



Recenzja dorobku dra Przemysława Małkiewicza w związku z postępowaniem habilitacyjnym.

Dr Małkiewicz jest autorem lub współautorem 25 publikacji, w tym 13 prac wchodzi w skład habilitacyjnego osiągnięcia naukowego, a innych 5 to doniesienia konferencyjne - są to dane z dnia składania wniosku czyli 15 czerwca 2018 roku. Do dnia sporządzania poniższej recenzji przybyły dwa opublikowane artykuły, jedno doniesienie konferencyjne oraz jeden preprint. Podana w aplikacji liczba cytowań wg WoS wynosi 189, nie ma informacji czy zawiera ona, czy też nie samocytowania. Wg Spires prace współautorstwa dra Małkiewicza były cytowane przez innych niż on sam około 150 razy. Najwięcej cytowań (po prawie 40 nie licząc samocytowań) zebrały dwie prace napisane w ramach projektu doktorskiego wspólnie z dwoma i odpowiednio, trzema współautorami. Spośród prac wchodzących w skład osiągnięcia habilitacyjnego najwięcej cytowań (ogółem 22 minus 11 auto-cytowań) uzyskała praca "Smooth Big Bounce from Affine Quantization" napisana i opublikowana wspólnie z dwoma współautorami w 2014 roku.

Tematyką badań dra Małkiewicza są matematyczno-fizyczne aspekty kwantyzacji w kontekście teorii Einsteina pola grawitacyjnego. W swoich pracach wykorzystuje kanoniczny formalizm hamiltonowski z więzami na symplektycznych przestrzeniach fazowych. Szczególnie koncentruje się na przypadku więzów hamiltonowskich, z którym mamy do czynienia w ogólnej teorii względności. Jego wyniki dotyczą wybranych skończone wymiarowych obszarów przestrzeni fazowej (ang.: mini super space), albo inaczej mówiąc modeli uzyskanych drogą redukcji stopni swobody. Redukcja polega na rozważaniu konfiguracji o bardzo wysokiej symetrii (ang.: symmetry reduction). Współpracuje z profesorami Piechockim, Gazeau i oraz Bergeron oraz z panią doktor Czuchry.

Na osiągnięcie habilitacyjne zadeklarowane we wniosku składa się 13 prac opublikowanych w latach 2012-2018. Ich najważniejszym elementem jest nowatorska metoda kwantyzacji układów, w których jedna ze zmiennych kanonicznych - powiedzmy położenie - przyjmuje jedynie wartości ograniczone od dołu. W przypadku jednorodnego pola grawitacyjnego jest to czynnik skali, który może przyjmować jedynie dodatnie wartości. Przyjęta metoda kwantyzacji wykorzystuje stany koherentne jako pierwotną strukturę przy pomocy której definiowane są operatory kwantowe reprezentujące obserwable fizyczne. Koherentna metoda kwantyzacji jest od wielu lat rozwijana przez Klaudera a także Gazeau. Drugim ważnym elementem osiągnięcia habilitacyjnego są klasyczne osobliwości czasoprzestrzeni nie uniknione zgodnie z twierdzeniami Hawkinga oraz Penrose'a. Stanowią one granice stosowalności klasycznej teorii Einsteina. Celem prac habilitanta i jego współpracowników są modele kwantowe wychodzące poza ten zakazany obszar teorii klasycznej. Z pewnością jest to także jeden z najważniejszych problemów stojących przed teorią czasoprzestrzeni. Trzecim elementem jest teoria deparametryzacji pola grawitacyjnego oddziałującego z materią wprowadzona przez Kijowskiego i powszechnie wykorzystywana w kanonicznym podejściu do ogólnej teorii względności. W pracach wchodzących w zakres osiągnięcia habilitacyjnego metoda deparametryzacji zastosowana została na poziomie modeli kwantowych. Dynamika opisywana jest w relacji do zmiennej przyjętej jako czas, a hamiltonianem efektywnym staje się kanonicznie sprzężony pęd. Badana jest też zależność przewidywań modeli

od uczynionych wyborów. W pracy [S2] koherentna metoda kwantyzacji zastosowana została do modelu opisującego jednorodne i izotropowe czasoprzestrzenie opisywane jednym czynnikiem skali oraz samograwitującą materię o tej samej symetrii. Teoria klasyczna przewiduje, że wszechświat opisywany takimi rozwiązaniami równań Einsteina albo rozpoczął się od wielkiego wybuchu, albo na nim się kończy (albo jedno i drugie). Modele pętlowej kosmologii kwantowej przewidują zastąpienie wielkiego wybuchu wielkim odbiciem, przed którym wszechświat się kurczył. A więc ewolucja stanu kwantowego odpowiada dwum fazom na raz, kurczącej i rozszerzającej. Wynikiem pracy [S2] jest konstrukcja konkurencyjnego modelu i wykazanie, że też przewiduje on zastąpienie klasycznego wybuchu odbiciem kwantowym. Rezultat ten był pierwszym udanym krokiem do konstrukcji nowej klasy kwantowych modeli czasoprzestrzeni. Kolejnym krokiem było uogólnienie w pracy [S4] kwantyzacji koherentnej do czasoprzestrzeni z trzema różnymi czynnikiem skali o grupie symetrii typu Bianchiego I. Najważniejszym rezultatem zawartym w kolejnej serii prac [S5-S9] jest kwantyzacja koherentna czasoprzestrzeni o symetrii typu Bianchiego IX. Jest to najogólniejsza klasa czasoprzestrzeni przestrzenie jednorodnych. Mimo znacznej grupy symetrii i nadal skończonej liczby stopni swobody, występujące tu osobliwości mają charakter generyczny zbliżony do osobliwości klasycznych czasoprzestrzeni Einsteina w przypadku ogólnym, bez symetrii, tak zwanych osobliwości BKL (Belinski-Khalatnikov-Lifshitz). Przypadek o symetrii Bianchiego IX przyciąga uwagę badaczy od wielu lat (od lat 1970'tych), bowiem nawet jego dynamika klasyczna jest niezwykle ciekawa i do jej opisu wprowadzono wiele bardzo zaawansowanych metod. Kwantyzacja czasoprzestrzeni o tej symetrii jest jeszcze trudniejsza. Jedyne znany mi model kwantowy tego przypadku wykorzystuje pętlową grawitację kwantową, został opublikowany w 2010 roku (E. Wilson-Ewing, "Loop quantum cosmology of Bianchi type IX models," *Phys. Rev. D* 82 (2010)) jednak nie był zbadany zbyt dogłębnie aż do roku 2018 (E. Wilson-Ewing, "A quantum gravity extension to the Mixmaster dynamics", arXiv:1809.09659). W pracach [S5-S9] dr Małkiewicza i współpracowników wprowadzono nowy kwantowy model dla teorii czasoprzestrzeni o symetrii typu Bianchiego IX, rozwinięto metody przybliżonych obliczeń i systematycznie zastosowano do zbadania dynamiki i innych przewidywań. Teoria kwantowa wyłaniająca się z tego modelu i wynikająca z zastosowanego przybliżenia ma strukturę teorii pól kwantowych na także kwantowej czasoprzestrzeni. Izotropowe stopnie swobody tworzą kwantową czasoprzestrzeń z którą oddziałują nieizotropowości. Wykazano, że osobliwość początkowa jest wygładzana i ma charakter odbiciowy podobnie jak w prostszych modelach. W kolejnych przybliżeniach zbadano wpływ jaki na kształt odbicia wywierają kwantowe nieizotropowości. Traktując izotropową czasoprzestrzeń jako "ciężką" oraz nieizotropowości jako "lekkie" zastosowano przybliżenia teorii kwantowej: Borna-Oppenheimera, Borna-Huanga, a także nieadiabatyczne przybliżenie wibronowe. Do opisu kwantowej geometrii izotropowej zastosowano metodę Klaudera stanów koherentnych.

W pracy [S13] zbadano kwantowe fale grawitacyjne przechodzące przez wielkie odbicie kwantowego modelu izotropowego wszechświata. Otrzymane wyniki pozwoliły na porównanie przewidywań modelu z wyznaczonym z obserwacji CMB spektrum amplitudy pierwotnych zaburzeń gęstości. Wynik pozwolił jeszcze silniej ograniczyć niejednoznaczności modelu.

Ogólna problematyka relacyjnej koncepcji dynamiki w ogólnej teorii względności podjęta została w pracach [S3] oraz [S10-S12]. Jest to ciekawe ale rozwiązywalne zagadnienie teorii klasycznej (którą dynamikę obserwujemy kierując urządzenia pomiarowe ku niebu?) oraz nie rozwiązany i być może nie rozwiązalny problem zależności teorii kwantowej od wyboru relacyjnych obserwacji i wynikającego z nich hamiltonianu efektywnego. Swoje badania tego problemu dr Małkiewicz rozpoczął jeszcze w Institute for Gravity and Cosmos, Penn State odbywając tam staż po doktorski w grupie prof. Ashtekara. Główny rezultat badań nad tym problemem zawarty został w pracy [S3] oraz zastosowany w pracach [S11,S12] do modeli kosmologicznych. Jest nim nowatorska metodologia porównywania dynamik kwantowych opartych na różnych wyborach obserwacji relacyjnych. Przy jej wykorzystaniu zbadano zależność przewidywań kwantowych modeli kosmologicznych od wyboru podstawowych relacyjnych obserwacji, ze szczególnym zwróceniem

uwagi na wnioski, które są niezależne i uniwersalne. Zaniepokoiło mnie tylko, że metodę relacyjnych obserwacji dr Małkiewicz wydaje się sprowadzać jedynie do wyboru czasu ("zegara"). W istocie, tym co wybieramy na powierzchni więzów teorii klasycznej jest pewne pole wektorowe, którego linie całkowe parametryzowane są przez jakiś uogólniony czas. Generator tego pola wektorowego i kluczowy dla dynamiki hamiltonian efektywny to pęd kanonicznie sprzężony do naszego czasu. A więc nie jest to sam "czas". Mam jednak przekonanie, że koncentrowanie się na "wyborze czasu" było tylko skrótem myślowym, doбором terminologii łatwiej przemawiającej do intuicji niespecjalistów.

Podsumowując, osiągnięcie habilitacyjne "Konstrukcja, analiza oraz interpretacja kwantowej dynamiki klasycznie osobliwych układów kosmologicznych" zawiera pionierskie wprowadzenie nowej metody kwantyzacji dostosowanej do jednorodnych modeli czasoprzestrzeni, przetestowanie go na najprostszych znanych modelach skwantowanych (w nierównoważny sposób) innymi metodami, zastosowaniu go do sformułowania pierwszego pełnego kwantowego modelu czasoprzestrzeni typu Bianchiego IX i systematycznym zbadaniu otrzymanego modelu poprzez zastosowanie i odpowiednie dostosowanie metod przybliżonych teorii kwantowych. Uzyskane wyniki mają ogromne znaczenie jakościowe. Na dostarczonych przykładach poznajemy teoretyczne mechanizmy oddziaływania kwantowej struktury czasoprzestrzeni na propagację pól kwantowych. Wnioski ilościowe powinny być traktowane ze znacznie większą ostrożnością, ponieważ brak dostatecznie dokładnych możliwości doświadczalnego weryfikowania grawitacji kwantowej - sam dr Małkiewicz wielokrotnie zwraca na to uwagę w swoich pracach i autoreferacie.

Oświadczenia współautorów dowodzą istotnego wkładu dr Małkiewicza we wszystkie prace i są zgodne z deklaracją dr Małkiewicza.

Dr Małkiewicz wygłosił ponad 13 referatów na międzynarodowych konferencjach naukowych, co dowodzi jego aktywności w komunikowaniu wyników swojej pracy. Kierował projektem Sonata. Jest promotorem pomocniczym doktoranta. Słabszą (ale nie słabą) stroną dra Małkiewicza wydaje się być działalność dydaktyczna - prowadził jedynie dwa semestry wykładów w Penn State ze wstępu do fizyki (być może tę informację należałoby dla formalności potwierdzić, ale nie mam powodu wątpić w jej prawdziwość). Trochę dziwi mnie brak udziału w krajowych i naukowych komitetach organizacyjnych konferencji naukowych, ale nie jest to poważne niedociągnięcie. Dr Małkiewicz odbył badawcze staże podoktorskie w dwóch zagranicznych ośrodkach naukowych: Penn State oraz Université Paris Diderot.

Wysoko oceniam naukowe osiągnięcie dr Małkiewicza w postaci jednotematycznego cyklu prac zatytułowanego „Konstrukcja, analiza oraz interpretacja kwantowej dynamiki klasycznie osobliwych układów kosmologicznych”. Ilością oraz wagą osiągniętych wyników znacznie przewyższa prace doktorskie i z nawiązką spełnia wymagania konieczne do przyznania stopnia doktora habilitowanego. Pozostałe publikacje, działalność dydaktyczna i popularyzatorska, kierowanie grantami, aktywność w recenzowaniu prac dla czasopism naukowych oraz udział w konferencjach także nie budzą zastrzeżeń. W świetle opisanych powyżej okoliczności oraz zawartych ocen z pełnym przekonaniem stawiam wniosek o przyznanie dr Małkiewiczowi stopnia doktora habilitowanego.

 12.07.2019

prof. dr hab. Jerzy Lewandowski

Kierownik,
Katedra Teorii Względności i Grawitacji,
Wydział Fizyki UW
ul. Pasteura 5, 02-093 Warszawa