

Opinia o pracy doktorskiej mgr Klaudii Ewy Kowalczyk „Modelowanie rozkładu masy i struktury orbitalnej sferoidalnych galaktyk karłowatych metoda orbit Schwarzschilda”

Bogaty i różnorodny zbiór danych obserwacyjnych zebrany w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat świadczy niezbicie o istnieniu ciemnej materii, która jest dominującym materialnym składnikiem Wszechświata. Pomimo wielu prób i wykorzystania różnych metod do tej pory nie udało się odkryć cząstek ciemnej materii. Nadal jedynym źródłem informacji o własnościach ciemnej materii są obserwacje astronomiczne i modelowanie numeryczne. Wiadomo, że ciemna materia dominuje we wszystkich skalach kosmologicznych od gromad galaktyk do galaktyk karłowatych. Te ostatnie, z wielu różnych powodów, znalazły się ostatnio w centrum zainteresowania. Galaktyki karłowate występują najczęściej w otoczeniu dużych galaktyk spiralnych. Są interesujące, gdyż z jednej strony dostarczają informacji o pierwotnym widmie zaburzeń gęstości w małych skalach, ale jednocześnie zawierają stosunkowo bardzo dużo ciemnej materii.

Praca doktorska mgr Klaudii Kowalczyk „Modelowanie rozkładu masy i struktury orbitalnej sferoidalnych galaktyk karłowatych metodą orbit Schwarzschilda” jak wynik z tytułu jest poświęcona modelowaniu rozkładu masy w sferoidalnych galaktykach karłowatych i możliwości dokładnego odtworzenia tego rozkładu z obserwacji ruchu gwiazd i rozkłady jasności. Praca została napisana w języku angielskim. Praca składa się ze wstępu, trzech rozdziałów, podsumowania, listy referencji, listy rysunków i listy tabel. Praca liczy 104 strony.

W Wstępie bardzo zwięźle podano najważniejsze informacje o składnikach Lokalnej Grupy Galaktyk, ogólnych wnioskach wynikających z porównania przewidywań modeli numerycznych wykorzystujących Standardowy Model Kosmologiczny Λ CDM z obserwacjami. Dokładniej opisano dynamiczne metody modelowania rozkładu mas w galaktykach karłowatych ze szczególnym uwzględnieniem metod stosowanych do analizy rozkładu masy w karłowatych galaktykach sferoidalnych. W 1979 roku Martin Schwarzschilda opracował numerycznie wymagającą metodę rekonstrukcji rozkładu masy z analizy orbit gwiazd dla sferoidalnych galaktyk w równowadze. W głównej części pracy mgr Kowalczyk stosuje tę metodę do badania rozkładu masy w karłowatych galaktykach sferoidalnych.

W drugim rozdziale opisano model Schwarzschilda dla sferycznie symetrycznego układu wielu oddziałujących grawitacyjnie ciał. Zbudowano numeryczny model sferycznie symetrycznego układu o zadanym profilu gęstości, który dla odległości mniejszych od promienia wirialnego r_v jest podobny do profilu Navarro-Frenka-White'a a dla odległości większych od r_v maleje jak r^{-6} . Przyjęto, że orbity cząstek dopuszczają anizotropię w rozkładzie prędkości, która jest opisywana parametrem β , w ogólności zależnym od r . Model opisuje tylko rozkład cząstek ciemnej materii. Aby porównać wyniki tego modelu z obserwacjami wybrano rodzinę cząstek tak, aby odtwarzały rozkład Sérsica, który opisuje profil jasności galaktyk. Analizowano cztery modele ruchu cząstek próbnych, dla $\beta = 0$, $\beta = 0.5$, oraz dwóch przypadków, gdy β zależy od r i albo maleje albo rośnie wraz z r . Numerycznie wygenerowano zbiór 1200 orbit cząstek o różnych wartościach całkowitej energii i momentu pędu. W przypadku układu sferycznie symetrycznego

orbity cząstek o tym samym kierunku momenty pędu leżą w tej samej płaszczyźnie. Aby wprowadzić asymetrię każdą z takich orbit obracano 100000 razy wokół dwóch różnych osi. Dla różnych przedziałów odległości obliczono trzy momenty rozkładu prędkości korzystając z N pomiarów prędkości w kierunku widzenia. Główna idea metody Schwarzschilda polega na tym, że obserwowane własności galaktyki można odtworzyć z liniowej kombinacji odpowiednich parametrów orbit o dodatnich współczynnikach. Rozpatrzono dwa przypadki: bogatego zbioru danych opisujących galaktykę o znanym i nieznanym profilu gęstości oraz niewielkiego zbioru danych. Pokazano, że metoda Schwarzschilda pozwala na odtworzenie anizotropii w rozkładzie prędkości niezależnie od jej profilu.

W rozdziale trzecim wykorzystano bardziej realistyczny model sferoidalnej galaktyki karłowatej, która powstaje przez zlanie się dwóch identycznych galaktyk karłowatych. Zbudowano trzy zbiory danych obserwując galaktykę wzdłuż trzech osi głównych. Zbadano jak podstawowe odtworzone metodą Schwarzschilda parametry galaktyki zależą od jej orientacji w stosunku do kierunku obserwacji, w szczególności, gdy kierunek obserwacji pokrywa się z jej najdłuższą i najkrótszą osią główną. Podobnie jak w poprzednim rozdziale utworzono zbiór 1200 orbit opisujących ruch gwiazd o różnych wartościach całkowitej energii i momentu pędu. Najpierw rozpatrzono przypadek, gdy stosunek masy do jasności jest stały. Na podstawie danych odtworzono profil rozkładu masy i profil anizotropii rozkładu prędkości. Następnie rozpatrzono przypadek, gdy stosunek masy do jasności zależy od r . Na podstawie danych odtworzono profil masy i profil anizotropii rozkładu prędkości. Okazało się, że w tym przypadku profil masy jest dobrze odtwarzany, gdy galaktyka jest obserwowana wzdłuż najkrótszej osi. W rzeczywistości, gdy obserwujemy galaktyki karłowate w Lokalnej Grupie zbiór danych obserwacyjnych jest bardzo ograniczony. Zbadano możliwości i dokładność rekonstrukcji własności galaktyk karłowatych na podstawie skromnego zbioru danych. Ograniczono się do zbioru danych o zrzutowanych odległościach i prędkościach wzdłuż linii widzenia dla 2500 gwiazd. Gdy galaktyka jest obserwowana wzdłuż najdłuższej osi własnej odtworzona anizotropia rozkładu prędkości jest zaniżona w stosunku do wartości rzeczywistej. Następnie zbadano możliwość jednoczesnej rekonstrukcji profilu stosunku masy do jasności i anizotropii rozkładu prędkości. Pokazano, że w tym przypadku anizotropię rozkładu prędkości można odtworzyć z dokładnością do 1σ . Niezależnie od rozmiaru zbioru danych dla owalnych galaktyk karłowatych odtworzenie anizotropii prędkości i całkowitej masy bardzo zależy od orientacji galaktyki w stosunku do linii widzenia.

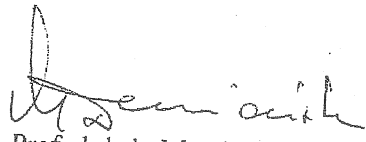
W rozdziale 4 zastosowano metodę rekonstrukcji podstawowych parametrów galaktyk opisaną i przetestowaną na numerycznych modelach galaktyk w dwóch poprzednich rozdziałach do obecnie dostępnych danych obserwacyjnych dla karłowatej galaktyki sferoidalnej Fornax (Piec). Dokładnie opisano dostępne dane fotometryczne i spektroskopowe i metodę ich selekcji do zbioru danych, który został wykorzystany do rekonstrukcji profilu rozkładu masy i anizotropii rozkładu prędkości dla galaktyki Fornax. Szczegółowo przedstawiono wyniki odtwarzania tych profili. Otrzymane wyniki: profile stosunku masy do jasności, całkowitej gęstości, całkowitej masy i anizotropii rozkładu prędkości są przedstawione na rysunku 4.7. Profil rozkładu masy został odtworzony

bardzo dokładnie. Porównano otrzymane wyniki z wynikami uzyskanymi przez innych badaczy i przedyskutowano zauważone różnice.

W ostatnim rozdziale zebrano najważniejsze wyniki i przedstawiono ogólne wnioski. Pokazano, że metodą Schwarzschilda można poprawnie odtworzyć profile gęstości i anizotropii rozkładu prędkości dla czterech numerycznych modeli galaktyk karłowatych. Zastosowanie tej metody do danych obserwacyjnych dla galaktyki Fornax pozwala na poprawne odtworzenie jej podstawowych parametrów.

Przygotowując rozprawę doktorską mgr Klaudia Kowalczyk wykazała, że biegle opanowała umiejętność programowanie w języku C++, operowania bardzo dużymi zbiorami danych i ich analizowania. Potrafi interesująco przedstawić wyniki analiz na diagramach.

Uważam, że praca doktorska mgr Klaudii Kowalczyk spełnia wszystkie ustawowe i zwyczajowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.


Prof. dr hab. Marek Demiański

Waszyngton, 31 maja 2018r.