UNIWERSYTET PEDAGOGICZNY
W KRAKOWIE

ul. Podchorążych 2, 30-084 Kraków tel. +48 12 662 6000, fax 004812 637 2243

dr hab. Andrzej Baran, prof. UP
ARDASTELLA Research Group
Uniwersytet Pedagogiczny
w Krakowie

31 sierpnia 2021

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Henryki Netzel pt.
Badanie gwiazd klasycznego pasa niestabilności metodami asterosejsmologii.

TEMATYKA ROZPRAWY

Rozprawa doktorska mgr Henryki Netzel dotyczy problematyki gwiazd pulsujących znajdujących się w klasycznym pasie niestabilności i zdominowanych przez pulsacje radialne. W pasie tym znajdujemy gwiazdy RR Liry, Cefeidy klasyczne, HADSy. Gwiazdy te są bardzo użyteczne w wyznaczaniu odległości ponieważ spełniają relację okres pulsacji-jasność i w związku z tym badania w celu wyznaczenia ich parametrów fizycznych wykraczają poza samo zainteresowanie asterosejsmologii. Ich położenie na dużych odległościach w Galaktyce a także poza nią, jest bardzo użyteczne na rozważania pozagalaktyczne.

W rozprawie podjęte są starania skupione w szczególności wokół wykrycia gwiazd z wymienionej grupy, które pulsują w conajmniej trzech modach, a następnie modelowanie ich wnętrz. Warunek wykrycia co najmniej trzech niezależnych modów pulsacji wynika z ograniczeń efektywności modelowania. Podjęto również próbę zweryfikowania tezy o modach nieradialnych w gwiazdach RR Liry. Otrzymane parametry fizyczne zostały porównane z otrzymanymi w innych analizach i przedstawionych w publikacjach.

ASPEKT REDAKCYJNY

Rozprawa zawiera 183 strony, z czego blisko 50 stron to strony tytułowe, bibliografia i trzy dodatki. Składa się ona z sześciu zasadniczych rozdziałów. Pod względem edytorskim rozprawa jest przygotowana bardzo starannie. Nie starając się zbytnio zwracać uwagę na literówki, znalazłem ich tylko pięć, w tym jedną w tytule rozdziału 4.5.2. Rysunek 1.14 ma legendę poza obszarem wykresu. Na rysunku 3.7 i 3.8 pozostała legenda z rysunku 3.6, a w podpisie rysunku 3.10 wpisano dwie błędne wartości inklinacji. Rysunek 4.2 ma błędną

wartość pierwszej od góry metaliczności. Biorą pod uwagę rozmiar rozprawy te drobne uchybienia nie wpłynęły na wygodę czytania i rozumienia tekstu oraz rysunków. Rozprawa jest przygotowana w sposób, który wzbudził u mnie ciekawość czytania kolejnych rozdziałów zarówno poprzez zastosowane metody jak i chęć poznania otrzymanych wyników.

ASPEKT NAUKOWY

W tej części przedstawię krótkie odniesienie do zawartości poszczególnych rozdziałów wraz z pytaniami i sugestiami, które nasunęły się podczas czytania.

Rozdział 1 to wstęp do rozprawy. Jest dość obszerny i wyczerpująco wprowadza do przedmiotu, powodu jak i celu badań. Omówione są pulsacje, mechanizm ich napędzania, a także każda z analizowanych grup gwiazd. Unikałbym stwierdzenia, że mody ciśnieniowe są wrażliwe na warunki w otoczce, a grawitacyjne na wnętrze. Mody nabierają cech warstw gwiazdy, w których mają dominujące amplitudy i w zależności od typu gwiazd pulsujących mogą to być różne rejony, niekoniecznie otoczka. Wydaje się, że bezpieczniejszym stwierdzeniem jest ogólne odniesienie do warstw bardziej wewnętrznych lub bardziej zewnętrznych. W rozdziale 1.1.4 jest zawarte stwierdzenie, z którego wynika iż obecne modele teoretyczne są poprawne i jeżeli obserwacje nie pasują do modeli to musi to być wpływ dodatkowych mechanizmów. Pozwolę sobie nie zgodzić się z taką konstatacją. Obecnie stosowane kody ewolucyjne nie są na tyle zaawansowane aby jednoznacznie i w sposób definitywnie poprawny wyliczać okresy modów pulsacji. W rozdziale 1.3.1 wymienione są mody o stopniu 52 podczas gdy Dziembowski (2012) wskazuje na 50. W przypadku gwiazd z bogatym widmem modów nieradialnych można próbować wykorzystać asymptotykę modów grawitacyjnych i/lub rozszczepienie modów.

Rozdział 2 opisuje wynik poszukiwania gwiazd RR Liry z modami nieradialnymi. Nie prowadzono własnych obserwacji i korzystano tylko z danych OGLE. Dane te udowodniły swoją przydatność do wykrywania gwiazd pulsujących i niewątpliwie był to dobry wybór (o ile nie jedyny) do tego celu. W analizie wykorzystano standardowe narzędzie do wybielania częstości, włącznie z wybielaniem zależnym od czasu. Ze względu na dużą liczbę gwiazd przygotowano program do automatycznego wykrywania i wybielania częstości. Udało się wykryć setki gwiazd RR Liry z dodatkowym sygnałem, który ostatecznie zinterpretowano jako harmonika modu nieradialnego. W rozdziale tym jest podjęta dyskusja na temat wykrywalności sygnału w widmie fourierowskim. Należy tu nadmienić, że liczba punktów obserwacyjnych z jednej strony zmniejsza poziom szumu i ma pozytywny wpływ na detekcję, ale z drugiej strony zwiększa ryzyko pojawienia się przypadkowego sygnału (noise induced), co prowadzi do pojawienia się maksimów w widmie fourierowskim, które nie mają źródła w obserwowanym obiekcie ani w użytym instrumencie. Przyjęty poziom detekcji SNR=4 może okazać się nadzwyczaj liberalny. Dane OGLE są prowadzone w długim okresie

czasu i warto jednak przeprowadzić symulacje dla reprezentatywnej próbki danych w celu określenia rozsądnej wartości FAP, która nie jest deterministyczna i oczywiście będzie zależeć od przyjętego poziomu ufności. Na rysunkach przedstawionych w tym rozdziale widać, iż niektóre z sygnałów ledwo osiągają kryterium SNR=4, a więc w przypadku gdy poziom detekcji okaże się być jednak wyższy, sygnały te nie będą wykryte. Kolejna uwaga nasuwa się na rysunku 2.25. Przyjęte kryterium jest stałe w całym zakresie częstości podczas gdy dane naziemne z reguły wykazują wyższy szum w zakresie najniższych częstości. Ma to związek ze zmiennością o długim okresie, głównie wynikającą z niestabilnych warunków atmosferycznych. Kryterium detekcji jest wówczas przeszacowane w wyższych częstościach i niedoszacowane w niskich. Na wspomnianym rysunku w rejonie najniższych częstości (w okolicy sygnału 0.68) SNR=4 w zasadzie sięga szumu co powoduje w tym rejonie częstości wysokie ryzyko detekcji przypadkowego sygnału. W rozdziale tym nie jest wspomniana częstość Nyquista, która nawet w przypadku niezbyt ściśle równo odstępnego próbkowania pojawia się w widmie fourierowskim.

Rozdział 3 prezentuje próbę wymodelowania zmian profili linii widmowych w wyniku pulsacji. Zmiany te nie były dotychczas wykryte w spektroskopii i ponieważ dotyczą pulsacji nieradialnych o niewielkich amplitudach ich wykrycie będzie bardo trudne. Do modelowania wykorzystano ogólnodostępny program, który wymaga poczynienia wstępnych założeń. Są one dość rozsądne, chociaż w przypadku podejścia realistycznego biały szum jest raczej w rzeczywistych danych spektroskopowych nieosiągalny. Spektroskopia jest wyjątkowo czuła na stabilność instrumentu, którego brak generuje sztuczne offsety, a te z kolei powodują długookresowe sygnały w widmie fourierowskim. Konkluzją z przeprowadzonego modelowania jest możliwość zaobserwowania modów nieradialnych w spektroskopii. Przedstawione modelowanie jest słuszne metodologicznie chociaż dość wyrywkowe jak chodzi o testowanie wpływu różnych czynników. Jako obserwator spodziewałbym się odpowiedzi na pytanie: jakie są minimalne wymagania obserwacyjne przy najbardziej optymistycznych założeniach parametrów fizycznych, i po odpowiedzi na to pytanie można sprawdzić czy realne jest uzyskanie odpowiedniego czasu obserwacyjnego na dostępnym instrumencie.

W rozdziale 4 przedstawione są wyniki modelowania gwiazd RR Liry, dla których udało się wykryć conajmniej trzy częstości. Modelowanie przeprowadzono z użyciem dostępnych od wielu lat kodów prof. W. Dziembowskiego. Analiza ta potwierdza tezę o modach nieradialnych stopni 8 i 9. Jaki jest jednak powód nie użycia kodu MESA, który notabene był użyty do gwiazd HADS? Jak brak modeli ewolucyjnych (tylko modelowanie otoczki) może wpłynąć na dopasowanie częstości, oraz jak wyniki modelowania zależą od populacji gwiazdowych, o ile taka różnorodność występuje? Na rysunku 4.8 i 4.9 znajdują się dwie gwiazdy RRd, które odstają od reszty, czy odmienna populacja może wytłumaczyć tę różnicę? Selekcja najlepszych modeli odbyła się poprzez poszukiwanie minimum funkcji,

która odzwierciedla różnice pomiędzy wartościami obserwowanymi i teoretycznymi. To oznacza, że dla każdej gwiazdy znajdziemy takie minimum, chociaż w rozprawie sprytnie usunięto te dopasowania, które nawet na oko były kiepskie. Czy dałoby się oszacować obiektywny poziom tej funkcji, który nawet w przypadku niezłego dopasowania nie akceptowałby go z automatu poprzez wykorzystanie obserwowanych okresów modów, dla których wyznaczono błędy statystyczne?

Rozdział 5 zawiera wynik poszukiwania wielomodalnych gwiazd HADS. Wykorzystano tu narzędzia opisane w rozdziale 2. Wynikiem tego poszukiwania jest kilka tysięcy gwiazd, z których ponad 400 było przedmiotem modelowania opisanego w rozdziale 6. Dyskusja na temat poziomu detekcji dotycząca rozdziału 2 oraz założeń w modelowaniu w rozdziale 4 w zasadzie przenosi się na te dwa rozdziały.

Rozdział 7 zawiera podsumowanie wyników. Docelowym wynikiem tej analizy było wyznaczenie parametrów fizycznych dla ogromnej próbki gwiazd RR Liry oraz HADS. Taka analiza nie była jak dotąd przeprowadzona, a jedynie dla wybranych pojedynczych gwiazd. Automatyka w wykrywaniu sygnału oraz modelowaniu ma szereg zalet, ale także i wady. Jedną z nich jest to, że nie zawsze interpretacja wykrytego sygnału jest właściwa. W dyskusji modelowania niektórych gwiazd pojawia się taki argument jako wytłumaczenie niezbyt udanego dopasowania. Oczywistym sukcesem tej analizy jest wykrycie ogromnej liczby nowych gwiazd RR Liry i klasycznych cefeid pulsujących w modach nieradialnych. Udało się także potwierdzić stopień modu nieradialnego. Założony cel pracy został osiągnięty.

PODSUMOWANIE

Przedstawiona rozprawa doktorska zawiera nowatorskie wyniki dotyczące analizy gwiazd pulsujących w klasycznym pasie niestabilności i przedstawia wartość dodaną w próbie zrozumienia problematyki tych gwiazd. Jest to, w szczególności, wyznaczenie parametrów fizycznych dla największej jak dotąd modelowanej próbki gwiazd RR Liry oraz HADS. Ponadto, wyniki te pozwalają postawić pytania, które mogą być podstawą kontynuacji badań w tym zakresie. Dość interesujący jest fakt, że wykryte mody nieradialne mają stopień 8 i 9. Dlaczego zatem gwiazdy te nie pulsują w modach o niższych i/lub wyższych stopniach? Zakładając równość amplitud w układzie gwiazdy, dlaczego obserwowane amplitudy modów l=8 nie są z reguły większe niż modów l=9? Dlaczego większość innych typów gwiazd pulsujących w modach nieradialnych nie preferuje harmonik? Czy jest to specyfika tylko klasycznego pasa niestabilności? Jak parametry fizyczne otrzymane w modelowaniu zależą od populacji gwiazdowych? Dlaczego trójmodalne gwiazdy HADS nie preferują drugiego owertonu?

Po zapoznaniu się z przedstawioną mi rozprawą doktorską wnioskuję, iż mgr Henryka Netzel jest bardzo dobrze zaznajomiona z problematyką gwiazd klasycznego pasa niestabilności, tematyką metod wykorzystywanych w analizie danych fotometrycznych gwiazd pulsujących,

potrafi przeprowadzić symulacje obserwacji spektroskopowych, a także wykorzystać kody ewolucyjne i pulsacyjne w celu wyznaczenia parametrów fizycznych gwiazd pulsujących. Dzięki pracy mgr Henryki Netzel znacząco zwiększyła się próbka gwiazd z klasycznego pasa niestabilności z wykrytymi modami nieradialnymi (RR Liry, cefeidy klasyczne). Wyznaczono masy metodami asteroseismicznymi, które dla podgrupy RRc pokrywają się w tymi dotychczasowymi przewidywanymi, natomiast dla RRd są wyższe niż przewidywano. Ten drugi wynik jest ciekawy i wymaga potwierdzenia inną metodą. W przypadku gwiazd HADS wyznaczono parametry fizyczne dla najliczniejszej, jak do tej pory, próbki tych gwiazd. Wyniki tej rozprawy będą bardzo użyteczne dla innych badaczy zajmujących się tą tematyką.

KONKLUZJA

W mojej ocenie, rozprawa doktorska mgr Henryki Netzel stanowi dojrzałą pracę naukową oraz oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Doktorantka wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie astronomia, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Uważam zatem, że wypełnione zostały przesłanki art.186 i 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce i wnoszę o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie do jej publicznej obrony.