

Andrzej Rostworowski
 Uniwersytet Jagielloński
 Instytut Fizyki Teoretycznej
 ul. S. Łojasiewicza 11
 30-348 Kraków, Polska
 andrzej.rostworowski@uj.edu.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej
Stationary perturbations of near-horizon geometries
 magistra Macieja Kolanowskiego

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska składa się ze wstępu (rozdział 1), następnie trzech rozdziałów stanowiących główną część rozprawy i zakończenia (rozdział 5), uzupełnionych czterema dodatkami i spisem literatury. Rozprawa jest poświęcona stacjonarnym perturbacjom ekstremalnych (tzn. o zerowej grawitacji powierzchniowej) czarnych dziur w przypadku ujemnej wartości stałej kosmologicznej lub rozszerzeń Ogólnej Teorii Względności (OTW).

W rozdziale 2 omawiane są stacjonarne perturbacje *near horizon geometry* (NHG) dla ekstremalnych czarnych dziur w 3+1 wymiarach dla ujemnej wartości stałej kosmologicznej. Głównym wynikiem jest obserwacja, że generycznie takie perturbacje prowadzą do osobliwości w postaci nieskończonych sił pływowych (identyfikowanych przez pewną składową tensora Weyla) pojawiających się na horyzoncie. Pokazane jest również, że przewidywania dla ekstremalnych horyzontów manifestuje się także dla nieekstremalnych czarnych dziur w granicy ($T \rightarrow 0$) w postaci anomalnego ciepła właściwego oraz sił pływowych, które w tej granicy stają się nieograniczone. Te istotne efekty pozostawały niezauważone we wcześniejszych pracach o czarnych dziurach o asymptotyce AdS.

W rozdziale 3 podobna analiza jest zastosowana do przypadków 4+1 i wyżej wymiarowych. Główną obserwacją jest to że, wbrew wcześniejszym oczekiwaniom, NHG $AdS_2 \times S^3$ jest niestabilna względem statycznych perturbacji łamiących sferyczną symetrię (tutaj $SO(4)$). Znalaziona jest NHG stabilna względem perturbacji zachowujących symetrię $SO(3)$, ale znalezienie geometrii stabilnej względem ogólnych perturbacji pozostaje otwartym problemem. Podobnie jak w rozdziale 2, przewidywania perturbacyjne są potwierdzone przez ścisłe rozwiązania otrzymane numerycznie. Ciekawym rozszerzeniem wcześniej opublikowanych wyników jest dyskusja dotycząca toroidalnych czarnych dziur oraz zależności od czasu perturbacji prawie ekstremalnych czarnych dziur.

W rozdziale 4 dyskutowany jest potencjalny wpływ modyfikacji OTW (przez włączenie *higher-derivative corrections*) na stabilność horyzontów w przypadku $\Lambda = 0$. Niestety muszę przyznać, że ze względu na wyznaczone na recenzję ramy czasowe ten rozdział mogłem tylko dość pobieżnie przejrzeć oraz jest to temat dalszy od moich kompetencji niż tematy poruszane w rozdziałach 2 i 3.

Stwierdzam, że opisane w rozprawie metody badawcze są właściwe i stosowane z pewnością i swobodą. Mocną stroną prezentowanych wyników jest połączenie metod analitycznych (głównie perturbacyjnych) i numerycznych. Perturbacyjne przewidywania są weryfikowane dla ścisłych (numerycznych) rozwiązań równań Einsteina lub, patrząc na to z drugiej strony, perturbacyjna analiza umożliwia zrozumienie efektów obserwowanych dla ścisłych rozwiązań (np. anomalnego zachowania ciepła właściwego czarnej dziury w granicy $T \rightarrow 0$). Podsumowując merytoryczny opis rozprawy stwierdzam, że przedstawione wyniki są nowe i interesujące - merytorycznie nie mam poważnych zastrzeżeń poza pewnymi szczegółami/pytaniami, które wymienię częściowo poniżej:

1. Bardzo skrótowy opis metod numerycznych - dla mnie niewystarczający do ewentualnego odtworzenia prezentowanych wyników, np. nie wiem jakie warunki brzegowe były wybrane dla funkcji (2.63) (2.68) oraz jaki był ogólny schemat całkowania równań numerycznych.
2. Czy jest jakieś wytłumaczenie dużych gradientów, które rozwiązania numeryczne mają w pobliżu horyzontu (ostatni akapit na str. 32)?
3. Brak szczegółowego wyjaśnienia warunków brzegowych wybierających wykładniki (2.39) - np. dlaczego nie można wybrać tylko zaburzenia charakteryzowanego największym wykładnikiem na horyzoncie, czy jest warunek (a jeśli tak to jaki), który musi spełniać liniowa perturbacja, aby zachować zerową wartość grawitacji powierzchniowej?
4. Niepójna notacja (np. różne oznaczenia na indeksy kątovej części metryki w rozdziałach 2 i 3), brak definicji niektórych oznaczeń, np. A_t w (2.31), G_4 w (2.72), znaczenia których trzeba się przez to domyślać.

W mojej ocenie głównym mankamentem rozprawy jest to, że jej zasadnicza część, czyli rozdziały 2, 3 i 4 to w przeważającej części kopia 3 prac, w których doktorant był współautorem, z pewnymi dodatkami i komentarzami rozszerzającymi te prace. Prace te można znaleźć pod następującymi adresami:

1. <https://arxiv.org/abs/2210.02473>
2. <https://arxiv.org/abs/2211.01385>
3. <https://arxiv.org/abs/2303.07358>

(dwie pierwsze prace zostały już opublikowane w Journal of High Energy Physics). Ten fakt nastawił mnie początkowo dość negatywnie do ocenianej rozprawy, ponieważ:

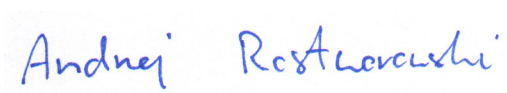
1. Poza wstępem i zakończeniem trudno było mi stwierdzić która część tekstu jest faktycznie autorstwa doktoranta.
2. Styl prezentacji jest bardzo skrótowy (moje uwagi powyżej) - taki styl może dobrze sprawdza się w specjalistycznym czasopiśmie, ale w mojej ocenie słabo pasuje do rozprawy doktorskiej, która wg. mnie powinna zawierać więcej szczegółów rachunkowych i wyjaśnień niż publikowane prace. Jestem szczególnie zawiedziony, że bardzo skrótowy opis części numerycznej (rozdział 2.4) nie został rozszerzony w pracy doktorskiej, ale jak rozumiem (na podstawie uwagi w ostatnim akapicie na stronie 11) wkład doktoranta w tą konkretną część współautorских publikacji był znikomy.

To negatywne nastawienie zmieniło się jednak po seminarium, które pan Maciej Kolanowski wygłosił w Krakowie i dyskusjach, które prowadziliśmy przy tej okazji oraz później mailowo. Odpowiedzi udzielone przez pana Kolanowskiego na moje wszystkie (czasem niezbyt rozsądne) pytania były zawsze rzeczowe i wskazywały na głębokie zrozumienie problemów dyskutowanych w rozprawie. (Pytałem między innymi o ansatz (2.16), wyprowadzenie układu (2.38), numeryczny ansatz (2.59) i podział wynikających z niego równań na równanie traktowane jak więzy i równania traktowane jak równania "dynamiczne".) Również dostępny on-line wykład Jorge Santos'a (jednego ze współautorów prac wymienionych powyżej):

<https://online.kitp.ucsb.edu/online/joint98/santos/>

utwierdził mnie w przekonaniu, że wkład pana Macieja Kolanowskiego w powstanie tych prac był kluczowy. Na tej podstawie stwierdzam, że przedstawione mi do recenzji rozprawa spełnia

wymogi formalne dla rozprawy doktorskiej i wnoszę o dopuszczenie pana Macieja Kolanowskiego do kolejnych etapów procedury, w szczególności od publicznej obrony rozprawy doktorskiej.



Andrzej Rostworowski
(andrzej.rostworowski@uj.edu.pl)