
Wojciech Dimitrow

Instytut Obserwatorium Astronomiczne
Wydział Fizyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza
w Poznaniu

Poznań, 2018

1 Życiorys naukowy

1.1 Dane osobowe

- Imię i nazwisko: Wojciech Dimitrow
- Miejsce pracy: Instytut Obserwatorium Astronomiczne,
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza,
ul. Słoneczna 36, 60-286 Poznań,
tel. +48 61 829 2776,
e-mail: dimitrov@amu.edu.pl

1.2 Wykształcenie i stopnie naukowe

- 1994 – 1999 – Studia stacjonarne na Wydziale Fizyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, na kierunku fizyka, specjalność astronomia
- 1999 – Uzyskanie tytułu magistra, praca magisterska *Zakrycia gwiazd przez Księżyc*, promotor prof. dr hab. Piotr Dybczyński
- 2006 – Uzyskanie stopnia doktora nauk fizycznych, praca doktorska *Obserwacje i modelowanie rozdzielonych układów podwójnych — weryfikacja ich odległości i statusu ewolucyjnego*, Wydział Fizyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, promotor - prof. dr hab. Alexander Schwarzenberg-Czerny

1.3 Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu

- 0.0.2006 – 0.0.2007 – pracownik naukowo techniczny,
Instytut Obserwatorium Astronomiczne (IOA), UAM
- 01.10.2007 – 01.10.2017 – adiunkt, IOA UAM
- od 01.10.2017 — starszy wykładowca, IOA UAM

2 Osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę postępowania habilitacyjnego

Osiągnięciem naukowym jest jednotematyczny cykl publikacji zatytułowany „Układy wielokrotne – detekcja nowych składników oraz wyznaczanie parametrów absolutnych”.

2.1 Wykaz jednotematycznych artykułów naukowych stanowiących podstawę postępowania habilitacyjnego

- H1 **Dimitrov, W.**, Fagas, M., Kamiński, K., Kolev, D., Kwiatkowski, T., Bąkowska, K., Rożek, A., Bartczak, P., Borczyk, W., Schwarzenberg-Czerny, A. 2014.

Spectroscopy of HD 86222 - a quintuple system with an eclipsing component

Astronomy and Astrophysics 428, 400-401, IF(2004)=32.182,

Odkryłem czwarty spektroskopowy składnik układu HD 86222 AB oraz wyjaśniłem hierarchie całego układu pięciokrotnego. , brałam udział w interpretacji wyników i redagowaniu tekstu publikacji, wkład własny 30%.

- H2 **Dimitrov, W.**, Kamiński, K., Lehmann, H., Ligęza, P., Fagas, M., Bagińska, P., Kwiatkowski, T., Bąkowska, K., Kowalczyk, A., Polińska, M., Bartczak, P., Przybyszewska, A., Kruszewski, A., Kurzawa, K., Schwarzenberg-Czerny, A. 2015.

V342 Andromedae B is an eccentric-orbit eclipsing binary.

Astronomy and Astrophysics

Volume 575, id.A101, IF(2015)=0.0,

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 **Dimitrov, W.**, Lehmann, H., Kamiński, K., Kamińska, M. K., Zgórz, M., Gibowski, M. 2017.

The hierarchical triple system DY Lyncis

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society

Volume 466, Issue 1, IF(2017)=0.0,

Odkryłem trzeci spektroskopowy składnik w układzie zaćmieniowym DY Lyn A, zorganizowałem międzynarodową kampanię obserwacyjną, przygotowałem dane do modelowania, zinterpretowałem wyniki modelowania. Udało się uzyskać krzywe prędkości radialnych dla ciasnej i szerokiej orbity o okresie 281 d. Napisałem 80% tekstu publikacji, wkład własny 70%.

- H4 **Dimitrov W.**, Tomov T., Kamiński K., Polińska M., Iliev I., Kamińska M. K. 2018.

GT Ursae Majoris AB – a possible quadruple system.

Acta Astronomica 551, A102, IF(2018)=5.084,

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

H5 **Dimitrov W.**, Żywucka - Hejzner N., Polińska M., Kamiński K., Kamińska M. K. 2018

Spectroscopy of the eclipsing binary BD-00 2862 – possible multiplicity.

Acta Astronomica 546, A72, IF(2018)=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%.

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 zmniejszaniu/kurczeniu (Rys.1). Dryf Jarkowskiego jest najbardziej efektywny dla ciał mniejszych od 40 km, a zanedbywalny 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 obiekty o kształcie sferycznym lub elipsoidalnym), parametrów termicznych planetki (przewodnictwa cieplnego) i odległości od Słońca. Efekt YORP

Figure 1: 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).

może powodować przyspieszanie lub spowalnianie rotacji planetoid oraz ustawianie osi rotacji prostopadle do płaszczyzny orbity.

Choć parametry orbitalne znamy 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 rezonan-

Figure 2: 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.

sowe 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

Figure 3: 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.

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 niegrawitacyjnych, 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 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 tele-

Figure 4: 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.

skopach 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) 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

Figure 5: Położenie obiektów o rotacji prostej (niebieskie kropki) i wstecznej (czerwone kropki) w przestrzeni elementów własnych: półosi wielkiej $a(AU)$ i mimośrodoru orbity e . Szary pas pokazuje położenie rezonansu ν_6 (zależny od nachylenia orbity).

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 rotującego 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 $\lambda = 119 \pm 2^\circ$, $\beta = 28 \pm 4^\circ$

Figure 6: Jasność absolutna $H(mag)$ w funkcji odległości od Słońca $a(AU)$ 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.

(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 $H = 11.8$ 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, 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

Figure 7: 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).

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 rozdzielenie 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 przesuwać się w kierunku Słońca trafiają na rezonans ν_6 , z którego są „wyrzucane” do wnętrza Układu Słonecznego, m.in. w pobliże 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

3.1 Budowa instrumentów badawczych

W trakcie ostatniej dekady brałem udział w budowie trzech instrumentów badawczych. Pracowałem na wszystkich etapach od projektowania poprzez budowę, pisanie oprogramowania, uruchomienia, szkolenia obserwatorów, oraz serwisowania i modernizacji Poznańskiego Teleskopu Spektroskopowego 1. Przy budowie dwóch kolejnych instrumentów PST2 oraz spektrografu Echelle dla 2-m teleskopu NAO Rozhen w Bułgarii pracowałem głównie jako konsultant. Brałem również udział w modernizacji oraz serwisowaniu 0.4-m teleskopu fotometrycznego w Borowcu k. Poznania.

Poznański Teleskop Spektroskopowy 1 – Pracę w projekcie PST1 rozpocząłem od razu po ukończeniu doktoratu w roku 2006 na etacie naukowo technicznym. Pracowałem nad montażem teleskopu i spektrografu jak również nad justowaniem optyki obu instrumentów. Brałem udział w projektowaniu niektórych elementów.

Poznański Teleskop Spektroskopowy 2 – Projekt GATS
Spektrograf Echellé dla NAO Rozhen Bułgaria

3.2 Testy nowych metod kalibracji widm

3.3 Obserwacje oraz modelowanie planet pozasłonecznych

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.).

3.4 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.

3.5 Udział w projektach badawczych

Wykonawca w granie *Globalny Teleskop Astrofizyczny*, kierownik grantu dr Krzysztof Kamiński, 2011/01/D/ST9/00427, 2011-2016 r.

Wykonawca w granie „*Badanie cefeid za pomocą prędkości radialnych*”, kierownik grantu: dr hab. T. Kwiatkowski, 1P03D 025 29, zakończenie grantu listopad 2008

Wykonawca w granie „*Spektroskopia i fotometria układów zaćmieniowych do ich kalibracji jako kosmologicznych wskaźników odległości*”, kierownik grantu: dr hab. T. Kwiatkowski, 5P03 D002 20, 2001-2003 r.

Wykonawcą w granie z zakresu spektroskopii, kierownik prof. Aleksander Szchwarzenberg-Czerny, KBN 2P03 D018 18.

3.6 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*.

3.7 Udział w konferencjach międzynarodowych

- „Wrocław HELAS Workshop – Interpretation of astroseismic data” (23 - 27 czerwca 2008), Wrocław, Poland
Referat: Radial-velocity observations of pulsating stars with a new Poznań Spectroscopic Telescope
- „Binaries – Key to Comprehension of the Universe” (8 - 12 czerwca 2009), Masaryk University, Brno, Czech Republic.
Poster: FM Leonis - the tale of twins, (współautor)
- „Rozhen National Astronomical Observatory: Thirty Years Eyes on the Sky” (26 - 29 września 2011), Bułgarska Akademia Nauk
**Referat zaproszony:
Fiber Fed Echelle Spectroscopy in Poznan**
- „Second National Congress on Physical Sciences, Bulgaria” 25-29 September 2013, Sofia
Union of Physicists in Bulgaria, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia University St. Kliment Ohridski, Ministry of Education, Youth and Science

- „KOLOS Slovakia - variable stars”
3 – 5 December 2015, Vihorlat Observatory in Humenné
Referat:
Spectroscopy of multiple stars with eclipsing component
- „International meeting on variable stars research”
1 - 3 December 2016, Slovakia, Vihorlat Observatory in Humenné
Referat: Echelle spectroscopy in Poznań

3.8 Konferencje krajowe

- „GATS Workshop”, (20-21 Maja 2017)
Instytut Obserwatorium Astronomiczne UAM, Poznań
główny organizator
Referat: Teleskop w Borowcu (PST1)
Referat: Modernizacja teleskopu PST1
- „Wykorzystanie Małych Teleskopów II” (16 - 17 czerwca 2011) Instytut Fizyki Uniwersytetu Opolskiego **Referat: Poznański Teleskop Spektroskopowy** (główny autor)
Poster: XXX (współautor)
- „XXXV Zjazd Polskiego Towarzystwa Astronomicznego ” (11 - 15 września 2011) Instytut Fizyki Uniwersytetu Opolskiego **Referat: Poznański Teleskop Spektroskopowy** (główny autor)
Poster: XXX (współautor)
- „50 lat zaćmień U Geminorum” (5 grudnia 2011 roku) Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika PAN
- „Wykorzystanie małych teleskopów” (Kraków-Koninki 10-12 Maja 2013)
Katedra Astronomii Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie **Referat: Globalny Teleskop Astrofizyczny** (współautor Krzysztof Kamiński)
- „Software Systems for Astronomy” 7-18 July 2014, Poznań Institute Astronomical Observatory, Faculty of physics, Adam Mickiewicz University **Referat: Spectroscopy with PST1**
- „Polska w Kosmosie” 26-27 listopada 2015, Warszawa Instytut Lotnictwa
- „Udział Polski w europejskim programie SSA (Space Situational Awareness)” 6 kwietnia 2016, Poznań Polska Agencja Kosmiczna - POLSA i Instytut Obserwatorium Astronomiczne, Wydział Fizyki, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza
- „Warsztaty praktyczne ESO” 7 lutego 2017, Warszawa Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika PAN (CAMK PAN) oraz Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Warszawskiego

3.9 Członkostwo w międzynarodowych i krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych

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

3.10 Staże w zagranicznych ośrodkach naukowych lub akademickich

- Bułgaria, wielokrotne wyjazdy na obserwacje do obserwatorium NAO Rozhen – obserwacje spektroskopowe na 2-m teleskopie Ritchey-Cretien Coudé.
- Kanada, wyjazd do David Dunlap Obserwatory – obserwacje spektroskopowe na 1.88-m teleskopie.

3.11 Szkolenia z zakresu obsługi teleskopu spektroskopowego PST1 oraz redukcji danych

Poza corocznymi praktykami dla studentów z Polski prowadziłem również szkolenia dla doktorantów i adiunktów z obsługi teleskopu PST1 oraz z redukcji danych z spektrografu Echelle oraz pomiarów prędkości radialnych.

- Tomasz Zdrawkow – obserwacje gwiazd pulsujących
– doktorant, CAMK Warszawa
- Sebastian Kurowski – obserwacje układów zaćmieniowych
– doktorant, Kraków
- dr Waldemar Ogłóza – obserwacje układów zaćmieniowych
– adiunkt, UP Kraków

3.12 Kierownictwo i opieka nad pracami magisterskimi

W trakcie ostatnich 10 lat byłem kierownikiem lub zajmowałem się opieką nad 8 pracami magisterskimi. Wszystkie zostały ocenione na stopień bardzo dobry lub dobry. Cztery osoby kontynuowały kształcenie z zakresu astronomii na studiach doktoranckich w Polsce lub za granicą.

Wyznaczenie parametrów układów podwójnych zaćmieniowych

FM Leo i FK Leo

Milena Ratajczak (Poznań 2008)

aktualnie: ukończyła doktorat CAMK Warszawa

– opieka nad pracą

Modelowanie układów zaćmieniowych BD-002862 i HD 67894

Rafał Szudera (Poznań 2009)

– opieka nad pracą (nieformalne kierownictwo pracy)

Badania planet pozastłonecznych – zastosowanie metody Wilsona-Devinney

Elżbieta Andrzejewska (Poznań 2010)

– opieka nad pracą (nieformalne kierownictwo pracy)

Obserwacje spektroskopowe oraz modelowanie układu HD 65498

Justyna Sękalska (Poznań 2010)

– opieka nad pracą (nieformalne kierownictwo pracy)

Obserwacje spektroskopowe układów zaćmieniowych półrozdzielonych

Patrycja Bagińska (Poznań 2011)

aktualnie doktorant UAM Poznań

– kierownik pracy

Obserwacje spektroskopowe planety pozastłonecznej τ Bootis

- badanie stabilności spektrografu

Tomasz Kowalczyk (Poznań 2011)

– kierownik pracy

Obserwacje spektroskopowe oraz modelowanie układów HT Vir i RR Lyn

Katarzyna Bensch (Poznań 2012)

aktualnie doktorant IAA Hiszpania

– opieka nad pracą (nieformalne kierownictwo pracy)

Analiza obserwacji spektroskopowych gwiazd zaćmieniowych i pulsujących

Natalia Zywucka (Poznań 2013)

aktualnie doktorant UJ Kraków

– kierownik pracy