

Dr hab. Patryk Mach, prof. UJ
Zakład Teorii Względności i Astrofizyki
Instytut Fizyki Teoretycznej
Uniwersytet Jagielloński

Kraków, 7 kwietnia 2025 r.



UNIwersYTET
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

Instytut

Fizyki Teoretycznej

**Recenzja w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego panu
doktorowi Thomasowi Zlosnikowi**

Dr Thomas Zlosnik ukończył studia z fizyki w Uniwersytecie Oksfordzkim. W roku 2008, również w Uniwersytecie Oksfordzkim, uzyskał stopień doktora. Dr Thomas Zlosnik odbył 2 staże podoktorskie: w Perimeter Institute of Theoretical Physics oraz w Imperial College London. Pomiędzy rokiem 2016 a 2022 pracował w Instytucie Fizyki Czeskiej Akademii Nauk w Pradze. Od roku 2022 pracuje w Uniwersytecie Gdańskim, kierując projektem NCN Polonez Bis.

Jako osiągnięcie naukowe będące podstawą ubiegania się o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego dr Thomas Zlosnik przedstawił cykl 9 artykułów naukowych zatytułowany „Symetria Lorentza w grawitacji i problem ciemnej materii”. Wszystkie artykuły ukazały się w najlepszych czasopismach publikujących wyniki badań z zakresu fizyki teoretycznej: 1 praca w Physical Review Letters, 5 prac w Physical Review D, 2 prace w Classical and Quantum Gravity, 1 praca w Annals of Physics. Należy podkreślić, że opublikowanie wyników badań w Physical Review Letters zwykło się uważać za wyznacznik jakości naukowej fizyka. Spośród wymienionych powyżej czasopism jedynie Annals of Physics uchodzi za mniej prestiżowe; opublikowaną w tym czasopiśmie pracę „An introduction to the physics of Cartan gravity” czyta się akurat bardzo dobrze, jest ona erudycyjna, pomysłowa i stanowi doskonałe uzupełnienie pozostałych prac należących do przedstawionego cyklu. Powyższy cykl został uzupełniony obszernym (liczącym ponad 50 stron) omówieniem uzyskanych wyników, wchodzącym w skład przedstawionej dokumentacji wniosku habilitacyjnego.

Przedstawiony cykl artykułów koncentruje się wokół konstrukcji alternatywnych w stosunku do ogólnej teorii względności, tak zwanych zmodyfikowanych teorii grawitacji. Badania zmodyfikowanych teorii grawitacji mają długą historię. Wobec ogromnego sukcesu obserwacyjnego ogólnej teorii względności, zwieńczonego między innymi odkryciem fal grawitacyjnych, fizyk pracujący nad alternatywnymi modelami grawitacji powinien przede wszystkim odpowiedzieć na pytanie o kierującą nim motywację. Trzeba przyznać, że dr Thomas Zlosnik robi to dobrze, koncentrując się głównie na modelach pozwalających wyjaśnić obserwacje świadczące o istnieniu ciemnej materii jako konsekwencję teorii grawitacji. Historycznie jednym z pierwszych modeli tego typu był postulowany przez Milgroma model znany jako

ul. St. Łojasiewicza 11

PL 30-348 Kraków

tel. +48(12) 664-47-26

+48(12) 664-46-77

e-mail: ift@uj.edu.pl

Modified Newtonian Dynamics (MOND). Jak wskazuje sama nazwa, w oryginalnej wersji jest to model nierelatywistyczny, co w zasadzie dyskwalifikuje go jako akceptowalną teorię grawitacji. Jednym z osiągnięć dra Thomasa Zlosnika są prace dotyczące akceptowalnych, relatywistycznych teorii pozwalających uniknąć problemu ciemnej materii.

W swoim autoreferacie dr Thomas Zlosnik dzieli modele omawiane w pracach wchodzących w skład cyklu na dwie klasy. Do pierwszej zalicza modele oparte na podejściu do grawitacji a la Cartan. W grupie tej znalazły się prace:

[H1] Hans Westman, Tom Zlosnik, An introduction to the physics of Cartan gravity, *Annals Phys.* 361 330-376 (2015),

[H2] Tom Zlosnik, Federico Urban, Luca Marzola, and Tomi Koivisto, Spacetime and dark matter from spontaneous breaking of Lorentz symmetry, *Class. Quant. Grav.*, 35(23), 235003 (2018),

[H6] Tomi Koivisto and Tom Zlosnik, Paths to gravitation via the gauging of parameterized field theories, *Phys. Rev. D*, 107(12), 124013 (2023),

[H8] Mehraveh Nikjoo and Tom Zlosnik, Hamiltonian formulation of gravity as a spontaneously-broken gauge theory of the Lorentz group, *Class. Quant. Grav.*, 40(1), 015007 (2023).

Praca [H1] przedstawia konstrukcję modelu grawitacji inspirowanego geometrią Cartana, w której pomiar odległości na powierzchni oraz krzywizny powierzchni oparty jest na idei toczącego po niej hodometru (drogomierza) kołowego. Mówiąc obrazowym językiem: obrót koła hodometru został zastąpiony transformacją cechowania rozumianą w duchu konstrukcji Yanga-Millsa. W pracy [H1] autorzy rozważają, między innymi, symetrię cechowania $SO(1,4)$. Sama idea nie jest do końca nowa (również w kontekście grawitacyjnym), została jednak znacząco rozwinięta. W szczególności, dynamiczny charakter został nadany polu łąwiącemu symetrię cechowania.

W pracy [H2] przedstawiony został model oparty na łamaniu symetrii Lorentza w sektorze grawitacyjnym. Zmiennymi teorii są tu pole cechowania (koneksja) zespolonej grupy Lorentza $SO(1,3)_\mathbb{C}$ oraz pole łąjące symetrię do grupy $SO(3)_\mathbb{C}$. Taka konstrukcja pozwala otrzymać zachowanie się pola grawitacyjnego odpowiadające przewidywaniom ogólnej teorii względności w obecności dodatkowej materii – potencjalnie odpowiadającej za efekty grawitacyjne przypisywane ciemnej materii.

W podobnym duchu utrzymana jest praca [H6], ale od technicznej strony realizuje ona program oparty na sparametryzowanych polach cechowania z postulowaną lokalną symetrią (np. lorentzowską). Autorzy pokazują, że formalizm ten pozwala na odtworzenie cech ogólnej teorii względności, jak również na jej istotne rozszerzenia.

Przedstawione przykłady obejmują zastosowania zakładające symetrię charakterystyczną dla rozwiązań Friedmana-Lemaitre'a-Robertsona-Walkera, a także ewolucję zaburzeń na tle czasoprzestrzeni Minkowskiego.

Praca [H8] koncentruje się na hamiltonowskim sformułowaniu postulowanych modeli. Poprawne hamiltonowskie sformułowanie teorii jest ważne z kilku powodów: na poziomie klasycznym pozwala ono zidentyfikować obecne w teorii więzy oraz fizyczne stopnie swobody.

Do drugiej grupy należą modele z dodatkowymi (poza tensorem metrycznym) polami w sektorze grawitacyjnym. Do tej grupy zaliczają się prace:

[H3] Constantinos Skordis and Tom Zlosnik, Gravitational alternatives to dark matter with tensor mode speed equaling the speed of light, *Phys. Rev. D*, 100(10), 104013 (2019),

[H4] Constantinos Skordis and Tom Zlosnik, New Relativistic Theory for Modified Newtonian Dynamics, *Phys. Rev. Lett.*, 127(16), 161302 (2021),

[H5] Constantinos Skordis and Tom Zlosnik, Aether scalar tensor theory: Linear stability on Minkowski space, *Phys. Rev. D*, 106(1), 104041 (2022),

[H7] Marianthi Bataki, Constantinos Skordis, and Tom Zlosnik, Aether scalar tensor theory: Hamiltonian Formalism, *Phys. Rev. D*, 110, 044015 (2024),

[H9] Joao Luis Rosa and Tom Zlosnik, Dynamical system analysis of cosmological evolution in the Aether scalar tensor theory, *Phys. Rev. D*, 109(2), 024018 (2024).

W pracy [H3] autorzy wykazują istnienie klasy modeli w ramach teorii tensorowo-wektorowo-skalarnych, dla których prędkość propagacji fal grawitacyjnych równa jest prędkości światła. Ten ostatni warunek umotywowany jest wprost danymi empirycznymi – obserwacja źródła fal grawitacyjnych GW170817 interpretowanego jako zderzenie 2 gwiazd neutronowych, a także obserwacja towarzyszącego mu sygnału elektromagnetycznego nakładają wyjątkowo mocne ograniczenie na możliwą prędkość propagacji fal grawitacyjnych – w praktyce równą prędkości światła.

Praca [H4], opublikowana w *Physical Review Letters*, proponuje nową, relatywistyczną wersję modelu MOND. Od takiego modelu autorzy oczekują szeregu własności: w kwasytatywnej granicy model powinien odtwarzać przewidywania ogólnej teorii względności; powinien pozostawać w zgodzie z podstawowymi obserwacjami kosmologicznymi; powinien odtwarzać soczewkowanie grawitacyjne na izolowanych obiektach bez konieczności uwzględniania obecności halo ciemnej materii; prędkość propagacji fal grawitacyjnych powinna być równa prędkości światła. Autorzy proponują działanie dla modelu spełniającego powyższe warunki, zależne między innymi od pola skalarnego, unormowanego, czasowego pola

wektorowego oraz pola tensorowego. W kolejnych pracach autorzy określają powyższy model jako „Aether scalar tensor theory”.

Prace [H5], [H7] oraz [H9] poświęcone są rozwinięciu modelu postulowanego w pracy [H4]. W pracy [H5] autorzy analizują liniową stabilność zaburzeń w czasoprzestrzeni Minkowskiego, opisanych modelem [H4]. W pracy [H7] została przeanalizowana struktura hamiltonowska tego modelu (w jego pełnej, nieliniowej wersji), a w szczególności klasyfikacja otrzymanych równań więzów. Formalizm hamiltonowski pozwala w tym przypadku na określenie liczby fizycznych stopni swobody obecnych w modelu [H4]. Praca [H9] poświęcona jest zastosowaniu modelu [H4] w kontekście kosmologicznym. Analiza przeprowadzona jest w standardowym języku układów dynamicznych. Autorom udało się pokazać, że postulowany model jest w stanie odtworzyć rozwiązania typu Λ CDM (standardowy model kosmologiczny ze stałą kosmologiczną i zimną ciemną materią).

Z nielicznymi wyjątkami, większość przedstawionych wyników ma charakter bardzo formalny, skupiony głównie na konstrukcji modelu/teorii. Jako niewątpliwą wartość dodaną należy uznać próby wyprowadzenia z postulowanych teorii potencjalnych przewidywań empirycznych (np. w kontekście kosmologicznym). Osobiście za najlepszy z wyników uważam konstrukcję modelu grawitacji opisaną w pracy [H4], ale bardzo podobało mi się rozwinięcie geometrii Cartana połączone z teorią cechowania opisane w pracy [H1]. Model ten można uważać za krok łączący geometryczne podejście stosowane w opisie grawitacji z formalizmem znanym z teorii pola i teorii cząstek.

Z załączonych do wniosku habilitacyjnego oświadczeń współautorów wynika jednoznacznie, że wkład dra Thomasa Zlosnika w powstanie artykułów wchodzących w skład cyklu habilitacyjnego można określić jako kluczowy. Nie mam wątpliwości, że przedstawione osiągnięcie stanowi znaczny wkład w rozwój fizyki teoretycznej. Przedstawione prace stanowią spójny tematycznie cykl, co jest również jednym z formalnych wymagań w odniesieniu do stopnia doktora habilitowanego.

We wniosku habilitacyjnym ujęte są dane bibliograficzne 32 publikacji naukowych, których dr Thomas Zlosnik jest współautorem (wliczając w tę liczbę publikacje wchodzące w skład cyklu habilitacyjnego) i które zostały opublikowane po uzyskaniu stopnia przez niego doktora. Są one w większości opublikowane w najlepszych czasopismach, w małych grupach współautorów. Jedynym możliwym zastrzeżeniem jest tutaj brak publikacji monoautorskiej. Dr Thomas Zlosnik jest również autorem 6 publikacji opublikowanych przed uzyskaniem stopnia doktora. Wskaźniki dotyczące liczby cytowań (ponad 2000 cytowań w Web of Science) prac habilitanta są znakomite, nawet zważywszy na stosunkowo modny zakres tematyczny zainteresowań naukowych autora.

Dr Thomas Zlosnik wielokrotnie przedstawiał wyniki swoich badań na międzynarodowych konferencjach, odwiedzał ważne ośrodki akademickie. Jest

również aktywnym recenzentem dużej liczby znanych czasopism naukowych, w tym Physical Review D, czy Physical Review Letters, co świadczy o jego zaangażowaniu i pracy na rzecz środowiska naukowego. Dr Thomas Zlosnik jest również członkiem Polskiego Towarzystwa Relatywistycznego.

Dr Thomas Zlosnik uczestniczył jako wykonawca w szeregu projektach badawczych. Jest również kierownikiem projektu w ramach programu Polonez bis, współfinansowanego przez Narodowe Centrum Nauki.

Nie mam wątpliwości, że w osobie dra Thomasa Zlosnika mamy do czynienia z doświadczonym badaczem o bardzo solidnej międzynarodowej renomie i uznaniu, a także z prawdziwym ekspertem w swojej dziedzinie.

W życiorysie dra Thomasa Zlosnika brakuje znaczącego dorobku dydaktycznego (przynajmniej w porównaniu do typowego dorobku kandydatów pracujących na stanowiskach badawczo-dydaktycznych), co jest zrozumiałe w związku z zajmowanymi dotychczas stanowiskami o charakterze wyłącznie badawczym.

Konkluzja niniejszej recenzji jest jednoznacznie **pozytywna**. Zarówno dorobek naukowy, jak i osiągnięcie habilitacyjne dra Thomasa Zlosnika spełniają z naddatkiem formalne (ustawowe) oraz zwyczajowe wymagania stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego. W szczególności, przedstawione osiągnięcie stanowi znaczny wkład w rozwój fizyki teoretycznej. Z przyjemnością wnioskuję o przejście do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego.