



ul. Bartycka 18, 00-716 Warszawa
tel: (22) 841 00 41, (22) 3296 100
fax: (22) 841 00 46
email: camk@camk.edu.pl
http://www.camk.edu.pl

CENTRUM ASTRONOMICZNE IM. MIKOŁAJA KOPERNIKA PAN

dr hab. Tomasz Kamiński
Centrum Astronomiczne im. M. Kopernika w Toruniu
ul. Rabiańska 8, 87-100, Toruń

Recenzja doktoratu pani mgr. A. Kobak pt. "Deriving the nature of the methanol masers in high-mass star-forming regions via multi-wavelengths and polarimetric observations"

Praca Pani A. Kobak składa się ze wstępu oraz trzech prac opublikowanych w *Astronomy & Astrophysics* wraz z załącznikami. Wstęp zawiera zacytowaną jeszcze jednej, obiecującej, publikacji, która jest w przygotowaniu. Deklaracje współautorów przekonują o dominującym wkładzie doktorantki do ogółu pracy zawartej w publikacjach.

Wstęp pracy

Rozdział pierwszy stanowi wstęp teoretyczny, gdzie doktorantka przedstawia kontekst zagadnienia podjętego w badaniach naukowych i gdzie zarysowuje podstawowe zagadnienia teoretyczne i obserwacyjne związane z formacją masywnych gwiazd i emisją maserową. Wybór zagadnień jest przemyślany i w ogólności dobrze pokrywa zbiór pojęć wymaganych do zrozumienia doktoratu. Cytowane referencje są w miarę adekwatne i uwzględniają najnowsze wyniki badań.

Niestety jednak wiele zagadnień jest wyjaśnionych bardzo powierzchownie albo niejasnym językiem. Nie polecam tego doktoratu osobom, które nie miały styczności z tematyką podjętych badań, bo wstępowi brakuje w wielu miejscach naukowego rygoru. W szczególności, tekst wykazuje sporą ignorancję względem spektroskopii molekularnej. Dla przykładu, nie ma rozróżnienia między liniami maserów metanolu A i E. Występują nieścisłości w nazewnictwie obserwowanych przejść OH na 1.6-1.7 GHz, przy różnych wartościach liczby kwantowej całkowitego momentu pędu F (znanych w literaturze jako *main* oraz *satellite*). Często używa się określenia "stanu podstawowego" (ang. *ground state*) bez określenia, że — jak się domyślam — chodzi o podstawowy stan wibracyjny molekuly. Kilka sformułowań nie ma sensu (np. "the brightness [...] is independent of density for gas density at 10^8 cm^{-3} "; strona 9, wersy 10-11). Najbardziej brakuje wyjaśnienia podstawowych pojęć związanych z emisją maserową jak np. saturacja maserów (poruszana w publikacji III). Ponieważ akcja maserowa molekuly stanowi podwaliny pracy doktorskiej, proszę, aby w trakcie obrony doktorantka zaprezentowała w większych szczegółach mechanizm powstawania maserów OH i metanolu oraz określiła, jakie ma znaczenie stan metastabilny z rysunku 1.1 do emisji maserowej w molekułach.

Rozdziały 2.–4. zawierają streszczenia publikacji i są zbędne, skoro każda z prac ma oddzielne streszczenie w formacie A&A, a tekst rozdziałów nie dodaje niczego nowego.

Rozdział 5 *Wstępu* jest krótkim opisem obserwacji z interferometru ALMA, które nie doczekały się jeszcze publikacji. Główną częścią rozdziału są mapy emisji molekularnej i emisji pyłu. Jest to bardzo interesujący materiał obserwacyjny i prezentuje zdolności doktorantki w sporządzaniu map z interferometru ALMA w pakiecie CASA (podczas gdy większość materiału w publikacjach pochodzi z interferometrów operujących na dużo niższych częstościach i wymaga obsługi pakietu AIPS). Wiele informacji w tekście rozdziału brakuje (np. jaki obszar reprezentują widma na rys. 5.2–5.5? Gdzie znajdują się protogwiazdy na wszystkich załączonych mapach?) Analizowane przejścia nie są zdefiniowane ich liczbami kwantowymi (ale są częstości w tabeli). Mapy prezentują kinematykę gazu w emisji termicznej i maserowej, ale charakterystyki te nie są porównane. Pomimo tych braków, zaprezentowany materiał obserwacyjny jest cenny i obiecuje ciekawą publikację w przyszłym dorobku doktorantki.

Rozdział 6 *Wstępu* jest krótkim podsumowaniem pracy, gdzie tylko wyliczono „techniczne” wyniki publikacji. Żałuję, że nie podjęto syntezy całego prezentowanego materiału i nie odniesiono go do współczesnych badań nad formacją masywnych gwiazd. Niestety nie wykorzystano tu możliwości przedyskutowania przyszłych badań w podjętej dziedzinie. Liczę, że doktorantka podejmie się takiej dyskusji w trakcie obrony.

Treść wstępu w rozdziałach 1.–6. jest napisana nieperfekcyjnym angielskim, często z błędami gramatycznymi i stylowymi. Jest to jednak język dostateczny na poziomie akademickim doktorantów i w większości wypadków (70% tekstu) nie miałem problemu z odgadnięciem intencji autorki tekstu. Chcę zauważyć jednak, że dziś bardzo łatwo poprawić gramatycznie tekst przy użyciu darmowych narzędzi online. Doktorantka z nich chyba nie skorzystała, co pogarsza wrażenie nt. *Wstępu*. Pochwalam za to tekst na bardzo nieliczne literówki. Dla porównania, pod względem językowym wszystkie *publikacje* Pani Kobak napisane są bez zarzutu.

Publikacja I, pt. “Multi-frequency VLBI observations of maser lines...”

Publikacja I zawiera imponująco duży i bogaty zestaw danych obserwacyjnych. Doktorantka zademonstrowała w publikacji wyjątkową rzetelność w opisie i analizie danych. Doktorantka wykazała pomysłowość w prezentacji zmian w charakterystyce emisji, zwłaszcza w formach graficznych. Analiza danych jest wielowymiarowa, tj. widać wysiłek w próbach zrozumienia zmian w ekscytacji i kinematyce gazu odpowiedzialnego za emisję maserową. Mam tylko dwie krytyczne uwagi:

- wspomniane w tekście przejścia molekularne są definiowane wyłącznie częstością laboratoryjną, a powinny być choć raz określone poprzez zestaw liczb kwantowych.
- porównanie emisji maserów metanolu na 6 i 12 GHz powinno zaczynać się od określenia różnic w tych dwóch przejściach, ponieważ pochodzą one od różnych form metanolu (E i A) oraz mają różne górne poziomy energetyczne. Są to bardzo istotne parametry do zrozumienia dyskusji o różnicach rozkładu emisji tychże maserów.

Są to dość marginalne uwagi i nie odbierają wrażenia bardzo oryginalnej i dojrzałej pracy doktorantki. Praca bezsprzecznie stanowi ważny wkład do dziedziny badań związanej z wybuchami masywnych protogwiazd. Publikacja I jest najbardziej interesującą częścią doktoratu.

Publikacja II, pt. "Physical conditions around high-mass young star-forming objects..."

W drugiej publikacji przedstawiono znowu bardzo bogaty materiał obserwacyjny dla dwóch przejść maserowych mapowanych interferometrem e-Merlin. W pewnym sensie jest to followup słynnego Toruńskiego przeglądu maserowego OH profesora Szymczaka. Publikacja wraz z załącznikami zajmuje imponujące 30 stron. W publikacji tej doktorantka znowu dokonała bardzo starannej i pomysłowej prezentacji danych, opisując materiał zarówno w aspekcie przestrzennym, spektroskopowym i spektro-polarymetrycznym. Praca jest wręcz wzorcowa pod względem prezentacji i opisu danych. Obserwacje z e-Merlina są dodatkowo uzupełnione danymi archiwalnymi na krótszych falach, m.in. z teleskopów Herschela i Spitzera i z interferometru ALMA. W treści pracy analizie poddano względne położenia regionów emisji maserowej OH i metanolu, ale nie doszukano się żadnych wyraźnych regularności pomiędzy obszarami emisji maserowej; nie znaleziono znaczących związków z lokalnymi warunkami fizycznymi. Choć analiza charakterystyki polarymetrycznej emisji maserów zajmuje prawie połowę artykułu, ta również nie prowadzi do wyraźnych wniosków nt. pól magnetycznych czy struktury obszarów formowania gwiazd. Pomimo tego, publikacja ma wartość naukową jako źródło danych i pomiarów. Mogą one być użyte do bardziej dogłębnych lub statystycznie bardziej znaczących badań. Zwłaszcza pomiary polarymetryczne rozszczepionych Zeemanowsko linii mają duży potencjał. Muszę tu przyznać, że ponieważ praca jest techniczna i kończy się głównie negatywnymi wynikami, jest dla czytelnika nieco nudna. Nie odbiera to jednak jej fachowości i ogromu włożonej pracy.

Mam jedno pytanie dotyczące Załącznika A, gdzie napisano, że temperatury określone na podstawie optycznie grubych linii są przeszacowane. Chciałbym usłyszeć rozumowanie doktorantki w tej kwestii. Czy można odczytać temperaturę ekscytacji z obserwacji pojedynczej optycznie grubej linii (np. z T_b)?

Publikacja III, pt. "A search for the favored hyperfine transition of a 6.7 GHz methanol..."

Publikacja III jest w pewnym sensie rozszerzeniem poprzedniej publikacji dla dwóch silnych źródeł maserowych CH_3OH i OH, ale tym razem przy użyciu nowych obserwacji sieci EVN. Autorzy podejmują się trudnego zadania identyfikacji komponentu nadsubtelnego linii metanolu na 6.7 GHz ($5_6 A^+$), posiłkując się obserwacjami polarymetrycznymi zarówno w tejże linii metanolu, jak i w linii masera OH ($^2\Pi_{3/2} J=3/2 F=3-3$) o podobnej częstotliwości i niemal na tej samej linii widzenia. Praca jest bardzo specjalistyczna i oparta głównie na charakterystyce polaryzacyjnej emisji. Niestety nie mam wystarczającej wiedzy eksperckiej, aby dogłębnie ocenić wszystkie aspekty pracy. W szczególności, w pracy użyto kodu FRTM autorstwa G. Surcisa do transferu promieniowania, który tylko pobieżnie jest opisany w publikacji Pani Kobak, mimo że jest podstawowym narzędziem badawczym pracy. Wszelkie inne aspekty pracy są wręcz wzorcowe, w tym opis oryginalnych obserwacji i szczerą dyskusję błędów mierzonych wielkości. Towarzyszy temu bardzo rzetelny opis przeprowadzonej analizy. Praca kończy się negatywnym rezultatem, tj. nie udaje się zidentyfikować komponentu nadsubtelnego linii metanolu w emisji maserowej, ale słusznie wskazano kierunki przyszłych prób identyfikacji komponentu F linii metanolu. Praca pokazuje, jak bardzo trudno jest znaleźć takie linie widzenia, gdzie obydwa masery są zanurzone w dokładnie tym samym polu magnetycznym. Dodatkowym wynikiem pracy jest ocena zmian własności źródeł względem wcześniejszych

obserwacji. Pani Kobak i jej zespół skutecznie wycisnęli z danych wszelkie wartościowe informacje.

Podsumowanie

Publikacje Pani A. Kobak są bardzo wysokiej jakości i bezsprzecznie pokazują, że opanowała warsztat badań astronomicznych związanych z polarymetrią radiową maserów. Wszystkie prezentowane dane są oryginalne a przedstawiona analiza stanowi użyteczny przyczynek do badań nad formacją gwiazd i podstawami emisji maserowej metanolu (i rodnika OH). Badania Pani Kobak są często oparte na danych z szerokiego zakresu widma i z różnych instrumentów, w tym VLBI, VLBA, EVN, LBA, e-Merlin, RT4, ALMA, Herschel, Spitzer, WISE, itd. Jest to imponująca lista źródeł danych i przekonuje, że doktorantka nabyła zdolności do kontynuowania samodzielnej pracy w astronomii obserwacyjnej. Publikacje napisane są w bardzo międzynarodowymi zespołami badawczymi (nawet 12 różnych afiliacji), co odbieram jako kolejną oznakę świetnego przygotowania pani A. Kobak do pracy współczesnego astronoma/astrofizyka.

Wierząc, że w trakcie publicznej obrony doktorantka rozwieje moje wątpliwości i uwagi związane ze wstępem do rozprawy doktorskiej, proponuję rozważenie przyznania pani A. Kobak doktoratu z wyróżnieniem. Proponuję wyróżnienie, ponieważ w publikacjach I–III Pani Kobak wykazała się dużym poziomem profesjonalizmu i poradziła sobie wyjątkowo efektywnie z trudnym materiałem obserwacyjnym. Doktorantka rokuje na rzetelną i dociekliwą naukowczynię.

Wobec powyższego stwierdzam, że przedstawiona mi praca doktorska Pani A. Kobak spełnia wszystkie wymagania, w tym wymagania zawarte w uchwale Senatu UMK nr 38 z dnia 26 września 2023 r. i w Ustawie *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (t.j. Dz.U. z 2020 r. poz.85 z późn. zm.). Wnoszę o dopuszczenie Pani mgr Agnieszki Kobak do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Tomasz Kamiński
Toruń, 26 stycznia 2026

Digitally signed by Tomasz Kamiński
Date: 2026.01.27 13:09:28 CET