

### Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Michała Dominika

Rozprawa doktorska "Estimating the coalescence rates of double compact objects – perspectives for gravitational wave detections" stanowi prezentację rozwiązania konkretnego problemu naukowego z astrofizyki fal grawitacyjnych. Zadaniem doktoranta było zbadanie układów podwójnych zwartych obiektów pochodzenia gwiazdowego, jako potencjalnych źródeł fal grawitacyjnych ulokowanych w naszej Galaktyce, a także w skalach kosmologicznych. Temat jest wyjątkowo atrakcyjny, gdyż wpisuje się w ogólnoswiatowe próby zarejestrowania fal grawitacyjnych – zjawiska wynikającego z Ogólnej Teorii Względności.

Rozprawa zawiera trzy rozdziały przedstawiające motywację i cel naukowy pracy doktorskiej oraz wprowadzenie w tematykę fal grawitacyjnych (ich źródeł i sposobu detekcji), ewolucji masywnych gwiazd pojedynczych i układów podwójnych. Zasadniczą część rozprawy zaczyna wstępny rozdział 4., po którym następują rozdziały od 5 do 7 oraz 9. Autor powinien był umieścić w rozprawie informację o dwóch publikacjach i jednym artykule złożonym do druku, z których pochodzi praktycznie 100% treści wymienionych rozdziałów. Rozdziały 4 i 5 to publikacja **Dominik et al., 2012, ApJ, 759, 52** (dalej D1); rozdział 6 to **Dominik et al., 2013, ApJ, 779, 72** (D2), a rozdziały 7 i 9 to **Dominik et al., 2014, arXiv: 1405.7016** (D3).

Na podstawie oświadczenia, jakie otrzymałem od promotora i współautora tych prac, prof. Belczyńskiego, uznałem wkład siedmiu współautorów do D1 i D2 za - odpowiednio - nieistotny i mało istotny. Tym samym uznałem samodzielność autora rozprawy w powstaniu tych prac (z uwzględnieniem normalnej opieki promotora).

W wypadku artykułu D3 prof. Belczyński przypisał autorowi 50% wkładu. Na podstawie jego opisu uznałem, że ośmiu współautorów (tj. bez promotora) zdominowało rozdz.7.1 rozprawy („Waveform models”). Do nich należy też autorstwo rozdziału 9 (Appendix). Nie umniejsza to w żadnym stopniu dokonań Michała Dominika zawartych w rozdziale 7. Do osiągnięcia głównego celu rozdz.7 (tj. D3), doktorant potrzebował dodatkowych informacji i opracowań, które wykraczały poza ramy jego kompetencji. Dzięki wymienionemu udziałowi specjalistów od modelowania sygnałów grawitacyjnych, szczególnie w kontekście obserwatoriów fal grawitacyjnych drugiej generacji, doktorant mógł zastosować ich wyniki do konwersji tempa 'mergingu' na tempo detekcji (rozdz. 7.2), a następnie uzyskać wyniki dla konkretnych, interesujących go przypadków (rozdz.7.3 – 7.4).

#### Ocena zasadniczej części rozprawy

Rozdziały 4-5 przedstawiają wieloaspektowe badania ewolucji układów podwójnych w Galaktyce prowadzącej do powstania trzech możliwych wariantów układów (DCO) złożonych z obiektów zwartych - gwiazd neutronowych i czarnych dziur. Główny wynik to obliczenie (dla szesnastu modeli) tempa zlewania się (*mergingu*) DCO w wyniku utraty energii i momentu pędu układu poprzez emisję fal grawitacyjnych.

Rozdział 6 przedstawia kontekst kosmologiczny powstawania i ewolucji DCO. Dla czterech wybranych wariantów populacji DCO autor wyznaczył tempo *mergingu* w zależności od (kosmologicznego) przesunięcia ku czerwieni.

Rozdział 7 (i towarzyszący mu rozdz.9) poświęcony jest, mówiąc w wielkim skrócie, obliczeniu oczekiwanego tempa detekcji zlewających się DCO ulokowanych w odległościach kosmologicznych (rozdz. 6). Do wykonania tego zadania zostały

zaadoptowane przez autora różne modele sygnału grawitacyjnego i charakterystyki czułości spodziewane dla trzech planowanych obserwatoriów fal grawitacyjnych drugiej generacji (Advanced LIGO, Advanced Virgo oraz KAGRA).

O atrakcyjności naukowej zasadniczej części rozprawy najlepiej świadczy odzew, z jakim spotkały się w środowisku publikacje D1 i D2. Pierwsza z nich (rok 2012) była dotychczas cytowana 63 razy, druga (rok 2013) – 15 razy (wg NASA ADS). Artykuł D3 (rozdz. 7 i 9), cytowany 3 razy, prawdopodobnie znacznie przewyższy D1 ze względu na możliwość bezpośredniego odwoływania się do ilościowych wyników (konkretne templa detekcji) przez astrofizyków zaangażowanych w rozwój obserwatoriów fal grawitacyjnych.

Jestem pod wrażeniem ogromu pracy wykonanej przez autora, oraz skrupulatnej analizy uzyskanych wyników. Na uwagę zasługuje też bogata literatura, z której korzystał autor (ok. 190 pozycji w Referencjach).

Na koniec tej części recenzji pozwolę sobie wyrazić opinię, iż uzyskane przez Michała Dominika wyniki opisane w rozdziałach 4 i 5 (publikacja D1) w zupełności wystarczyłyby do przedstawienia bardzo dobrej rozprawy doktorskiej.

### Uwagi krytyczne

Rozczarowują rozdziały o charakterze przeglądowym (1. Introduction, 2. Evolution of massive single stars, 3. Evolution of binary stars). Zwyczajowo oczekuje się od autora rozprawy doktorskiej zademonstrowania swojej erudycji w tematyce, w której osadzony jest konkretny problem astrofizyczny. Zaprezentowanie w zwięzły sposób szerszego kontekstu takiego problemu oraz odpowiednie dobranie teoretycznych i obserwacyjnych materiałów wymaga dojrzałości naukowej i czasu. Nie mam wątpliwości co do wystarczającej dojrzałości naukowej autora. Przypuszczam zatem, że czynnikiem który odegrał negatywną rolę był czas, a właściwie brak czasu. Widać, że teza pisana była w pośpiechu, a skutkiem tego materiał w rozdziałach 1-3 jest dobrany chaotycznie, bez wyraźnej myśli przewodniej. Rozdział 1.2 (Black holes and neutron stars) trudno uznać za udane wprowadzenie w tematykę tych obiektów. Dotyczy to również rozdziałów 1.3 i 1.4, które są rekordowo oszczędne w treść.

### Uwagi szczegółowe (bardziej lub mniej istotne)

#### Rozdział 1.2

- Autor wprowadza pojęcie horyzontu zdarzeń, ale nigdzie nie wspomina jak można go wyrazić przez promień grawitacyjny  $R_g$ . Promień grawitacyjny pojawia się dopiero przy okazji definicji miary zwartości  $k$ .
- Zdefiniowanie miary zwartości  $k$  (wzór 1) poprzez użycie symbolu tylda ( $\sim$  oznacza przybliżenie co do rzędu wielkości) jest nieporozumieniem. Ponadto, autor przytacza dalej wartości tego parametru dla różnych obiektów, ale nie pokazuje jakie jest jego znaczenie w kontekście emisji fal grawitacyjnych. Tymczasem możnaby przytoczyć zależność mocy promieniowania grawitacyjnego obiektu od jego parametru  $k$  ( $\sim k^2$ ).
- W paragrafie 2 na str.7 pominięte zostały fundamentalne prace teoretyczne, jakie ukazały się po odkryciu neutronu przez Chadwicka, znane jako rozwiązanie TOV.

#### Rozdział 2.2

- Pierwsza część zdania zawierającego ' $q_{sc} \approx 0.09$ ' wymaga skorygowania.

#### Rozdział 2.4

- Ostatnie zdanie pierwszego paragrafu wymaga skorygowania przedstawionej relacji dla gwiazdy neutronowej.

#### Rozdział 4 (Modeling)

- Na jakiej podstawie funkcję rozkładu ekscentryczności w postaci  $\Xi(e) = 2e$  autor określa jako funkcję rozkładu równowagi termicznej („a thermal equilibrium distribution”)?
- Identyczne sformułowanie znalazło się wcześniej w artykule w ApJ (Dominik et al. 2012), co tylko potwierdza znaną opinię o obniżającej się jakości recenzji w tym czasopiśmie.

#### Rozdział 5-6

- Domena [www.syntheticuniverse.com](http://www.syntheticuniverse.com) (str. 30) nie ma związku z tematem; domena [www.syntheticuniverse.org](http://www.syntheticuniverse.org) (str. 35, 65, 79) jest niedostępna.

#### Referencje

- Powinny figurować w spisie treści na str.4.
- Artykuły w repozytorium astro-ph nie posiadają numerów identyfikacyjnych (sic!).
- Artykuł przywołany na str.10 (Belczynski et al.2010b) nie figuruje w zasobach astro-ph, a w każdym razie nie mogłem go znaleźć.

#### Dobór referencji

- W kilku wypadkach użyte w tekście referencje są bezpodstawne. To nie Belczynski et al 2008 zasługują na cytowanie przy wzorze na tempo utraty momentu pędu układu podwójnego poprzez emisję fal grawitacyjnych, tylko Phillip Peters – autor powszechnie znanej publikacji z 1964 roku (655 cytowań), nota bene na podstawie swojego doktoratu.
- Podobne zastrzeżenia mam co do użytych, bądź pominiętych referencji przy wzorach (21) i (22).
- W rozdziale 1.3 (Gravitational waves) wykorzystane zostały fragmenty popularnego opracowania tematu autorstwa Seana Carrolla; niestety, zabrakło referencji.
- W części wstępnej (rozd. 1-3) brak informacji o pochodzeniu rysunków 1 i 2.

#### Ocena ogólna

Mimo krytycznej oceny części wstępnych, całość rozprawy doktorskiej oceniam bardzo wysoko. Wpływ na taki wynik ma zasadnicza część rozprawy, tj. rozdziały 5, 6 i 7, które oceniam jako znakomite. Autor zaprezentował tam bardzo dobre opanowanie warsztatu badawczego, zarówno teoretycznego jak i numerycznego.

Uzyskane przez niego rezultaty naukowe są oryginalnym i cennym wkładem w dziedzinę astrofizyki fal grawitacyjnych.

Stwierdzam, iż przedstawiona mi do oceny rozprawa z dużą nadwyżką spełnia ustawowe i zwyczajowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Toruń, 27.08.2014 r.