

**ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Уткина Никиты Денисовича на тему:
«Кинематика и динамика галактических подсистем»
по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия**

Диссертационная работа Уткина Н.Д. посвящена исследованию особенностей подсистем Млечного Пути на базе имеющихся наблюдательных данных. Определение параметров подсистем нашей Галактики открывает путь для решения широкого набора задач, таких как определение кривой вращения диска, определение поверхностной плотности и размеров галактического диска, определение свойств спиральной структуры в тонком диске Галактики. Особый интерес имеет исследование параметров гало Галактики, предпринятое в диссертации. Известно, что большую часть массы Млечного Пути составляет галактическое гало, состоящее в основном из темной материи. Поэтому изучение свойств галактического гало в сочетании с параметрами кривой вращения галактического диска открывает путь для понимания распределения темной материи в галактическом гало и в итоге для предсказания наблюдаемых потоков частиц темной материи в тех или иных ее моделях. **Актуальность** тематики, выбранной диссертантом, не вызывает поэтому никаких сомнений.

Научная новизна результатов диссертационной работы Уткина Н.Д. определяется тем, что им впервые реализована версия метода статистических параллаксов, позволяющая определять детальные кинематические характеристики поля скоростей Галактики, такие как дифференциальное вращение диска и возмущения от спиральных волн плотности. Метод, развитый диссертантом, позволяет также уточнять нуль-пункт шкалы расстояний. Помимо этого, для анализа кинематики диска диссертант использует крупнейшую на момент выполнения работы выборку галактических магзеров и получает при помощи модифицированного им метода статистических параллаксов набор кинематических параметров галактического диска, включая параметры спирального узора, а также кривую вращения тонкого диска Галактики. В по-

следней главе диссертант решает проблему, относящуюся к классическим основам звездной динамики. Предложенным им методом диссертант устраняет логарифмическую расходимость, возникающую при вычислении коэффициентов диффузии на основе метода учёта кратности звёздных сближений.

Научная и практическая значимость. В ходе выполнения диссертационной работы Уткиным Н.Д. были созданы алгоритмы определения параметров поля скоростей населений разных подсистем Галактики. Разработанные Уткиным Н.Д. методы найдут применение при изучении кинематических параметров подсистем Млечного Пути. Конкретные результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы (значения кинематических параметров диска и гало Млечного Пути, кривая вращения тонкого диска Галактики) представляют ценность для решения смежных астрофизических задач, таких как выяснение распределения темной материи в гало Галактики.

Все положения, выносимые Уткиным Н.Д. на защиту, **обоснованы и достоверны.** Достоверность результатов достигается использованием современных астрометрических и астрофизических данных, адекватностью использования математических и статистических методов анализа, использованием хорошо апробированных стандартных пакетов статистического анализа, а также согласием результатов, полученных в диссертационном исследовании, с результатами других авторов в сопоставимых случаях.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертация Уткина Н.Д. изложена на 163 страницах и состоит из введения, пяти глав и заключения. Список литературы содержит 163 наименования.

Во введении дается подробное обоснование актуальности предпринятого исследования, перечислены цели и задачи, обосновываются научная новизна, а

также научная и практическая значимость исследования, перечислены основные положения, выносимые на защиту, обосновывается достоверность полученных результатов, перечислены публикации по теме диссертации, а также отмечен личный вклад автора.

В первой главе, озаглавленной «Прошлое и настоящее в исследовании Галактики», приведен прекрасно написанный очерк об истории развития представлений о структуре и кинематике Галактики от работ Уильяма Гершеля до современных исследований, приводится обзор объектов, используемых для изучения кинематики диска Галактики и полученных с их помощью результатов (нейтральный водород, газопылевые облака, цефеиды, OB-ассоциации, красные гиганты, рассеянные скопления, а также мазерные источники), обсуждаются имеющиеся неопределенности в исследованиях кинематики диска Галактики. Автор приводит также обзор исследований гало Млечного Пути с использованием звезд типа RR – Лиры и шаровых скоплений, обсуждаются исследования продолжающегося формирования гало Млечного Пути в результате аккреции и приливного разрушения карликовых галактик-спутников, обсуждается основная проблема звездной динамики, связанная с особенностями далеких столкновений большого числа звезд.

Вторая глава посвящена изучению кинематики тонкого диска Галактики с использованием выборки из 131 мазерного источника. В главе приводится математическое обоснование метода статистических параллаксов как для случая чисто круговых движений, так и при наличии спиральной волны плотности. Диссертант рассматривает ряд моделей, различающихся предположениями о зависимости радиальной дисперсии скоростей от расстояния до центра Галактики, определяет кривую вращения диска Галактики по мазерным источникам, а также остаточные отклонения скорости мазеров от круговых движений, приводит параметры четырехрукавного спирального узора, полученного по кинематическим данным мазерных источников, а также дает оценку радиальной шкалы диска в предположении о маргинальной устойчивости тонкого диска Галактики.

В третьей главе диссертации приводятся результаты исследования гало Млечного Пути с помощью переменных типа RR-Лиры. Целью, которая была поставлена и решена в диссертации, является определение значений параметров поля скоростей для исследуемой выборки переменных звёзд типа RR-Лиры, а также установление зависимости кинематических параметров гало Млечного Пути от расстояния до центра Галактики для выяснения наличия отличающихся по своим физическим характеристикам внутреннего и внешнего галактического гало. Для определения кинематических параметров гало диссертант использовал данные наземных каталогов собственных движений USNO-B1.0 и UCAC5. Диссертант показал, что физические свойства внутреннего и внешнего гало, выделяемые по профилям скорости вращения с помощью переменных типа RR-Лиры, различаются по своим кинематическим характеристикам. Если внутри солнечного круга скорость вращения составляет 20-30 км/с, в околосолнечной окрестности скорость вращения гало 10-20 км/с, то на расстояниях 10-15 кпк гало почти не вращается. Вне 15 кпк наблюдается обратное вращение гало Галактики со скоростью 40-60 км/с, что, как отмечает диссертант, может указывать на различные механизмы его формирования.

Четвертую главу диссертации Уткин Н.Д. посвящает анализу кинематики гало Галактики, основываясь на кинематике звезд голубой горизонтальной ветви (ВНВ-звёзды). Для всех используемых в диссертации звезд голубой горизонтальной ветви имеется информация о лучевых скоростях, что дает возможность диссертанту не только уточнить нуль-пункт шкалы расстояний, определить пространственное поле скоростей гало Млечного Пути, но также оценить расстояние от Солнца до центра Галактики по объектам гало. Диссертантом была использована выборка из 4537 ВНВ-звезд, для которых имеется информация как о фотометрических расстояниях и лучевых скоростях, так и о собственных движениях, взятых из каталога GAIA DR2. Значение расстояния до центра Галактики, полученное Уткиным Н.Д., $R_0 = 8,23 - 9,00$ кпк согласуется с результатами других авторов, полученными по объектам диска.

В пятой главе диссертант обращается к классической проблеме звездной динамики - логарифмической расходимости коэффициентов диффузии в однородной звездной системе, для решения которой применен подход Т.А. Агеяна к учёту кратности далёких звёздных сближений. С применением множителя Агеяна диссертант выводит выражения для коэффициентов диффузии, отмечает очевидное отсутствие их расходимости и проводит их численный расчет, сравнивая полученные результаты с общепринятыми вариантами устранения расходимости коэффициентов диффузии.

В заключении автор перечисляет результаты, полученные им в диссертации.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Замечания по диссертации:

1. При определении параметров спирального узора методом статистических параллаксов диссертант исключает мазерные источники, находящиеся ближе 3 кпк к центру Галактики «во избежание сильного влияния потенциала галактического бара на результаты анализа кинематики». Wegg et al. (MNRAS 450, 4050, 2015) оценивают размер большой полуоси бара равным 5.0 ± 0.2 кпк. Бар, очевидно, вносит большое, если не определяющее влияние в кинематику мазерных источников во внутренних областях галактического диска, и не учитывать его влияние на кинематику объектов в области $R < 5$ кпк нельзя.
2. При определении параметров спиральной волны плотности диссертант использует ряд предположений, в частности, четырехрукавность спирального узора Галактики, маргинальную устойчивость галактического диска и постоянство по радиусу дисперсии скоростей диска в вертикальном

направлении.

По поводу первого предположения (четырёхрукавность спирального узора) хочу отметить, что результаты численного моделирования динамики гравитирующих дисков с параметрами близкими к параметрам диска Галактики показывают рост и одновременное сосуществование нескольких спиральных узоров с различным числом рукавов и разными угловыми скоростями. Предположение о наличии «монохроматического» четырёхрукавного спирального узора в диске Галактики может оказаться несостоятельным.

Определение критерия устойчивости многокомпонентного галактического диска является сложной задачей. Рафиков (MNRAS, 323, 445, 2001) рассмотрел обобщение критерия устойчивости Тоомре на многокомпонентный диск и показал, что в околосолнечной окрестности галактический диск устойчив. Кроме того, зависимость поверхностной плотности и дисперсии скоростей диска от радиуса, приводят к тому, что Q -параметр не является константой и существенно меняется с радиусом.

Среди прочих замечаний хочу отметить вольное обращение диссертанта с транскрипцией имен зарубежных авторов. Так Бинни переводится как Бини (стр. 75), Трмейн становится Трименом (стр. 134), Лутс и Келкер переводятся как Лютс и Келькер (стр. 72), а поляк Шчигель переведен как Штегил (стр. 94).

Вместе с тем хочу отметить, что указанные выше замечания никоим образом не умаляют значимости написанной прекрасным литературным языком диссертации Уткина Никиты Денисовича. Диссертация отвечает всем требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.1. «Физика космоса, астрономия» (по физико-математическим

наукам), критериям, определенным пп. 2.1-2.5 «Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова», а также оформлена согласно приложениям № 5-6 «Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова». Таким образом, соискатель Уткин Никита Денисович, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия».

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук,

Главный научный сотрудник Института физики

Федерального государственного автономного образовательного учреждения

«Южный федеральный университет»,

Корчагин Владимир Иванович

_____ ^{с.ч.} 30.11.2022

Специальность, по которой официальным оппонентом

защищена диссертация: 01.03.02 Астрофизика и звездная астрономия

Адрес места работы: 344090, г. _Ростов-на-Дону, пр-т Стачки 194, Институт физики

Тел.: 79889906516, e-mail: vkorchagin@sfedu.ru

Подпись сотрудника Института физики ЮФУ Корчагина Владимира Ивановича удостоверяю:

Директор НИИ физики ЮФУ

_____ 30.11.2022

И.А. Вербенко