



Recenzja dorobku dra Oresta Hrycyny w związku z postępowaniem habilitacyjnym.

Dr Hrycyna jest autorem lub współautorem 31 publikacji widocznych w bazie Orcid, z tego 4 prace wchodzi w skład habilitacyjnego osiągnięcia naukowego, a 8 zostało opublikowanych po uzyskaniu stopnia naukowego doktora nauk fizycznych. Wg Inspire prace współautorstwa dra Hrycyny były cytowane przez innych niż on sam blisko 500 razy (i odpowiednio 400 według Web of Science), a index Hirscha dr Hrycyny wynosi 14 według (13 według Web of Science). Najwięcej cytowań (po od 40 do 50 nie licząc samocytowań) zebrały trzy prace napisane wspólnie profesorem Markiem Szydłowskim jeszcze przed uzyskaniem stopnia doktora. Spośród prac wchodzących w skład osiągnięcia habilitacyjnego najwięcej cytowań (ponad 20) uzyskała praca "What xi? Cosmological constraints on the non-minimal cosmological constant" napisana i opublikowana samodzielnie w 2017 roku i oznaczona symbolem NC2 we wniosku kandydata.

Tematyką badań dra Hrycyny są kosmologiczne modele czasoprzestrzeni wypełnionej polem mającym tłumaczyć własności i ewolucję obserwowanego wrzechświata. Tematem jego pracy doktorskiej była "Złożoność dynamiczna modeli kosmologicznych Friedmanna z polem skalarnym" praca doktorska była zatytułowana "Regular and chaotic dynamics in scalar field cosmology", zaś osiągnięciem będącym podstawą wniosku habilitacyjnego jest "Generyczny model kosmologiczny bez osobliwości początkowej oraz fundamentalna symetria czasoprzestrzeni". Promotorem prac magisterskiej i doktorskiej był profesor Marek Szydłowski, który jest także współautorem większości publikacji dra Hrycyny. Modele rozważane w pracach dra Hrycyny najczęściej oparte są na klasycznej teorii Einsteina, w trzech pracach badane były także modele teorii Brans-Dicke'go, a w kilku innych efektywne czasoprzestrzenie kosmologiczne uzyskiwane jako semiklasyczna granica modeli pętlowej grawitacji kwantowej. W zdecydowanej większości prac dra Hrycyny badana czasoprzestrzeń i wypełniająca ją materia są jednorodne i izotropowe, co znacznie redukuje liczbę stopni swobody. Analizowana jest dynamika modeli przy wykorzystaniu metod układów dynamicznych, których narzędziami są przestrzeń fazowa, asymptotyczne punkty krytyczne, rozmaitości niezmiennicze. Przestrzeń fazowa organizowana jest przez przypisanie punktom krytycznym trajektorii dynamicznych zależnych od wartości początkowych.

Na osiągnięcie habilitacyjne składają cztery prace (oznaczone we wniosku symbolami NC1, NC2, NC3, oraz NC4), przedstawiające wyniki badań nad modelem czasoprzestrzeni z nie-minimalnie sprzężonym polem skalarnym. Badany model opisuje pole grawitacyjne oraz pole skalarnie. Działanie ma formę działania teorii Einsteina pola grawitacyjnego sprzężonego z polem skalarnym, przy czym: (i) poza standardowym wyrazem kinetycznym pola skalarnego oraz potencjałem obecny jest wyraz proporcjonalny do kwadratu pola skalarnego oraz składowej krzywizny pola grawitacyjnego z bezmasowym parametrem ξ , (ii) dopuszczany jest opcjonalnie przeciwny znak działania pola skalarnego. W czasoprzestrzeni płaskiej dodatkowy wyraz "(i)" znika tożsamościowo, a pole skalarnie staje się polem Kleina-Gordona z dowolnym potencjałem. W ogólniejszym przypadku czasoprzestrzeni zakrzywionej, nie-minimalne sprzężenie pojawia się w literaturze w rozmaitych kontekstach. Na przykład, przy zerowym potencjale i odpowiedniej wartości współczynnika ξ ,

równania pola skalarnego stają się niezmiennicze ze względu na lokalne zmiany skali. Innym pomysłem jest wręcz zastąpienie wyrazu Hilberta-Einsteina przez wyraz nie-minimalnego sprzężenia (teoria Brans-Dicke), czyli nadanie stałej Newtona charakteru dynamicznego. Jeszcze innym źródłem tego i podobnych wyrazów jest teoria kwantowa i wynikające z niej działanie efektywne. Modele kosmologiczne z nie-minimalnie sprzężonym polem skalarnym są często rozważane w literaturze w kontekście epoki inflacyjnej oraz w opisie obecnej przyspieszonej ekspansji wszechświata. W standardowej teorii Einsteina sprzężonej nie-minimalnie z polem skalarnym, wyraz proporcjonalny do kwadratu pola i skalara krzywizny działa podobnie jak zwykły wyraz z masą pola, przy czym masa staje się zależna od krzywizny czasoprzestrzeni. Nic więc dziwnego, że mechanizm ten rozważany jest w literaturze modeli kosmologicznych jako potencjalne źródło efektów znanych jako ciemna energia. Podobnie, znany w literaturze jest chwyt polegający na pomnożeniu działania pola skalarnego przez -1 . Tego typu materia nazywana jest fantomową i pełni w teorii ściśle kosmologiczną funkcję. W jednej z prac (NC2) do układu pola grawitacyjnego i pola skalarnego dodany jest pył. We wszystkich badanych przypadkach zakłada się przestrzenną jednorodność i izotropowość. Ta wysoka symetria znacznie redukuje ilość stopni swobody, pozwala na rozwiązanie równań dynamiki i poznanie jej globalnej struktury. Ostatnim założeniem czynionym we wszystkich pracach NC1-NC4 jest płaskość wszechświata.

Pierwszym zbadanym przypadkiem (praca NC1 współautorstwa Marka Szydłowskiego) był model z potencjałem stałym, niezależnym od pola skalarnego i płaskim wszechświatem. Metodami układów dynamicznych zbadano globalne zachowanie systemu. Znaleziona została różnorodność niezmiennicza i wykorzystana do ścisłego rozwiązania dynamiki. Obliczono wszystkie trajektorie w zależności od warunków początkowych. Uzyskano globalną strukturę, którą nadają przestrzeni fazowej. Zbadano zależność wyniku od wartości stałej ξ nie-minimalnego sprzężenia. Wyznaczono wartość krytyczną $\xi=3/16$, dla której struktura dynamiki zmienia się nie tylko ilościowo, ale także jakościowo.

Kolejne badania przeprowadzono w dwóch kierunkach. Pierwszy, to dołączenie do układu pyłu (NC2), drugi, to porzucenie na grawitującym polu skalarnym, ale dopuszczenie potencjału wyrażonego bardziej dowolną funkcją (NC3, NC4).

Dla modelu złożonego z pola grawitacyjnego, nie-minimalnie sprzężonego pola skalarnego oraz pyłu znaleziona została niezmiennicza podrozmierność odpowiadająca stanowi de Sittera i wykorzystana do ścisłego rozwiązania teorii. Zależność struktury globalnej dynamiki w przestrzeni fazowej od stałej sprzężenia nie-minimalnego została porównana z dostępnymi danymi obserwacyjnymi: odległe supernowe, pomiary "stałej" Hubble'a oraz innych testów. Rezultatem porównania były ograniczenia na wartości stałej sprzężenia nie-minimalnego. Z wysokim poziomem ufności przyjmuje on dodatnie wartości. Dopuszczalna ma być także jego krytyczna wartość $3/16$.

Uogólnienie potencjału polegało na dopuszczeniu rodziny potencjałów, które asymptotycznie przyjmują postać jednomianu (NC3), czyli pole skalarne do ustalonej potęgi. Podtrzymany został wynik o wyróżnionej wartości $3/16$ stałej nie-minimalnego sprzężenia. Nowym rezultatem było odkrycie, że generycznie (gdy potęga jednomianowego potencjału jest wyższa niż 1) dynamika opisuje wszechświat o niesobliwym stanie początkowym. Dalszym, szczegółowym badaniom poddano klasę potencjałów asymptotycznie kwadratowych (kolejne wyrazy muszą też być dostatecznie małe). Głównym wynikiem była konstrukcja szerokiej klasy nowych, niesobliwych modeli kosmologicznych. Odpowiadają one wartościom stałej sprzężenia nie-minimalnego z przedziału $3/16 < \xi < 1/4$. Własności modelu są stabilne zarówno ze względu na niewielkie

zmiany warunków początkowych (czyli obecnych) wszechświata, jak i niewielkie zmiany wartości parametrów. Dr Hrycyna stawia hipotezę, że krytyczna wartość $3/16$ oznacza wyłanianie się nowej, konforemnej symetrii dla odpowiednio rozszerzonej do 5 wymiarów ogólnej teorii względności, zaś szczególna wartość $1/4$ sugeruje nawet nieskończenie wymiarową czasoprzestrzeń i konforemnie niezmienniczą teorię.

Stwierdzeniem zawartym w pracach habilitacyjnych dra Hrycyny, którego nie rozumiem, jest wywnioskowana w NC4 fizyczna nierównoważność sformułowań Jordana i Einsteina (“Wykorzystując metody układów w dynamicznych wykazuję, że sformułowania Jordana oraz Einsteina teorii są fizycznie nierównoważne”, NC4). Sformułowania, o których mowa, wydają się różnić jedynie wyborem zmiennych w przestrzeni fazowej. Jeśli nie są równoważne, to czy są jeszcze inne nierównoważne sformułowania i które z nich wszystkich jest poprawne? Być może jest możliwość zaproszenia dra Hrycyny i poproszenia o osobiste wyjaśnienia tego punktu?

W latach 2018-2022 Dr Hrycyna prezentował swoje wyniki na 17 międzynarodowych konferencjach lub warsztatach w formie referatu lub plakatu (o 2023 nie mamy danych). Jako doktorant prowadził zajęcia z fizyki na Katolickim Uniwersytecie Lubelskim Jana Pawła II w Lublinie, na wydziałach Filozofii i Matematyki. Recenzuje prace dla wielu renomowanych międzynarodowych czasopism naukowych.

Silne strony wniosku

Trzy prace spośród NC1-NC4 są indywidualne, a jedna z jednym współautorem, a więc habilitant wykazał się dużą samodzielnością. Plan badań i analiza otrzymanych wyników są strukturalnie logiczne i przejrzyste, kolejne prace stanowią naturalną kontynuacją badań rozpoczętych w pracy NC1. Zastosowane metody układów dynamicznych są ścisłe, precyzyjne, ich jakość intelektualna jest wysoka. Otrzymany wgląd w globalną strukturę dynamiki badanych rodzin modeli daje dobre zrozumienie ich przewidywań. Wysoko też cenię precyzję dr Hrycyny, dokładność wszelkich sformułowań zarówno przy wypisywaniu założeń, jak i wprowadzaniu metod obliczeń, jak i analizy wyników. Poza pracami zgłoszonymi jako osiągnięcie dr Hrycyna badał też inne modele kosmologiczne (BD1-BD3), a także semiklasyczne konsekwencje kosmologicznych modeli kwantowej grawitacji. Na wysoką ocenę zasługuje aktywność dra Hrycyny w referowaniu swoich wyników na międzynarodowych konferencjach i warsztatach.

Słabe strony wniosku

Założenie niezwykle wysokiej symetrii badanych układów redukuje stopnie swobody do zaledwie kilku. Scenariusz ten charakteryzuje nie tylko prace wybrane jako osiągnięcie, ale wręcz cały dorobek dra Hrycyny. Prawdopodobnie jest to uzasadnione z punktu widzenia kosmologii, jednak może robić dość monotonne wrażenie z punktu widzenia teorii czasoprzestrzeni, która jest znacznie bogatsza. Dwie z czterech prac NC1-NC4 są opublikowane jako “letters”, a więc ich forma jest trochę krótka, przydałyby się rozszerzone wersje, ale pewną kompensacją może tu być dość szczegółowy autoreferat. Dr Hrycyna nie wykazał się jeszcze aktywnością w kierowaniu projektami naukowymi z wyjątkiem projektów o charakterze doktoranckim. Nie znalazłem też informacji o wypromowanych studentach, np licencjuszach lub magistrantach.

Biorąc pod uwagę wszystkie “za i przeciw”, oceniając znaczenie jednych i drugich, stawiam wniosek o przyznanie drowi Hrycynie stopnia doktora habilitowanego.

prof. dr hab. Jerzy Lewandowski

Kierownik,
Katedra Teorii Względności i Grawitacji,
Wydział Fizyki UW
ul. Pasteura 5, 02-093 Warszawa
tel. 225532958