

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

**Селезнёва Антона Фёдоровича**

*«Исследования населения, структуры и динамики звёздных скоплений»*,

представленную на соискание учёной степени

доктора физико-математических наук

по специальности 01.03.02 - астрофизика и звёздная астрономия.

Шаровые и рассеянные звёздные скопления традиционно являются наиболее информативными источниками о структуре, а также химической и динамической эволюции нашей и других галактик. Кроме того, звёздные скопления являются уникальными объектами, по которым очень удобно изучать процессы звездообразования. Однако сами скопления со временем изменяют не только свою структуру и кинематику, но иногда и химический состав, что естественно искажает наши представления об условиях в межзвёздной среде на момент их рождения. Кроме того, на разных расстояниях от центра и плоскости Галактики условия в межзвёздной среде различаются. Поэтому очень важно знать эти характеристики у скоплений разного возраста и расположенных на разных расстояниях от галактического центра. Особую *актуальность* данная тематика приобрела благодаря появлению в последние годы глубоких прецизионных фотометрических, спектроскопических и астрометрических обзоров, поскольку теперь появилась возможность выявлять детали даже у весьма удаленных от Солнца скоплений. Именно исследованию структуры некоторых малоизученных звёздных скоплений, и их химической и динамической эволюции и посвящена диссертационная работа Селезнёва Антона Фёдоровича. В частности, в диссертации с помощью разработанного соискателем программного обеспечения на базе прецизионных всенебесных каталогов 2MASS, Gaia DR2 и др., а также оригинальных фотометрических наблюдательных данных построены функции распределения светимости, скорости и пространственной плотности звёзд в большом числе избранных скоплений и определены их фундаментальные характеристики. При этом, для анализа распределений, как правило, использовалась методика статистического оценивания плотности вероятности с помощью принципа Kernel Density Estimator (KDE).

Диссертационная работа Селезнёва А.Ф. состоит из введения, пяти глав с указаниями публикаций автора и выводами в каждой, заключения и списка цитированной литературы. Основные результаты диссертации *опубликованы* за период с 1993 г. по 2021 г. в 51 работе, почти половина из которых - в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК.

Во *введении* дан развернутый обзор современного состояния исследования звёздных скоплений. Там же сформулированы цели работы, её

задачи, охарактеризована научная новизна, научная и практическая значимость результатов, методология и методы исследования, достоверность результатов, приведено краткое содержание всех глав диссертации и сформулированы девять основных положений, выносимых на защиту. Представлены также сведения об апробации результатов, личном вкладе автора и перечень публикаций.

В *первой главе* описывается методика обработки наблюдательных данных, обосновывается преимущество индивидуальных исследований рассеянных скоплений по сравнению с автоматическими. Описаны методики построения и оценки различных функций распределения в скоплениях. По фотометрическим данным исследованы 25 малоизученных рассеянных скоплений, а также структура галактического диска по наблюдениям в направлениях специально отобранных площадок со скоплениями. В результате обнаружено искривление и расширение галактического диска.

Во *второй главе* исследованы структура, кинематика и динамика нескольких рассеянных звёздных скоплений по данным каталогов точечных источников 2MASS и Gaia DR2. В результате подтверждено наличие протяженных корон у нескольких рассеянных скоплений, открыты приливные хвосты у скопления Ruprecht 147 и исследован звёздный поток, визуально связанный со скоплением Альфа Персея. Показано, что короны скоплений формируются, главным образом, звёздами с энергиями больше критической, причём движущихся внутри скопления в обратном направлении, по сравнению с движением скопления вокруг галактического центра. В главе подробно обсуждаются разные подходы к исследованию данных и вырабатываются критерии определения основных характеристик скоплений. Для удобства работы составлен онлайн атлас, содержащий 3291 рассеянное скопление.

*Третья глава* посвящена исследованию пространственного распределения звёзд разных населений внутри шаровых скоплений Омега Центавра и Agr 2. В ней, в частности, было показано и статистически обосновано, что центры распределений и ориентации осей эллипсоидов, аппроксимирующих распределения плотности богатых и бедных металлами звёзд скопления Омега Центавра, не совпадают, причём богатое металлами население сильнее концентрируется к центру скопления, чем бедное. Сделан вывод, что одновременно такие особенности структуры могли осуществиться лишь в случае, если это скопление было центральным в карликовой галактике, разрушенной и захваченной впоследствии Млечным Путём. В скоплении Agr 2 распределения голубых бродяг, красных гигантов и звёзд горизонтальной ветви значимо не различаются, зато звёзды главной

последовательности значительно слабее концентрируются к центру скопления. Делается вывод, что голубые бродяги это первичные двойные системы, в которых часть вещества уже перешло с более массивного компонента на менее массивный, но звезда еще не ушла с главной последовательности.

В *четвертой главе* исследована структура молодого звёздного скопления NGC 2070 в Большом Магеллановом Облаке, которое является ближайшей к Земле областью взрывного звёздообразования. Соискатель выделил в гало скопления подгруппы звёзд разного возраста, существование которых он объяснил малым возрастом скопления, который меньше времени его бурной релаксации. Поэтому выделенные подгруппы все ещё остаются вблизи мест своего рождения. Кроме того, в нашей Галактике обнаружено и исследовано ранее неизвестное погружённое скопление в области звёздообразования G174+2.5.

В *пятой главе* исследуются распределения масс нескольких рассеянных и шаровых скоплений, построенные на основе функции светимости методом KDE, для получения оценок масс звёздных скоплений. Параллельно исследовались наклоны функции масс в разных диапазонах массы отдельно для гало и ядер скоплений. В результате выявлена заметная сегрегация звёзд по массе. Обнаружено несоответствие масс, полученных фотометрическим и динамическим методами. Показано, что "динамические" массы скоплений существенно завышены, что соискатель объяснил завышением дисперсии лучевых скоростей из-за присутствия в скоплениях неразрешенных двойных звёзд. С другой стороны, показано, что влияние неразрешенных двойных несколько занижает фотометрическую оценку массы скопления.

В *заключении* перечислены основные результаты работы, намечены перспективы дальнейших исследований автора по теме, анонсировано написание монографии "Звёздные скопления" и вынесены благодарности.

Диссертация Селезнёва Антона Фёдоровича представляет собой астрофизически грамотную, математически строгую и фундаментальную работу с долгосрочной перспективой её продолжения. Все выносимые на защиту результаты, методы исследования, разработанные программы и выводы диссертации являются *новыми*. Все этапы исследований выполнены тщательно и подробно описаны, что позволяет их повторить. Полагаю, что разработанный новый подход исследования внутренней структуры и фундаментальных характеристик населений внутри звёздных скоплений можно квалифицировать как *новое направление* в звёздной астрономии. *Достоверность* полученных результатов и *обоснованность научных*

*положений и выводов* обеспечивается использованием прецизионных наблюдательных данных и корректных методов их статистической обработки, а также тестированием результатов численным моделированием, многочисленными докладами и обсуждениями на конференциях разного уровня и широко цитируемыми публикациями в ведущих мировых рецензируемых журналах. Результаты диссертации непременно должны использоваться в исследованиях по звёздной астрономии, ведущихся в научных учреждениях как у нас в стране, так и за рубежом. Полагаю, что разработанные методы исследований скоплений должны быть изложены в курсе лабораторных работ для студентов астрономических ВУЗов. Основные результаты диссертации детально *опубликованы*. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Работа написана хорошим языком, количество ошибок и описок минимально, все положения научно *обоснованы*, однако хотелось бы высказать несколько субъективных *замечаний*.

1. Главное мое замечание касается стиля изложения, которое ведется от третьего, а не от первого лица. Дело в том, что везде по тексту соискатель делает ссылки на опубликованные работы других авторов, в том числе и на свои. Иногда результат просто описывается со ссылкой на работу соискателя. Приходится обращаться к списку использованных источников, чтобы убедиться, что это именно его результат. Зато отсылки на соответствующие параграфы самой работы практически отсутствуют.

Например, на стр. 84 вместо доказательства влияния родительского комплекса на размер приливного радиуса скопления просто приводятся ссылки на две работы. Причем только одна из работ в соавторстве с соискателем.

На стр. 114 написано, что кинематика скопления Плеяды выполнена Даниловым, но дана ссылка на совместную работу, а результат вынесен на защиту.

На стр. 216 дана ссылка на работу [236], в которой обнаружены два неизвестных ранее относительно бедных рассеянных скопления и открытие одного из них выносится на защиту. Однако в числе трех перечисленных соавторов работы [236] из списка литературы нет соискателя. И только обратившись к списку опубликованных соискателем статей, где перечислены все авторы, можно найти его фамилию шестым соавтором.

Нет ссылок, где можно увидеть разработанные автором программы.

И еще много других аналогичных примеров в тексте.

2. Использован неудачный термин "в полях рассеянных звёздных скоплений". Следовало бы сразу объяснить, зачем в избранной для исследования площадке неба должно присутствовать скопление?
3. Описывая на стр. 67 направление луча зрения относительно плоскости Галактики на избранные площадки с молодыми скоплениями, желательно проиллюстрировать не простым описанием, а рисунком. В этом же параграфе просто декларировано, что в полях исследуемых скоплений обнаружены молодое и старое населения, но никаких доказательств не приводится.
4. На стр. 134, сравнивая положения областей на небе на двух рисунках 2.22 и 2.27, хорошо бы совпадения обосновать статистически.
5. Нет обоснования, почему обратные орбиты звёзд корон скоплений более устойчивы?
6. На стр. 167 не раскрыто, как из содержания кальция определено содержание железа?

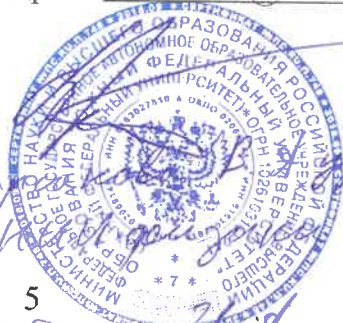
Отмеченные недостатки не умаляют большой ценности диссертации как капитального научного труда, посвященного развитию весьма важного направления астрофизики – изучению населений рассеянных и шаровых звёздных скоплений, а также областей интенсивного звездообразования. Представленная диссертация свидетельствует о высоком уровне квалификации её автора как исследователя в области астрофизики и звёздной астрономии. *Диссертация Селезнёва Антона Фёдоровича «Исследования населения, структуры и динамики звёздных скоплений» полностью удовлетворяет* всем критериям, установленным Положением, а её автор вполне *заслуживает* присуждения ему учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.03.02 - астрофизика и звёздная астрономия.

Отзыв составил официальный оппонент Владимир Андреевич Марсаков, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник НИИ физики Южного федерального университета, расположенного по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194. Телефон: +7 918 527 34 52, потовый адрес: [marsakov@sfedu.ru](mailto:marsakov@sfedu.ru).

06 декабря 2021 г.

В.А. Марсаков

Подпись Марсакова  
директор ЮФУ  
ЮФУ



5