

Autoreferat

Agnieszka Kryszczyńska

Instytut Obserwatorium Astronomiczne
Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza
w Poznaniu

Poznań, 2013

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

1 Życiorys naukowy

1.1 Dane osobowe

- Imię i nazwisko: Agnieszka Kryszczyńska
- Miejsce pracy: Instytut Obserwatorium Astronomiczne, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, ul. Słoneczna 36, 60-286 Poznań, tel. +48 61 829 2783, e-mail: agn@amu.edu.pl

1.2 Wykształcenie i stopnie naukowe

- 1983-1988 — Studia stacjonarne na Wydziale Matematyki i Fizyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, na kierunku fizyka, specjalność astrometria
- 1989 — Uzyskanie tytułu magistra, praca magisterska *Wyznaczanie średnic planetoid*, promotor prof. dr hab. Hieronim Hurnik
- 1998 — Uzyskanie stopnia doktora nauk fizycznych, praca doktorska *Rotacja i precesja planetoid a obserwowane i modelowane krzywe zmian jasności*, Wydział Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, promotor - prof. dr hab. Tadeusz Michałowski

1.3 Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu

- 01.10.1988 — 31.01.1990 — astronom, Obserwatorium Astronomiczne, UAM
- 01.02.1990 — 30.09.1998 — asystent, Obserwatorium Astronomiczne, UAM
- od 01.10.1998 — adiunkt, Instytut Obserwatorium Astronomiczne, UAM

2 Osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę postępowania habilitacyjnego

Osiągnięciem naukowym jest jednotematyczny cykl publikacji zatytułowany „Obserwacyjna weryfikacja wpływu efektów Jarkowskiego i YORP na planetoidy”.

2.1 Wykaz jednotematycznych artykułów naukowych stanowiących podstawę postępowania habilitacyjnego

- H1 La Spina A., Paolicchi P., **Kryszczyńska A.**, Pravec P. 2004.
Retrograde spins of near-Earth asteroids from the Yarkovsky effect.
Nature 428, 400-401, IF(2004)=32.182,
Publikacja oparta jest o prowadzoną przeze mnie bazę biegunów planetoid, przygotowałam dane do analizy statystycznej, zaproponowałam

osobną analizę statystyczną dla obiektów zbliżających się do Ziemi i z Głównego Pasa, brałam udział w interpretacji wyników i redagowaniu tekstu publikacji, wkład własny 30%.

H2 **Kryszczyńska A.**, La Spina A., Paolicchi P., Harris A.W., Breiter S., Pravec P. 2007.

New findings on asteroid spin-vector distribution.

Icarus 192, 223-237, IF(2007)=2.869,

Publikacja oparta jest o prowadzoną przeze mnie bazę biegunów planetoid, przygotowałam dane do analizy statystycznej, interpretowałam otrzymane wyniki, napisałam 80% tekstu publikacji, wkład własny 75%.

H3 **Kryszczyńska A.**, Colas F., Descamps P., Bartczak P., Polińska M., Kwiatkowski T., Lecacheux J., Hirsch R., Fagas M., Kamiński K., Michałowski T., Marciniak A. 2009.

New binary asteroid 809 Lundia. I. Photometry and modelling.

Astronomy and Astrophysics 501, 769-776, IF(2009)=4.179,

Odkryłam podwójność planetoidy 809 Lundia, zorganizowałam kampanię obserwacyjną, przygotowałam dane do modelowania, zinterpretowałam wyniki modelowania, napisałam 80% tekstu publikacji, wkład własny 70%.

H4 **Kryszczyńska A.**, Colas F., Polińska M., Hirsch R., Ivanova V. Apostolovska G., Bilkina B., Velichko F. P., Kwiatkowski T., Kankiewicz P., Vachier F., Umlenski V., Michałowski T., Marciniak A., Maury A., Kamiński K., Fagas M., Dimitrov W., Borczyk W., Sobkowiak K., Lecacheux J., Behrend R., Klotz A., Bernasconi L., Crippa R., Manzini F., Poncy R., Antonini P., Oszkiewicz D., Santana-Ros T. 2012.

Do Slivan states exist in the Flora family? I. Photometric survey of the Flora region.

Astronomy and Astrophysics 546, A72, IF(2012)=5.084,

Zorganizowałam kampanię obserwacyjną planetoid z rodziny Flory, wykonałam część obserwacji, koordynowałam pozostałe obserwacje, redukowałam i fotometrowałam dane, wyznaczyłam okresy rotacji obserwowanych obiektów, zinterpretowałam wyniki, napisałam cały tekst publikacji, wkład własny 70%.

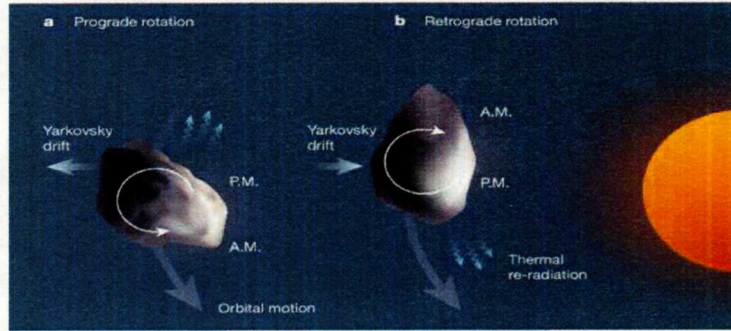
H5 **Kryszczyńska A.**, 2013.

Do Slivan states exist in the Flora family? II. Fingerprints of the Yarkovsky and YORP effects.

Astronomy and Astrophysics 551, A102, IF(2012)=5.084,

Przygotowałam dane do modelowania, wykonałam modelowanie wszystkich obiektów, zinterpretowałam wyniki, napisałam cały tekst publikacji, praca wykonana samodzielnie w 100%.

Alu



Rysunek 1: Efekt Jarkowskiego. Działanie siły odrzutu na planetoidy o rotacji (a) prostej (rotujące tak jak Ziemia) i (b) wstecznej. Źródło: Nature 425, 131.

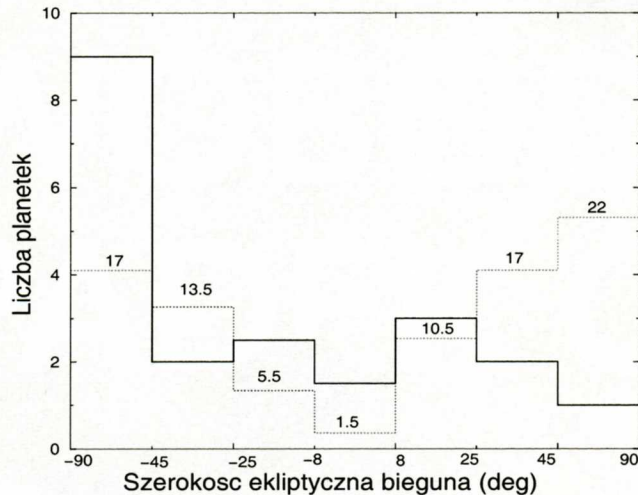
2.2 Omówienie celu naukowego w.w. prac i osiągniętych wyników

Od kilkunastu lat w fizyce planetoid coraz więcej uwagi poświęca się roli efektów niegrawitacyjnych związanych z oddziaływaniem promieniowania słonecznego na te ciała. Są to m. in. efekty Jarkowskiego (w publikacjach angielskojęzycznych nazwisko pisane Yarkovsky) i YORP. O ile nasze rozumienie efektu Jarkowskiego jest w miarę satysfakcjonujące, o tyle teoria efektu YORP nadal przeżywa kryzys i wymaga udoskonalenia. W tym kontekście ogromne znaczenie mają prace obserwacyjne pozwalające na weryfikację założeń teoretycznych. Temu zagadnieniu poświęcone są wymienione powyżej publikacje.

Przez wiele lat ewolucja zderzeniowa Pasa Głównego planetoid była uważana za główny proces kształtujący parametry rotacyjne planetek. Najnowsze obserwacje i prace teoretyczne pokazują, że jest inaczej i to efekty Jarkowskiego i YORP mogą być głównymi procesami wpływającymi na dynamiczne parametry planetoid. Już w 1901 roku efekt związany z różnicą pomiędzy kierunkiem oświetlenia małego ciała przez Słońce oraz kierunkiem, w którym rotujące ciało wypromieniowuje zgromadzoną energię, głównie w podczerwieni, został opisany przez Jana Jarkowskiego. Pewne opóźnienie reemisji związane jest z własnościami powierzchni danego ciała. Mechanizm działania siły odrzutu zależy przede wszystkim od ułożenia planetoidy w przestrzeni oraz od kierunku rotacji.

Dla ciał o rotacji prostej (rotujących tak jak Ziemia) następuje powiększanie orbity, w przypadku rotacji wstecznej (kierunek odwrotny) orbita ulega zmniejszeniu/kurczeniu (Rys.1). Dryf Jarkowskiego jest najbardziej efektywny dla ciał mniejszych od 40 km, a zaniedbywalny dla planet i obiektów mniejszych niż 10 cm.

Reemisja zaabsorbowanej energii słonecznej wpływa nie tylko na ruch orbitalny małych ciał. Stwierdzono także wpływ na prędkość rotacji i położenie osi obrotu. Efekt ten nazwano YORP, od pierwszych liter nazwisk naukowców, którzy brali udział w jego rozpoznaniu: Yarkovsky, O'Keefe, Radzievskii i Paddack. Zależy on od rozmiarów, kształtu (nie działa na



Rysunek 2: Histogram szerokości ekliptycznych biegunów planetoid. Linia ciągła przedstawia wartości dla planetek zbliżających się do Ziemi, linia przerywana to wartości dla planetek Pasa Głównego (znormalizowane do tej samej liczby obiektów).

obiekty o kształcie sferycznym lub elipsoidalnym), parametrów termicznych planetki (przewodnictwa cieplnego) i odległości od Słońca. Efekt YORP może powodować przyspieszenie lub spowalnianie rotacji planetoid oraz ustawianie osi rotacji prostopadle do płaszczyzny orbity.

Choć parametry orbitalne znane dla ponad 600 000 planetoid, położenie osi rotacji, gwiazdowy okres obrotu i kształt znany jest tylko dla około 200 obiektów. Uzyskanie pełnego modelu planetoidy wymaga wieloletnich obserwacji fotometrycznych, wykorzystania radaru, optyki adaptacyjnej czy sond kosmicznych. Parametry rotacyjne planetek do 1995 roku zbierane były przez P. Magnussona z obserwatorium w Uppsali (Szwecja). Niestety w latach 1995–2002 nie pojawiła się żadna aktualizacja jego kolekcji biegunów. Czując potrzebę kontynuacji pracy zaczętej przez Magnussona, w 2002 roku za jego zgodą przejąłem bazę biegunów planetoid, której kolejne wersje są dostępne i na bieżąco aktualizowane jako "Asteroid spin vector determinations database" na stronie internetowej OA UAM:

<http://www.astro.amu.edu.pl/Science/Asteroids/>.

Jak się okazało decyzja o prowadzeniu bazy była słuszna i już przed konferencją Asteroids Comets Meteors 2002, prof. Paolo Paolicchi i dr Alessandra La Spina z Uniwersytetu w Pizie, zwrócili się do mnie z propozycją współpracy i analizy statystycznej zebranych biegunów planetoid. W oparciu o prowadzoną przeze mnie bazę biegunów planetoid powstały publikacje H1 i H2. Zaproponowałam, aby po raz pierwszy osobno analizować planetoidy z Pasa Głównego i planetoidy zbliżające się do Ziemi.

Planetoidy trafiają z Pasa Głównego w pobliże Ziemi poprzez orbity rezonansowe. Mogą to być np. rezonanse 3:1 lub 2:1 w ruchu średnim z Jowiszem

lub rezonans wiekowy ν_6 z Saturnem. Jeżeli zderzenia pomiędzy planetoidami powodują, że powstające wskutek nich odłamki dostają się na orbity rezonansowe to położenie osi rotacji wśród planetek zbliżających się do Ziemi (NEAs) powinno być przypadkowe. Jeżeli natomiast migrację planetoid na orbity rezonansowe powoduje efekt Jarkowskiego, to teoretyczny stosunek pomiędzy liczbą planetoid o rotacji wstecznej i prostej N_w/N_p wśród NEAs powinien wynosić (Bottke et al. 2002.):

$$N_w/N_p \approx (1 + P_{\nu_6})/(1 - P_{\nu_6}) \approx 2 \pm 0.2,$$

gdzie P_{ν_6} określa prawdopodobieństwo, że dana planetka pochodzi z rezonansu ν_6 . Rezonans ten jest bardzo efektywny, leży po wewnętrznej stronie Pasa Głównego planetoid i zgodnie z dryfem Jarkowskiego, mogą do niego wpadać tylko planetki rotujące wstecznie. Natomiast do pozostałych rezonansów mogą trafiać planetki zarówno rotujące wstecznie jak i prosto.

Analiza statystyczna biegunów planetoid zbliżających się do Ziemi dała zadziwiające wyniki. Okazało się, że stosunek liczby planetek o rotacji wstecznej do prostej wynosi (Rys.2):

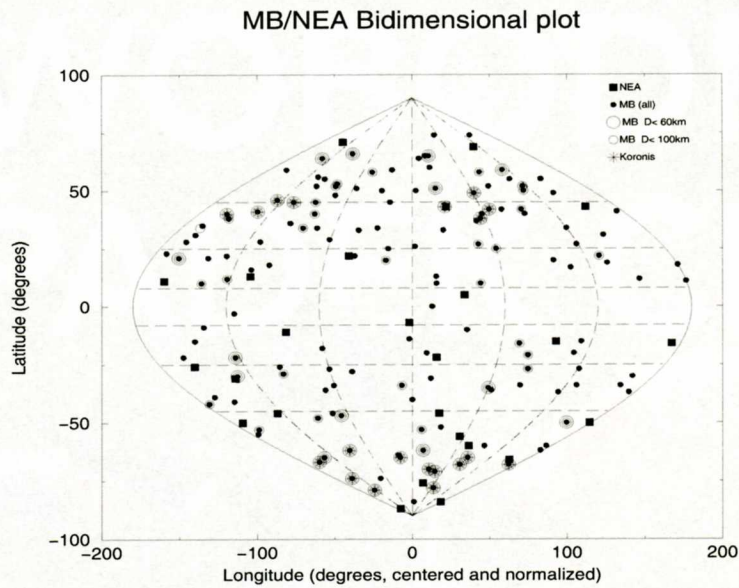
$$N_w/N_p = 2.$$

Wynik ten potwierdza, że kluczową rolę w pochodzeniu planetoid zbliżających się do Ziemi odgrywa efekt Jarkowskiego (H1).

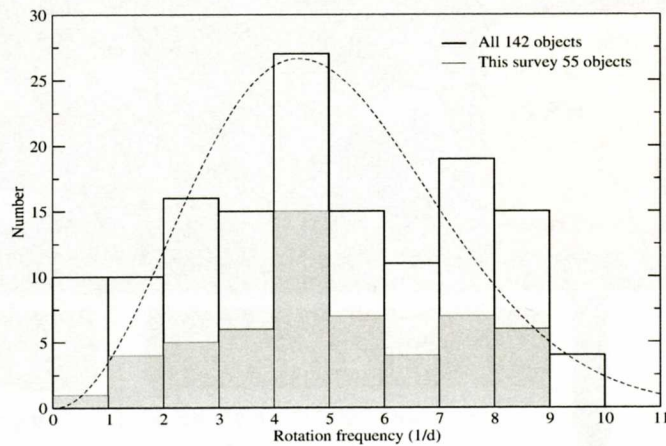
Szczegółową analizę statystyczną biegunów planetoid z Pasa Głównego zawiera publikacja H2. Szerokości ekliptyczne biegunów tych planetoid znacząco różnią się od opisanego wcześniej rozkładu dla NEAs. Szczególnie zauważalny jest brak obiektów, których osie rotacji leżą w pobliżu płaszczyzny ekliptyki (Rys.1). Nie widać też sugerowanej przez wiele lat nadwyżki obiektów rotujących prosto wśród największych planetoid, która miała być pozostałością z okresu formowania się Układu Słonecznego. Zauważalna jest natomiast nadwyżka obiektów rotujących prosto wśród obiektów mniejszych niż 100–150 m. W pracy tej szukaliśmy wpływu efektu YORP na małe planetoidy z Pasa Głównego, o średnicach $D < 60$ km. (Niestety obiekty mniejsze niż 40 km z Pasa Głównego nie mają wyznaczonych parametrów rotacyjnych, poza rodziną Koronis.) Okazuje się, że osie rotacji mniejszych planetoid są skupione bliżej biegunów ekliptyki w porównaniu z pozostałymi (Rys.3). Wynik ten sugeruje, że położenia osi rotacji dla małych obiektów z Pasa Głównego zostały zmodyfikowane przez działanie efektu YORP.

Niestety liczba małych obiektów, wrażliwych na działanie efektów nie-grawitacyjnych, o znanych parametrach rotacyjnych w Pasie Głównym jest bardzo niewielka, dlatego też w pracy wykazałam potrzebę dalszych badań takich ciał, a zwłaszcza należących do dynamicznych rodzin planetoid.

Poszukiwanie wpływu efektów Jarkowskiego i YORP na obiekty z rodziny Flory opisałam w publikacjach H4 i H5. Rodzina ta leży w wewnętrznej części

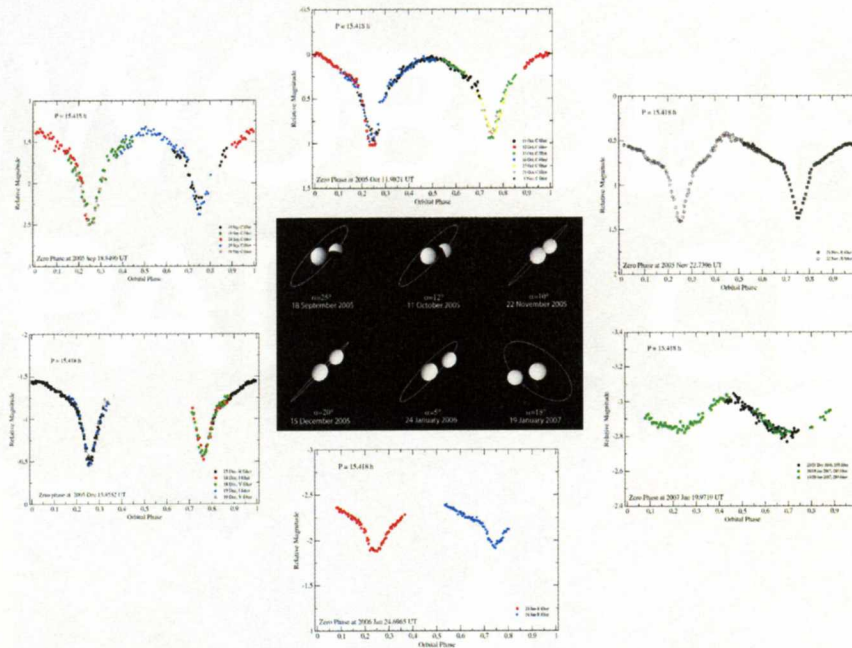


Rysunek 3: Rozkład długości i szerokości biegunów planetoid na sferze niebieskiej w układzie ekliptycznym. Sfera niebieska podzielona liniami przerywanymi na obszary o równej powierzchni. Symbole oznaczają obiekty z Pasa Głównego (MBAs) i zbliżające się do Ziemi (NEAs) o różnych średnicach. Gwiazdkami wyróżniona rodzina Koronis.



Rysunek 4: Obserwowany rozkład częstości rotacji dla 142 obiektów < 35 km z rodziny Flory (linia ciągła). Rozkład dla obiektów obserwowanych podczas kampanii obserwacyjnej (opisanej w H4) zaznaczony na szaro. Linia przerywana pokazuje rozkład Maxwella, dla średniej kwadratowej częstości rotacji równej 5.47 1/d.

su

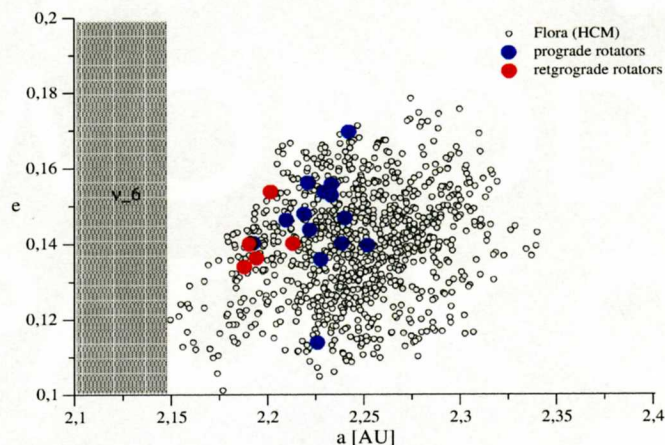


Rysunek 5: Obserwowane krzywe zmian blasku układu Lundii w zależności od orientacji układu względem obserwatora. Zaćmienia widoczne na 5 krzywych z opozycji 2005/2006. Na krzywej z 2007 roku nie widać już zaćmień w układzie.

Pasa Głównego i zbudowana jest z wielu, ponad 10 000 (Nesvorny 2010), niewielkich obiektów, prawie wszystkich mniejszych od 30 km.

Rodzina Flory leżąc w wewnętrznym Pasie Głównym znajduje się też blisko rezonansu wiekowego z Saturnem ν_6 . Fotometryczne obserwacje tej rodziny przeprowadzone zostały w 15-tu różnych obserwatoriach, na teleskopach o średnicy do 2.5 m, dzięki zaangażowaniu aż 30 obserwatorów. Uzyskane krzywe zmian blasku pozwoliły mi wyznaczyć, poprawić lub potwierdzić synodyczne okresy rotacji obserwowanych obiektów. Wyniki kampanii obserwacyjnej są przedstawione w publikacji H4, prezentującej ponad 540 krzywych zmian blasku dla 55 obiektów. Analiza statystyczna częstości rotacji planetoid z rodziny Flory (Rys.4) uzupełniona została o 91 obiektów o znanych okresach rotacji.

Rozkład częstości rotacji dla obserwowanej próby 55 planetoid oraz wszystkich 142 obiektów wygląda bardzo podobnie. Częstości rotacji obiektów należących do jednej rodziny, która powstała w wyniku zderzenia i rozpadu ciała macierzystego powinny mieć rozkład Maxwella (Rys.4). Test dla jednej próby Kołmogorowa - Smirnowa pokazuje, że rozkład częstości rotacji dla obiektów z rodziny Flory jest niezgodny z rozkładem Maxwella na poziomie ufności 94%. Na rozkładzie widzimy znaczące nadwyżki obiektów rotujących wolno i szybko, związane prawdopodobnie z działaniem efektu YORP. Prezentowany rozkład różni się od dwóch innych znanych rozkładów dla rodziny Koronis (Slivan et al. 2008) i rodziny Hungarii (Warner et al. 2009)

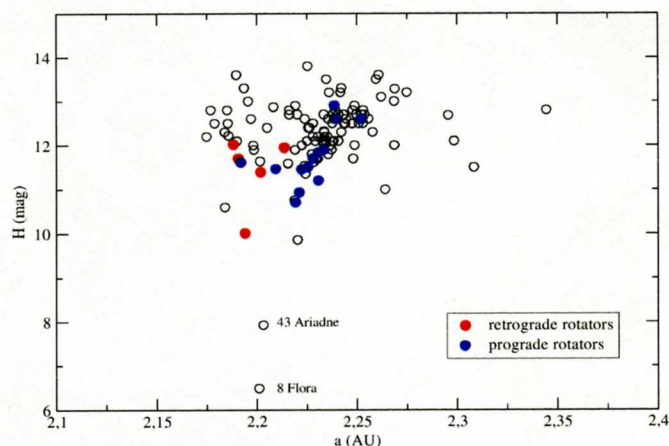


Rysunek 6: Położenie obiektów o rotacji prostej (niebieskie kropki) i wstecznej (czerwone kropki) w przestrzeni elementów własnych: półosi wielkiej a (AU) i mimośrodku orbity e . Szary pas pokazuje położenie rezonansu ν_6 (zależny od nachylenia orbity).

i może świadczyć o młodszym wieku rodziny Flory. Wynik ten potwierdzają też badania wieku powierzchni 951 Gaspry (członka rodziny Flory) w oparciu o obserwacje z sondy Galileo (Chapman 2002).

Obserwacje fotometryczne planetoid z rodziny Flory pozwoliły mi na odkrycie podwójności jednej z nich — 809 Lundii, szczegóły opisałam w publikacji H3. Na krzywych zmian blasku układów podwójnych obserwuje się gwałtowne spadki jasności do ok. 0.75 mag, co świadczy o podobnych rozmiarach składników. Dodatkowo pomiędzy minimami obserwuje się tzw. „shoulder-like shape” — kształt krzywej przypomina ludzkie ramiona, a związany jest ze wzajemnym cieniowaniem się składników układu oraz ich rotacją. Rysunek 5 pokazuje obserwowane krzywe zmian blasku układu Lundii w zależności od orientacji układu względem obserwatora.

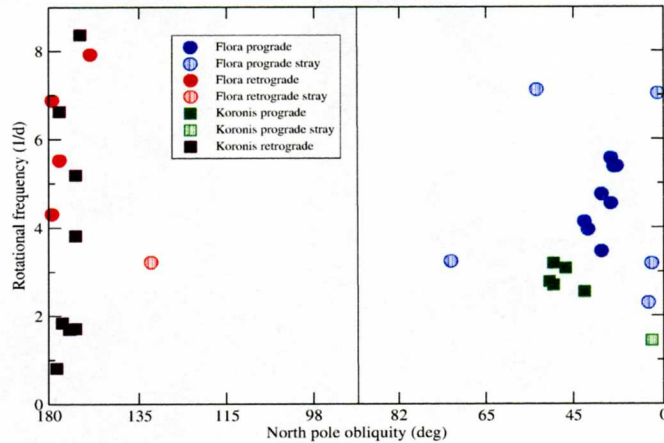
Takie układy (tylko 13 znanych w Układzie Słonecznym) rotują synchronicznie lub prawie synchronicznie, składniki zwrócone są do siebie zawsze tą samą stroną, z okresami dłuższymi niż 13.5 h. Właśnie takim podwójnym synchronicznym układem ciał okazała się znana od prawie 100 lat Lundia. Jest to bardzo ciekawy obiekt typu taksonomicznego V (powierzchnia bazaltowa podobna do planetoidy 4 Westa), ale dynamicznie związany z rodziną Flory. Taksonomicznie Lundia nie pasuje do reszty obiektów z rodziny, która zwykle składa się z obiektów jednorodnego typu, czyli w przypadku rodziny Flory powinna być typu S (krzemianowego). Typ V sugeruje pochodzenie 809 Lundii z Westy, o której wiadomo, że około 1 mld lat temu przeszła gigantyczna kolizję, w wyniku której powstała jedyna w swoim rodzaju rodzina o typie taksonomicznym V. Carruba et al. (2005) przeanalizowali możliwą migrację Lundii pod wpływem rezonansów i efektu Jarkowskiego na jej obecną orbitę, jednak wytłumaczenie było rozpatrywane dla pojedynczego ciała ro-



Rysunek 7: Jasność absolutna $H(\text{mag})$ w funkcji odległości od Słońca $a(\text{AU})$ dla planetoid rodziny Flory. Szare kółka pokazują 123 obiekty o znanych okresach rotacji (mniejsze od 30 km). Czerwone kropki reprezentują ciała o rotacji wstecznej, niebieskie o rotacji prostej. Największe planetoidy rodziny 8 Flora i 43 Ariadne są również zaznaczone.

tującego wstecznie. Otrzymany czas migracji wyniósł prawie 1.2 mld lat, co sugerowało związek z rodziną Westy. Wyniki obserwacji fotometrycznych Lundii przedstawiłam w publikacji H3. Modelowanie układu wykonane niezależnie dwoma metodami, w oparciu o otrzymane krzywe zmian jasności dało współrzędne ekliptyczne bieguna orbity układu $\lambda = 119 \pm 2^\circ$, $\beta = 28 \pm 4^\circ$ (w modelu Roche'a) lub $\lambda = 120 \pm 5^\circ$, $\beta = 18 \pm 12^\circ$ (w modelu kinematycznym) co oznacza, że układ rotuje prosto. Trudno wytłumaczyć migrację takiego układu efektami opisanymi przez Carrube et al. (2005). Dodatkowo wyznaczone zostały inne parametry modelu układu. Odległość pomiędzy składnikami układu wynosi 15.8 km, składniki mają po około 8 km maksymalnej średnicy przy założeniu, że średnica równoważna jednego ciała wynosi 9.1 km, jasność absolutna $H^* = 11.8 \text{ mag}$, albedo $p_V = 0.4$, okres rotacji $15.418 \pm 0.001h$ oraz gęstość ciał ok. $\rho = 1.7g/cm^3$. Wyznaczona gęstość w porównaniu z gęstością meteorytów HED pochodzących z Westy ($2.86-3.26g/cm^3$) oznacza, że składniki Lundii mają porowatość na poziomie 42-49%. Gęstość i porowatość to jedne z najważniejszych parametrów budowy wewnętrznej planetoid, możliwe do wyznaczenia dzięki badaniom planetoid podwójnych.

Rezultaty otrzymane podczas dziesięcioletniej kampanii obserwacyjnej planetoid z rodziny Flory wykorzystałam do poszukiwania wpływu efektów Jarkowskiego i YORP na obiekty z tej rodziny. Ostatnia publikacja – H5, zawiera wyniki modelowania 16 pojedynczych planetoid. Dla każdej z nich udało się uzyskać około 20 krzywych zmian blasku w różnych geometriach obserwacji (miejscach na orbicie wokół Słońca). Tak duża liczba krzywych jest niezbędna do wyznaczenia położenia osi rotacji w przestrzeni,



Rysunek 8: Zależność pomiędzy nachleniem osi rotacji planetoidy do płaszczyzny jej orbity wokół Słońca a częstością rotacji: kropki o różnych kolorach przedstawiają obiekty rodziny Flory, kwadraty o różnych kolorach przedstawiają obiekty rodziny Koronis.) Jaśniejsze symbole pokazują obiekty odstające od zgrupowań (stray objects). Rysunek zrobione w tej samej konwencji jak w Slivan (2002).

kształtu oraz gwiazdowego okresu rotacji metodą inwersji krzywych zmianna blasku (Kaasalainen & Torppa 2001, Kaasalainen et al. 2001).

Teoretycznie wiadomo, że efekt Jarkowskiego przesuwania planetoidy na mniejsze lub większe orbity w Układzie Słonecznym w zależności od kierunku rotacji. Rozdzielanie rodzin planetoid na grupy rotujące prosto i wstecznie jako rezultat działania efektu Jarkowskiego opisali teoretycznie m.in. Vokrouhlicky 1998, Vokrouhlicky 1999, Vokrouhlicky & Farinella 1998, Bottke et al. 2001, Morbidelli & Vokrouhlicky 2003, Spitale & Greenberg 2001. Jednak wpływ efektu Jarkowskiego na rodziny planetoid nigdy nie był obserwowany.

Wyniki modelowania planetoid z rodziny Flory pokazują po raz pierwszy rozdzielanie rodziny na grupy rotujące prosto (oznaczone na niebiesko) i wstecznie (oznaczone na czerwono) w zależności od odległości od Słońca (Rys.6 i 7). Ponadto obiekty rotujące wstecznie przesuwając się w kierunku Słońca trafiają na rezonans ν_6 , z którego są „wyrzucane” do wnętrza Układu Słonecznego, m.in. w pobliżu Ziemi. Dlatego też liczba planetoid o rotacji wstecznej w tej rodzinie jest ponad dwukrotnie mniejsza od liczby planetoid rotujących prosto. Fakt ten potwierdza, że źródłem planetoid zbliżających się do Ziemi jest rezonans ν_6 (opisany w publikacji H1).

Prawie wszystkie obiekty mniejsze niż 40 km w Pasie Głównym, o znanych do tej pory parametrach rotacyjnych, należały do rodziny Koronis. W rodzinie tej zauważono grupowanie się biegunów (Slivan 2002, 2009), spowodowane działaniem efektu YORP i rezonansów (Vokrouhlicky et al. 2003). Niezwykle układanie się osi rotacji planetoid z rodziny Koronis i wyrównanie ich okresów rotacji nazwane zostało stanami Slivana. Teoria przewidywała, że

poza rodziną Koronis, stany Slivana mogą istnieć tylko w zewnętrznej części Pasa Głównego planetoid (Vokrouhlicky et al. 2003). Jej porównanie z praktyką okazało się bardzo ciekawym wyzwaniem. Okazało się, że w przypadku planetoid z rodziny Flory również mamy do czynienia z grupowaniem się osi i okresów rotacji podobnie jak w rodzinie Koronis, spowodowane efektem YORP. Rysunek 8 pokazuje porównanie położenia osi i okresów rotacji dla obu rodzin (kwadraty dla rodziny Koronis, kółka dla rodziny Flory). Widać na nim bardzo podobne położenia punktów dla obu rodzin. Ponieważ wykres był zrobiony w tej samej konwencji jak u Slivana (2003) na osi poziomej przedstawiłam nachylenie osi rotacji do orbity ciała. W przypadku większości planetoid Pasa Głównego nachylenia orbit do ekliptyki są niewielkie i nachylenia osi rotacji w układach ekliptycznym i orbitalnym mają podobne wartości. Wynik ten był zupełnie nieoczekiwany i sugeruje, że teoria efektu YORP wymaga jeszcze udoskonalenia, a stany Slivana mogą być bardziej powszechne niż zakładała teoria.

2.3 Podsumowanie

Przedstawione powyżej publikacje poświęcone są obserwacyjnej weryfikacji działania efektów Jarkowskiego i YORP na planetoidy. Do najważniejszych osiągnięć można zaliczyć:

- Przejęcie i regularną aktualizację bazy parametrów rotacyjnych planetoid.
- Wyjaśnienie pochodzenia planetoid zbliżających się do Ziemi z rezonansu ν_6 dzięki dryfowi Jarkowskiego.
- Statystyczną analizę rozkładu osi rotacji planetoid Pasa Głównego i znalezienie wpływu efektu YORP na najmniejsze obiekty w próbie.
- Odkrycie podwójności planetoidy 809 Lundia i wyznaczenie jej modelu, który jest niezgodny z teoretycznym, założonym w celu wyjaśnienia położenia Lundii na obecnej orbicie.
- Zorganizowanie międzynarodowej fotometrycznej kampanii obserwacyjnej planetoid rodziny Flory.
- Wyjaśnienie rozkładu częstości rotacji planetoid rodziny Flory efektem YORP i oszacowanie wieku rodziny.
- Odkrycie rozszczepienia rodziny Flory na grupy obiektów rotujących prosto i wstecznie spowodowane dryfem Jarkowskiego.
- Odkrycie grupowania się okresów i osi rotacji (stanów Slivana) wśród planetoid rodziny Flory spowodowane najprawdopodobniej efektem YORP.
- Potwierdzenie pochodzenia planetoid zbliżających się do Ziemi z rodziny Flory, dzięki dryfowi Jarkowskiego do rezonansu ν_6 .

Bibliografia

Bottke, W. F., Vokrouhlicky, D., Broz, M., Nesvorny, D. & Morbidelli, 2001, Science 294, 1693

Bottke, W.F., Vokrouhlicky, D., Rubincam, D.P. & Broz, D.P. 2002, In Asteroids III, W.F. Bottke, A. Cellino, P. Paolicchi, & R.P. Binzel (Univ. Arizona Press, Tucson), 395

Chapman, C.R. 2002 in Asteroids III, W.F. Bottke, A. Cellino, P. Paolicchi, & R.P. Binzel. (Univ. Arizona Press, Tucson), 315

Carruba V., Mitchenko T.A., Roig F., Ferraz-Mello S., Nesvorny D. 2005, A&A, 441, 819

Kaasalainen, M. & Torppa, J. 2001, Icarus 153, 24

Kaasalainen, M., Torppa, J. & Muinonen, K. 2001, Icarus 153, 37

Morbidelli, A. & Vokrouhlicky, D. 2003, Icarus 163, 120

Nesvorny, D. 2010, Nesvorny HCM Asteroid Families V1.0. EAR-A-VARGBDET-5-NESVORNYFAM-V1.0. NASA Planetary Data System

Slivan, S.M., 2002, Nature 419, 49

Slivan, S.M., Binzel, R.P., Boroumad, S.C., et al. 2008, Icarus 195, 226

Slivan, S.M., Binzel, R.P., Kaasalainen M., et al. 2009, Icarus 200, 514

Spitale, J., & R. Greenberg, 2001, Icarus 149, 222

Vokrouhlicky, D., 1998, A&A 335, 1093

Vokrouhlicky, D., 1999, A&A 344, 362

Vokrouhlicky D. & Farinella, P. 1998, AJ 116, 2032

Vokrouhlicky, D., Nesvorny D., Bottke, W.F. 2003, Nature 425, 147

Warner, B., Harris, A.W., Vokrouhlicky, D., et al. 2009b, Icarus 204, 172

3 Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Całą moją karierę naukową poświęciłam badaniu planetoid. Planowałam i wykonywałam obserwacje w Borowcu, Poznaniu, Ostrowiku, Pic du Midi (Francja), Rozhen (Bułgaria) i innych obserwatoriach. Redukowałam i fotometrowałam obserwacje z wymienionych i wielu innych obserwatoriów na świecie. Od ponad 15 lat zajmuję się także archiwizacją wszystkich obserwacji planetoid uzyskanych na teleskopie fotometrycznym w Borowcu.

Początkowo celem badań były wybrane planetoidy Pasa Głównego, których obserwacje przeprowadzone w ciągu kilku lat w połączeniu ze wcześniej opublikowanymi danymi, pozwalały na wyznaczenie osi rotacji i modelu fizycznego. Badane obiekty poszerzały naszą ogólną wiedzę o planetoidach i uzupełniały kolekcję „Asteroid spin vector determinations database”. Wśród badanych obiektów znalazły się też planetoidy o najdłuższych okresach rotacji jak 288 Glauke, czy też obiekty o złożonej rotacji jak 4179 Toutatis.

Część mojej pracy poświęciłam badaniu planetoid podwójnych, między innymi 90 Antiope, która jest największym w Układzie Słonecznym układem podwójnym synchronicznym, po 85 km średnicy każdy składnik układu. Innym układem podwójnym jest 22 Kalliope, której satelita Linus ma zaledwie 28 km średnicy przy 166 km średnicy samej Kalliope. Badając takie układy możemy wyznaczyć gęstość i porowatość jego składników. Są to jedne z ważniejszych parametrów, które można uzyskać badając układy podwójne.

Inne moje prace związane były z obserwacjami i modelowaniem planetoid — celów misji kosmicznej Rosetta. Były to 21 Lutetia i 2867 Steins. Dzięki tym pracom uzyskaliśmy potwierdzenie poprawności technik modelowania planetoid (zwłaszcza metody inwersji) przy użyciu danych fotometrycznych.

Część mojej pracy poświęciłam fotometrycznemu przeglądowi bardzo małych planetoid bliskich Ziemi przy użyciu teleskopu SALT. Brałam udział w planowaniu i redukcji części obserwacji uzyskanych z teleskopu SALT, między innymi chwilowego księżycy Ziemi 2006RH₁₂₀.

Poza rodziną Flory badałam też obiekty rodziny Datury, której wiek szacowany jest na zaledwie 530 mln lat. W ostatnich latach zajęłam się również spektroskopią planetoid. Inspiracją do badań spektroskopowych była planetoida podwójna 809 Lundia. Tuż po odkryciu podwójności, chcieliśmy sprawdzić czy oba składniki układu mają taki sam typ taksonomiczny. Obserwacje spektroskopowe zostały przeprowadzone we współpracy z Obserwatorium w Paryżu, na 3 m teleskopie IRTF na Hawajach i potwierdziły taki sam skład powierzchni obu składników układu. Wyniki prezentowaliśmy na kilku międzynarodowych konferencjach. Publikacja oparta na wielu sesjach obserwacyjnych uzyskanych w różnych opozycjach wraz z modelowaniem składu powierzchni jest już wysłana do Monthly Notices (Spectroscopy and surface properties of binary asteroid 809 Lundia, Birlan M. et al.).

3.1 Autorstwo i współautorstwo publikacji naukowych

Jestem współautorką 35 publikacji z bazy Journal Citation Reports (JCR), część A, z których 32 ukazały się po uzyskaniu przeze mnie stopnia naukowego doktora. Jestem również autorką i/lub współautorką 28 innych publikacji. Sumaryczny Impact Factor prac wynosi 147.957. Łączna liczba cytowań na podstawie bazy Web of Knowledge wynosi 372 (280 bez autocytowań), wg. SAO/NASA Astrophysic Data System (ADS) 392.

Mój indeks Hirscha wynosi 12.

Szczegółowa lista publikacji w załączeniu.

3.2 Kierowanie i udział w projektach badawczych

Grant KBN dla młodych naukowców nr 2.P03D.022.09
kierownik projektu A. Kryszczyńska, 01.07.1995 – 30.06.1996

Grant KBN nr 2 P03D 024 09, wykonawca, 01.07.1995 – 31.12.1998,
kierownik prof. T. Michałowski

Grant KBN nr 2 P03D 007 018, wykonawca, 01.01.2000 – 30.09.2003,
kierownik projektu prof. T. Michałowski

Grant KBN nr 2 P03D 007 022, wykonawca, 01.04.2002 – 31.03.2005,
kierownik projektu dr hab. T. J. Jopek

Tempus-Structural and Complementary Measures, Grant No. C016A05-2005, Investigations of Market Needs of Various Physics Study Profiles: A New Supplement Diploma for Physics Studies, Consortium among Universities of Skopje (MK), Ferrara (I), Poznan (PL), Tetovo (MK), Ministry of Education and Sciences (MK). Partner country representative – A. Kryszczyńska, 11.2005 – 11.2006

Grant KBN nr 1 P03D 008 026, kierownik projektu dr A. Kryszczyńska, 26.04.2004 – 26.12.2007

Grant MNiSW/Grant NCN nr N N203 382136, kierownik projektu dr A. Kryszczyńska, 27.03.2009 – 26.05.2012

3.3 Nagrody i wyróżnienia

- Nagroda Indywidualna Rektora UAM II stopnia za osiągnięcia naukowe, 2005r.
- Dwie Nagrody Zespołowe II stopnia Rektora UAM za osiągnięcia naukowe, 2008r.

- W lipcu 2008 Komisja Nazw Międzynarodowej Unii Astronomicznej nadała planetoidzie o numerze 21776 nazwę Kryszczyńska, za wkład w badania planetoid, m in. za odkrycie podwójnej natury planetoidy 809 Lundia oraz prowadzenie bazy biegunów planetoid.

The following citation of IAU CSBN is from MPC 63394: (21776) Kryszczyńska = 1999 RE221 Agnieszka Kryszczyńska (b. 1965) is a planetary scientist at Adam Mickiewicz University, Poznań. Using photometry, she has studied the physical properties of minor planets. She discovered the binary nature of (809) Lundia and maintains a database of the pole coordinates and shapes of minor planets.

- Nagroda Zespołowa II stopnia Rektora UAM za osiągnięcia naukowe, 2010r.
- Nagroda Dziekana Wydziału Fizyki, za zaangażowanie w przygotowywaniu nowych programów studiów na kierunku Astronomia, 2013r.
- Wyróżnienie publikacji H5 (wchodzącej w skład osiągnięcia naukowego) jako Highlight 2013 przez edytorów *Astronomy and Astrophysics*.

3.4 Udział i organizacja konferencji międzynarodowych

1. Dynamics and astrometry of natural and artificial celestial bodies, Poznań, Poland, 1993
2. IAU Coll. 165, Dynamics and astrometry of natural and artificial celestial bodies, Poznań, Poland, 1996 – sekretarz LOC, 2 plakaty
3. Asteroids Comets Meteors 1996, Versailles, France, 1996, 3 plakaty
4. IAU Coll. 173, Evolution and source regions of asteroids and comets, Tatranska Lomnica, Slovak Republic, 08.1998, plakat
5. Asteroids Comets Meteors 1999, Ithaca, USA, 1999, 3 plakaty
6. Asteroids 2001, Palermo, Italy, 2001, 2 plakaty
7. Ceres 2001 Workshop, Paris, France, 10.2001, 2 plakaty
8. Asteroids Comets Meteors 2002, Berlin, Germany, 2002, 5 plakatów
9. Italian Planetary Sciences Meeting, Gallipoli, Italy, 2003, współautorstwo referatu bez udziału w konferencji
10. Balkan Astronomical Meeting, NAO Rozhen, Bulgaria, 2004, referat zaproszony
11. Asteroids Comets Meteors 2005, Buzios, Rio de Janeiro, Brazil, 2005, 3 plakaty
12. 6th General Conference of the Society of Physicists of the Republic of Macedonia, Ohrid, Macedonia, 2006, referat

13. Division for Planetary Sciences of the American Astronomical Society Meeting (DPS) 2006, Pasadena CA, USA, plakat bez udziału w konferencji
14. Workshop on Astrophysics and Space Research, Serock near Warsaw Poland, 06.2007, referat
15. First Workshop on Binaries in the Solar System, Steamboat Springs, Colorado, USA, 2007, referat
16. Asteroids Comets Meteors 2008, Baltimore USA, 2008, 3 plakaty
17. Workshop on Binaries in the Solar System II, Poznań, Poland, 2010 – główny organizator, <http://www.boulder.swri.edu/binaries2-mtg/>, referat
18. Division for Planetary Sciences of the American Astronomical Society Meeting (DPS) 2010, Pasadena CA, USA, plakat bez udziału w konferencji
19. Asteroids Comets Meteors 2012, Niigata, Japonia, referat i 2 plakaty
20. XIXth Meeting of the Petrology Group of the Mineralogical Society of Poland „Meteorites: Insights into Planetary Compositions”, 2012, referat zaproszony
21. Asteroid Spectroscopy in Support of Gaia (ASSG2013), Nicea, Francja, 2013
22. 3rd Workshop on Binaries in the Solar System, Kohala Coast, Big Island, Hawaje, USA, 2013, referat

3.5 Konferencje krajowe

1. Zjazdy Polskiego Towarzystwa Astronomicznego 1991, 1995, 1999, 2001, 2003, 2005, 2007, 2009, 2011
2. Zjazdy Polskiego Towarzystwa Meteorologicznego 2005, 2007
3. Astronomy at small telescopes Kielce 2005, Kraków/Koninki 2013
4. Seminaria Mechaniki Nieba 2004, 2005, 2006
5. Astronomia XXI wieku i jej nauczanie, Niepołomice, 2008, 2009

Na wszystkich w.w. konferencjach prezentowano referat i/lub plakat.

3.6 Członkostwo w międzynarodowych i krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych

- Członek Polskiego Towarzystwa Astronomicznego, od 2005 członek Zarządu Głównego tego Towarzystwa
- Członek Międzynarodowej Unii Astronomicznej

3.7 Staże w zagranicznych ośrodkach naukowych lub akademickich

- Francja, Bureau des Longitudes, dwa miesięczne stypendia rządu francuskiego (CNRS) 1994, 1995
- Francja, wielokrotne wyjazdy na obserwacje do Obserwatorium Pic du Midi
- Francja, visiting astronomer, Obserwatorium w Paryżu, 1 miesiąc, 1997
- Bułgaria, wielokrotne wyjazdy na obserwacje do obserwatorium NAO Rozhen
- Francja, wielokrotne staże w Institute de Mecanique Celeste et de Calcul des Ephemerides, Observatoire de Paris
- USA, Southwest Research Institute, Boulder, Colorado 1 miesiąc, 2013, staż naukowy na zaproszenie dr Williama Merline'a. W ramach stażu obserwacje na teleskopie Keck II na Hawajach.

3.8 Recenzje

Recenzja doktoratu Gordany Apostolovskiej z Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Sts. Cyril and Methodius University, Skopje, Republika Macedonii pt. „Determination of some dynamical characteristics of chosen asteroids”, 2004.

Recenzje artykułów do Icarus'a, Meteoritics and Planetary Science, Planetary and Space Science, Astronomy and Astrophysics.

A. Rymaszko