

Kraków, 13 kwietnia 2025 r.

dr hab. Sebastian Szybka, prof. UJ
Zakład Astrofizyki Relatywistycznej i Kosmologii
Obserwatorium Astronomiczne
Uniwersytet Jagielloński

**Ocena dorobku naukowego doktora Thomasa Zlosnika w związku z
postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego**

Doktor Thomas George Zlosnik pracuje w Instytucie Fizyki Teoretycznej i Astrofizyki Uniwersytetu Gdańskiego (zatrudnienie w ramach grantu NCN Polonez Bis od 2022). Studia magisterskie ukończył na Uniwersytecie Oksfordzkim w roku 2005, a trzy lata później, w tej samej instytucji, obronił pracę doktorską *Cosmological consequences of modified theories of gravity* pod opieką prof. Pedro Ferreira.

Doktor Zlosnik jest autorem lub współautorem około czterdziestu prac naukowych opublikowanych w recenzowanych czasopismach takich, jak *Physical Review Letters*, *Physical Review D*, *Classical and Quantum Gravity*, *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* i innych — liczba publikacji wzrosła od chwili złożenia wniosku. Dziewięć publikacji dotyczy osiągnięcia naukowego będącego przedmiotem postępowania habilitacyjnego.

Kariera naukowa doktora Thomasa Zlosnika łączy doświadczenia zdobyte na Uniwersytecie Oksfordzkim (magisterium i doktorat), w Czeskiej Akademii Nauk oraz na Uniwersytecie Gdańskim. Jego współpraca zagraniczna jest bardzo szeroka i obejmuje takie ośrodki jak *Imperial College w Londynie*, *Uniwersytet w Tartu*, *Superior Council of Scientific Researches w Madrycie* oraz liczne inne. Doktor Zlosnik wyniki swoich badań prezentował w różnych ośrodkach naukowych na całym świecie.

Działalność naukowa

Działalność naukowa doktora Zlosnika, również ta sprzed otrzymania doktoratu, dotyczy modyfikacji i rozszerzeń teorii grawitacji Einsteina. Ogólna teoria względności zastosowana do kosmologii w połączeniu z obserwacjami astronomicznymi implikuje, że większość energii wypełniającej wszechświat ma postać wykraczającą poza model standardowy cząstek (ciemna materia i ciemna energia). To spostrzeżenie rodzi obawę, iż materia obserwowana wyłącznie za pomocą oddziaływania grawitacyjnego może być artefaktem użycia ogólnej teorii względności poza zakresem stosowalności tej teorii. Pytanie, z którym w swojej pracy naukowej mierzy się doktor Zlosnik, jest jasno zdefiniowane i brzmi: czy istnieją modyfikacje i rozszerzenia teorii grawitacji Einsteina, które pozostałyby zgodne z obserwacjami astronomicznymi bez konieczności wprowadzania nowych form materii? Taka zmodyfikowana teoria powinna spełnić zasadę korespondencji, czyli pozostać zgodna z teorią Einsteina w odpowiednim zakresie wyznaczonym przez dotychczasowe obserwacje.

Działalność naukowa stanowiąca osiągnięcie naukowe będące przedmiotem postępowania habilitacyjnego

Doktor Zlosnik, jako osiągnięcie naukowe będące przedmiotem postępowania habilitacyjnego, zgłosił wyniki badań przedstawione w cyklu dziewięciu prac dotyczących modyfikacji ogólnej teorii względności. Cykl ten zatytułowano *Symetria Lorentza w grawitacji i problem ciemnej materii*.

Celem wprowadzenia modyfikacji jest próba wytłumaczenia efektów przypisywanych istnieniu ciemnej materii za pomocą zmiany oddziaływania grawitacyjnego. Prace zostały podzielone na dwie grupy. Grupa pierwsza, określona mianem modeli typu A, dotyczy rozszerzeń ogólnej teorii względności wynikających z możliwości zapisania jej w sformułowaniu Cartana. Grupa druga, określona mianem modeli typu B, dotyczy modyfikacji polegającej na dodaniu nowych pól do teorii grawitacji Einsteina.

Przedstawione prace mają charakter teoretyczny. Wszystkie artykuły powstały we współpracy z innymi autorami. Tylko w artykule [H2] doktor Zlosnik jest pierwszym autorem, ale z oświadczeń współautorów zawartych w dokumentach habilitacyjnych wynika, iż wkład doktora Zlosnika w pozostałe prace był znaczny.

W pracy [H1] wykazano, iż ogólna teoria względności Einsteina w sformułowaniu Cartana może być rozważona jako szczególny przypadek szerszej klasy teorii grawitacji. W takim ujęciu koneksja i metryka są wtórnymi obiektami wynikającymi z bardziej pierwotnych geometrycznych

zmiennych $\{V, A\}$. Wielkości te nie mają swoich bezpośrednich odpowiedników w standardowym sformułowaniu ogólnej teorii względności i, najprawdopodobniej, nie mają bezpośredniej interpretacji operacyjnej. Przy pewnych dodatkowych założeniach ta rozszerzona klasa teorii grawitacji redukuje się do teorii z polem skalarnym. Teorie skalarno-tensorowe to popularne rozszerzenia ogólnej teorii względności stawiające sobie za jeden z celów eliminację cząsteczkowej ciemnej materii. Stąd związek pracy [H1] z problemem ciemnej materii. Rozszerzenie wprowadzone w pracy [H1] polega na zauważeniu możliwości wprowadzenia dodatkowych stopni swobody w teorii grawitacji, co otwiera nowe kierunki badań.

Grawitacja w sformułowaniu Cartana umożliwia stosowanie języka z zakresu fizyki cząstek do grawitacji. W pracy [H2] wykazano, iż spontaniczne łamanie symetrii grupy Lorentza w modelu nawiązującym do grawitacji w sformułowaniu Ashtekara prowadzi do teorii grawitacji Einsteina z pyłem odgrywającym rolę ciemnej materii. Hamiltonowskie sformułowanie teorii grawitacji jako teorii cechowania ze spontanicznie złamaną symetrią grupy Lorentza zostało przedstawione w artykule [H7].

Wśród alternatywnych podejść do zagadnienia ciemnej materii ważną rolę odgrywa MOND (Modified Newtonian Dynamics). MOND nie rości sobie praw do bycia teorią grawitacji. Jest to model polegający na prostej modyfikacji grawitacji newtonowskiej. Zmodyfikowane równania w odniesieniu do niektórych zjawisk grawitacyjnych (np. rotacja galaktyk) pozwalają na uzyskanie zgodności z obserwacjami bez wprowadzania niewidocznej ciemnej materii. Próby konstrukcji relatywistycznej teorii w której słabe pola grawitacyjne byłyby zgodne z modelem MOND prowadziły do niezgodności z obserwacjami kosmologicznymi (teoria TeVeS). W pracy [H4] doktor Zlosnik, wraz ze współpracownikiem, przedstawił rozszerzenie ogólnej teorii względności Einsteina, które odtwarzając równania MONDu w przypadku słabych pól, pozostaje konsystentne z najważniejszymi obserwacjami kosmologicznymi. Teoria ta znana jest obecnie jako Aether Scalar Tensor theory (AeST). W pracy [H8] przedstawiono hamiltonowskie sformułowanie teorii AeST. W pracy [H5] zbadano stabilność czasoprzestrzeni Minkowskiego względem nowych stopni swobody wprowadzonych przez teorię AeST. Wykazano, że w pewnych skalach mogą pojawić się niestabilności. Niestabilności te nie odgrywają roli w granicy w której uzyskuje się teorię grawitacji Einsteina. Teoria AeST ma charakter fenomenologiczny — zależy od dowolnej funkcji, którą można dobrać tak, aby uzyskać zgodność z obserwacjami. Przestrzeń kosmologicznych rozwiązań teorii AeST została przeanalizowana w pracy [H9].

Szczególnie trudnym wyzwaniem dla alternatywnych teorii grawitacji była detekcja fali grawitacyjnej GW170817 ze zderzających się gwiazd neutronowych. Sygnał elektromagnetyczny towarzyszący temu wydarzeniu pozwolił na oszacowanie różnicy prędkości światła i fali grawitacyjnej. Prawie równoczesna detekcja fali grawitacyjnej i sygnału elektromagnetycznego w sposób spektakularny poprawiła nasze wcześniejsze oszacowania o czternaście rzędów wielkości, eliminując szeroką klasę alternatywnych teorii grawitacji, w których prędkość fal grawitacyjnych była mniejsza od prędkości światła. Doktor Złosnik wraz ze współpracownikiem potwierdził w pracy [H3], iż detekcja ta wyklucza teorię TeVeS oraz jej uogólnienia. Równocześnie wykazano, iż istnieje inna klasa teorii podobnych do teorii TeVeS, które nie są sprzeczne z takim wynikiem obserwacyjnym.

W pracy [H6] przedstawiono alternatywne podejście do teorii grawitacji, w którym globalna niezmienniczość działania względem transformacji Poincare może zostać podniesiona do rangi lokalnej niezmienniczości (względem grupy Poincare lub Lorentza) po przez wprowadzenie pól cechowania. W szczególności wykazano, że w tym podejściu model oparty o lokalną niezmienniczość Lorentza stanowi uogólnienie teorii grawitacji Einsteina.

Pozostałe prace naukowe

Oprócz badań dotyczących zmodyfikowanej grawitacji w kontekście ciemnej materii, doktor Złosnik prowadził badania nie włączone do cyklu habilitacyjnego, które dotyczyły rozmaitych innych zagadnień. Również w tym przypadku (około 20 prac) rozważano zmodyfikowane grawitacje lub czasoprzestrzenie wypełnione nietypową materią prowadzącą do nieoczekiwanych efektów jak np. izotropowość ekspansji w połączeniu z anizotropowością krzywizny przestrzennej. Większość z tych prac dotyczy zagadnień kosmologicznych.

Dodatkowe uwagi i komentarze

Przedmiotem mojej oceny jest dorobek naukowy doktora Złosnika. Dorobek ten jest obszerny i dowodzi znacznego wpływu doktora Złosnika na rozwój alternatywnych teorii grawitacji. Z obowiązku recenzenckiego — uwagi te nie podważają mojej pozytywnej opinii — zauważam, iż obszerny dorobek naukowy kontrastuje ze skromniejszymi osiągnięciami organizacyjnymi i dydaktycznymi. Do polskiej wersji autoreferatu wkradły się usterki językowe. Pojawiło się tam również stwierdzenie pośrednio sugerujące, iż modyfikacja prawa grawitacji Newtona stanowiła rozwiązanie problemu peryhelium Merkurego. Od czasów Newtona (Principia,

Księga I, Propozycja XLV) było wiadomo, że modyfikacja grawitacyjnej siły centralnej prowadzi do niedomykających się orbit (także: Bertrand 1873). Modyfikacje tego typu były rozważane w celu wytłumaczenia rzeczywistych lub pozornych obserwacyjnych anomalii przez ponad dwieście lat: Newton 1687, Clairaut 1747, Hall 1894, Newcomb 1895 i inni, ale nie doprowadziły do rozwiązania problemów którym miały zaradzić. Równania teorii grawitacji Einsteina są zbyt złożone, by odgadnąć je na podstawie fenomenologicznej modyfikacji teorii newtonowskiej.

Podsumowanie

Zarówno dorobek naukowy przedstawiony jako osiągnięcie habilitacyjne, jak i ten wybiegający poza główny nurt zainteresowań Pana doktora Zlosnika, świadczą o jego dużej aktywności naukowej i umiejętności współpracy z innymi naukowcami, w szczególności z zagranicznymi ośrodkami badawczymi. W zaprezentowanym cyklu prac doktor Zlosnik wykazał się pomysłowością w poszukiwaniu rozszerzeń teorii grawitacji Einsteina, a wyniki jego pracy znalazły oddźwięk w środowisku naukowym, otwierając nowe kierunki badań.

Moim zdaniem dorobek naukowy doktora Thomasa Zlosnika spełnia warunki określone przez ustawę i zwyczajowe wymagania dotyczące stopnia naukowego doktora habilitowanego nauk fizycznych. Popieram wniosek Pana doktora Zlosnika.



dr hab. Sebastian Szybka, prof. UJ