

Streszczenie rozprawy doktorskiej
“Higher Order Statistics of the Large Scale Structure”

Nasze obecne zrozumienie Wszechświata z pozoru wydaje się być trafne.

Teoria Względności (GR) opisuje grawitację wyjątkowo adekwatnie, podczas gdy standardowy model kosmologiczny Λ CDM rozsądnie wyjaśnia większość kosmologicznych obserwacji. Jednakże założenia modelu Λ CDM ujawniają dwie największe zagadki:

Λ (stała kosmologiczna) jest kandydatką ciemnej energii mającą odtwarzać obserwowaną przyspieszoną ekspansję Wszechświata, podczas gdy CDM (zimna ciemna materia) oddziałuje wyłącznie grawitacyjnie.

Uwzględnienie obydwu składników w opisie Wszechświata powoduje dużą zgodność z obserwacjami, jednak ich fizyczne pochodzenie pozostaje nieznane.

W tym kontekście szczególnie umotywowane jest przetestowanie i nałożenie ograniczeń na modele grawitacji oddziałującej na skalach kosmologicznych, szczególnie biorąc pod uwagę, że nie ma obecnie solidnych testów siły grawitacji na skalach większych niż Układ Słoneczny.

Istnieją różne rozszerzone scenariusze grawitacji, które mogą powodować przyspieszoną ekspansję Wszechświata bez potrzeby wprowadzania Λ . Pierwsze kroki w kierunku ograniczania możliwych teorii grawitacji można podjąć, porównując wyniki symulacji uzyskane w standardowej teorii Einsteina (GR) z wynikami uzyskanymi z rozszerzonych modeli grawitacji.

W tej pracy skupiamy się na dwóch popularnych scenariuszach uogólniających całą dziedzinę Einsteina-Hilberta: na modelu $f(R)$ w formie Hu-Sawickiego oraz na normalnym wariancie modelu Dvali–Gabadadze–Porrati (nDGP).

Choć sam model nDGP nie gwarantuje przyspieszonej ekspansji bez Λ , analiza obu rodzin rozszerzonych teorii grawitacji pozwala na cenne porównanie dwóch różnych podejść.

Ponieważ grawitacja jest nieliniowa, narzuca ona nie-Gaussowskie cechy w ewoluującym polu gęstości. Zakładając Gaussowskie warunki początkowe, obserwowane później odstępstwa od Gaussowskości mogą być interpretowane jako sygnatura grawitacji.

Sygnatury te można ilościowo opisać za pomocą momentów centralnych rozkładu liczby obiektów pola gęstości. Ponieważ różne modele grawitacji pozostawiają odmienne ślady, statystyki wyższego rzędu – w szczególności uśrednione funkcje korelacji oraz kumulanty oparte na momentach centralnych – stają się pomocnym narzędziem do ich rozróżniania. Przeprowadzając badania w kontrolowanym środowisku symulowanej kosmicznej sieci dla różnych scenariuszy, tworzymy pole testowe pod przyszłe obserwacyjne ograniczenia modeli grawitacji i wskazujemy zakresy, w których użyte modele grawitacji są rozróżnialne (sygnały rozszerzonej grawitacji).

W pierwszej części identyfikujemy sygnały w statystykach kątowych, korzystając z geometrii stożka świetlnego (lightcone), naśladującej rzeczywiste obserwacje.

Określiliśmy optymalny przedział przesunięć ku czerwieni $0.15 < z < 0.30$ do wykrywania sygnałów i znaleźliśmy do 20% odchylenia rozszerzonych modeli grawitacji względem GR.

Analizę przeprowadziliśmy oddzielnie dla katalogów ciemnej materii i symulowanych galaktyk. Wykryte sygnały wykazywały istotność na poziomie $2-4\sigma$, nawet w przypadku rzadkich katalogów galaktyk (gęstość rzutowana 15 deg^{-2}) dochodziła do $\sim 3\sigma$. To stwarza realną szansę na przyszłe testy grawitacji z wykorzystaniem bardziej kompletnych katalogów. Zachęcenі obiecującymi wynikami następnie zbadaliśmy w pełni trójwymiarowe uśrednione statystyki w przestrzeni rzeczywistej i w przestrzeni przesunięć ku czerwieni.

Skupiając się na skośności, zauważyliśmy, że efekt „Fingers-of-God” tłumi skośność na małych skalach w przestrzeni przesunięć ku czerwieni i jednocześnie osłabia sygnał grawitacyjny. W przypadku galaktyk odchylenia od GR dochodziły do $\sim 4\%$. Sygnały w katalogach galaktyk były silniejsze niż w halach, co jest istotne w kontekście potencjalnych obserwacyjnych testów grawitacji przy użyciu skośności.

Następnie, zmotywowani bogactwem informacji zawartych w przestrzeni przesunięć ku czerwieni, opisaliśmy i zinterpretowaliśmy elipsoidalne uśrednione funkcje korelacyjne: oparte o momenty centralne analog anizotropowej dwu-punktowej funkcji korelacyjnej. Korzystając z dedykowanych symulacji zidentyfikowaliśmy dodatkowe cechy pola gęstości, które są niedostępne przy użyciu standardowych kulistych zliczeń: analiza optymalnego kształtu elipsoid przy stałej objętości ukazała jego zależność od siły efektów „Fingers-of-God” i Kaisera. Pokazaliśmy następnie, że w przypadku skośności pomiary w przestrzeni przesunięć ku czerwieni są lepsze od pomiarów z przestrzeni rzeczywistej w kontekście odróżniania modeli z różnymi scenariuszami wzrostu kosmicznej struktury.

Na koniec omawiamy wszystkie wyniki, odniesienia do aktualnych i przyszłych danych kosmologicznych oraz dyskutujemy o perspektywach mierzenia na nich statystyk przedstawionych w tej pracy.


Paweł Drozda