



Toruń, 3.11.2019

Prof. dr hab. Michał Hanasz  
Instytut Astronomii UMK  
ul. Gagarina 11  
87-100 Toruń

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Marcina Semczuka**  
*pt. Tidally induced morphology of late type galaxies*

Rozprawa doktorska mgr Marcina Semczuka dotyczy badania efektów pływowych w galaktykach późnych typów. Rozprawa składa się z 5 rozdziałów: wstępu stanowiącego wprowadzenie w tematykę badań, rozdziału 2 dotyczącego powstawania dwuramiennych struktur spiralnych w galaktykach dyskowych orbitujących w gromadach, rozdziału 3 dotyczącego powstawania wygięć (tzw. „warps” w terminologii anglojęzycznej) dysku gazowego w Galaktyce Trójkąta (M33) w wyniku oddziaływania pływowego z galaktyką M31, rozdziału 4 dotyczącego statystycznego opracowania zakrzywień dysków w modelu obliczeniowym ekspandującego Wszechświata „Illustris”. Rozdział 5 jest syntetycznym podsumowaniem wyników otrzymanych w poprzednich rozdziałach. Rozprawa opiera się na dwóch recenzowanych pracach, których doktorant jest pierwszym autorem, opublikowanych w „The Astrophysical Journal” (rozdziały 2 i 3) oraz kompletnego materiału do kolejnego artykułu, stanowiącego treść rozdziału 4. Oprócz wspomnianych dwóch artykułów doktorant jest współautorem czterech innych prac opublikowanych w renomowanych czasopismach astrofizycznych (MNRAS i ApJ). Zgodnie z bazą danych ADS wszystkie publikacje w których uczestniczył mgr. Semczuk były cytowane dotychczas ponad 126 razy.

Rozdział wstępny stanowi syntetyczne wprowadzenie w tematykę rozprawy w którym autor przedstawia interesująco aktualny stan badań dotyczących powstawania struktur takich jak ramiona spiralne, poprzeczki i zagięcia w dyskach galaktycznych. W rozdziale tym autor przedstawia m. in. historyczny rozwój teorii ramion spiralnych począwszy od teorii kwazi-stacjonarnej struktury Lina i Shu z 1967 roku do współczesnej teorii ramion dynamicznych znajdującej coraz szersze potwierdzenie w danych obserwacyjnych i w symulacjach numerycznych. W dalszej części rozdziału autor prezentuje aktualny stan badań na temat zagiętych dysków oraz efektów pływowych w galaktykach wykazując się przy tym dużą wiedzą teoretyczną i wysokim poziomem zrozumienia omawianych zjawisk.

Rozdział drugi rozprawy podejmuje tematykę dwuramiennych struktur spiralnych typu „grand design” powstających w wyniku efektów pływowych. Z pomocą symulacji N-ciałowych

galaktyki typu Droga Mleczna autor rozważa sytuację w której źródłem zaburzenia wywołującego efekty pływowe jest gromada galaktyk. Przejście galaktyki przez perycentrum powoduje powstanie przejściowej dwuramiennej struktury spiralnej, której ramiona są początkowo bardzo rozwarłe lecz z upływem czasu zmniejszają kąt nachylenia, podczas gdy amplituda stopniowo maleje w miarę oddalania się od perycentrum. Prędkość kątowna struktury spiralnej nie jest stała (jak w teorii Lina i Shu) lecz zmniejsza się z odległością od centrum galaktyki wskazując, że wzbudzana jest dynamiczna struktura fal gęstości.

W dalszej części rozdziału autor analizuje próbkę 201 galaktyk spiralnych w gromadzie Panny wśród których znajduje 9 galaktyk o dwuramiennej strukturze, które nie ujawniają oznak oddziaływania z inną galaktyką. Autor wnioskuje, że struktura spiralna wyselekcjonowanych galaktyk może być spowodowana grawitacyjnym oddziaływaniem z gromadą.

W rozdziale 3 autor podejmuje próbę modelowania struktury dysku gwiazdowego i gazowego galaktyki M33 z pomocą symulacji numerycznych wykonanych kodem GADGET z uwzględnieniem składników gwiazdowego i ciemnej materii, modelowanych za pomocą algorytmu N-ciałowego oraz gazu międzygwiazdowego modelowanego za pomocą płynowego algorytmu SPH. Znalezienie zbioru parametrów układu galaktyk okazuje się dosyć trudne ponieważ galaktyki obserwowane są w projekcji na płaszczyznę nieba a dane dotyczące prędkości składników układu ograniczają się do składowych radialnych prędkości. Mimo tych trudności udało się autorowi skonstruować z pomocą wielokrotnego całkowania orbit galaktyk prawdopodobne warunki początkowe prowadzące do ewolucji układu spójnej z obserwacjami aktualnego stanu układu, chociaż proces poszukiwania właściwego zestawu parametrów był dosyć złożony. Podobnie, znalezienie modelu rotacji galaktyki M33 zgodnej z danymi obserwacyjnymi wymagało odpowiedniego dopasowania rozkładów przestrzennych gwiazd, ciemnej materii oraz gazu międzygwiazdowego.

Wynikiem przeprowadzonych badań jest stwierdzenie, że oddziaływania pływowe obydwu galaktyk są wystarczające do wzbudzenia dwuramiennej struktury spiralnej w galaktyce M33 oraz do odkształcenia dysku gazowego, które w wewnętrznych partiach dysku może być interpretowane jako tzw. „warp”. Efektem potwierdzającym poprawne działanie modelu jest zapłon aktywności gwiazdotwórczej w modelowanej galaktyce M33 w czasie przejścia w okolicy M31 zgodny obserwowanym zapłonem w rzeczywistej galaktyce. Niemniej jednak w większych odległościach od centrum galaktyki model przestaje być zgodny z danymi obserwacyjnymi.

Lepszą zgodność wyników symulacji z obserwacjami autor uzyskał uwzględniając dodatkowo obecność gazu tworzącego gorące halo galaktyki M31. Warto zaznaczyć, że wykorzystana tutaj technika modelowania procesów podskalowych pozostawia dużą swobodę doboru parametrów modelu. Autor stwierdził, że zastosowanie tej techniki w modelowaniu „obdzierania” (ram pressure

stripping) ośrodka gazowego jest kluczowym elementem w modelowaniu zakrzywień dysku gazowego. Biorąc pod uwagę wspomnianą swobodę doboru parametrów trudno jest jednoznacznie stwierdzić jaka jest rola zjawiska obdzierania dysku przez ciśnienie nacierającego gazu w wyginaniu dyski M33. Niemniej jednak należy pamiętać, że metody symulacji płynowych rzadko dają możliwość precyzyjnego odtworzenia struktury i dynamiki konkretnego obiektu, a główną korzyścią z tego typu badań jest wskazanie prawdopodobnego scenariusza przebiegu zjawiska.

Rozdział 4 rozprawy dotyczy badania wygiętych dysków gazowych w kosmologicznej symulacji Illustris TNG, niemieckiej grupy Volkera Springela, wykonanej kodem symulacyjnym AREPO. Mgr. Marcin Semczuk użył wyników tej symulacji reprezentujących fragment współczesnego Wszechświata ( $z=0$ ) do badania procesów powstawania wygiętych dysków w próbie około 1600 galaktyk. W tej próbie struktura około połowy galaktyk była zaburzona, tzn. przybierała kształt litery „S”, kształt meduzy lub reprezentowała galaktykę nieregularną. Autor pokazał, że wspomniane odkształcenia dysków nie korelują się z własnościami galaktyki.

Dalsza analiza, oparta na badaniu ewolucji wybranych galaktyk poprzedzającej powstanie odkształcenia typu „S” pokazała, że 35% wygiętych dysków było skutkiem oddziaływań z innymi galaktykami: oddziaływań pływowych, akrecji gazu lub połączenia z inną galaktyką. Zaprezentowane w tym rozdziale wyniki pokazują mechanizmy odpowiedzialne za powstanie różnego rodzaju zaburzeń w dyskach galaktycznych, w tym między innymi na rolę efektów pływowych, które okazują się być ważnym, ale nie jedynym mechanizmem powodującym powstanie wygięć.

Biorąc pod uwagę różnorodne aspekty oceny przedłożonej rozprawy doktorskiej chciałbym wskazać jej mocne strony, którymi są:

- aktualna i ważna tematyka,
- dobrze zdefiniowany problem naukowy,
- wysoki poziom merytoryczny,
- bogate odniesienia do literatury wskazujące na szerokie horyzonty naukowe autora
- wszechstronne spojrzenie na badane zagadnienie obejmujące symulacje numeryczne i analizę danych obserwacyjnych.
- dobrze zaplanowane symulacje numeryczne oraz ich wnikliwa interpretacja z pomocą prostych i przekonujących analiz numerycznych.
- solidnie przedyskutowane wyniki symulacji w kontekście prac innych autorów.

Bardzo dobre wrażenie robi ponadto strona redakcyjna rozprawy: praca napisana jest starannie, jest poprawna stylistycznie, sposób prowadzenia wywodu naukowego jest logiczny, układ pracy jest przejrzysty, praca posiada walory dydaktyczne, nie sprawia trudności zrozumienie intencji autora.

Wobec ogólnego bardzo dobrego wrażenia z lektury rozprawy doktorskiej mgr. Marcina Semczuka trudno jest dostrzec istotne uchybienia. Niemniej jednak chciałbym wskazać kilka drobnych usterek:

- Na str. 26 określone zostały parametry symulacji numerycznych. Przytoczone wartości promieni wygładzania są różne dla różnych składowych układu – dysku halo i gromady Virgo. Nie jest wyjaśnione dlaczego zostały wybrane takie a nie inne wartości tego parametru i dlaczego są one różne dla różnych składników układu.
- Nie jest oczywiste dlaczego kąt nachylenia ramion spiralnych można wyznaczyć poprzez maksymalizację wielkości  $|A(p)|$  obliczonej na podstawie wzoru (2.2).
- Na str. 37 użyte zostało pojęcie kinematycznych fal gęstości, które nie zostało wcześniej zdefiniowane.
- Wprowadzenie do modelu opisywanego w rozdziale 3 (str. 66) zjawisk podskalowych, a w szczególności dobór wartości poszczególnych parametrów, zostało opisane zbyt skrótowo. Trudno jest zorientować się jakie jest znaczenie parametrów wymienionych na początku podrozdziału 3.3.3 i jak ich ewentualne zmiany mogłyby wpłynąć na ewolucję zaburzeń dysku gazowego.
- Linia zerowej prędkości, wspomniana na stronie 75 w odwołaniu do rys. 3.9, nie została zaznaczona. Zakres prędkości na skali kolorów nawet nie obejmuje zera.

#### **Wniosek końcowy**

Podsumowując chciałbym wyrazić opinię, że rozprawa doktorska mgr. Marcina Semczuka wnosi wartościowy wkład w zrozumienie fizycznej natury i obserwowalnych skutków oddziaływań pływowych, których efektem jest powstanie dwuramiennych struktur spiralnych typu "grand design" oraz wygięć w dyskach galaktycznych.

Zaprezentowane w rozprawie doktorskiej wyniki oryginalnych badań mgr. Marcina Semczuka stanowią istotny i wartościowy wkład do badań dynamiki galaktyk. Stwierdzam zatem, że rozprawa doktorska mgr. Semczuka spełnia wymagania określone Ustawą o Stopniach i Tytule Naukowym z dnia 14 marca 2003 roku z późniejszymi zmianami, wobec tego wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Moja ocena rozprawy doktorskiej mgr Marcina Semczuka jest bardzo wysoka, wobec tego wnioskuję o jej wyróżnienie.



Michał Hanasz