

# **Recenzja w związku z postępowaniem habilitacyjnym**

## **dr. Wojciecha Hellwinga**

Dr Wojciech Hellwing ukończył studia na Wydziale Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Zielonogórskiego w roku 2005, a w roku 2010 uzyskał w Centrum Astronomicznym im. Mikołaja Kopernika PAN stopień doktora nauk fizycznych. W kolejnych latach odbył dwa staże podoktorskie w Institute for Computational Cosmology w Durham University i Institute of Cosmology & Gravitation w Portsmouth University. Od 2017 roku jest zatrudniony w Centrum Fizyki Teoretycznej PAN na stanowisku adiunkta.

Według bazy Inspire-Hep dr W. Hellwing ma w swoim dorobku 48 prac naukowych (w tym 37 opublikowanych). Prace te cytowane były około 1570 razy, zaś Indeks Hirscha wynosi 23. Przytoczone wskaźniki bibliometryczne znacznie wykraczają ponad wartości zwyczajowo uważane za wystarczające do wszczęcia postępowania habilitacyjnego.

### **Recenzja osiągnięcia naukowego**

W skład osiągnięcia naukowego „Testy teorii grawitacji na kosmologicznych i międzygalaktycznych skalach” wchodzi 10 prac naukowych, opublikowanych w czołowych periodykach o zasięgu międzynarodowym (MNRAS, JCAP, Physical Review Letters, Physical Review D). Wszystkie te publikacje są wielo-autorskie. W złożonej dokumentacji znalazły się oświadczenia współautorów, z których wynika, że dr W. Hellwing wniósł znaczący wkład w powstanie tych prac.

Tematem przewodnim publikacji przedstawionych w ramach osiągnięcia naukowego jest testowanie w kontekście kosmologicznym zmodyfikowanych teorii grawitacji, w szczególności – teorii z lagrangianem postaci  $f(R)$ . Chociaż nie wydaje się, by istniała nagła potrzeba zastąpienia Ogólnej Teorii Einsteina bardziej ogólną teorią grawitacji, teorie typu  $f(R)$  stanowią interesujące wyzwanie teoretyczne i mogą stanowić przykład teorii fenomenologicznej, która może być zastosowana do badania możliwych odstępstw wyników obserwacyjnych od przewidywań teorii grawitacji Einsteina w reżimie wielkoskalowym. Obserwacje kosmologiczne i astrofizyczne z natury swojej związane są z badaniem efektów

ewentualnych podczerwonych poprawek do teorii grawitacji, w przeciwieństwie do poprawek kwantowo-grawitacyjnych, mających swoje źródło w efektach ultrafioletowych (choć niewykluczone, że istnieje związek między UV i IR). Badanie takich poprawek jest bardzo interesujące również z punktu widzenia fizyki fundamentalnej, a struktura podczerwona teorii pola jest od jakiegoś czasu bardzo intensywnie badana. Na dodatek, biorąc pod uwagę zgodność Einsteinowskiej teorii grawitacji z obserwacjami zarówno w skali Układu Słonecznego jak i w skali horyzontu kosmologicznego, odstępstw szukać należy właśnie na skalach pośrednich.

W pracy H1 *The non-linear matter and velocity power spectra in  $f(R)$  gravity* (będącej najczęściej cytowaną pracą spośród publikacji składających się na osiągnięcie naukowe) przeanalizowano numerycznie proces powstawania galaktyk w teoriach grawitacji typu  $f(R)$ , w reżimie nieliniowym, w którym, jak można oczekiwać, efekty modyfikacji powinny być najbardziej widoczne. Oczekiwanie to zostało potwierdzone w symulacjach, z których wynika również, że przybliżenie liniowe znacznie odbiega od efektów nieliniowych. Interesującym wnioskiem płynącym z przeprowadzonej analizy jest, że w modelach  $f(R)$  struktury kosmiczne kształtują się wcześniej niż w standardowym modelu kosmologicznym  $\Lambda$ CDM.

Praca H2 *Nonlinear structure formation in the cubic Galileon gravity model* również wysoko cytowana) poświęcona jest analizie numerycznej powstawania struktur w reżimie liniowym i nieliniowym w tzw. modelu Galileonu trzeciego stopnia. Model ten ma sporo podobieństw do kosmologicznego modelu branowego. Wyniki zrealizowanych symulacji i ich porównanie z obserwacjami kosmicznego promieniowania mikrofalowego, wykonanymi przez obserwatoria WMAP i PLANCK sprowadzają się do konstatacji, że model ten nie jest zgodny z danymi obserwacyjnymi.

W pracy H3 *Hierarchical clustering in chameleon  $f(R)$  gravity* badano ewolucję fluktuacji pola gęstości w kameleonowym modelu  $f(R)$ , które, w obszarze nieliniowym, staje się nie-Gaussowskie. Wykazano, że w reżimie nieliniowym zachodzą znaczące różnice między wynikami modelu kameleonowego a przewidywaniami Einsteinowskiej grawitacji, pojawiające się szczególnie w obszarze małego  $z$ . Niestety różnice te nie są łatwe do obserwacyjnej weryfikacji.

Ciekawą klasą modeli teoretycznych modyfikujących teorię grawitacji Einsteina jest grawitacja nielokalna. Teoria ta ma charakter fenomenologiczny i być może stanowi efektywny model pewnej, nieznannej teorii fundamentalnej.

Analizę numeryczną jej przewidywań i konfrontacji wyników z danymi obserwacyjnymi przeprowadzono po raz pierwszy w pracy H4 *Nonlinear structure formation in nonlocal gravity*. W wyniku tej analizy pokazano, że teoria nielokalna prowadzi do znaczących odchyłań w porównaniu do teorii Einsteinowskiej, co jest o tyle niebezpieczne, że z powodu nieistnienia mechanizmu ekranowania, odchylenia te pojawiają się również w skali Układu Słonecznego, stojąc w jawnej sprzeczności z danymi obserwacyjnymi.

Metody wykorzystane w pracy H4 zastosowano w pracy H5 *Halo model and halo properties in Galileon gravity cosmologies* do przypadku galileonu, wykorzystując w tym celu tzw. model halo, który upraszcza analizę numeryczną. Analizy symulacji numerycznych doprowadziła do konkluzji podobnej do tej uzyskanej w poprzednich pracach: chociaż zmodyfikowane teorie grawitacji prowadzą do poprawek w stosunku do przewidywań teorii Einsteinowskiej, ich obserwacyjne potwierdzenie okazuje się być bardzo niełatwe.

Konsekwencje tej konkluzji badane są w pracy H6 *Clear and Measurable Signature of Modified Gravity in the Galaxy Velocity Field*, opublikowanej w *Physical Review Letters*, której dr W. Hellwing jest pierwszym autorem. Ideą jest tu zastosowanie pola prędkości galaktyk jako możliwego sposobu konfrontowania przewidywań zmodyfikowanych teorii grawitacji z danymi obserwacyjnymi. W symulacjach pokazano, że sygnał związany z tymi teoriami będzie znaczący, choć, niestety, jego istotność może znacznie spaść w realnych obserwacjach. Badanie zgodności przewidywań teorii grawitacji z obserwacjami wymagać będzie jeszcze wielkiej liczby dedykowanych symulacji komputerowych, ale wydaje się możliwe w ramach przyszłych programów obserwacyjnych.

Tematem kolejnej pracy H7 *Testing the quasi-static approximation in  $f(R)$  gravity simulations* było sprawdzenie, czy przybliżenie kwasistatyczne, z powodzeniem stosowane w analizie numerycznej teorii Einsteinowskiej może być również stosowane w przypadku zmodyfikowanych teorii grawitacji. Okazało się, że w przypadku przebadanych modeli zastosowanie przybliżenia kwasistatycznego nie prowadzi do znaczącej zmiany wyników; nie jest jednak jasne, czy wynik ten traktować można jako ogólny, dotyczący dowolnych modeli zmodyfikowanej grawitacji.

Praca H8 *Theoretical accuracy in cosmological growth estimation* poświęcona jest badaniu modeli fenomenologicznych wykorzystywanych przy analizie obserwowanego ruchu galaktyk. Jak każdy model służący

„przetłumaczeniu” danych obserwacyjnych na właściwości fizyczne obserwowanego układu, jest on oparty o pewne założenia teoretyczne, powstaje więc pytanie, czy założenia te są na tyle elastyczne, że dają się pogodzić z szeroką klasą teorii grawitacji – od Einsteinowskiej aż po modele zmodyfikowane. Nie trzeba podkreślać, że odpowiedź na to pytanie jest kluczowa do poprawnej interpretacji danych obserwacyjnych. Okazuje się, że rzeczywiście modelowanie analizy obserwacji na podstawie teorii Einsteinowskiej i teorii zmodyfikowanych daje inne wyniki, co oznacza, że z perspektywy weryfikacji doświadczalnej teorii zmodyfikowanych, dostępne dane mogą być niegodne zaufania.

Celem ciekawej pracy H9 *Revealing modified gravity signals in matter and halo hierarchical clustering* jest zbadanie, jakie dane pomiarowe najlepiej służyć mogą rozróżnieniu pomiędzy przewidywaniami teorii Einsteinowskiej i teorii zmodyfikowanych. Badaniom szukania sygnału, który mógłby być konsekwencją teorii  $f(R)$  w dwupunktowej funkcji korelacji galaktyk poświęcona jest praca H10 *Real- and redshift-space halo clustering in  $f(R)$  cosmologies*, będąca ostatnią z prac wchodzących w skład osiągnięcia naukowego.

Jak wynika z powyższego, skrótowego przeglądu, na osiągnięcie naukowe dr. W. Hellwinga składa się, zgodnie z wymaganiami ustawy, cykl prac naukowych poświęconych podobnej tematyce. Udzielono w nich odpowiedzi na pytania dotyczące możliwości weryfikacji przewidywań zmodyfikowanych teorii grawitacji w oparciu o obserwacje kosmologiczne i astrofizyczne. Prace te świadczą o dojrzałości naukowej dr. W. Hellwinga i bez wątplenia z naddatkiem spełniają wymagania zwyczajowo i ustawowo stawiane habilitantom.

Warto też podkreślić, że dr W. Hellwing przygotował obszerny i bardzo interesujący autoreferat, będący w istocie świetnie napisaną pracą przeglądową, której opublikowanie warte byłoby rozważenia.

### **Inne osiągnięcia naukowe**

Obok 10 prac składających się na zaprezentowane osiągnięcie naukowe, dr W. Hellwing jest autorem kilkadziesiątu prac, z których większość ukazała się w renomowanych periodykach o zasięgu międzynarodowym. Poświęcone są one symulacjom różnorodnych aspektów modeli kosmologicznych i astrofizycznych (m. in. ciepłej i zimnej ciemnej materii oraz nieujętych w osiągnięciu naukowym aspektów teorii zmodyfikowanej grawitacji), i stanowią interesujący wkład w rozwój tych teorii.

Dr W. Hellwing jest stypendystą europejskiego programu Marii Skłodowskiej-Curie; był też kierownikiem grantów SONATA BIS (z którego zrezygnował po uzyskaniu grantu MSC) i SONATA w latach 2011-2014 oraz głównym wykonawcą w kilku innych projektach badawczych. Wygłosił kilkadziesiąt referatów na konferencjach naukowych o zasięgu międzynarodowym.

Podsumowując, dr W. Hellwing jest dojrzałym naukowcem o imponującym dorobku naukowym i rozpoznawalnym nazwisku w środowisku – krajowym i zagranicznym – badaczy zajmujących się kosmologią i astrofizyką.

***W moim przekonaniu zaprezentowane osiągnięcie naukowe oraz dorobek naukowy dr. Wojciecha Hellwinga spełniają ustawowe i zwyczajowe wymagania stawiane habilitantom w dziedzinie fizyki i astronomii. Wnoszę o przejście do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.***

Warszawa, 10 czerwca 2019

Prof. dr hab. Jerzy Kowalski-Glikman  
Instytut Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Wrocławskiego  
i Narodowe Centrum Badań Jądrowych