



Warszawa, 17.07.2024 r.

dr hab. Katarzyna Małek  
Narodowe Centrum Badań Jądrowych  
Zakład Astrofizyki  
ul. Pasteura 7  
02-093 Warszawa

**Recenzja rozprawy doktorskiej magister Aleksandry Leśniewskiej zatytułowanej  
„The Interstellar Medium. What it can tell us about stars that form it and evolve within it”**

**I. Podstawa opracowania**

Recenzja została sporządzona w związku z powołaniem mnie przez Radę Naukową Dyscyplin Nauki Fizyczne i Astronomia Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu z dnia 24 maja 2024 roku na recenzentkę pracy doktorskiej magister Aleksandry Leśniewskiej.

**II. Ogólna charakterystyka rozprawy**

Opiniowana przeze mnie praca doktorska magister Leśniewskiej, wykonana pod kierunkiem dr hab. Michała Jerzego Michałowskiego i doktora Jakuba Nadolnego, dotyczy analizy ośrodka międzygwiazdowego w różnych skalach przesunięć ku czerwieni i charakterystyki źródeł. Rozprawa doktorska napisana jest w języku angielskim. Składa się z pięciu rozdziałów i bibliografii. Bibliografia zawiera wiele prac opublikowanych w ostatnich latach, w tym również obszerną listę publikacji promotora pracy doktorskiej. Rozdział pierwszy stanowi wstęp do pracy, kolejne trzy rozdziały to przedruki z opublikowanych artykułów, a rozdział piąty zawiera podsumowanie pracy.

**W rozdziale pierwszym**, stanowiącym wstęp rozprawy doktorskiej, mgr Leśniewska bardzo zgrabnie nakreśla charakterystykę pyłu i gazu znajdujących się w ośrodku międzygwiazdowym. W rozdziale tym porusza zagadnienie detekcji i źródeł pyłu, a także możliwych mechanizmów odpowiedzialnych za usuwanie pyłu z ośrodka międzygwiazdowego. W tym samym rozdziale kandydatka opisuje także czym są galaktyki wczesnego typu. W rozdziale pierwszym jest też informacja o gazie znajdującym się w obszarze międzygwiazdowym i możliwościach jego detekcji. Ostatni z podrozdziałów dotyka także kwestii błysków gamma. Krótkie podsumowanie celu (a w zasadzie celi, bo są one podane w liczbie mnogiej) można znaleźć na końcu tego rozdziału.

**Rozdział drugi** jest przedrukiem pracy „Dust production scenarios in galaxies” A. Leśniewska i M. Michałowski, Astronomy and Astrophysics, 2019. Jest to bardzo dobrze cytowana publikacja (na

dzień 16.07.2024 roku artykuł też został zacytowany 64 razy według ADS NASA database), w której kandydatka analizuje różne możliwe scenariusze produkcji pyłu w dziewięciu galaktykach o wysokim przesunięciu ku czerwieni. W swojej analizie kandydatka skupia się na sprawdzeniu czy produkcja pyłu przy pomocy gwiazd z asymptotycznej gałęzi olbrzymów (AGB) i wybuchów supernowych może być odpowiedzialna za całą ilość pyłu obserwowanego w galaktykach 900-600 milionów lat po wielkim wybuchu. Z przeprowadzonej analizy wynika, że same gwiazdy AGB nie mogą być odpowiedzialne za ilość pyłu obserwowanego w galaktykach o wysokim przesunięciu ku czerwieni. Przyjęcie hipotezy o bardzo wydajnym tworzeniu pyłu podczas wybuchów supernowych może tłumaczyć obserwacje, jednak wydaje się, że sama ewolucja pyłu, bez udziału gwiazd, musi odrywać tu znaczącą rolę.

W **rozdziale trzecim** kandydatka analizuje możliwości wpływu morfologii na tempo usuwania pyłu z zapylnych galaktyk eliptycznych. Rodział ten jest przedrukiem pracy A. Leśniewska i inni, „The Fate of the Interstellar Medium in Early-type Galaxies. II. Observational Evidence of Morphological Quenching” *Astronomy and Astrophysics*, 2023. W próbce ~2 tysięcy galaktyk ETG w naszym Lokalnym Wszechświecie (0.01-0.32) wyselekcjonowanych z katalogu GAMA mgr Leśniewska badała korelacje pomiędzy parametrami fizycznymi galaktyk, takimi jak masa pyłu, masa gwiazdowa, tempo tworzenia gwiazd, wiek populacji gwiazdowych, profil Sersica i gęstość środowiska. Celem przeprowadzonej analizy było oszacowanie skali czasowej, jaka jest potrzebna do usunięcia pyłu z ośrodka międzygwiazdowego z zapylnych galaktyk wczesnego typu. Czas ten, oszacowany na 2.3 +/- 0.2 miliarda lat, odpowiada skali czasowej usuwania pyłu znalezionej w pracy Michałowski et al., 2019. Wartość ta, ze względu na bardzo krótki okres trwania, sugeruje istnienie morfologicznego wpływu na spadek tempa tworzenia się gwiazd w tych galaktykach. Jest to bardzo ciekawy artykuł, zawierający szereg interesujących kroków w analizie danych. Także wynik, w którym kandydatka wykazuje, że spadek masy pyłu nie jest skorelowany ze spadkiem masy gwiazdowej jest bardzo cennym wkładem w dyscyplinę.

**Rozdział czwarty** poświęcony jest analizie jednego wydarzenia astrofizycznego jakim jest rozbłysk gamma GRB111005A, a także ośrodka międzygwiazdowego galaktyki, w który ten błysk miał miejsce (ESO 580-49,  $z = 0.01326$ ). Jest to przykład długiego błysku gamma (trwającego powyżej 2 sekund; w tym przypadku błysk trwał około 26 sekund), dla którego nie znaleziono cech charakterystycznych dla związanej z błyskiem supernowej. W przypadku tej analizy zostały wykorzystane dane archiwalne, między innymi z teleskopu MUSE, jak i obserwacje dedykowane, w których kierownikiem był promotor kandydatki. Analiza linii HI i H $\alpha$  wykazała, że galaktyka-host cechuje się symetryczną rotacją zarówno gazu jak i gładkim kontinuum radiowym. Ta zadziwiająca regularna charakterystyka rozkładu gazu atomowego i kontinuum radiowego oraz wyczerpująca analiza morfologiczna, nie wykazała wpływów lub wypływów z galaktyki-hosta. Kandydatka w swoim artykule sugeruje, że

błysk GRB111005A został spowodowany połączeniem się zwartych obiektów, podobnie jak w przypadku błysków krótkich, a nie jest wynikiem zapadnięcia się bardzo masywnej gwiazdy.

**Rozdział piąty**, bardzo krótki, bo liczący zaledwie cztery strony, poświęcony jest na podsumowanie rozdziałów 2-4, czyli rozdziałów będących przedrukami pierwszoautorskich prac mgr Leśniewskiej. Każda z prac podsumowana jest oddzielnie i, niestety, w rozdziale tym nie znajdziemy ogólnego wniosku pracy i odpowiedzi na postawione w tytule pytanie: Co ośrodek międzygwiazdowy może powiedzieć nam o gwiazdach które się w nim tworzą i w nim ewoluują. Za to znajdują się w nim podsumowania poszczególnych prac, czyli scenariusze produkcji pyłu w galaktykach o przesunięciu ku czerwieni rzędu 6-8.3, optyczne dowody na wygaszanie morfologiczne dla galaktyk w naszym lokalnym wszechświecie i analiza własności fizycznych łysku GRB111005A bez charakterystycznej dla długich błysków gamma supernowej.

### III. Uwagi recenzenta oraz pytania do Autora rozprawy:

#### Rozdział 1:

We **wstępie** zabrakło mi głównej tezy, jaka została zbadana podczas badań doktorskich. Trzy tematy, stanowiące kolejne trzy rozdziały zostały potraktowane w zasadzie zupełnie oddzielnie. Omówione w ostatnim podrozdziale wstępu cele pracy pokazują, że przedstawiona rozprawa doktorska nie miała na celu zbadania/rozbudowania jednej głównej tezy, lecz składa się z trzech oddzielnych prac, które w sposób naturalny dotyczą cech ośrodka międzygwiazdowego, jednak nie są ściśle ze sobą związane.

- W rozdziale 1.1.1 zatytułowanym „dust detection and dust mass”, informacje na temat masy pyłu znajdują się w bardzo krótkim paragrafie opisującym równanie wiążące masę pyłu z przesunięciem ku czerwieni i gęstością obserwowanego strumienia i temperaturą. Jednak jest to jedynie przedstawienie równania. Nie uważam, aby to równanie zasługiwało na podtytuł rozdziału.
- Wcześniej w tym samym rozdziale pada sformułowanie spectral energy distribution odnośnik do plotu 1.3. Brakuje mi tutaj wyjaśnienia czym jest SED i w jakim celu się go modeluje.
- Czym jest, wspomniany w rozdziale 1.1.2, dust nucei?
- Przedostatni paragraf rozdziału 1.1.4 kandydatka podaje przykład pracy de Cuhna et al., 2010 przywołując też ilustrację z tej pracy. Jednak opis wykresu jest bardzo krótki, w zasadzie nie wiemy czym różnią się dane otrzymane przez da Cuhna et al., 2010 i dane z próbki SINGS (dla których relacja przedstawiona za pomocą fitu nie odzwierciedla ich zachowania).
- pod koniec rozdziału 1.1.4 kandydatka wspomina o pracy Michałowski 2019b, w której nie było możliwe przestudiowanie zależności pomiędzy spadkiem ilości pyłu (dust

decline), a innymi właściwościami dla 60 ETGs. W kolejnych rozdziałach jednak kandydatka opisuje produkcję pyłu na podstawie zaledwie dziewięciu galaktyk. To nierówne traktowanie liczebności próbki wydało mi się to bardzo podejrzane.

- W rozdziale 1.2 kandydatka używa sformułowania „Different techniques and wavelength ranges are needed to detect and analyse different gas phases”. Poprosiłabym kandydatkę o rozwinięcie tego zdania.
- W rozdziale 1.3 kandydatka opisuje rozbłyski gamma i dzieli rozbłyski, zgodnie z literaturą, na krótkie i długie na podstawie wykresu sprzed ponad 30 lat. Wydaje się, że dane historyczne jak najbardziej mogą stanowić tło do takiego stwierdzenia, jednak poprosiłabym o pokazanie bardziej aktualnego rozkładu czasu trwania błysków.
- W części 1.4 kandydatka pisze o celach pracy. Brakuje mi tu jednej, głównej tezy. Trzy poszczególne cele to trzy osobne artykuły naukowe, dotyczące znacząco różnych obiektów (9 galaktyk o przesunięciu ku czerwieni rzędu 6-8.4; około 2 tysięcy ETGs z naszego lokalnego podwórka: przesunięcie ku czerwieni pomiędzy 0.01, a 0.32; i jednego błysku gamma, także na niskim przesunięciu ku czerwieni). Wszystkie te prace są bardzo dobre, wysoko cytowane, jednak zarówno we wstępie pracy jak i w jej podsumowaniu brakuje mi lepiej zarysowanego wspólnego mianownika tych prac. Prosiłabym kandydatkę o syntetyczne przedstawienie głównej tezy pracy doktorskiej podczas obrony.

### Rozdział 2:

- w części dotyczącej metodologii wspomniany jest SED fitting w celu otrzymania masy gwiazdowej galaktyk o wysokim przesunięciu ku czerwieni. Jakie dane były dostępne w celu modelowania części gwiazdowej i jakiego typu modelowanie zostało zastosowane? Jakie założenia zostały przyjęte przy modelowaniu?
- Dlaczego użyta w analizie masa gwiazdowa dla HIMKO, jest aż dwukrotnie wyższa niż w przypadku pracy Hirashita et al., 2014?
- Czy po 4 latach od publikacji nowe dane z JWST i Eucild mogłyby wpłynąć na dokładniejsze rezultaty, czy można by było przy ich użyciu zbadać inne procesy pozwalające na produkcję pyłu na wysokim przesunięciu ku czerwieni, a jeżeli tak, to jakie?

### Rozdział 3:

- podstawowe parametry fizyczne były otrzymane za pomocą kodu MAGPHYS, który nie posiada modelu opisującego aktywne jądra galaktyk, który może wpływać na otrzymane oszacowania tempa tworzenia gwiazd. W jakiś sposób została wykluczona obecność

AGNów w tych galaktykach, a także brak ich udziału w wygaszaniu tempa tworzenia się nowych gwiazd?

- Pytanie w tym samym kontekście, czy MAGPHYS pozwala na implementację historii formowania się gwiazd z epizodem wygaszania (quenchingu)? Jeżeli tak, to czy taki model był użyty podczas modelowania tych galaktyk?
- Na wykresach 3.1 wyraźnie widoczna jest niewielka grupa outlierów o masach poniżej  $10^9 M_{\text{sun}}$ . Czy kandydatka przyjrzała się uważniej tym obiektom? W jaki sposób wpływają one na otrzymane rezultaty?

#### Rozdział 4:

- Wykres 4.8 przedstawia zależność podstawowych parametrów fizycznych galaktyki w funkcji ich odległości od centrum galaktyki. Czym można wytłumaczyć maksimum obserwowane w szerokości linii H $\alpha$ ? W tekście znalazłam zdanie "The H $\alpha$  equivalent width is relatively flat, but the outermost region towards the SE reaches 150 Å and clearly stands out from the other locations.", ale nie znalazłam w pracy możliwego wyjaśnienia tej detekcji.
- Czy obecność obserwacji galaktyk w interakcji może być odpowiedzialne za szerokie EW H $\alpha$ ? Czy w takim razie galaktyki znajdujące się w jej otoczeniu mogą wpływać też na inne własności fizyczne?
- Czy są nowe kandydatki hostów długich błysków gamma o podobnych własnościach (brak widocznego wkładu od SN itp.)? Czy dane z Euclid czy JWST mogą pomóc w analizie ośrodka międzygwiazdkowego błysków gamma?

#### IV. Podsumowanie

Przedstawione powyżej uwagi nie umniejszają wartości pracy magister Aleksandry Leśniewskiej. W mojej opinii przedłożona rozprawa doktorska wnosi nowy, bardzo wartościowy wkład do astrofizyki obserwacyjnej i do badań nad ośrodkiem międzygwiazdkowym. Podsumowując, uważam, że kandydatka osiągnęła założone cele pracy, czyli analizę właściwości ośrodka międzygwiazdkowego w różnych skalach czasowych. Praca jest bardzo starannie i ciekawie napisana. Trzy pierwszoautorskie artykuły naukowe magister Leśniewskiej zostały opublikowane w międzynarodowych recenzowanych czasopismach i są wysoko cytowane. Wszystkie trzy pierwszoautorskie prace są bardzo dobrze napisane, poruszają istotne w astrofizyce zagadnienia. W moim przekonaniu kandydatka wykazała się zarówno umiejętnością prowadzenia samodzielnych badań naukowych, jak i wiedzą niezbędną do właściwej interpretacji uzyskanych wyników.

Podsumowując, recenzowana praca **spełnia wszystkie kryteria właściwe dla rozpraw doktorskich** określone w art. 187 ust. 1-2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. z 2023 r. poz. 742 ze zm.), co uzasadnia postawienie wniosku o przyjęcie rozprawy do publicznej obrony.

Ze względu na wysoką wartość naukową wyników, ich publikacje w bardzo dobrych czasopismach i wysoką cytowalność (stronach ADS NASA znalazłam informację, że cytowalność prac mag. Leśniewskiej opisywana jest indeksem Hirsha rzędu 5), dojrzałość naukową kandydatki i jej imponujący dorobek naukowy wnioskuję również o wyróżnienie przedstawionej mi do recenzji rozprawy doktorskiej magister Leśniewskiej.

dr hab. Katarzyna Małek