

Prof. dr hab. Edward Malec
Zakład Teorii Względności i Astrofizyki
Instytut Fizyki Teoretycznej
Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej
Uniwersytet Jagielloński

Kraków, 28. 08. 2023.

**Recenzja pracy doktorskiej Pana magistra Aleksandra Kozaka
“Conformally-invariant framework for scalar-tensor theories of gravity
in the metric, Palatini, and hybrid approaches”**

Rdzeniem pracy doktorskiej Pana Aleksandra Kozaka jest kompilacja 4 artykułów opublikowanych w dobrych czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Zbiór ten jest poprzedzony obszernym — prawie pięćdziesięciostronicowym — wstępem. Znalazły się w nim pewne przemyślenia Autora dotyczące podstaw ogólnej teorii względności — zasad równoważności i zasady Macha. Są to kwestie, które mają znaczenie historyczne, ale pojawiają się w recenzowanym doktoracie nieprzypadkowo, bowiem w rozprawie wychodzi się poza einsteinowską teorię grawitacji. Wstęp ten spaja w jedną całość przytoczone w rozprawie 4 artykuły. Uważam, że użyteczne są też krótkie komentarze poprzedzające poszczególne prace cytowane dalej *in extenso*.

Autor jest świadom, że ogólna teorii względności jest ciągle najlepszą teorią grawitacji (patrz uwaga na stronie 25). Muszę przyznać, że zaskoczył mnie ton ubolewania Autora — “(OTW)...jest najlepsza, pomimo tego, że jest względnie prostą teorią” (tłumaczę swobodnie z języka angielskiego).

Pan Magister Kozak wysuwa w podrozdziale “Shortcomings of General Relativity” kilka argumentów uzasadniających próby sformułowania alternatywnych (zmodyfikowanych) teorii grawitacji: niemożność kwantowania Einsteinowskiej grawitacji; nieistnienie fundamentalnej teorii, której granicą efektywna byłaby OTW; tzw. “Hubble tension” — problem z wartością stałej Hubble’a. Nie będę się odnosić do dwu pierwszych argumentów, które są znane od dziesięcioleci i są natury czysto teoretycznej. Ale wydaje mi się, że podnoszenie w tym miejscu “Hubble tension” — efektu, który może jest, a może go nie ma — jako argumentu

za konstrukcją zmodyfikowanej grawitacji jest przedwczesne. “Lokalna” wartość stałej Hubble’a H jeszcze 20 lat temu była wyznaczana z dokładnością 20% (patrz liczne prace Wendy Friedmann), a obserwacje Allana Sandage’a dawały wartości H o 1/4 mniejsze od tych otrzymywanych przez Wendy Friedmann. Trzeba tu dodać, że obydwój — Sandage and Friedmann — należą do koryfeuszy obserwacyjnej kosmologii. Wyznaczanie H opiera się na obserwacjach dwu świec standardowych - cefeid typu δ oraz supernowych IA. Każda z nich wymaga cechowania. Wiadomo, że cechowanie cefeid klasycznych opiera się w znacznej mierze o obserwacje dokonywane w Obłokach Magellana, tymczasem jakieś 10 lat temu mogliśmy odnotować próbę rewizji odległości do LMC o jakieś 15%. Z kolei liczba supernowych typu IA, które można wycechować za pomocą cefeid jest niewielka. 20 lat temu mówiło się o 8 kalibrowanych SN IA, w ostatnich latach ta liczba wzrosła, być może do paru tuzinów. Można mieć wątpliwości, czy rzeczywiście “lokalnie” wyznaczana stałość Hubble’a jest znana z dokładnością 2 %, jak twierdzą proponenci występowania “Hubble tension”. Jest grupa poważnych oponentów wśród obserwacyjnych astronomów.

Zasadnicza część rozprawy składa się z 4 publikacji — trzech napisanych z promotorem, profesorem Andrzejem Borowcem i jednej wykonanej we współpracy z doktor Anetą Wojnar. Z wyjaśnień zamieszczonych we wstępie rozprawy jasno wynika, że wkład Pana Aleksandra Kozaka był znaczący lub bardzo znaczący. Dotyczy to zwłaszcza rachunków, które musiały być czasochłonne i z pewnością wymagały wiele uwagi. Pan Magister Kozak pisał także wstępne wersje publikacji. Artykuły ukazały się w poważnych międzynarodowych czasopismach — Physical Review D, European Physics Journal C oraz Journal of Cosmology and Astroparticle Physics.

Znalazłem w pracy sporo literówek, na ogół łatwych do samodzielnego skorygowania przez czytelnika. Wypada jednak poprawić pisownię nazwiska Loranda Eotvosa (nazwisko w polskiej transliteracji — piszę w Tex-u i mam kłopoty z zapisaniem pewnych samogłosek występujących w języku węgierskim) na stronie 25. Przypuszczam, że we wzorach (3.4a) i (3.4b) brakuje nawiasów. Nie rozumiem wzoru (3.35): w kosmologii Friedmana-Lemaitrea-Robertsona-Walkera wyrażenie występujące po lewej stronie jest równe zeru, a sam wzór (3.35) wynika z prawa zachowania tensora energii i pędu, przy założeniu tzw. adiabatyczności.

Moje ogólne wrażenia po przeczytaniu rozprawy są dobre. Jest rzeczą jasną, że Pan Magister Kozak dobrze opanował aparat fizyki matematycznej. Jest autorem lub współautorem

około 10 publikacji, które są już cytowane i znane wśród specjalistów. Praca doktorska jest jasno napisana, a jej układ jest czytelny.

W podsumowaniu, rozprawa **“Conformally-invariant framework for scalar-tensor theories of gravity in the metric, Palatini, and hybrid approaches”** spełnia wszystkie formalne i merytoryczne wymagania stawiane pracy doktorskiej. Uważam, że należy dopełnić kolejnych etapów nadawania stopnia doktora Panu Magistrowi Aleksandrowi Kozakowi.