



УТВЕРЖДАЮ
Директор САО РАН

Г.Г. Валявин

17 сентября 2024 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук

Диссертация «Исследование спектров суммарного излучения звездных скоплений нашей и других галактик», представляемая на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.1 Физика космоса, астрономия выполнена в лаборатории внегалактической астрофизики и космологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук (САО РАН).

В период подготовки диссертации соискатель Маричева Маргарита Игоревна работала в САО РАН в должности стажера-исследователя в лаборатории внегалактической астрофизики и космологии.

В 2020 г. окончила Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» по специальности 03.05.01 Астрономия и ей присвоена квалификация «Астроном. Преподаватель».

В период подготовки диссертации соискатель обучался по программе подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре САО РАН по направлению 03.06.01 Физика и астрономия, профиль 01.03.02 Астрофизика и звездная астрономия, а в 2024 году успешно окончила ее.

Научный руководитель – кандидат физ.-мат. наук Шарина Маргарита Евгеньевна работает в лаборатории внегалактической астрофизики и космологии САО РАН в должности старшего научного сотрудника.

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

Целью исследования является детальное изучение свойств звездных населений шаровых скоплений нашей и других галактиках. Предполагается исследовать спектры суммарного излучения скоплений с помощью разработанной специальной методики на предмет измерения их фундаментальных параметров: химического состава, возраста и удельного содержания гелия. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: определение и сравнительный анализ следующих фундаментальных параметров Галактических и внегалактических шаровых скоплений: химический состав, возраст и удельное содержание гелия (Y); сравнение подобранных по спектрам суммарного излучения изохрон звездной эволюции с наблюдаемыми диаграммами "цвет – звездная величина" (CMD) скоплений, если имеются данные глубокой звездной фотометрии; сравнение полученных возраста, Y и химического состава исследуемых скоплений с таковыми у детально изученных в литературе звезд и шаровых скоплений разных подсистем нашей Галактики.

Анализ спектров суммарного излучения шаровых скоплений является одним из наиболее эффективных инструментов определения их возраста и химического состава, а также изучения эволюции родительских галактик (см. например, Larsen et al. 2022, Colucci et al. 2017, Sakari et al. 2016 и ссылки в этих статьях). Актуальность выполненного исследования заключается в том,

что в работе предложены новые идеи и подходы для определения возраста и химического состава шаровых скоплений. Полученные результаты и разработанные методы способствуют решению многих широко обсуждаемых в литературе проблем, таких как: проблема разделения эффектов возраста и металличности на интегральные характеристики скоплений, проблема влияния свойств звезд горизонтальной ветви на результаты оценки возраста скоплений и звездных комплексов.

Свойства звездных населений шаровых скоплений служат основанием для построения теорий звездной эволюции (например, Kruijssen et al. 2019). Шаровые скопления, которые являются свидетелями формирования и эволюции Млечного Пути, несут следы свойств окружающей среды, в которой они образовались. Поэтому продолжается активное изучение свойств звездных населений шаровых скоплений, а также процессов формирования и химической эволюции звезд в них, что важно как для понимания процессов нуклеосинтеза и звездной эволюции в ранней Вселенной (см., например, Sharina 2016, Acharova et al. 2022), так и для понимания того, как возникли и формировались основные структурные компоненты нашей и других спиральных галактик: диск, гало, балдж.

Несмотря на прогресс наблюдательной и теоретической астрофизики, определение абсолютных возрастов шаровых скоплений и содержания гелия в их звездах остается проблемой (см., например, Cabrera-Ziri et al. 2019 и ссылки). Морфология горизонтальной ветви (НВ) в шаровом скоплении и свойства звезд НВ, такие как эффективная температура T_{eff} и сила тяжести на поверхности $\log(g)$, связаны с масштабами вариаций массовой доли гелия (Y) и содержаний легких элементов (D'Antona et al. 2002), а также эффективности потери массы красными гигантами. Метод, используемый в данном исследовании и разработанный Sharina et al. 2020, в отличие от большинства работ по моделированию спектров суммарного излучения скоплений в литературе (например, Moura et al. 2019), опирается на изучение вклада звезд НВ в суммарные спектры скоплений. Настоящее исследование посвящено демонстрации важности исследования этого вклада для наиболее правильного определения изохроны звездной эволюции, описывающей спектр суммарного излучения.

Научная новизна работы заключается в анализе наблюдательных данных, полученных на 6-м телескопе БТА САО РАН и 1.93-м телескопе обсерватории Верхнего Прованса, результаты для которых ранее не публиковались. Для всех внегалактических шаровых скоплений выборки впервые представлены параметры звезд НВ, заданные выбранными для анализа спектров изохронами. Для скоплений Vol20, Vol50 (галактика M31) и скопления C39 (галактика M33) впервые получены оценки возрастов из анализа спектров их суммарного излучения. Впервые получены содержания $[C/Fe]$ для 9 внегалактических скоплений выборки. Содержания Mg, Ca, Ti, Cr, Mn для V317, V2, V165, C39, Vol20, Vol50. Для скоплений Vol6, Vol45 впервые приводятся содержания $[Mn/Fe]$, $[Cr/Fe]$. Для выборки галактических скоплений низкой поверхностной яркости впервые представлен анализ спектров их суммарного излучения. Получены значения абсорбционных индексов, оценки возрастов и средние значения содержаний элементов α - процесса $[\alpha/Fe]$.

Научная и практическая значимость исследования заключается в том, что основные результаты, представленные в данном исследовании, вносят вклад в исследование фундаментальных параметров внегалактических шаровых скоплений, в том числе – наиболее низкометаллических шаровых скоплений, которые чрезвычайно редки. Полученные в данной работе значения возраста, Y и химического состава скоплений могут быть использованы исследователями в процессе изучения нуклеосинтеза и эволюции галактик и их подсистем.

Разработанный алгоритм оптимального подбора изохрон для расчета синтетических спектров скоплений, выполняющий минимизацию отклонений между наблюдаемым и модельным спектрами, может быть использован исследователями для анализа абсорбционных спектров суммарного излучения скоплений и звездных комплексов. Построены зависимости между шириной на половине интенсивности (FWHM) и глубиной бальмеровских линий от возраста и металличности Z в синтетических спектрах суммарного излучения шаровых скоплений с использованием изохрон звездной эволюции. Данные зависимости помогают в оценке вклада звезд НВ в спектр суммарного излучения скоплений и правильной оценке их возраста. Выполненное определение Ликских индексов, возраста и металличности Галактических скоплений низкой поверхностной яркости, изучение которых осложнено удаленностью этих объектов или ослаблением света пылью вблизи плоскости Галактики. Результаты могут быть использованы для изучения свойств их звездных населений, а также возможной принадлежности этих объектов звездным потокам.

Личный вклад автора заключается в участии в наблюдениях на телескопе БГА по программе М.Е. Шариной «Свойства звездных населений внегалактических шаровых скоплений». Автором выполнялась редукция полученных длиннощелевых спектров суммарного излучения шаровых скоплений. Автором определены возраст, удельное содержание гелия и химический состав по методике из Sharina et al. 2020 для объектов данного исследования. Для Галактических скоплений рассчитывались значения абсорбционных индексов в Ликской системе и проводилось сравнение полученных значений с модельными. Также автором выполнено исследование влияния вклада звезд горизонтальной ветви в суммарный спектр. Выполнена разработка программы автоматического подбора изохрон звездной эволюции для расчета синтетических спектров.

Все результаты, выносимые на защиту, аргументированы и подробно изложены в четырех статьях соискателя, опубликованных в рецензируемых журналах списка ВАК. Представленные результаты и выводы обсуждались на шести всероссийских конференциях в виде устных и постерных докладов, а также на семинаре САО РАН.

По докладу Маричевой М.И. на Ученом совете САО РАН были заданы вопросы, на которые докладчик исчерпывающе ответил.

В выступлениях Валявин Г.Г. и Моисеев А.В. отметили, что работа демонстрирует хорошее исследование. Также ими было высказано мнение, что полученный возраст 13.6 млрд. лет для шарового скопления Vol20 требует дополнительной трактовки и необходимости отметить проблему. Караченцев И.Д. особо отметил отсутствие грамматических ошибок в представлении результатов работы. Моисеев А.В. высказал мнение, что методика использования Ликских индексов является хорошим индикатором уровня результата работы. Он обратил внимание на работу как пример проведения последовательного исследования с момента его начала в качестве дипломной работы, набор публикаций, и что диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Его мнение было поддержано другими членами Ученого совета.

Ученый совет пришел к заключению, что представляемая диссертация является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой. Выполненная работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, паспорту научной специальности, а соискатель заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Исследование спектров суммарного излучения звездных скоплений нашей и других галактик» Маричевой Маргариты Игоревны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.1 Физика космоса, астрономия.

Заключение принято на заседании Ученого совета САО РАН 16 сентября 2024 года.

Присутствовало на заседании 14 чел.

Результаты голосования: "за" – единогласно, протокол №430 от 16 сентября 2024 года.

Председатель Ученого совета
директор САО РАН,
кандидат физ.-мат. наук



/Валявин Г.Г./

Ученый секретарь САО РАН
кандидат физ.-мат. наук

/Кайсина Е.И./