

## AUTOREFERAT

### 1. Imię i nazwisko

Wacław Waniak

### 2. Posiadane dyplomy oraz stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania

magister astronomii, 1986, Uniwersytet Jagielloński, Kraków

doktor nauk fizycznych w zakresie astronomii, 1996, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń, rozprawa: *Observacje i analiza komy pyłowej komet.*

promotor: prof. dr hab. Andrzej Woszczyk

### 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

od 1985 roku – adiunkt w Zakładzie Astronomii Gwiazdowej i Pozagalaktycznej Obserwatorium Astronomicznego Uniwersytetu Jagiellońskiego

### 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.) stanowiącego podstawę postępowania habilitacyjnego

Osiągnięcie habilitanta stanowi monotematyczny cykl publikacji, który może być zatytułowany:

#### **Molekuły wtórne w komach gazowych komet**

Składają się na niego 3 omówione poniżej publikacje. Ich kopie stanowią załącznik 8, a oświadczenia współautorów o ich wkładzie zawiera załącznik 7. W związku z tym, że dr Paweł Magdziarz, jeden ze współautorów publikacji, nie żyje, jestem zwolniony z przedstawienia jego oświadczenia.

Podstawowym celem prac było zbadanie zawartości molekuł wtórnych, występujących w komach komet, określenie, jak tempo emisji z jądra odpowiadających im molekuł macierzystych zmienia się wraz z odległością od Słońca oraz określenie warunków ich emisji i przepływu przez komę. Badania te prowadzą do określenia składu i stanu materii kometarnej.

Komety to swoiste "kapsuły czasu" przechowujące informację o materii, z której powstał Układ Planetarny i o warunkach, jakie panowały w fazie jego formowania. Komety były też istotnymi dostarczycielami prostych związków organicznych i przynajmniej części zasobów wody na powierzchnię planet. Ogromne zainteresowanie badaniami komet potwierdzają liczne planowane i realizowane misje kosmiczne w pobliże jąder komet oraz mające dotrzeć do ich powierzchni, takie jak np. DEEP IMPACT, czy ROSETTA. Badania komet z

powierzchni Ziemi są ważnym uzupełnieniem tych misji, pozwalającym spojrzeć na ich wyniki ze znacznie szerszej perspektywy czasu i przestrzeni.

Molekuły obserwowane w komach komet pozwalają też, lepiej niż pył kometarny, prześledzić charakter wyrzutu materii z powierzchni jądra oraz określić stan jego rotacji.

Cenne są badania zarówno komet okresowych, jak i dynamicznie nowych. Co prawda, pierwsze mogą mieć warstwę przypowierzchniową zmienioną przez absorpcję energii słonecznej i emisję materii, co może utrudniać interpretację wyników dotyczących jej składu i struktury, ale za to ich okresowość pozwala na cykliczne monitorowanie i projektowanie misji kosmicznych. Druga klasa komet nie daje tych możliwości, ale oferuje sposobność badania minimalnie zmienionej pierwotnej materii Układu Słonecznego.

**H1.** Waniak, W.; Winiarski, M.; Magdziarz, P.; Kundera, T., 2007, CN, C<sub>2</sub> radicals and dust in Comets Shoemaker-Levy 1991 T2 and P/deVico 1995 S1, Icarus 186, 178-191

wkład własny 65%, obejmował przeprowadzenie części obserwacji i ich redukcji, opracowanie zmodyfikowanej metody kalibracji fotometrycznej, napisanie oprogramowania do redukcji obserwacji oraz analizy modelowej, przeprowadzenie analizy modelowej, interpretację wyników i napisanie publikacji

Praca ta dotyczy analizy porównawczej komy molekularnej komety okresowej i dynamicznie nowej. Zastosowano metodę fotometrii wielo-aperturowej, którą opracowałem (Winiarski et al. 1992). Wąskopasmowe filtry interferencyjne umożliwiły obserwacje pasm emisyjnych molekuł komy i widma ciągłego dawanego przez pył kometarny. Innowacją była, wprowadzona przeze mnie, modyfikacja kalibracji fotometrycznej. W poprzednich pracach używaliśmy gwiazd - standardów fotometrycznych, których wąskopasmowe magnitudy zostały obliczone w oparciu o ich spektrofotometrię. Ze względu na nawiązywanie jasności komety do różnych standardów w różnych okresach cyklu obserwacji (ruch własny komety) przypadkowe efekty pojawiające się w magnitudach wąskopasmowych tych standardów przekładały się na wyraźne fluktuacje zależności tempa emisji molekuł od odległości heliocentrycznej. By tego uniknąć, stworzono dla każdego z pasm, spójny fotometrycznie zestaw magnitud wszystkich użytych standardów, mierząc różnice jasności pomiędzy nimi. Stosując rachunek wyrównawczy, skorygowano magnitudy tak, by ich różnice pochodziły z obserwacji, a punkt "zero" dawany był przez magnitudy syntetyczne.

Do interpretacji danych użyto modelu Hasera. Z punktu widzenia jakości danych użycie bardziej realistycznego modelu wektorowego angażującego większą liczbę parametrów byłoby nieuzasadnione. W pracy Waniak et al. (!994b) pokazano że oba modele dają podobne profile skumulowane komy gdy skale odległości w modelu Hasera są odpowiednio przeliczane na czasy życia używane przez model wektorowy. Obserwowane i odtworzone przy pomocy modelu profile skumulowane zaprezentowano na wykresach, gdzie oś rzędnych wskazywała liczbę molekuł widocznych w diafragmie dzieloną przez promień tej diafragmy. Jest to odpowiednik koncentracji kolumnowej. Dzięki temu uwidocznił się proces tworzenia molekuł wtórnych z macierzystych oraz rozpadu molekuł wtórnych.

W związku ze specyficznym skorelowaniem skal odległości molekuł macierzystych i wtórnych uwidaczniającym się podczas poszukiwań optymalnych wartości obydwu parametrów, nie ograniczono się do podania znalezionych wartości, ale pokazano rezultat poszukiwań w płaszczyźnie  $l_d-l_p$ . Istotnym wynikiem było to, że o ile skale molekuł CN i C<sub>2</sub> nie różnią się zasadniczo dla obydwu komet, o tyle skale molekuł macierzystych względem CN i C<sub>2</sub> są w przypadku komety P/deVico dwukrotnie dłuższe, niż w przypadku komety Shoemaker-Levy. Dla pierwszej z komet sugerowało to emisję molekuł macierzystych nie tylko z powierzchni jądra, ale ze źródła objętościowego otaczającego jądro. Dziś po misji

EPOXI wiemy, że źródłem tym mogą być centymetrowej wielkości fragmenty materii kometarnej, poruszające się wokół jądra po bardzo skomplikowanych orbitach.

Poważne różnice pomiędzy kometami występują też, jeśli chodzi o potęgowe zależności tempa emisji molekuł od odległości od Słońca. Nie tylko wykładniki potęg dla P/deVico są dwukrotnie większe niż dla Schoemaker-Levy, ale w przypadku pierwszej z komet wartości tych wykładników dla CN, C<sub>2</sub> i pyłu są podobne, natomiast dla drugiej z nich różnią się znacząco. Świadczyć to może o jednorodności składu warstw przypowierzchniowych jądra komety P/deVico lub być związane z emisją ze źródła objętościowego. W przypadku drugiej z komet, gdzie emisja ze źródła otaczającego jądro jest mniej prawdopodobna, możemy mieć do czynienia z niejednorodnością podobną do niejednorodności H<sub>2</sub>O–CO<sub>2</sub> obserwowanej u komety 103 P/Hartley2.

**H2.** Waniak, W.; Borisov, G.; Drahus, M.; Bonev, T.; Czart, K.; Küppers, M., 2009, Rotation of the Nucleus, Gas Kinematics and Emission Pattern of Comet 8P/Tuttle: Preliminary Results from Optical Imaging of the CN Coma, EM&P105, 327-342

wkład własny 74%, obejmował przeprowadzenie obserwacji i ich redukcji, napisanie oprogramowania do redukcji obserwacji, opracowanie metod i napisanie programów służących wyznaczaniu prędkości ruchu struktur komy i okresowości ich pojawiania się, stworzenie modelu komy HCN-CN, przeprowadzenie analizy modelowej, interpretację wyników i napisanie publikacji

Praca ta powstała w ramach projektu jednoczesnego monitorowania komet w pasmach HCN i CN, by lepiej zrozumieć powiązanie obydwu molekuł. Zdjęcia komy w paśmie CN, otrzymane przy pomocy teleskopu Obserwatorium Rozhen, zostały poddane odpowiedniej obróbce, by uwidocznic ewolucję spiralnych struktur komy. Okresowość pojawiania się tych struktur badano metodą wzajemnej korelacji obrazów. Wyznaczono okres rotacji 5.7 h lub wielokrotność tej wartości, co pozostaje w zgodzie z wynikami obserwacji radarowych. Badano kinematykę tych struktur, otrzymując prędkość przepływu gazu przez komę bliską 1.0 km s<sup>-1</sup>, co jest zgodne z wynikami danymi przez modele hydrodynamiczne komy i widma radiowe. Na podkreślenie zasługuje wyjątkowa precyzja wyznaczenia prędkości, wynosząca 10 m s<sup>-1</sup>.

Dokonano próby odtworzenia obserwowanej ewolucji struktur przy pomocy modelu Monte Carlo opisującego wyrzut HCN z rejonu aktywnego rotującego jądra oraz rozpad HCN do CN. Pokazano, że obserwacje molekuły CN mogą pozwolić na określenie kierunkowego rozkładu emisji oraz kinematyki HCN, jeśli tylko odległość struktur od jądra nie przekracza znacząco skali odległości dla HCN. Ma to duże znaczenie dla prowadzonego projektu jednoczesnego monitorowania HCN i CN w kometach. Obserwacje radiowe centralnego obszaru komy w pojedynczej wiązce (synteza apertury w przypadku komet utrudniona jest przez szybką zmienność obiektu) dają informację o składowej radialnej prędkości, natomiast obrazy CN - informacje o strukturze i kinematyce komy CN zrzutowane na sferę nieba. Gdy wykorzystuje się jednocześnie oba typy danych w metodzie tomograficznej, możliwe jest odtworzenie powiązania HCN-CN.

**H3.** Waniak, W.; Borisov, G.; Drahus, M.; Bonev, T., 2012, Rotation-stimulated structures in the CN and C<sub>3</sub> comae of comet 103P/Hartley 2 close to the EPOXI encounter, A&A543, A32, wkład własny 82%, obejmował przeprowadzenie obserwacji i ich redukcji, napisanie oprogramowania do redukcji obserwacji, opracowanie metody i napisanie programów do przeprowadzenia iteracyjnej dekompozycji obrazu, opracowanie metod i napisanie

programów służących wyznaczeniu prędkości ruchu struktur komy i okresowości ich pojawiania się, opracowanie i zastosowanie metody wyznaczenia ukierunkowania osi rotacji jądra, interpretację wyników i napisanie publikacji

Badania komety 103/Hartley2 dotyczyły projektu wspomnianego w opisie H2. Prowadzono je w ramach kampanii obserwacji naziemnych wspierających misję NASA EPOXI. Kometę obserwowano w pasmach molekuł CN, C<sub>2</sub> i C<sub>3</sub> w okresie największego zbliżenia sondy kosmicznej do jądra komety. Serie zdjęć komy w pasmach tych molekuł poddano nowatorskiej metodzie obróbki – iteracyjnej dekompozycji obrazu (*iterative image decomposition*). Tworzy ona obraz stacjonarnej komy i serię obrazów różnicowych, ukazujących struktury ewoluujące w czasie. W przypadku tej komety były to struktury spiralne, otoczki oraz dżety. Podobna jak w H2 analiza okresowości struktur z użyciem metody wzajemnej korelacji pozwoliła na wyznaczenie okresu rotacji 18.32 h. Jednocześnie potwierdziła, znany z obserwacji *in situ*, wzbudzony stan rotacji jądra, opisywany jednoczesną precesją i rotacją z okresami pozostającymi w rezonansie 2:3. W pracy pokazano, że i ten obraz rotacji może być jedynie grubym przybliżeniem. Badano kinematykę struktur komy, otrzymując prędkości wyraźnie niższe niż ”kanoniczna” wartość 1.0 km s<sup>-1</sup>, różne dla różnych struktur. Świadczyć to może o zróżnicowaniu kierunków wyrzutu różnych struktur i dobrze koresponduje ze wzbudzonym stanem rotacji. Jedna ze struktur wykazała ruch w kierunku jądra, co jest ewenementem.

Wykorzystując serię obrazów różnicowych, przeprowadzono fotometrię centralnego fragmentu komy, otrzymując krzywą blasku CN z precyzją niewiele mniejszą niż z pokładu sondy. Po sfazowaniu na okres zmienności, który okazał się niemal identyczny dla HCN i CN, dokonano jej porównania z wynikami pomiarów jasności radiowej HCN centralnego obszaru komy. Ogólnie uzyskano dobrą zgodność, co świadczy o wyraźnym skorelowaniu HCN i CN. Daje to nadzieję na powodzenie projektu badań powiązania obu molekuł, projektu wspomnianego w opisie H2. Dla porównania, kometa ta wykazała brak podobnej korelacji pomiędzy molekułami H<sub>2</sub>O i CO<sub>2</sub> oraz słabą korelację CN ze składową pyłową.

## 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych

### Przed uzyskaniem stopnia doktora

Pracę w Obserwatorium Astronomicznym UJ podjąłem w grudniu 1985 roku, będąc na V roku studiów astronomii. Zająłem się badaniem komet. W latach 1985-1986 uczestniczyłem w obserwacjach astrometrycznych i fotometrycznych komety Halleya, prowadzonych w Obserwatorium UJ w ramach międzynarodowej kampanii International Halley Watch. Kampania ta była naziemnym wsparciem badań przeprowadzanych *in situ* przez sondy kosmiczne Giotto i Vega. Wyniki astrometrii były wykorzystywane w nawigacji tych sond. Zespół krakowski, wykonujący te obserwacje i pomiary, otrzymał w roku 1987 nagrodę Rektora UJ. Dużą część naszych klisz, otrzymanych podczas kampanii IHW, przesłano do JPL w Tuscon, gdzie stały się fragmentem cyfrowej bazy zdjęć. Dzięki prowadzonym badaniom powstała moja praca magisterska: ”*Obserwacje fotometryczne komety Halleya*”. Jej celem było zbadanie struktury warkocza jonowego komety.

Na przełomie lat 80 i 90 zajmowałem się opracowaniem modelu Monte Carlo pyłowego warkocza komety. Model ten zastosowałem do analizy zdjęć komety Halleya, uzyskując szereg parametrów opisujących pył kometarny oraz warunki jego wyrzutu z jądra (Waniak 1992).

W tym też czasie zainteresowałem się termicznymi modelami jądra kometarnego. Mój projekt obejmował stworzenie programu pozwalającego na opis absorpcji energii słonecznej w przypowierzchniowych warstwach materii kometarnej, emisji gazu i pyłu z powierzchni jądra oraz redystrybucji promieniowania słonecznego przez komę gazowo-pyłową. Opierałem się na modelu Fanale&Salvail, wprowadzając własne modyfikacje. Równania opisujące fizykę modelu rozwiązywane były dla wielu elementarnych fragmentów powierzchni rotującego jądra. Dalszym etapem miało być prześledzenie przepływu materii gazowo-pyłowej przez komę aż do utworzenia struktur widocznych w komach wielu komet. Ostatecznym celem miało być wykorzystanie modelu do badania komety Wilson 1987 VII. Niestety, zadanie częściowo przerosło moje skromne możliwości z powodu problemów z wyznaczeniem ogromnej ilości parametrów opisujących model ze stosunkowo skromnego materiału obserwacyjnego. Ciekawym rezultatem okazała się, pokazana przez model, możliwość samoistnego tworzenia się względnie stabilnych rejonów aktywnych rotującego jądra dzięki odrzuceniu fragmentów jego pokrywy pyłowej. Prowadziło to do pojawienia się okresowości w krzywej blasku komety. Wyniki te nie zostały niestety opublikowane. Przedstawiono je w referatach wygłoszonych w Obserwatorium UJ i na Uniwersytecie Warszawskim.

Wtedy rozpocząłem też, wraz z dr. Maciejem Winiarskim i dr. Pawłem Magdziarzem, obserwacje komet z użyciem wąskopasmowych filtrów interferencyjnych wydzielających pasma emisji molekuł komy oraz fragmenty widma ciągłego tworzonego przez pył kometarny. Specjalnie skonstruowany fotometr fotoelektryczny i opracowana przeze mnie metoda wielo-aperturowej fotometrii komet (Winiarski et al. 1992) pozwalały uzyskać, bez korzystania z trudno dostępnych wtedy kamer CCD, cenne informacje o składzie komy, charakterze wyrzutu z jądra i przepływu gazu i pyłu przez komę. Pomiaru pozwalały na wyznaczenie liczby molekuł CN, C<sub>3</sub> i C<sub>2</sub> widocznych w diafragmach o rosnącym promieniu. Do wyznaczenia temp produkcji molekuł macierzystych oraz czasów ich życia i czasów życia molekuł wtórnych użyto mojego kodu opartego na modelu Monte Carlo autorstwa Combi&Delsemme (Waniak et al. 1994b). Badaliśmy także zanikanie amplitudy okresowych zmian CN dawanych przez rotację jądra, efekt powodowany przez fotometrię aperturową (Magdziarz et al. 1995). W referacie przedstawionym w Max Planck Institute for Solar System Research (Waniak, W., 2007 *Observations of comet 73P/SW3 at the Cracow Observatory*) pokazałem wyniki dokładnego modelowania tego efektu w aspekcie zmiany amplitudy i fazy przebiegu okresowego. Pozwoliłem sobie wprowadzić pojęcie funkcji przenoszenia modulacji – MTF – w odniesieniu do aperturowej fotometrii komet.

Kolejnym etapem działalności było nawiązanie współpracy z Obserwatorium Astronomicznym Wyższej Szkoły Pedagogicznej (obecnie Uniwersytetu Pedagogicznego) w Krakowie. Dzięki temu miałem możliwość prowadzenia obserwacji fotometrycznych kilku komet przy użyciu kamery CCD i filtrów szeroko- i wąskopasmowych. Był to pierwszy tego typu projekt realizowany w Polsce. Z myślą o nim stworzyłem własny pakiet programów służących redukcji zdjęć CCD, analizie obrazu i fotometrii obiektów rozciągniętych. Uzyskany materiał pozwolił na przeprowadzenie analizy modelowej komy pyłowej w oparciu o opracowane przeze mnie metody tomograficzne dekonwolucji kierunkowej (Waniak 1994a i Waniak et al. 1998) oraz czasowo-kierunkowej (ta metoda zaprezentowana została na konferencji Small Bodies in the Solar System and their Interactions with Planets, Mariehamn, Åland, Aug. 8-12, 1994, Waniak, W., *Retrieving of the directional distribution of dust emission from a cometary nucleus*). Istotą metody jest częściowe zredukowanie efektu projekcji dzięki dynamice pyłu kometarnego, podlegającego ciśnieniu promieniowania światła słonecznego. Możliwe staje się wtedy odtworzenie kierunkowego rozkładu emisji pyłu w sytuacji stacjonarnej oraz zależności tego rozkładu od czasu w sytuacji niestacjonarnej. Wynikiem tego projektu była, obroniona w 1996 roku, praca doktorska: *"Obserwacje i*

*analiza modelowa komy pyłowej komet*”, w której opisane podejście zastosowałem do dwu komet okresowych: P/Swift-Tuttle, P/Encke i dwu dynamicznie nowych: Shoemaker-Levy 1991a1 i McNaught-Russell 1993v. Z ciekawszych wyników wymienię potwierdzenie charakteru rotacji obu komet okresowych i wykazanie wyraźnej aktywności emisji pyłu po nieoświetlonej stronie jądra komety. Ten ostatni rezultat wydawał się przeczyć ówczesnej wiedzy o kometach. Znalazł on jednak wytłumaczenie teoretyczne w postaci przepływów wokół jądrowych gazów i pyłu. Za emisję pyłu po stronie odslonecznej odpowiedzialne też mogą być duże (rzędu cm) fragmenty materii kometarnej wyrzucone z jądra. Odkryto je dzięki obserwacjom radarowym komet 8P/Tuttle i 103P/Hartley2 i badaniom *in situ* okolic jądra komety 103P/Hartley2 przez misję EPOXI

### **Po uzyskaniu stopnia doktora**

W latach 1999-2005 dużo czasu poświęciłem unowocześnianiu bazy obserwacyjnej Obserwatorium UJ. Nie była to, co prawda, działalność *stricto* naukowa, ale dzięki niej przeprowadzono wiele ważnych programów obserwacyjnych gwiazd zmiennych, komet i obiektów pozagalaktycznych. Było to założeniem grantu inwestycyjnego, dzięki któremu zakupiono pierwszą w Obserwatorium UJ profesjonalną kamerę CCD oraz wyposażenie, które pozwoliło na unowocześnienie teleskopu 0.5 m. Celem było stworzenie maksymalnie zautomatyzowanego teleskopu, służącego zarówno jako instrument do zajęć dydaktycznych, jak i do prowadzenia programów badawczych. Teleskop został wyposażony w fotometr CCD z zestawami filtrów szeroko- i wąskopasmowych, systemy: autofocus, autoguiding i automatycznego obrotu kopuły, a także reduktor ogniskowej i układ optyczny do prowadzenia interferometrii plamkowej. Byłem autorem projektów większości systemów i urządzeń oraz oprogramowania sterującego. Uczestniczyłem w budowie urządzeń i sterowników elektronicznych oraz prowadziłem testy i stały nadzór nad działaniem kamery i systemów pomocniczych. Za moje zaangażowanie otrzymałem w roku 2002 nagrodę zespołową Rektora UJ.

Pod wpływem mojego studenta, później magistranta, a od kilku lat kolegi, dr. Michała Drahusa, zainteresowałem się zagadnieniem czasowej zmienności okresu i stanu rotacji jąder komet pod wpływem efektu odrzutu w kontekście rozpadów jąder i badania ich wewnętrznej struktury. Pionierskie podejście dr. Michała Drahusa do zagadnienia analizy okresowości zaowocowało stworzeniem dynamicznej wersji, dobrze znanej i często wykorzystywanej, metody PDM. Pomagałem mu w tworzeniu i testowaniu odpowiedniego oprogramowania. Moim wkładem było stworzenie wersji PDM z waznieniem pomiarów przez ich błędy oraz metody wyznaczania błędu otrzymanego okresu. Prace te doprowadziły do wykrycia prawdopodobnych zmian okresu rotacji komety K5/LINEAR (Drahus&Waniak 2006).

Naturalną konsekwencją wieloletniej pracy ze zdjęciami fotograficznymi komet, a później ich obrazami z kamer CCD, było zainteresowanie się metodami analizy obrazu, a w szczególności metodami dekonwolucji, pozwalającymi zwiększyć efektywną zdolność rozdzielczą systemu teleskop-atmosfera. Opracowałem zmodyfikowaną wersję algorytmu dekonwolucji Richardsona-Lucy (Waniak 1997). Dzięki uzależnieniu liczby iteracji i odcinania sygnału od lokalnej charakterystyki obrazu pozwala ona, w porównaniu do podejścia klasycznego, uzyskiwać znacznie wyższą wydajność obliczeń oraz znacznie lepsze rezultaty (w sensie dystansu Kullbacka-Leiblera).

W obszarze moich zainteresowań znalazły się też metody analizy obrazu przy użyciu sztucznych sieci neuronowych. Wraz z mgr. Andrzejem Sawowem opracowałem, w ramach jego pracy magisterskiej, efektywną metodę dekonwolucji obrazów astronomicznych przy użyciu sieci neuronowych Hopfielda. Podjąłem też udaną próbę wykorzystania sieci

neuronowej jednokierunkowej do rozpoznawania obrazów gwiazd i śladów promieniowania kosmicznego widocznych na obrazach pochodzących z kamer CCD (Waniak 2006). Wynikiem pracy było nie tyle wykazanie, że jest to możliwe (to wynika z charakteru obliczeń neuronowych, mających naśladować działanie ludzkiego umysłu), co zbadanie efektywności działania sieci dla różnych jej architektur, parametrów i sposobów uczenia. Badania prowadzono zarówno dla danych symulowanych, jak i obrazów rzeczywistych, analizując jakość działania sieci dla różnych parametrów obrazu, funkcji PSF i charakteru efektów promieniowania kosmicznego.

W roku 2006 nawiązałem współpracę z Max Planck Institute for Solar System Research w Katlenburg-Lindau. W jej ramach brałem udział w międzynarodowej kampanii obserwacyjnej rozpadającej się komety 73P/Schwassman-Wschmann 3 oraz byłem członkiem zespołu ponad 100 naukowców projektujących bezprecedensową misję kosmiczną Triple-F, mającą za zadanie pobranie i sprowadzenie na Ziemię próbek materii z jądra komety (Küppers et al. 2009). Niestety, komitet ESA nie zatwierdził jej do realizacji.

W latach 2008-2009 uczestniczyłem w międzynarodowych badaniach komety okresowej 8P/Tuttle, której warunki obserwacji były wyjątkowo sprzyjające, a jej jądro okazało się być pierwszym znanym kandydatem na obiekt podwójny wśród komet, co wykazały obserwacje radarowe. W celu dokładniejszego zbadania tej możliwości, a także określenia kształtu składników i charakteru ich powierzchni przeprowadzono intensywną kampanię obserwacji fotometrycznych z użyciem teleskopów 1.5m Danish, 1.9m SAAO, 2m Folkes, 2.2m MPS/ESO i 3.6m NTT. W związku z tym, że kometa ta, będąc blisko aphelium, widoczna była na tle Drogi Mlecznej, jej badania wymagały opracowania nowatorskich metod fotometrii obiektów w "gęstych" polach gwiazdowych. W 2012 roku pracowałem nad stworzeniem fotometrycznego modelu jądra, który mogłoby być użyty do interpretacji danych obserwacyjnych. Przy wykorzystaniu modelu Hapke opisującego własności rozpraszające powierzchni jądra pozwala on stwierdzić, czy mamy do czynienia z jądrem podwójnym, pojedynczym elipsoidalnym, czy wydłużonym, mającym przewężenie (przypadek komety 103P/Hartley2).

Począwszy od kampanii obserwacyjnej komety 73P/Schwassman-Wschmann 3, wspólnie z dr. Michałem Drahussem zainicjowaliśmy program badań powiązania kometarnego CN z jej najbardziej prawdopodobną molekułą macierzystą HCN w kontekście fizyko-chemii komy molekularnej i emisji materii z jądra. Program wymaga jednoczesnego monitorowania CN w dziedzinie optycznej i HCN w dziedzinie radiowej. Do tej pory ukazała się zaledwie jedna praca omawiająca wyniki podobnych obserwacji prowadzonych dla komety P/Encke (Jockers et al. 2011). Udało nam się przeprowadzić takie sesje dla trzech komet: 73P/Schwassmann-Wachmann 3, 8P/Tuttle i 103P/Hartley 2. Jest to dobry wynik, biorąc pod uwagę fakt, że podobne obserwacje możliwe są jedynie dla bardzo aktywnych komet znajdujących się w odległości od Ziemi znacznie poniżej 1 AU. Kolejną kampanię, planowaną na koniec 2011 roku, w której zamierzaliśmy wykorzystać interferometr ALMA (przyznany czas obserwacyjny) pokrzyżował rozpad jej jądra. Kometa PanSTARRS była kolejnym obiektem, na który został nam przyznany czas obserwacyjny na interferometrze ALMA.

Właśnie zakończyłem testy modelu komy HCN-CN. Pozwoli on, dzięki podejściu tomograficznemu, na odtworzenie czasowej zależności kierunkowego rozkładu emisji HCN z jądra przy jednoczesnym wykorzystaniu radiowych widm HCN, niosących informację o kinematyce tej molekuly i obrazów komy CN, dających wiedzę o rozkładzie przestrzennym. Można też będzie odpowiedzieć na pytanie, czy HCN jest jedynym źródłem kometarnego CN.

W ciągu ostatnich lat prowadziłem obserwacje komet, wykorzystując teleskop 0.5m Obserwatorium UJ, a także, we współpracy z Bułgarską Akademią Nauk, 2m teleskop Obserwatorium Rozhen. Badamy dynamikę i skład komy molekularnej i pyłowej dzięki

fotometrii wąskopasmowej, spektroskopii i polarymetrii, wykorzystując wyjątkowe możliwości dwukanałowego reduktora ogniskowej. Ważnym wynikiem było np. określenie zawartości molekuł CN, C<sub>3</sub> i C<sub>2</sub> w komecie P/Tuttle (Borisov et al. 2008), czy też zbadanie rozkładu stopnia polaryzacji światła w warkoczu pyłowym komety 103P/Hartley2 oraz zależności pełnego stopnia polaryzacji od kąta fazy, co pozwala na określenie właściwości pyłu kometarnego (Borisov et al. 2011).

Brałem też udział w kampanii obserwacyjnej komety 48P/Johnson, dla której spodziewamy się znacznych zmian okresu rotacji. Poprzednie obserwacje dały bardzo precyzyjną wartość okresu, więc nawet niewielkie zmiany będą łatwo wykrywalne. Obserwacje tej komety były prowadzone między innymi przy pomocy teleskopu Keck. W najbliższej przyszłości podobny cykl obserwacji z wykorzystaniem teleskopów Keck (przyznany czas obserwacyjny) będzie prowadzony dla komet 168P/Hergenrother i P/2010 A2 (LINEAR) w ramach projektu *"Catastrophic Disruptions of Comets & Asteroids"* (kierownictwo: Michał Drahus).

W roku 2010 zaangażowałem się w przygotowanie projektu *"Physics of cometary rotation"*, w ramach którego aplikowano o czas obserwacyjny na HST, niestety bezskutecznie.

Zaangażowany jestem również w projekt dotyczący obserwacji molekuł macierzystych na falach milimetrych w kometach grupy Kreutza. Ze względu na parametry orbitalne tych obiektów ich poznanie jest bardzo utrudnione, a nowe wyniki bardzo pożądane

Od roku 2005 interesuję się też oddziaływaniem turbulentnej atmosfery na propagację światła obiektów astronomicznych i metodami pozwalającymi osłabić to niekorzystne oddziaływanie, takimi jak interferometria plamkowa czy optyka adaptacyjna. Po skonstruowaniu kamery plamkowej i stworzeniu oprogramowania, służącego akwizycji danych i realizacji metody obrazowania plamkowego, wraz z dr. Arturem Rutkowskim, moim ówczesnym magistrantem, przeprowadziliśmy szereg obserwacji i obliczeń, mających wykazać przydatność tej techniki w przypadku małego teleskopu i wyjątkowo niekorzystnego polskiego astroklimatu. Wynikiem były pomiary orbit ciasnych układów wizualnie podwójnych. Uzyskano przy tym precyzję tylko minimalnie gorszą, niż dla teleskopów 1-1.5 m. Dzięki zastosowaniu zmodyfikowanej metody *cross-spectrum*, metody służącej odzyskiwaniu informacji fazowej, udało się zastosować obrazowanie plamkowe dla pola widzenia rzędu kilku minut łuku (Rutkowski&Waniak 2005).

Dalszym krokiem było stworzenie przeze mnie programowego symulatora działania optyki adaptacyjnej. Cenną zaletą tego programu było potraktowanie zwierciadła deformowalnego jako płyty (Landau&Lifszyc *"Teoria sprężystości"*) a nie, jak to się najczęściej robi, jako membrany. Zastosowałem własną metodę numeryczną rozwiązywania równania opisującego kształt zwierciadła deformowalnego. Symulator ten posłużył do oszacowania poziomu efektu szumu plamkowego, mogącego utrudniać detekcję słabych obiektów w pobliżu jasnych gwiazd.

Zagadnienie to było związane z tematyką detekcji komet pozasłonecznych. Zainteresowałem się nią w roku 2008. Wraz mgr. Piotrem Guzikiem, moim ówczesnym magistrantem, dokonaliśmy modyfikacji metody wzajemnej korelacji widma okolicy gwiazdy, otrzymanego metodą IFS z wzorcowym widmem obiektu. Okazało się, że jest możliwe wykrywanie komet analogicznych do komety Hale-Boppa w pobliżu gwiazd podobnych Słońcu w odległości rzędu parseków przy użyciu planowanego teleskopu E-ELT (praca magisterska, Guzik, P., 2009, *"Spektroskopia pełnego pola jako metoda poszukiwania komet w pozasłonecznych układach planetarnych"*).

Wykorzystując te rezultaty, przygotowano próbny proposal na planowany teleskop E-ELT (Waniak, W., Guzik, P., Drahus, M., *Search for very active comets and other transient*



*phenomena in extrasolar planetary systems*). Była to odpowiedź na prośbę ESO, skierowaną do badaczy, o nadsyłanie próbných propozali mających wskazać główne kierunki zainteresowań w związku z projektem E-ELT.

Innym aspektem zainteresowania optyką adaptacyjną jest przygotowywany, wspólnie z dr. Michałem Drahussem program obserwacji strefy bliskiej jądra, a w przypadku dużych obiektów, być może samego jądra przy użyciu optyki adaptacyjnej i wykorzystaniu kometarnych filtrów wąskopasmowych. Wykonano obserwacje próbne kilku komet przy użyciu 1.5m teleskopu Obserwatorium Mt. Palomar wyposażonego w system Robo-OA automatycznej optyki adaptacyjnej ze sztuczną gwiazdą laserową. Następnym celem jest cykl obserwacji komety ISON przy użyciu systemu optyki adaptacyjnej 5m teleskopu Halla na Mt. Palomar.

W okresie ostatnich kilku lat brałem też udział jako obserwator w międzynarodowych programach badań gwiazd zmiennych zaćmieniowych.

Od dawna interesuję się też amatorsko etymologią i motywacją semantyczną jednostek leksykalnych. W roku 2007 wspólnie z żoną, która specjalizuje się w tych zagadnieniach, napisałem artykuł o skrótowcach w astronomii (Waniakowa&Waniak 2007). Dokonałiśmy przeglądu i wprowadziliśmy ich podział. Szczególną uwagę zwróciliśmy na klasę skrótowców znaczeniowych, gdzie skrót pełnej nazwy sam stanowi wyraz o określonym znaczeniu, mający wywołać u odbiorcy zamierzone skojarzenie (np. MIDAS, PEPSI, MERLIN).

## 6. Dane bibliometryczne

pełna liczba publikacji: 38, w tym 22 w czasopismach z bazy JCR,

łączna liczba cytowań:

według Web of Science 87, w tym 66 bez autocytowań,

według ADS 114, w tym 90 bez autocytowań

łączny *Impact Factor* publikacji: 52.736

indeks Hirscha: 6

Dane te uzyskano 3.01.2014.

