

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Хоперскова Александра Валентиновича

на диссертационную работу Марчука Александра Александровича «ДИНАМИЧЕСКИЙ СТАТУС ГАЗОВЫХ ДИСКОВ СПИРАЛЬНЫХ ГАЛАКТИК С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ КРИТЕРИЯ ДВУХЖИДКОСТНОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 — Астрофизика и звездная астрономия

Актуальность темы

Актуальность исследования определяется ключевой ролью звездообразования для физики галактик. В свою очередь условия для звездообразования зависят от возможности развития гравитационной неустойчивости в холодной подсистеме газа (молекулярных облаках). Поскольку газовый и бесстолкновительный звездный диски образуют единую гравитационно связанную систему, то необходим самосогласованный анализ звёздно-газового диска. Для исследования условий возникновения гравитационной неустойчивости необходимо знание о температуре системы, которая для звёздного диска определяется значениями дисперсий хаотических компонент скорости звёзд. Поскольку их определение из наблюдений до сих пор вызывает проблемы, то предложенные в работе новые подходы к их оценке свидетельствуют об актуальности темы исследования.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, оценка достоверности полученных результатов

Научные положения, выводы и рекомендации логически связаны, целостны, подтверждаются сравнительным анализом с результатами других авторов в соответствующих предельных случаях, а также вычислительными экспериментами Автора.

Достоверность полученных результатов обусловлена использованием хорошо проверенных методик обработки и анализа данных наблюдений. В случае новых предложенных методов анализа, то А.А. Марчук провел достаточно обширные исследования ошибок и влияния неопределенностей,

включая моделирование методом Монте-Карло для большого числа реализаций наборов данных.

Обоснованность разработанных в диссертации научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается использованной библиографией научных работ российских и зарубежных ученых, посвященных динамике и кинематике галактик, звездообразованию, условиям развития гравитационной неустойчивости. Список литературы содержит 205 наименований.

Дополнительным доводом в пользу обоснованности научных положений являются публикации в профильном научном журнале *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, имеющем Impact Factor 4.96 по библиографической базе данных *Web of Science*. Основные результаты диссертации отражены достаточно **полно** в 3 научных публикациях, одна из работ опубликована без соавторов. Результаты обсуждались научным сообществом в астрономическом отделении СПбГУ, ГАО РАН, ПРАО АКЦ ФИАН. Исследования проводились по тематике научных грантов СПбГУ, РФФИ.

Важным также является наличие свободного веб-доступа к разработанному программному обеспечению, что соответствует современной научной практике. Автореферат в **полной мере отражает** содержание и структуру диссертации, полностью удовлетворяет требованиям Положения о порядке присуждения учёных степеней, поскольку содержит основные положения, результаты и выводы диссертации, научную новизну и практическую значимость результатов исследования, выделен личный вклад автора.

Новизна диссертационного исследования

Предложен новый непараметрический метод восстановления эллипсоида скоростей звезд в галактическом диске. Получены новые результаты восстановления эллипсоида скоростей звезд в дисках галактик NGC 1068, NGC 2775, NGC 338, NGC 1167 по данным наблюдений. Для галактики NGC 1167 сделан вывод о непостоянстве отношения дисперсии радиальных скоростей звезд к дисперсии вертикальных скоростей.

Впервые для семи S-галактик (NGC 338, 1167, 2985, 3898, 4258, 4725, 5533) данные наблюдений были применены для оценки эффективного параметра Тоомре (Q) в рамках многокомпонентных критериев гравитационной неустойчивости. Проведен анализ применения критерия гравитацион-

ной неустойчивости газа в зависимости от качества данных наблюдений. Сделаны оценки эффективного параметра Тоомре вдоль радиальной координаты $Q(r)$ для ряда галактик по данным наблюдений.

Значимость для науки и практики результатов диссертационного исследования

Разработан новый непараметрический метод восстановления эллипсоида скоростей звезд в S-галактиках, использующий только предположение о постоянстве отношения дисперсии радиальных скоростей звезд к дисперсии вертикальных скоростей звезд.

Практическая ценность диссертации связана с разработкой и программной реализацией метода восстановления компонент эллипсоида скоростей дисковых галактик по спектральным данным, полученным вдоль луча зрения. Метод опробован на ряде галактик с использованием новых данных наблюдений.

Проведен анализ применимости критерия гравитационной устойчивости звездно-газового диска для объяснения связи между звездообразованием и гравитационной неустойчивостью газа.

Замечания по диссертации

1) В диссертации критерии гравитационной устойчивости были использованы для построения двумерных карт распределения параметра Q в плоскости диска. Необходимо отметить, что применение критериев гравитационной неустойчивости для неосесимметричных моделей диска строго говоря несправедливо, поскольку они получены на основе анализа динамики возмущений (локальный анализ в ВКБ-приближении), распространяющихся в осесимметричной равновесной системе. Азимутальная неоднородность равновесных параметров газа/звезд отсутствует, как в локальных критериях устойчивости (которые использует Автор), так и в более сложных глобальных критериях.

Надо отметить, что Автор сам упоминает о неприменимости локальных критериев гравитационной устойчивости для неосесимметричных систем на стр.92-93. Традиционное использование круговой скорости вместо

скорости вращения газа (формула на стр.97) обусловлено малостью радиального градиента давления в осесимметричном газовом диске. В реальных условиях галактики с мощной спиральной структурой (типа NGC 628) градиент давления не является малым, наблюдаются сильные некруговые движения, ударные волны. В случае NGC 628 имеем мощные спиральные волны плотности и в звездной компоненте, даже в старом звездном диске по 2MASS хорошо видны спирали. Поэтому неосесимметричная компонента гравитационного потенциала не является малой.

Скорость звука в многокомпонентном газе (молекулярный, нейтральный, ионизованный) из наблюдений корректно не определяется. Для каждой из газовых компонент вклад в ширину линии дают термодинамическая температура и дисперсия хаотических скоростей газовых облаков. Причем, для каждой газовой компоненты их относительный вклад заметно различается. Следует пояснить, о какой скорости звука в газе идет речь.

2) Необходимо отметить, что связь между гравитационной неустойчивостью по локальному критерию и звездообразованием очень опосредована, поскольку характерная длина неустойчивых возмущений порядка килопарсека для галактик типа MW, а звездообразование происходит в малых ядрах гигантских молекулярных облаков (ГМО) на совершенно других масштабах. Само формирование ГМО с размерами порядка 10-50 пк происходит через сложную физику нагрева/охлаждения многокомпонентной смеси газа и пыли, динамического и электромагнитного взаимодействия с окружением. До сих пор неясно, являются ли ГМО гравитационно связанными объектами. Наконец, время жизни ГМО сопоставимо с периодом галактического обращения, поэтому на этих временах отсутствует равновесное состояние. Сказанное требует с большой осторожностью относиться к обнаружению простой связи между звездообразованием и гравитационной неустойчивостью на масштабах порядка кпк.

3) Укажу на использование некоторых терминов. Нет общепринятых понятий «звездно-газовая гравитационная неустойчивость», «звездно-газовый критерий» или «критерий звездно-газовой неустойчивости» (стр.9, 10, 11, 55 диссертации, стр.6, 7, 8, 9 автореферата), о которых говорится в цели исследования, научной новизне и по тексту. Следует говорить «гравитационная неустойчивость звездно-газового диска (или звездно-газовой системы,

или многокомпонентной системы)». Не считаю удачным использование термина «двухжидкостная гравитационная неустойчивость», как прямой перевод «two-fluid gravitational instabilities», вместо гравитационная неустойчивость двухкомпонентной системы.

Вместо «референсная модель» (стр.77 и далее) вполне подходит «базовая» («основная», «стандартная», «эталонная») модель. Эти и другие термины, по-видимому, являются обратным переводом с английского на русский из работ Автора.

4) Было бы уместно проанализировать критерий устойчивости А.Г. Морозова для многокомпонентного диска (1981SvAL....7....5M), который является точным в коротковолновом приближении, в отличие от условия Рафикова (2001). Следовало бы, говоря о критериях гравитационной устойчивости вращающегося газа, упомянуть о результате В.С. Сафронова (1960ApJ...23..979S), который получен еще до рассмотрения А. Тоомре (1964). В англоязычной литературе используют термин Safronov-Toomre criterion и на него активно ссылаются.

5) При оформлении литературы не выдерживается единый стиль. Например, в [33] отсутствует название статьи. У большинства ссылок указаны первая и последняя страницы, у некоторых только первая (например, [1, 2, 31, 48, 63, 83, 202] и др.). Имеется путаница между номерами страниц и ID статьи, например, [68,70,72] и др. Нет названия журнала, тома и страниц в ссылке [92].

Данные замечания не ставят под сомнение положения, выносимые на защиту, и все основные результаты, сформулированные в работе. Работа написана грамотно и в достаточной степени иллюстрирована.

Работа, безусловно, соответствует паспорту специальности 01.03.02, в частности, пунктам 2 и 4. Все результаты являются оригинальными, имеют высокую практическую значимость и могут быть использованы в ведущих научных учреждениях России (САО РАН, ИКИ РАН, МГУ, ГАО РАН, ИНАСАН, Санкт-Петербургский университет, Казанский университет, Новосибирский университет, Южный федеральный университет, Волгоградский университет и др.) и зарубежных центрах, в которых ведутся работы по исследованию галактик.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

В работе приведены результаты, позволяющие квалифицировать их как решение научной задачи по выявлению связей между звездообразованием в галактиках и гравитационной неустойчивостью в звездно-газовых дисках. Диссертация представляет собой логически выдержанное самостоятельное научное исследование, выполненное на актуальную тему, обладающее внутренним единством и содержащее новые научные результаты и положения, выдвигаемые для защиты.

Считаю, что диссертация Марчук Александра Александровича «Динамический статус газовых дисков спиральных галактик с точки зрения критерия двухжидкостной неустойчивости» является научно-квалификационной работой, которая удовлетворяет всем требованиям Положения о порядке присуждения учёных степеней, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 - «Астрофизика и звездная астрономия».

Официальный оппонент:

Хоперсков Александр Валентинович

Зав. кафедрой информационных систем и
компьютерного моделирования, ФГАОУ ВО
Волгоградский государственный университет,
доктор физ.-мат. наук, профессор

Почтовый адрес: 400062 Волгоград,
пр. Университетский, 100; ВолГУ
e-mail: infomod@volsu.ru, www.volsu.ru
тел.: 8(8442) 476051

А.В. Хоперсков

01.06.2018



Подпись	<i>Хоперсков А В</i>
_____ заверяю	
Ученый секретарь федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный университет»	
<i>Лисовская</i>	Н.В. Лисовская
<i>20/6</i>	20/6 г.