

Streszczenie rozprawy doktorskiej *„BiGONLight: a new package for computing optical observables in numerical relativity”*

Wraz z początkiem kosmologii precyzyjnej, przewidywania teoretyczne powinny zbliżać się do podobnego poziomu precyzji jak eksperymenty. W tym kontekście symulacje numeryczne uwzględniające poprawki związane z ogólną teorią względności stanowią najlepszą obecnie metodę opisu formowania struktury. Jednakże, oprócz dokładnego opisu dynamiki, niezbędne jest także równie dokładne wyjaśnienie oddziaływania tych struktur na propagację światła i precyzyjne modelowanie ich wpływu na wielkości mierzalne.

Badanie wszystkich relatywistycznych efektów w najbardziej ogólnym sformułowaniu wymaga jednolitego podejścia do problemu propagacji światła w kosmologii. Można to osiągnąć dzięki nowej interpretacji równania dewiacji geodezyjnych w języku bilokalnych operatorów geodezyjnych (bilocal geodesic operators, BGO). Formalizm BGO jest rozszerzeniem standardowego opisu, wprowadzającym jednolity opis różnych zjawisk optycznych związanych z oddziaływaniem krzywizny czasoprzestrzeni na światło.

W tej rozprawie prezentuję BiGONLight, pakiet w języku Mathematica implementujący formalizm BGO do badania propagacji światła w numerycznej ogólnej teorii względności. Pakiet implementuje formalizm BGO dla danych w rozkładzie 3+1 jako kolekcję funkcji języka Mathematica. Dane wejściowe stanowią metryka czasoprzestrzeni oraz kinematyka obserwatora i źródła, oba w rozkładzie 3+1, które mogą pochodzić bezpośrednio z numerycznej symulacji albo zostać dostarczone bezpośrednio przez użytkownika jako funkcje w jawnej postaci. Dane te służą do śledzenia promieni światła (ray-tracing) i obliczenia bilokalnych operatorów geodezyjnych w najogólniejszy możliwy sposób, bez korzystania z symetrii czasoprzestrzeni lub własności układu współrzędnych. Głównym zadaniem pakietu jest obliczanie obserwabli optycznych w dowolnej czasoprzestrzeni. Formalizm BGO pozwala na wyznaczenie wszystkich obserwabli podczas jednego obliczenia, a język Wolfram dostarcza narzędzi numerycznych, dzięki czemu pakiet łatwo nadaje się do zarówno numerycznych, jak i analitycznych badań nad propagacją światła. Pakiet BiGONLight został przetestowany przez obliczenie przesunięcia ku czerwieni, odległości kątowej, odległości paralaktycznej i dryfu przesunięcia ku czerwieni w prostych modelach kosmologicznych. Badania przeprowadzamy dla trzech przykładów: dwóch metryk podanych analitycznie, tzn. modelu jednorodnego Λ CDM bez perturbacji i niejednorodnego modelu z klasy Szekeresa, oraz dla symulowanego wszechświata z pyłem w rozkładzie 3+1. Testy pokazały bardzo dobrą zgodność z analitycznymi wzorami.

Dzięki wyżej wymienionym cechom pakiet BiGONLight jest dobrym narzędziem do badania wpływu niejednorodności na propagację światła. Zbadaliśmy źródła efektów relatywistycznych w propagacji światła spowodowane przez niejednorodne struktury. Pakiet BiGONLight został użyty do obliczenia obserwabli obliczonych w różnych przybliżeniach w niejednorodnym modelu typu plane-parallel. Efekty nieliniowe obliczone zostały jako względne różnice między trzema przybliżeniami: liniowy rachunek perturbacyjnym, przybliżeniem newtonowskim oraz post-newtonowskim. Wielkość niejednorodności można regulować zmieniając wolne parametry modelu, a wpływ tych parametrów na obserwabli otrzymany został przez analizę zmian względnych różnic. W ten sposób szacujemy wielkość newtonowskich oraz post-newtonowskich poprawek do liniowego rzędu rachunku zaburzeń i badamy jak zmieniają się one przy zmianie rozmiaru i amplitudy niejednorodności. Wyjaśniamy także rolę początkowej perturbacji metryki przez potencjał skalarny i pokazujemy, że nieliniowe poprawki są mniejsze niż 1%. Wyniki te są zgodne z wcześniejszymi badaniami na ten temat.