



Centrum Fizyki Teoretycznej

Polskiej Akademii Nauk

Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa

Tel. (+48 22) 847 09 20, Fax/Tel: (+48 22) 843 13 69

Email: cft@cft.edu.pl

NIP 525-000-92-81

Warszawa, dn. 11.08.2026 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej

pt. „*The Assembly of Star-Forming Galaxies: Evolution of the Main Sequence and Dust Obscuration out to $z \sim 6$* ”

złożonej przez Pana mgr. Jude Vijayanga Wijesekery

Uwagi ogólne dotyczące rozprawy doktorskiej

Przedłożona mi do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr. Jude Vijayanga Wijesekery pt. *“The Assembly of Star-Forming Galaxies: Evolution of the Main Sequence and Dust Obscuration out to $z \sim 6$ ”* została przygotowana na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu pod kierunkiem dr. hab. Macieja Koprowskiego, prof. UMK, przy udziale promotora pomocniczego dr. hab. Magdaleny Kunert-Bajraszewskiej, prof. UMK. Rozprawa została przygotowana w języku angielskim i ma formę cyklu trzech powiązanych tematycznie prac naukowych, poprzedzonych autorskim wprowadzeniem i uzupełnionych podsumowaniem oraz oświadczeniami dotyczącymi indywidualnego wkładu współautorów. Cały manuskrypt liczy 145 stron.

Tematyka rozprawy należy do współczesnej astronomii pozagalaktycznej i dotyczy ewolucji galaktyk gwiazdotwórczych oraz roli pyłu w odtwarzaniu kosmicznej historii formowania gwiazd. Jest to zagadnienie ważne obserwacyjnie, ponieważ znaczna część promieniowania młodych populacji gwiazdowych jest absorbowana przez pył i następnie reemitowana w dalekiej podczerwieni. Poprawne odtworzenie ewolucji tempa formowania gwiazd wymaga więc łącznego wykorzystania informacji pochodzącej z obserwacji w zakresie UV/optical/NIR oraz FIR/sub-mm. Badania przedstawione w rozprawie bazują przede wszystkim na dużych próbkach galaktyk z pól COSMOS i UDS oraz wykorzystują dane m.in. z obserwatoriów Herschel i JCMT, a w analizie jasnego końca funkcji jasności również dane wysokorozdzielcze ALMA.

Trzy prace składające się na rozprawę tworzą spójny ciąg tematyczny. Pierwsza dotyczy wyznaczenia ewolucji tzw. głównego ciągu galaktyk gwiazdotwórczych do $z \lesssim 5.7$. Druga analizuje zależności pomiędzy nadmiarem strumienia promieniowania podczerwonego IRX, nachyleniem widma w ultrafiolecie β , masą gwiazdową i redshiftem, dostarczając kalibracji tłumienia przez pył do $z \sim 5$. Trzecia praca wykorzystuje informacje o populacji galaktyk do

konstrukcji ewoluującej funkcji jasności w podczerwieni i na tej podstawie wyznacza gęstość tempa formowania gwiazd przesłoniętych pyłem do epok odpowiadających $z \sim 6$. W mojej ocenie te trzy zagadnienia są ze sobą naturalnie powiązane zarówno poprzez wspólną problematykę fizyczną, jak i przez częściowo wspólne dane oraz metody analizy. Nie mam więc wątpliwości, że cykl publikacji stanowi merytorycznie spójną podstawę rozprawy doktorskiej.

Wyniki naukowe przedstawione w pracach składających się na rozprawę oceniam zasadniczo pozytywnie. Są one interesujące, odnoszą się do aktualnych problemów badań nad ewolucją galaktyk i wnoszą wartościowe informacje dotyczące zarówno zależności pomiędzy masą gwiazdową, tempem formowania gwiazd i własnościami pyłu, jak i globalnej ewolucji przesłoniętej części kosmicznej historii formowania gwiazd. Jednocześnie już na poziomie ogólnego odbioru rozprawy zaznaczę, że **jakość naukową cyklu publikacji oceniam wyraźnie wyżej niż jakość przygotowania samego manuskryptu doktorskiego**. Autorska część rozprawy jest miejscami powierzchowna, a całość dokumentu zawiera bardzo dużą liczbę błędów językowych, technicznych, redakcyjnych oraz wewnętrznych niespójności. Skala tych problemów wykracza, w mojej ocenie, daleko poza zwykłe drobne usterki edytorskie.

Uwagi dotyczące jakości przygotowania rozprawy i części autorskiej

Zanim przejdę do szczegółowego omówienia trzech publikacji składających się na rozprawę, muszę poświęcić osobną uwagę jakości przygotowania samego manuskryptu. Niestety pod tym względem moja ocena jest zdecydowanie negatywna. Nie chodzi przy tym o pojedyncze literówki czy niezręczności językowe, których trudno całkowicie uniknąć w każdym obszerniejszym tekście. W rozprawie znajduje się bardzo duża liczba błędów gramatycznych, stylistycznych i terminologicznych, niezamierzonych powtórzeń, niespójności, błędów składu oraz oczywistych pozostałości po wcześniejszych wersjach dokumentu. Ich liczba i charakter wskazują, że przedłożona wersja rozprawy nie została poddana dostatecznie uważnej końcowej lekturze i kontroli. Taki poziom niedopracowania uważam za trudny do zaakceptowania w przypadku rozprawy doktorskiej, która z założenia powinna również świadczyć o umiejętności precyzyjnego i rzetelnego dokumentowania własnej pracy naukowej.

Już sama struktura techniczna dokumentu sprawia wrażenie niedokończonej. Praktycznie cała rozprawa została formalnie złożona jako jeden „Chapter 1”: po sekcjach wprowadzających znajdują się kolejno Article A, B i C jako sekcje 1.7–1.9, oświadczenia współautorów jako sekcje 1.10–1.12, a nawet końcowe podsumowanie jako sekcja 1.13. W spisie treści znajdują się przy tym takie błędy jak „*Cosmirc Infrared Background*” czy „*Callibration of IRIX- β and IRIX-M**”. Do rozprawy włączono również roboczą wersję Article B z pozostawionym w nagłówku czasopisma tekstem „*Received September 15, 1996; accepted March 16, 1997*”, mimo że manuskrypt datowany jest na kwiecień 2026 r. Są to oczywiście błędy techniczne, które nie zmieniają wyników naukowych, ale ich nagromadzenie świadczy o rażąco niedostatecznej kontroli jakości dokumentu przed jego złożeniem.

Jeszcze gorzej pod tym względem wypada polskie streszczenie. Zawiera ono liczne niezręczności i błędy składniowe, ale miejscami także sformułowania zmieniające lub wręcz gubiące sens naukowy oryginału. Przykładowo angielskie „*bright end of the luminosity function*” zostało przetłumaczone jako „jasny koniec pasma niskich częstotliwości”, a później mowa jest o „sumowaniu tych ewoluujących pasm niskich częstotliwości”, zamiast o całkowaniu funkcji jasności. Jest to kolejny przykład pokazujący, że nawet podstawowe elementy końcowej wersji rozprawy nie zostały należycie sprawdzone.

Nie ograniczałbym jednak krytyki części autorskiej wyłącznie do jej warstwy językowej i redakcyjnej. Wprowadzenie obejmuje szeroki i zasadniczo właściwie dobrany zestaw zagadnień: obserwacje FIR i sub-mm, SED fitting, wyznaczanie redshiftów, stacking, gaz molekularny, masy gwiazdowe, SFR, główny ciąg galaktyk gwiazdotwórczych, IRX, funkcje jasności i SFRD. Problem polega na tym, że wiele z tych tematów przedstawiono powierzchownie, często na poziomie wyliczenia pojęć, instrumentów czy metod, bez odpowiednio pogłębionego wyjaśnienia ich fizycznego znaczenia, ograniczeń lub bezpośredniego związku z analizami stanowiącymi przedmiot rozprawy. Szczególnie zaskakuje mnie stosunkowo skromny opis techniki stackingu, mimo że jest ona jednym z głównych narzędzi wykorzystywanych w badaniach i jednym z istotnych elementów deklarowanego wkładu doktoranta.

Co ważniejsze, w części wprowadzającej występują również błędy merytoryczne. Najbardziej jaskrawy przykład znajduję w sekcji 1.5.1 dotyczącej obserwacji gazu molekularnego. Autor błędnie przypisuje cząsteczce CO „*weak permanent magnetic dipole moment*” jako przyczynę dozwolonego przejścia rotacyjnego $J=1 \rightarrow 0$, podczas gdy chodzi oczywiście o trwały **elektryczny** moment dipolowy. Podane równanie na energię rotacyjną $E=J(J+1)-J$ również nie przedstawia poprawnej postaci energii poziomów rotacyjnych cząsteczki. Nieprecyzyjny jest także opis przyczyn, dla których zimny molekularny wodór jest trudny do bezpośredniej obserwacji. Tego rodzaju błędy są dla mnie bardziej niepokojące niż usterki językowe, ponieważ dotyczą podstawowych zagadnień astrofizycznych przedstawianych właśnie w części rozprawy mającej demonstrować ogólną wiedzę doktoranta.

W związku z tym chciałbym, aby kandydat odniósł się podczas obrony do następującej kwestii:

1. Proszę poprawnie wyjaśnić fizyczne przyczyny, dla których zimny molekularny wodór H₂ jest trudny do bezpośredniej obserwacji w typowych obłokach molekularnych, oraz dlaczego linie rotacyjne CO, w szczególności przejście $J=1 \rightarrow 0$, mogą być wykorzystywane jako tracer gazu molekularnego. Proszę również podać poprawną postać energii poziomów rotacyjnych i wyjaśnić rolę momentu dipolowego CO.

Pomimo powyższej krytyki zakres tematyczny części wprowadzającej jest właściwy dla przedmiotu rozprawy i daje podstawowe tło potrzebne do zrozumienia dołączonych publikacji. Nie uważam zatem wskazanych braków za dyskwalifikujące dla całej rozprawy.

Znacząco obniżają one jednak moją ocenę jakości autorskiej części manuskryptu i powodują, że ocenę wiedzy oraz samodzielności naukowej kandydata muszę w większym stopniu oprzeć na rzeczywistym zakresie jego wkładu w trzy publikacje i na jakości przedstawionych w nich analiz.

Pierwsza publikacja cyklu – Article A

Pierwsza z publikacji składających się na rozprawę, "*Charting the main sequence of star-forming galaxies out to redshifts $z \leq 5.7$* ", została opublikowana w czasopiśmie *Astronomy & Astrophysics* w 2024 r. Jej celem jest nowe wyznaczenie ewolucji głównego ciągu galaktyk gwiazdotwórczych (star-forming main sequence, SFMS) w szerokim zakresie przesunięć ku czerwieni. Analiza wykorzystuje próbkę około 10^5 galaktyk wybranych w paśmie K z pól COSMOS i UDS. Poprzez stacking danych FIR z obserwacji Herschela i JCMT/SCUBA-2 autorzy wyznaczają średnie jasności w podczerwieni, temperatury pyłu i odpowiadające im tempa formowania gwiazd w binach masy gwiazdowej i redshiftu.

Uzyskana zależność SFR- $M_\star$ wykazuje w przybliżeniu liniowy wzrost dla mniejszych mas oraz charakterystyczne spłaszczenie dla galaktyk najbardziej masywnych. Normalizacja SFMS silnie rośnie z redshiftem. Jednocześnie analiza wskazuje na systematyczny wzrost charakterystycznej temperatury pyłu, od około 20 K przy niskich redshiftach do około 50 K przy $z \approx 5$. Jest to wynik istotny także metodologicznie, ponieważ przy braku bezpośrednich wielopasmowych pomiarów FIR przyjęta temperatura pyłu ma bezpośredni wpływ na wyznaczaną jasność w podczerwieni, a w konsekwencji także na SFR. Autorzy pokazują ponadto, że uzyskana ewolucja SFMS pozwala w przybliżeniu odtworzyć obserwowaną ewolucję funkcji mas gwiazdowych galaktyk, choć przy wysokich redshiftach prowadzi do niewielkiego nadmiaru przewidywanych galaktyk małowasywnych.

Samą publikację oceniam wysoko. Uważam, że przedstawia ona solidny i wartościowy wynik obserwacyjny. Szczególnie korzystne jest wykorzystanie informacji FIR pochodzącej ze stackingu dużej próbki galaktyk, zamiast polegania wyłącznie na SFR wyprowadzanych z fotometrii UV/optical. Pozwala to uwzględnić przesłoniętą przez pył część formowania gwiazd również dla obiektów niewykrywanych pojedynczo w mapach FIR. Interesujący jest także wynik dotyczący ewolucji temperatury pyłu oraz próba powiązania otrzymanej relacji SFMS z ewolucją funkcji mas galaktyk.

Przy ocenie znaczenia tej publikacji dla samej rozprawy doktorskiej należy jednak wyraźnie rozdzielić wartość naukową całej pracy od indywidualnego wkładu Pana Wijesekery. Kandydat jest drugim autorem publikacji, a zgodnie z formalnym oświadczeniem jego udział wyniósł **15% całkowitego nakładu pracy** i obejmował stacking próbki galaktyk w mapach FIR, wyprowadzenie głównego ciągu galaktyk gwiazdotwórczych oraz napisanie odpowiadającej tym zadaniom części artykułu. Jest to dobrze identyfikowalny i merytorycznie istotny wkład, świadczący o opanowaniu przez doktoranta odpowiedniego warsztatu analizy danych obserwacyjnych. Jednocześnie zakres ten ma charakter wyraźnie mniejszościowy i nie wskazuje, aby kandydat odpowiadał za koncepcję i prowadzenie całego projektu. Z tego względu traktuję Article A jako wartościowy element rozprawy i

świadczenie kompetencji technicznych doktoranta, ale nie jako samodzielny dowód jego zdolności do niezależnego zaprojektowania i przeprowadzenia projektu naukowego.

Taką ocenę uważam za istotną także w szerszym kontekście cyklu. Wyniki Article A stanowią bowiem punkt wyjścia dla dwóch kolejnych prac: wyznaczona ewolucja temperatury pyłu oraz relacje pomiędzy masą gwiazdową, jasnością w podczerwieni i SFR są następnie wykorzystywane w dalszych analizach dotyczących tłumienia przez pył i funkcji jasności. Pierwsza publikacja pełni więc ważną funkcję metodologiczną i naukową dla spójności całej rozprawy, nawet jeśli indywidualny udział doktoranta w jej powstaniu był ograniczony.

Druga publikacja cyklu – Article B

Druga z publikacji składających się na rozprawę, *“Evolution of dust attenuation in star-forming galaxies with UV slope, stellar mass, and redshift out to $z \sim 5$ ”*, stanowi w mojej ocenie **najważniejszy element rozprawy z punktu widzenia indywidualnego wkładu i samodzielności naukowej doktoranta**. Pan Wijesekera jest pierwszym autorem tej pracy, a zgodnie z formalnym oświadczeniem jego udział wyniósł 50% całkowitego nakładu pracy. Obejmował on przeprowadzenie większości analizy, stacking prowadzący do wyznaczenia wartości IRX, wyprowadzenie postaci funkcyjnych relacji IRX- β i zależności od masy gwiazdowej, kierowanie pracami w ramach projektu oraz przygotowanie znacznej części tekstu publikacji. W odróżnieniu od Article A mamy więc tutaj do czynienia z pracą, w której doktorant pełnił rolę wyraźnie wiodącą.

Analiza opiera się na wybranej w paśmie K, masowo kompletnej próbce 135 596 galaktyk z pól UDS i COSMOS. Z próbki usunięto galaktyki pasywne, wykorzystując selekcję NUVrJ, oraz znane galaktyki typu starburst. Do wyznaczenia własności w zakresie UV zastosowano dopasowanie SED przy użyciu kodu CIGALE. Nachylenia widmowe β wyznaczano z najlepiej dopasowanych SED w zakresie spoczynkowym 125–250 nm, natomiast informacje w dalekiej podczerwieni pochodziły przede wszystkim z map SCUBA-2 przy 850 μm oraz, przy wyznaczaniu pełnej postaci relacji IRX- β , także z danych Herschela.

Głównym celem pracy jest zbadanie zależności nadmiaru strumienia promieniowania podczerwonego IRX od nachylenia widma UV β , masy gwiazdowej i redshiftu. Autorzy znajdują, że dla $\beta \gtrsim -1$ otrzymana relacja IRX- β jest zgodna z krzywą tłumienia typu Calzettiego. Przy bardziej niebieskich wartościach β obserwowana pozorna ewolucja IRX z redshiftem jest w znacznym stopniu związana ze zmieniającymi się granicami kompletności masowej próbki. Po podziale galaktyk na biny masy autorzy znajdują systematyczną zależność efektywnego nachylenia krzywej tłumienia od $M_\star$, którą opisują funkcją kwadratową. Interesującym dodatkowym wynikiem jest zaobserwowanie przy niższych redshiftach załamania relacji IRX- $M_\star$ dla najbardziej masywnych galaktyk. Wynik ten interpretowany jest jako przejaw ograniczenia dopływu zimnego gazu i związanej z tym redukcji przesłoniętego przez pył formowania gwiazd.

Samą pracę oceniam pozytywnie. Za szczególnie wartościową uważam próbę systematycznego rozdzielenia rzeczywistych trendów fizycznych od efektów wynikających z selekcji próbki oraz zastosowanej metodologii. Autorzy pokazują między innymi, że przyjęta temperatura pyłu, zakres mas badanych galaktyk oraz sposób wyznaczania β mogą prowadzić do znaczących przesunięć relacji IRX- β , porównywalnych z rozrzutem pomiędzy wcześniejszymi wynikami publikowanymi w literaturze. Uważam to za interesujący i użyteczny wynik metodologiczny. Dobrze oceniam również rozpoznanie roli zmieniającej się z redshiftem kompletności masowej, która może na pierwszy rzut oka imitować ewolucję samej relacji IRX- β .

Mam jednak istotną uwagę dotyczącą sposobu konstrukcji tzw. stacked IRX. Autorzy sami stwierdzają, że dla zdecydowanej większości źródeł indywidualne strumienie przy 850 μm znajdują się poniżej poziomu szumu. Mimo to dla każdej galaktyki pobierana jest wartość strumienia w jej pozycji, następnie przeliczana na LIR, dzielona przez indywidualne LUV, a dopiero na końcu wartości IRX są medianowane w odpowiednich binach. Taka procedura nie jest po prostu klasycznym stackingiem obrazów. W szczególności przed uśrednianiem każdemu pomiarowi przypisywany jest indywidualny, zależny od redshiftu, temperatury pyłu i LUV współczynnik konwersji. Procedura ta nie jest więc równoważna prostemu stackingowi strumieni. Nie twierdzę, że estymator ten musi być obciążony, ale jego poprawność w przypadku indywidualnych pomiarów zdominowanych przez szum nie jest dla mnie oczywista. Oczekiwałbym tutaj wyraźnej walidacji, np. za pomocą symulacji typu end-to-end, która wykazałaby odporność wyniku na realistyczny szum, confusion noise oraz clustering źródeł.

W związku z tym proszę kandydata o odniesienie się podczas obrony do następującej kwestii:

2. Indywidualne strumienie 850 μm wykorzystywane do wyznaczania IRX znajdują się dla zdecydowanej większości źródeł poniżej poziomu szumu. Proszę szczegółowo uzasadnić, dlaczego procedura polegająca na przeliczeniu tych indywidualnych wartości na LIR, podzieleniu ich przez LUV i dopiero następnie medianowaniu stanowi nieobciążony estymator populacyjnego IRX. W jaki sposób na wynik mogą wpływać szum instrumentalny, confusion noise i clustering źródeł? Czy metoda została zwalidowana za pomocą symulacji end-to-end lub bezpośredniego porównania z klasycznym stackingiem obrazów?

Drugą kwestią wymagającą wyjaśnienia jest sposób estymacji niepewności metodą Monte Carlo. Autorzy wykonują 1000 realizacji, losując LUV i β zgodnie z ich niepewnościami. Jednak zarówno wersja pracy włączona do rozprawy, jak i ostateczna wersja opublikowana w *Astronomy & Astrophysics* stwierdzają następnie, że błąd δ_{MC} został przyjęty jako „*median of the individual values found in each run*”. Jeżeli zdanie to należy rozumieć dosłownie, mediana realizacji określa położenie rozkładu, a nie jego szerokość, i nie może pełnić roli estymatora błędu. Możliwe oczywiście, że jest to wyłącznie niepoprawny opis poprawnie zaimplementowanej procedury, ale z tekstu nie da się tego rozstrzygnąć.

3. Proszę dokładnie wyjaśnić sposób wyznaczania składnika niepewności δMC . Jaka wielkość statystyczna była faktycznie obliczana z 1000 realizacji Monte Carlo i używana jako miara rozrzutu? Jeżeli implementacja różniła się od opisu zawartego w artykule, proszę wyjaśnić na czym polega ta różnica i potwierdzić, że błąd ten został prawidłowo uwzględniony w końcowych niepewnościach.

Mam również bardziej ogólną uwagę do interpretacji załamania relacji IRX-M* dla najbardziej masywnych galaktyk. Sam empiryczny wynik uważam za interesujący. Byłbym jednak bardziej konserwatywny niż autorzy w przypisywaniu go konkretnemu mechanizmowi fizycznemu, tj. zahamowaniu dopływu zimnego gazu przez supersoniczne fale uderzeniowe. Dane bezpośrednio pokazują zmianę relacji pomiędzy LIR, LUV i masą gwiazdową, natomiast nie mierzą samego mechanizmu zatrzymania akrecji. Alternatywne lub współdziałające procesy związane z historią formowania gwiazd, geometrią rozkładu pyłu, wygaszaniem aktywności gwiazdotwórczej (tzw. *quenching*) czy aktywnością AGN mogą również wpływać na obserwowaną relację. Nie traktuję tego jako problemu dla samego wyniku obserwacyjnego, lecz raczej jako przypadek, w którym wnioskowanie fizyczne powinno być przedstawione ostrożniej.

Mimo powyższych uwag Article B oceniam jako **dobrą i naukowo wartościową pracę**, a indywidualny wkład doktoranta jako duży i wiodący. Fakt, że Pan Wijesekera wykonał większość analizy, kierował projektem i jest pierwszym autorem publikacji, stanowi w mojej ocenie najmocniejszy w całej rozprawie dowód jego zdolności do samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Wskazane przeze mnie problemy metodologiczne wymagają wyjaśnienia, ale na podstawie dostępnego materiału nie widzę podstaw, aby uznać, że podważają one zasadnicze wyniki publikacji.

Trzecia publikacja cyklu – Article C

Trzecia z publikacji składających się na rozprawę, “*Evolution of the infrared luminosity function and its corresponding dust-obscured star formation rate density out to $z \sim 6$* ”, została opublikowana w *Astronomy & Astrophysics* w 2026 r. Jej celem jest wyznaczenie ewolucji funkcji jasności galaktyk w podczerwieni oraz wynikającej z niej gęstości tempa formowania gwiazd przesłoniętego przez pył. W analizie połączono dwa komplementarne podejścia. Słaby koniec funkcji jasności został wyprowadzony z masowo kompletnej próbki galaktyk z pól COSMOS i UDS, natomiast jasny koniec ograniczono za pomocą wysokorozdzielczych danych ALMA z przeglądu AS2UDS.

W przypadku słabego końca funkcji jasności wykorzystano relację pomiędzy masą gwiazdową a średnią jasnością w podczerwieni, wyznaczoną metodą *stackingu* w pierwszej publikacji cyklu. Dla kolejnych binów masy gwiazdowej przypisywana jest odpowiadająca im wartość LIR, a liczebności obiektów są następnie przeliczane na funkcję jasności. Jasny koniec wyznaczono metodą $1/V_{\max}$, uwzględniając kompletność i false detection rate pierwotnej próbki SCUBA-2. Autorzy przyjmują przy tym konserwatywne granice kompletności w LIR, zależne od redshiftu i założonej temperatury pyłu.

Po połączeniu obu zakresów jasności funkcja jest dopasowywana klasyczną funkcją Schechtera. Nachylenie słabego końca, α , można bezpośrednio ograniczyć tylko w dwóch najniższych przedziałach przesunięcia ku czerwieni, gdzie otrzymano wartości -0.26 ± 0.11 i -0.23 ± 0.18 . W dalszej analizie bardziej precyzyjna wartość $\alpha = -0.26$ zostaje przyjęta także dla wszystkich wyższych redshiftów. Autorzy znajdują systematyczny wzrost charakterystycznej jasności L^* z redshiftem oraz spadek charakterystycznej gęstości liczbowej Φ^* powyżej $z \approx 2$. Całkowanie otrzymanej funkcji jasności prowadzi do wniosku, że przesłonięta przez pył część kosmicznego formowania gwiazd osiąga maksimum w pobliżu tzw. kosmicznego południa (z ang. *cosmic noon*), a następnie szybko maleje w kierunku wcześniejszych epok.

Samą koncepcję pracy uważam za dobrą. Połączenie masowo kompletnej próbki optyczno/NIR ze stosunkowo jednorodną próbką submilimetrową obserwowaną interferometrycznie pozwala ograniczyć funkcję jasności w znacznie szerszym zakresie niż przy wykorzystaniu tylko jednego rodzaju danych. Pozytywnie oceniam również jawne uwzględnienie ograniczeń selekcji jasnego końca. Autorzy omawiają wpływ temperatury pyłu, kompletności i selekcji przy 850–870 μm oraz zauważają, że próbka może pomijać część obiektów o małej masie pyłu i wysokiej temperaturze. Uważam to za przykład właściwego rozpoznania ograniczeń obserwacyjnych analizy.

Moja główna uwaga metodologiczna dotyczy sposobu konstrukcji słabego końca funkcji jasności. W zastosowanej procedurze binowi masy gwiazdowej przypisywana jest charakterystyczna wartość LIR, otrzymana ze średniej relacji LIR– M^* . W rzeczywistości zależność ta posiada jednak niezerowy rozrzut. Formalnie przejście od rozkładu galaktyk w masie do funkcji jasności powinno więc uwzględniać pełny warunkowy rozkład $P(\text{LIR} | M^*, z)$, schematycznie:

$$\Phi(L_{\text{IR}}, z) = \int \Phi(M_*, z) P(L_{\text{IR}} | M_*, z) d \log M_*.$$

Zastosowanie jedynie średniej relacji LIR– M^* odpowiada szczególnemu przypadkowi zaniedbania tego rozrzutu. Ponieważ funkcja jasności nie jest płaska, migracja obiektów pomiędzy binami LIR nie musi się wzajemnie kompensować i może prowadzić do efektu analogicznego do efektu Eddingtona. Może to wpływać zarówno na kształt słabego końca funkcji, jak i na parametry L^* , Φ^* i α , a następnie na otrzymaną przez całkowanie funkcji jasności gęstość tempa formowania gwiazd. Nie znalazłem w publikacji ilościowego testu odporności wyników na ten efekt. Nie oznacza to, że musi on istotnie zmieniać główne wnioski, ale jego skala powinna zostać przynajmniej oszacowana, np. poprzez forward modelling z realistycznym rozrzutem relacji LIR– M^* .

4. Proszę wyjaśnić, czy i w jaki sposób w konstrukcji słabego końca funkcji jasności uwzględniono wewnętrzny rozrzut relacji LIR– M^* . W ogólności funkcja jasności powinna zależeć od pełnego rozkładu $P(\text{LIR} | M^*, z)$, a nie wyłącznie od średniej relacji. Jakiego wpływu na α , L^* , Φ^* oraz na otrzymaną przez całkowanie funkcji jasności

SFRD należałoby oczekiwać po uwzględnieniu realistycznego rozrzutu? Czy efekt ten był testowany ilościowo?

Drugim istotnym ograniczeniem jest przyjęcie stałego nachylenia słabego końca funkcji jasności przy wyższych redshiftach. Parametr α jest bezpośrednio wyznaczony tylko dla dwóch najniższych przedziałów, po czym wartość -0.26 jest utrzymywana dla wszystkich pozostałych binów. Jest to zrozumiałe wobec ograniczonej głębokości danych, ale powoduje, że całkowita SFRD przy najwyższych redshiftach zależy częściowo od założenia dotyczącego nieobserwowanej części funkcji jasności. Ponieważ jednym z głównych wniosków pracy jest szybki spadek przesłoniętego przez pył formowania gwiazd w kierunku $z \sim 6$, odporność tego rezultatu na potencjalną ewolucję α powinna być jasno określona.

5. Proszę uzasadnić przyjęcie stałej wartości $\alpha = -0.26$ dla wszystkich wyższych przesunień ku czerwieni. Jak silnie końcowy wniosek dotyczący dust-obscured SFRD przy $z \gtrsim 3$ zależy od możliwej ewolucji nachylenia słabego końca funkcji jasności? Jak duża zmiana $\alpha(z)$ byłaby jeszcze zgodna z dostępnymi danymi i czy mogłaby jakościowo zmienić wniosek o szybkim spadku przesłoniętej części kosmicznego formowania gwiazd?

Mam również drobniejszą uwagę dotyczącą sposobu formułowania zasięgu redshiftowego analizy. Praca jest przedstawiana jako wyznaczenie SFRD „out to $z \sim 6$ ”, podczas gdy najwyższy szeroki bin kończy się przy $z \sim 5.7$, a dalsze stwierdzenia dotyczące wartości przy $z \sim 6$ opierają się już częściowo na przyjętej gładkiej parametryzacji ewolucji funkcji jasności. Nie uważam tego za istotny problem naukowy, ale w rozprawie doktorskiej oczekiwałbym nieco bardziej precyzyjnego rozróżnienia pomiędzy bezpośrednim ograniczeniem obserwacyjnym a ekstrapolacją modelu.

Przy ocenie indywidualnego wkładu doktoranta Article C zajmuje pozycję pośrednią pomiędzy dwiema wcześniejszymi publikacjami. Pan Wijesekera jest drugim autorem, a zgodnie z formalnym oświadczeniem jego udział wyniósł **35% całkowitego nakładu pracy** i obejmował stacking próbek w mapach FIR, wyznaczenie słabego końca funkcji jasności, udział w pozostałej analizie oraz przygotowanie odpowiednich części tekstu. Jest to wkład znaczący. Należy jednak zauważyć, że wyniki stackingu wykorzystywane w tej pracy pochodzą z wcześniejszej analizy przedstawionej w Article A, gdzie doktorant również był współautorem. Za zasadniczy nowy wkład Pana Wijesekery w Article C uważam więc przede wszystkim wyprowadzenie słabego końca funkcji jasności i udział w dalszej analizie jej ewolucji.

Article C oceniam jako wartościową pracę naukową z interesującym wynikiem dotyczącym ewolucji przesłoniętej przez pył części kosmicznego formowania gwiazd. Wskazane przeze mnie ograniczenia metodologiczne dotyczą głównie ilościowej odporności wyznaczonego kształtu funkcji jasności i wymagają wyjaśnienia, ale nie widzę podstaw, aby na obecnym etapie uznać, że podważają jakościowy wniosek o spadku dust-obscured SFRD w kierunku wysokich redshiftów.

Indywidualny wkład doktoranta i samodzielność naukowa

W przypadku rozprawy opartej na cyklu wieloautorskich publikacji szczególnego znaczenia nabiera możliwość jednoznacznego wskazania indywidualnego wkładu doktoranta. Nie traktuję przy tym deklarowanych wartości procentowych jako automatycznej miary jakości czy samodzielności pracy. Istotniejszy jest charakter wykonanych zadań: udział w sformułowaniu problemu, zaprojektowaniu analizy, wykonaniu obliczeń, interpretacji wyników oraz prowadzeniu projektu. W niniejszej rozprawie zakres wkładu Pana Wijesekery zmienia się wyraźnie pomiędzy trzema publikacjami.

Zgodnie z formalnymi oświadczeniami dołączonymi do rozprawy, wkład doktoranta w Article A wyniósł 15% i obejmował stacking galaktyk w mapach FIR, wyprowadzenie głównego ciągu galaktyk gwiazdotwórczych oraz przygotowanie odpowiadającej części tekstu. Jak pisałem wcześniej, jest to wkład naukowo istotny, lecz wyraźnie mniejszościowy. W Article B sytuacja jest zasadniczo inna: doktorant jest pierwszym autorem, a zgodnie z formalnym oświadczeniem jego wkład wyniósł 50% całkowitego nakładu pracy i obejmował przeprowadzenie większości analizy, wyznaczenie relacji $IRX-\beta$ oraz zależności od masy, kierowanie pracami projektu oraz napisanie dużej części artykułu. W Article C jego udział wyniósł natomiast 35% i obejmował wykorzystanie wyników stackingu, wyprowadzenie słabego końca funkcji jasności, udział w pozostałej analizie oraz przygotowanie odpowiednich części tekstu.

Taki rozkład zadań uważam za wystarczający do pozytywnej oceny samodzielności naukowej kandydata. Article A dokumentuje opanowanie istotnych elementów warsztatu badawczego. Article C pokazuje znaczący udział w bardziej złożonej analizie populacyjnej. Najważniejszym dowodem pozostaje jednak Article B, w którym Pan Wijesekera pełnił rolę wiodącą, wykonał większość analiz i kierował projektem. To właśnie ta praca w największym stopniu przekonuje mnie, że kandydat potrafi nie tylko realizować zadania w ramach projektu prowadzonego przez bardziej doświadczonych współpracowników, ale także samodzielnie prowadzić istotną część procesu badawczego.

Niestety sposób, w jaki indywidualny wkład został opisany w samej autorskiej części rozprawy, jest kolejnym przykładem bardzo słabej kontroli końcowej wersji dokumentu. Sekcja *Author Contribution statement* zawiera oczywiste sprzeczności. W części oznaczonej jako wkład w Article B ponownie przytoczono tytuł i dane bibliograficzne Article A, mimo że następujący dalej opis dotyczy już właściwie analizy $IRX-\beta$ i $IRX-M^*$, a kandydat określa siebie jako pierwszego autora. Jeszcze poważniejsza jest rozbieżność dotycząca Article C. W tej samej sekcji rozprawy kandydat przypisuje sobie jedynie 15% wkładu, ograniczonego do pomocy przy stackingu i wizualizacji wyników, podczas gdy formalne oświadczenie dołączone później do rozprawy podaje 35% oraz znacznie szerszy zakres prac, obejmujący wyprowadzenie słabego końca funkcji jasności. Co więcej, wewnętrzny opis Article C rozpoczyna się od zapisu bibliograficznego sugerującego pierwsze autorstwo J. Wijesekery, podczas gdy opublikowana praca jest pracą M. Koprowskiego i współautorów.

Nie interpretuję tych rozbieżności jako dowodu na nierzetelność deklarowanego wkładu. Formalne, podpisane oświadczenia traktuję jako właściwą podstawę jego oceny. Uważam jednak za bardzo poważne uchybienie redakcyjne to, że sekcja rozprawy, której **jedynym zadaniem jest precyzyjne określenie osobistego wkładu doktoranta w publikacje wieloautorskie**, zawiera tak podstawowe i łatwo wykrywalne sprzeczności. Jest to tym bardziej niefortunne, że właśnie identyfikacja indywidualnego wkładu ma zasadnicze znaczenie dla oceny rozprawy opartej na cyklu publikacji.

W związku z tym proszę kandydata o jednoznaczne odniesienie się podczas obrony do tej kwestii:

6. Proszę wyjaśnić rozbieżności pomiędzy sekcją *Author Contribution statement* w głównej części rozprawy a formalnymi oświadczeniami dotyczącymi wkładu w poszczególne publikacje, w szczególności pomieszczenie danych bibliograficznych Article A i B oraz różnicę pomiędzy deklarowanymi 15% i 35% udziału w Article C. Proszę również precyzyjnie określić zakres prac wykonanych osobiście w każdym z trzech projektów, ze szczególnym uwzględnieniem tych elementów Article C, które stanowiły nową analizę, a nie ponowne wykorzystanie rezultatów uzyskanych wcześniej w Article A.

Pomimo powyższych zastrzeżeń dotyczących dokumentacji, na podstawie formalnych oświadczeń oraz charakteru wykonanych prac oceniam indywidualny wkład Pana Wijesekery jako wystarczająco znaczący i dobrze identyfikowalny. Szczególnie Article B dostarcza przekonującego dowodu, że kandydat posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Podsumowanie

Przedstawioną rozprawę doktorską oceniam pozytywnie, choć z istotnymi zastrzeżeniami. Trzy publikacje składające się na rozprawę tworzą spójny i naukowo wartościowy cykl dotyczący ewolucji galaktyk gwiazdotwórczych oraz wpływu pyłu na rekonstrukcję kosmicznej historii formowania gwiazd. Indywidualny wkład Pana Wijesekery jest zróżnicowany pomiędzy poszczególnymi pracami, jednak w Article B ma charakter wyraźnie wiodący i stanowi, w mojej ocenie, przekonujący dowód jego zdolności do samodzielnego prowadzenia badań naukowych; znaczący wkład w wyznaczenie słabego końca funkcji jasności w Article C dodatkowo wzmacnia tę ocenę. Uważam zatem, że zakres wykonanych przez kandydata prac oraz uzyskane wyniki spełniają wymagania dotyczące samodzielności badawczej i oryginalnego rozwiązania problemu naukowego.

Znacznie bardziej krytycznie oceniam natomiast samą formę rozprawy i jej część autorską. Manuskrypt został przygotowany z niedostateczną starannością i zawiera bardzo dużą liczbę błędów językowych, technicznych i redakcyjnych, liczne wewnętrzne niespójności, w tym dotyczące opisu własnego wkładu doktoranta, a także szereg nieprecyzyjnych lub błędnych stwierdzeń merytorycznych. Część wprowadzająca jest przy tym miejscami zbyt powierzchowna w stosunku do poziomu i tematyki przedstawionych badań. Wskazane przeze

mnie w recenzji problemy metodologiczne i merytoryczne wymagają wyjaśnienia podczas obrony, jednak na podstawie dostępnego materiału nie znajduję podstaw, aby uznać, że podważają one zasadnicze wyniki naukowe cyklu. Ostatecznie więc **wyniki naukowe rozprawy oraz możliwy do jednoznacznego zidentyfikowania własny wkład kandydata oceniam wyraźnie wyżej niż jakość przygotowania samego manuskryptu**, a całokształt przedstawionych badań daje mi podstawę do pozytywnej oceny rozprawy doktorskiej.

W mojej ocenie rozprawa spełnia warunki określone w §17 i §18 Uchwały nr 38 Senatu Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu z dnia 26 września 2023 r. oraz wymagania art. 187 ust. 1–3 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz.U. z 2024 r. poz. 1571 z późn. zm.): prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie astronomia, wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, a jej przedmiotem jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Wnoszę zatem o dopuszczenie Pana mgr. Jude Vijayanga Wijesekery do publicznej obrony rozprawy doktorskiej..

Z poważaniem,

 Digitally signed by
Wojciech Hellwing
Date: 2026.08.11
17:36:18 CEST
cft

dr hab., prof. CFT PAN, Wojciech Hellwing