

Podsumowanie pracy dyplomowej

Środowiskowa zależność własności galaktyk z wykorzystaniem znaczonej funkcji korelacji

napisanej przez

Unnikrishnan Potty Sureshkumar

Głównym celem tej pracy jest zbadanie, w jaki sposób różne własności galaktyk są skorelowane ze środowiskiem, w którym się znajdują. Dzięki temu, w szerszym kontekście, możliwe będzie lepsze poznanie wpływu środowiska na procesy formowania i ewolucji galaktyk. W szczególności w mojej pracy doktorskiej, skupiam się na mierzeniu środowiskowej zależności jasności galaktyk (w paśmie optycznym, bliskiej i średniej podczerwieni), a także masy gwiazdowej i tempa tworzenia się gwiazd (*ang. star formation rate*, SFR) w różnych zakresach przesunięć ku czerwieni.

W przedstawionej pracy stosujemy powszechnie wykorzystywane w literaturze narzędzia statystyczne, takie jak dwupunktowa funkcja korelacji (*ang. two point correlation function*, 2pCF) i znaczonej funkcji korelacji (*ang. marked correlation function*, MCF). MCF jest bardzo wrażliwa na wpływ środowiska, w jakim znajdują się badane galaktyki i pozwala na jednoczesne pomiary w różnych skalach odległości. To sprawia, że jest lepszą metodą niż np. pomiary lokalnej gęstości galaktyk, w których przypadku ograniczamy badania do jednej konkretnej skali. Co zaskakujące, MCF nie była jak do tej pory szeroko wykorzystywana w badaniach galaktyk. W niniejszej pracy staramy się wykorzystać możliwości MCF do badania korelacji między własnościami galaktyk a ich otoczeniem. Dokładny opis metody pomiarów 2pCF i MCF znajduje się w rozdziale 2.

Obie funkcje korelacji (dwupunktowa i znaczonej) zostały zmierzone dla zestawu próbek galaktyk wybranych z przeglądów Galaxy and Mass Assembly (GAMA), Sloan Digital Sky Survey (SDSS) i modelowego katalogu galaktyk CosmoDC2. Dodatkowo, zbadaliśmy wpływ limitu jasności obserwowanych galaktyk stosowanego (głównie ze względów technicznych) w wielkich przeglądach nieba na wyniki pomiarów grupowania galaktyk.

W początkowej fazie pracy opracowałem nowatorski kod do obliczania 2pCF i MCF. Kod ten wykorzystuje oprogramowanie OpenMP pozwalające na optymalizację obliczeń - równoległe mierząc 2pCF dla różnych rejonów z wykorzystaniem metody jackknife oraz MCF dla różnych własności galaktyk. Stworzyłem także osobny kod do modelowania 2pCF z wykorzystaniem macierzy kowariancji i uogólnionej minimalizacji X^2 .

Korzystając z tych narzędzi, w pierwszym kroku zbadalem zależności jasności galaktyk (w paśmie widzialnym i podczerwonym), ich masy gwiazdowej i SFR od środowiska w przeglądzie GAMA. Sprawdziłem, która z tych własności galaktyk jest najsilniej

skorelowana ze środowiskiem. Zmierzyłem 2pCF i MCF w kompletnej pod względem masy gwiazdowej próbce w zakresie przesunięć ku czerwieni $0.1 < z < 0.16$ z limitem jasności $r < 19.8$ i masą gwiazdową $\log(M_{\star}/M_{\odot}) > 9.3$. MCF były mierzone z wykorzystaniem własności galaktyk jako znaczników. Użyto jasności w pasmach u , g , r , J i K , masę gwiazdową, SFR i sSFR. Wyniki są opisane w rozdziale 3.

W dalszej części tego rozdziału rozszerzyłem analizę o własności galaktyk w średnim paśmie podczerwieni, wykorzystując odpowiedniki galaktyk GAMA z przeglądu Wide-field Infrared Survey Explorer (*WISE*). Wyselekcjonowałem galaktyki z katalogu GAMA-*WISE* w zakresie przesunięć ku czerwieni $0.07 \leq z < 0.43$. Mierząc MCF zbadłem, jak jasności w czterech pasmach *WISE* śledzą środowisko galaktyk. Porównałem również pomiary MCF, dla mas gwiazdowych i SFR oszacowanych trzema różnymi metodami (GAMA, *WISE* i ProSpect). Dodatkowo zbadłem zależności grupowania galaktyk od ich jasności i przesunięcia ku czerwieni przy użyciu 2pCF. Wyniki są opisane w rozdziale 4.

Następnie zbadłem wpływ limitu jasności przeglądu nieba na pomiary grupowania galaktyk. W tym celu porównałem pomiary 2pCF i MCF w próbkach galaktyk z przeglądu GAMA, które były tak samo dobrane pod względem przesunięcia ku czerwieni i masy gwiazdowej, ale różniły się limitem jasności. Powtórzyłem te pomiary dla przeglądu SDSS i porównałem wyniki z pomiarami wykonanymi na galaktykach pochodzących z przeglądu GAMA.

Ponadto wykorzystałem dane katalogu CosmoDC2, który jest najnowocześniejszym tego typu katalogiem opracowanym dla przyszłego przeglądu nieba realizowanego przez Narodowe Obserwatorium im. Very Rubin (*ang. V. Rubin Observatory*). Używając danych CosmoDC2 wykonaliśmy pomiary 2pCF i MCF. Efekt wpływu limitu jasności obserwowanych galaktyk i pomiary obu funkcji korelacji są opisane w rozdziale 5.

Moja praca doktorska zawiera szereg interesujących wyników, a ogólne wnioski z niej płynące są następujące:

1. Różne własności galaktyk są w różny sposób skorelowane ze środowiskiem, w którym znajdują się galaktyki, a MCF jest doskonałą metodą pomiaru zdolną do śledzenia tych różnic, szczególnie w małych skalach odległości.
2. Spośród jasności w paśmie od widzialnego do średniej podczerwieni, masy gwiazdowej i SFR, masa gwiazdowa wykazuje najsilniejszą korelację ze środowiskiem, a SFR najsilniejszą antykorelację, co odzwierciedlają względne amplitudy MCF.
3. Jasność w paśmie K ($2.2 \mu\text{m}$), W1 ($3.4 \mu\text{m}$) i W2 ($4.6 \mu\text{m}$) w podobny sposób śledzą środowisko galaktyk, choć nie tak silnie jak masa gwiazdowa. Podobnie, pasmo u ($0.3 \mu\text{m}$), pasmo W3 ($12 \mu\text{m}$) i pasmo W4 ($22 \mu\text{m}$) podążają za SFR w śledzeniu środowiska, ale nie dokładnie w ten sam sposób. Obserwacje te są bardzo ważne, ponieważ wskazują na potrzebę zachowania ostrożności przy stosowaniu czerwonych i niebieskich pasm fotometrycznych jako wskaźników masy gwiazdowej i SFR w badaniach grupowania galaktyk.

4. Limit jasności galaktyk przeglądu nieba wykorzystywanego do pomiarów ma znaczący wpływ na pomiary grupowania galaktyk. Dlatego należy być świadomym możliwych efektów niekompletności spowodowanych limitem jasności galaktyk w próbkach wybranych na podstawie własności galaktyk, w szczególności masy gwiazdowej.
5. Symulacje CosmoDC2 nie odtwarzają zależności właściwości galaktyk od środowiska, takich jakie są obserwowane w przeglądach GAMA i SDSS. Wyniki tej pracy mogą być wykorzystane w przyszłości do dalszego ulepszania modeli używanych w symulacjach.

Moje pomiary są pierwszymi tego typu wykonanymi dla galaktyk o jasnościach mniejszych niż $r < 19.8$. Wyniki mojej pracy mogą więc być użytecznym odniesieniem dla badań nad grupowaniem galaktyk w przeglądach nieba stosujących wyższe limity jasności. Jednocześnie moja praca może stenować wstęp do badań nad grupowaniem galaktyk za pomocą przeglądów nowej generacji, wykonanych przy pomocy obserwatorów takich jak Narodowe Obserwatorium im. Very Rubin, czy europejskiego satelity Euclid. Mam nadzieję, że badania opisane w tej pracy przyczynią się do dalszego rozwoju kosmologii obserwacyjnej i doprowadzą do powstania nowych metod, które pozwolą lepiej zrozumieć powstawanie i ewolucję wielkoskalowej struktury Wszechświata.