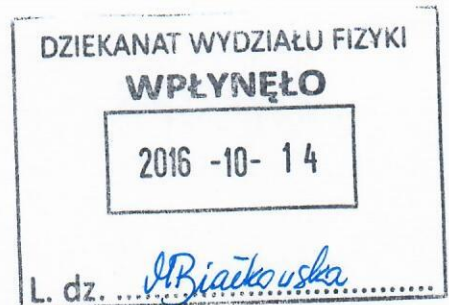




Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Andrei Dapora pt. „Primordial cosmology and effective spacetime”

Celem rozprawy doktorskiej mgr. Andrei Dapora, wykonanej w Instytucie Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Warszawskiego pod kierunkiem prof. dr. hab. Jerzego Lewandowskiego jest badanie efektów kwantowych w modelach kosmologicznych, a w szczególności klasyczna i kwantowa hamiltonowska analiza perturbacji kosmologicznych. Materiał rozprawy doktorskiej oparty jest na wynikach zaprezentowanych w pięciu artykułach naukowych napisanych wspólnie z prof. J. Lewandowskim i innymi współpracownikami w ciągu ostatnich trzech lat i opublikowanych w najbardziej prestiżowych periodykach o zasięgu międzynarodowym: Physical Review D (4 prace) i w Physics Letters B. Oprócz tych pięciu publikacji mgr. A. Dapor jest współautorem 10 prac poświęconych różnym aspektom teorii kwantowej grawitacji. Prace mgr. A. Dapora uzyskały w sumie ponad 80 cytowań. W mojej ocenie dorobek naukowy mgr. A. Dapora znacznie wykracza ponad zwyczajowe oczekiwania wobec doktorantów.

Recenzowana rozprawa doktorska napisana jest w języku angielskim. Liczy ona 129 stron i składa się ze wstępu, podsumowania uzyskanych wyników, 3 rozdziałów oraz liczącej 51 pozycji bibliografii.

Rozdział pierwszy rozprawy stanowi zwięzły wstęp do współczesnej kosmologii. Omawiane są w nim kinematyczne i dynamiczne aspekty współczesnej teorii ewolucji wszechświata jak również najważniejsze aspekty kosmologicznego modelu inflacyjnego. Materiał zawarty w tym rozdziale stanowi standardową wiedzę podręcznikową, ale warto zauważyć, że autorowi udało się zaprezentować go w sposób spójny i klarowny.

Rozdział drugi poświęcony jest hamiltonowskiemu sformułowaniu teorii grawitacji, ze szczególnym uwzględnieniem zastosowań kosmologicznych. Podrozdział 2.1 zawiera wstęp do sformułowania hamiltonowskiego ogólnej teorii względności. Podobnie jak rozdział 1 rozprawy nie zawiera on nowych wyników, ale na pochwałę zasługuje klarowna prezentacja tej skomplikowanej i zaawansowanej teorii. Kolejny podrozdział 2.2 omawia zastosowanie

formalizmu hamiltonowskiego w przypadku jednorodnego i izotropowego modelu kosmologicznego z materią w postaci rzeczywistego pola skalarne. W pierwszej części tego podrozdziału autor przedstawia konstrukcję zmiennych w przestrzeni fazowej opisujących jednorodny wszechświat i pokazuje, że równania opisujące dynamikę tych zmiennych pokrywają się z równaniami Friedmanna. Następnie, w kolejnej części, wprowadzone zostaje pojęcie fizycznego czasu, opisanego za pomocą pewnej zmiennej z przestrzeni fazowej układu, na przykład – wartości pola skalarne Φ . Pozwala to na zdefiniowanie zmodyfikowanego więzu skalarne, który, po skwantowaniu, przybierze postać równania Schroedingera z fizycznym hamiltonianem. W tym miejscu pojawia się problem polegający na tym, że nowy wiąz jest dobrze zdefiniowany jedynie w pewnym sektorze początkowej przestrzeni fazowej, charakteryzowanym dodatnią wartością pędu stowarzyszonego z wartością pola skalarne Φ . Autor przeprowadza w tym miejscu krótką dyskusję, w której uzasadnia dokonany przez siebie wybór; nie jest ona, w moim przekonaniu wystarczająco głęboka. W szczególności nie jest dla mnie jasny podany w rozprawie argument, że zachowanie oscylacyjne nie jest do pogodzenia z przed-inflacyjną fazą rozwoju wszechświata. Podrozdział 2.3 poświęcony jest analizie (opartej w dużej części na oryginalnych wynikach autora) hamiltonowskiej dynamiki zlinearyzowanych perturbacji pól grawitacyjnego i skalarne na tle jednorodnego i izotropowego wszechświata. Zawiera on, w szczególności, interesującą dyskusję zmiennych Mukhanova – Sasakiego szeroko używanych w analizie perturbacji kosmologicznych, które wybrane są jako podstawa analizy zaprezentowanej w rozdziale następnym.

Rozdział 3 również powstał w oparciu o oryginalne wyniki autora rozprawy. Zaczyna się on od podrozdziału przedstawiającego w skrócie standardowe zastosowanie kwantowej teorii pola na zakrzywionej czasoprzestrzeni i kosmologicznej teorii kwantowych perturbacji stosowanej w modelu inflacyjnym. W podrozdziale 3.2 autor analizuje kwantową dynamikę zlinearyzowanych fluktuacji, uzyskanych w rozdziale 2. Najpierw rozważane jest tutaj tzw. „przybliżenie pola testowego”, w którym przestrzeń Hilberta układu rozbija się na iloczyn tensorowy przestrzeni Hilberta odpowiadających jednorodnemu tłu oraz fluktuacjom skalarnym i tensorowym. Już w tym przybliżeniu uzyskane równania (3.40) są bardzo nietrywialne: nie dość, że masa pola skalarne i wektory falowe odpowiadające modom rozwinięcia uzyskują poprawki zależne od

parametru skali, to dodatkowo, w przeciwieństwie do standardowej analizy (omówionej wcześniej), mody skalarne i tensorowe stają się ze sobą wzajemnie sprzężone. Nie jest jednak z przeprowadzonej skrótowej analizy jasne, czy poprawki te są duże czy zaniedbywalne i aż prosi się w tym miejscu o dyskusję, w jakich sytuacjach fizycznych sprzężenie między modami o różnych spinach (czyli drastyczne odstępstwo od standardowej teorii) jest istotne. Taka dyskusja wydaje się konieczna chociażby w celu sprawdzenia sensowności przyjętych wcześniej założeń: z tego, że przewidywania modelu inflacyjnego zgodne są z obserwacjami wynika, jak się zdaje, że nawet jeśli sprzężenie między modami istnieje, to musi ono zniknąć w przypadku dużego wszechświata, czyli dużych wartości parametru skali.

W celu znalezienia fizycznej interpretacji równań rządzących kwantową ewolucją fluktuacji autor porównuje następnie równanie rządzące fluktuacjami skalarnymi z efektywnym równaniem kwantowego pola skalarnego ewoluującego na tle jednorodnego wszechświata. Okazuje się, że równania te dają się ze sobą łatwo uzgodnić w przypadku, gdy pole skalarne jest bezmasowe. W świetle faktu, że pole inflatonu nie jest bezmasowe, jest to wyraźnym dzwonkiem alarmowym. W kolejnych podrozdziałach autor w skrócie omawia różne sposoby wyjścia z tego impasu, omijając jednak fundamentalny problem, jakim jest obliczenie, lub przynajmniej oszacowanie wielkości poprawek, związanych z kwantowymi fluktuacjami geometrii tła.

Spośród prezentowanych możliwości najbardziej interesującą, w moim przekonaniu, jest zaprezentowana w podrozdziale 3.2.3 interpretacja uzyskanej kwantowej efektywnej metryki jako przykładu „metryki tęczowej” Magueijo i Smolina, w której efektywny parametr skali ma postać (3.65). Znając tę metrykę autor wyprowadza zmodyfikowaną relację dyspersyjną (3.67), korzystając z klasycznego wzoru wiążącego fizyczną energię i pęd modu z metryką i jego wektorem falowym. Nie jest dla mnie jednak zupełnie jasne, czy tak znaleziona relacja dyspersyjna pokrywa się z tą, którą znaleźć można z efektywnych równań ewolucji tego modu. Następnie autor dyskutuje szczegółowo fenomenologiczne aspekty uzyskanej relacji dyspersyjnej. Mam w tym miejscu parę uwag:

1. Trudno analizować obserwacyjne ograniczenia na wielkość uzyskanych modyfikacji bez analizy (choćby wymiarowej) rzędu wielkości poprawek do uzyskanych równań (np.

równania (3.73)); wydaje się oczywiste, że w klasycznym współczesnym wszechświecie parametr β musi, z bardzo dużą dokładnością, być równy zero.

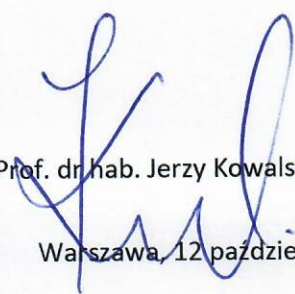
2. Końcowa konkluzja, że wzory uzyskane w pracy nie zawierają w ogóle odwołania do skali Plancka wydaje mi się bardzo na wyrost, a przynajmniej wymaga szczegółowego uzasadnienia. Po pierwsze, hamiltonian H_0 zależy od stałej grawitacyjnej, czyli ilorazu długości Plancka i masy Plancka. Nie bardzo widzę, jak zależność ta miałaby się uprościć w skomplikowanych formułach określających wartości oczekiwane tego operatora. W istocie znikanie zależności od skali Plancka oznaczałoby, że w pracy nie mamy do czynienia z metryką tęczową, a jedynie z pewną efektywną metryką klasyczną, zależną (w oczywisty sposób, jak np. metryka Schwarzschilda) od energii niesionej przez materię.

Ostatnia część rozdziału 3 poświęcona jest zastosowaniu uprzednio wprowadzonych metod i narzędzi w kontekście pętlowej kwantowej kosmologii oraz porównanie uzyskanych wyników z obserwacjami. Jak można się było spodziewać, poprawki do standardowych, potwierdzonych obserwacyjnie wyników ukazują się być zbyt małe, by można je było zarejestrować w aktualnie istniejących detektorach.

Rozprawa doktorska mgr. Andrei Dapora przygotowana została starannie. Jedynym zastrzeżeniem, jakie mam do warstwy redakcyjnej jest to, że na dużej liczbie stron nie ma numerów. Do rzadkości należą drobne pomyłki i błędy a układ pracy jest bardzo przejrzysty. Autor poświęca wiele uwagi wyjaśnieniu stosowanych pojęć i modeli w sposób pedagogiczny, tak aby czytelnik nie będący specjalistą mógł rozprawę przeczytać nie odwołując się to prac przeglądowych.

Pomimo wymienionych powyżej kilku wątpliwości i uwag krytycznych, wyniki zaprezentowane w rozprawie doktorskiej mgr. Andrei Dapora są, w moim przekonaniu, interesujące, a ich uzyskanie wymagało od doktoranta wielkiego nakładu pracy. Stanowią one oryginalny wkład doktoranta do rozwoju teorii kwantowej grawitacji i kwantowej kosmologii. Świadczą też o opanowaniu przez mgr. Andreię Dapora zaawansowanych metod teorii klasycznej i kwantowej grawitacji i teorii pola oraz o jego głębokim zrozumieniu problemów i metod współczesnej kosmologii.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. Andrei Dapora zawiązką spełnia wszelkie ustawowe, formalne i zwyczajowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim z dziedziny fizyki teoretycznej. Wnoszę o dopuszczenie mgr. Andreię Dapora do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Prof. dr hab. Jerzy Kowalski-Glikman

Warszawa, 12 października 2016