

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

Kraków, 30. września 2014.

Recenzja rozprawy doktorskiej
"Dynamics of perturbations of three-dimensional Anti-de Sitter spacetimes"
Pani Magister Joanny Jałmużnej

Pani magister Jałmużna napisała blisko stustronicową pracę doktorską składającą się z 8 rozdziałów, dodatku i spisu literatury. Kompozycja jest klarowna – zasadnicza partia rozprawy jest poprzedzona obszernymi wprowadzeniami z opisem dotychczasowego stanu badań. Nowe wyniki są omówione w rozdziałach czwartym, piątym i siódmym. W każdym z nich znajdujemy krótkie podsumowanie, co bardzo ułatwia lekturę. Otrzymane wyniki zostały opublikowane w dwu artykułach w czasopismach o zasięgu międzynarodowym, w tym w prestiżowym *Physical Review Letters*. Pozwolę tu sobie na dygresję. W ostatnich latach pojawiły się odkrywcze, poniekąd, zastosowania tzw. **sumarycznego impact factor**a. Sumaryczny **impact factor** już wypracowany przez Panią magister Jałmużnę dałby jej prawo do rozpoczęcia procedury habilitacyjnej na niejednej uczelni. Nie będą ukrywać swojego dystansu do tego pojęcia, **a tym bardziej do jego wspomnianych zastosowań**, użyję zatem staroświeckiego języka: miejsce publikacji sugeruje, że Pani Jałmużna jest współautorką bardzo dobrych prac naukowych.

Najsłabszym fragmentem pracy jest wstęp. Nie jest prawdziwa informacja ze strony dziewiatej, jakoby twierdzenia Penrose’a i Hawkinga o osobliwościach mówiły o powstawaniu powierzchni złapanych. Jest raczej odwrotnie – zakłada się istnienie powierzchni złapanych i w oparciu o pewne metody topologiczne dowodzi, że muszą pojawić się „osobliwości”. Cudysłów jest tutaj zamierzony, nie za bardzo bowiem wiadomo (wyjawszy sferyczną symetrię), co fizycznie owe osobliwości oznaczają. Sama Autorka zresztą cytuje dalej wyniki D. Christodoulou, który rzeczywiście pokazał, to, co przypisała ona Hawkingowi i Penrose’owi - dla pewnej klasy danych początkowych samograwitujących bezmasowych pól skalarnych muszą się pojawić w toku ewolucji powierzchnie złapane lub osobliwości. Nie jest też prawdą jakoby Schoen i Yau dowiedli, że skupienie dużej masy w objętości o odpowiednio małym rozmiarze prowadzi do powstania powierzchni złapanych. W rzeczywistości Bizoń, Malec i O’Murchadha pokazali w 1989 roku, że twierdzenie Schoena i Yau jest prawie puste. Pewne cząstkowe rezultaty udowadniające tezę, że ściskanie materii w małej objętości prowadzi do powstawania powierzchni złapanych, zostały uzyskane przez kilku autorów (Bizoń, Malec i O’Murchadha 1988, 1989; Malec 1991; Malec i O’Murchadha 1994-96; Eardley 1993, Burnett 1996 i inni).

Trójwymiarowa czasoprzestrzeń - rozwiązanie próżniowych równań Einsteina w dwu wymiarach przestrzennych i jednym czasowym – została zbadana przez krakowskiego fizyka teoretyka Andrzeja Staruszkiewicza ponad 50 lat temu. W rozdziale trzecim Autorka zgrabnie przedstawia znane fakty dotyczące tych geometrii – strukturę stożkową, deficyt kąta i ruch cząstki próbnej. Następnie dodaje do równań człon z ujemną stałą kosmologiczną i opisuje, za S. Carlipem, pojawiające się tutaj rozwiązania zależne od 3 parametrów, które mogą mieć osobliwość stożkową w pewnym ich zakresie. Dla szczególnego wyboru tych parametrów rozwiązanie nazywa się „czarną dziurą” Banadosa, Teitelboima i Zanelliego (BNS); jej brzegiem jest okrąg.

Czasoprzestrzenie Anty-De Sittera są niestabilne w czterech wymiarach – istnieją klasy (generycznych) **dowolnie** małych zaburzeń, które prowadzą do pojawienia się czarnych dziur. Ważne badania przeprowadził tutaj odkrywca tych niestabilności, promotor doktorantki, Piotr Bizoń.

Zadaniem Pani Joanny Jałmużnej było zbadanie stabilności **przestrzeni trójwymiarowych**. Opisała realizację tego przedsięwzięcia w rozdziałach czwartym, piątym i siódmym. Ten podział na rozdziały ma swoją logikę, co staje się jasne w trakcie lektury. Czarne dziury BNS istnieją – inaczej niż w przypadku czterowymiarowym - powyżej pewnej **masy progowej**. Można oczekiwać, że jeśli masa zaburzenia jest odpowiednio mała (podprogowa), to czarne dziury nie powstaną. I ta kwestia jest rozstrzygnięta w rozdziale czwartym. W rozdziale piątym z kolei dyskutowany jest przypadek dużych (ponadprogowych) zaburzeń, a w rozdziale siódmym reżim pośredni pomiędzy poprzednimi. W obszarze granicznym można oczekiwać pojawienia się tzw. rozwiązań krytycznych, odkrytych w nieco innym kontekście przez Choptuika. Z tego też powodu rozdział szósty relacjonuje motywacje, które doprowadziły do odkrycia zjawisk krytycznych w ogólnej teorii względności oraz znane rezultaty w tej materii. W tym także i te odnoszące się do czasoprzestrzeni trójwymiarowych, a uzyskane m. in. przez Choptuika, Pretoriusa oraz Garfinkle'a.

We wszystkich trzech przypadkach – podkrytycznym, nadkrytycznym i krytycznym - źródłem zaburzenia było bezmasowe pole skalare, minimalnie sprzężone z polem grawitacyjnym.

Zaburzenia podprogowe były badane analitycznie (za pomocą rozwiązywania perturbacyjnego) oraz numerycznie. Te ostatnie wspomagane były techniką „analyticity strip” – pasa analityczności – pozwalającą na zbadanie, czy ewentualne rozwiązania stają się osobliwe w skończonym czasie. Wyniki numeryczne rozdziału czwartego sugerują jednak, że małe zaburzenia generują rozwiązania regularne globalnie. Obserwuje się wszakże przy tym tzw. słabą turbulencję i zanik gładkości. Uwagi końcowe podsumowujące treść rozdziału czwartego są cokolwiek niejasne i sugerują niekompletność badań numerycznych. Jeśli Autorka tak twierdzi, to na pewno ma rację, ale mimo to ja oceniam dobrze poziom merytoryczny tej części rozprawy doktorskiej.

Duże, ponadprogowe, zaburzenia czasoprzestrzeni ADS prowadzą zawsze do powstawania czarnych dziur. Autorka znowu zastrzega się: „*All numerically evolved perturbations of ADS, whose evolution is reliable, collapse to a black hole*”. Zawsze mi się wydawało, że jeśli coś jest wątpliwe, to nie powinno się o tym pisać w ostatecznej redakcji pracy. Z dalszych uwag wynika wszakże, że przypadki wątpliwe dotyczą zaburzeń ponadprogowych, ale bliskich progu; rozwiązania numeryczne nie są wtedy pewne. Przypuszczam zatem, że intencją Autorki jest poinformowanie czytelnika, że naprawdę duże zaburzenia zawsze prowadzą do powstania czarnej dziury, natomiast nie jest jasne co się dzieje w przypadku dużych - ponadprogowych, ale bliskich progu - zaburzeń. Trzeba uznać za duże osiągnięcie uzyskanie informacji o rozbieżności skalarą Ricciego w centrum czarnej dziury. Wymaga to nie tylko subtelnych narzędzi numerycznych, ale także wyboru właściwych foliacji czasoprzestrzennych.

Rozdział siódmy traktuje o rozwiązaniach krytycznych. Prace Garfinkle'a oraz Pretoriusa i Choptuika pozostawiły pewne otwarte kwestie, które Pani Joanna Jałmużna próbuje wyjaśnić. Interesujące, że uzyskane przez nią wyniki numeryczne pozostają w sprzeczności z hipotezą Pretoriusa i Choptuika jakoby wykładnik w skalowaniu masy czarnej dziury miał być taki sam, jak wykładnik rozbieżności skalarą Ricciego w centrum układu.

W rozdziale ósmym, w podsumowaniu całej rozprawy, Autorka powtarza (całkiem rozsądnie) po raz kolejny informacje o otrzymanych wynikach. Stosuje się w ten sposób, pewnie nieświadomie, do rady znanego fizyka Johna Archibalda Wheelera: „*Tell them, tell them what you told and tell them that you told what you told*” kierowanej do doktorantów w Princeton (informacja własna, zasłyszana od Nialla O'Murchadha).

Jest obowiązkiem recenzenta wytknąć nieścisłości i niejasności. Odnosiłem się wyżej do

niektórych informacji ze wstępu oraz niejasności w rozdziałach czwartym i piątym. Dodam tutaj, że czytelnik może mieć kłopoty ze zrozumieniem (prawdziwej skądinąd!) informacji umieszczonej w rozdz. 6.2.2, zgodnie z którą Garfinkle znalazł w pracy cytowanej pod nr [50] rozwiązanie dla zerowej stałej kosmologicznej. W dalszej części Autorka odnosi się bowiem do modelu z ujemną stałą kosmologiczną. Jest prawdą, że streszczenie Garfinkle'a jest mylące w stopniu pozwalającym użyć słowa "nieuczciwe". Cytuję: "*We find an exact solution in closed form for the critical collapse of a scalar field with cosmological constant in 2+1 dimensions.*" Tymczasem z lektury artykułu Garfinkle'a wynika, że jest to dokładne rozwiązanie, ale dla zerowej stałej kosmologicznej; można się jednak zgodzić z autorem, iż jest ono dobrym przybliżeniem dla model z ujemną stałą kosmologiczną w małych skalach przestrzennych. Nie jest też od razu jasne dlaczego Autorka pisze o "*countable family of exact spherically symmetric CSS solutions...*"? Sądzę, że byłoby korzystne dla jakości warstwy językowej rozprawy i jasności przekazu, gdyby była ona napisana po polsku.

Uważam, że pomimo wytkniętych wyżej pewnych mankamentów przedstawiona praca doktorska Pani magister Joanny Jalmużnej jest napisana solidnie, ma dobry poziom i spełnia w zupełności wymogi do nadania stopnia naukowego doktora.

Prof. dr hab. Edward Malec

