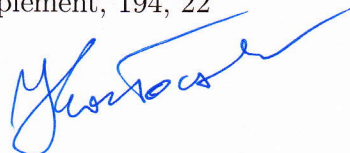


AUTOREFERAT

1. Imię i Nazwisko: **Szymon Kozłowski**
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne
(z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej)
 - (a) **Magister (fizyka, specjalność astrofizyka)**, Uniwersytet Zielonogórski, 2004
Praca pt. „Wyznaczanie parametrów pozasłonecznych układów planetarnych”
 - (b) **Doctor of Philosophy (PhD)** uzyskany 3 października 2007 r. na Faculty of Engineering and Physical Sciences, The University of Manchester (Wielka Brytania) nostryfikowany przez Radę Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w dniu 12 kwietnia 2010 r. (Zaświadczenie nr 2/2009/2010 z dnia 13 kwietnia 2010 r.).
Rozprawa doktorska pt. „Gravitational microlensing in the Milky Way with the Hubble Space Telescope and OGLE-III”, promotor prof. Shude Mao
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.
 - (a) Jodrell Bank Observatory, The University of Manchester, Wielka Brytania
stypendium doktoranckie Marie Curie 2004-2007
 - (b) Department of Astronomy, The Ohio State University, Stany Zjednoczone
staż podoktorski, 2007-2010
 - (c) Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Warszawskiego
staż podoktorski/adiunkt naukowy, 2010-obecnie
4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.)
 - (a) tytuł osiągnięcia naukowego:

Kwazary za Obłokami Magellana – nowe metody selekcji kandydatów i ich weryfikacja

- (b) autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa:
 1. **Kozłowski S.** & Kochanek C. S., „Discovery of 5000 Active Galactic Nuclei Behind the Magellanic Clouds”, 2009, The Astrophysical Journal, 701, 508
 2. **Kozłowski S.**, Kochanek C. S., Udalski A. i in., „Quantifying Quasar Variability as Part of a General Approach to Classifying Continuously Varying Sources”, 2010, The Astrophysical Journal, 708, 927
 3. **Kozłowski S.**, Kochanek C. S. & Udalski A., „The Magellanic Quasars Survey. I. Doubling the Number of Known Active Galactic Nuclei Behind the Small Magellanic Cloud”, 2011, The Astrophysical Journal Supplement, 194, 22



4. **Kozłowski S.**, Kochanek C. S., Jacyszyn A. M i in., „The Magellanic Quasars Survey. II. Confirmation of 144 New AGNs Behind the Southern Edge of the Large Magellanic Cloud”, 2012, The Astrophysical Journal, 746, 27
5. **Kozłowski S.**, Onken C. A, Kochanek C. S. i in., „The Magellanic Quasars Survey. III. Spectroscopic Confirmation of 758 AGNs Behind the Magellanic Clouds”, 2013, The Astrophysical Journal, 775, 92

(c) omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania:

Wprowadzenie

Aktywne jądra galaktyk¹ są najjaśniejszymi ciągłymi źródłami promieniowania we Wszechświecie, widocznymi nawet z jego krańców. Obiekty te są interesujące zarówno pod względem ich użyteczności do badań historii i rozwoju Wszechświata, jak również stanowią znakomite laboratorium do badania procesów małych i wielkich energii. Do dnia dzisiejszego skatalogowano już ponad 200 000 kwazarów, odkrytych głównie za pomocą amerykańskiego projektu the Sloan Digital Sky Survey (SDSS). Na podstawie obserwacji w tylko jednej epoce wyznaczono ich podstawowe dane takie jak masy centralnych czarnych dziur, przesunięcie ku czerwieni (redshift), czy jasność Eddingtona. Dla około 9000 kwazarów z tej próbki dostępne są także wielokrotne obserwacje (60 epok) na przestrzeni ośmiu lat, pozwalające na analizę zależności zmienności fotometrycznej kwazarów w funkcji ich parametrów fizycznych (MacLeod, Ivezić, Kochanek, **Kozłowski** i in. 2010, praca cytowana 68 razy).

Okazuje się, że istnieje także duża populacja kwazarów, które obserwowane były niejako „przy okazji” mikrosoczewkowych przeglądów nieba, a które nie zostały wcześniej zidentyfikowane. Polski projekt OGLE monitoruje obszar Obłoków Magellana od 1997 roku, więc obecna baza czasowa obserwacji sięga już 16 lat. W trzeciej fazie projektu OGLE (od 2001 roku) obserwowanych było 55 stopni kwadratowych nieba, które – zakładając funkcję świecenia z projektu SDSS (Richards i in. 2006) – powinny zawierać około 1300 kwazarów.

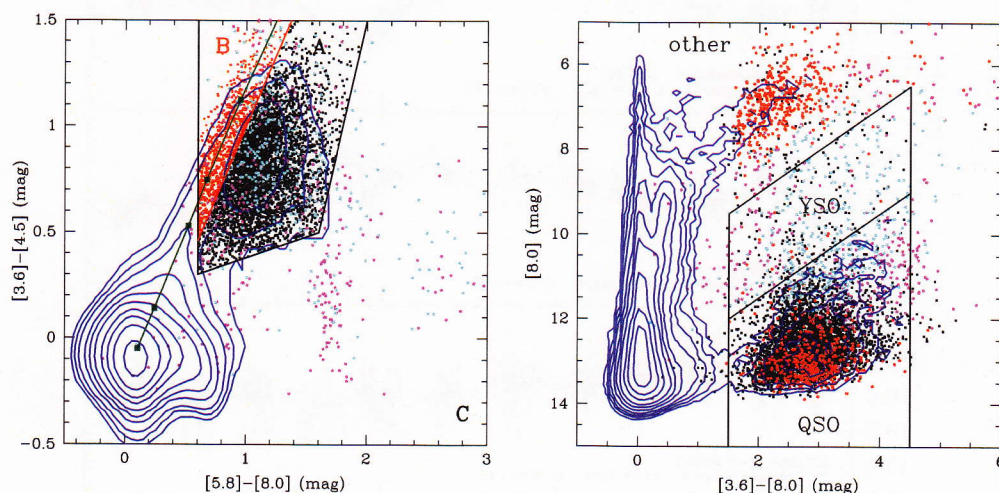
Wykrycie kwazarów znajdujących się w tak gęstych polach gwiazdowych jest jednak bardzo trudne. Szacowana liczba kwazarów jaśniejszych od $I < 20$ mag przypadająca na jeden stopień kwadratowy nieba to 25, natomiast odpowiadająca im liczba gwiazd w centrum Wielkiego Obłoku Magellana jest rzędu miliona. Trudności w odszukaniu kwazarów w morzu gwiazd Obłoków Magellana były wyraźnie odzwierciedlone w małej dotychczasowej liczbie detekcji – 80, pomimo wielu prób poszukiwań w ostatnich dwóch dekadach (np. Schmidtke i in. 1994, Eyer 2002; Dobrzycki i in. 2002, 2003ab, 2005; Geha i in. 2003).

Jako rozprawę habilitacyjną przedstawiam mój wkład w rozwój tej dziedziny badań, który polegał na opracowaniu dwóch nowych metod detekcji kwazarów w gęstych polach gwiazdowych, co zaowocowało odkryciem 713 nowych obiektów – zwiększając ich liczbę w tym obszarze nieba o rząd wielkości. Kwazary te będą miały kluczowe znaczenie dla zrozumienia procesów fizycznych w nich zachodzących (ze względu na dostępność długo-skalowych obserwacji fotometrycznych z projektu OGLE), jak również dla badania ruchów własnych Obłoków Magellana oraz absorpcji międzygwiazdowej.

¹W dalszej części osiągnięcia habilitacyjnego kwazarami nazywać będę wszystkie typy aktywnych jąder galaktyk.

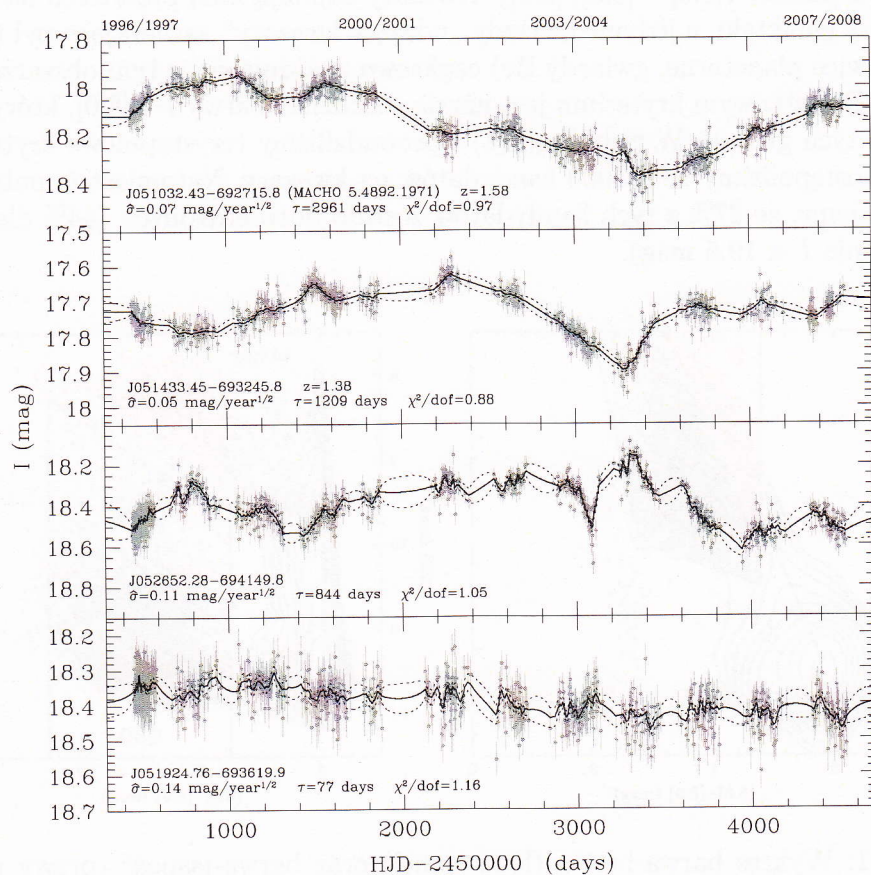
Nowe metody selekcji kandydatów na kwazary

W 2009 roku wraz z Christopherem Kochankiem zaadoptowałem i zmodyfikowałem metodę selekcji kwazarów, używaną w astrofizyce pozagalaktycznej (Stern i in. 2005), rozszerzając ją do gęstych pól gwiazdowych. Metoda ta opiera się na jednoczesnej analizie danych zebranych w środkowej podczerwieni przez Kosmiczny Teleskop Spitzer’a oraz danych optycznych z projektu OGLE. Widmo kwazarów jest bardzo charakterystyczne w środkowej podczerwieni i zarazem znacząco różne od widm dużej większości gwiazd czy galaktyk. Tworząc wskaźniki barwy $[3.6] - [4.5]$ oraz $[5.8] - [8.0]$ udaje się odseparować kwazary od większości gwiazd i galaktyk za pomocą tzw. „klina” (Rysunek 1, lewy panel). Kolejne kryterium to położenie obiektów na wykresie barwa–jasność ($[3.6] - [8.0]$, $[8.0]$). Kwazary zajmują inną przestrzeń na tym wykresie niż gwiazdy, czy galaktyki, a jedynie gwiazdy „udające kwazary” zawierające pył (młode proto-gwiazdy, mgławice planetarne, gwiazdy Be) częściowo znajdują się w tym obszarze (Rysunek 1, prawy panel). Dodatkowym kryterium jest użycie wskaźnika barwy $I - [8.0]$, który pozwala pozbyć się części tych gwiazd. W publikacji (1) wprowadziliśmy trzystopniowe kryterium selekcji kwazarów i udostępniliśmy listę 5000 kandydatów na kwazary. Natomiast w publikacji końcowej (5) pokazujemy, że 27% z tych kandydatów zostało potwierdzonych (44% dla kandydatów jasnych optycznie $I < 19.5$ mag).



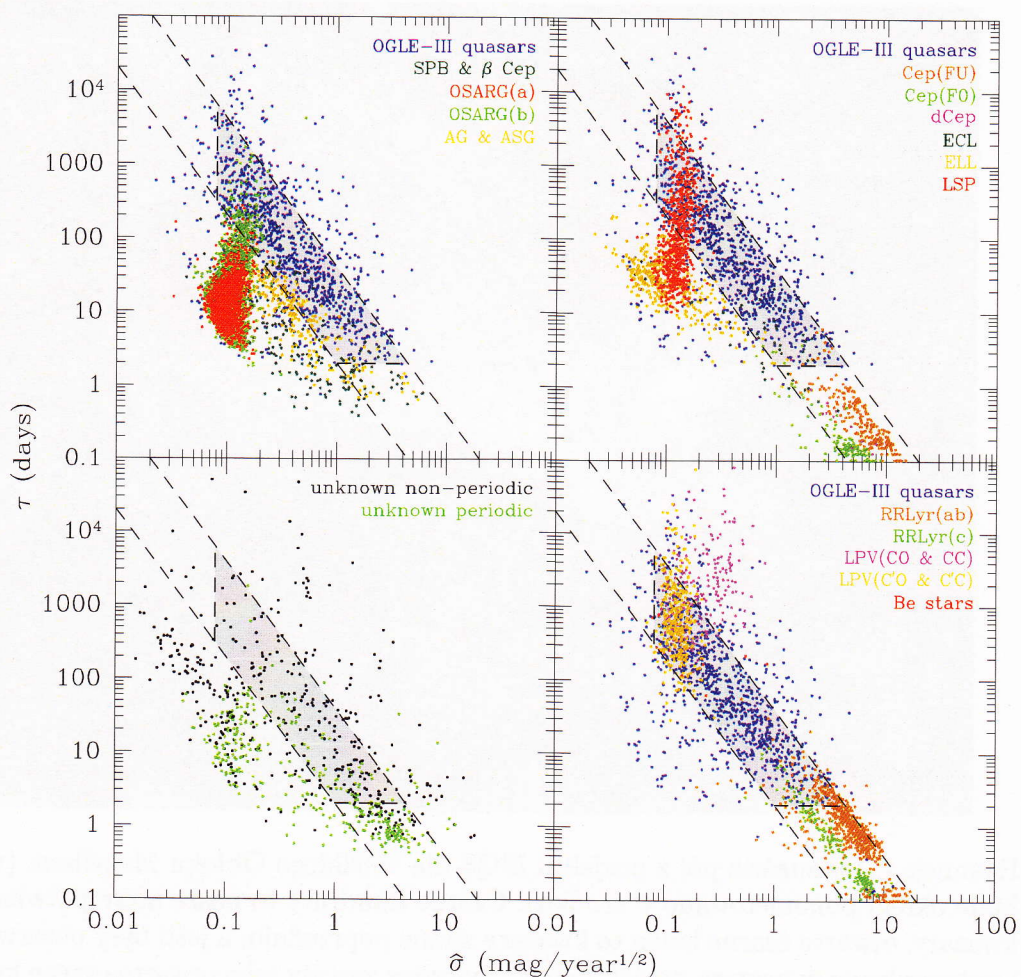
Rysunek 1: Wykres barwa-barwa (lewy panel) oraz barwa-jasność (prawy panel) w środkowej podczerwieni dla obiektów obserwowanych Kosmicznym Teleskopem Spitzer’a w kierunku Obłoków Magellana. Wyglądzone kontury pokazują 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 i 2000 obiektów w komórce o rozmiarach 0.1 mag dla barwy i 0.2 mag dla jasności. *Lewy panel:* Gwiazdy grupują się w lewym dolnym rogu, natomiast kandydaci na kwazary (QSO) znajdują się wewnątrz „klina” (czarna gruba linia) i mają kolory czarny (czystsza próbka) i czerwony (próbka zawierająca chłodne gwiazdy). Pozostałe punkty to potwierdzone lub wysoko prawdopodobne proto-gwiazdy (YSO). *Prawy panel:* W zaprezentowanej przestrzeni kandydaci na kwazary oddzielają się od gwiazd (kontury) i w większości od proto-gwiazd, stąd dwa obszary: YSO zawierający głównie proto-gwiazdy i QSO zawierający głównie kandydatów na kwazary.

W roku 2009 ukazała się także praca Kelly i in. pokazująca, że aperiodyczne krzywe zmienności kwazarów mogą być „zredukowane” do dwóch parametrów: amplitudy σ i skali czasowej τ , przy użyciu modelu tłumionego błędzenia losowego (ang. damped random walk, DRW). W pracy (2) wraz ze współpracownikami pokazałem, że model ten doskonale opisuje krzywe zmian blasku kwazarów (z dokładnością 0,01–0,02 mag; Rysunek 2) używając stosunkowo małej próbki kwazarów z projektu OGLE. W szczególności przeanalizowałem wszelkie typy obiektów zmiennych i opracowałem kryteria wyboru w przestrzeni parametrów oddzielające kwazary od gwiazd zmiennych. W pracy (2) zaproponowaliśmy kilku-stopniową metodę selekcji kwazarów opierającą się na parametrach zmienności z modelu DRW. Główny etap selekcji na podstawie parametrów $\hat{\sigma}$ i τ przedstawiony jest na Rysunku 3.



Rysunek 2: Cztery przykłady modelowania krzywych przy pomocy modelu DRW. Dwunastoletnie krzywe zmian blasku pochodzą z projektu OGLE-II i OGLE-III (lata 1997–2008). Dwa górne panele prezentują potwierdzone spektroskopowo kwazary, a dwa dolne – obiekty o innych typach zmienności. Czarna linia ciągła pokazuje najlepiej dopasowany model DRW, natomiast powierzchnia pomiędzy dwoma przerywanymi liniami pokazuje zakres 1σ możliwych modeli stochastycznych.

Metody z dwóch pierwszych publikacji użyte zostały do selekcji kandydatów na kwazary. Jednocześnie uzupełniliśmy je o dodatkowe kryterium, w którym wymagana od kwazarów jest obecność emisji rentgenowskiej. Przeanalizowałem blisko 50 milionów krzywych z projektu OGLE-III za pomocą modelu DRW, z czego selekcję pomyślnie przeszło około 1100 (300)



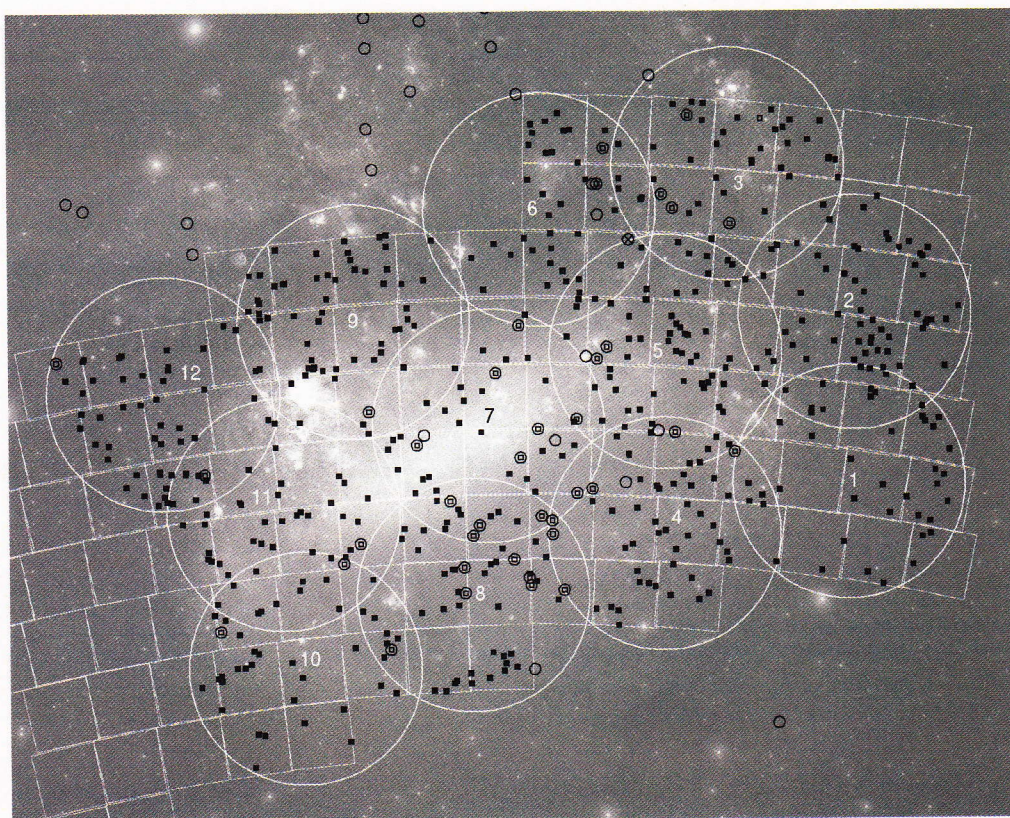
Rysunek 3: W przestrzeni $\hat{\sigma}$ - τ zdefiniowany został trapez (szare pole) zawierający większość kandydatów na kwazary (niebieskie punkty) z publikacji (1). Cztery panele pokazują dokładnie ten sam obszar, ale z różnymi klasami gwiazd zmiennych (pozostałe kolory). Dodatkowe ograniczenia przedstawione w publikacji (2), pozwalają na usunięcie większości gwiazd zmiennych.

obiektów za Wielkim (Małym) Obłokiem Magellana.

Spektroskopia kandydatów na kwazary

W 2009 roku rozpoczęty został spektroskopowy przegląd Obłoków Magellana pod nazwą *The Magellanic Quasars Survey* (MQS), którego jestem kierownikiem (PI). W pierwszym testowym etapie wykonane zostały obserwacje jednego pola (3 stopnie kwadratowe) w Małym Obłoku Magellana, zawierającego 268 kandydatów na kwazary wybranych trzema opisanymi wyżej metodami. Potwierdziliśmy 32 kwazary, w tym 29 nowe oraz sklasyfikowaliśmy 12 obiektów jako prawdopodobne kwazary, jednak niski stosunek sygnału do szumu nie pozwalał na jednoznaczną ich identyfikację. Wyniki te zaprezentowane zostały w publikacji (3).

W 2011 roku w kolejnej fazie projektu osobiście wykonałem obserwacje spektroskopowe, a następnie redukcje oraz analizę danych dla czterech pól w Wielkim Obłoku Magellana, zawiera-

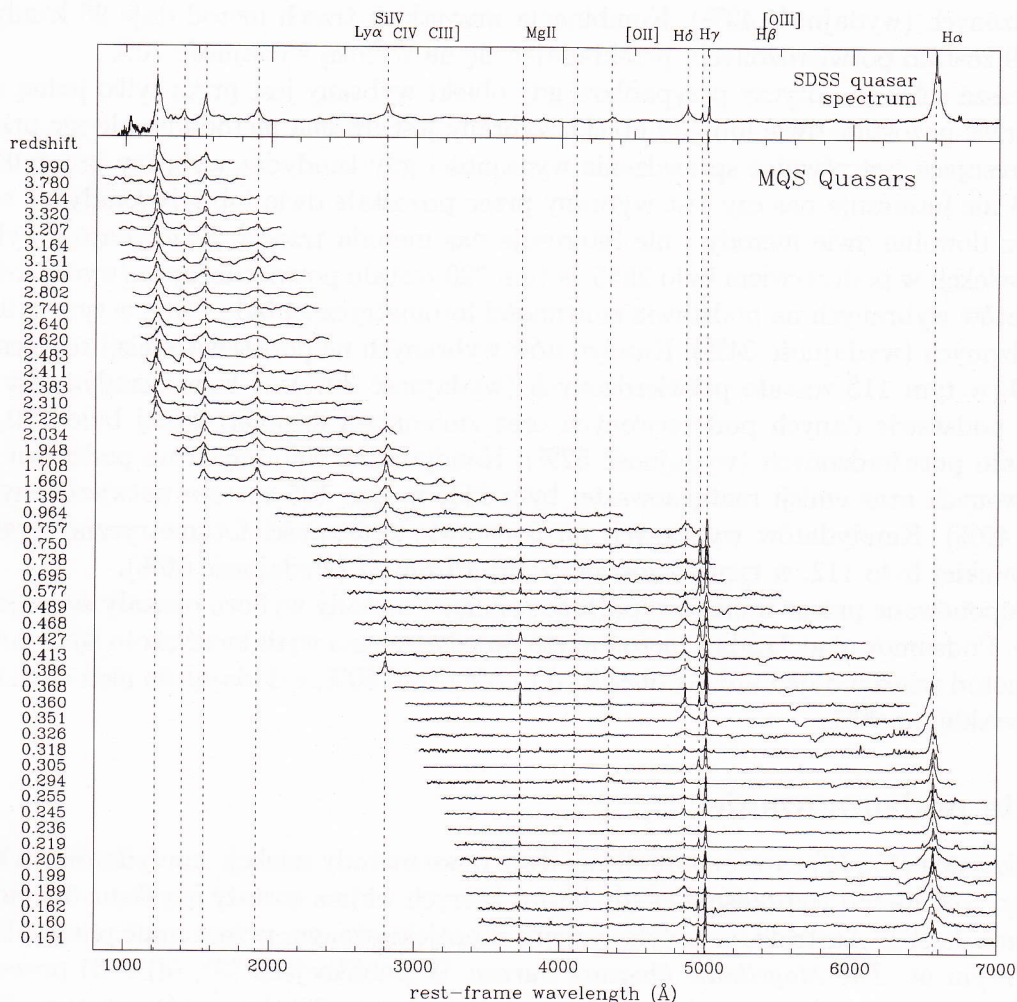


Rysunek 4: Dwanaście pól z projektu MQS dla Wielkiego Obłoku Magellana (wielkie białe okręgi ponumerowane w środku). Czarne kwadraty to nasze nowe potwierdzone kwazary, otwarte czarne koła to kwazary znane poprzednio, a jeśli były obserwowane i potwierdzone w naszym projekcie to zaznaczone zostały jako otwarte czarne kwadraty. Białe kwadraty odzwieczniają położenia pól obserwacyjnych projektu OGLE-III. Zdjęcie ma wymiary $9^\circ \times 7^\circ$, północ jest do góry, wschód w lewą stronę.

jących łącznie 845 kandydatów, potwierdzając 169 kwazarów, w tym 144 nowe (publikacja (4)). W styczniu 2013 roku wykonane zostały obserwacje spektroskopowe pozostałych pól Wielkiego Obłoku Magellana oraz 70% obszaru Małego Obłoku Magellana. Łącznie w projekcie MQS obserwowanych było 3017 kandydatów na kwazary, z czego 758 udało się nam potwierdzić spektroskopowo – 713 z nich to nieznane dotąd obiekty (publikacja (5)). Rozkład potwierdzonych kwazarów na niebie znajdujących się za Wielkim Obłokiem Magellana prezentuję na Rysunku 4. Widma dla 50 z nich zaprezentowane są na Rysunku 5. Około 1000 obiektów posiada widma nie pozwalające na ich identyfikację (np. kwazary ze zbyt niskim stosunkiem sygnału do szumu), natomiast pozostałe sklasyfikowane obiekty w naszej próbce to obiekty z Obłoków Magellana zawierające pył, takie jak proto-gwiazdy, mgławice planetarne, czy gwiazdy Be.

Wydajności zaproponowanych metod selekcji kwazarów

Zgromadzone próbka kwazarów pozwoliła na statystyczne oszacowanie wydajności zastosowanych metod selekcji. Obiektów wybranych tylko na podstawie barwy w środkowej podczerwieni (publikacja (1)), a nie znalezionych przez pozostałe dwie metody było 1703, w tym 300 zostało



Rysunek 5: *Panel główny*: Widma 50 z 713 nowych kwazarów poza Obłokami Magellana. Każde widmo ma przypisane przesunięcie ku czerwieni (po lewej stronie). Główne linie emisyjne zaznaczone są poziomymi liniami wraz z opisami. *Panel górny*: Dla porównania pokazujemy uśrednione widmo dla 2200 kwazarów z projektu SDSS.

potwierdzonych (wydajność 18%, ważona priorytem obserwacji). Obiektów wybranych tylko na podstawie zmienności w OGLE (publikacja (2)), a nie znalezionych przez pozostałe dwie metody było 354. Potwierdzono 29 z nich (wydajność 8%). Obiektów wybranych tylko w danych rentgenowskich (metoda trzecia), a nie znalezionych przez pozostałe dwie metody było 74. Tylko dwa obiekty zostały potwierdzone. Wyniki te nie są zaskakujące biorąc pod uwagę fakt, że kwazary „powinny” mieć charakterystykę pozwalającą na wybranie ich trzema metodami jednocześnie.

Zastosowanie kombinacji dowolnych dwóch z powyższych metod, przy założeniu braku detekcji w metodzie trzeciej dało następujące rezultaty: Łączona selekcja w podczerwieni i na podstawie emisji rentgenowskiej daje 113 kandydatów, w tym 36 zostało potwierdzonych (wydajność 32%). Łączona selekcja w podczerwieni oraz zmienność fotometryczna daje 641 kandydatów, w tym 315 obiektów zostało potwierdzonych (wydajność 49%). Łączona selekcja na podstawie zmienności fotometrycznej oraz emisji rentgenowskiej daje 14 kandydatów, w tym 6 zostało

potwierdzonych (wydajność 43%). Kombinacja wszystkich trzech metod daje 98 kandydatów, w tym 69 zostało potwierdzonych, przekładając się na wysoką wydajność 70%.

Powyższa selekcja dotyczy przypadków gdy obiekt wybrany jest przez tylko jedną metodę, ale nie przez pozostałe dwie lub gdy obiekt wybrany jest dwoma metodami, ale nie przez trzecią. Interesujące jest również sprawdzenie wydajności gdy kandydat wybrany jest tylko jedną metodą i nie interesuje nas czy jest wybrany przez pozostałe dwie lub gdy kandydat wybrany jest przez dowolne dwie metody i nie interesuje nas metoda trzecia. Kandydatów wybranych metodą selekcji w podczerwieni było 2555, w tym 720 zostało potwierdzonych (wydajność 27%). Kandydatów wybranych na podstawie zmienności fotometrycznej było 1107, w tym 419 zostało potwierdzonych (wydajność 34%). Kandydatów wybranych na podstawie emisji rentgenowskiej było 299, w tym 113 zostało potwierdzonych (wydajność 30%). Z kolei, kandydatów wybranych na podstawie danych podczerwonych oraz zmienności fotometrycznej było 739, w tym 384 zostało potwierdzonych (wydajność 52%). Kandydatów wybranych na podstawie danych podczerwonych oraz emisji rentgenowskiej było 211, w tym 105 zostało potwierdzonych (wydajność 49%). Kandydatów wybranych na podstawie zmienności fotometrycznej oraz emisji rentgenowskiej było 112, w tym 75 zostało potwierdzonych (wydajność 66%).

Zaproponowane przeze mnie (i współpracowników) metody wyboru okazały się więc bardzo wydajne. Podsumowując, każda z metod użyta pojedynczo ma wydajność około 30%, połączenie dwóch metod selekcji daje bardzo dobrą wydajność około 50%, a dodając do nich wymóg emisji rentgenowskiej aż 70%.

Krótkie podsumowanie

W publikacjach (1) i (2) zaproponowaliśmy dwie nowe metody selekcji kandydatów na kwazary. Używając tych metod wybraliśmy kandydatów, których widma zostały uzyskane 3,9 metrowym teleskopem AAT w Australii, w dedykowanym, zaprojektowanym przeze mnie przeglądzie spektroskopowym pt. *The Magellanic Quasars Survey*. W publikacjach (3), (4) i (5) prezentujemy wyniki z tego przeglądu tj. spektroskopowe potwierdzenie 758 kwazarów, w tym 713 nowo odkrytych.

Przyszłe zastosowania nowych kwazarów

Wszystkie potwierdzone spektroskopowo kwazary z projektu MQS są regularnie obserwowane przez polski projekt OGLE i posiadają kilkunastoletnie krzywe zmienności blasku. Są to najlepsze na świecie fotometryczne krzywe zmian blasku dla kwazarów zarówno pod względem liczby obserwacji jak i ich długości. W niedalekiej przyszłości posłużą one do badania fizyki kwazarów, np. powiązania parametrów modelu DRW z parametrami fizycznymi tj. masa czarnej dziury, długość fali, jasność Eddingtona, itp.

W oparciu o nowo odkryte kwazary i ich krzywe zmian blasku z projektu OGLE, powstała dotychczas jedna publikacja pokazująca, że dodanie kolejnych parametrów do modelu DRW nie jest uzasadnione (Zu, Kochanek, **Kozłowski** i Udalski 2013), a model DRW doskonale opisuje krzywe zmian blasku dla skal czasowych od kilku dni do kilku lat.

W ostatnich kilku latach rozwijana jest nowa metoda pt. „photometric reverberation mapping”, w której poszukuje się opóźnień przyjscia sygnałów pomiędzy dyskiem akrecyjnym a liniami emisyjnymi, przy czym robi się to dla kwazarów, dla których zarówno linia emisyjna jak i kontinuum znajdują się w tym samym filtrze. Dane z projektu MQS posłużyły w jednym

takim badaniu (Chelouche i in. 2012), w którym udało znaleźć się takie opóźnienie i wyznaczona została masa centralnej czarnej dziury. We współpracy z Christopherem Kochankiem i Yingiem Zu, uczestniczę obecnie w dalszym rozwijaniu tej metody opierającej się na modelu DRW.

Kwazary z projektu MQS posłużą również do badania ruchów własnych i rotacji Obłoków Magellana (jako nieruchome obiekty tła). Wcześniejsze takie badania dla 21 kwazarów za Wielkim i cztery za Małym Obłokiem Magellana obserwowanych Kosmicznym Teleskopem Hubble’a dostarczyły nieoczekiwanych wyników (Kallivayalil i in. 2006a,b). Okazuje się, że albo orbity Obłoków Magellana są dużo większe (okresy orbitalne dużo dłuższe) niż wcześniej przypuszczano albo oba Obłoki po raz pierwszy przelecą w pobliżu Drogi Mlecznej (Besla i in. 2007). Obecne błędy pomiarowe zdominowane są przez małą liczbę kwazarów za Obłokami Magellana. We współpracy z dr Nitya Kallivayalil uczestniczę w projekcie pomiaru ruchów własnych Obłoków Magellana z użyciem teleskopu Hubble’a. Nasza grupa otrzymała 120 orbit teleskopu Hubble’a, aby dokładnie zmierzyć ruchy własne i rotację Małego Obłoku Magellana dla 30 nowych kwazarów odkrytych w trakcie projektu MQS. W oparciu o wstępną próbkę jasnych kwazarów z naszego projektu, znalezione zostały również wstępne ruchy własne i „ślady” rotacji Wielkiego Obłoku Magellana na podstawie danych z projektu OGLE-III (doktorat Radosława Poleskiego, w którym uczestniczyłem jako promotor pomocniczy).

Dodatkowo 50 jasnych kwazarów ($I < 18$ mag) pozwoli na badanie absorpcji międzygwiazdowej w Obłokach Magellana.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych.

We wrześniu 2004 roku rozpocząłem studia doktoranckie w Obserwatorium Jodrell Bank w Uniwersytecie w Manchesterze w Wielkiej Brytanii, w ramach europejskiej sieci ANGLES. W czasie studiów doktoranckich pod kierunkiem prof. Shude Mao pracowałem nad trzema dużymi projektami. Wyniki dwóch zostały opublikowane w czasopismach specjalistycznych o zasięgu światowym z tzw. listy filadelfijskiej. Na bazie przygotowanego oprogramowania i doświadczeń z trzeciego powstało kilka publikacji.

Pierwszy polegał na zmierzeniu ruchów własnych dla 26000 gwiazd w zgrubieniu centralnym Galaktyki przy użyciu danych zebranych przez Kosmiczny Teleskop Hubble’a. W pracy opartej na tych danych (**Kozłowski** i in. 2006; cytowana 15 razy) pokazaliśmy m. in. istnienie gradientów w dyspersjach prędkości gwiazd oraz po raz pierwszy zmierzaliśmy nachylenie elipsoidy prędkości do płaszczyzny Galaktyki. W drugiej opublikowanej pracy (**Kozłowski** i in. 2007; cytowana 12 razy), przy użyciu Kosmicznego Teleskopu Hubble’a, po raz pierwszy bezpośrednio zaobserwowaliśmy rozdzieloną soczewkę i źródło w zjawisku mikrosoczewkowania grawitacyjnego w kierunku do centrum Galaktyki. W trakcie przygotowywania pracy doktorkiej spędziłem w Los Alamos National Laboratory w Nowym Meksyku w Stanach Zjednoczonych pięć miesięcy, pracując pod kierunkiem dra Przemysława Woźniaka nad dwoma wyżej wymienionymi projektami. Projekty te były także dyskutowane z prof. Bohdanem Paczyńskim, w czasie moich dwóch tygodniowych pobytów w Princeton w Stanach Zjednoczonych. W 2004 roku rozpocząłem współpracę z Łukaszem Wyrzykowskim z polskiego projektu The Optical Gravitational Lensing Experiment (OGLE), przebywającym na stypendium w Obserwatorium Jodrell Bank. W 2005 roku nawiązałem także bezpośrednią współpracę z kierownikami projektu OGLE, prof. Andrzejem Udalskim i dr. hab. Michałem Szymańskim. W ramach doktoratu od

podstaw stworzyłem kilka niezależnych systemów analizy danych OGLE. W pierwszym projekcie stworzyłem system analizy obrazów CCD używając metodę odejmowania obrazów. Zdjęcia z projektu OGLE „zamieniane” były na skalibrowane krzywe zmian blasku obserwowanych obiektów. Drugi projekt polegał na stworzeniu oprogramowania poszukującego zjawisk mikrosoczewkowania grawitacyjnego wśród milionów obserwowanych obiektów, a trzeci polegał na stworzeniu symulatora obrazów CCD, do których „wstrzeliwane” były zjawiska mikrosoczewkowania. Symulowane zdjęcia CCD analizowane były programem pierwszym, a sztuczne zjawiska znajdowane były programem drugim. Pozwoliło to na zmierzenie wydajności detekcji zjawisk mikrosoczewkowania, a następnie na wyznaczenie mikrosoczewkowej głębokości optycznej do centrum Galaktyki. Uzyskana niezależnie w doktoracie wartość $\tau = (2.91 \pm 0.77) \times 10^{-6}$ jest zgodna z dotychczasowymi oszacowaniami teoretycznymi i obserwacyjnymi. Pracę doktorską pt. „Gravitational microlensing in The Milky Way with the Hubble Space Telescope and OGLE-III” („Mikrosoczewkowanie grawitacyjne w Galaktyce Drogi Mlecznej widziane Kosmicznym Teleskopem Hubble’a i w projekcie OGLE-III”) obroniłem 26 września 2007 roku uzyskując najwyższą ocenę w systemie brytyjskim (tzw. ocena A, czyli akceptacja bez poprawek w rozprawie). W czasie trwania studiów doktoranckich uczestniczyłem także w kilkunastu międzynarodowych konferencjach i warsztatach astronomicznych.

W październiku 2007 roku rozpocząłem staż podoktorski w Ohio State University w Stanach Zjednoczonych pod kierunkiem prof. Christophera Kochanka. Podstawą moich zadań było zbieranie danych z 1,3 metrowego teleskopu SMARTS w Cerro Tololo w Chile, ich analiza i tworzenie krzywych zmian blasku dla silnie soczewkowanych kwazarów. Jestem współautorem trzech prac z listy filadelfijskiej z tej tematyki. W 2008 roku rozpocząłem współpracę z grupą MicroFUN (z siedzibą także na Ohio State University), która ma na celu intensywne monitorowanie ciekawych, mocno wzmocnionych i czułych na planety zjawisk mikrosoczewkowania grawitacyjnego. Oprogramowaniem rozwiniętym w czasie doktoratu analizowałem dane z 15 różnych teleskopów sieci MicroFUN, zaczynając od 30 cm teleskopów, a kończąc na 8 metrowym VLT. Jestem współautorem 17 prac powstałych w oparciu o te dane, cytowanych łącznie 282 razy, w tym współodkryłem siedem planet pozasłonecznych (MOA-2007-BLG-400Lb, MOA-2008-BLG-310Lb, MOA-2009-BLG-319Lb, MOA-2009-BLG-387Lb, MOA-2011-BLG-293Lb oraz OGLE-2012-BLG-0026Lb,c).

W 2008 roku zostałem zaproszony do grupy realizującej jeden z projektów tzw. „dziedzictwa Kosmicznego Teleskopu Spitzer’a” (ang. Spitzer Legacy Programs), do projektu o nazwie „The Spitzer Deep Wide Field Survey (SDWFS)”. Odpowiadałem w nim za jakość i fotometrię danych, gdzie każda końcowa mozaika złożona była z 20000 pojedynczych zdjęć CCD. Jestem głównym autorem jednej z dwóch podstawowych publikacji tego projektu. Analizujemy w niej dane z teleskopu Spitzer’a przy użyciu metody odejmowania obrazów, tworzymy katalogi zmienności dla 500 tysięcy obiektów oraz po raz pierwszy pokazujemy zmienność dużej próbki ~ 1100 kwazarów w środkowej podczerwieni (**Kozłowski** i in. 2010b; cytowana 12 razy). W danych tych najbardziej zmiennym obiektem okazała się jednak supernowa. W publikacji **Kozłowski** i in. (2010c; cytowana 12 razy) pokazujemy, że supernowa SN 2007va to obiekt bardzo nietypowy, a do tego jedna z najjaśniejszych znanych w historii (wyemitowała $\sim 10^{51}$ erg w podczerwieni). Supernowe emitują bardzo niewielkie ilości energii w podczerwieni, o ile na drodze materii wyrzuconej w czasie wybuchu nie znajdzie się materia międzygwiazdowa. W pracy tej pokazujemy, że aby wygenerować $\sim 10^{51}$ erg w podczerwieni, umierająca gwiazda przed wybuchem musiała wyrzucić co najmniej dwukrotnie materię o masie 10 mas Słońca. Chmury te skutecznie zamieniły energię wybuchu na promieniowanie podczerwone obserwowane

ne w projekcie SDWFS. Odkrycie to okazało się tak interesujące, że było tematem tzw. „press release” przez JPL, NASA, Ohio State University w USA i Uniwersytet Warszawski.

Jestem także współautorem drugiej ważnej pracy w oparciu o te same dane, w której pokazujemy, że za podczerwone świecenie tła nieba odpowiedzialne są gwiazdy wyrwane podczas dawnych zderzeń galaktyk. Publikacja ta ukazała się w czasopiśmie *Nature* (Cooray i in. 2012; cytowana 7 razy). Również i to odkrycie było tematem „press release” przez JPL, NASA, Ohio State University i Uniwersytet Warszawski. Jestem autorem i współautorem czterech prac z projektu SDWFS, cytowanych łącznie 86 razy.

W 2009 roku, pracując z danymi z teleskopu Spitzera, zauważyłem, że środkowa podczerwień nadaje się równie dobrze do poszukiwania aktywnych jąder galaktyk (kwazarów, kwazarów) w gęstych polach gwiazdowych, jak w „pustych” polach (Stern et al. 2005). kwazary w tym zakresie długości fal mają charakterystyczne wskaźniki barwy i łatwo je odróżnić od „zwykłych” gwiazd. W publikacji **Kozłowski** i Kochanek (2009; cytowana 26 razy) analizujemy dane z teleskopu Spitzer’a dla Obłoków Magellana i publikujemy listę 5000 kandydatów na kwazary. W kolejnym projekcie, w oparciu o metodę modelowania krzywych zmian blasku za pomocą modelu tłumionego błędzenia losowego, pokazujemy, że nieperiodyczne krzywe zmian blasku można zredukować do dwóch parametrów: amplitudy i skali czasowej. W pracy **Kozłowski** i in. (2010a; cytowana 51 razy) pokazujemy, że w przestrzeni parametrów tego modelu kwazary zlokalizowane są w miejscach innych niż gwiazdy zmienne (choć nie są całkowicie oddzielone) oraz proponujemy prostą metodę selekcji kandydatów na kwazary.

W 2009 roku utworzona zostaje międzynarodowy projekt (Polska, Stany Zjednoczone i Australia) o nazwie „The Magellanic Quasars Survey”, pod moim kierownictwem. Zadaniem projektu jest odkrycie jak największej liczby kwazarów poza Obłokami Magellana. kwazary te posiadają kilkunastoletnie krzywe zmian blasku z projektu OGLE i idealnie nadają się do badania fizyki kwazarów, poprzez analizę zależności pomiędzy parametrami zmienności (np. modelu DRW), a ich fizycznymi parametrami. W ramach projektu pięciokrotnie aplikowaliśmy o czas obserwacyjny na 3,9-metrowym teleskopie AAT w Australii, czterokrotnie otrzymując łącznie 11 nocy obserwacyjnych. Zaowocowało to odkryciem 713 nowych kwazarów, a tym samym zwiększeniem o rząd wielkości liczby znanych kwazarów poza Obłokami Magellana z około 80 do około 800. Wyniki z projektu The Magellanic Quasars Survey są podstawą prezentowanego osiągnięcia habilitacyjnego.

W 2010 roku rozpocząłem drugi staż podoktorski (adiunkt naukowy) w Obserwatorium Astronomicznym Uniwersytetu Warszawskiego, jako członek grupy OGLE. W ramach projektu OGLE zajmuję się m. in. poszukiwaniem i analizą danych dla kwazarów. Dodatkowo zajmuję się poszukiwaniem i analizą zjawisk typu „transient” takich jak supernowe czy zjawiska mikrosoczewkowania grawitacyjnego. W październiku 2012 uruchomiliśmy system poszukiwania supernowych na obszarze 600 stopni kwadratowych w pobliżu Obłoków Magellana, odkrywając w czasie rzeczywistym 65 supernowych. Kolejne 126 supernowych znalezionych w danych archiwalnych prezentowane są w publikacji **Kozłowski** i in. (2013a; cytowana 1 raz). W Obserwatorium Astronomicznym UW współpracuję także z grupą prof. Grzegorza Pietrzyńskiego o nazwie Araucaria. Dla tego projektu wykonałem precyzyjną fotometrię danych w podczerwieni (35 obiektów w dwóch filtrach). Część z tych danych posłużyła do najprecyzyjniejszego do tej pory wyznaczenia odległości do Wielkiego Obłoku Magellana z dokładnością 2%. Rezultaty tych badań ukazały się w prestiżowym czasopiśmie *Nature* (Pietrzyński i in. 2013; cytowana 15 razy). Wyniki te były tematem „press release” przez Uniwersytet Warszawski i ESO.

W 2010 roku otrzymałem prestiżowy dwuletni grant Iuventus Plus z MNiSW (jako kie-

ownik) na realizację projektu pt. „Astrofizyka kwazarów poza Obłokami Magellana” (200 000 PLN), natomiast w 2012 roku także jako kierownik otrzymałem kolejny dwuletni grant Iuventus Plus z MNiSW o zatytułowany „Nowa klasa planet pozasłonecznych w OGLE-IV” (200 000 PLN), w którym zajmuję się poszukiwaniem pozasłonecznych planet swobodnych (bardzo krótkich zjawisk mikrosoczewkowania). Jestem także laureatem stypendium dla wybitnych młodych naukowców (lata 2011-2014). W 2011 roku odbyłem jedną sesję obserwacyjną (3 noce) na 3,9-metrowym teleskopie w Australii oraz jedną sesję obserwacyjną w Chile w ramach OGLE (21 nocy).

Bibliografia

- Besla i in. 2007, ApJ, 668, 949
- Chelouche i in. 2012, ApJL, 750, 43
- Cooray i in. 2012, Nature, 490, 514
- Dobrzycki i in. 2002, ApJL, 569, 15
- Dobrzycki i in. 2003a, AJ, 125, 1330
- Dobrzycki i in. 2003b, AJ, 126, 734
- Dobrzycki i in. 2005, A&A, 442, 495
- Eyer 2002, Acta Astronomica, 52, 241
- Geha i in. 2003, AJ, 125, 1
- Kelly i in. 2009, ApJ, 698, 895
- Kallivayalil i in. 2006a, ApJ, 638, 772
- Kallivayalil i in. 2006b, ApJ, 652, 1213
- Kozłowski i in. 2006, MNRAS, 370, 435
- Kozłowski i in. 2007, ApJ, 671, 420
- Kozłowski i Kochanek, 2009, ApJ, 701, 508; publikacja (1)
- Kozłowski i in. 2010a, ApJ, 708, 927; publikacja (2)
- Kozłowski i in. 2010b, ApJ, 716, 530
- Kozłowski i in. 2010c, ApJ, 722, 1624
- Kozłowski i in. 2011, ApJS, 194, 22; publikacja (3)
- Kozłowski i in. 2012, ApJ, 746, 27; publikacja (4)
- Kozłowski i in. 2013a, Acta Astronomica, 63, 1
- Kozłowski i in. 2013b, ApJ, 775, 92; publikacja (5)
- MacLeod i in. (w tym habilitant) 2010, ApJ, 721, 1014
- Pietrzyński i in. 2013, Nature, 495, 76
- Richards i in. 2006, AJ, 131, 2766
- Schmidtke i in. 1994, PASP, 106, 843
- Stern i in. 2005, ApJ, 631, 163
- Zu i in. (w tym habilitant) 2013, ApJ, 765, 106