



Toruń, 20 maja, 2021

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Mateusza Olecha:

„Charakterystyka okresowych zmian gęstości strumienia linii 6.7 GHz metanolu.”

Masery astrofizyczne znane są od połowy lat sześćdziesiątych ubiegłego stulecia, od momentu kiedy odkryto emisję maserową molekuly OH na 1665 MHz. Od tego czasu badania emisji maserowej niektórych molekuł z różnorodnych źródeł stały się bardzo powszechne. Jednym z przejść maserowych obserwowanym tylko z otoczenia gwiazd masywnych jest linia maserowa metanolu na 6.7 GHz (tzw. masery klasy II). Jest to o tyle ważne narzędzie w badaniu procesu formowania się gwiazd masywnych, że pojawia się na bardzo wczesnych etapach ich ewolucji a warunki do takiej emisji przestają być spełniane po bardzo krótkim okresie czasu rzędu co najwyżej kilku dziesiątek tysięcy lat. Dodatkowo, około 17 lat temu odkryto obiekty, w których emisja metanolu wykazuje ścisłą periodyczność i to właśnie problem periodyczności maserów metanolu jest inspiracją dla dysertacji mgr Olecha. Pomimo iż jest to rzadkie zjawisko obserwowane jak dotychczas tylko w 26 obiektach, jest ono intensywnie badane i w tym kontekście rozprawa Mateusza Olecha wpisuje się w nurt współczesnych badań astrofizycznych i wnosi, jak to pokażę w dalszej części recenzji, znaczący wkład do ich pogłębienia i rozwoju.

Przedstawiona rozprawa doktorska analizuje kilkuletnie obserwacje źródeł maserowych zebrane radioteleskopem RT4 w Piwnicach oraz dodatkowe dane interferometryczne z sieci EVN oraz VLBA w celu zrozumienia zjawiska periodyczności obserwowanej w niektórych ze źródeł. Na podkreślenie zasługuje fakt, że pięć spośród 26 znanych obiektów periodycznych zostało odkrytych przez magistra Olecha. Szczególnie dużo uwagi poświęcił autor badaniu jednego ze źródeł, które cechuje się naprzemienną zmiennością maserów wody i metanolu. Według mnie bardzo ważnym wynikiem naukowym tej rozprawy jest pokazanie, że obserwowana periodyczność emisji maserowej

jest rezultatem zmienności promieniowania podczerwonego, będącej najprawdopodobniej wynikiem modulowanej akrecji na układ podwójny protogwiazd.

Kilkunastostronicowy (nie licząc bibliografii i spisu publikacji) wstęp do rozprawy przedstawiony jest zwięźle i ciekawie, jednak nie dało się autorowi ustrzec drobnych potknięć (choćby „25 masers” zamiast „26 masers” w streszczeniu angielskim, kilku literówek czy też nielicznych błędów gramatycznych), które jednak w żaden sposób nie dyskredytują tekstu. Rzuca się w oczy natomiast brak odwołania do Rys.1, który ma obrazować opisane w tekście etapy formowania się gwiazd masywnych. Autor powinien opisać w tekście, który panel Rys.1 odpowiada dyskutowanemu etapowi. We wstępie mgr Olech opisuje w przystępny sposób scenariusze, które mogłyby wyjaśnić zjawisko periodyczności w maserach metanolu na 6.7 GHz, jednocześnie dyskutując „słabe strony” każdego z tych modeli. Następnie podsumowuje wyniki uzyskane w załączonych do dysertacji publikacjach.

Zasadnicza część dysertacji mgr Olecha składa się z trzech prac opublikowanych w MNRAS (w tym jednej w Letters) i jednej w Astronomy and Astrophysics. Prace są wieloautorskie, w dwóch mgr Olech jest pierwszym autorem, zaś w dwóch drugim, zaraz po promotorze. Zgodnie z oświadczeniami współautorów wkład mgr Olecha jest dominujący (ponad 70%) w pracach pierwszoautorskich i znaczący (40% - taki sam wkład deklaruje promotor!) w dwóch pozostałych. Prace włączone do doktoratu zgodnie z ADS cytowane są łącznie prawie 60 razy, co jest miarą ich wartości w ocenie środowiska astronomicznego zajmującego się tymi zagadnieniami.

Pierwsza z prac (nr. 12 w spisie publikacji) analizuje ogromną ilość danych zebranych w latach 2009-2013 (obserwacje każdego ze źródeł były wykonywane co najmniej raz w miesiącu) teleskopem RT4 w Piwnicach dla 166 źródeł maserów metanolu w 139 obszarach formowania się gwiazd. Pomimo iż większość źródeł jest zmienna, tylko 9 spośród nich wykazuje ścisłą periodyczność z okresem od 120 do ponad 400 dni, a okresowość trzech źródeł maserowych została odkryta po raz pierwszy. Ważnym wynikiem uzyskanym dzięki analizie tak licznej i obserwacyjnie jednorodnej próbki jest pokazanie, że jasność masera jest pozytywnie skorelowana z jasnością bolometryczną obserwowanego obszaru formowania się gwiazd oraz ze strumieniem jonizującym w kontinuum Lymana co potwierdza słuszność scenariusza promienistego pompowanie masera metanolu.

Druga praca (nr. 8 w spisie publikacji) analizuje obserwacje wykonane teleskopem RT4 w Piwnicach w latach 2014-2015 dla dodatkowych 86 źródeł. Kładąc nacisk na zmienność okresową,

analiza obserwacji pokazała periodyczność w dwóch dodatkowych źródłach, a ponowna re-analiza danych z poprzedniej pracy (nr. 12 w spisie publikacji) uzupełniona nowymi obserwacjami pozwoliła zidentyfikować dodatkowe trzy źródła okresowe. Pokazano, że amplituda względnych zmian w natężeniu struktur emisyjnych maserów jest negatywnie skorelowane z jasnością bolometryczną źródeł. W poprzedniej pracy pokazano zaś, że struktury maserowe o małej jasności wykazują większe zmiany jasności. Przypuszczam więc, że na rys. 8 struktury o większych względnych amplitudach zmian są słabsze (szkoda, że tego nie pokazano np. rozmiarem symbolu). Ponadto praca opisuje bardzo ciekawy przypadek źródła ze składowymi o różnych momentach reakcji na zmianę promieniowania proto-gwiazdy, które jak zauważa autor można powiązać z czasem reakcji na taką zmianę ze względu na różne warunki fizyczne w obszarach odpowiedzialnych za powstanie danych składowych emisji maserowej. Autorzy rekonstruują też na podstawie własnych obserwacji EVN i pomierzonych zapóźnień rozbłysków różnych składowych spektralnych masera trójwymiarowy rozkład spotów maserowych w jednym ze źródeł. Bardzo ważnym wynikiem jest pokazanie, że zmienność w podczerwieni jest bardzo podobna do periodycznej zmienności w natężeniu masera metanolu. Jest to silnym argumentem przemawiającym za pompowaniem masera metanolu promieniowaniem podczerwonym.

Dwie kolejne prace (nr. 12 i nr. 2 w spisie publikacji) dotyczą badania obiektu G107.298+5.639, w którym odkryto okresowe i anty-skorelowane rozbłyski masera wody i metanolu. Ponieważ mechanizmy napędzania tych dwóch maserów są różne (zderzenia z H_2 dla H_2O i pompowanie podczerwone dla CH_3OH), a generowane są one z pobliskich obszarów o podobnych prędkościach więc przyczyna fizyczna wzbudzająca jeden maser prawdopodobnie wygasza drugi. Do takiego wniosku doszli autorzy dzięki obserwacjom EVN metanolu i porównaniu ich z mapami dla masera wody sprzed 8 lat. Na podkreślenie zasługuje fakt wykonania cyklu bardzo częstych obserwacji, które pozwoliły na pokazanie tego zjawiska w przestrzeni prędkości radialnych w bardzo obrazowy sposób (Rys. 1 w pracy nr. 12). Bardzo zaawansowane badania zmienności i rozkładu maserów w tym obiekcie przeprowadził mgr Olech w pracy nr. 2, która jest w pewnym sensie uwieńczeniem dysertacji. Jestem naprawdę pod wrażeniem. Nie wchodząc zbyt głęboko w szczegóły, artykuł silnie przemawia za pompowaniem maserów metanolu i OH przez promieniowanie podczerwone. Jak sugeruje autor najbardziej prawdopodobnym mechanizmem wzrostu jasności masera jest zmienna akrecja z dysku wokół-binarnego odpowiedzialna za periodyczny wzrost promieniowania grzejącego pył. Na uwagę zasługuje również odtworzenie trójwymiarowej struktury maserów metanolu dzięki obserwacjom interferometrycznym, które pokazały, że emisja CH_3OH

pochodzi ze struktury dysko-podobnej powstającej prawdopodobnie w obszarze wypływów z dysku wokół tego młodego podwójnego obiektu proto-gwiazdowego.

Na zakończenie dwie uwagi. Wydaje się rozsądnym stwierdzenie, do którego doszedł mgr Olech ze współpracownikami, że mechanizm powodujący wzrost intensywności maserów metanolu i OH jednocześnie prowadzi do tłumienia masera wody. Masery metanolu i OH są pompowane promieniowaniem podczerwonym z podgrzanego pyłu. Zderzenia gazu z cieplejszym pyłem powinny prowadzić do wzrostu jego temperatury kinetycznej. Czy możliwe jest, że molekuly wodoru zderzające się z cieplejszym pyłem nie termalizują się i nie osiągają temperatury pyłu? Czy dałoby się oszacować czas termalizacji? Druga uwaga dotyczy wykorzystanie danych z WISE do potwierdzenia silnej zależności pomiędzy zmiennością masera metanolu i zmiennością emisji podczerwonej. Jestem ciekaw czy dostępne są dane np. z OGLE czy też innych przeglądów monitorujące zmienność obserwowanych źródeł. Grzanie pyłu jest powodowane wzrostem emisji promieniowania w zakresie UV/optycznym więc zmienność powinna być podobna do tej obserwowanej w maserach periodycznych. Myślę, że możliwe jest też zorganizowanie kampanii obserwacyjnej w bliskiej podczerwieni monitorującej periodyczne źródła metanolu. Pozwoliłoby to precyzyjniej stworzyć scenariusz tego zjawiska.

Podsumowując, uważam pracę Pana mgr Mateusza Olecha za bardzo wartościową i spełniającą z naddatkiem kryteria stawiane rozprawom doktorskim. Jest to jedna z rozpraw doktorskich, którą ze względu na ważkość uzyskanych wyników recenzowałem z dużą przyjemnością i jestem przekonany, że powinna ona zostać wyróżniona. Dodam jeszcze tylko, że „Spis publikacji” zawarty w dysertacji nie jest już aktualny w pozytywnym tego słowa znaczeniu. Magister Olech jest współautorem kolejnej pracy dotyczącej wybuchów masera metanolu w jednym z masywnych młodych obiektów proto-gwiazdowych.

Aby zadośćuczynić wymogom formalnym wnoszę o dopuszczenie magistra Mateusza Olecha do publicznej obrony.

Prof. dr hab. Ryszard Szczerba