



Uniwersytet Śląski
INSTYTUT FIZYKI
im. Augusta Chelkowskiego

40-007 Katowice, ul. Uniwersytecka 4, tel./fax. +48 (32) 2588431, fizyka@us.edu.pl

Katowice, 26.08.2016

Ocena rozprawy doktorskiej mgr Anety Wojnar pt.

„Extended theories of gravity in cosmological and astrophysical applications”

W swojej rozprawie doktorskiej Pani mgr Aneta Wojnar przedstawiła oryginalne wyniki badań dotyczące kosmologicznych i astrofizycznych implikacji rozszerzonych teorii grawitacji. W rozprawie rozważane były teorie typu $f(R)$ w formalizmie Palatiniego i skalarno-tensorowe teorie grawitacji. Chociaż geneza tego typu uogólnień ogólnej teorii względności (OTW) sięga lat 60-tych (teorie skalarno-tensorowe) czy też lat 70-tych XX wieku (teorie typu $f(R)$), kosmologiczny kontekst tych badań jest obecnie bardzo aktualny. Powodem tego jest potrzeba zrozumienia fenomenu przyspieszającej ekspansji Wszechświata. Jak się uważa, zrozumienie tego zjawiska można uzyskać albo postulując istnienie egzotycznej formy materii (w co wlicza się też stałą kosmologiczną) albo na drodze modyfikacji teorii grawitacji.

Badania doktorantki dotyczyły kilku rodzajów zagadnień. Pierwsze z nich dotyczyło kwestii następującej: uogólnienia OTW typu $f(R)$, w których gęstość lagranżjanu jest pewną funkcją skalara Ricciego napotyka ją na fundamentalne pytanie: jaka jest postać tej funkcji? Często udzielaną odpowiedzią jest wskazanie *ad hoc* pewnego ansatzu, np. $f(R)$ jest identycznością dla OTW lub funkcją kwadratową w modelu Starobińskiego. Doktorantka rozwijała alternatywne podejście polegające na poszukiwaniu zasady wyróżniającej pewne szczególne postacie $f(R)$ lub też równoważne im postacie potencjału $V(\varphi)$ dla pola skalarnego, gdyż jak pokazała w rozprawie teorie typu $f(R)$ dają się efektywnie sprowadzać do odpowiednich teorii skalarno-tensorowych. W roli mechanizmu wyboru, doktorantka rozważała symetrie Liego i symetrie Noether badanych teorii postulując, że ich istnienie, a w szczególności postacie generatorów symetrii wyróżniają pewne potencjały $V(\varphi)$. Ponadto niezmienniki symetrii umożliwiają znalezienie pewnych szczególnych rozwiązań. Z tego punktu widzenia w Rozdziale 3 rozważane było równanie Wheelera - De Witta w hybrydowej uogólnionej teorii grawitacji przy założeniu przestrzennie płaskiego, jednorodnego i izotropowego modelu kosmologicznego zaś w pierwszej części Rozdziału 4 – jednorodne anizotropowe modele typu Bianchi. Jest to dość ciekawe podejście, wymagające sprawności rachunkowej i dobrego zrozumienia zarówno OTW (w formalizmie ADM) jak i teorii grup Liego. Ten fragment rozprawy ma charakter czysto teoretyczny. Sposób jego realizacji i prezentacji dowodzi sporej wiedzy i umiejętności doktorantki w zakresie diskutowanych tam zagadnień.

Drugim, odmiennym koncepcyjnie i merytorycznie zagadnieniem – omówionym w Rozdziale 2 – była analiza pewnego konkretnego modelu kosmologicznego: teorii $f(R)$ w ramach modelu Starobińskiego przy założeniu jednorodnego, izotropowego modelu kosmologicznego wypełnionego uogólnionym gazem Czapłygina. Model ten został zbadany jakościowo za pomocą metod teorii układów dynamicznych wykazując istnienie (poza osobliwością początkową)

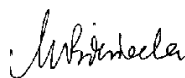
ciekawego rodzaju osobliwości typu III (tzw. Big Freeze). Model ten jest w stanie, dostarczyć jednolitego opisu 4 faz ewolucji wszechświata: spowalniającej ekspansji z dominacją materii, fazy inflacyjnej (odpowiadającej osobliwości typu III), fazy dominacji materii oraz następującej po niej fazy przyspieszonej ekspansji. Należy przyznać, że jakościowo jest to bardzo atrakcyjny model. W rozdziale 3 doktorantka opisała też wyniki pewnych analiz statystycznych polegających na próbie konfrontacji opisanego modelu z obserwacjami supernowych typu Ia, barionowych pików akustycznych (BAO), anizotropii promieniowania mikrofalowego CMB oraz na danych dotyczących tempa ekspansji $H(z)$ na różnych przesunięciach ku czerwieni. Ten fragment budzi niedosyt. Jest niezwykle krótki jak na tak istotną kwestię – jedynie strona tekstu (str. 20) jest jemu poświęcona. Brak jest zarówno opisu danych zastosowanych do konfrontacji modelu z obserwacjami np. co dokładnie oznacza „CMB and lensing” oraz „Alcock-Paczyński test” ? Dlaczego spośród całej gamy teorio-informacyjnych metod selekcji modeli wybrano akurat Bayesowskie kryterium informacyjne (BIC) ? Ponadto, wartość zredukowanego chi-kwadrat $\chi^2_{\text{dof}} = 0.19$ w oczach praktyka oznacza tzw. nadmierne dopasowanie (ang *over-fitting*), którego przyczyną najczęściej bywa niewłaściwe uwzględnienie niepewności mierzonych obserwacji. Następnie, nie jest jasne czym kierowano się wybierając zakresy parametrów A_s , α czy Ω_γ ? Jakie rozkłady parametrów były próbkowane: jednorodnie czy innego typu? Dlaczego na rysunkach na stronie 22 kontury funkcji wiarygodności na płaszczyźnie (Ω_γ, α) oraz jednowymiarowy profil wiarygodności dla parametru α zostały policzone przy ustalonych wartościach pozostałych parametrów, nie zaś w wyniku marginalizacji po tych parametrach? Biorąc pod uwagę, że rozprawa dowodzi iż doktorantka jest „czystej krwi” teoretykiem, adresatami niniejszych uwag są w większym stopniu współautorzy omawianej w Rozdziale 2 pracy.

Ostatnim rodzajem zagadnień diskutowanych w rozprawie (w Rozdziale 4) jest problem istnienia i stabilności relatywistycznych gwiazd w uogólnionych teoriach grawitacji. Autorka w systematyczny sposób omówiła jaką postać przyjmują – znane z OTW – równania Tolmana-Oppenheimera-Wołkowa opisujące stacjonarne równowagowe konfiguracje materii, jeżeli przejdziemy do teorii skalarno-tensorowych. Chociaż rozdział ten zawiera sporo cennych detali rachunkowych, w pewnych momentach jest zbyt pobieżny na przykład gdy na stronie 67 wprowadzone jest równanie TOV w teoriach skalarno-tensorowych, czytelnik nie wie czym są parametry σ , α , β , χ , i γ . Nieco światła na tą sprawę rzuca dodatkowa lektura pracy z *Proceedings of Science*. Poza tym rozdział 4 nie zawiera jasnej, fizycznej konkluzji odnośnie uzyskanych wyników. Pomocne byłoby tu umieszczenie w nim diagramów masa-promień pokazanych we wzmiankowanej wyżej pracy oryginalnej. Usprawiedliwieniem może być fakt, że tematyka gwiazd relatywistycznych w zmodyfikowanych teoriach grawitacji jest obszarem najświeższych zainteresowań doktorantki. Omawiane w Rozdziale 4 zagadnienia stanowią ciekawy punkt wyjścia do dalszego rozwijania podniesionego tematu, szczególnie w kontekście ogłoszonych niedawno pierwszych laboratoryjnych detekcji fal grawitacyjnych, dzięki którym otwarte zostało nowe okno na wszechświat. Obserwacje fal grawitacyjnych dostarczą wkrótce ważnych narzędzi testowania alternatywnych teorii grawitacji.

Rozprawa napisana jest w języku angielskim, zredagowana w cztery rozdziały, poprzedzona streszczeniem w języku polskim i zakończona dwoma dodatkami poświęconymi omówieniu stosowanych w rozprawie wyrafinowanych metod matematycznych: teorii grup Liego i symetrii Noether oraz teorii układów dynamicznych. Rozprawa zawiera też spis publikacji, na których została oparta. Dowiadujemy się że doktorantka jest współautorką 6 publikacji, z których 3 zostały wydanych drukiem w renomowanych czasopismach z listy filadelfijskiej (jedna z nich w *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* – jednym z najbardziej renomowanych czasopism dziedziny, druga w równie prestiżowym *Physical Review D*, trzecia zaś w *European Physical Journal C*), 1 jako artykuł po-konferencyjny w internetowym czasopiśmie otwartego dostępu pt. *Proceedings of Science*. Dwie ostatnie prace występują jedynie w formie preprintu umieszczonego w archiwum „arXiv.org” i są w trakcie recenzji.

Z merytorycznego punktu widzenia oceniam omawianą rozprawę wysoko. Z punktu widzenia prezentacji i redakcji rozprawy – czuję niedosyt. Jest ona raczej rodzajem przewodnika po opublikowanych pracach, zawierającym w stosunku do oryginalnych prac rozwinięcia niektórych zagadnień i ich bardziej systematyczne ujęcie. W pewnych momentach jednak trudno zrozumieć rozprawę bez spojrzenia w oryginalne prace. Język angielski ogólnie jest dobry, ale pewne fragmenty należałoby poprawić. Atutem pracy jest dający się wyraźnie wyczuć oryginalny tok rozumowania i prezentacji doktorantki. Mimo pewnych krytycznych uwag sformułowanych wyżej, pozytywnie oceniam rozprawę. Zgodnie z Art. 13, pkt.1 *Ustawy z dn. 14 marca 2003 (z późn. zm.) o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki* rozprawa doktorska „... powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego ... oraz wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie ... oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej ...” Wszystkie te warunki te zostały, w mojej ocenie, spełnione, co motywuje moją pozytywną ocenę rozprawy.

Reasumując, uzyskane przez doktorantkę, oryginalne wyniki zawarte w przedstawionej mi do oceny rozprawie oraz sposób ich prezentacji wskazujący na dobrą znajomość zaawansowanych metod matematycznych sprawiają, że rozprawa spełnia formalne i zwyczajowe wymogi stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie mgr Anetę Wojnar do dalszych etapów przewodu doktorskiego i do publicznej obrony.



Prof. dr hab. Marek Biesiada