



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 PAN w Toruniu
ul. Rabiańska 8, 87-100, Toruń

Recenzja pracy doktorskiej Pani magister Agnieszki Mirochy pt. *Występowanie i własności promieniowania ultrafioletowego w obszarach powstawania gwiazd w Drodze Mlecznej.*

Przedstawiona mi praca Pani mgr Agnieszki Mirochy została napisana pod opieką prof. dr hab. Agnieszki Pollo i dr Agaty Karskiej na Uniwersytecie Jagiellońskim w Krakowie. Dysertacja napisana jest w języku polskim. Struktura i skład pracy są przejrzyste i odpowiadają dawniej popularnej formie doktoratów, gdzie rozdziały są napisane tak, aby tworzyć spójną logicznie całość. Rozdziały będące wynikiem współpracy doktorantki z innymi badaczami opatrzone są notatką opisującą wkład doktorantki. Jest to bardzo pomocne dla recenzenta. Na podstawie tychże notatek i deklaracji współautorów wnioskuję, że przedstawiony materiał zawiera dominujący i często oryginalny wkład doktorantki do prezentowanych badań. Poniżej prezentuję recenzje poszczególnych rozdziałów.

Rozdział 1. jest wstępem teoretycznym pracy, który w zwarty, ale kompleksowy sposób przedstawia stan badań nad powstawaniem gwiazd o różnych masach. Doktorantka wykazuje w nim dogłębną i szeroką znajomość tematu, cytując najlepszą literaturę i nie pomijając współczesnych wyników badań w tej dziedzinie. W sposób bardzo elegancki dyskutuje wpływ promieniowania ultrafioletowego na środowisko młodych gwiazd, zarówno w kontekście zewnętrznych źródeł promieniowania, fal uderzeniowych, jak i promieniowania pochodzącego od samej gwiazdy. Pomimo że są to zagadnienia dość zawiłe, praca prezentuje je w sposób bardzo przystępny. Uważam, że rozdział pierwszy demonstruje szeroką wiedzę doktorantki.

Rozdział 2. dotyczy użytych w pracy obserwatoriów, głównie podczerwonych i na fale milimetrowe/submilimetrowe. Doktorantka w sposób zadowalający prezentuje znajomość współczesnych technik obserwacyjnych i wprowadza podstawowe pojęcia dotyczące przejść atomowych i molekularnych. Wybór linii widmowych nie zawsze jest uzasadniony. W Rozdziale 3. przedstawia się implementacje transferu promieniowania i reakcji chemicznych w programach RADEX i Nahoon. Doktorantka słusznie dyskutuje uproszczenia obydwu implementacji i krótko

dyskutuje ich znaczenie. Rozdziały 2. i 3. przekonują mnie, że Pani Mirocha ma szeroką wiedzę w podjętej dziedzinie badań i rozumie skomplikowane konteksty przedmiotu badań.

Rozdział 4. jest tłumaczeniem pracy opublikowanej w A&A i stanowi oryginalne podejście do problemu wpływu obecności promieniowania UV na środowiska formacji małowasywnych gwiazd. Większość zastanej literatury rozważa podobny problem w kontekście obszarów formowania się gwiazd masywnych, gdzie pola natężeń od samych gwiazd i fal uderzeniowych są bardziej intensywne i bardziej energetyczne. W tym sensie praca ma element nowatorski. Badania opisane przez Panią Mirochę skupiają się na jednoczesnej obserwacji linii molekuł HCN i CN, których powstanie i destrukcja może być regulowana poprzez silne pole promieniowania UV. W opisanym studium obserwowano kilkanaście protogwiazd w obszarze gwiazdotwórczym w konstelacji Węża, co uważam za celny wybór — kontekst gromady ułatwia bowiem interpretację wyników i porównania pomiędzy indywidualnymi obiektami. W Rozdziale 4.3 Pani Mirocha wykazała się obyciem z warsztatem ‘astronoma submilimetrowego’ i kompleksowo przeanalizowała stosunki obserwowanych linii wieloma metodami, w tym użyła kilku metod do poprawki obserwowanych natężeń na grubość optyczną emisji (np. używając obliczeń RADEXem, bezpośrednio z definicji grubości optycznej, czy na podstawie względnych natężeń komponentów nadsubtelnych przejść). Imponuje tu determinacja określenia stosunków z największą precyzją. Bardzo dobrze poradzono sobie też z kwestią temperatury gazu i gęstością materii — choć wartości tych parametrów musiano założyć *ad hoc*, to dobrze uzasadniono ich stosowność lub brak silnego wpływu na ostateczne wyniki. Za najbardziej oryginalny element pracy uważam próby porównania obserwacji do modeli fotochemicznych posilkujących się modelami z bazy Nahoon. Dyskusja wyników też jest bardzo ciekawa i odnosi się do najbardziej bieżących badań w dziedzinie, np. do wyników z misji Rosetta czy projektu WISH.

Mam też jednak uwagi krytyczne do Rozdziału 4.

- Błędnie opisano skale mapy na Rysunku 12 (powinno być F_{ν} skoro używa się jednostek Jy). Kolejność rysunków nie odpowiada kolejności ich opisu w tekście. Na stronie 54 zdanie “Różnice w rozkładzie przestrzennym emisji tych dwóch molekuł wynikają najprawdopodobniej z wyższej gęstości krytycznej linii HCN $J=1-0$ i jej niższej energii górnego poziomu, co sprawia, że molekula ta jest częściej fotodysocjonowana niż molekula CO.” jest niepoprawne. Tak niski poziom energetyczny nie ma znaczenia dla dysocjacji. Może chodziło o częstsze wzbudzenie?
- Dość bezrefleksyjnie podjęto się oszacowania parametrów fizycznych źródeł na podstawie SEDów skonstruowanych dla pomiarów na bardzo różnych skalach przestrzennych.
- Rozdział 4. jest niejasny w kontekście materiału prezentowanego w rozdziałach wcześniej. Brakuje opisu, które z opisanych obserwatoriów użyto to analizy spektralnej źródeł w Wężu (wnioskuję, że tylko IRAM i APEX, ale nie jest to oczywiste).
- Dyskusja wyników jest dość jednostronna i podkreśla dominującą rolę fal uderzeniowych na względny stosunek obfitości molekuł CN i HCN. Nie rozważa się w sposób otwarty wpływu innych pól promieniowania na środowisko. Skoro obserwuje się wpływy

świadczące o akrecji, to czy błyski związane z akrecją mogą być odpowiedzialne za wzrost obfitości CN bliżej źródeł wypływów?

- Wydaje mi się, że wyniki pracy są mniej konkluzywne niż jest to opisane w podsumowaniu Rozdziału 4. Ograniczenia związane z kątową zdolnością rozdzielczą i wyborem linii widmowych nie pozwalają na jednoznaczne wnioski. Gdyby móc zaplanować program od początku, jakiego rodzaju obserwacje doktorantka starałaby się zdobyć, aby rozwiązać problem natury i wpływu promieniowania UV na obszary powstawania mało-masywnych gwiazd? (O odpowiedź proszę w trakcie publicznej obrony).

Wymienione uwagi są dość subiektywne i nie zmieniają mojego ogólnego dobrego wrażenia o pracy. Publikacja wyników Rozdziału 4. w A&A przekonuje, że Pani Mirocha posiada umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Rozdział 5. prezentuje wyniki, które dopiero mają stać się częścią publikacji. Rozdział dotyczy obszaru wokół obiektu DR21, który tylko bardzo skrótowo jest opisany we wstępie do rozdziału. Kilku dodatkowych uwag co do natury źródła można doszukać się pod koniec rozdziału. Ponieważ DR21 nie jest typowym obszarem gwiazdotwórczym, a przez wielu jest klasyfikowany jako jeden z nielicznych wybuchowych wypływów (ang. *explosive dispersal outflows*) spodziewałem się bardziej dogłębnego wprowadzenia do tematu. Środowisko obiektu DR21 prawdopodobnie powstało na skutek silnego oddziaływania dynamicznego gwiazd gromady i zasadne jest pytać, jaki ma to wpływ na aktualny stan fizyczny obiektu i co z jego charakterystyki można odnosić do innych obszarów formowania gwiazd masywnych. Chciałbym też, aby w trakcie obrony doktorantka wyjaśniła, dlaczego uważa, że przeanalizowane dane świadczą przeciw interpretacji wybuchowego pochodzenia obszaru. (Czy zdolność rozdzielcza obserwacji jest wystarczająca na taki wniosek?) We wstępie zawyżono masę wypływu, która wynosi kilkaset mas Słońca (Guzmán Ccolque+ 2024), a nie 3000. Szkoda również, że nie porównano analizowanych map emisji w dalekiej podczerwieni z mapą emisji w H_2 .

Interesującą i oryginalną częścią rozdziału jest analiza wzbudzeniowa linii CO i linii atomowych. W sposób przekonujący wyznaczono temperatury ekscytacji gazu zawierającego CO i temperaturę elektronową obszarów jasnych w emisji [O I] i [O III]. Trudno mi jednak prześledzić ciąg myślowy, który doprowadził do Rysunku 50, gdzie założono odgórnie gęstości kolumnowe O I tak, aby obserwowane linie były optycznie cienkie; tekst wyraźnie wskazuje, że emisja [O I] na 63 μm jest optycznie gruba. Nie zmienia to jednak wrażenia, że starano się bardzo skrupulatnie zmierzyć parametry fizyczne gazu. Ta część pracy przekonuje, że doktorantka nabyła umiejętności niezbędnych do samodzielnej pracy naukowej w tej dziedzinie badań.

Inny cenny aspekt pracy to bezpośrednie porównanie obserwacji do modeli napromieniowanych szoków i PDRów, gdzie starano się określić rolę (lub oznaki) silnego zewnętrznego (względem fal uderzeniowych) pola UV. Doktorantka skorzystała z kilku modeli, a porównanie do pracy Lehman+ 2022 doprowadziło do zaskakująco jednoznacznego wniosku, że wymagane jest silne zewnętrzne pole promieniowania. Uważam to za oryginalny i ciekawy wynik.

Podsumowując wszystkie rozdziały, uważam, że doktorantka wykazała się w pracy bardzo dobrą znajomością podjętej tematyki badań i rozumie zawile problemy metodologiczne typowe dla spektroskopii w dalekiej podczerwieni i w zakresie fal (sub-)milimetrycznych. Opublikowana przez doktorantkę praca jest ciekawa i cytowana przez innych badaczy, co dobitnie świadczy o tym, iż opanowała warsztat zawodowego astronoma. Dzisiejszym praktycznym standardem w dziedzinie astronomii są prace doktorskie, gdzie doktoranci prezentują wyniki kilku (typowo trzech) publikacji. Dysertacja Pani Mirochy zawiera materiał na jedną, potencjalnie dwie prace. Jest to jednak dobrej jakości i oryginalny materiał, tak więc uważam, że spełnia wymagania formalne stawiane doktorantom w naszej dziedzinie. Dodatkowo rozdziały pracy stworzone na podstawie współpracy Pani Mirochy z innymi badaczami bezsprzecznie demonstrują jej umiejętność do pracy w zespole, co jest ważnym wymogiem w pracy współczesnego astrofizyka/astrofizyczki.

Cała praca jest napisana w języku polskim, ale (co jest zrozumiałe) wiele obrazków i wykresów jest opisanych w języku angielskim. Pomimo że język czy styl pracy nie stanowi według ustawy kryterium oceny dysertacji, chciałbym pochwalić doktorantkę za trud tłumaczenia terminów astronomicznych na język polski. Wstęp rozprawy może być obecnie jedynym aktualnym i kompetentnym tekstem po polsku wprowadzającym do tematyki badań młodych gwiazd.

W świetle powyższych uwag ja niżej podpisany stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia warunki określone 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 Mirochy do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Tomasz Kamiński
Toruń, 26 lipca 2024

Signature Not Verified

Digitally signed by  Tomasz Kamiński
Date: 2024.07.30 14:07:17 CEST