

Warszawa, 28.05.2018



UNIWERSYTET
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

Obserwatorium

Astronomiczne

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Klaudii Kowalczyk

pt. „Modelling the mass distribution and orbital structure of dwarf spheroidal galaxies with Schwarzschild orbit superposition method”

Przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska mgr Klaudii Kowalczyk zawiera oryginalne i istotne naukowo wyniki badań, dotyczących modelowania kształtu karłowatych galaktyk sferoidalnych. W swojej rozprawie Autorka prezentuje zmodyfikowaną i zaadaptowaną przez siebie metodę modelowania dynamicznego Schwarzschilda opartego o superpozycję orbit składowych galaktyk (w praktyce - gwiazd). Bada możliwości i ograniczenia tej metody w zastosowaniu do odtworzenia podstawowych parametrów, charakteryzujących rozkład materii w karłowatych galaktykach sferoidalnych, a wreszcie - z powodzeniem podejmuje próbę zastosowania swojej metody do interpretacji rzeczywistych danych obserwacyjnych.

Praca napisana jest w języku angielskim. Składa się z pięciu rozdziałów oraz streszczenia w polskiej i angielskiej wersji językowej. Rozdział 1 to wstęp. Rozdziały 2, 3 i 4 zawierają właściwe wyniki pracy. Sumaryczne wnioski i podsumowanie zaprezentowane są w rozdziale 5. Rozdziały 2 i 3 odzwierciedlają z niewielkimi modyfikacjami zawartość opublikowanych w latach 2017 i 2018 w Monthly Notices of the Royal Astronomical Society artykułów, których mgr Kowalczyk jest pierwszą autorką. Przedstawione dodatkowo oświadczenia współautorów jednoznacznie wskazują na przeważającą rolę autorki rozprawy w powstaniu tych dwóch artykułów. Forma i zawartość rozdziału 4 pozwalają się spodziewać, że zawarty w nim materiał wkrótce zostanie opublikowany jako kolejny artykuł z serii.

Dysertacja liczy, wraz ze spisem literatury, wykresów i tablic 104 strony. Jest dobrze przygotowana od strony graficznej, ilustrowana licznymi wykresami i widać, że przeszła staranny - można nawet powiedzieć, że wyjątkowo staranny - proces redakcji.

Opis pracy i uzyskane wyniki

Wstęp - rozdział 1 - jest niedługi (7 stron), ale dobrze przemyślany. Autorka dokonuje w nim syntetycznego przeglądu literatury, dotyczącej problematyki modelowania

ul. Orła 171

PL 30-244 Kraków

tel. +48(12) 425-14-5

fax +48(12) 425-13-11

<http://www.aa.uj.edu.pl>



UNIWERSYTET
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

Obserwatorium

Astronomiczne

barionowej składowej galaktyk w polu grawitacyjnym halo ciemnej materii. W szczególności naświetla rolę karłowatych galaktyk sferoidalnych - obiektów przeważnie wypełnionych przez stare populacje gwiazdowe i zanurzonych w halo ciemnej materii o nieproporcjonalnie dużych masach w stosunku do składowej barionowej w porównaniu z większymi galaktykami. Ze względu na wymienione cechy sferoidalne galaktyki karłowate uchodzą za idealne "laboratoria" do badań wpływu dwóch podstawowych czynników w ewolucji galaktyk - własności halo ciemnej materii i interakcji z innymi galaktykami. Autorka krótko, ale wyczerpująco przedstawia historię i problemy modelowania tego typu układów i opisuje metodę modelowania dynamicznego Schwarzschilda wraz z powodami, dla których podjęta się jej adaptacji do celów modelowania galaktyk karłowatych. Dotychczasowe próby modelowania tych obiektów nie były satysfakcjonujące i nie dają konsystentnych wyników; w szczególności jednym z problemów, z jakimi borykali się wcześniejsi autorzy, jest degeneracja między masą a anizotropią, czyli innymi słowy - brak możliwości jednoczesnego prawidłowego odtworzenia masy galaktyki i anizotropii orbit jej gwiazdowej składowej. Autorka stawia tezę, że odpowiednio skonstruowana adaptacja metody superpozycji orbit Schwarzschilda może pozwolić na skuteczniejszą i poprawniejszą rekonstrukcję parametrów fizycznych galaktyk karłowatych. Zważywszy szczególną rolę tych obiektów w badaniach ewolucji galaktyk - podjęty w rozprawie problem jest aktualny i istotny i nawet częściowe jego rozwiązanie stanowi istotny wkład w obecny stan wiedzy.

Kolejne rozdziały 2, 3 i 4 układają się w dobrze zaplanowaną, logiczną całość. W rozdziale 2 autorka przedstawia stworzoną przez siebie adaptację metody superpozycji orbit Schwarzschilda, na której opiera się cała rozprawa. Celem metody jest wykorzystanie potencjalnie obserwowalnych informacji - położenia i prędkości radialnych poszczególnych gwiazd w badanej galaktyce - do rekonstrukcji podstawowych parametrów charakteryzujących całą galaktykę, w szczególności jej masy i anizotropowego profilu prędkości orbit. Stworzone przez autorkę oprogramowanie, zakładające najprostsz, sferycznie symetryczny model galaktyki, zostało następnie szczegółowo przetestowane na zestawie przygotowanych do tego celu symulowanych galaktyk. W serii szczegółowych testów autorka pokazała, że mając odpowiednio dużo danych, jest w stanie prawidłowo odtworzyć zarówno masę, jak i anizotropowy profil galaktyki, a więc przezwycięża problem degeneracji tych dwóch parametrów. Dla mniejszych, bardziej realistycznych zestawów danych, odtworzenie całkowitego profilu anizotropii staje się problematyczne, ale zgodność dofitowanych anizotropii orbit poszczególnych cząstek z założonymi w symulacjach pozostaje wysoka.

Rozdział 3 poświęcony jest rozwinięciu metody, wprowadzonej w rozdziale 2, dla bardziej realistycznego przypadku, w którym nie zakłada się już sferycznej symetrii gwiazdowej składowej galaktyki. Do testów posłużyły tu symulacje galaktyki karłowatej, otrzymanej w wyniku zderzenia dwóch dyskowych obiektów o podobnej masie, której profil gęstości odbiega od sferycznej symetrii. Przeprowadzona podobnie jak w rozdziale 2 szczegółowa analiza wykazała, że w tym przypadku, zgodnie z oczekiwaniami, obraz staje się bardziej skomplikowany, ale możliwe jest

ul. Orła 171

PL 30-244 Kraków

tel. +48(12) 425-14-51

fax +48(12) 425-13-11

<http://www.oi.uj.edu.pl>



UNIwersytet
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

Obserwatorium

Astronomiczne

oszacowanie systematycznych błędów. Dla najbardziej typowego, wydłużonego kształtu karłowatej galaktyki sferoidalnej poprawność odtworzenia parametrów układu istotnie zależy od kąta obserwacji. Obserwacje wzdłuż dłuższej osi galaktyki prowadzą do przeszacowania masy i niedoszacowania anizotropii, przy zachowanej możliwości odtworzenia profilu anizotropii. Obserwacje wzdłuż krótszej osi pozwalają na właściwe oszacowanie masy, nadal przy niedoszacowanej anizotropii. Sugeruje to, że dotychczasowe wyniki modelowania karłowatych galaktyk sferoidalnych z Grupy Lokalnej, zazwyczaj dające niskie wartości asymetrii, wynikają głównie z braku możliwości jednoczesnego pomiaru anizotropii i masy tych układów.

Rozdział 4 przedstawia dynamiczny model jednej z najlepiej zbadanych karłowatych galaktyk sferoidalnych, satelitki Drogi Mlecznej, znajdującej się w gwiazdozbiornie Pieca. Wydłużony kształt i przesłanki, że galaktyka uformowała się w wyniku zderzenia dwóch mniejszych obiektów ok. 6 mld lat temu, czynią z niej dobrą kandydatkę do zastosowania metody, przedstawionej w rozdziale 3. Autorce, bazując na danych archiwalnych, udało się zgromadzić imponującą bazę danych fotometrycznych i spektroskopowych dotyczących ponad 3000 gwiazd w tej galaktyce. Uważnemu czytelnikowi może trochę brakować bardziej szczegółowego przedstawienia danych obserwacyjnych i chociażby tabelki, czytelnie podsumowującej zebrane dane. Autorka przedstawia wyniki modelowania galaktyki w Piecu metodą wprowadzoną w poprzednich rozdziałach i porównuje otrzymane parametry z parametrami otrzymywanymi przez innych autorów. Wyniki pokazują, że karzeł Pieca znajduje się w masywnym, rozległym halo ciemnej materii o niemal płaskim profilu anizotropii. Rozdział 4 jest krótszy i mniej dopracowany od poprzednich, niewątpliwie zyskałby na bardziej szczegółowym przedstawieniu danych obserwacyjnych.

Krótki rozdział 5 zawiera syntetyczne konkluzje rozprawy.

Uwagi

Układ dysertacji sprawia, że składa się ona w zgrabną kompozycyjnie całość. Wszystkie rozdziały są ze sobą merytorycznie powiązane i stanowią zgrabny ciąg logiczny. Angielszczyznę Autorki oceniam wysoko, staranność redakcji również zasługuje na uznanie - właściwie nie widać błędów redakcyjnych ani znaczących niezręczności językowych.

Jednocześnie trzeba jednak zauważyć, że rozprawa jest napisana w sposób bardzo techniczny; dla czytelnika słabiej obeznanego z tematem może być trudna do zrozumienia, a nawet od wyrobionego czytelnika wymaga sporej uwagi przy czytaniu. Autorka w miejscami wprowadza pojęcia i skróty, które nie są nigdzie w tekście wyjaśnione. Na przykład pojęcie "profil NFW" pojawia się bez wyjaśnienia ani referencji na stronie 8 i wiele razy później - rozwinięcie wraz z odwołaniem do pozycji literaturowej pojawia się dopiero na stronie 41, ale bez skrótu.

Z punktu widzenia czytelnika pewien niedosyt pozostawia też dyskusja, zamykająca każdy z rozdziałów - znacznie łatwiej czytało by się pracę, gdyby dyskusja rozpoczynała się od syntetycznego podsumowania zawartości rozdziału i głównych wyników, w nim

ul. Orła 171

PL 30-244 Kraków

tel. +48(12) 425-14-5

fax +48(12) 425-13-1

<http://www.aa.uj.edu.pl>



UNIwersytet
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

Obserwatorium

Astronomiczne

zawartych. Zamiast tego autorka właściwie od razu przechodzi do krytycznej dyskusji szczegółów. Lukę tę częściowo wypełnia podsumowanie.

Mocnym punktem pracy jest niewątpliwie połączenie metod: symulacji numerycznych i rzeczywistych obserwacji astronomicznych konkretnego obiektu. Z tego punktu widzenia szkoda, że danym obserwacyjnym (kluczowym dla perspektyw stosowania metody w przyszłości, także dla innych obiektów) poświęcono mało miejsca.

Symulacje numeryczne dowodzą, że nie tylko same galaktyki, ale i halo ciemnej materii, w których są zanurzone, mają przeważnie niesferyczne kształty, a zatem sferyczny model NWF jest sporym uproszczeniem. Zdają sobie sprawę, że przedsięwzięcie jest trudne technicznie i niemożliwe do zrealizowania w ramach tego samego doktoratu, ale interesująca by była przynajmniej próba dyskusji, jak wprowadzenie takiej modyfikacji wpłynęłoby na wyniki modelowania.

Podsumowując, nie znajduję w rozprawie żadnych istotnych błędów ani niedociągnięć. Jest sprawnie napisana, układa się w zgrabny logiczny ciąg i rozwiązuje (przynajmniej częściowo) istotny problem astrofizyczny. Widać w niej potencjał, jeśli chodzi o rozwinięcie zastosowanej metody i dalsze zastosowania. Drobne mankamenty wspomniane wyżej i techniczny sposób opisu nie obniżają wartości zaprezentowanych w niej wyników. Dysertację - zarówno pod względem merytorycznym, jak i redakcyjnym - oceniam bardzo wysoko.

Uważam, że rozprawa doktorska mgr Klaudii Kowalczyk spełnia z naddatkiem formalne i zwyczajowe wymogi stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie mgr Klaudii Kowalczyk do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Jednocześnie wnoszę o wyróżnienie pracy doktorskiej mgr Klaudii Kowalczyk. Praca jest bardzo sprawnie napisana, podejmuje ciekawy i istotny naukowo temat i proponuje oryginalny (nawet jeśli inspirowany wcześniejszymi pracami) sposób jego rozwiązania. Widoczny jest duży wkład pracy w stworzenie autorskich kodów i żmudne testy. Mocnym punktem rozprawy jest połączenie metod opartych na symulacjach numerycznych i obserwacji astronomicznych. Przyszłość pokaże, czy proponowana metoda znajdzie rzeczywiście szerokie zastosowanie do modelowania galaktyk karłowatych i innych obiektów, ale autorka przekonująco przedstawiła możliwości i perspektywy wykorzystania danych z nadchodzących projektów obserwacyjnych.

dr hab. Agnieszka Pollo

ul. Orła 171

PL 30-244 Kraków

tel. +48(12) 425-14-51

fax +48(12) 425-13-11

<http://www.aa.uj.edu.pl>