



ul. Bartycka 18, 00-716 Warszawa
tel: (22) 841 00 41, (22) 3296 100
fax: (22) 841 00 46
email: camk@camk.edu.pl
<http://www.camk.edu.pl>

CENTRUM ASTRONOMICZNE IM. MIKOŁAJA KOPERNIKA PAN

Warszawa, 25 kwietnia 2018 roku

Dr hab. Michał Bejger
Centrum Astronomiczne
im. Mikołaja Kopernika PAN

Recenzja pracy doktorskiej mgr. Marka Cieślara pt.
*„Modelowanie populacji samotnych gwiazd neutronowych
w Galaktyce”*

Przedstawiona praca jest opisem założeń i warunków początkowych, oraz wyników numerycznych symulacji populacji pulsarów radiowych metodami Monte Carlo wykorzystującymi łańcuchy Markowa. Temat pracy świetnie wpisuje się we współczesny rozwój astrofizyki: dotyczy ważnej, aktualnej i rozwojowej dziedziny obliczeniowej - porównywania skomplikowanych, wieloparametrowych modeli teoretycznych z obserwacjami, a w szczególności określania najlepiej dopasowanych parametrów modelu, i jest realizowany z użyciem technik wnioskowania bayesowskiego.

Tekst składa się z czterech głównych części. Pracę rozpoczyna wstęp, czyli opis wybranych zagadnień z teorii pulsarów: historię ostatnich 50 lat od odkrycia do stanu obecnego (rozdział 1), oraz rozdział charakteryzujący pokrótce listę niezbędnych cech fizycznych gwiazd neutronowych wspomnianych w pracy (rozdział 2). Druga część zawiera opis sposobu, w jaki reprezentowana jest populacja: model Galaktyki, ewolucję i własności radiowe pulsarów (rozdział 3), oraz sposób porównywania modeli między sobą i z obserwacjami - tu pojawia się definicja wiarygodności (likelihood) i wprowadzona jest metoda Monte Carlo łańcuchów Markowa (algorytm Metropolisa-Hastingsa, rozdział 4). Część trzecia to wyniki: część ta zawiera rozkłady brzegowe końcowych rozkładów prawdopodobieństwa w przestrzeni parametrów dla dwóch modeli populacji różniących się sposobem ewolucji jasności radiowej - siedmioparametrowego modelu „rotacyjnego” i ośmioparametrowego „wykładniczego” (rozdział 5), wnioski wynikające z symulacji (rozdział 6), oraz przewidywania dotyczące planowanego obserwatorium SKA (Square Kilometre Array) oraz obserwacji rotujących, nieosiowosymetrycznych gwiazd neutronowych w falach grawitacyjnych (rozdział 7). Praca kończy się dwoma dodatkami: obszernym opisem instalacji kodu numerycznego (dodatek A), tabelą obiektów wykorzystanych w pracy (dodatek B) oraz bibliografią, składającą się z listy 194 artykułów.

Głównym wynikiem pracy jest po pierwsze stworzenie nowego narzędzia do masywnych syntez populacji, oraz, po drugie, odtworzenie z jego pomocą własności obserwacyjnych populacji pulsarów radiowych w Galaktyce i wyprodukowanie przewidywań. Zgodnie z paradygmatem metod syntez populacji, parametry modeli są mocno osadzone w

fenomenologii. Autor korzysta ze względnie nowych, używanych w literaturze literaturze danych dotyczących struktury Galaktyki, rozkładu prędkości początkowych pulsarów częściowo odtwarzając prace Popova i in. (2101) oraz Faucher-Giguère i Kaspi (2006), i udoskonalając te rezultaty poprzez, m.in., uwzględnienie zaniku pola magnetycznego pulsarów, uwzględnienie różnych definicji „pulsarowego cmentarza” i „linii śmierci” (tu należy zauważyć kreatywne rozwiązanie kwestii wyłączenia się pulsara poprzez zdefiniowanie prawdopodobieństwa obecności w „obszaru śmierci”), oraz zadbanie o gęste próbkowanie modeli. Mimo tych usprawnień próba wybrania modelu lepiej pasującego do obserwacji nie prowadzi do definitywnych konkluzji. Z punktu widzenia statystycznego rygoru brakuje w tym miejscu odniesienia się do standardowych wskaźników dopasowania i wyboru lepszego modelu (np. kryterium informacyjnego Schwarza BIC lub AIC). Metodologia dysertacji jest co prawda doskonalsza niż metody używane przez innych autorów wcześniej, ale głównym wynikiem jest stwierdzenie, że symulacja powinna być rzędu wielkości masywniejsza i obejmować więcej istotnych parametrów.

Przewidywania obejmują obserwacje radiowe planowanego obserwatorium SKA, w konkretnej realizacji zestawu parametrów SKA-1-Mid i SKA-1-Mid-B (tabela 6). Liczba znanych pulsarów powiększy się o maksymalnie 137%. Zabrakło mi w tym miejscu dyskusji, czy to dużo czy mało?

Stosunkowo najmniej dopracowaną częścią wynikową pracy jest dyskusja wykrywalności fal grawitacyjnych emitowanych przez pojedyncze obiekty bądź też całą galaktyczną populację gwiazd neutronowych (rozdział 7.2). Również w tym przypadku nie daje się praktycznie rozróżnić modeli, ale temat wydaje się być potraktowany mniej uważnie niż poprzednie. Przyjęty przez Autora stosunek sygnał-szum równy 4 jako gwarantujący detekcję jest dość optymistycznym założeniem. Równania (37) i (104) zawierają literówkę (w liczniku powinien być π^2). Naturalnym podsumowaniem tego badania byłoby porównanie otrzymanych wyników z aktualnymi najlepszymi ograniczeniami górnymi zespołów LIGO i Virgo z kampanii obserwacyjnej O1. Mam nadzieję, że ten wątek będzie kontynuowany przez Autora, ponieważ dotyczy ciekawego i aktualnego problemu detekcji nowego typu źródeł fal grawitacyjnych.

Cenną (i nieczęsto spotykaną nie tylko w dysertacjach doktorskich, ale w ogóle w artykułach naukowych) częścią pracy jest porządny udokumentowany kod numeryczny, udostępniony na zasadzie otwartego i wolnego oprogramowania w repozytorium internetowym. Dodatek A zawiera dodatkowo szczegółowy opis odtwarzania wyników: sprawia to wrażenie, że Autor jako twórca swojego kodu wie co robi, nie ma się czego wstydzić i rozumie pożyteczność udostępniania wszelkich możliwych wyników mogących prowadzić do ulepszenia jego metod badawczych.

Na koniec kilka szczegółowych uwag krytycznych. Część wstępna zawiera przeważnie przestarzałe referencje dotyczące fizyki pulsarów i emisji fal grawitacyjnych przez samotne gwiazdy neutronowe. Autor nie odnosi się na przykład do prac z ostatnich 10 lat dotyczących mechanizmów powstawania momentu kwadrupolowego, a lista prac z najnowszymi wynikami obserwacyjnymi jest niepełna, nie ma np. odniesienia do ostatnich wyników współpracy LIGO-Virgo. Dziwi również brak choćby minimalnego wstępu objaśniającego bayesowskie podejście do prawdopodobieństwa. Dodatek B zawiera dwudziestonicową tabelę (14% objętości pracy!) z podstawowymi danymi pulsarów katalogu ATNF wykorzystanymi w pracy, która bez straty mogłaby być dostępna wyłącznie elektronicznie.

Oprócz kreatywnego podejścia do implementacji i rozwiązywania problemów związanych z numeryką i algorytmem, które oceniam pozytywnie, praca zawiera także przykłady „kreatywnego” traktowania języka polskiego: neologizmy w rodzaju „Aby spopulować Ga-

laktykę jednym milionem gwiazd”, nagminnie pomijane przecinki przed słowem „który”, fantazyjna odmiana nazwisk obco brzmiących (np. Pearson’a zamiast Pearsona, Messier’a zamiast Messiera, Jeans’a zamiast Jeansa, w ten sam sposób potraktowano także GitHuba). Tekst zawiera też dość dużo różnych drobnych niekonsystencji językowych i redakcyjnych, głównie związanych z odmianą przez przypadki, zgubionych wyrazów, powtórzeń, które zapewne wynikają z przeformułowywania zdań w ostatniej chwili.

Po przeczytaniu pracy pozostaje wrażenie, że temat badawczy mógłby być zbadany dokładniej. Wyraźnie widać, że Autor jest sprawny technicznie i nie boi się wyzwań związanych z obliczeniami (obie te cechy są bardzo cenne i zdarzają się dość rzadko), dlatego mam nadzieję, że będzie kontynuował rozwój zastosowań masywnych metod symulacyjnych w astrofizyce. Dysertacja zawiera jakościowo nowe wyniki, które zostaną skonfrontowane z przyszłymi obserwacjami radiowymi i fal grawitacyjnych. Dodatkowo, dobrze byłoby wprowadzić nowe funkcjonalności np. uwzględnienie w populacji układów podwójnych, wzrostu tempa rotacji i zaniku pola magnetycznego w wyniku akrecji, pulsarów milisekundowych, zbadanie wpływu równania stanu materii gęstej na funkcję mas i spinów populacji itd.

Reasumując, przedłożona dysertacja spełnia ustawowe i zwyczajowe wymogi stawiane pracom doktorskim, dlatego wnioskuję o dopuszczenie mgr. Marka Cieślara do dalszych etapów przewodu doktorskiego.