



INSTYTUT MATEMATYCZNY POLSKIEJ AKADEMII NAUK

ul. Śniadeckich 8, 00-656 Warszawa, skrytka pocztowa Nr 21,
tel.: 48-22-522-81-00, fax: 48-22-629-39-97, e-mail: im@impan.pl, www.impan.pl

Prof. dr hab. Gudowska-Nowak
Dziekan Wydziału Fizyki, Astronomii
i Informatyki Stosowanej UJ
ul. prof. Stanisława Łojasiewicza 11,
30-348 Kraków

Warszawa 30 września 2019r.

Ocena rozprawy doktorskiej

Mgr Wojciecha Kulczyckiego

pt. **Szacowanie masy w stacjonarnej hydrodynamice ogólnie relatywistycznej**

W swojej rozprawie doktorskiej mgr Kulczycki dokonuje szacowania masy czarnej dziury w ogólnie relatywistycznych układach zbudowanych z czarnej dziury oraz ważkiego, samograwitującego, toroidalnego dysku rotującego keplerowsko. W swoich badaniach wykorzystuje on zarówno metody analityczne jak i numeryczne.

Praca zawiera osiem rozdziałów i dwa dodatki. Pierwszy, wstępny rozdział, zawiera krótkie wprowadzenie do pracy. W drugim rozdziale przedstawiono równania Einsteina i równania hydrodynamiczne dla badanego układu czarnej dziury z dyskiem akrecyjnym oraz wyprowadzono ogólnie relatywistyczne uogólnienie keplerowskiego prawa rotacji wokół wirującej czarnej dziury. W rozdziale trzecim przedstawiono znane wcześniej w ramach teorii newtonowskiej ograniczenia masy centralnej M_c i masy dysku M_d układu. Wykazano, że zarówno masa centralna jak i masa dysku są ograniczone zarówno od dołu, jak i od góry. W rozdziale 4 badano pyłowe dyski testowe w czasoprzestrzeni Kerra. Poprzez analityczne obliczenia wyprowadzono nierówność ograniczającą masę asymptotyczną czarnej dziury poprzez wyrażenie zawierające prędkość kątową, promień obwodowy, promień Boyera-Lindquista oraz prędkość wleczenia. W rozdziałach 5 i 6 przy pomocy metod numerycznych otrzymano ograniczenia na masę czarnej dziury dla ogólnorelatywistycznych, samograwitujących ważkich dysków akrecyjnych. Nierówności otrzymano przy pewnych, dobrze umotywowanych założeniach. W rozdziale 7 przedstawiono szereg zagadnień, które zostały częściowo zbadane i wymagają dalszych badań. Rozdział ósmy zawiera wnioski i podsumowanie. W dodatku A są szczegółowo wyprowadzone równania Einsteina, które mgr Kulczycki bada

numerycznie, a w rozdziale B przeprowadza separacje zmiennych potrzebną do wyprowadzonych przez niego nierówności.

Podsumowując, w ramach pracy wykazano poprzez symulacje numeryczne, że następująca nierówność jest prawdziwa

$$\Omega r_C^{3/2} \leq \sqrt{GM_{ADM}} + \frac{2|a|}{\sqrt{r_C}},$$


gdzie Ω to częstość kołowa, r_c to promień obwodowy, a to spin, M_{ADM} to masa czarnej dziury. Oznacza to, że pewną kombinację masy układu oraz jego krętu można oszacować znając krzywą rotacji i rozmiar układu.

Co prawda mgr. Kulczycki nie przedstawia ogólnego dowodu tej nierówności co byłoby ogromnym wyzwaniem, a wykazuje jej poprawność przy pomocy metod numerycznych, to otrzymane przez mgr Kulczyckiego wyniki mają duże znaczenie ze względu na to, że mogą być pomocne dla oszacowania mas czarnych dziur z astronomicznych obserwacji dysków akrecyjnych. Rozkład mas czarnych dziur jest niezwykle ważną wielkością astrofizyczną.

Szereg wyników otrzymanych przez mgr Kulczyckiego przedstawionych w pracy doktorskiej zostało już opublikowanych w prestiżowym czasopiśmie Physical Review D. Mgr Kulczycki jest pierwszym autorem jednej z prac w tym czasopiśmie i współautorem w dwóch innych.

Praca jest bardzo dobrze napisana i zawiera wyczerpujące omówienie stosowanych metod i przedstawienie dotychczas otrzymanych wyników

Podsumowując, praca mgr Wojciecha Kulczyckiego spełnia wymogi uzyskania stopnia naukowego doktora fizyki.



Prof. dr hab. Andrzej Królak

Instytut Matematyczny
Polska Akademia Nauk