ОТЗЫВ

официального оппонента Мельник Анны Маратовны,
доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника отдела
«Изучения Галактики и переменных звезд»
Государственного астрономического института имени П. К. Штернберга
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова»

на диссертацию **МАРИИ АНАТОЛЬЕВНЫ БУТЕНКО**
«Исследование структуры и динамики дисковых галактик: вереницы и механизмы формирования спиралей»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.03.02 – Астрофизика и звездная астрономия.

Диссертация М. А. Бутенко посвящена построению численных моделей галактик и изучению механизмов формирования прямолинейных сегментов в галактических дисках. Эта тема является актуальной уже 20 лет и еще далека от завершения. На сегодняшний день существует как минимум три разных объяснения этого явления. Тумре (1981) показал, что квадратообразная форма спиральных рукавов является результатом суперпозиции лидирующих и отстающих спиральных волн, имеющих близкие значения длин волн и амплитуд в Фурье спектре моды, где лидирующая волна возникает в результате отражения от центра галактики отстающей волны плотности. Мельник и Раутиайнен (2013) показали, что прямолинейные сегменты возникают в чисто звездных дисках с практически круговыми орбитами и малой дисперсии скоростей, имеющих низкое значение параметра устойчивости Тумре Q_T=1.2-1.4, а причина их формирования связана с настройкой эпициклических движений звезд, реагирующих на гравитацию спонтанно возникающих уплотнений в диске. М.А. Бутенко и группа А. В. Хоперскова (2011), а также Филистов (2012) моделируют прямолинейные сегменты в газовых дисках, возникающих в спиральных рукавах, где ударная волна имеет очень большой параметр Маха M~30, и объясняют их формирование нестабильным положением ударных фронтов относительно минимума потенциала. Поэтому **актуальность** темы не вызывает сомнения.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Общий объем диссертации составляет 229 страниц, включая список литературы из 304 наименований.

Первая глава посвящена подробному описанию математических моделей галактики и обсуждению численных методов моделирования дисковых галактик, построению равновесных состояний звездного диска, методам интегрирования уравнений газодинамики, в частности методу сглаженных (SPH) частиц.

Во **второй главе** представлен новый каталог галактик с прямолинейными отрезками (вереницами). Результатом исследования является увеличение числа галактик с вереницам со 130 до 406 галактик. Проведен статистический анализ физических характеристик галактик с вереницами. Построены газодинамические модели галактик с прямолинейными отрезками, возникновение которых автор объясняет неустойчивостью фронта ударной волны относительно минимума потенциала. В целом, наблюдается качественное согласие модельных и наблюдаемых соотношений между длиной вереницы и ее расстоянием до центра галактики.

Третья глава посвящена анализу результатов моделирования газового диска во внешнем неосесимметричном гравитационном потенциале гало. Расчеты показали, что даже слабая неосесимметрия гало может служить эффективным механизмом генерации спиральной волны плотности в газе.

В четвертой главе рассматривается модель спиральной структуры Галактики с учетом данных о кинематике мазеров. В рамках развития концепции глобальных собственных мод проведено сравнение результатов линейного анализа динамики собственных мод с результатами нелинейного моделирования, которое показало удовлетворительное согласие для радиальной структуры возмущений в случае доминирования двухрукавной моды.

В **Заключении** кратко изложены основные результаты и выводы.

В **Приложении А** приведена таблица, содержащая характеристики галактик с вереницами.

Научная новизна работы заключается в создании нового каталога галактик с вереницами, состоящего из 276 объектов. Гипотеза, предложенная Черниным и др. (2001), что среди галактик с вереницами большая часть является взаимодействующими объектами, не подтвердилась. Впервые показано, что полигональные структуры имеют транзиентный характер в самосогласованных моделях звездно-газовых дисков. Впервые получены оценки времени существования вереницы, согласующиеся с частотой встречаемости галактик с вереницами.

Замечания по диссертации:

1) Моделирование прямолинейных отрезков в газовых дисках с медленно вращающимся спиральным узором является ярким результатом, но физическая природа этого явления остается неясной. К моделям остается множество вопросов. Почему прямолинейные отрезки возникают на фронте ударной волны только при большом числе Маха? Какова роль искусственной вязкости (стр. 60)? Ведь вязкость (и численная тоже), замедляя движение одних частей среды относительно других, частично имитирует действие гравитационного притяжения. Современную астрофизику невозможно представить без построения численных моделей различных объектов и процессов, но намного более сложная задача – определить роль каждого эффекта в формировании сложного явления.

2) В разделе 2.6 (Формирование полигональных структур в самосогласованной модели звездно-газового диска) автор исследует длительность существования вереницы в модельных дисках. Если эпициклическое движение является существенным «игроком» в формировании прямолинейных отрезков, то время их существования должно составлять ~¼ времени обращения по эпициклу. Хотелось бы, чтобы автор сравнил этих два периода времени.

Вышеупомянутые недостатки не снижают в целом положительного впечатления от диссертации, которая является законченным научным исследованием и новым шагом на пути изучения такого интересного явления как спиральная структура галактик. Автор показал, что он хорошо владеет современными методами построения численных моделей галактик. Выводы

диссертации являются **обоснованными**. Диссертация написана простым хорошим языком и практически не содержит опечаток.

Выносимые на защиту выводы опубликованы в 23 статьях, 7 из которых включены в список ВАК. Они прошли апробацию как на российских, так и на международных конференциях и являются **достоверными**. В работах, написанных в соавторстве, личный вклад соискателя четко обозначен. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Результаты работы имеют большую **научно-практическую значимость** и, несомненно, могут найти применение в российских и зарубежных астрономических учреждениях, САО РАН, ГАИШ МГУ, ИНАСАН, СПбГУ. Диссертация М. А. Бутенко «Исследование структуры и динамики дисковых галактик: вереницы и механизмы формирования спиралей» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым п. 7 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, а ее автор Мария Анатольевна Бутенко заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – Астрофизика и звездная астрономия.

Официальный оппонент – доктор физ.-мат. наук А.М. Мельник, ведущий научный сотрудник отдела «Изучения Галактики и переменным звезд» Государственного астрономического института имени П.К. Штернберга Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

_____ (А. М. Мельник)

Подпись А. М. Мельник заверяю.

И. о. директора ГАИШ МГУ профессор _____ (К. А. Постнов)

Контактные данные:

E-mail: anna@sai.msu.ru

Адрес места работы: 119234, г. Москва, Университетский проспект, д. 13, оф. 52

Тел.: (+7)495-939-16-22.

12 ноября 2018 г.