

Kraków, 4 maja 2019 r.

prof. dr hab. Marek Szydłowski
Obserwatorium Astronomiczne
Uniwersytet Jagielloński

**Recenzja dorobku naukowego oraz pracy habilitacyjnej
dr Przemysława Małkiewicza p.t. „Konstrukcja,
analiza oraz interpretacja kwantowej dynamiki
klasycznie osobliwych układów kosmologicznych”**

Ocena prac składających się na habilitację

Na pracę habilitacyjną składa się zestaw 13 prac opublikowanych w renomowanych czasopismach naukowych jak *Classical and Quantum Gravity*, *Physical Review D*, *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*. Pośród nich autor przedstawia 4 prace samodzielne. Pozostałe są kilku autorskie. Autor załącza oświadczenia współautorów prac, które zaświadcniają o jego istotnym wkładzie naukowym.

Tematem wszystkich prac jest analiza dynamiki kwantowej układów modeli klasycznej grawitacji posiadających osobliwości. Autor w zasadzie rozważa wybrane modele kosmologiczne jednorodnie anizotropowe. Modele te są sklasyfikowane wg grup izometrii dla 3-wymiarowych przestrzennych sekcji stałego czasu ortogonalnymi do osi czasu — tzw. modele Bianchi. W kosmologii modele te często są badane w kontekście badania efektów anizotropii w kosmologii. Obecny Wszechświat jest w dużym stopniu jednorodny i izotropowy przestrzennie, ale na jego wczesnym etapie ewolucji efekty anizotropii mogły być znaczące. Zaletą tych modeli jest to, że ich dynamika sprowadza się do układu równań różniczkowych zwyczajnych, to jest może być reprezentowana poprzez układ dynamiczny co sprawia, że analiza dynamiki może być względnie prosta.

Klasyczna dynamika tych modeli może być sformułowana w formalizmie hamiltonowskim. Zasadniczo istnieją dwa formalizmy hamiltonowskie opracowane dla modeli Bianchi. Pierwszy sformułowany przez Charlesa Misnera, w którym cząstka wszechświat porusza się w rozszerzonej przestrzeni fazowej w potencjale, oparty jest na formalizmie hamiltonowskim Arnowitta-Desera-

-Misnera (ADM w skrócie). Drugi opracowany przez Bogoyavlenskigo [O. Bogoyavlensky, *Methods in the Qualitative Theory of Dynamical Systems in Astrophysics and Gas Dynamics*, Springer 1985] wykorzystuje metody układów dynamicznych. Autor odwołuje się w swoich pracach do podejścia Misnera, chociaż sformułowanie hamiltonowskie dynamiki modeli kosmologicznych Bogoyavlenskigo i stosowanie jego zmiennych parametryzujących stan układu moim zdaniem jest równie, jeśli nie bardziej, interesujące w kontekście kwantowania dynamiki. Co więcej w tym podejściu do postaci hamiltonowskiej dają się sprowadzić modele klasy A klasyfikacji Bianchiego z materią, polem elektromagnetycznym, etc.

Świętej pamięci Prof. Roman Juskiewicz zwykł mawiać, że symetria jednorodności i anizotropii jest wyssana z palca. Miał zapewne na uwadze, że studiowanie dynamiki tych modeli kosmologicznych ma znaczenie teoretyczne i niekoniecznie się wiąże z badaniem własności realnego wszechświata. Jak też to widzę podobnie. Badania dynamiki kwantowej jednorodnych i anizotropowych modeli kosmologicznych posiada znaczenie czysto teoretyczne. Jest to jakiś kawałek fizyki matematycznej i publikacje dr. P. Małkiewicza moim zdaniem należy oceniać w tym kontekście.

Dr P. Małkiewicz jako motywacje do prowadzenia badań kwantowych modeli kosmologicznych podaje następujące argumenty:

1. Twierdzenia o osobliwościach w modelach kosmologicznych i w ogólnej teorii względności (OTW) wskazują, że klasyczna teoria grawitacji jest teorią efektywną i posiada obciążenie wysoko-energetyczne. Osobliwości klasyczne są artefaktem użycia klasycznej OTW,
2. Poziom kwantowy jest fundamentalny i powinniśmy zmierzać do opisu wczesnej ewolucji Wszechświata za pomocą kwantowego modelu kosmologicznego. Istotnym staje się w tym kontekście problem unikania osobliwości (w modelach Bianchi mają one charakter osobliwości metryki) w opisie kwantowym.

Podzielam poglądy autora, iż opis kwantowy powinien zastąpić klasyczny w epoce Plancka. Problem jednak w tym, że obecnie istnieją jedynie próby kwantowania grawitacji i brak jest akceptacji jednego podejścia. Są „szkoły kwantowania” jak w filozofii. Status uzyskanych wyników chociaż go w żadnym stopniu nie pomniejszam jest jak w przypadku toy models (pocket models) (model zabawek).

Co prawda autora interesuje problem unikania osobliwości jako rezultat kwantowania dynamiki, ale dla również interesujące byłoby zbadanie jaki

wpływ na dynamikę układu ma kwantowanie układu bez osobliwości klasycznej.

Na podkreślenie zasługuje współpraca dr. Małkiewicza z innymi naukowcami. Dużą część wyników przedstawionych przez autora została uzyskana przy współpracy z Profesorami Gazeau i Bergeron z Francji.

Szczególną uwagę autor poświęca kwantowej dynamice wybranych modeli klasy A klasyfikacji Bianchiego, a mianowicie modelom Bianchi I i Bianchi IX. Unikanie osobliwości w kwantowej dynamice modelu BI autor wykorzystuje metodę Klaudera badania przybliżonej dynamiki pokazując, że osobliwość metryki jest zastępowana przez odbicie (bounce). Dalej przechodzi do badania dynamiki kwantowej modelu Bianchi IX. Klasyczna dynamika tego modelu była i jest przedmiotem zainteresowania kosmologów, ponieważ przybliża serią epok kasnerowskich zachowanie Wszechświata w pobliżu osobliwości początkowej. W tych modelach istnieje chaos deterministyczny typu rozpraszania chaotycznego, chociaż układy nie posiadają własności topologicznej tranzytywności (R. Cushman and J. Śniatycki, preprint Univ. of Calgary, 1995). W tym kontekście rodzi się pytanie o istnieniu chaosu kwantowego. Ten wątek w pracy nie został podjęty z uwagi na koncentracji na problemie unikaniu osobliwości. Udało się to autorowi uzyskać w tzw. przybliżeniu adiabatycznym.

Pod względem warsztatowym prace dr. P. Małkiewicza są na wysokim poziomie naukowym i co więcej autor wykazuje krytycyzm odnośnie stosowanych narzędzi metod dyskutując w pracach ważny problem czasu w kwantowej dynamice.

Autor również wskazuje, że uzyskane kwantowe modele kosmologiczne są falsyfikowalne (a więc naukowe w sensie Poppera), ponieważ daje się je testować poprzez obserwacje astronomiczne. Jako przykład odwołuje się do Ref. [30], w której testowany jest człon a^{-6} w równaniach Friedmana — ślad po epoce kwantowej dynamiki.

Reasumując poziom naukowy prac składających się na habilitację oceniam bardzo pozytywnie.

Ocena dorobku naukowego, dydaktycznego i popularyzatorskiego

Prace autora są cytowane. Są to solidne prace opublikowane w czasopiśmie o wysokim impact factorze. Chociaż nie jest to jakiś imponujący wskaźnik cytowań należy pamiętać, że nie są to prace wieloautorskie i należy je zaklasyfikować jako prace z fizyki matematycznej, w której to dziedzinie wynik jest przyzwoity. W roku 2009 redakcja prestiżowego czasopisma naukowego

go *Classical and Quantum Gravity* wybrała jego artykuł „Excited states of a string in time dependent orbifold” (współautor W. Piechocki) do *Classical and Quantum Gravity Highlights of 2008/2009*.

Autor był kierownikiem projektu NCN w latach 2014-2017. Był uczestnikiem i wykonawcą w wielu projektach naukowych. Jest członkiem projektu COST Action

Wygłosił on 13 referatów na konferencjach międzynarodowych.

Posiada również skromny dorobek dydaktyczny i popularyzatorski. Przewodził wykłady dla studentów Pennsylvania State University w 2012. Był również opiekunem naukowym dr. A. Miroszewskiego. Był również gościem w programie popularno-naukowym Polskiego Radia „Noc Odkrywców”.

W tym zakresie jego osiągnięcia uznaję za pozytywne.

Konkluzja

Reasumując cykl prac składający się na pracę habilitacyjną i dorobek naukowy dr. Przemysława Małkiewicza oceniam pozytywnie jako spełniający ustawowe wymogi pracy habilitacyjnej i wnioskuję o dopuszczenie do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.

