



Tłumaczenie poświadczone z języka angielskiego

[uwaga tłumacza: poniższy dokument, ze względu na specyfikę terminologiczną, w większości stanowi dosłowne tłumaczenie oryginału; uwagi tłumacza zawarte zostały w nawiasach kwadratowych]

[Logo] UiO

Instytut Astrofizyki Teoretycznej
Uniwersytet w Oslo

Do wszystkich zainteresowanych,

dnia 26 czerwca 2024 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana Enrico Laudato pt. „A DHOST MODEL TO UNIFY THEM ALL”

Celem pracy doktorskiej jest zbadanie [dosłownie] wykonalności teorii grawitacji wykraczających poza Ogólną Teorię Względności, w szczególności tak zwanych zdegenerowanych teorii skalarno-tensorowych wyższego rzędu (DHOST) ze złamanym mechanizmem ekranowania, poprzez testowanie ich za pomocą danych obserwacyjnych z gromad galaktyk i galaktyk.

Praca posiada obszerną i kompletną bibliografię, a metody badawcze są dobrze ugruntowane, naukowo uzasadnione, jasno zdefiniowane oraz właściwie wykorzystane.

Rozprawa składa się z 6 rozdziałów: Rozdział 1 stanowi zwięzłe, jednak usystematyzowane wprowadzenie do współczesnej kosmologii, a w szczególności odnosi się do dowodów na istnienie ciemnej materii i ciemnej energii; Rozdział 2 zawiera dokładne podsumowanie teorii DHOST; Rozdział 3 przedstawia szczegółowe podsumowanie własności [dosł. właściwości] galaktyk i gromad galaktyk, które są istotne dla przedmiotowej rozprawy; Rozdział 4 koncentruje się na testowaniu teorii DHOST w skalach gromad galaktyk; Rozdział 5 ma na celu wykorzystanie własności [dosł. właściwości] galaktyk ultrakarłowatych do oceny [dosłownie] wykonalności teorii DHOST; Rozdział 6 stanowi podsumowanie wyników z poprzednich rozdziałów. Rozprawę kończy bardzo obszerna bibliografia.

Rdzeń oryginalnej i najważniejszej części pracy znajduje się w rozdziałach 4 i 5, dlatego poniżej przedstawię pokrótce wyłącznie ich podsumowanie:

W rozdziale 4 doktorant bada zmodyfikowaną teorię grawitacji należącą do rodziny zdegenerowanych teorii skalarno-tensorowych wyższego rzędu



Anna Sawajda

(DHOST), z wbudowanym mechanizmem ekranowania Vainshteina, który czyni je [*dosłownie*] wykonalnymi w skalach Układu Słonecznego. Modele te charakteryzują się jednak częściowym złamaniem mechanizmu ekranowania Vainshteina w skalach gromad. Doktorant bada ten model w dwóch różnych scenariuszach: pierwszym jako wyjaśnienie ciemnej energii, a drugim jako alternatywę zarówno dla ciemnej materii, jak i ciemnej energii. Takie scenariusze zostały przetestowane poprzez analizę próbki 16 gromad galaktyk o wysokiej masie, które były celem badania soczewkowania gromad i supernowych za pomocą programu Hubble'a przy użyciu dwóch uzupełniających się sond [*ang. probe*], a mianowicie obserwacji promieniowania rentgenowskiego oraz silnego i słabego soczewkowania grawitacyjnego. Doktorant stworzył model masy gromad, przyjmując podejście wieloskładnikowe, w tym gorący gaz i [*dosłownie*] wkład galaktyczny gwiazd. Dla większości gromad w próbce, wyniki pokazują pewne dowody na korzyść modelu DHOST jako opisu ciemnej energii w porównaniu z Ogólną Teorią Względności. Model ten wydaje się również wyjaśniać rozbieżności występujące w Ogólnej Teorii Względności pomiędzy szacunkami masy hydrostatycznej i soczewkowanej w promieniowaniu rentgenowskim. W przypadku drugiego scenariusza, w którym grawitacja działa zarówno jako ciemna energia, jak i ciemna materia ze względu na częściowe złamanie mechanizmu ekranowania Vainshteina w skalach gromad, model ten jest statystycznie niekorzystny w porównaniu z Ogólną Teorią Względności.

Rozdział 5 przedstawia testowanie teorii DHOST za pomocą własności galaktyk ultra-rozproszonych (UDG). Jest to rodzina układów grawitacyjnych o dość zróżnicowanych właściwościach, obejmująca zarówno obiekty z dużym niedoborem ciemnej materii, jak i inne zdominowane przez ciemną materię. Układy te są zatem bardzo interesujące do testowania Rozszerzonych Teorii Grawitacji, ponieważ wykazują bardzo odmienne własności, w tym galaktyki o bardzo niskiej zawartości ciemnej materii, takie jak NGC 1052-DF2 i NGC 1052-DF4, oraz inne zdominowane przez ciemną materię, jak Dragonfly 44. Pomysł polegał na przeanalizowaniu kinematyki podpróbki obserwowanej za pomocą Dragonfly Telescope Array.

Doktorant rozpoczyna rozdział od rozważenia modelu DHOST w celu zbadania wewnętrznej kinematyki NGC1052-DF2. Następnie bada dwa teoretyczne scenariusze: jeden, w którym model wyłącznie opisuje ciemną energię; oraz jeden, w którym dodatkowo całkowicie zastępuje ciemną materię. Ważnym wynikiem uzyskanym przez doktoranta jest to, że najlepszym modelem do wyjaśnienia danych jest Ogólna Teoria Względności z wkładem wyłącznie gwiazdnym. Niemniej, model alternatywny nie został wykluczony.

Następnie doktorant rozważa dwa układy, NGC1052-DF4 i Dragonfly 44, które są odpowiednio pozbawione ciemnej materii i zdominowane przez ciemną materię. W przypadku NGC1052-DF4, w ramach Ogólnej Teorii Względności, doktorant pokazuje, że dynamika galaktyki może być opisana jedynie przez komponent gwiazdny. W ramach DHOST, doktorant wykazuje, że model jest zgodny z danymi i jest statystycznie równoważny Ogólnej Teorii Względności z [*dosłownie*] zimną ciemną. Z kolei analiza modelu Dragonfly 44 wykazała, że



wymaga on ciemnej materii zarówno w Ogólnej Teorii Względności, jak i w teorii DHOST. W sytuacji, gdy ta druga teoria rozważana jest wyłącznie jako kosmologiczny płyn ciemnej energii, jest statystycznie równoważna z Ogólną Teorią Względności. Jednakże, gdy doktorant próbował użyć jej do zastąpienia ciemnej materii, ograniczenia parametrów teoretycznych pozostają w [dosłownie] ostrym kontraście z tymi pochodzącymi z bardziej [dosłownie] rygorystycznych sond ze skal gwiazdnych.

W dalszej części skomentuję niektóre części rozprawy, które można poprawić, a czytelnikowi przydałyby się pewne wyjaśnienia:

Rozprawa doktorska zyskałaby na „doszlifowaniu” języka. Ogólnie jest napisana dobrze, ale byłoby korzystne, gdyby doktorant użył korektora gramatyki, takiego jak "Parafrazowanie" lub „DeepL Write”, w celu sprawdzenia na przykład literówek i drobnych błędów gramatycznych.

Rozdział 1: Ponieważ jest to rozdział przeglądowy/wprowadzający, oczekiwałbym części podsumowującej wyzwania stojące przed Λ CDM w małych skalach. Czy doktorant jest świadomy problemu Core-Cusp, TooBig to Fail i Missing Satellites? Czy oczekuje, że model DHOST pomoże rozwiązać lub złagodzić te problemy?

Rozdział 2: Ponieważ jest to rozdział przeglądowy/wprowadzający, spodziewałbym się paragrafu, który przedstawiałby bardziej szczegółowy przegląd (z "za" i "przeciw") innych teorii zmodyfikowanej grawitacji, oprócz DHOST, które mogą być alternatywą dla ciemnej materii. Czy doktorant mógłby wyjaśnić, jak DHOST jako alternatywa dla ciemnej energii i ciemnej materii wypada w porównaniu z innymi modelami, takimi jak TeVeS, Gallileons lub Moffat MODified Gravity (MOG)?

Rozdział 3: Chciałbym zobaczyć dyskusję na temat głównych źródeł błędów obserwacyjnych i modelowania oraz niepewności związanych z [dosłownie] obserwacjami analizowanymi w tym rozdziale, które będą miały wpływ na testowanie modelu w kolejnych rozdziałach pracy. Czy doktorant mógłby je rozwinąć i wskazać, co byłoby głównym źródłem niepewności?

Rozdział 4: Ten rozdział został opublikowany w *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, jest jasny i dobrze napisany. Dlatego nie mam żadnych uwag. Jest to jednak publikacja zespołowa, a ponieważ doktorant używa w pracy terminu „my”, chciałbym, aby doktorant wskazał, jaki był jego własny wkład w artykuł i jaki był wkład współautorów.



Rozdział 5: Rozdział ten został opublikowany w *Eur Phys. J.C.*, jest klarowny i dobrze napisany. Dlatego nie mam żadnych uwag. Jest to jednak publikacja zespołowa, a ponieważ doktorant używa w pracy terminu „my”, chciałbym, aby wskazał, jaki był jego własny wkład w artykule i jaki był wkład współautorów.

Rozdział 6: Chociaż rozdział ten zawiera szczegółowy opis, analizę i interpretację wyników rozprawy, brakuje w nim krytycznej oceny możliwych niedociągnięć w wybranej metodologii i podejściu, zarówno w modelowaniu teoretycznym, jak i analizie danych obserwacyjnych. Chciałbym zobaczyć część dotyczącą tego, co można było poprawić w metodologii i jakie są słabe punkty w zastosowanych przybliżeniach. Ponadto, moim zdaniem, w tym rozdziale brakuje paragrafu na temat możliwych przyszłych ścieżek i kierunków dalszych badań w ramach tej rozprawy. Czy kandydat mógłby rozwinąć te 3 punkty?

Podsumowując, teza jest imponująca dzięki połączeniu możliwości technicznych i wnikliwego instynktu fizycznego. Co więcej, obejmuje ona imponujący zakres materiału. Manuskrypt pokazuje, że doktorant posiada zarówno dobre umiejętności matematyczne, jak i instynkt fizyczny. Co więcej, przedstawiona praca udowadnia, że kandydat potrafi samodzielnie prowadzić projekty naukowe, nie boi się podejmować nowych zagadnień oraz długich i złożonych obliczeń, które doprowadza do końca w sposób w pełni zdyscyplinowany. Wartość tej pracy jest najwyższej jakości, zarówno pod względem oryginalności, jak i znaczenia uzyskanych wyników. Nic więc dziwnego, że na podstawie jej treści opublikowano kilka artykułów.

Podsumowując, rozprawa spełnia wszystkie niezbędne kryteria określone w polskiej ustawie - *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce - art. 187 ust. 1-2 ustawy (Dz. U. z 2023 r. poz. 742 ze zm.)*

Z poważaniem,

[podpis odręczny]

David F. Mota, Profesor

+47 – 22857581, d.f.mota@astro.uio.no

[stopka dokumentu zawiera dane adresowe]

[stopka dokumentu zawiera dane adresowe]



Institute of Theoretical Astrophysics

*Address: P.O.Box 1029 Blindern, N-0315 Oslo, Norway; tel. (+47) 22 85 65 01,
telefax (+47) 22 875 65 05; e-mail: postmottak@matnat.uio.no*

Adres do osobistego kontaktu: Sem Sælands vei 13

[na dokumencie znajduje się odcisnięta pieczęć Uniwersytetu]

Ja, dr Alina Sz wajczuk, tłumacz przysięgły języka angielskiego poświadczam, iż niniejszy dokument jest wiernym tłumaczeniem dokumentu okazanego mi w wersji elektronicznej dnia 12 lipca 2024 r.
Sporządzono, odczytano i opatrzone pieczęcią w Gryfinie dnia 31 lipca 2024 r.
Rep. nr 34/2024

Alina Sz wajczuk

