, M. S., editors, *Asteroids II*, pages 66–97. University of Arizona Press; 1st Edition edition (January 1989).
- Marciniak, A., Bartczak, P., Müller, T., Sanabria, J. J., Alí-Lagoa, V., Antonini, P., Behrend, R., Bernasconi, L., Bronikowska, M., Butkiewicz-Bąk, M., Cikota, A., Crippa, R., Ditteon, R., Dudziński, G., Duffard, R., Dziadura, K., Fauvaud, S., Geier, S., Hirsch, R., Horbowicz, J., Hren, M., Jerosimic, L., Kamiński, K., Kankiewicz, P., Konstanciak, I., Korlevic, P., Kosturkiewicz, E., Kudak, V., Manzini, F., Morales, N., Murawiecka, M., Ogłóza, W., Oszkiewicz, D., Pilcher, F., Polakis, T., Poncy, R., Santanaros, T., Siwak, M., Skiff, B., Sobkowiak, K., Stoss, R., Żejmo, M., i Żukowski, K. (2018). Photometric survey, modelling, and scaling of long-period and low-amplitude asteroids. *Astronomy and Astrophysics*, 610:A7.
- Michalowski, T. (1993). Poles, shapes, senses of rotation, and sidereal periods of asteroids. *Icarus*, 106:563.
- Ortiz, J. L., Santos-Sanz, P., Sicardy, B., Benedetti-Rossi, G., Bérard, D., Morales, N., Duffard, R., Braga-Ribas, F., Hopp, U., Ries, C., Nascimbene, V., Marzari, F., Granata, V., Pál, A., Kiss, C., Pribulla, T., Komžík, R., Hornoch, K., Pravec, P., Bacci, P., Maestripieri, M., Nerli, L., Mazzei, L., Bachini, M., Martinelli, F., Succi, G., Ciabattari, F., Mikuz, H., Carbognani, A., Gaehrken, B., Mottola, S., Hellmich, S., Rommel, F. L., Fernández-Valenzuela, E., Campo Bagatin, A., Cikota, S., Cikota, A., Lecacheux, J., Vieira-Martins, R., Camargo, J. I. B., Assafin, M., Colas, F., Behrend, R., Desmars, J., Meza, E., Alvarez-Candal, A., Beisker, W.,

- Gomes-Junior, A. R., Morgado, B. E., Roques, F., Vachier, F., Berthier, J., Mueller, T. G., Madiedo, J. M., Unsalan, O., Sonbas, E., Karaman, N., Erece, O., Koseoglu, D. T., Ozisik, T., Kalkan, S., Guney, Y., Niaei, M. S., Satir, O., Yesilyaprak, C., Puskullu, C., Kabas, A., Demircan, O., Alikakos, J., Charmandaris, V., Leto, G., Ohlert, J., Christille, J. M., Szakáts, R., Takácsné Farkas, A., Varga-Verebélyi, E., Marton, G., Marciniak, A., Bartczak, P., Santana-Ros, T., Butkiewicz-Bąk, M., Dudziński, G., Alí-Lagoa, V., Gazeas, K., Tzouganas, L., Paschalis, N., Tsamis, V., Sánchez-Lavega, A., Pérez-Hoyos, S., Hueso, R., Guirado, J. C., Peris, V., i Iglesias-Marzoa, R. (2017). The size, shape, density and ring of the dwarf planet Haumea from a stellar occultation. *Nature*, 550:219–223.
- Russell, H. N. (1906). On the light variations of asteroids and satellites. *Astrophysical Journal*, 24:1–18.
- Spoto, F., Tanga, P., Mignard, F., Berthier, J., Carry, B., Cellino, A., Dell’Oro, A., Hestroffer, D., Muinonen, K., i et al. (2018). Gaia Data Release 2. Observations of solar system objects. *Astronomy and Astrophysics*, 616:A13.
- Tedesco, E. F. i Desert, F.-X. (2002). The infrared space observatory deep asteroid search. *Astronomical Journal*, 123(4):2070–2082.
- Uchida, K. i Goguen, J. D. (1987). A new method for determining asteroid shapes and rotation poles from lightcurves and its application to 624 Hektor. *Bulletin of the American Astronomical Society*, 19:842.
- Viikinkoski, M., Kaasalainen, M., i Durech, J. (2015). ADAM: a general method for using various data types in asteroid reconstruction. *Astronomy and Astrophysics*, 576:A8.
- Vokrouhlický, D., Bottke, W. F., Chesley, S. R., Scheeres, D. J., i Statler, T. S. (2015). *The Yarkovsky and YORP Effects*, pages 509–531. University of Arizona Press, Tucson.
- Zuber, M. T., Smith, D. E., Cheng, A. F., Garvin, J. B., Aharonson, O., Cole, T. D., Dunn, P. J., Guo, Y., Lemoine, F. G., Neumann, G. A., Rowlands, D. D., i Torrence, M. H. (2000). The Shape of 433 Eros from the NEAR-Shoemaker Laser Rangefinder. *Science*, 289:2097–2101.

3 Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Oprócz badań nad modelowaniem PKR planetoid, po otrzymaniu doktoratu pracowałem również nad zagadnieniami z mechaniki nieba, instrumentów badawczych, serwisów internetowych, różnych technik obserwacyjnych dla planetoid i sztucznych satelitów Ziemi.

Mechanika nieba

Moją karierę naukową rozpocząłem od zagadnień związanych z polem grawitacyjnym modeli składających się z punktów i odcinków materialnych. Zaproponowałem model dwóch prostopadłych odcinków materialnych o urojonej długości, który doskonale reprezentuje pole grawitacyjne elipsoidy trójosiowej, a jego reprezentacja matematyczna jest prostsza (Bartczak i Breiter, 2003). W kolejnej pracy przedstawiłem modele pola grawitacyjnego, bazujące na punktach i odcinkach materialnych, które umożliwiają szybsze wyznaczenie jego wartości dla trójosiowych elipsoid (Bartczak i inni, 2006).

Następnie zastosowałem zaproponowany przez mnie model potencjału w badaniach precesji swobodnej i wymuszonej planetoid pojedynczych i podwójnych. Wyzaczyłem model planetoidy 90 Antiope, w którym składniki układu miały kształt trójosiowej elipsoidy i sfery (Michałowski i inni, 2004). Brałem również udział w pracach związanych z badaniami dynamiki układów podwójnych synchronicznych planetoid. Analizowałem stabilność układu 90 Antiope wykorzystując metodę MEGNO do wyznaczenia obszarów stabilności układu podwójnego (Breiter i inni, 2005).

Brałem udział w symulacji rojów meteoroidowych, które umożliwiły stworzenie funkcji prawdopodobieństwa orbitalnego wykorzystującej różnicę między energiami orbitalnymi, wektorami momentu pędu i wektorami Laplace'a (Jopek i inni, 2008). Funkcja ta ułatwia prawidłową klasyfikację obserwowanych rojów meteoroidów.

Miałem swój udział w badaniach dotyczących efektu YORP dla planetoidy 25143 Itokawa i w tworzeniu metody wyznaczania jego wartości z wykorzystaniem jednowymiarowego modelu termicznego. Opracowałem i zastosowałem metodę obliczenia efektu YORP dla modelu o bardzo dużej rozdzielczości siatki trójkątów wykorzystując rozproszoną sieć stacji obliczeniowych (Breiter i inni, 2009). Pomimo, że upłynęło 10 lat, żadna inna publikacja nie zawiera wyników dla tak dużej rozdzielczości (3 miliony trójkątów).

Budowa instrumentów badawczych

W latach 2004-2006 brałem udział w budowie teleskopu astronomicznego (PST1) składającego się z dwóch luster o średnicy 40 cm, który powstał w Instytucie Obserwatorium Astronomiczne UAM. Dla tego instrumentu wykonałem oprogramowanie sterujące i obserwacyjne. Brałem udział w konstruowaniu i budowie montażu teleskopu. Teleskop ten wykonuje szereg obserwacji fotometrycznych i spektroskopowych. Na podstawie tych obserwa-

cji przeprowadzono badania, których rezultaty zamieszczono w prestiżowych wydawnictwach z listy JCR (Baranowski i inni, 2009; Sekalska i inni, 2010; Polińska i inni, 2014; Dimitrov i inni, 2014; Bensch i inni, 2014; Dimitrov i inni, 2015).

W latach 2008-2009 uczestniczyłem w projekcie modernizacji dalmierza laserowego należącego do Obserwatorium Astrogeodynamicznego Centrum Badań Kosmicznych PAN w Borowcu. Zadanie polegało na adaptacji programu napisanego dla systemu operacyjnego DOS na wersję pracującą pod systemem UNIX. Dodatkowo wymagane było opracowanie protokołu komunikacji między komputerami, mającego na celu zrównoleglenie procesów zarządzających.

Największy projekt instrumentalny, w którym biorę udział od 2006 roku, to budowa 4-metrowego międzynarodowego teleskopu z ciekłym lustrem (International Liquid Mirror Telescope)(Surdej i inni, 2006). Przez 3 lata pracowałem na Uniwersytecie w Liege na pozycji post-doc i opracowywałem metodę redukcji danych, jakie będzie dostarczał budowany teleskop. Po zakończeniu mojego stażu, Instytut Obserwatorium Astronomiczne UAM stał się członkiem konsorcjum, które buduje teleskop, a ja zostałem polskim koordynatorem projektu. W skład konsorcjum wchodzi również: Université de Liege, FNRS Belgium, Aryabhata Research Institute of Observational Sciences (ARIES, Indie), Royal Observatory of Belgium. Na potrzeby projektu zbudowałem i oprogramowałem klastery komputerowe składający się z 10 stacji roboczych, który posłuży do przechowywania i redukcji danych (Pradhan i inni, 2018). W czasie projektowania i uruchamiania teleskopu odbywałem każdego roku miesięczne wizyty na uniwersytecie w Liege, w ramach prac w konsorcjum. W 2016 roku teleskop został przetransportowany do miejscowości Devasthal (Uttarakhand, India) i rozpocznie regularne obserwacje w roku 2019. Strona domowa projektu: <http://www.ilmt.ulg.ac.be> .

Serwisy Internetowe

Opracowałem i wykonałem serwis internetowy ISAM (Interactive Service for Asteroid Models, <http://isam.astro.amu.edu.pl>), którego celem jest publiczne udostępnienie istniejących modeli kształtów planetoid (Bartczak i Marciniak, 2011; Marciniak i inni, 2012). Funkcje serwisu umożliwiają dla wybranego modelu planetoidy:

- obrazowanie modelu z zachowaniem orientacji na niebie, niezbędne przy wyznaczeniu rozmiaru planetoid z obserwacji zakryć gwiazd przez planetoidy,
- tworzenia syntetycznej krzywej zmian jasności,
- tworzenia animacji obrotu ciała wraz z równoczesnym symulowaniem krzywej zmian jasności,
- tworzenia obrazów trójwymiarowych w różnych technikach stereoskopowych.

Oprócz funkcji naukowych serwis ISAM jest doskonałym narzędziem do popularyzacji nauki.

Drugi serwis komputerowy, Gaia-GOSA, powstał dzięki uzyskaniu finansowania z Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA). Został on stworzony przy współpracy z firmą komercyjną ITTI z Poznania. Serwis ma na celu wsparcie obserwacji wykonywanych w ramach misji kosmicznej Gaia przez profesjonalne i amatorskie obserwacje prowadzone z powierzchni Ziemi (Santana-Ros i inni, 2016a,b, 2014). W tym celu powstało narzędzie do planowania obserwacji uwzględniające obiekty obserwowane w danej chwili przez misję Gaia. Po wykonaniu obserwacji obserwator przesyła dane do serwisu. Dane są następnie zredukowane w naszym Instytucie, a wyniki redukcji udostępniane w serwisie. Serwis dodatkowo udostępnia materiały edukacyjne, które umożliwiają amatorom opanowanie i doskonalenie techniki obserwacyjnej. Najlepsi obserwatorzy wyróżnieni zostają certyfikatami umiejętności poświadczonymi przez Europejską Agencję Kosmiczną. Serwis jest dobrym narzędziem komunikacji między profesjonalistami i amatorami przynosząc wymierne korzyści naukowe.

Obiekty zbliżające się do Ziemi

Współpraca z Europejską Agencją Kosmiczną umożliwiła mi również udział w pracach mających wspomóc astronomów w badaniach planetoid, a zwłaszcza obiektów zbliżających się do Ziemi.

Pierwszy projekt w którym brałem udział dotyczył studium wykonalności oprogramowania do śledzenia i wykrywania obiektów zbliżających się do Ziemi (NEO) z obserwacji fotometrycznych wykonywanych przez teleskopy należące do programu Space Situational Awareness (SSA) z potencjalnym wykorzystaniem procesorów graficznych (GPU) i infrastruktury chmury do przechowywania danych („ESA PANOPTES” [4000110300/14/NL/CHI]). Brałem udział w tworzeniu oprogramowania wykorzystującego biblioteki graficzne, do wizualizacji modeli kształtu planetoid. Projekt realizowany był przez firmę Vratiss z Wrocławia i Sybilla Technologies z Torunia.

Kolejny projekt („NEO User Support Tools” [4000114527/15/D/MRP]) dotyczył stworzenia narzędzi programistycznych służących do planowania i wykonania obserwacji planetoid bliskich Ziemi. Zwiększenie ilości odkrywanych obiektów zbliżających się do Ziemi, jest warunkiem niezbędnym, żeby zapobiec ewentualnym kolizjom z naszą planetą. Moim udziałem było zaprojektowanie i wykonanie usług obliczających położenia planetoid za pomocą narzędzi i danych dostarczanych przez serwis NeoDys i AstDys. Wszystkie powstałe narzędzia zostaną zintegrowane z oficjalną stroną Europejskiej Agencji Kosmicznej (<http://neo.ssa.esa.int/>). Projekt realizowany był przez Instytut Obserwatorium Astronomiczne UAM oraz firmę ITTI z Poznania.

Projekt „NEO Data Exchange and Collaboration Service (NEODECS)” [4000119392/17/D/MRP] ma zadanie dostarczyć mechanizmy komunikacji znanych z mediów społecznościowych (Facebook, Twitter) do społeczności astronomów, które mają pomóc w ich pracy przy planowaniu i wykonywaniu obserwacji obiektów bliskich Ziemi (NEOs). Pozwoli to lepiej zarządzać wol-

nym czasem na teleskopach oraz planować wspólne kampanie obserwacyjne. Serwis będzie zawierał również meta dane o parametrach fizycznych i obserwacjach obiektów zbliżających się do Ziemi. Mój udział w projekcie polegał na opracowaniu i testowaniu protokołu komunikacji między różnymi dostępnymi źródłami informacji w internecie. Brałem również udział w pracach projektowych interfejsu użytkownika. Projekt realizowany jest przez firmę ITTI z Poznania i Instytut Obserwatorium Astronomiczne UAM.

Następny projekt „NEO&SST Observation Assistant Service (NOAS)” [4000120682/17/D/MRP] dotyczy wykonania aplikacji pozwalającej na zorganizowaniu przebiegu całonocnych obserwacji nieba dla konkretnego teleskopu, w formacie uniwersalnego języka TSM. Protokół TSM ma obowiązywać jako uniwersalny sposób komunikacji między sieciami teleskopów robotycznych. Nasz system będzie testowany na teleskopie OGS w obserwatorium ESA na Teneryfie i teleskopie RBT należącym do Instytutu Obserwatorium Astronomiczne UAM i znajdującym się w Arizonie, USA. Mój udział w realizacji projektu polega na stworzeniu usługi na serwerze komputerowym, do filtrowania potencjalnych obiektów do obserwacji z uwzględnieniem ich pozycji geocentrycznej i topocentrycznej. Następnie opracowałem i wykonałem moduły do komunikacji między edytorem TSM, a usługą na serwerze komputerowym. Projekt realizowany jest przez Instytut Obserwatorium Astronomiczne UAM i firmę ITTI z Poznania.

Projekt „Service for Archival NEO Orbital and Rotational Data Analysis (SANORDA)” [4000121390/17/D/AH] umożliwi zbieranie danych obserwacyjnych i ich analizę. W tym celu stworzono bazę danych, zawierającą dotychczasowe dane obserwacyjne, ale również przygotowaną na przechowywanie nowopozyskanych danych z różnych źródeł. Dodatkowo baza danych przechowywać będzie wyniki analizy danych otrzymanych w wyniku długotrwałych procesów obliczeniowych. Serwis udostępni astronomom badającym NEO wygodne narzędzia do wyszukiwania, filtrowania i wizualizacji danych. Mój udział w projekcie polegał na wsparciu czasochłonnych obliczeń, wykorzystując stworzone przeze mnie oprogramowanie do zarządzania równoległymi procesami obliczeniowymi. Projekt realizowany jest przez Instytut Obserwatorium Astronomiczne UAM i firmę ITTI z Poznania.

Zakrycia gwiazd przez planetoidy

Obserwacje zakryć gwiazd przez planetoidy są techniką obserwacyjną umożliwiającą wyznaczenie rozmiarów planetoid. Obserwacje polegają na dokładnej rejestracji zjawiska zakrycia światła gwiazdy przez planetoidę, która porusza się w obserwowanym polu gwiazdowym. Dane uzyskane przez większą grupę obserwatorów w różnych położeniach na Ziemi posłużyć mogą do analizy kształtu planetoidy. Stworzyłem oprogramowanie do redukcji i wyznaczenia rozmiarów planetoidy na podstawie danych obserwacyjnych zawartych w bazie danych The Planetary Data System (NASA). Wyznaczyłem rozmiary dla planetoid: 9 Metis [H2], 159 Aemilia, 329 Svea (Marciniak i inni, 2018) oraz układu podwójnego 90 Antiope [H5].

Jestem współautorem pracy opublikowanej w Nature zawierającej od-

krycie pierścienia wokół planetoidy Haumea przy pomocy obserwacji zakryć gwiazdy przez planetoidę (Ortiz i inni, 2017).

Optyka Adaptacyjna

Pracuję w zespole badawczym, kierowanym przez Pierre Varnazza z Laboratoire d'Astrophysique de Marseille (LAM), realizującym duży program obserwacyjny na VLT ESO (Very Large Telescope European Southern Observatory) w Chile. W skład konsorcjum wchodzi: Observatoire de la Côte d'Azur Nice, SETI Institute, Charles University in Prague, Institut de Mecanique Celeste et de Calcul des Ephemerides (Paris), Jet Polusion Laboratory (California Institute of Technology), European Space Agency, European Southern Observatory i Instytut Obserwatorium Astronomiczne UAM w Poznaniu.

W ramach projektu wykonuje się obserwacje na detektorze SPHERE umożliwiającym obrazowanie planetoid z Głównego Pasa o średnicach większych niż 100 km. Dzięki pomiarom możliwe jest wyznaczenie kształtu, albedo, rozmiaru oraz gęstości, gdy dysponujemy informacją o ich masach. Wykorzystuję moją metodę SAGE do niezależnego procesu wyznaczania parametrów fizycznych planetoid w celu weryfikacji wyników otrzymanych przez metody korzystające z danych fotometrycznych i optyki adaptacyjnej. Wynikiem prac całego zespołu są modele kształtów dla planetoid: 16 Psyche (Viikinkoski i inni, 2018), 89 Julia (Varnazza i inni, 2018), 4 Vesta (Fétick i inni, 2019), 7 Iris (Hanuš i inni, 2019) i 41 Daphne (Carry i inni, 2019).

Obserwacje radarowe

Wykorzystanie efektu Dopplera w obserwacjach radarowych umożliwia nam pozyskanie cennych informacji na temat kształtu planetoid. Kampanie obserwacyjne prowadzone są przez 300-metrowy radioteleskop w Arecibo (Puerto Rico) i 70-metrowy radioteleskop w obserwatorium Goldstone (JPL, NASA). Wraz z Grzegorzem Dudzińskim opracowaliśmy dwie metody wykorzystania obserwacji radarowych w modelowaniu planetoid. Pierwsza polega na porównywaniu syntetycznych obrazów radarowych (tworzonych na podstawie modelu) z obserwacjami. Druga metoda analizuje dane radarowe i tworzy model trójwymiarowy ciała bazując na dystrybucji gęstości prawdopodobieństwa wystąpienia powierzchni. Mój udział w badaniach dotyczył projektowania metody, napisania programowania i modelowania planetoidy 1996HW1 (Dudzinski i Bartczak, 2016).

Obserwacje fotometryczne - misja GAIA

Rozpocząłem pracę nad nowym projektem finansowanym przez ESA o nazwie „GAVIP-GridComputing” [4000120180/17/NL/CBi], w którym pełnię rolę kierownika projektu. GAVIP-GC będzie platformą komputerową umożliwiającą efektywne wykorzystanie danych zgromadzonych przez misję Gaia w celach naukowych. Dostęp do danych z misji Gaia będzie zapewniony przez serwis GAVIP, który jest publicznie dostępny (<http://docs.gavip.science/>) i

umożliwia naukowcom wymianę algorytmów dedykowanych do analizy danych z misji. Projekt GAVIP-GC pozwoli wzmocnić potencjał serwisu GAVIP i rozwiąże problemy z ograniczeniami serwisu, związanymi z brakiem wystarczającej mocy obliczeniowej dla procesów wymagających masowych rachunków. W tym celu stworzona będzie w ramach projektu BOINC – (<https://boinc.berkeley.edu/>) sieć ochotników, która zapewni moc obliczeniową.

Satelity i śmieci kosmiczne

W ramach pracy w przy budowie 4-metrowego teleskopu z ciekłym lustrem (ILMT) zaproponowałem wykorzystanie obserwacji astrometrycznych i fotometrycznych z tego teleskopu do wyznaczenia wartości parametrów fizycznych satelitów i śmieci kosmicznych. Wykorzystując specyficzną pracę kamery CCD w trybie TDI (Time Delayed Integration) możemy pozyskać informacje na temat prędkości i kierunku poruszania się obserwowanego obiektu satelitarne. Opracowałem metodę, która została przetestowana na obserwacjach pozyskanych z 1,3-metrowego teleskopu w Devasthal. Do tej pory wyznaczono parametry dla 9 śmieci kosmicznych (Pradhan i inni, 2018).

Literatura

- Baranowski, R., Smolec, R., Dimitrov, W., Kwiatkowski, T., Schwarzenberg-Czerny, A., Bartczak, P., Fagas, M., Borczyk, W., Kamiński, K., Moskallik, P., Ratajczak, R., i Rożek, A. (2009). V440 Per: the longest-period overtone Cepheid. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 396:2194–2200.
- Bartczak, P. i Breiter, S. (2003). Double Material Segment as the Model of Irregular Bodies. *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, 86:131–141.
- Bartczak, P., Breiter, S., i Jusiel, P. (2006). Ellipsoids, material points and material segments. *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, 96:31–48.
- Bartczak, P. i Marciniak, A. (2011). ISAM - an Interactive Service for Asteroid Models. In *EPSC-DPS Joint Meeting 2011*, page 984.
- Bensch, K., Dimitrov, W., Zywucka, N., Fagas, M., Kaminski, K., Przybyszewska, A., Maliczak, M., Kurzawa, K., Kruszewski, A., Kowalczyk, T., Borczyk, W., Bakowska, K., Bartczak, P., Kwiatkowski, T., i Schwarzenberg-Czerny, A. (2014). New spectroscopy of multiple stars RR Lyncis and HT Virginis. *Information Bulletin on Variable Stars*, 6121.
- Breiter, S., Bartczak, P., Czekał, M., Oczujda, B., i Vokrouhlický, D. (2009). The YORP effect on 25 143 Itokawa. *Astronomy and Astrophysics*, 507:1073–1081.

- Breiter, S., Melendo, B., Bartczak, P., i Wytrzyszczak, I. (2005). Synchronous motion in the Kinoshita problem. Application to satellites and binary asteroids. *Astronomy and Astrophysics*, 437:753–764.
- Carry, B., Vachier, F., Berthier, J., Marsset, M., Vernazza, P., Grice, J., Merline, W. J., Lagadec, E., Fienga, A., Conrad, A., Podlowska-Gaca, E., Santana-Ros, T., Viikinkoski, M., Hanuš, J., Dumas, C., Drummond, J. D., Tamblyn, P. M., Chapman, C. R., Behrend, R., Bernasconi, L., Bartczak, P., Benkhaldoun, Z., Birlan, M., Castillo-Rogez, J., Cipriani, F., Colas, F., Drouard, A., Āurech, J., Enke, B. L., Fauvaud, S., Ferrais, M., Fetick, R., Fusco, T., Gillon, M., Jehin, E., Jorda, L., Kaasalainen, M., Keppler, M., Kryszczyńska, A., Lamy, P., Marchis, F., Marciniak, A., Michalowski, T., Michel, P., Pajuelo, M., Tanga, P., Vigan, A., Warner, B., Witasse, O., Yang, B., i Zurlo, A. (2019). The homogeneous internal structure of CM-like asteroid (41) Daphne. *arXiv e-prints*.
- Dimitrov, W., Fagas, M., Kamiński, K., Kolev, D., Kwiatkowski, T., Bąkowska, K., Rożek, A., Bartczak, P., Borczyk, W., i Schwarzenberg-Czerny, A. (2014). Spectroscopy of HD 86222 - a quintuple system with an eclipsing component. *Astronomy and Astrophysics*, 564:A26.
- Dimitrov, W., Kamiński, K., Lehmann, H., Ligeza, P., Fagas, M., Bagińska, P., Kwiatkowski, T., Bąkowska, K., Kowalczyk, A., Polińska, M., Bartczak, P., Przybyszewska, A., Kruszewski, A., Kurzawa, K., i Schwarzenberg-Czerny, A. (2015). V342 Andromedae B is an eccentric-orbit eclipsing binary. *Astronomy and Astrophysics*, 575:A101.
- Dudzinski, G. i Bartczak, P. (2016). Shaping Asteroid with Genetic Evolution (SAGE) using lightcurve and radar data. In *AAS/Division for Planetary Sciences Meeting Abstracts #48*, volume 48 of *AAS/Division for Planetary Sciences Meeting Abstracts*, page 326.06.
- Fétick, R. J., Jorda, L., Vernazza, P., Marsset, M., Drouard, A., Fusco, T., Carry, B., Marchis, F., Hanuš, J., Viikinkoski, M., Birlan, M., Bartczak, P., Berthier, J., Castillo-Rogez, J., Cipriani, F., Colas, F., Dudziński, G., Dumas, C., Ferrais, M., Jehin, E., Kaasalainen, M., Kryszczyńska, A., Lamy, P., Le Coroller, H., Marciniak, A., Michalowski, T., Michel, P., Mugnier, L. M., Neichel, B., Pajuelo, M., Podlowska-Gaca, E., Santana-Ros, T., Tanga, P., Vachier, F., Vigan, A., Witasse, O., i Yang, B. (2019). Closing the gap between Earth-based and interplanetary mission observations: Vesta seen by VLT/SPHERE. *arXiv e-prints*.
- Hanuš, J., Marsset, M., Vernazza, P., Viikinkoski, M., Drouard, A., Brož, M., Carry, B., Fetick, R., Marchis, F., Jorda, L., Fusco, T., Birlan, M., Santana-Ros, T., Podlowska-Gaca, E., Jehin, E., Ferrais, M., Grice, J., Bartczak, P., Berthier, J., Castillo-Rogez, J., Cipriani, F., Colas, F., Dudzinski, G., Dumas, C., Āurech, J., Kaasalainen, M., Kryszczyńska, A., Lamy, P., Le Coroller, H., Marciniak, A., Michalowski, T., Michel, P., Pajuelo, M., Tanga, P., Vachier, F., Vigan, A., Witasse, O., i Yang, B.

- (2019). The shape of (7) Iris as evidence of an ancient large impact? *arXiv e-prints*.
- Jopek, T. J., Rudawska, R., i Bartczak, P. (2008). Meteoroid Stream Searching: The Use of the Vectorial Elements. *Earth Moon and Planets*, 102:73–78.
- Marciniak, A., Bartczak, P., Müller, T., Sanabria, J. J., Alí-Lagoa, V., Antonini, P., Behrend, R., Bernasconi, L., Bronikowska, M., Butkiewicz-Bąk, M., Cikota, A., Crippa, R., Ditteon, R., Dudziński, G., Duffard, R., Dziadura, K., Fauvaud, S., Geier, S., Hirsch, R., Horbowicz, J., Hren, M., Jerosimic, L., Kamiński, K., Kankiewicz, P., Konstanciak, I., Korlevic, P., Kosturkiewicz, E., Kudak, V., Manzini, F., Morales, N., Murawiecka, M., Ogłóża, W., Oszkiewicz, D., Pilcher, F., Polakis, T., Poncy, R., Santana-Ros, T., Siwak, M., Skiff, B., Sobkowiak, K., Stoss, R., Żejmo, M., i Żukowski, K. (2018). Photometric survey, modelling, and scaling of long-period and low-amplitude asteroids. *Astronomy and Astrophysics*, 610:A7.
- Marciniak, A., Bartczak, P., Santana-Ros, T., Michałowski, T., Antonini, P., Behrend, R., Bembrick, C., Bernasconi, L., Borczyk, W., Colas, F., Coloma, J., Crippa, R., Esseiva, N., Fagas, M., Fauvaud, M., Fauvaud, S., Ferreira, D. D. M., Hein Bertelsen, R. P., Higgins, D., Hirsch, R., Kajava, J. J. E., Kamiński, K., Kryszczyńska, A., Kwiatkowski, T., Manzini, F., Michałowski, J., Michałowski, M. J., Paschke, A., Polińska, M., Poncy, R., Roy, R., Santacana, G., Sobkowiak, K., Stasik, M., Starczewski, S., Velichko, F., Wucher, H., i Zafar, T. (2012). Photometry and models of selected main belt asteroids. IX. Introducing interactive service for asteroid models (ISAM). *Astronomy and Astrophysics*, 545:A131.
- Michałowski, T., Bartczak, P., Velichko, F. P., Kryszczyńska, A., Kwiatkowski, T., Breiter, S., Colas, F., Fauvaud, S., Marciniak, A., Michałowski, J., Hirsch, R., Behrend, R., Bernasconi, L., Rinner, C., i Charbonnel, S. (2004). Eclipsing binary asteroid 90 Antiope. *Astronomy and Astrophysics*, 423:1159–1168.
- Ortiz, J. L., Santos-Sanz, P., Sicardy, B., Benedetti-Rossi, G., Bérard, D., Morales, N., Duffard, R., Braga-Ribas, F., Hopp, U., Ries, C., Nascimbene, V., Marzari, F., Granata, V., Pál, A., Kiss, C., Pribulla, T., Komžík, R., Hornoch, K., Pravec, P., Bacci, P., Maestripieri, M., Nerli, L., Mazzei, L., Bachini, M., Martinelli, F., Succi, G., Ciabattari, F., Mikuz, H., Carbognani, A., Gaehrken, B., Mottola, S., Hellmich, S., Rommel, F. L., Fernández-Valenzuela, E., Campo Bagatin, A., Cikota, S., Cikota, A., Lecacheux, J., Vieira-Martins, R., Camargo, J. I. B., Assafin, M., Colas, F., Behrend, R., Desmars, J., Meza, E., Alvarez-Candal, A., Beisker, W., Gomes-Junior, A. R., Morgado, B. E., Roques, F., Vachier, F., Berthier, J., Mueller, T. G., Madiedo, J. M., Unsalan, O., Sonbas, E., Karaman, N., Erece, O., Koseoglu, D. T., Ozisik, T., Kalkan, S., Guney, Y., Niaei, M. S., Satir, O., Yesilyaprak, C., Puskullu, C., Kabas, A., Demircan, O.,

- Alikakos, J., Charmandaris, V., Leto, G., Ohlert, J., Christille, J. M., Szakáts, R., Takácsné Farkas, A., Varga-Verebélyi, E., Marton, G., Marciniak, A., Bartczak, P., Santana-Ros, T., Butkiewicz-Bąk, M., Dudziński, G., Alí-Lagoa, V., Gazeas, K., Tzouganatos, L., Paschalis, N., Tsamis, V., Sánchez-Lavega, A., Pérez-Hoyos, S., Hueso, R., Guirado, J. C., Peris, V., i Iglesias-Marzoa, R. (2017). The size, shape, density and ring of the dwarf planet Haumea from a stellar occultation. *Nature*, 550:219–223.
- Polińska, M., Kamiński, K., Dimitrov, W., Fagas, M., Borczyk, W., Kwiatkowski, T., Baranowski, R., Bartczak, P., i Schwarzenberg-Czerny, A. (2014). Global Astrophysical Telescope System - GATS. In Guzik, J. A., Chaplin, W. J., Handler, G., i Pigulski, A., editors, *Precision Asteroseismology*, volume 301 of *IAU Symposium*, pages 475–476.
- Pradhan, B., Delchambre, L., Hickson, P., Akhunov, T., Bartczak, P., Kumar, B., i Surdej, J. (2018). Present status of the 4-m ILMT data reduction pipeline: application to space debris detection and characterization. *Bulletin de la Societe Royale des Sciences de Liege*, 87:88–91.
- Santana-Ros, T., Bartczak, P., Michalowski, T., Marciniak, A., Butkiewicz-Bak, M., i Dudziński, G. (2016a). Gaia-GOSA: An interactive service for coordination of asteroid observation campaigns. In *AAS/Division for Planetary Sciences Meeting Abstracts #48*, volume 48 of *AAS/Division for Planetary Sciences Meeting Abstracts*, page 327.10.
- Santana-Ros, T., Bartczak, P., Michalowski, T., i Tanga, P. (2014). Gaia-GOSA: An interactive service for asteroid follow-up observations. In *EAS Publications Series*, volume 67 of *EAS Publications Series*, pages 109–112.
- Santana-Ros, T., Marciniak, A., i Bartczak, P. (2016b). Gaia-GOSA: A Collaborative Service for Asteroid Observers. *Minor Planet Bulletin*, 43:205–207.
- Sekalska, J., Dimitrov, W., Fagas, M., Kruszewski, A., Przybyszewska, A., Kurzawa, K., Zywucka, N., Rozek, A., Borczyk, W., Bartczak, P., Bakowska, K., Hirsch, R., Kaminski, K., Kwiatkowski, T., i Schwarzenberg-Czerny, A. (2010). Spectroscopy of Eclipsing Binary DY Lyncis Third Component Detected. *Information Bulletin on Variable Stars*, 5954.
- Surdej, J., Absil, O., Bartczak, P., Borra, E., Chisogne, J.-P., Claeskens, J.-F., Collin, B., De Becker, M., Defrère, D., Denis, S., Flebus, C., Garcet, O., Gloesener, P., Jean, C., Lampens, P., Libbrecht, C., Magette, A., Manfroid, J., Mawet, D., Nakos, T., Ninane, N., Poels, J., Pospieszalska, A., Riaud, P., Sprimont, P.-G., i Swings, J.-P. (2006). The 4m international liquid mirror telescope (ILMT). In *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, volume 6267 of *Ground-based and Airborne Telescopes*, page 626704.

Vernazza, P., Brož, M., Drouard, A., Hanuš, J., Viikinkoski, M., Marsset, M., Jorda, L., Fetick, R., Carry, B., Marchis, F., Birlan, M., Fusco, T., Santana-Ros, T., Podlowska-Gaca, E., Jehin, E., Ferrais, M., Bartczak, P., Dudziński, G., Berthier, J., Castillo-Rogez, J., Cipriani, F., Colas, F., Dumas, C., Durech, J., Kaasalainen, M., Kryszczyńska, A., Lamy, P., Le Coroller, H., Marciniak, A., Michalowski, T., Michel, P., Pajuelo, M., Tanga, P., Vachier, F., Vigan, A., Warner, B., Witasse, O., Yang, B., Asphaug, E., Richardson, D. C., Ševeček, P., Gillon, M., i Benkhaldoun, Z. (2018). The impact crater at the origin of the Julia family detected with VLT/SPHERE? *Astronomy and Astrophysics*, 618:A154.

Viikinkoski, M., Vernazza, P., Hanuš, J., Le Coroller, H., Tazhenova, K., Carry, B., Marsset, M., Drouard, A., Marchis, F., Fetick, R., Fusco, T., Durech, J., Birlan, M., Berthier, J., Bartczak, P., Dumas, C., Castillo-Rogez, J., Cipriani, F., Colas, F., Ferrais, M., Grice, J., Jehin, E., Jorda, L., Kaasalainen, M., Kryszczyńska, A., Lamy, P., Marciniak, A., Michalowski, T., Michel, P., Pajuelo, M., Podlowska-Gaca, E., Santana-Ros, T., Tanga, P., Vachier, F., Vigan, A., Warner, B., Witasse, O., i Yang, B. (2018). (16) Psyche: A mesosiderite-like asteroid? *Astronomy and Astrophysics*, 619:L3.

4 Podsumowanie dorobku naukowego

Jestem współautorem ogółem 29 publikacji z bazy Journal Citation Reports (JCR), z których 27 ukazało się po uzyskaniu przeze mnie stopnia naukowego doktora. Jestem również autorem lub współautorem 42 innych publikacji. Łączna liczba wszystkich cytowań wg. Web of Science wynosi 259, natomiast wg ADS wynosi 329. Liczba cytowań bez auto-cytowania wynosi odpowiednio 227 i 292. Sumaryczny impact factor wszystkich publikacji według listy Journal Citation Reports (JCR) zgodnie z rokiem opublikowania wynosi 154.402.

Mój index Hirscha wynosi wg. Web of Science $h=10$, a według ADS $h=11$.

Brałem udział w 13 projektach:

- 7 projektów naukowych, które finansowane były przez: KBN, NCN, ESA, 7PR UE, H2020 UE, PAN-FNRS,
- 6 projektów we współpracy z przedsiębiorcami, które finansowane były przez ESA.

W trzech projektach pełniłem funkcję kierownika.

Należę do 4 konsorcjów badawczych:

- 4m International Liquid Mirror Telescope,
- Gaia Research for European Astronomy Training -ITN (zakończony 2015 roku),
- ESO/VLT/SPHERE,
- Small Bodies Near and Far.

Brałem udział w 18 konferencjach na których byłem autorem lub współautorem 19 referatów i 16 plakatów. Odbyłem 9 staży naukowych w ośrodkach badawczych: ULG Liege (Belgia), SETI Institute (USA), ESTEC ESA (Holandia) i PARP (Polska). Jestem członkiem Polskiego Towarzystwa Astronomicznego i Międzynarodowej Unii Astronomicznej.

Prowadziłem 8 wykładów kursowych, 2 zajęcia laboratoryjne i 2 ćwiczenia dla studentów astronomii, fizyki i geografii. Pełnię opiekę nad studentami w funkcji promotora 2 prac licencjackich i 3 magisterskich oraz opiekę nad doktorantami jako promotor pomocniczy w 2 przewodach doktorskich. Wygłosiłem 7 wykładów popularno-naukowych.

Otrzymałem 4 zespołowe nagrody Rektora Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza za osiągnięcia naukowe i organizacyjne. W lipcu 2017 Komisja Nazw Międzynarodowej Unii Astronomicznej nadał planetoidzie o numerze 10470 nazwę Bartczak, za wkład w badania planetoid związany z opracowaniem metod inwersji.