



***Recenzja rozprawy doktorskiej zatytułowanej
„Deriving the nature of the methanol masers in high-mass star-forming
regions via multi-wavelength and polarimetric observations”
autorstwa pani mgr Agnieszki Kobak***

Ramy prawne i formalne niniejszej recenzji

Recenzję sporządzono w oparciu o wymagania zawarte w paragrafie 25 uchwały Senatu Uniwersytetu Mikołaja Kopernika (UMK) nr 38 z dnia 26 września 2023 roku. Wymogi te są oparte na przepisach postępowania w sprawie nadania stopnia naukowego doktora zawartych w ustawie *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dnia 18 lipca 2018 roku z późniejszymi zmianami. Warunki stawiane rozprawom doktorskim zostały określone w art. 187 Ustawy. W odniesieniu do dziedziny astronomia, wymaganiem (również ugruntowanym w środowisku) jest, by rozprawa doktorska prezentowała ogólną wiedzę teoretyczną kandydata oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Ponadto, przedmiotem rozprawy doktorskiej powinno być oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Rozprawę doktorską może stanowić praca pisemna, w tym zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych. Do rozprawy doktorskiej powinno być dołączone streszczenie.

Uwagi ogólne dotyczące pracy doktorskiej

Praca doktorska, dotycząca badania formowania się masywnych gwiazd w oparciu o analizy emisji maserowej metanolu CH_3OH na częstotliwościach 6.7 (głównie), 12.2, 22.2 GHz oraz wzbudzonej molekuly OH (ex OH) na częstotliwości 6.035 GHz, składa się z dwóch części napisanych w języku angielskim. Pierwszą z nich (na potrzeby tej recenzji) nazywam „Przewodnikiem”. Liczy ona 58 stron numerowanych oraz stronę tytułową. Druga część pracy liczy 69 stron i przedstawia trzy publikacje naukowe Doktorantki.

Praca została napisana pod opieką prof. UMK, dr hab. Anny Bartkiewicz oraz dr Kathariny Immer z European Southern Observatory.

Praca składa się ze strony tytułowej, spisu treści, wstępu, omówienia trzech publikacji, przedstawienia obserwacji ALMA, podsumowania, bibliografii oraz wiernej kopii trzech publikacji naukowych Doktorantki. Układ pracy, szata graficzna oraz stylistyka są na bardzo dobrym poziomie.

W „Abstrakcie” opisana jest charakterystyka rozprawy oraz podane są jej główne wyniki.

„Wprowadzenie” podzielono na cztery części zatytułowane: „Formowanie się bardzo masywnych obiektów gwiazdowych”, „Emisja maserowa”, „Pole magnetyczne” oraz „Cel rozprawy”. W pierwszej opisano w skrócie jak formują się masywne gwiazdy. W części drugiej „Wprowadzenia” podano podstawy teoretyczne emisji maserowej. W kolejnych dwóch częściach omówiono rolę pola magnetycznego w formowaniu bardzo masywnych gwiazd oraz sposoby pomiaru tego pola.

W części czwartej „Wprowadzenia” podano cel rozprawy, który osiągnięto dzięki wykonaniu badań zaprezentowanych tutaj w postaci trzech publikacjach i dodatkowo nieopublikowanych jeszcze analiz, których wstępne wyniki zaprezentowano w rozprawie.

W Rozdziale drugim, trzecim i czwartym zostało zamieszczone podsumowanie trzech publikacji Doktorantki. W Kolejnym rozdziale Autorka w obszerny sposób przedstawia wyniki nieopublikowanych jeszcze badań dotyczących emisji na falach milimetrowych, pochodzącej z pięciu struktur maserowych uformowanych w kształcie pierścieni.

W Rozdziale szóstym pani Kobak podsumowuje główne wyniki swoich badań.

Dalej, umieszczony jest - liczący aż czternaście stron - spis publikacji cytowanych w Przewodniku.

Druga część rozprawy zawiera trzy artykuły naukowe Doktorantki, które opublikowane zostały w 2023 i 2025 roku w poczytnym, recenzowanym czasopiśmie fachowym *Astronomy and Astrophysics*:

[P1] *Multi-frequency VLBI observations of maser lines during the 6.7 GHz maser flare in the high-mass young stellar object G24.33+0.14*, Kobak, A., Bartkiewicz, A., Szymczak, M., oraz 13 innych współautorów, 2023, A&A, 671, 135;

[P2] *Physical conditions around high-mass young star-forming objects via simultaneous observations of excited OH and methanol masers*, Kobak, A., Bartkiewicz, A., Rygl, K. L. J., Richards, A. M. S., Szymczak, M., Wolak, P., 2025, A&A, 695, 149;

[P3] *A search for the favored hyperfine transition of a 6.7 GHz methanol maser line*, Kobak, A., Surcis, G., Bartkiewicz, A., Vlemmings, W. H. T., Szymczak, M., 2025, A&A, 701, 101.

Trzy wyżej wymienione publikacje pani Kobak posiadają łącznie 19 cytowań (wg bazy ADS na 23.01.2025).

Wkład p. Kobak, konsekwentnie pierwszej autorki w publikacje [P1], [P2] oraz [P3] jest dominujący i według Jej oświadczenia wynosi, odpowiednio 40, 70 i 60%. Jest to w zasadzie zgodne z przedstawionymi oświadczeniami niektórych współautorów.

W przypadku [P3] oświadczenia współautorów sumują się dokładnie do 40%. Dla [P2] łączny wkład wszystkich współautorów będzie wynosił co najwyżej 30%, jeżeli wkład ostatniego z nich p. dr P Wolaka, który nie przedstawił oświadczenia, będzie mniejszy lub równy 2%. W przypadku [P1] oszacowanie wkładu poszczególnych autorów jest trudniejsze, ponieważ dwanaścioro z nich (licząc od końca listy autorów) nie przedstawiło oświadczeń. Moje zaskoczenie budzi brak oświadczenia szóstego współautora od początku listy p. dr. Wolaka, który jest pracownikiem UMK. Jednakże i bez wyżej wymienionych oświadczeń, deklarowany 40% wkład Doktorantki wydaje się być racjonalny.

Problematyka pracy doktorskiej

Doktorantka w rozprawie postawiła sobie zadanie polegające na badaniu formowania się masywnych gwiazd w oparciu o analizy emisji maserowej metanolu oraz wzbudzonej molekuly OH. Analizowane obserwacje



UNIWERSYTET
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

Obserwatorium

Astronomiczne

ul. Orla 171

PL 30-244 Kraków

tel. +48(12) 623-86-20

fax +48(12) 425-13-18

<http://www.aa.uj.edu.pl>



UNIWERSYTET
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

Obserwatorium

Astronomiczne

emisji maserowej posiadają duże kątowe zdolności rozdzielcze i były uzyskane przy pomocy interferometrów Very Long Baseline Array, European VLBI Network i Multi-Element Remotely Linked Interferometer Network, a na falach milimetrycznych za pomocą Atacama Large Millimeter/submillimeter Array. Doktorantka próbowała umieścić badane źródła emisji maserowej w odniesieniu do dysku protogwiazdowego czy skolimowanych wpływów centralnych. Udało się Jej również estymować wartości pola magnetycznego w tych obiektach.

W pierwszej publikacji [P1] p. Kobak przedstawiła rezultaty badań rozbłysku maserowego stowarzyszonego z masywnym młodym obiektem gwiazdowym G24.33+0.14. Doktorantka dokonała szczegółowej analizy rozmieszczenia i morfologii obłoków maserowych w tym obiekcie. Posiłkowała się emisją w zakresie podczerwieni i fal submilimetrycznych. Doszła m.in. do wniosku, że rozbłysk maserowy nie jest skorelowany z epizodyczną akrecją materii na centralny obiekt.

W drugiej publikacji [P2] Doktorantka wraz z zespołem przedstawiła rezultaty badań nad związkiem emisji generowanym przejściem w metanolu na częstotliwości 6.7 GHz, a podobnym we wzbudzonej molekuły OH na częstotliwości 6.0 GHz. Badania przeprowadziła na próbce dziesięciu masywnych protogwiazd. Celem tych analiz było poznanie warunków fizycznych panujących wokół formujących się młodych gwiazd i próba estymacji wartości podstawowych parametrów tych obiektów. Doktorantka analizowała, m.in. wzajemną konfigurację ww. dwóch typów maserów. Jej wyniki pokazały koincydencję emisji dwóch przejść maserowych, która jest prawdopodobnie związana z lokalnymi zmianami własności fizycznych ośrodka w niewielkich skalach - kilkaset jednostek astronomicznych. Pani Kobak estymowała również natężenie i orientację pola magnetycznego za pomocą analizy przejścia maserowego wzbudzonej molekuły OH. Otrzymała wartości natężenia pola magnetycznego wynoszące przeciętnie kilka miliGaussów. Ponadto, nie stwierdziła związku między orientacją pola magnetycznego a centralnymi wpływami materii.

Trzecia publikacja [P3] przedstawia wyniki analizy pola magnetycznego dla dwóch przejść maserowych - metanolu na 6.7 GHz i wzbudzonej molekuły OH na częstotliwości 6.0 GHz. Doktorantka podjęła próbę określenia dominującej wartości współczynnika rozszczepienia linii spektralnych w efekcie Zeemana dla przejścia maserowego na 6.7 GHz. W ten sposób udało się Jej zawęzić wybór możliwych współczynników do trzech spośród ośmiu.

Prócz wymienionych wyżej opublikowanych artykułów, w ostatnim rozdziale rozprawy Doktorantka przedstawia zarys kolejnej publikacji. Analizuje tutaj emisję na falach milimetrycznych pochodzącą z pięciu układów masywnych młodych protogwiazd, w których już wcześniej zidentyfikowano emisję maserową związaną ze strukturami w kształcie pierścieni. Doktorantka porównuje ją z emisją masera metanolowego na częstotliwości 6.7 GHz. Dane uzyskane przy pomocy interferometru ALMA pozwoliły, po raz pierwszy, na bezpośrednie przyjrzenie się otoczeniu formującej się gwiazdy z rozdzielczością kątową porównywalną z tą, uzyskiwaną dla obserwacji maserów za pomocą sieci VLBA. Wstępne wyniki Doktorantki pokazują, że

ul. Orla 171

PL 30-244 Kraków

tel. +48(12) 623-86-20

fax +48(12) 425-13-18

<http://www.oa.uj.edu.pl>

masery metanolowe niekoniecznie są powiązane z dyskami i należy rozważyć bardziej skomplikowane i wyrafinowane scenariusze ich tworzenia.



UNIwersytet
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

Obserwatorium

Astronomiczne

Ocena pracy doktorskiej

Pani mgr Agnieszka Kobak wybrała jako przedmiot swojej analizy i pracy badawczej ciekawe, oryginalne zagadnienie, dobrze zdefiniowała problem naukowy, dobrze przemyślała strategię jego rozwiązania i użyła dla osiągnięcia stawianych sobie celów odpowiednich narzędzi badawczych. Świadczy to o Jej wysokich kompetencjach naukowych i samodzielności.

Artykuły składające się na doktorat mgr Kobak stanowią monotematyczny cykl poświęcony wysokorozdzielczym badaniom emisji maserowej pochodzącej z dysków wokół młodych masywnych gwiazd. Wkład merytoryczny Doktorantki do tych prac jest znaczący.

Uważam, że wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w art. 187 Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 18 lipca 2018 roku z późn. zm. zostały przez panią mgr Agnieszkę Kobak spełnione.

Podsumowując, moja ocena rozprawy doktorskiej jest jednoznacznie pozytywna.

Uwagi krytyczne

Niestety Autorka nie ustrzegła się w rozprawie drobnych nieścisłości i nieprecyzyjnych sformułowań. Poniżej wymieniam niektóre z nich.

Uwagi/pytania merytoryczne, które poniżej wymieniam - według kolejności występowania w pracy:

- 1) Na mapach widocznych na Rys. 5.1 nie umieszczono profilu wiązki.
- 2) Na str. 44 pojawia się następujące sformułowanie: "The analysis of 6.7 GHz methanol maser cloudlets in comparison with 12.2 GHz methanol and 22.2 GHz water maser emission allowed us to fit a Keplerian rotation model of a disk-jet system, ..." mylnie sugerujące układ dwuciałowy: dysk i dżet.
- 3) Autorka rozprawy w kilku jej miejscach stosuje pojęcia żargonowe, np. na str. 44 pojawia się sformułowanie "thermal spectral lines".
- 4) W pracy [P1] w rozdziale 2.2 nie podano szczegółów dotyczących redukcji danych. Pojawia się zdawkowa formuła „We used a standard approach to reduce the data using the National Radio Astronomy Observatory (NRAO) Astronomical Image Processing System (AIPS) package”, którą należało chociażby opatrzyć cytatem do odpowiedniej publikacji, w której te szczegóły się znajdują.
- 5) W pracy [P1] na str. 8 pojawia się zdanie: „Considering the brightest feature at the LSR velocity of 115.3 km s⁻¹, we estimate that the 2019 flare lasted 280+/-3 days”. Interesuje mnie, w jaki sposób uzyskano tą wartość i jej błąd.

ul. Orła 171

PL 30-244 Kraków

tel. +48(12) 623-86-2

fax +48(12) 425-13-1

<http://www.aa.uj.edu.pl>



- 6) W pracy [P2] na str. 8 podano „The mean value of the PAs of the electric vector planes is $29 \pm 13^\circ$, indicating a magnetic field directed approximately along -61° .” Czy uwzględniono tutaj skręcenie Faradaya, tzn. czy wartość RM jest w tym przypadku zaniedbywalna?
- 7) W Tabeli C1 [P2] nie podano błędów niektórych wielkości fizycznych, np. gęstości strumienia, natężenia pola magnetycznego.
- 8) W Tabeli C2 [P2] nieprawidłowo zaokrąglano pewne wartości, np. m_1 - w pierwszej linii podano 24, a dokładna wartość m_1 wynosi 24.53, w drugiej linii 38, a dokładna wartość m_1 jest równa 38.77; dla m_f w pierwszej linii na str. 22 podano 97, podczas gdy dokładna wartość wynosi 97.86.

Uwagi edytorskie i inne:

- 1) Na str. 6, pod koniec rozdziału 1.2 pojawia się akronim „HMYSOs” – nie był on jednak wcześniej zdefiniowany. Podobnie, nie podano definicji dla skrótu „LBA” na str. 18.
- 2) Na str. 7 pojawia się zbitka dwóch zdań „First, the atom has to be excited to the upper level. First, the atom must be excited to a higher energy level”.
- 3) Na str. 8 (i również dalszych częściach Przewodnika) pojawiają się niepotrzebne podwójne nawiasy: „((e.g., Menten, 1991; Breen et al., 2010a; Fujisawa et al., 2014; Szymczak et al., 2020))”.
- 4) W pracy [P1] na str. 2 pojawia się zapis 2.4° , (powinno być $2.^{\circ}4$, tzn. symbol stopni nad kropką) inne współrzędne są zapisywane prawidłowo np. 03."9242, tzn. symbol sekund łuku pojawia się nad kropką.
- 5) Moim zdaniem w Tabeli 2 [P1] niepotrzebnie powielano we współrzędnych: w rektascensji - godziny i minuty czasu oraz w deklinacji - stopnie i minuty łuku.
- 6) W Tabeli C.3 [P2] jako jednostki rektascensji podano „h m s s”, a deklinacji „ $^{\circ} ' '' ''''$ ”.
- 7) Pod Rys. D.1 [P2] podano w podpisie „Jy beam-1” powinno być podpisie „Jy beam⁻¹”.
- 8) Zapis podawanych referencji w *Bibliografii* (str. 45-58) jest wadliwy i w dużym stopniu niejednorodny. Brakuje np. tytułów czasopism, zamiast parametrów opublikowanych artykułów podaje się ich numery z archiwum astro-ph, np.: zamiast „A. Bartkiewicz, A. Sanna, M. Szymczak i in. 2024 arXiv:2404.07333”, powinno być „2024, A&A, 686, 275”, niektóre referencje nie są podane wg kolejności alfabetycznej.



UNIwersytet
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

Podsumowanie

Przedstawiona rozprawa, w świetle powyższego wyводу, spełnia formalne i zwyczajowe kryteria stawiane pracy doktorskiej. W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie Pani mgr Agnieszki Kobak do dalszych etapów postępowania, w tym publicznej obrony.

Wnoszę ponadto, biorąc pod uwagę nowatorski i szeroki zakres oraz ważne wyniki, o wyróżnienie rozprawy. Podjęty projekt doktorski jest ważny dla zrozumienia procesu formowania masywnych gwiazd. Przyniósł on wartościowe wyniki, opublikowane w poczytnym periodyku. Są już wielokrotnie cytowane. Interesujące wydają się konkluzje, zawarte w trzeciej publikacji [P3], wskazujące, że konfiguracja pola magnetycznego w obiektach ON1 i W75N nie zmieniła struktury w przeciągu kilkudziesięciu lat. Co więcej, natężenie pola magnetycznego w obu źródłach, wyznaczone w oparciu o emisję masera ex-OH próbującego dalsze obszary od centrum, również nie zmieniło się w tym okresie. Natomiast natężenie pola wzrosło w rejonie bliższym protogwiazdy, co stwierdzono na podstawie badania emisji masera CH₃OH.

Obserwatorium

Astronomiczne

Podpisany elektronicznie przez
Marek Tomasz Jamroz
29.01.2026
14:53:39 +01'00'

ul. Orla 171

PL 30-244 Kraków

tel. +48(12) 623-86-2

fax +48(12) 425-13-

<http://www.oi.uj.edu.pl>