

Prof. dr hab. Marek Rogatko
Katedra Fizyki Teoretycznej
Grupa Astrofizyki i Teorii Grawitacji
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej
w Lublinie

Lublin, 27.07.22

Recenzja pracy doktorskiej Roberto Caroli pt.
“Ricci Cosmologies”.

Rozprawa doktorska zawiera 90 stron druku, składa się ze wstępu, ośmiu rozdziałów, podsumowania, dodatku oraz spisu literatury. Rozprawa napisana została w języku angielskim. Promotorem rozprawy doktorskiej mgr. Roberto Caroliego jest prof. M. Dąbrowski.

Po ogólnym wprowadzeniu do tematu rozprawy doktorskiej i zasygnalizowaniu poruszanych w niej problemów, mgr R. Caroli w **rozdziałach I i II**, przedstawia krótki zarys współczesnych modeli kosmologicznych stanowiących uogólnienie modelu standardowego. Ustala obowiązującą konwencję znaków dla wyboru tensora metrycznego oraz skupia się na problemach standardowego modelu kosmologicznego, takich jak zimna ciemna materia i jej natura, stała kosmologiczna, problem koincydencji, a także różnice w wartościach stałej Hubble’a otrzymywanej z eksperymentów astronomicznych.

Rozdział III poświęcony jest relatywistycznej hydrodynamice poza punktem równowagi, przedstawionym w ujęciu podanym przez R. Romatschke i U. Romatschke w *Relativistic Fluid Dynamics In and Out of Equilibrium* CUP 2019, gdzie badano kwantowe rozkłady z zadany tensor energii pędu, niezmienniczym względem grupy Poincarego. Biorąc pod uwagę wartości oczekiwane tensora energii pędu uśrednione po zespole statystycznym, układ może być traktowany jako płyn w efektywnej teorii pola. W części dalszej omówione zostały przybliżenia tensora energii pędu, w pierwszym i drugim rzędzie rozwinięcia gradientowego.

W rozdziale IV przedstawiono główne idee dotyczące tzw. kosmologii Ricciego, oraz założono że w dużych skalach Wszechświat opisany jest modelem FRLW i podlega zwykłym sekwencjom ewolucyjnym. Efektywne ciśnienie w opisywanym modelu jest modyfikowane poprzez człony Ricciego. Dla modelu izotropowego znaleziono między innymi funkcję Hubble'a dla Wszechświata wypełnionego pyłem, promieniowaniem i ze stałą kosmologiczną, w zależności od wprowadzonych parametrów w ciśnieniu efektywnym. Ograniczenia na parametry otrzymano na podstawie rozważań termodynamicznych. Znaleziono także warunki energetyczne dla modelu izotropowego Wszechświata Ricciego.

W podrozdziale IV-2 opisano anizotropowy model kosmologii Ricciego, rozważając metrykę czasoprzestrzeni typu Bianchi I. Znaleziono dla tego modelu funkcję Hubble'a, istotnie różną od funkcji dla modelu izotropowego, zawierające ona człony opisujące anizotropową ekspansję.

W podrozdziale IV-3 opisano niejednorodną kosmologię Ricciego bazując na metryce Lemaitre-Tolmana-Bondiego. Wyznaczono funkcję Hubble'a, która jest uśrednioną wielkością zależną od średniego przesunięcia ku czerwieni.

Próżniowe rozwiązanie w kosmologii Ricciego opisane zostało w podrozdziale IV-4. W modelu tym człony nierównowagowego promieniowania wpływają na stan próżni, co daje efekt iż gęstość energii zależy od gęstości energii materii i promieniowania. Autor przebadł dwa przypadki: oddziaływanie z zimną ciemną materią i materią relatywistyczną (nazwaną ciemnym promieniowaniem).

W końcowej części rozdziału IV rozważane zostały tzw. nachylone kosmologie Ricciego, dla których czterowektor prędkości obserwatora nie pokrywa się z wektorem prędkości płynu. Konsekwencją tego jest występowanie strumienia energii i anizotropowego naprężenia w płynie. Efekt ten może być potencjalnie zmierzony przez obserwatora. Opisane zostały także warunki energetyczne dla tego modelu kosmologicznego.

W rozdziale V Autor przedstawił podstawowe pojęcia potrzebne do analizy bayesowskiej i Monte Carlo, metod często używanych w analizie danych w kosmologii obserwacyjnej. Zaś w rozdziale VI przedstawiono charakterystyki metod pozwalających na pozyskanie danych istotnych do weryfikacji modeli kosmologicznych.

Rozdział VII stanowi oryginalny wkład Autora do problematyki związanej z kosmologią Ricciego. Stanowi interesującą próbę weryfikacji i dopasowania modelu kosmologii Ricciego do danych obserwacyjnych. Przedstawione rezultaty zostały opublikowane w Eur. Phys. J. C 81, (2021) 881, we współpracy z Promotorem oraz prof. V. Salzano. W rozważaniach

przyjęto, że współczynniki transportu drugiego rzędu mają stałe wartości. Powoduje to, iż niezerowe współczynniki transportu generują zmiany w stosunku do opisu modelem cieczy doskonałej, które potencjalnie mogą wpływać na fizykę rozważanego modelu kosmologicznego. Z porównania otrzymanych rezultatów z danymi obserwacyjnymi określono granice zakresów wartości wprowadzonych parametrów w kosmologii Ricciiego. Otrzymany model okazał się być kompatybilny ze standardowym modelem kosmologicznym, który jednak statystycznie lepiej pasuje do danych obserwacyjnych.

Uwagi i komentarze:

1. w pracy na stronie 14, we wzorze (3.20) i po wzorze (3.21), pomyłona jest numeracja,
2. interesującym byłoby przedstawienie programu dalszych badań, tzn. jakie modyfikacje kosmologii Ricciiego mogłyby prowadzić do efektów innych niż przewidziane modelem standardowym.

Podsumowując stwierdzam, że mgr Roberto Caroli wykazał się bardzo dobrą znajomością zaawansowanych metod ogólnej teorii względności oraz statystycznych używanych w kosmologii.

Autor w ciekawy sposób połączył teoretyczne rozważania z danymi obserwacyjnymi, dokonując weryfikacji i dopasowania modelu do danych astronomicznych.

Treści zawarte w rozprawie doktorskiej odnoszą się częściowo do oryginalnych rezultatów badań doktoranta uzyskanych we współpracy ze swoim promotorem prof. M. Dąbrowskim oraz prof. V. Salzano. Zostały one opublikowane w renomowanym czasopiśmie Eur. Phys. J. C.

Z tego względu moja pozytywna ocena pracy doktorskiej ma swoje potwierdzenie w opiniach specjalistów redakcyjnych przyjmujących pracę do druku.

Mój końcowy wniosek jest oczywiście pozytywny i wnoszę o dopuszczenie mgr. Roberto Caroliego do dalszego postępowania w przewodzie doktorskim.

