

«УТВЕРЖДАЮ»:

Проректор МГУ имени М.В. Ломоносова,
доктор физико-математических наук,
профессор А.А. Федянин


_____ 2022 г.
Ц.С.Н.Я

ОТЗЫВ

ведущей организации

(Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1) на диссертационную работу АРАКЕЛЯН Наиры Рубеновны на тему «Исследование взаимосвязи системы шаровых скоплений Галактики и ее окружения» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности «01.03.02 – Астрофизика и звёздная астрономия»

Основное содержание диссертационной работы

Диссертационная работа Аракелян Наиры Рубеновны «Исследование взаимосвязи системы шаровых скоплений Галактики и ее окружения» состоит из Введения, трех глав, Заключения, двух приложений и списка цитируемой литературы, включающего 247 научных работ, а также списков иллюстраций и таблиц. Общий объем диссертации составляет 117 страниц, 8 таблиц и 25 иллюстраций.

Диссертация посвящена изучению взаимосвязи эволюции Галактики с её окружением, основываясь на анализе системы шаровых звёздных скоплений – наиболее старых объектов Галактики. В работе была измерена степень неоднородности пространственного распределения шаровых скоплений и галактик-спутников нашей Галактики и был предпринят поиск шаровых скоплений, связанных с приливным потоком Стрельца. Кроме этого была сопоставлена пространственная ориентация системы шаровых скоплений с диском Галактики и с плоскостью Местного сверхскопления

галактик. При выполнении этих работ были разработаны и использованы некоторые новые методы.

Во **Введении** диссертации сделан обзор основных свойств и теорий происхождения шаровых звёздных скоплений и обоснована актуальность работы. Также сформулированы цели и задачи исследования, приводятся основные положения, выносимые на защиту, апробация результатов, научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Дана общая характеристика диссертации с указанием ее краткого содержания.

Первая глава работы посвящена исследованию пространственного распределения шаровых скоплений Галактики и её галактик-спутников. Основная задача состояла в выявлении анизотропии этого распределения. Хотя подобное исследование неоднократно предпринималось ранее, автор использует наиболее общий метод – тензор гирации (он же тензор вращения). Показано, что вероятность анизотропного распределения галактик-спутников только на основе их пространственного положения не очень велика: она заметно проявляется только на расстояниях более 150 кпк от центра Галактики. В то же время, анизотропия в распределении шаровых скоплений надёжно подтверждается и совпадает с ориентацией диска Галактики на расстояниях более 2 кпк и менее 18 кпк (что близко к радиусу диска). Однако 6 самых удалённых шаровых скоплений расположены вблизи плоскости, к которой тяготеют галактики-спутники. Для доказательства реальной связи скоплений и спутников требуются их надёжные собственные движения.

Вторая глава диссертации посвящена описанию и применению нового метода выбора из числа известных шаровых скоплений тех, которые в прошлом могли принадлежать карликовой сфероидальной галактике в Стрельце (Sgr dSph). Основой для отнесения скоплений к потоку Стрельца стало сопоставление пространственного положения скопления с реальными звёздами, ранее отнесёнными к этому потоку, а также с модельными звёздами, полученными при численном моделировании приливного разрушения галактики в Стрельце. На основе этого отобраны 17 скоплений

кандидатов на связь с галактикой в Стрельце. Для контроля использованы данные о лучевых скоростях скоплений и звёзд потока, об их пространственных скоростях, а также данные о возрасте и металличности звёзд. По совокупности этих признаков все скопления-кандидаты разбиты на три категории: 6 наиболее вероятных, 6 умеренно вероятных и 5 маловероятных.

Третья глава посвящена изучению свойств шаровых скоплений, которые, по мнению других авторов, принадлежат нескольким приливным потокам, возникшим при разрушении галактик-спутников, т. е. сформировались за пределом нашей Галактики. Анализ пространственного распределения таких скоплений показал, что среди них, очевидно, есть скопления галактического диска, скорее всего, сформировавшиеся в самом диске. Кроме этого, изучена зависимость «возраст - металличность» скоплений и показано, что для скоплений галактического диска и скоплений приливных потоков она разная. Изучено также распределение шаровых скоплений и галактик-спутников относительно плоскости Местного сверхскопления. Показано, что на распределение шаровых скоплений до расстояния 20 кпк заметно влияние только диска Галактики. На расстояниях около 30 кпк возможно совпадение ориентации системы шаровых скоплений со сверхгалактической плоскостью. А на больших расстояниях (порядка 100 кпк) шаровые скопления тяготеют к плоскости движения галактик-спутников. Правда, количество скоплений на этих расстояниях мало, поэтому выводы нужно считать предварительными.

В **Заключении** приводятся выводы и перечисляются основные результаты, полученные в диссертации.

Актуальность выполненной работы не вызывает сомнений. В настоящее время общепринятым считается представление о формировании крупных галактик путем слияния/поглощения более мелких звёздных систем. Память об этих событиях содержится в звёздных потоках и плотных звёздных скоплениях, сохраняющихся в крупной системе после приливного

разрушения её спутников. Восстанавливая картину слияний, в принципе, можно получить представление о том, как формирование Галактики связано с крупными догалактическими структурами, например, с «блинами» Зельдовича и линейными филаментами. Представления об орбитах шаровых скоплений и спутников Галактики появились лишь недавно на основе данных Gaia. Это позволило изучать картину приливного разрушения спутников, сопоставляя картину потоков потерянных ими звезд (реальных и модельных) с положением и движением шаровых скоплений. В этом и состоит актуальность работы.

Наиболее важные и новые результаты. По теме диссертации опубликовано 5 научных статей (одна в форме тезисов) в журналах, рекомендованных ВАК, и бюллетенях институтов и обсерваторий, в том числе – одна статья в высокорейтинговом журнале MNRAS. Основные результаты исследований были доложены на международных и всероссийских конференциях, а также семинарах отдела теоретической астрофизики АКЦ ФИАН. Результаты работы получили признание как в научной литературе, так и на конференциях, что подтверждает **достоверность** положений и выводов диссертационной работы. Новые результаты, представленные в диссертации:

1. Надёжным методом изучено пространственное распределение шаровых скоплений Галактики и показано, что в области галактоцентрических расстояний от 2 до 10 кпк оно эллипсоидально с большой осью, лежащей в плоскости Галактики, а 6 наиболее далёких скоплений лежат в плоскости, образованной галактиками-спутниками, и вероятно связаны с ними генетически.
2. Выделены 17 шаровых скоплений, с некоторой вероятностью связанные с карликовой сфероидальной галактикой в Стрельце; из них 6 – с высокой вероятностью, а остальные – с умеренной и низкой.
3. Исследована связь шаровых скоплений с приливными звёздными потоками и показано, что в распределении этих скоплений нет

значимой анизотропии. При этом установлено, что некоторые скопления были ошибочно отнесены предшествовавшими авторами к приливным потокам.

4. Показано, что плоскость галактик-спутников перпендикулярна как диску Галактики, так и сверхгалактической плоскости. На расстояниях порядка 30 кпк ориентация системы шаровых скоплений близка к сверхгалактической плоскости, а на больших расстояниях (порядка 100 кпк) шаровые скопления тяготеют к плоскости галактик-спутников. Правда, последний результат имеет невысокую статистическую значимость ввиду малого числа скопления на больших расстояниях.

Научное значение полученных в диссертации результатов состоит в получении надёжных представлений о структуре системы шаровых скоплений Галактики и о связи различных групп этих скоплений с диском Галактики, с её галактиками-спутниками и Местным сверхскоплением галактик. Это позволит с большей определённой развивать теорию формирования нашей и других галактик.

Практическое значение полученных результатов состоит в том, что использованные автором методы анализа пространственной структуры галактических объектов могут применяться другими авторами для изучения подобных объектов, данные о которых поступают лавинообразно.

Замечания по содержанию диссертации.

1. Общее замечание: в тексте присутствуют многочисленные нарушения правил и традиций русского языка и астрономической терминологии. Порой это затрудняет понимание смысла.

2. Введение: фраза «...за галактикой образуется приливной хвост...» говорит о неверном представлении автора о влиянии приливного эффекта. (Это не оговорка, поскольку повторяется в п. 3.1.) Автору следует иметь в виду, что приливные выступы и потоки не похожи на хвосты комет.

3. Глава 1. Утверждение о малой роли межзвездного поглощения света выглядит неубедительным. Например, замеченная автором сигарообразная структура в распределении шаровых скоплений при $R < 3$ кпк, ориентированная большой осью перпендикулярно галактической плоскости, явно указывает на влияние поглощения света в плоскости Галактики, усложняющее обнаружение скоплений вблизи этой плоскости.

4. Глава 2. В пункте 2.1. фраза «Из-за высоких скоростей движений возникают приливные хвосты...» свидетельствует о том, что автор недостаточно ясно понимает суть приливного эффекта, проявление которого, на самом деле, уменьшается с ростом скоростей.

5. Глава 3. Исследуя распределение шаровых скоплений, отнесённых в приливным потокам, автор обнаруживает избыток скоплений, концентрирующихся к плоскости Галактики и заключает, что они не могут быть связаны с распадом галактик-спутников. При этом, однако, не обсуждается эффект динамического трения, под действием которого околополярные орбитальные плоскости скоплений приближаются к экваториальной плоскости Галактики. Без обсуждения этого эффекта сделанный в работе вывод становится менее надёжным.

Перечисленные замечания не умаляют научной ценности выполненных диссертантом исследовательских работ.

Заключение ведущей организации по диссертации

Диссертация Н. Р. Аракелян представляет заметный вклад в представление о формировании не только нашей Галактики, но и в общую картину формирования галактик. На новом материале подтверждается неоднородность системы шаровых скоплений, их неодномоментность формирования и связь с разными подсистемами Галактики и её окружения. Диссертант разработал и применил новый метод исследования неоднородности распределения в пространстве шаровых скоплений и галактик-спутников, что привело к интересным и важным выводам.

Результаты диссертации опубликованы в статьях в международных рецензируемых журналах и имеют на данный момент 11 цитирований, что указывает на научный и практический интерес в астрономическом сообществе.

Автореферат диссертации верно отражает её содержание.

Диссертационная работа Н. Р. Аракелян «Исследование взаимосвязи системы шаровых скоплений Галактики и её окружения» соответствует всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности «01.03.02 – Астрофизика и звёздная астрономия».

Отзыв принят на заседании Координационного Совета по астрофизике Государственного астрономического института имени П.К. Штернберга МГУ имени М.В. Ломоносова. На заседании присутствовало 20 члена Совета из 30. Результаты голосования: «за» – 20; «против» – 0; «воздержалось» – 0. Протокол № 14 от «22» июня 2022 г.

Отзыв составил доцент кафедры экспериментальной астрономии Физического факультета МГУ, кандидат физико-математических наук В. Г. Сурдин.

Председатель Координационного совета
по астрофизике ГАИШ МГУ
доктор физико-математических наук

А.С. Гусев

Директор ГАИШ МГУ
доктор физико-математических наук,
член-корреспондент РАН

К.А. Постнов

