

Recenzja w związku z postępowaniem habilitacyjnym

dr. Przemysław Małkiewicz

Dr Przemysław Małkiewicz ukończył studia na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w roku 2005, a w roku 2009 uzyskał w Instytucie Problemów Jądrowych stopień doktora nauk fizycznych. W kolejnych latach odbył dwa staże podoktorskie w Institute for Gravitation and the Cosmos w Pennsylvania State University i w Laboratoire APC na Université Paris Diderot. Pracował też na PSU jako wykładowca. Od 2012 roku jest zatrudniony w Narodowym Centrum Badań Jądrowych na stanowisku adiunkta.

Według bazy Inspire-Hep dr P. Małkiewicz ma w swoim dorobku 40 prac naukowych (w tym 29 opublikowanych). Prace te cytowane były około 320 razy, zaś Indeks Hirscha jego wynosi 10. (Warto nadmienić, że dr P. Małkiewicz był też członkiem konsorcjum projektującego Cherenkov Telescope Array; studium projektowe, którego był współautorem zebrało dotychczas ponad 700 cytowań.) Przytoczone wskaźniki bibliometryczne mieszczą się w zakresie wartości zwyczajowo uważanych za wystarczające do wszczęcia postępowania habilitacyjnego.

Recenzja osiągnięcia naukowego

W skład osiągnięcia naukowego „Konstrukcja, analiza oraz interpretacja kwantowej dynamiki klasycznie osobliwych układów kosmologicznych” wchodzi 13 prac naukowych, opublikowanych w czołowych periodykach o zasięgu międzynarodowym (Physical Review D, Classical and Quantum Gravity i JCAP). W 4 z nich dr P. Małkiewicz występuje jako jedyny autor; pozostałe publikacje są wieloautorskie. W złożonej dokumentacji znalazły się oświadczenia współautorów, z których wynika, że dr P. Małkiewicz wniósł znaczący wkład w powstanie tych prac.

Przystawione w ramach osiągnięcia naukowego publikacje tworzą dwie duże grupy: jedna poświęcona jest badaniom osobliwości w kwantowych modelach kosmologicznych, a druga dotyczy problemu czasu w kwantowej grawitacji i kosmologii. Poza tymi dwiema grupami w skład osiągnięcia naukowego wchodzi interesująca praca omawiająca pierwotne (primordial) fale grawitacyjne w modelach, w których początkowa osobliwość (big bang) zamieniona jest wielkim odbiciem (big bounce).

Osobliwości w kwantowych modelach kosmologicznych

Jedną z podstawowych trudności związanych z kwantowaniem modeli kosmologicznych jest fakt, że ze względu na istnienie klasycznej osobliwości, przestrzeń fazowa nie ma struktury

$R \times R$ ale $R_+ \times R$. Oznacza to, że standardowe metody mechaniki kwantowej nie mogą być zastosowane, ponieważ operator pędu nie może być samosprężony. Jednym ze sposobów rozwiązania tego problemu jest wykorzystanie metody kwantowania afinicznego, wykorzystującego operatory położenia i dylatacji, będące dobrze zdefiniowanymi na półprostej. Ten program badawczy zaczęto realizować w pracy S[2] *Smooth big bounce from affine quantization*, opublikowanej w Physical Review D, w której pokazano, w przypadku modelu Friedmanna, że w wyniku zastosowania kwantowania afinicznego unika się początkowej osobliwości kosmologicznej, która zastąpiona zostaje wielkim odbiciem. Wydaje się jednak, że ten – jakże pożądany – wynik ma swoje źródło bardziej w kinematyce modelu (wyborze reguły kwantowania, która a priori unika osobliwości) niż jego dynamice. Badania te zostały rozszerzone w pracy [S2] o analizę afinicznego kwantowania nieizotropowego modelu Bianchi I. Pomimo iż klasycznie osobliwość w tym modelu jest niejako wzmocniona w stosunku do sytuacji w modelu Friedmannowskim, i tym razem udało się wykazać, że metoda kwantowania afinicznego skutecznie zapobiega pojawieniu się osobliwości w modelu kwantowym.

Model Bianchi IX jest jednorodnym modelem kosmologicznym, w którym anizotropia przybiera najbardziej ogólną postać. Z tego względu jest to model najtrudniejszy do przeanalizowania: już na poziomie klasycznym jego dynamika jest niezwykle skomplikowana i ma najprawdopodobniej charakter chaotyczny. Teoria kwantowego modelu Bianchi IX przedstawiona została w cyklu pięciu prac [S5-S9], wchodzących w skład osiągnięcia naukowego, opublikowanych w Physical Review D w latach 2015-2017. W dwóch pierwszych pracach, w wyniku zastosowania przybliżenia adiabatycznego anizotropia modelu Bianchi IX staje się źródłem w postaci cieczy barotropowej w efektywnym modelu z dynamiką Friedmannowską, dla badania którego wykorzystać można metody opracowane w pracach poprzednich. Choć zaprezentowany model jest bardzo elegancki, można mieć wątpliwości, czy uzyskane w nim poskromienie skomplikowanego charakteru ewolucji modelu klasycznego nie jest wynikiem przyjętych, silnych założeń dotyczących adiabatyczności.

Dalsza analiza przeprowadzona w pracy [S7] pokazała, że jest tak w istocie i że w pobliżu wielkiego odbicia założenia przybliżenia adiabatycznego przestają być spełnione. Anizotropowe stopnie swobody stają się wzbudzone i zaczynają wносить znaczący wkład do całkowitego więzu Hamiltonowskiego układu. Skutkuje to pojawieniem się fazy szybkiego rozszerzania wszechświata tuż po odbiciu, co można optymistycznie interpretować jako sygnał naturalnego pojawienia się fazy inflacyjnej. Nie jest jednak jasne czy taka inflacja, powstała w wyniku anizotropowości jest w stanie przywrócić izotropię obserwowanego wszechświata.

Prace [S8] i [S9] poświęcone są dalszej, bardziej szczegółowej analizie kwantowego modelu Bianchi IX.

W moim przekonaniu badania zaprezentowane w omawianym cyklu prac są bardzo interesujące i wnoszące znaczący wkład do rozwoju kwantowej kosmologii. Pomysł powiązania kwantowej dynamiki modelu Bianchi IX z teorią kosmicznej inflacji wydaje mi się bardzo obiecujący i wart bardziej szczegółowego przebadania.

Problem czasu w kwantowej grawitacji i kwantowej kosmologii

Drugim kręgiem zagadnień wchodzącym w skład osiągnięcia naukowego jest badanie problem czasu w kwantowej teorii grawitacji i w jej uproszczonej wersji – kwantowej kosmologii. Zagadnieniu temu poświęcone są cztery prace [S1], [S3], [S11] i [S12]; trzy spośród nich są jednoautorskie.

Problem czasu jest konsekwencją faktu, że Hamiltonian grawitacyjny jest więzłem, a w związku z tym nie Hamiltonian nie jest powiązany z ewolucją w czasie zewnętrznym w stosunku do układu. Zmuszeni jesteśmy więc interpretować jako czas jeden z wewnętrznych stopni swobody układu (zwanego zegarem). Natychmiast rodzi się pytanie, czy wybór w tym celu różnych stopni swobody prowadzi do równoważnego opisu zjawisk fizycznych? A jeśli tak nie jest, jakie są kryteria poprawnego wyboru zegara? Pytania te są szczególnie ważne w kontekście kwantowej kosmologii.

Pierwszym krokiem do tych badań była dokonana w pracy [S1] obserwacja, że w przypadku modelu wszechświata Kasnera różne wybory stopni swobody odpowiadających zegarom prowadzą do diametralnie różnych form dynamiki innych stopni swobody układu. W pracy [S3] przedstawiono warunki, które spełniać muszą zegary, tak aby fizyczna dynamika innych stopni swobody układu było niezależne od wyboru zegara. W kolejnych pracach wykorzystano tę metodologię do badania klasy zegarów w modelach Friedmanna i Bianchi I (prace [S11] i [S12]).

Wyniki uzyskane w tych czterech pracach są bardzo interesujące i rzucają nowe światło na bardzo stary i fundamentalny problem trapiący kwantową teorię grawitacji. Obawiam się niestety, że ich uogólnienie na konkretne układy z większą ilością stopni swobody i bardziej skomplikowaną dynamiką może okazać się bardzo trudne, a być może nawet, z powodów technicznych – niemożliwe.

Ostatnim elementem osiągnięcia naukowego jest bardzo ciekawa praca poświęcona badaniu fal grawitacyjnych w kwantowym wszechświecie Friedmanna oraz potencjalnie obserwowalnym efektem wynikającym z pojawienia się takich fal. Porównanie widma fal grawitacyjnych powstających się w wyniku wielkiego odbicia z pomiarami wykonanymi przez detektory PLANCK i LIGO/VIRGO pozwalają na ograniczenie parametrów modeli, czyniąc w ten sposób kosmologię kwantową falsyfikowalną teorią fizyczną. W moim przekonaniu praca ta jest znaczącym uzupełnieniem prac omawianych poprzednio, pokazuje bowiem, że dr P. Małkiewicz

równie swobodnie czuje się w analizie bliskich obserwacjom modeli kosmologicznych, jak i w badaniu zagadnień wysoce abstrakcyjnych z wykorzystaniem skomplikowanego formalizmu matematycznego. Byłoby bardzo interesujące powtórzenie tej analizy w przypadku modeli anizotropowych, gdzie można spodziewać się bardziej efektywnego generowania fal grawitacyjnych a w konsekwencji, bardziej restrykcyjnych ograniczeń na parametry modelu.

Inne osiągnięcia naukowe

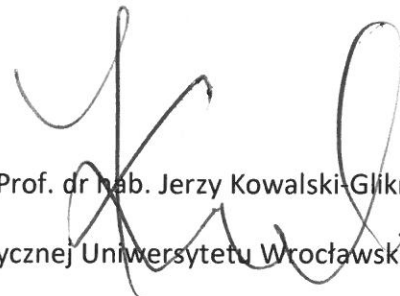
Obok 13 prac składających się na zaprezentowane osiągnięcie naukowe, dr P. Małkiewicz jest autorem kilkudziesięciu prac, z których pięć ukazało się w renomowanych periodykach o zasięgu międzynarodowym. Poświęcone są one różnorodnym aspektom kwantowych modeli kosmologicznych, w szczególności teorii kwantowej pętlowej kosmologii i stanowią interesujący wkład w rozwój tej teorii.

Dr P. Małkiewicz był kierownikiem grantu SONATA w latach 2014-201 oraz głównym wykonawcą w kolejnych dwóch. Wygłosił kilkanaście referatów na konferencjach naukowych o zasięgu międzynarodowym. Jest też promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim mgr. A. Miroszewskiego.

Podsumowując, dr P. Małkiewicz jest dojrzałym naukowcem o znaczącym dorobku naukowym i rozpoznawalnym nazwisku w środowisku – krajowym i zagranicznym – badaczy zajmujących się kwantową kosmologią.

W moim przekonaniu zaprezentowane osiągnięcie naukowe oraz dorobek naukowy dr. Przemysława Małkiewicza spełnia ustawowe i zwyczajowe wymagania stawiane habilitantom w dziedzinie fizyki teoretycznej. Wnoszę o przejście do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.

Warszawa, 23 maja 2019



Prof. dr hab. Jerzy Kowalski-Glikman

Instytut Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Wrocławskiego

i Narodowe Centrum Badań Jądrowych