



# INSTYTUT MATEMATYCZNY POLSKIEJ AKADEMII NAUK

ul. Śniadeckich 8, 00-956 Warszawa, skrytka pocztowa Nr 21,  
tel.: 48-22-522-81-00, fax: 48-22-629-39-97, e-mail: [im@impan.pl](mailto:im@impan.pl), [www.impan.pl](http://www.impan.pl)

Prof. dr hab. Piotr Życki  
Przewodniczący Rady Naukowej  
Centrum Astronomiczne im. M. Kopernika  
Polskiej Akademii Nauk

Warszawa 9 sierpnia 2023r.

Ocena rozprawy doktorskiej

Mgr. Aleksandry Marii Olejak

**pt. The origin of binary black hole mergers  
Isolated binary evolution scenarios with and without a common envelope phase**

W swojej rozprawie doktorskiej mgr. Aleksandra Olejak przedstawia badania dotyczące ewolucji układów podwójnych gwiazd, które prowadzą do powstania zlewających się układów czarnych dziur. Przewidywania dotyczące ewolucji układów podwójnych są porównywane z obserwacjami złań układów podwójnych poprzez fale grawitacyjne rejestrowane przez detektory LIGO i Virgo. Praca doktorska składa się z rozdziału wstępnego gdzie przedstawiono astrofizyczne konsekwencje obserwacji fal grawitacyjnych w kampaniach obserwacyjnych O1, O2 i O3 detektorów LIGO i Virgo, a mianowicie rozkład mas i spinów obserwowanych czarnych dziur. Ewolucję ilości złań jako funkcję przesunięcia ku czerwieni. Alternatywne kanały ewolucyjne układów podwójnych gwiazd. Rozdział ten stanowi bardzo dobry przegląd astrofizyki fal grawitacyjnych. W kolejnym rozdziale przedstawiono metodologię badań polegającą na numerycznych symulacjach ewolucji gwiazd opartych na kodzie StarTrack opracowanym przez prof. Belczyńskiego i współpracowników, który symuluje ewolucje izolowanych układów podwójnych. Pozostały cztery rozdziały to główna część pracy

składająca się z czterech opublikowanych prac, w których mgr. Olejak jest pierwszym autorem, i w których odegrała dominującą rolę.

W pierwszej pracy (*The Origin of Inequality: Isolated Formation of a 30+10 Ms Binary Black Hole Merger*) badana jest ewolucja układu podwójnego prowadzącego do sygnału fali grawitacyjnej GW190412 pochodzącego ze złączenia się czarnych dziur o istotnie różnych masach. Okazuje się, że układy takie mogą powstać w wyniku ewolucji izolowanych układów podwójnych, a niekoniecznie w wyniku dynamicznej ewolucji w gromadach gwiazd. Symulacje przedstawione w pracy potrafią odtworzyć zarówno obserwowane masy tego układu jak i jego efektywny spin. Praca ta wskazuje na dużą niepewność co do kanału ewolucji prowadzącej do takich układów i wykazuje, że dalsze obserwacje są potrzebne w celu rozstrzygnięcia drogi ewolucji prowadzącej do takich układów. W drugiej pracy (*Impact of common envelope development criteria on the formation of LIGO/Virgo sources*) badany jest wpływ wspólnej otoczki („common envelope”) na powstanie zlewających się układów podwójnych czarnych dziur obserwowanych poprzez fale grawitacyjne przez detektory LIGO i Virgo. Dotychczasowe kryteria na powstanie wspólnej otoczki są poddane szczegółowemu krytycznemu przeglądowi. W pracy wykazano, że przewidywany rozkład mas układów podwójnych czarnych dziur w sposób istotny zależy od niepewnych założeń dotyczących powstania niestabilnego przepływu masy przez powierzchnię Rocha („Roche lobe overflow”). W trzeciej pracy (*The Implications of High Black Hole Spins for the Origin of Binary Black Hole Mergers*) badana jest ewolucja układów podwójnych prowadząca do układów podwójnych czarnych dziur ze spinem i efektywnym spinem istotnie różnym od zera. Takie układy zostały zaobserwowane przez detektory LIGO i Virgo. Wykazano, że te układy podwójne mogą być wynikiem ewolucji izolowanych układów podwójnych, a nie jak poprzednio sądzono rezultatem dynamicznej ewolucji w gromadach gwiazd. W czwartej, ostatniej pracy (*The role of supernova convection for the lower mass gap in the isolated binary formation of gravitational wave sources*) wykorzystano nowy model na masę obiektu powstałego w wyniku procesu supernowej. Nowy model zastosowano do analizy populacji

izolowanych układów podwójnych. Pokazano, że w zależności od parametrów modelu tzw. dolna luka masy ("lower mass gap") może być bardzo głęboka tzn. nie zawierać obserwowanych gwiazd neutronowych i czarnych dziur lub płytka tzn. wypełniona zarówno masywnymi gwiazdami neutronowymi jak i czarnymi dziurami o małych masach.

Praca mgr. Olejak wnosi istotny wkład w zrozumienie ewolucji układów podwójnych która prowadzi do obserwowanych przez detektory fal grawitacyjnych układów czarnych dziur. W pracy uwzględniono niepełną znajomość parametrów ewolucji układów podwójnych i wykazano, że jesteśmy jeszcze dalecy od zrozumienia roli poszczególnych kanałów ewolucyjnych układów podwójnych gwiazd. Wyraźnie widać potrzebę dalszych bardziej dokładnych obserwacji.

Podsumowując mgr. Aleksandra Olejak wniosła istotny wkład w zrozumienie ewolucji układów podwójnych prowadzących do powstania układów podwójnych czarnych dziur. Jej praca spełnia wszelkie ustawowe wymogi stawiane rozprawom doktorskim. W związku z tym wnioskuję aby praca doktorska mgr. Olejak została dopuszczona do publicznej obrony. Ponadto składam wniosek o wyróżnienie tej pracy doktorskiej ze względu na to, że w jej wyniku opracowano szereg ważnych narzędzi do badania ewolucji układów podwójnych, które będą mieć duże znaczenie w interpretacji danych z odbywającej się obecnie kampanii obserwacyjnej O4 detektorów LIGO i Virgo jak również przyszłej kampanii O5.

Prof. dr hab. Andrzej Królak

Instytut Matematyczny  
Polska Akademia Nauk