

Wrocław, dnia 29.03.2026

dr hab. Tomasz Pawłowski, prof. UW
Instytut Fizyki Teoretycznej
Wydział Fizyki i Astronomii
Uniwersytet Wrocławski

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Eryka Buka

Rozprawa doktorska Pana mgr Eryka Buka o tytule “Topologicznie trywialne i nietrywialne ekstremalne, izolowane horyzonty” została przygotowana w Instytucie Fizyki Teoretycznej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego pod kierunkiem prof. dr hab. Jerzego Lewandowskiego (promotor), dr hab. Adama Szereszewskiego (promotor) i dr Wojciecha Kamińskiego (promotor pomocniczy). Przedstawione w rozprawie wyniki badań wpisują się w nader ważny (zwłaszcza dzięki astronomii fal grawitacyjnych) aspekt klasycznej teorii grawitacji: opis czarnych dziur jako “odrębnych” obiektów wyróżnionych względem otoczenia (reszty Wszechświata w którym egzystują). Standardowa teoria czarnych dziur definiuje ich powierzchnie jako granice domeny zewnętrznej komunikacji, tzw. horyzonty zdarzeń. Definicja ta jednak wymaga do opisu czarnej dziury pełnej wiedzy o historii Wszechświata (tzn znajomości jego globalnej struktury przyczynowej) a sam horyzont nie jest wyróżniony przez żadne lokalnie mierzalne fizyczne własności. Opis ten jest przez to bardzo trudny do zastosowania np w numerycznej grawitacji, która stanowi jeden z elementów krytycznych dla wspomnianej wcześniej astronomii fal grawitacyjnych. Odpowiedzią na tę trudność był zestaw tzw opisów quasi-lokalnych, w których powierzchnia czarnej dziury jest wyróżniona poprzez lokalne geometryczne własności. W rozprawie zastosowany został jeden z nich, tzw. teoria nieekspandujących/izolowanych horyzontów. Opisuje ona powierzchnię czarnej dziury w równowadze z otoczeniem jako zdegenerowaną (zerową) powierzchnię kowymiaru 1, której geometria charakteryzowana jest przez lokalne stopnie swobody: metrykę cięć przestrzennych kowymiaru 2 oraz formę rotacji. Sam horyzont może być zarówno zanurzony w czasoprzestrzeni jak i rozważany w oderwaniu od niej - abstrakcyjny.

Opis ten jest rozwijany już od kilku dekad i był (wraz z rozwinięciem na teorię tzw. dynamicznych horyzontów) z powodzeniem stosowany w numerycznych symulacjach czarnych dziur. Zagadnienia rozważane w rozprawie wypełniają pewną istotną lukę w dotychczasowym opisie: najlepiej zrozumiała jest geometryczna struktura horyzontów, których zerowa symetria ma nieznikającą powierzchniową grawitację. Szczególny przypadek przeciwny –tzw. horyzonty ekstremalne– charakteryzuje się odmienną strukturą geometrycznych stopni swobody (więzy) oraz konstrukcją zanurzenia w czasoprzestrzeni. Ponieważ część obserwowanych czarnych dziur jest bliska ekstremalności a sama ekstremalna czarna dziura jest uznawana za końcowy produkt parowania poprzez emisję promieniowania Hawkinga, dokładne zrozumienie także tego przypadku wydaje się być niezbędne. Również obiekty te są ważne w niektórych podejściach do kwantowania grawitacji, między innymi w teorii strun. Z tego ostatniego powodu sensownym jest zbadanie również horyzontów topologicznie nietrywialnych – gdzie nie da się wyróżnić “globalnej” (dla horyzontu) rozmaitości geodezyjnych zerowych (tzw rozmaitości bazowej) z jednoznacznie określoną geometrią a rzeczoną geometrią można opisywać tylko poprzez rodzinę przestrzennych cięć kowymiaru 2 (względem czasoprzestrzeni). Badania Kandydata skupiają się na opisie właśnie takich ekstremalnych horyzontów, konkretnie (lokalnie) zanurzalnych w czasoprzestrzeni wymiaru 4 z dynamiką opisywaną równaniami Einsteina-Maxwella. W tym kontekście Kandydat klasyfikuje topologicznie trywialne horyzonty w obecności niezerowej stałej kosmologicznej oraz klasę nietrywialnych topologicznie horyzontów, mianowicie tychże zanurzalnych w czasoprzestrzeni Plebańskiego-Demiańskiego.

Sama rozprawa liczy (ze spisem literatury) 66 stron i jest podzielona na pięć rozdziałów głównych i trzy appendiksy. Spis literatury zawiera 112 pozycji. materiał przedstawiony w rozprawie został w części opublikowany w trzech artykułach w wysokiej jakości recenzowanych czasopismach (Physical Review D), aczkolwiek znaczna część przedstawionych wyników nie została (według stanu wiedzy recenzenta) jeszcze opublikowana. Zawartość poszczególnych rozdziałów jest następująca: rozdział 1 zawiera wstęp motywacyjny, rozdział 2 – bardzo zwięzłe wprowadzenie do formalizmu nieekspandujących horyzontów. Opisowi wyników własnych Kandydata poświęcone są rozdziały 3 i 4, dedykowane odpowiednio dla horyzontów topologicznie trywialnych i nietrywialnych - zanurzalnych w czasoprzestrzeni Plebańskiego-Demiańskiego. Zawierają one systematyczną analizę z podziałem na topologię horyzontu, obecność nietrywialnego pola elektromagnetycznego i rotacji oraz znak stałej kosmologicznej. Cała analiza oparta jest na niedawno udowodnionym twierdzeniu, iż geometria ekstremalnego horyzontu musi dopuszczać osiową bądź cykliczną symetrię oraz na zaadaptowanym do tejże symetrii układzie współrzędnych wprowadzonym w arXiv:gr-qc/0101008 oraz ref. [84]. Dzięki tym narzędziom analiza geometrii sprowadza się do zbadania i rozwiązania nieskomplikowanego układu jednowymiarowych równań różniczkowych (zwykłych) wyindukowanych przez wiąź nazwany w pracy “near-horizon geometry equations”. Ostatni główny rozdział zawiera krótkie podsumowanie uzyskanych wyników.

Sama przedstawiona w rozprawie analiza jest dość techniczna i nie mam do niej merytorycznych zastrzeżeń, mam jednak kilka pytań oraz uwag dotyczących samej prezentacji. Są to:

1. Opisy w rozdziałach 3 i 4 są monolityczne, co z jednej strony wzmacnia aspekt edukacyjny rozprawy (czyniąc ją wygodnym narzędziem do nauki tematyki), z drugiej jednak w znaczącym stopniu utrudnia oddzielenie własnych wyników Kandydata od tych znanych z literatury.
2. Opis możliwych geometrii jest bardzo techniczny, między innymi opiera się o nierówności pomiędzy wartościami zestawu globalnych parametrów charakteryzujących poszczególne czarne dziury. Byłoby bardzo pomocnym skomentowanie w odpowiednich miejscach fizycznych konsekwencji tychże nierówności.
3. W rozdziale 3.1.1 i później w 3.5 pojawia się dyskusja tzw. cenzury topologicznej z referencjami. W kontekście znikającej stałej kosmologicznej cenzura ta była ustanowiona i dyskutowana we wcześniejszych pracach, np. arXiv:gr-qc/0306107.
4. W rozdziale 3 używane jest dość intensywnie pojęcie pola Killinga, które jest własnością czasoprzestrzennego otoczenia horyzontu. Jakie jest znaczenie tego pojęcia dla samego horyzontu? Czy jest to po prostu symetria tegoż czy też zawiera dodatkowe warunki? Istnienie pola Killinga wymusza symetrię w dowolnym rzędzie, podczas gdy dla geometrii znaczące jest aby pole było symetrią metryki i części koneksji, patrz np. arXiv:gr-qc/0605026.
5. Odwrotna transformacja zadana wzorami (3.158-3.160) zawiera wyrażenia uwikłane. Czy jest konkretny powód takiego jej przedstawienia?

Dla kompletności wspomnę, iż w rozprawie występuje pewna ilość błędów typograficznych/gramatycznych (powtórzone/brakujące słowa w zdaniach, etc.) jednak ilość tych błędów jest niewielka.

Podsumowując, w rozprawie Kandydat zaprezentował serię własnych wyników będących efektem nader systematycznych badań i które są ciekawe i mają potencjalnie zastosowanie zarówno w klasycznej teorii grawitacji jak i w niektórych teoriach kwantowych. Sama rozprawa została napisana w sposób klarowny i przystępny pomimo dość technicznego jej charakteru. W związku z powyższym stwierdzam, iż przedstawiona rozprawa spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2024 r. poz. 1571), oceniam pracę bardzo pozytywnie i wnioskuję o przeprowadzenie dalszych etapów procedury uzyskania stopnia naukowego doktora nauk fizycznych dla Pana mgr Eryka Buka.

dr hab. Tomasz Pawłowski

Signed by / Podpisano przez:



Tomasz Henryk Pawłowski

Date / Data: 2026-03-30 10:38