

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию СЕЛЕЗНЕВА Антона Федоровича «Исследование населения, структуры и динамики звездных скоплений», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия

Диссертация **Селезнева Антона Федоровича** посвящена изучению звездных скоплений, как шаровых, так и рассеянных. Звездные скопления играют важную роль в изучении структуры, динамики и эволюции Галактики. Относительно более молодые рассеянные звездные скопления (РЗС) используются для изучения галактических дисков – тонкого и толстого, галактической спиральной волны плотности, процессов распада скоплений с образованием звездных шлейфов. Привлекают внимание и внутренние процессы, происходящие в рассеянных звездных скоплениях, такие как влияние неразрешенных двойных и кратных систем на определяемые характеристики скоплений, формирование звездных корон скоплений и др. Более возрастные шаровые скопления (ШС) применяют для изучения гало, наряду с карликовыми галактиками-спутниками они, в частности, играют важную роль при оценивании массы Галактики. Имеется также интерес к вопросу происхождения “голубых бродяг”.

Появление в последнее время всенебесных высокоточных астрометрических и фотометрических обзоров неба, полученных с борта космических аппаратов, создали отличную базу для углубленного анализа звездных скоплений. В диссертации, в частности, широко используются данные каталогов Gaia, 2MASS, UKIDSS. Для детального анализа распределения как поверхностной, так и пространственной звездной плотности в скоплении, диссертант применяет метод, основанный на адаптивном сглаживании. Диссертант не ограничивается анализом скоплений, принадлежащих только нашей галактике, но и проводит изучение ряда скоплений в Большом Магеллановом Облаке с использованием современных высокоточных наблюдательных данных. Таким образом, **актуальность работы** не вызывает сомнений.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Она изложена на 318 страницах, включает 23 таблицы и 81 рисунок, список литературы содержит 299 наименований.

Сущность полученных результатов. В диссертации широко применяется метод Kernel Density Estimator (метод KDE), основанный на адаптивном сглаживании. Этот метод служит для определения таких характеристик звездного скопления как поведение линейной, поверхностной и пространственной плотности, функций блеска, светимости и масс и др. Для ряда близких РЗС, таких как Плеяды, Альфа Персея, Rup 147 по данным каталога Gaia DR2 были отобраны их вероятные члены. Для оценки вероятности принадлежности звезд к скоплению диссертантом предложен “метод равномерного фона”. В итоге обнаружены приливные хвосты скопления Rup 147, исследован звездный поток в окрестностях скопления Альфа Персея, исследована кинематика звезд в скоплении Плеяды и были сделаны важные выводы о динамическом состоянии этого скопления. Подтверждены выводы о наличии протяженных корон у скоплений Плеяды, Rup 147 и ряда других РЗС.

Исследован звездный состав и структура ШС ω Сен и Арг 2. В ШС ω Сен были исследованы различия в пространственном распределении звезд разного химического состава. С этой целью был реализован метод аппроксимации изолиний плотности на картах распределения поверхностной плотности эллипсами. Найдены значимые различия в распределениях звезд разных населений. В ШС Арг 2 проведено сравнение пространственного распределения звезд голубых бродяг, звезд горизонтальной ветви, ветви красных гигантов и главной последовательности. Сделан вывод о том, что наиболее вероятный механизм образования голубых бродяг в скоплении Арг 2 является перенос вещества с одного компонента на другой в тесных первичных двойных системах.

По данным каталога 2MASS исследован комплекс звездообразования G174+2.5. На основе построенных карт плотности было обнаружено неизвестное ранее скопление S232 IR. Исследована структура гало звездного скопления NGC 2070 в Большом Магеллановом Облаке. Обнаружено, что гало скопления состоит из большого числа субскоплений. Показано, что гало скопления асимметрично, радиальные профили плотности имеют ступеньки и вторичные максимумы, что говорит о нестационарности скопления в регулярном поле.

Для ряда звездных скоплений были построены функции блеска и функции масс. На основе этих зависимостей были получены нижние оценки масс этих скоплений. Для РЗС NGC 4337 проведено сравнение фотометрических и динамических оценок массы. Показано, что динамические оценки массы в несколько раз больше фотометрических оценок. Был сделан вывод о том, что значение дисперсии скоростей завышено.

Исследовано влияние неразрешенных кратных звезд на фотометрические оценки массы РЗС. Получены поправочные коэффициенты к оценке массы скопления, найденной в предположении, что все звезды являются одиночными

при различных значениях доли кратных звезд, различных предположениях о распределении отношения масс компонент кратных систем и о разной доле систем разной кратности. Диссертантом был предложен метод составления пары с ограничением по светимости и доказано, что именно этот метод должен использоваться при уточнении массы скопления за счет наличия неразрешенных кратных звезд.

Научная новизна результатов диссертации определяется тем, что в ней: Проведено исследование ряда близких РЗС Плеяды, Аль а Персея и Rup 147 с использованием данных каталога Gaia DR2. Показано, что ядро скопления Плеяды гравитационно неустойчиво и обладает вращением в прямом направлении. Выяснена структура звездного потока, связанного со скоплением Альфа Персея; показано, что поток имеет возраст около 5 миллиардов лет, обладает заметным населением белых карликов и расположен в среднем в 90 парсеках дальше скопления. Обнаружены приливные хвосты скоплений Rup 147 и Альфа Персея.

Предложен “метод равномерного фона” для оценки вероятности принадлежности группы звезд к скоплению. Произведен отбор наиболее вероятных членов РЗС Плеяды. Показано, что полученная выборка существенно полная (10% потерянных звезд) и существенно чистая (5% звезд поля).

Рассмотрена динамика корон РЗС и выяснена причина их формирования: существование периодических орбит звезд с энергиями больше критической и периодами, сравнимыми с временем жизни скоплений, и большого числа близких к таким орбитам обратных незамкнутых траекторий звезд.

Разработан комплексный подход к определению параметров звездных скоплений методом KDE. Отработана методика получения функций блеска и функций масс звездных скоплений, показаны преимущества метода KDE перед методом гистограмм.

Для РЗС NGC 4337 показано, что динамическая оценка его массы в несколько раз больше фотометрической оценки. Выдвинуто предположение о том, что значение дисперсии скоростей завышено, и одна из возможных причин – это наличие неразрешенных двойных звезд в выборке.

Исследовано влияние неразрешенных кратных звезд на фотометрическую оценку массы скопления. Получены поправочные коэффициенты к массе скопления, найденной в предположении, что все звезды в скоплении одиночные.

Впервые показано существование значимых различий в пространственном распределении звезд разных населений в шаровом скоплении ω Сеп.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций. Достоверность исследования структуры звездных скоплений,

их звездного состава и динамики обеспечивается согласием полученных результатов с опубликованными другими авторами.

Замечания по диссертации:

1). Считаю, что недостаточно обоснован вывод диссертанта о крупномасштабном расширении диска Галактики. Хорошо известны эффекты расширения некоторых ОВ-ассоциаций (например, Мельник, Дамбис, Астрон. журн., 2018, т.95, 895-900) от их центров со скоростями около 4-6 км/с, наиболее заметным расширением обладает ОВ-ассоциация Скорпиона-Центавра (Бобылев, Байкова, Астрон. журн., 2020, т.97, 301-311). Известно также небольшое расширение более крупного образования – пояса Гулда от его предполагаемого центра со скоростью около 2-4 км/с (Бобылев, Байкова, Астрофиз. бюлл., 2020, т.75, 303-314). Однако анализ современной большой выборки классических цефеид говорит об отсутствии значимо отличающегося от нуля как плоского, так и объемного эффекта глобального расширения диска Галактики (Бобылев, Байкова, Письма в Астрон. журн., 2021, т.47, 634-645). При этом необходимо отметить, что для выявления такого тонкого эффекта необходимо производить анализ скоростей звезд или рассеянных звездных скоплений, которые освобождены от дифференциального вращения Галактики. В диссертации ничего не сказано о таком учете. На мой взгляд, мала статистика – диссертант использовал всего лишь пять площадок в третьем галактическом квадранте. Наконец, диссертант не приводит никаких количественных оценок эффекта расширения галактического диска.

2). Зачем при выделении вероятных членов скопления сужать интервал значений кинематических параметров (собственных движений и лучевой скорости) если скопление нестационарно? В случае относительно старых РЗС и ШС такой подход, безусловно, оправдан. Однако насколько это необходимо в случае очень молодого РЗС Альфа Персея, которое является почти ОВ-ассоциацией?

Редакционные замечания:

1). Зачастую при перечислении звездных скоплений не говорится о том шаровое это или рассеянное звездное скопление, например, “Это скопления ω Cen, M54, NGC 1851, NGC 2808, M22 и другие” (стр. 11), что затрудняет восприятие материала.

2). На стр. 111 говорится о среднем значении лучевой скорости звезд РЗС Плеяды около 5.8 км/с. Но из текста непонятно почему на рис. 2.15 значения скоростей не превышают 1 км/с.

3). В диссертации имеется много прекрасных оригинальных иллюстраций, которые могли бы украсить автореферат, который совершенно свободен от них, и поэтому выглядит скучноватым.

Диссертация написана ясным языком, хорошо проиллюстрирована. Оценивая ее в целом, можно заключить, что эта работа является первоклассным научным исследованием, направленным на детальное изучение структуры и динамики рассеянных и шаровых звездных скоплений. Высказанные замечания не влияют на высокую оценку диссертации.

Полнота представления результатов. Основные результаты диссертации отражены в 24 научных статьях, которые опубликованы в реферируемых журналах, рекомендованных ВАК, причем большая часть из них в высокорейтинговых журналах с высоким импакт-фактором. Результаты диссертации неоднократно докладывались на российских и международных астрономических конференциях. В работах, написанных в соавторстве, личный вклад соискателя четко обозначен. **Автореферат** правильно отражает содержание диссертации.

Заключение. Все вышеизложенное позволяет заключить, что диссертация Антона Федоровича Селезнева “Исследование населения, структуры и динамики звездных скоплений” является законченным самостоятельным исследованием, выполненном на высоком научном уровне. Диссертация удовлетворяет всем критериям, установленным Положением ВАК о порядке присуждения степени доктора наук, а ее автор Селезнев Антон Федорович, безусловно заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия.

Официальный оппонент
доктор физ.-мат. наук,
главный научный сотрудник,
заведующий лабораторией динамики Галактики
ГАО РАН

В. В. Бобылев

196140, Россия, Санкт-Петербург,
Пулковское шоссе д. 65 корп. 1,
vbobylev@gaoan.ru,
тел. +7 921 4233953,
Бобылев Вадим Вадимович.

05.02.2022 г.

Подпись В.В. Бобылева удостоверяю,
Ученый секретарь ГАО РАН,
кандидат физ.-мат. наук



О. Ю. Барсунова