

Recenzja rozprawy habilitacyjnej (osiągnięcia naukowego) i dorobku naukowego dra Macieja Koprowskiego

Podstawa recenzji

Recenzję opracowałam w związku z decyzją Rady Doskonałości Naukowej z dnia 18 marca 2025 r. o powołaniu mnie na recenzenta w postępowaniu habilitacyjnym i przygotowałam ją w oparciu o Ustawę z dnia 20 lipca 2018 roku o stopniach naukowych i tytułach naukowym wraz z późniejszymi zmianami.

Uwagi wstępne

Dr Maciej Koprowski jest specjalistą koncentrującym się przede wszystkim na ewolucji galaktyk zdominowanych przez silne procesy gwiazdotwórcze. Ewolucja galaktyk jest nadal kluczowym zagadnieniem astrofizyki i skrywa wiele nierozwiązanych problemów. Problem pierwszy to przede wszystkim szybkie powstawanie galaktyk we wczesnym Wszechświecie, a zatem co napędzało powstawanie gwiazd, a następnie co regulowało dalsze tempo tej ewolucji, jak w sumie kształtowała się struktura Wszechświata – taka, jaką teraz widzimy? Mamy też problem szybkiego powstawania supermasywnych czarnych dziur i ich niejasnego związku z działalnością gwiazdotwórczą całej galaktyki. Kolejne pytanie: jak przebiegała ewolucja chemiczna Wszechświata? Temat ma znakomity potencjał.

Przedmiot rozprawy - osiągnięcie naukowe

Przedstawiona rozprawa „*Ewolucja galaktyk gwiazdotwórczych o dużym przesunięciu ku czerwieni*” składa się z 5 prac, opublikowanych w najlepszych recenzowanych czasopismach astronomicznych *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, *Astronomy & Astrophysics* oraz *Astrophysical Journal Letters*. Przedstawione prace są współautorskie, ale we wszystkich dr Koprowski jest ich niealfabetycznym pierwszym autorem. Prace wchodzące w skład rozprawy zostały już zacytowane ponad 160 razy mimo że najstarsza z nich ukazała się w 2016 roku, a ostatnia dopiero w 2024 roku. Prace zostały zatem zdecydowanie zauważone w środowisku międzynarodowym.

Zebrane prace stanowią faktycznie pewną całość, i zostały uszeregowane nie według momentu publikacji, ale tak, aby wspólnie tworzyły znaczące osiągnięcie.

Dorobek naukowy zawarty w rozprawie habilitacyjnej

Tematem rozprawy jest kompleksowa charakterystyka galaktyk w funkcji ich przesunięcia ku czerwieni, ze szczególną uwagą poświęconą poziomowi aktywności gwiazdotwórczej. Problem jest nie tylko bezpośrednio obserwacyjny, szczególnie przy sięganiu do dużych wartości przesunięcia ku czerwieni, ale przede wszystkim w ustaleniu własności galaktyki w oparciu o te obserwacje.

Temu zagadnieniu poświęcona jest praca **Hab1**. Tempo powstawania gwiazd (SFR) oceniane jest przede wszystkim w oparciu o jasność galaktyki w zakresie nadfioletu, a na obserwowaną jasność

ma silny wpływ pył znajdujący się w galaktyce. Poprawka na ten bardzo silny efekt jest często robiona w oparciu o porównanie nachylenia widma w tym zakresie ze stosunkiem jasności w nadfiolecie do jasności w podczerwieni, tam gdzie pył wyświeca zaabsorbowaną energię. Autor bada obiekty o przesunięciu ku czerwieni 3 – 5 i w tej pracy wnioskuje, że metoda nie wymusza znacznej modyfikacji podejścia z przesunięciem ku czerwieni, a pył jest dobrze opisywany przez prawo ekstynkcji Calzetti i in. (2000), otrzymane dla pobliskich galaktyk gwiazdotwórczych, choć w kolejnych pracach autor sam kwestionuje to ustalenie dla części galaktyk. Statystycznie pokazany wynik w oparciu o 4200 obiektów jest jednak przekonujący. Być może rozmiar próbki jest tu kluczowy: bardzo szczegółowe badania tzw. przygaszenia światła (ang. *attenuation*) w obłokach molekularnych wskazuje na znaczną zależność od kierunku patrzenia i etapu ewolucji obłoku (np. Di Mascia et al. 2025). Przeprowadzone przez habilitanta badania wykazały niemal liniową zależność efektu od masy gwiazdowej, a wniosek płynący z pracy jest taki, że właśnie używanie stosunku jasności w podczerwieni do jasności w nadfiolecie w funkcji masy gwiazdowej do otrzymywania SFR jest znacznie lepsze. Pewien problem może jednak stanowić ocena masy gwiazdowej.

Praca **Hab2** jest analizą 10 galaktyk obserwowanych o przesunięciu ku czerwieni 3.1 przy pomocy instrumentu ALMA oraz teleskopu Hubble’a. To kolejne podejście do badania aktywności gwiazdotwórczej, tym razem na małej próbce, ale za to z wykorzystaniem bardzo zaawansowanych danych. A powyżej tego przesunięcia ku czerwieni obserwacje wskazują na spadek tempa produkcji gwiazd. Generalnie metoda opiera się, jak w pracy pierwszej, na porównaniu jasności w podczerwieni i w nadfiolecie z nachyleniem widma w nadfiolecie. Jednak przeprowadzona precyzyjna analiza dla 10 obiektów wykazała, że relacje omawiane w pracy Hab1 nie są aż tak uniwersalne, i w przypadku indywidualnych obiektów nie dają precyzyjnych wyników. Wskazuje to na bardziej złożoną strukturę pyłu niż opisuje to prosta relacja (Calzetti et al.). Szczegółowo zbadany obiekt SSA22a-C16, dla którego wykorzystano dane obserwacyjne jeszcze z kilku innych teleskopów w szczególności pokazała, że obiekt wyraźnie jest nietypowy. Dr Koprowski wnioskuje, że oczywiście przydałaby się większa próbka obiektów, ale nie jest łatwo uzyskać wymagane dane obserwacyjne (ALMA/HST).

Praca **Hab3** to do pewnego stopnia spełnienie postulatu zawartego w Hab2, a mianowicie udało się jednak zebrać dane obserwacyjne dla 41 galaktyk z instrumentem ALMA, a także 209 obiektów co prawda nie wykrytych przez ALMę, ale dla których istniały dane z przeglądu nieba w zakresie submilimetrycznym. W sumie obserwacje teleskopami ALMA okazały się najciekawsze i potwierdziły, że własności galaktyk o silnych procesach gwiazdotwórczych nie są tak uniwersalne, jak się początkowo wydawało. W szczególności jasne obiekty obserwowane przy pomocy teleskopów ALMA mają znacznie bardziej niebieskie widma przy tym samym stosunku emisji w podczerwieni do emisji w nadfiolecie. Habilitant przypisuje ten efekt przede wszystkim odstępstwu krzywej przygaszenia światła od kształtu wyznaczonego w pracy Calzetti et al. (2000). Zjawisko to może być związane ze szczególnym etapem ewolucji galaktyki: jeżeli silna działalność gwiazdotwórcza jest wynikiem wcześniejszego zlania się z inną, nawet znacznie mniejszą galaktyką, to proces ten mógł spowodować geometryczne rozdzielanie gazu i pyłu, a zatem znaczną niejednorodność procesu atenuacji i konieczność dostosowania odpowiedniej krzywej do badanego obiektu. . Ogólnie efekt ten jest ważny. Stosowanie niewłaściwych krzywych może prowadzić do niedoszacowania mas gwiazdowych galaktyk o czynnik 2 – 3.

Te wszystkie prace do pewnego stopnia zaowocowały w pracy **Hab4** nowym wyznaczeniem funkcji jasności galaktyk aż do przesunięcia ku czerwieni 5. To z kolei pozwoliło na nowe wyznaczenie przebiegu gęstości formowania się gwiazd w funkcji przesunięcia ku czerwieni. Wykres ten jest jednym z najciekawszych w kosmologii, w kontekście ewolucji galaktyk oraz związku tempa powstawania gwiazd z procesami wokół centralnych czarnych dziur. Maksimum na nowym wykresie wypada nieco wcześniej niż w pracy Madau & Dickinson (2014). Nowe wyznaczenie

opada dość stromo w stronę wyższych wartości przesunięcia ku czerwieni, choć wyznaczenie w oparciu o emisję w nadfiolecie sugerują mniej stromy spadek. Habilitant wspomina w pracy, że faktycznie należy się spodziewać bardzo jasnych galaktyk możliwych do detekcji przez teleskopy ALMA nawet przy znacznie większych przesunięciach ku czerwieni, ale będą one nieliczne i nie zmienią globalnego bilansu tempa powstawania gwiazd.

Moja uwaga wprowadzona powyżej jako 'do pewnego stopnia' wiąże się z faktem, że praca Hab4 powstała dwa lata wcześniej niż praca Hab3, a zatem efekty wypunktowane jasno w pracy Hab3 nie mogły się w niej znaleźć. Być może zatem przewidywany spadek, nie poprawiony na omówione w Hab3 efekty jest zatem za szybki?

Najnowsza praca wchodząca w skład rozprawy habilitacyjnej to **Hab5**. Dotyczy ona Ciągu Głównego galaktyk gwiazdotwórczych. Dr Koprowski podjął ambitne zadanie przebadania około 100 tysięcy galaktyk w szerokim zakresie przesunięć ku czerwieni, aż do wartości 5,7. Obiekty zostały wyselekcjonowane z publicznie dostępnych katalogów z teleskopów Herschel oraz James Clerk Maxwell. Selekcja obiektów w oparciu o dane w dalekiej podczerwieni była kluczowa dla projektu. Obiekty były w znacznej części słabe, dlatego analizę dr Koprowski wykonał z wykorzystaniem techniki sumowania fotometrii (*ang. stacked photometry*) w odpowiednio dobranych przedziałach parametrów. Pierwsze oszacowania kształtu ciągu głównego wskazywały na liniową zależność między tempem formowania gwiazd a masą gwiazdową, później zauważono jego względny spadek dla dużych mas gwiazdowych. W przedstawionej pracy autor potwierdził ten wniosek, ale dodatkowo uzyskał szczegółowe dopasowania dla różnych przedziałów przesunięcia ku czerwieni. W szczególności wypłaszczenie relacji następuje dla coraz większej masy gwiazdowej przy coraz większym przesunięciu ku czerwieni. Autor prezentuje w pracy interesującą dyskusję tego zjawiska, wiążąc zachodzące zmiany z systematyczną zmianą temperatury pyłu wraz ze wzrostem przesunięcia ku czerwieni. Zgromadzone dane pozwoliły na ocenę tej temperatury. Ciekawe jest też porównanie wykresów dla wszystkich galaktyk i dla galaktyk gwiazdotwórczych (rys. 3 w pracy). Wskazuje to na rosnący rozrzut w potencjale gwiazdotwórczym galaktyk wraz z maleniem wartości przesunięcia ku czerwieni. Ten aspekt nie jest szczegółowo dyskutowany w pracy.

Przedstawione prace powstały we współpracy z międzynarodową grupą astronomów, w szczególności drugim autorem w pracach 1 – 3 jest Kristen Coppin, ale we wszystkich pięciu dr. Koprowski jest liderem, i zgodnie z deklaracjami wykonał 65 – 70 % pracy we wszystkich publikacjach: kierował projektem, przeprowadził większą część analizy i przygotował wyniki do publikacji. Współpracownicy przede wszystkim dostarczali odpowiednio przygotowanych danych, natomiast analiza tych danych i wyciąganie wniosków należały do habilitanta. Osiągnięte wyniki są ważne w kontekście ewolucji galaktyk, choć jeszcze wiele pozostaje do zrobienia. Sięganie do jeszcze znacznie większych wartości przesunięcia ku czerwieni, rzędu 12, zaplanowane w ramach projektu, zapowiadają się fascynująco.

Dorobek naukowy nie wchodzący w skład rozprawy, dorobek dydaktyczny i aktywność naukowa wykraczająca poza zasięg jednej instytucji naukowej

Poza publikacjami, które weszły w skład rozprawy, dr Koprowski jest pierwszym autorem jeszcze jednej publikacji po doktoracie, oraz jest też współautorem ponad 20 innych publikacji związanych do pewnego stopnia z tą samą tematyką. W sumie jego cały dorobek plasuje go dobrze w środowisku astronomicznym, a liczby (suma cytowań: 1380, indeks Hirscha 16 wg ADS) tylko potwierdzają to wrażenie.

Osiągnięcia dydaktyczne nie są formalnym wymogiem w myśl obecnej ustawy, ale warto zauważyć, że na tym polu habilitant ma pewne osiągnięcia, prowadził wykład, a wcześniej ćwiczenia do wykładów. Pracował również indywidualnie ze studentami, a obecnie pełni rolę

współopiekuna Jude Vijayanga Wijsekera, doktoranta UMK. Dr. Koprowski wspomaga też organizacyjnie UMK poprzez organizowanie seminariów. Ma duże sukcesy w zdobywaniu grantów: był kierownikiem projektu SONATA, a obecnie od 2024 roku kieruje projektem SONATA BIS.

Aspekt aktywności naukowej wykraczającej poza jednostkę macierzystą nie budzi najmniejszych wątpliwości. Dr Koprowski jest ważnym elementem współpracy międzynarodowej, przede wszystkim, ale nie tylko, z naukowcami z Uniwersytetu w Edynburgu. Świadczą o tym choćby jego prace, zarówno te wchodzące w skład rozprawy habilitacyjnej, jak i pozostałe. Współpraca jest cenna dla obu stron: współpracownicy często dysponują danymi obserwacyjnymi, które są niezbędne do projektu, natomiast dr Koprowski wnosi umiejętność pracy z takimi danymi. Taki charakter będą też miały spodziewane niezwykle ważne wyniki, jakie dr Koprowski planuje osiągnąć w ramach projektu SONATA BIS, którego jest kierownikiem. Współpracownicy z Edynburga umożliwią mu wykorzystanie kompletowanego przez siebie katalogu galaktyk otrzymanego przy pomocy Teleskopu Kosmicznego Jamesa Webba, sięgającego przesunięcia ku czerwieni 11, a zatem epok, kiedy Wszechświat miał zaledwie 300 milionów lat. Pierwsze obserwacje własności galaktyk nazwanych roboczo *Little Red Dots* wskazują na to, że faktycznie zaglądamy do galaktycznego żłobka.

Podsumowanie:

Przedstawiona rozprawa jest interesująca, wstęp jest dobrze zorganizowany i pomocny, prezentowane osiągnięcie naukowe i całokształt dorobku naukowego spełniają wszelkie formalne i zwyczajowe kryteria stawiane rozprawom habilitacyjnym. Rozprawa habilitacyjna jest w mojej opinii osiągnięciem wnoszącym znaczny wkład w rozwój dyscypliny. Wnoszę zatem o dopuszczenie dra Koprowskiego do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.

Prof. dr hab. Bożena Czerny