

AUTOREFERAT

1. Imię i Nazwisko: **Marcin Kiraga**

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne - z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

Magister (fizyka, specjalność astrofizyka) - wrzesień 1993, Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Praca "Mikrosoczewkowanie grawitacyjne przez gwiazdy dysku Galaktyki"

Doktor (fizyka, specjalność astrofizyka) - czerwiec 2000, Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Praca "Hydrodynamiczne symulacje warstwy konwektywnej i jej wpływu na dolną warstwę stabilną", promotor prof. dr hab. Kazimierz Stępień.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych

01.10.1993 - 30.09.1998 - doktorant, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski (Obserwatorium Astronomiczne)

01.03.1999 - 31.12.1999 - st. referent inżynierijno-techniczny, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski (Obserwatorium Astronomiczne)

01.10.2000 - 14.02.2001 - mł. specjalista naukowo-techniczny, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski (Obserwatorium Astronomiczne)

15.02.2001 - obecnie - adiunkt, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski (Obserwatorium Astronomiczne)

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

Zmienność fotometryczna gwiazd związanych ze źródłami rentgenowskimi.

(b) autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa:

H1. Kiraga, M., Stępień, K., "Age–Rotation–Activity Relations for M Dwarf Stars Based on ASAS Photometric Data", 2007, Acta Astronomica, 57, 149

H2. Kiraga, M., "ASAS Photometry of ROSAT Sources. I. Periodic Variable Stars Coincident with Bright Sources from the ROSAT All Sky Survey", 2012, Acta Astronomica, 62, 67

H3. Kiraga, M., Stępień, K., "ASAS Photometry of ROSAT Sources. II. New Variables from the ASAS North Survey", 2013, Acta Astronomica, 63, 53

Marcin Kiraga

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

Wprowadzenie

Obecność promieniowania rentgenowskiego świadczy o interesujących, z punktu astrofizyki, zjawiskach, w których mamy do czynienia z gorącą plazmą, energetycznymi cząstkami i polem magnetycznym. W przypadku gwiazd przyczyny emisji rentgenowskiej są bardzo różne. Najjaśniejszymi gwiazdowymi źródłami rentgenowskimi są układy podwójne zawierające gwiazdę neutronową lub czarną dziurę, zasilane materią pochodzącą z towarzyszącej im gwiazdy poprzez wiatr gwiazdowy lub przepływ przez wewnętrzny punkt Lagrange'a. Promieniowanie rentgenowskie jest rejestrowane również z pojedynczych gwiazd neutronowych (np. pulsarów), układów kataklizmicznych (głównie z obszaru przejściowego w pobliżu powierzchni białego karła), gorących białych karłów czy bardzo jasnych i gorących gwiazd typu O i B, gdzie źródłem emisji mogą być fale uderzeniowe powstałe w wyniku niestabilności w gorących wiatrach lub też wzajemne oddziaływanie wiatrów gwiazdowych w układzie podwójnym. Najbardziej rozpowszechnionym gwiazdowymi źródłami promieniowania rentgenowskiego są jednak gwiazdy posiadające podfotosferyczne warstwy konwektywne i wykazujące aktywność magnetyczną, które są otoczone przez gorące korony (zazwyczaj o temperaturze od kilku do kilkudziesięciu milionów Kelwinów). Ich poziom emisji rentgenowskiej w dużej mierze zależy od okresu rotacji i typu gwiazdy, i może osiągać wartość 10^{-3} jasności bolometrycznej. Choć zjawiska związane z aktywnością magnetyczną gwiazd nie są tak efektowne jak w przypadku układów podwójnych zawierających obiekty zwarte, to wiążą się z wieloma problemami, które są przedmiotem intensywnych badań. Należą do nich między innymi mechanizm wzmocnienia pola magnetycznego (dynamo), który nie został dokładnie opisany nawet w przypadku Słońca, cykle aktywności magnetycznej, utrata momentu pędu przez namagnetyzowane wiatry gwiazdowe (magnetyczne hamowanie rotacji) i związana z nim zależność poziomu aktywności od tempa rotacji i jego zmiany w czasie.

Rotacja jest jednym z najważniejszych parametrów związanych aktywnością magnetyczną. Ma również bardzo duże znaczenie w zagadnieniach budowy i ewolucji gwiazd, dlatego też znajomość okresu rotacji ma zastosowanie w wielu zagadnieniach. Stosunkowo najprostszym i bezpośrednim jego wyznaczeniem są pomiary fotometrycznej zmienności związanej z niejednorodną jasnością powierzchniową gwiazdy.

Gwiazdy aktywne magnetycznie i posiadające korony są naturalnymi kandydatami do obserwacji fotometrycznych, mających na celu pomiar okresu rotacji ze względu na bardzo prawdopodobną obecność plam, będących wynikiem istnienia obszarów o silnym polu magnetycznym, zmniejszających konwektywny transport energii. Biorąc pod uwagę własności plam na Słońcu, widać wiele trudności, które można napotkać, gdy mamy zamiar wyznaczyć okres rotacji za pomocą szerokopasmowej fotometrii. Plamy słoneczne są stosunkowo niewielkie (zmiany jasności związane z ich obecnością raczej nie przekraczają 1%), istnieją stosunkowo krótko (duże plamy mają czas życia porównywalny z okresem rotacji Słońca), częściej występują w okresach maksimum aktywności (zdarza się, że przez wiele lat można nie zarejestrować żadnej dużej plamy lub grupy plam). Dodatkowymi trudnościami mogą być zmiany rozmiarów plam czy obecność różniczkowej rotacji. Aktywność magnetyczna niektórych gwiazd może być jednak znacznie silniejsza niż na Słońcu - plamy mogą być większe, a poziom emisji chromosferycznej i koronalnej znacznie wyższy. Dotyczy to w szczególności gwiazd szybko rotujących - młodych lub znajdujących się w ciasnych układach podwójnych, gdzie oddziaływanie pływowe pomiędzy składnikami wymusza synchronizację rotacji i okresu orbitalnego. Dodatkowo rozmiary plam na aktywnych gwiazdach znajdujących się powyżej ciągu głównego mogą być bardzo duże i zmiany jasności związane z ich obecnością mogą przekraczać 0.5 mag w filtrze V (Strassmeier 2009). Do gwiazd

znajdujących się powyżej ciągu głównego możemy zaliczyć zarówno nowo powstające gwiazdy w fazie T Tauri, jak i odewoluowane gwiazdy, które już od niego odeszły. O ile młode gwiazdy wykazują bardzo dużą aktywność niezależnie od tego czy są pojedyncze, czy w układzie podwójnym, to większość starych gwiazd do podtrzymania wysokiej aktywności potrzebuje bliskiego towarzysza który wymusza szybką rotację na skutek oddziaływań pływowych. Amplitudy zmienności związanej z obecnością plam dla gwiazd na ciągu głównym są raczej mniejsze, ze względu na większe ciśnienie na poziomie fotosfery, które powoduje, że obszar, na którym dynamika zjonizowanego gazu jest zdominowana przez pole magnetyczne nie jest tak duży jak w przypadku gwiazd o większych rozmiarach.

W pierwszej z prac przedstawionych jako osiągnięcie naukowe (praca H1) określono okresy rotacji dla 31 pobliskich karłów typu M (dla 21 z nich było to pierwsze wyznaczenie okresu rotacji) i przeprowadzono analizę ich aktywności rentgenowskiej w zależności od okresu rotacji i wieku oraz po raz pierwszy określono empirycznie konwektywną skalę czasu (convective turnover time) dla tego typu gwiazd. W pozostałych dwóch pracach (prace H2 i H3) opublikowano katalogi gwiazd zmiennych związanych z jasnymi źródłami rentgenowskimi z przeglądu całego nieba wykonanego satelitą ROSAT (RBSC – ROSAT all-sky survey bright source catalogue – Voges i inni 1999). W pracy H2 przedstawiony został katalog 2302 gwiazd zmiennych (nowe zmienne stanowią około połowy zawartości katalogu) związanych ze źródłami rentgenowskimi z RBSC otrzymany w oparciu o dane fotometryczne przeglądu ASAS-3 (Pojmański 2002). W pracy H3 lista gwiazd zmiennych została uzupełniona o 307 gwiazd, dla których analizowano dane fotometryczne z przeglądu ASAS-3N (<http://www.astro.uw.edu.pl/asas/>). Duża liczba okresów rotacji gwiazd aktywnych koronalnie i inne dane zamieszczone w katalogach będą mogły być wykorzystane do badania zależności pomiędzy okresem rotacji a poziomem emisji rentgenowskiej dla różnych typów gwiazd.

Zmienność fotometryczna pobliskich karłów typu M (praca H1)

Karły typu widmowego M, do którego należą gwiazdy o masach od ok. 0.1 do ok. 0.6 masy Słońca, są najliczniej reprezentowanym typem gwiazd (stanowią ok. 70 % składników w 100 najbliższych układach gwiazdowych). Choć pierwsze wyznaczenia okresów rotacji dla karłów typu M miały miejsce już w latach sześćdziesiątych (np. Krzemiński 1969), to do niedawna (2007 r), w pracach dotyczących zależności pomiędzy ich poziomem aktywności a rotacją, brakowało danych dotyczących okresów rotacji, zwłaszcza tych powyżej kilkunastu dni, dla których spodziewamy się już mniejszej aktywności.

W pracy H1 wykorzystane były informacje dotyczące strumieni rentgenowskich i kolorów gwiazd w różnych filtrach zamieszczone w pracy Hünsch i inni (1998) i bazie danych NEXXUS-2 (Schmitt i Liefke 2004). Spośród gwiazd o deklinacji mniejszej niż $+28^\circ$ zostały wybrane te, których średnia jasność w danych ASAS-3 zawierała się pomiędzy 8 a 12.5 wielkości gwiazdowej w filtrze V. Poszukiwanie okresu rotacji przeprowadzono dla 180 gwiazd. Dla wielu gwiazd typu M często obserwuje się rozbłyski będące efektem rekonfiguracji pola magnetycznego, które niekiedy mogą wielokrotnie zwiększyć ich obserwowaną jasność. Występują one nieprzewidywalnie i ze względu na znaczną amplitudę mogą mieć dużą wagę w algorytmach służących do poszukiwania okresu. Z tego względu zdecydowaliśmy się odrzucić punkty które odbiegają od średniej wielkości gwiazdowej o więcej niż 3.5 odchylenia standardowego. Dane z różnych sezonów obserwacyjnych były badane osobno o ile nie liczyły mniej niż 50 punktów obserwacyjnych. Następnie do obserwacji z danego sezonu dodawana była poprawka równa różnicy pomiędzy średnią wielkością gwiazdową dla wszystkich obserwacji i średnią wielkością gwiazdową dla obserwacji z danego sezonu, po czym badany był cały ciąg danych. Jeżeli statystyka AoV (Schwarzenberg-Czerny 1989) dla któregoś z sezonów lub całości danych obserwacyjnych gwiazdy była większa niż 8, to krzywe

zmian blasku były sprawdzane wizualnie. Ostatecznie stwierdzono periodyczne zmiany blasku dla 31 gwiazd i zinterpretowano je jako wynikające z rotacji i obecności plam. Amplitudy zmienności gwiazd, nawet tych o największej aktywności były zazwyczaj poniżej 0.05 mag w filtrze V (oprócz GJ 103, dla której wynosiła ok 0.06 mag). W badaniu zależności pomiędzy aktywnością koronalną i rotacją uwzględnione były jeszcze dane z literatury dla GJ 411 (Noyes i inni 1984) i GJ 699 (Benedict i inni 1998).

Często przyjmowanym parametrem związanym z poziomem aktywności magnetycznej jest liczba Rossby'ego - stosunek skali czasu związanej z przepływami konwektywnymi w pobliżu dna warstwy konwektywnej (tzw. turnover time) do okresu rotacji gwiazdy. O ile okres rotacji można otrzymać np. z fotometrii to konwektywną skalę czasu przy dnie warstwy konwektywnej ocenia się na podstawie modeli budowy wewnętrznej gwiazd. Empiryczną konwektywną skalę czasu (empirical turnover time) można natomiast traktować jako parametr występujący w zależności pomiędzy poziomem aktywności a okresem rotacji, jeżeli wykorzysta się kalibrację podaną w pracy Stępnia (1994).

Ponieważ głębokość warstwy konwektywnej i prędkości przepływów konwektywnych zależą w dużym stopniu od masy gwiazdy to czerwone karły dla których znaleźliśmy okresy rotacji podzielone zostały na cztery grupy różniące się masą, która oceniana była na podstawie jasności absolutnej w filtrze V (Delfosse i inni 2000). Oszacowane masy gwiazd zawierały się w następujących przedziałach: 0.11-0.2; 0.33-0.39; 0.43-0.52 i 0.56-0.65 masy Słońca. Bolometryczną jasność absolutną (L_{bol}) dla większości gwiazd otrzymano na podstawie średniej wielkości gwiazdowej w filtrze V, znajomości paralaksy i poprawki bolometrycznej wyliczonej w oparciu o prace Delfosse i inni (1998) i Petersena (1983). Dla gwiazd z tych przedziałów masy dopasowywana była liniowa zależność pomiędzy $\log(L_X/L_{bol})$, a okresem rotacji na podstawie której wyznaczono średnie wartości skali czasu związanej z przepływami konwektywnymi. Dzięki uwzględnieniu nowo wyznaczonych okresów rotacji liczących kilkanaście - kilkadziesiąt dni można było po raz pierwszy wyznaczyć empiryczne okresy turnover time dla karłów typu M. Jak można było się spodziewać, konwektywna skala czasu okazała się większa dla gwiazd o małych masach. Znajomość paralaksy, ruchów własnych i prędkości radialnych była znana dla 27 gwiazd (doliczając GJ 411 i GJ 699, dla których okresy rotacji zostały wzięte z literatury). Na podstawie własności kinematycznych 20 gwiazd zostało zaliczonych do młodego dysku, jedna do populacji pośredniej pomiędzy młodym a starym dyskiem (GJ 2036A), a pozostałe 6 gwiazd do starego dysku z zastrzeżeniem, że GJ 699 jest również klasyfikowana jako gwiazda halo. Wszystkie czerwone karły z naszej listy należące do starego dysku mają okresy rotacji powyżej 30 dni i wyliczona dla nich wartość $R_X = \log(L_X/L_{bol})$ jest poniżej -4.4 . Biorąc pod uwagę nowy pomiar prędkości radialnej dla GJ 2036A ta gwiazda o dużej aktywności również należy kinematycznie do młodego dysku. Różnica w średnim poziomie aktywności R_X pomiędzy aktywnymi gwiazdami typu M liczącymi ok 1 mld. lat, a gwiazdami starego dysku (wiek ok. 10 mld lat) wynosi około 1.7 dex. Wynik ten potwierdza wnioski z wcześniejszych prac (Feigelson i inni 2004, Silvestri i inni 2005) o szybszym spadku aktywności z czasem niż $L_X \sim t^{-1}$, który wynika z najczęściej przyjmowanych skalowań dla gwiazd ciągu głównego o określonej masie: $v_{rot} \sim t^{-1/2}$ (Skumanich 1972) i $L_X \sim v_{rot}^2$ (Pallavicini i inni 1981, Pizzolato i inni 2003).

Zmienność gwiazd związanych z jasnymi źródłami rentgenowskimi w fotometrii ASAS-3 (praca H2)

Ponieważ dane fotometryczne ASAS okazały się wystarczające do stwierdzenia niewielkich zmian jasności związanych z rotacją czerwonych karłów postanowiłem przeprowadzić poszukiwanie zmienności możliwie dużej liczby gwiazd aktywnych koronalnie.

Dane rentgenowskie pochodziły z katalogu RBSC (Voges i inni 1999). Zawiera on 18811

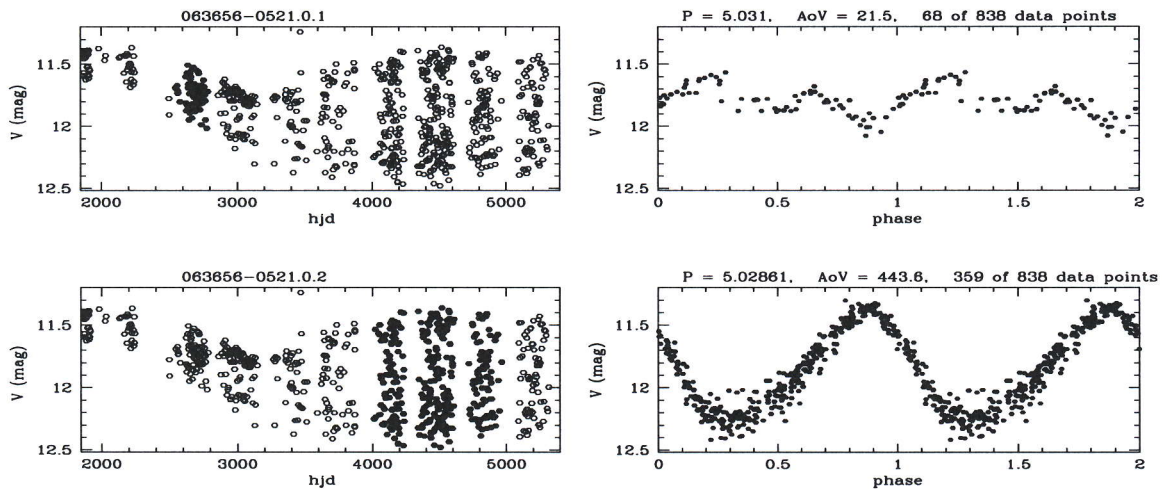
źródeł dla których w zakresie energii 0.1-2.4 keV zaobserwowano co najmniej 15 fotonów, przy tempie zliczeń większym niż 0.05 na sekundę.

W pracy H2 wykorzystane były dane fotometryczne z przeglądu ASAS-3, które obejmowały obiekty o deklinacji mniejszej niż 29 stopni. Na tym obszarze znajduje się 13793 źródeł z RBSC. Poszukiwanie optycznych odpowiedników do źródeł rentgenowskich odbywało w promieniu 30'' wokół współrzędnych rentgenowskich podanych w katalogu ROSAT-a. Dane fotometryczne w filtrach I i V traktowane były niezależnie i badane metodą AoV jeżeli liczyły co najmniej 40 obserwacji, a średnia wartość wielkości gwiazdowej zawierała się pomiędzy 8.0 a 12.5 lub średnia wielkość gwiazdowa była mniejsza niż 8.0 i odchylenie standardowe było mniejsze niż 0.1 mag (aby nie badać gwiazd prześwieconych i zbyt słabych). Wstępna analiza objęła 5851 obiektów w filtrze I i 4207 w filtrze V (w sumie 6026 gwiazd). Dla każdej gwiazdy jej dane fotometryczne w filtrach I lub V były badane niezależnie dla poszczególnych sezonów obserwacyjnych o ile liczyły one nie mniej niż 40 obserwacji. Podobnie jak w pracy H1 wielkości gwiazdowe dla poszczególnych sezonów poprawiano o wartość $m_D - m_S$, gdzie m_d jest średnią wielkością gwiazdową zestawu danych, a m_S średnią wielkością gwiazdową dla danego sezonu. Po tej zmianie statystyka AoV była obliczana dla całego zestawu danych. Jeżeli dla danych z któregośkolwiek sezonów lub też dla wszystkich obserwacji statystyka AoV była większa od 10, gwiazda była podejrzana o zmienność i badana za pomocą algorytmu CLEAN (Roberts i inni 1987), a jej dane fotometryczne były również oceniane wizualnie. Spośród ok. 3 tys gwiazd podejrzanych o zmienność okresy wyznaczono dla 2302 gwiazd. Za pomocą bazy danych SIMBAD poszukiwane były w literaturze informacje, które mogły być pomocne w klasyfikacji gwiazdy i eliminacji ewentualnych aliasów otrzymanego dla niej okresu (np. wartości prędkości rotacji rzutowanej na kierunek obserwacji - $v \sin i$). W katalogu zebrano dane podsumowujące własności fotometryczne (liczba obserwacji, średnia wielkość gwiazdowa i jej dyspersja, okres zmienności i jego amplituda), podstawowe dane z katalogu RBSC (liczba zliczeń na sekundę, "kolor" - stosunek różnicy zliczeń fotonów w zakresie "twardym" i "miękkim" do wszystkich zliczeń) oraz wartości $\log(L_X/L_{bol})$. Poprawka bolometryczna była obliczana w oparciu o kolor ($V - I$) i modele atmosfer z pracy Bessel i inni (1998).

Dane zebrane z bazy danych SIMBAD i literatury obejmowały informację o nazwie i typie obiektu, ruchu własnym, paralaksie, typie widmowym, prędkości radialnej, szerokości równoważnej linii litu, rzucie prędkości rotacji na kierunek obserwacji ($v \sin i$), oraz o znanych pobliskich gwiazdach znalezionych fotometrycznie i spektroskopowo. Choć około połowa gwiazd zamieszczonych w katalogu miała już wcześniej znane okresy zmienności, to zebrane w literaturze dane pozwoliły na lepszą klasyfikację wielu gwiazd. Dotyczy to w szczególności gwiazd, które ze względu na kształt krzywej blasku były wcześniej klasyfikowane jako gwiazdy pulsujące.

Klasyfikacja widmowa, która była dostępna dla 1699 gwiazd, wskazuje, że większość związanych z nimi źródeł rentgenowskich ma pochodzenie koronalne (1669 gwiazd ma typy widmowe od M do F). Dla kilku gorących gwiazd typów widmowych O i B emisja rentgenowska może być związana z kolizją wiatrów gwiazdowych lub też innymi zjawiskami związanymi z oddziaływaniem gwiazd w ciasnych układach podwójnych. Katalog zawiera co najmniej 11 białych karłów, z których 6 znajduje się w układach kataklizmicznych. Optyczny odpowiednik źródła IGR J16194-2810 jest czerwonym olbrzymem wykazującym najprawdopodobniej zmienność elipsoidalną z okresem 193 dni, który znajduje się w układzie podwójnym z gwiazdą neutronową. Układ ten należy do dość nielicznej grupy rentgenowskich gwiazd symbiotycznych. Spośród gwiazd o określonej klasie jasności najwięcej jest karłów (734), ale liczne są też gwiazdy klas jasności IV i III. Za główne przyczyny zmian blasku zostały podane rotacja zaplamionej powierzchni (1936 gwiazd) i zaćmienia w układzie podwójnym (347 obiektów).

Oprócz wymienionego powyżej optycznego odpowiednika IGR J16194-2810 w katalogu można wyróżnić kilka gwiazd o nietypowych własnościach. W pracy Strassmeiera (2009) jako przykłady gwiazd o największej zmienności związanej z obecnością plam były podane V410 Tau i XX Tri o amplitudzie dochodzącej do $\Delta V = 0.65$ mag. W związku z tym bardzo interesująca jest gwiazda ASAS 063656-0521.0, dla której w danych fotometrycznych ASAS zarejestrowano zmiany jasności związane z obecnością plam dochodzące do $\Delta V = 0.8$ mag. Gwiazda ta przy okresie 5.029 doby wykazuje dużą aktywność ($\log(L_X/L_{bol}) = -2.7$), która najprawdopodobniej jest związana z obecnością bliskiego towarzysza. W danych ASAS dla tej gwiazdy obserwujemy bardzo wyraźną zmianę aktywności. Początkowa amplituda zmian blasku wynosi ok. $\Delta V = 0.2$ mag, a w następnych latach średnia jasność gwiazdy spada, a amplituda zmian blasku rośnie (rysunek 1).

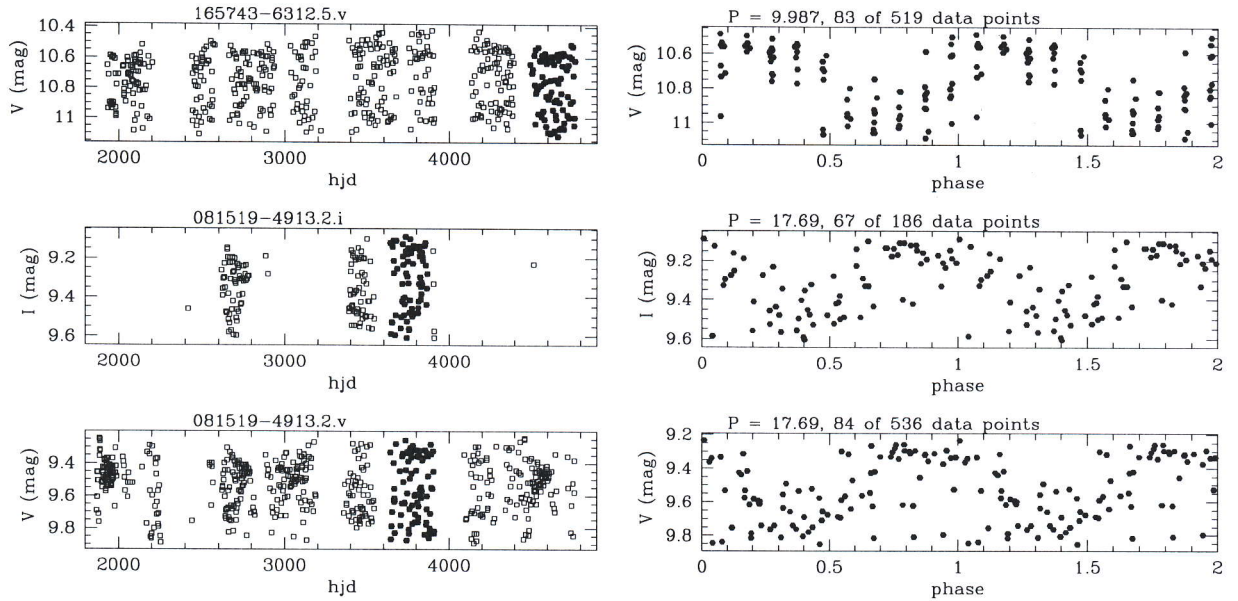


Rysunek 1: Dane fotometryczne dla gwiazdy ASAS 063656-0521.0 otrzymane przez kamerę ASAS-3 w filtrze V w zależności od zmodyfikowanego dnia juliańskiego $\text{hjd} = \text{HJD}-2450000$ (po lewej stronie). Po stronie prawej znajdują się sfazowane krzywe zmian blasku dla okresu kiedy amplituda zmian jasności była stosunkowo niewielka (na górze: hjd pomiędzy 2545 a 2785 d) i kiedy zmiany jasności były szczególnie duże (na dole: hjd pomiędzy 4014 a 4967 d)

Dla dwóch gwiazd kataklizmicznych (V341 Ara i IX Vel) stwierdzono nietypowe zmiany jasności o okresach odpowiednio rzędu 10 i 17.7 dni (rysunek 2). Pomimo, że obserwacje tych gwiazd charakteryzowały się dużym rozrzutem, dla większości danych fotometrycznych nie można było dopasować żadnego okresu o wartości powyżej 0.1 dnia. Zarówno dla jednej, jak i drugiej modulacja średniej jasności była stwierdzona tylko w jednym sezonie. Zmienność w tej skali czasu była już dla V341 Ara wcześniej rejestrowana (np. 14 dni - Berdnikov i Szabados 1998, 11 dni - fotometria sondy Hipparcos - Perryman i inni 1997), a jej amplituda była na tyle duża, że do niedawna gwiazda ta była klasyfikowana jako cefeida II populacji. Ponieważ w przypadku IX Vel znany jest okres orbitalny $P_{orb} = 0.193929$ doby (Beuermann i Thomas 1990), zmienność w skali czasu kilkunastu dni (a więc dwa rzędy wielkości większą) może być związana ze zmianami w tempie akrecji, precesją lub lepkością dysku.

Zmienność gwiazd związanych z jasnymi źródłami rentgenowskimi w fotometrii ASAS-3N (praca H3)

Kamery ASAS-3 umieszczone w Las Campanas prowadziły obserwacje gwiazd o deklinacji mniejszej niż 29 stopni. Projekt ASAS uzyskał możliwość obserwacji całego nieba po zainstalo-



Rysunek 2: Dane fotometryczne dwóch zmiennych kataklizmicznych V341 Ara i IX Vel. w zależności od zmodyfikowanego dnia juliańskiego $hjd = HJD-2450000$ (po lewej stronie) i od fazy (strona prawa). Po stronie lewej znajdują się dane fotometryczne w zależności od zmodyfikowanego dnia juliańskiego ($hjd = HJD-2450000$) otrzymane dla V341 Ara w filtrze V (górze), dla IX Vel w filtrze I (środek) i dla IX Vel w filtrze V (dół). Po stronie prawej znajdują się odpowiednie sfazowane krzywe blasku dla danych obserwacyjnych dla których można było otrzymać okres zmienności (dla obu gwiazd udało się to tylko dla jednego sezonu obserwacyjnego zaznaczonego ciemnymi punktami)

waniu kamer ASAS-3N (Nikon 200/2.0) na wyspie Maui należącej do Hawajów (szerokość geograficzna $\varphi = 20.707^\circ$). Ze względu na większą średnicę obiektywu i ten sam czas ekspozycji przegląd ASAS-3N sięga słabszych gwiazd niż w przypadku ASAS-3. Dla źródeł rentgenowskich z RBSC o deklinacji większej niż -25 stopni (12910 źródeł) poszukiwane były odpowiedniki optyczne w bazie danych fotometrycznych ASAS-3N. Do wstępnej analizy wybrane były gwiazdy o jasności pomiędzy 8 a 14 mag. dla których było dostępnych co najmniej 40 punktów obserwacyjnych (4324 obiekty). Analiza AoV prowadzona była w ten sam sposób co w poprzednich pracach (w miarę możliwości dla poszczególnych sezonów, a następnie dla całości danych) i wartość statystyki AoV była większa od 10 dla 1603 gwiazd. Ponieważ 647 z nich znajdowało się już w katalogu z pracy H2 postanowiliśmy skoncentrować się na gwiazdach, których zmienności wcześniej nie stwierdzono. Ostatecznie katalog opisany w pracy H3 liczy 307 gwiazd, z których większość stanowią nowe gwiazdy zmienne (dla 6 znanych wcześniej gwiazd zmiennych wyznaczono okresy, a dla 7 gwiazd podano nowe wartości okresu).

Ponieważ dane fotometryczne z przeglądu ASAS-3N były dostępne tylko w filtrze V , informację o kolorze i ewentualnych bliskich sąsiadach postanowiliśmy otrzymać z przeglądu 2MASS (Skrutskie i inni 2006). Oszacowanie poprawki bolometrycznej zostało wykonane na podstawie koloru ($V - J$), dla którego istnieje dość dokładna kalibracja (Casagrande i inni 2008, 2010). Dla zamieszczonych w katalogu gwiazd podano dane dotyczące zmienności fotometrycznej, stosunku $\log(L_X/L_{bol})$, pobliskich gwiazd obecnych w fotometrii 2MASS, oraz najważniejsze informacje zebrane w literaturze dotyczące ich paralaksy, prędkości radialnych, $v \sin i$, czy obecności linii

litu. Niestety dla większości gwiazd nie udało się znaleźć dodatkowych informacji, np. *vsini* jest znane dla 17 gwiazd, a paralaksa dla 15. Typ widmowy był dostępny dla 136 gwiazd z których wszystkie poza dwoma gwiazdami typu A należą do typów widmowych M-F, a więc najbardziej prawdopodobnym źródłem ich emisji rentgenowskiej jest aktywność koronalna.

Podsumowanie.

Dzięki pracom przedstawionym jako osiągnięcie naukowe znacznie zwiększona została liczba gwiazd dla których znany jest zarówno strumień rengenowski jak i okres zmienności. W pracy H1 w oparciu o dane fotometryczne ASAS-3 znaleziono 31 okresów rotacji (21 nowych) dla czerwonych karłów typu M, dla których dostępne były pomiary strumieni rentgenowskich. Posłużyły one do badania zależności pomiędzy aktywnością a okresem rotacji i wyznaczeniem konwektywnej skali czasu (empirical turnover time) dla gwiazd w czterech przedziałach masy. Po uwzględnieniu danych kinematycznych i wyróżnieniu gwiazd starego dysku widoczny jest spadek aktywności z czasem szybszy niż wynikający z najczęściej przyjmowanych modeli.

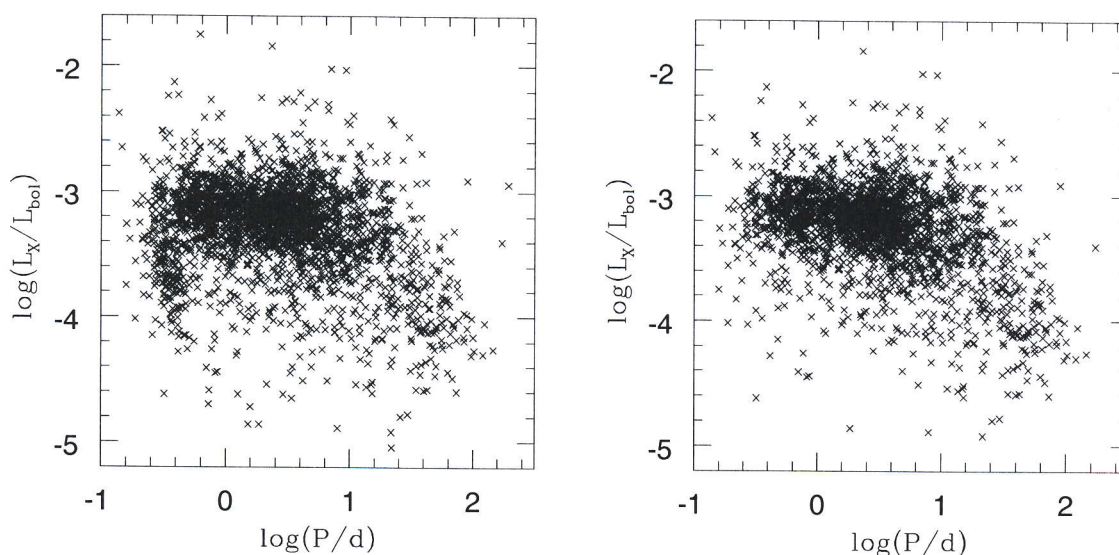
Dane z katalogów H2 i H3 będą bardzo pomocne przy badaniu szeregu zagadnień związanych z aktywnością magnetyczną. Zawierają one ponad 2600 gwiazd dla których są znane okresy zmienności i mają zmierzone strumienie rentgenowskie (ponad połowa tych gwiazd to nowe gwiazdy zmienne), a większość z nich stanowią gwiazdy aktywne koronalnie. Na rysunku 3 przedstawiono zależność poziomu aktywności rentgenowskiej ($\log(L_X/L_{bol})$) od logarytmu okresu wyrażonego w dniach dla wszystkich gwiazd z katalogów H2 i H3 (po stronie lewej) i dla gwiazd, których zmiany blasku są spowodowane rotacją i obecnością plam (strona prawa). Na podstawie danych zebranych w katalogach można dokonać wyboru obiektów o określonych własnościach (np. gwiazdy przed ciągiem głównym, gwiazdy ciągu głównego, gwiazdy odewoluowane, gwiazdy pojedyncze, gwiazdy w układach podwójnych). Przykładowo, w pracy Wright i inni (2011), badanie zależności poziomu aktywności rentgenowskiej od okresu rotacji zostało wykonane w oparciu o zebrane z literatury dane dla 824 gwiazd ciągu głównego. Tylko 41 z nich znajduje się w katalogach opisanych w pracach H2 i H3, a zawierają one ponad 750 gwiazd klasy jasności V. Następna analiza zależności aktywności rentgenowskiej od okresu rotacji będzie mogła być uzupełniona o kilkaset gwiazd ciągu głównego.

W katalogach znajduje się też niewielka liczba gwiazd, których emisja rentgenowska nie jest związana z aktywnością koronalną, z których kilka wydaje mi się szczególnie interesujące. Czerwony olbrzym, który jest odpowiednikiem optycznym źródła gamma IGR J16194-2810 wykazuje zmienność elipsoidalną z okresem 193 dni (pulsacje z okresem 96 dni są mniej prawdopodobne). Układ ten należy do nielicznej grupy rentgenowskich gwiazd symbiotycznych. W danych fotometrycznych gwiazd kataklizmicznych V341 Ara i IX Vel występuje zmienność z okresem kilkunastu dni, której przyczyna jest nieznana, ale prawdopodobnie jest związana ze zjawiskami w dysku akrecyjnym.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych.

Urodziłem się 18.09.1969 w Warszawie. Jestem żonaty i mamy czworo dzieci. Studia astronomiczne rozpocząłem w październiku 1988 roku na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Egzamin magisterski zdałem we wrześniu 1993 roku, a tematem mojej pracy magisterskiej, którą napisałem pod opieką prof. Michała Jaroszyńskiego było mikrosoczewkowanie grawitacyjne przez gwiazdy dysku Galaktyki.

W pierwszych pracach dotyczących zagadnienia mikrosoczewkowania grawitacyjnego w kierunku centrum Galaktyki uwzględniano głównie soczewki znajdujące się w dysku Galaktyki, a gwiazdy zgrubienia centralnego były traktowane jedynie jako źródła promieniowania umieszczone w odległości 8 kpc (Paczyński 1991). W pracy Greist i inni (1991) przy obliczaniu głębokości



Rysunek 3: Zależność poziomu aktywności rentgenowskiej ($\log(L_X/L_{bol})$) od logarytmu okresu rotacji wyrażonego w dniach ($\log(P)$) dla gwiazd z katalogów H2 i H3. Po stronie lewej przedstawiony jest wykres dla wszystkich gwiazd, a po prawej gwiazd, których zmiany blasku związane są z rotacją i obecnością plam

optycznej związanej z gwiazdami zgrubienia centralnego ich rozkład przestrzenny został obcięty na odległości 8 kpc, co spowodowało, że tak policzona głębokość optyczna była rzędu 10^{-7} , a więc znacznie mniejsza niż dla gwiazd dysku (szacowanej na $4 \cdot 10^{-7}$) i liczba zjawisk przez nie powodowana była niedoceniona. Udział gwiazd zgrubienia centralnego w zjawiskach mikrosoczewkowania grawitacyjnego w kierunku Okna Baadego (które stanowiło główny cel obserwacji pierwszej fazy projektu OGLE; $l = -1^\circ$, $b = -4^\circ$) został poprawnie uwzględniony w pracy Kiraga i Paczyński (1994). Zakładając osiowo-symetryczny model zgrubienia centralnego otrzymano głębokość optyczną na mikrosoczewkowanie dla znanych populacji gwiazdowych ok. $0.85 \cdot 10^{-6}$, z których na gwiazdy dysku przypadła w przybliżeniu połowa. W pracy tej nie uwzględniono, że zgrubienie centralne ma kształt poprzeczki skierowanej wielką półosią w naszą stronę, przez co głębokość optyczna na zjawiska mikrosoczewkowania jest jeszcze większa.

W kwietniu 1996 roku przebywałem na miesięcznym stażu w Department of Astrophysical Sciences na Uniwersytecie w Princeton, pod opieką profesora Bohdana Paczyńskiego. Celem wizyty było badanie rozkładu gwiazd dysku Galaktyki w kierunku Okna Baadego na podstawie analizy diagramów kolor-jasność (CMD). Diagramy CMD dla gwiazd w tym kierunku wykazywały obecność wąskiego pasma gwiazd, który był interpretowany jako spadek gęstości gwiazd dysku w odległości kilku kiloparseków od Słońca (Paczyński i inni 1994). W pracy Kiraga, Paczyński i Stanek (1997) stwierdzono, że gęstość gwiazd dysku w kierunku Okna Baadego może być w przybliżeniu stała, natomiast istotne jest uwzględnienie ekstynkcji gwiazdowej.

W październiku 1993 roku rozpocząłem studia doktoranckie na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego pod opieką profesora Kazimierza Stępnia. Głównym zagadnieniem mojej pracy doktorskiej miały być symulacje numeryczne warstwy konwektywnej i jej wpływu na otaczające warstwy stabilne (zmiana struktury termicznej, mieszanie, powstawanie i propagacja wewnętrznych fal grawitacyjnych). Od września 1996 roku do czerwca 1997, a następnie od lutego 1998 do października 1998 przebywałem na stażu w Obserwatorium w Paryżu, sekcja Meudon, pod

opieką profesora Jean-Paul Zahna. Kontynuowałem tam prace związane z tematem doktoratu, który obroniłem w czerwcu 2000 r. We wrześniu 2001 roku brałem udział w szkole letniej w Poczdamie poświęconej modelowaniu turbulencji, a w listopadzie 2001 przebywałem przez tydzień w Kopenhadze, w NORDITA, na zaproszenie profesora Axela Brandenbura.

Wewnętrzne fale grawitacyjne powstające na skutek konwekcji i rozchodzące się poniżej warstwy konwektywnej mogą być istotne w transporcie momentu pędu i mieszaniu pierwiastków (np. Press 1981, Schatzman 1996, Kumar i inni 1999). Choć własności tych fal były dokładnie opisane w wymienionych powyżej pracach, to ich znaczenie dla rozważanych procesów zależy w dużej mierze od amplitudy i widma fal, a te związane są z dynamiką przepływów konwektywnych. Najczęściej wykorzystywany model drogi mieszania (MLT) zakłada, że rozmiary wirów konwektywnych są rzędu ciśnieniowej skali wysokości, a prędkości rzędu $0.1(F_C/\rho)^{1/3}$ (F_C - wartość strumienia konwektywnego, ρ - gęstość gazu). W inspirowanym symulacjami numerycznymi modelu splotów konwektywnych (Rieutord i Zahn 1995) rozmiary turbulentnych wirów przy dnie warstwy konwektywnej są mniejsze, a prędkości większe niż w MLT. Przewidywania widma i amplitudy fal są w obu przypadkach bardzo różne. Choć wewnętrzne fale grawitacyjne były rejestrowane w licznych symulacjach numerycznych (np. Hurlburt i inni 1994, Brummell i inni 2002) to ich własności nie były szczegółowo omawiane, a w opublikowanych widmach dominowały fale stojące, co uniemożliwiało obliczenie strumienia energii przez nie przenoszonego. W pracy Kiraga i inni (2003) porównane zostały wyniki symulacji numerycznych i przewidywań teoretycznych dotyczących widma wewnętrznych fal grawitacyjnych powstających i rozchodzących się poniżej warstwy konwektywnej i strumienia energii przez nie przenoszonego. Długości i okresy fal o największej amplitudzie odpowiadały rozmiarom i prędkościom przepływów konwektywnych w dolnej części warstwy niestabilnej i były mniejsze niż dla modelu drogi mieszania a większe niż w modelu splotów konwektywnych.

Dalsza część mojej pracy wiązała się z problemem zależności pomiędzy aktywnością koronalną a rotacją dla gwiazd posiadających podfotosferyczne warstwy konwektywne i wykorzystaniem fotometrii ASAS do pomiarów okresów rotacji gwiazd aktywnych z którymi to tematami związane są prace przedstawione jako osiągnięcie naukowe.

Literatura

- Benedict, G., i inni, 1998, *Astron. J.*, 116, 429
Berdnikov, L. N., Szabados, L., 1998, *Acta Astron.*, 48, 763
Bessell, M. S., Castelli, F., Plez, B., 1998, *Astron. Astrophys.*, 333, 231
Beuermann, K., Thomas, H.-C., 1990, *Astron. Astrophys.*, 230, 326
Brummell, N. H., Clune, T. L., Toomre, J., 2002, *ApJ*, 570, 825
Casagrande, L., Flynn, Ch., Bessell, M., 2008, *MNRAS*, 389, 585
Casagrande, L., Ramírez, I., Meléndez, J., Bessell, M., Asplund, M., 2010, *Astron. Astrophys.*, 512, 54
Delfosse, X., Forveille, T., Perrier, C., Mayor, M., 1998, *Astron. Astrophys.*, 331, 581
Delfosse, X., i inni 2000, *Astron. Astrophys.*, 364, 217
Feigelson, E. D., i inni, 2004, *ApJ*, 611, 1107
Greist, K., i inni, 1991, *ApJ*, 372, L79
Hurlburt, N. E., Toomre, J. Massaguer, J. M., Zahn, J.-P., 1994, *ApJ*, 421, 245
Hünsch, M., Schmitt, J. H. M. M., Sterzik, M. F., Voges, W., 1999, *Astron. Astrophys. Supp.*, 135, 319
Kiraga, M., Paczyński, B., 1994, *ApJ*, 430, L101
Kiraga, M., Paczyński, B., Stanek, K. Z., 1997, *ApJ*, 485, 611

Marcin Kiraga

- Kiraga, M., Jahn, K., Stępień, K., Zahn, J.-P., 2003, *Acta Astron.*, 53, 321
- Krzemiński, W., 1969, in “ *Low Luminosity Stars*”, Ed. S. S. Kumar, Gordon and Breach, London, p. 57
- Kumar, P., Talon, S., Zahn, J.-P., 1999, *ApJ*, 520, 859
- Paczyński, B., 1991, *ApJ*, 371, L63
- Paczyński, B., Stanek, K. Z., Udalski, A., Szymanski, M., Kaluzny, J., Kubiak, M., Mateo, M., 1994, *AJ*, 107, 2060
- Pallavicini, R., Golub, L., Rosner, R., Vaiana, G. S., Ayres, T., Linsky, J. L., 1981, *Apj*, 248, 279
- Perryman, M. A. C., i inni (ESA), 1997, “*The Hipparcos and Tycho catalogues. Astrometric and photometric star catalogues derived from the ESA Hipparcos Space Astrometry Mission*”, Publisher: Noordwijk, Netherlands: ESA Publications Division, ESA SP Series vol. 1200
- Petersen, R. R., 1983, *IAU Coll*, 71, 17
- Pizzolato, N., Maggio, A., Micela, G., Sciortino, S., Ventura, P., 2003, *Astron. Astrophys.*, 397, 147
- Pojmański, G., 2002, *Acta Astron.*, 52, 397
- Press, W. H., 1981, *ApJ*, 245, 286
- Rieutord, M., Zahn, J.-P., 1995, *Astron. Astrophys.*, 296, 127
- Roberts, D. H., Lehar, J., Dreher, J. W., 1987, *AJ*, 93, 968
- Schatzman, E., 1996, *J. Fluid Mechanics*, 322, 355
- Schmitt, J. H. M. M., Liefke, C., 2004, *Astron. Astrophys.*, 417, 651.
- Schwarzenberg-Czerny, A., 1989, *MNRAS*, 241, 153.
- Silvestri, N. M., Hawley, S. L., Oswald, T. D., 2005, *AJ*, 129, 2428
- Skumanich, A., 1972, *ApJ*, 171, 565
- Stępień, K., 1994, *Astron. Astrophys.*, 292, 191
- Strassmeier, K. G., 2009, *Astron. Astrophys. Rev.*, 17, 251
- Voges, W., i inni, 1999, *Astron. Astrophys.*, 349, 389
- Wright, N. J., Drake, J. J., Mamajek, E. E., Henry, G. W., 2011, *ApJ*, 743, 48