

Методы и модели в естественных науках

Структура и эволюция рассеянных звездных скоплений: теория и наблюдения на основе данных Gaia*

Е.С. Постникова^I, О. Л. Рябухина^I, А.В. Тутуков^I,
С.В. Верещагин^I, Н.В. Чупина^I, А. П. Демидов^{II}

^I Федеральное государственное учреждение «Институт астрономии
Российской академии наук», г. Москва, Россия

^{II} Align Technology, Inc., г. Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрено строение и эволюция рассеянных звездных скоплений (РЗС) на примерах РЗС Плеяды и группы РЗС в области Меча Ориона. Проведен отбор звезд по данным Gaia. Прослежена связь скоплений Меча Ориона с молекулярными облаками по данным космического аппарата «Гершель». Показано место рассмотренных объектов в общей схеме эволюции, составленной нами ранее. Сделан вывод о назревшей необходимости расширения классификации РЗС. Рассмотренная звездная система Плеяд показала наличие обширного звездного гало. Найденный в окрестности РЗС звездный поток Рыб – Эридана, вероятно, генетически связан с Плеядами и совместно с ним представляет остатки распавшейся ОВ ассоциации. В области Меча Ориона наблюдающиеся молодые РЗС, по всей вероятности, связаны с молекулярными облаками. Меч Ориона является видимой с ребра дисковой структурой продуктом столкновения двух гигантских молекулярных облаков. Данные о РЗС быстро пополняются, число РЗС растет за счет их выявления в обзорах Gaia. Анализ данной области может повторяться и расширяться по увеличивающемуся со временем объему данных с помощью проверенных методик, укладываясь в концепцию управления данными в областях с интенсивным использованием данных.

Ключевые слова: информационная поддержка, рассеянные звездные скопления, Плеяды, область Меча Ориона, аналитика, управление данными.

DOI: 10.14357/20790279230114

Введение

РЗС представляют собой звездные системы, связанные общим происхождением и гравитацией. РЗС являются необходимым инструментом для изучения эволюции как

звезд, так и Галактики. Исследование звездных скоплений позволило предложить схему их классификации по внешнему виду (распределение плотности звезд по радиусу скопления с выделением ядра и короны) и свойствам, основанным на виде их диаграммы цвет-величина (ярчайшие звезды, возраст). Данные Gaia позволили детализировать эту схему, уточнить возрасты и расстояния скоплений от Солнца и

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и в рамках научного проекта «Теоретическая химико-динамическая модель диска Галактики: рассеянные скопления как маркеры динамической эволюции», грант № 20-52-12009.

изучить структуру как центральной части скопления, так и далекой от центра периферию (гало, шлейфы (“копья”), удаленные шлейфы (“суперкопья”). Возросшая надежность данных о скоростях позволила более точно (на уровне точности менее ~ 1 км/с) изучать кинематику звездных скоплений, что важно для наиболее полного понимания того, как формируются и развиваются РЗС. Эта задача актуальна на данный момент, так как получив больше данных, возможно наиболее глубоко заглянуть в особенности движения молодых скоплений и находящегося вблизи них газа, что может дать ключ к наиболее точному пониманию того как образуются звездные скопления, как ведут себя после потери газа и насколько остаточное присутствие газо-пылевой структуры влияет на их свойства. Особенно наглядна для этого рассмотренная здесь область с несколькими близко расположенными друг к другу РЗС. Кроме того, стало возможно обнаруживать двойные и кратные скопления. Актуальность задачи обоснована и тем, что результаты, полученные КА Gaia [1], [2] и наиболее крупными космическими ИК телескопами “Гершель” и “Джеймс Уэбб” [3] делают возможным изучать эволюцию РЗС путем сопоставления данных об РЗС и газе. Задача актуальна и тем, что данные Gaia активно используются для открытия новых, ранее неизвестных РЗС [4], [5]. Число выделенных РЗС может увеличиться на порядок и достигнуть нескольких десятков тысяч.

1. Краткая история классификации РЗС

По мере накопления наблюдательных данных стали понятны различия между отдельными РЗС, которые позволили поставить вопрос об описании их многообразия с помощью разработанной классификации. Поначалу такая классификация строилась на различии внешнего вида скоплений. Классификация Бэйли 1908 [6] ориентирована на учет степени концентрации звезд, пространственную форму скопления (правильной, сравнительно правильной, неправильной, рассеянной) и параметрам ярчайших звезд. С помощью каталога РЗС, составленного Мелотте (1915) [7], построена классификация РЗС на основе предложенной схемы Бэйли [6]. Позднее работа была продолжена Рааб (1922) [8]. Вскоре Трюмплер (1925) [9] предложил физически обоснованную классификацию, основанную на диаграмме Герцшпрунга-Рессела (Г Р). При этом был использован спектральный класс самой яркой звезды главной последовательности. Эта классификация была развита в работах Маркаряна

[10]. Таким образом, основой классификации стали внешний вид РЗС и диаграмма цвет – звездная величина. Современный взгляд на устройство РЗС показан на Рис.1.

2. Преимущества данных Gaia

На текущий момент поиск новых РЗС осуществляется в автоматическом режиме. Так как большие объемы данных наблюдений не позволяют быстро и качественно отождествлять такие источники визуально, к тому же слабонаселенные звездами скопления часто сливаются с общим фоном и их удобнее отождествить по совокупности нескольких параметров одновременно. Визуально нереально просмотреть и выделить на небесной сфере РЗС, рассматривая до 1.8 млрд. звезд Gaia. Однако, автоматизация поиска новых РЗС может приводить к тому, что одно и то же или известное РЗС выделяются повторно. При этом рассматриваются звезды до 20 звездной величины, что на несколько величин слабее рассмотренных ранее (в каталоге MWSC, Milky Way Star Clusters, Харченко и др. 2013 [11]). Использование высокоточных данных Gaia позволило говорить о дополнительных параметрах классификации скоплений, включая не только форму РЗС и особенности диаграммы Г-Р, но следующие показатели. Это 1) двойственность и эволюционный статус, 2) наличие экзопланет, 3) степень развития шлейфов, 4) принадлежность к группе скоплений, представляющей родительскую ОВ ассоциацию.

3. Современные представления о строении РЗС

РЗС состоит из центральной части (ядра), короны (полости Роша), шлейфов диссипативной природы, или “звездного копья”, включающего потерянные звезды и АКП (астероиды, кометы, планеты) объекты, а также и “суперкопья”. Последние включают звезды, покинувшие распавшиеся РЗС, и выжившие РЗС распадающейся родительской звездной ассоциации. Все перечисленные структуры и строение РЗС показано на Рис.1.

4. Звездные и АКП потоки

Природа движущихся звездных потоков долгое время оставалась неопределенной. Вероятно, М. Фламарион первым обратил внимание на возможное существование линейной цепочки звезд “celestial road” Плеяд (Холмс 1894) [12]. Проктор (1869) [13] нашел сходство скоростей звезд в Тель-

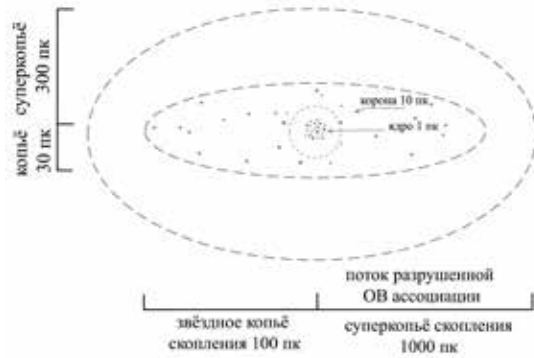


Рис. 1. Структура РЗС с массой $\sim 10^3 M_{\odot}$ с указанием масштабов

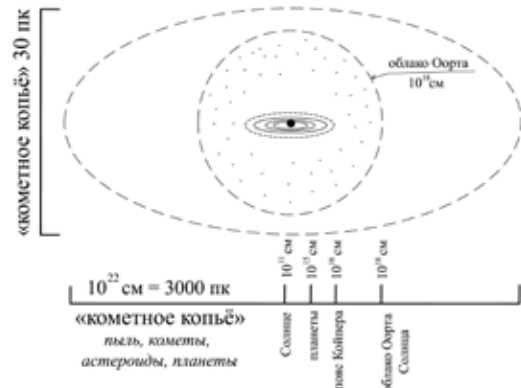


Рис.3. Структура Солнечной системы

це со скоростью звезд Плеяд. С самого начала было понятно, что для надежного отождествления звездных потоков в Галактике вблизи Солнца необходима надежная информация о скоростях большого количества звезд и определение их расстояний от Солнца (Эддингтон 1909) [14].

Скорее всего, большинство звезд рождаются в звездных скоплениях. Последние, как правило, распадаются после потери ими газовой компоненты Тутуков (1978), [15], Рис.2. В работе Тутуков и др. (2021) [16] с помощью простых численных моделей проведен анализ формирования и эволюции потоков, состоящих из астрофизических объектов различной природы, включающих звезды, звездные скопления, астероиды, кометы и планеты (Рис.3). Практически все обозначенные потоки сейчас наблюдаются. В работе Тутуков и др. (2021) [16] построены численные модели потоков, генерируемых кометами, астероидами, звездами и их скоплениями, галактиками в их скоплениях и рассмотрены условия разрушения исходных объектов.

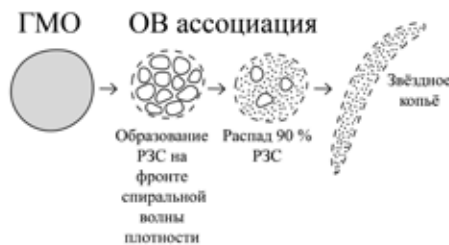


Рис.2. Сценарий эволюции РЗС и формирования звездных потоков

5. Природа звездных потоков

Назовем возможные причины разрушения астрономических объектов, ведущие к появлению

потоков и их элементов. Все планетные системы пронизывают астероидно-кометные и/или метеороидные потоки. Они являются продуктами разрушения астероидов и комет. Следует отметить, что такие потоки необязательно являются продуктами разрушения астероидов и комет. Они могут образовываться и путем конденсации газопылевых продуктов, яркий пример – планетезимали.

Как уже говорилось выше, планетные системы обладают так называемыми “копьями”, представляющими собой астероидно-кометные фрагменты (пример планетной системы Солнца на Рис. 3). Длина копий определяется возрастом их родительских звезд и может достигать галактических масштабов, Тутуков и Смирнов [17]. Звездные скопления обладают АКПЗ копьями, то есть наряду с АКП объектами включают в свой состав и звезды. Распад ОВ ассоциаций ведет к появлению широких АКПЗ копий и потоков, включающих в свой состав и отдельные скопления, сохранившиеся после исходной потери ими газа. Разрушение спутников массивных галактик ведет к появлению звездных потоков галактических масштабов. Разрушение галактик в ходе столкновений внутри скоплений галактик превращает эти галактики в широкие звездные потоки, составляющие, в конечном итоге, непрерывный звездный фон скоплений галактик.

Назовем основные процессы разрушения наблюдаемых объектов и систем. Ледяные ядра комет разрушаются в процессе испарения льда и выброса пыли и камней давлением водяного пара на горячих орбитах вокруг своих звезд. Астероиды разрушаются в ходе их взаимных столкновений. Массивные, далекие от своих звезд планеты ускоряют АКП своей гравитацией. Зоны НП разрушают большинство молодых звездных скоплений за счет ослабления гравитационной связи скопления в целом и за счет выметания газа давлением из-

лучения, а вместе с ним и части массы системы. Кроме того, гравитационное взаимодействие звезд внутри скоплений ведет к постепенному испарению скоплений. Вспышки звездообразования и сверхновые звезды в сфероидальных галактиках, ведущие к быстрой потере газа этими галактиками, могут вести к их разрушению.

6. Межгалактические звездные потоки

Известно, что столкновения галактик между собой и приливные взаимодействия между ними могут сопровождаться частичным или их полным распадом, Вшивков и др. (2011) [18]. Приливные хвосты взаимодействующих галактик стали еще одним примером звездных потоков, возникающих в ходе разрушения их периферийных областей (Танаки 1981 [19], Борне и др. 2004 [20]). Со временем стало ясно, что часть линейных структур галактик являются звездными потоками – остатками галактик низкой плотности, разрушенных приливами массивных галактик (Гилмар 2006 [21]). Исследование плотных частей и гало Галактики показало присутствие в нем многих звездных потоков – следов разрушения ее близких спутников (Малхан и др. 2021 [22]) или же вспышками звездообразования в них. Такие структуры составляют в итоге «непрерывную» звездную среду скоплений галактик (Тутуков и др. [16]). Это явление было признано общим в мире галактик. В звездных потоках найдены следы звездных скоплений.

7. Звездная система Плеяд

Известны наблюдаемые приливные структуры, которые обнаружены вблизи шаровых скоплений, например, Pal 5 (Оденкирхен и др., 2003 [23]) и Pal 12 (Гриллмайр и др., 1995 [24]). Обнаружено, что РЗС Плеяды и альфа Персея представляют собой два потока – остатки ОВ ассоциации (Эгген 1998 [25]).

Нами проведен поиск приливных структур в районе 200 пк вокруг центра скопления Плеяды на основе Gaia DR2. В качестве инструмента поиска использовался метод сходящихся точек, описанный ван Лювен 2009 [26]. Он эффективен для обнаружения звезд с тангенциальными скоростями, близкими к скорости РЗС Плеяды. При отборе также учитывалось положение звезды и направление ее скорости в пространстве. Определен возраст скопления и размер находящегося рядом с ним звездного потока, который составляет приблизительно 100 пк. Определено его расположение относительно скопления. Получен и каталогизи-

рован список использованных звезд. Процедура отбора применена для наиболее качественных измерений, описанных Линдегрэн и др. (2018) [27], для получения выборки, очищенной от возможных артефактов. Кроме того, значение перенормированной ошибки единичного веса (RUWE), определяемое формулой Линдегрэн и др. (2018) [27] было принято <1.4 , в результате чего исключены звезды, которые в силу своей неразрешенной двойственности или проблемы с определением астрометрических параметров, не подходят для нашего исследования. Вдобавок к этому, согласно процедуре, приведенной в Gaia DR2 documentation [28], применено «сокращение коэффициента избытка потока». В результате получена фотометрически и астрометрически чистая выборка. Для повышения точности результатов пришлось пожертвовать звездами слабее $G = 15$ mag. Таким образом, определив центр скопления и применив описанную выше процедуру отбора, на начальном этапе было выделено 610 548 звезд. На Рис.4 показано распределение этой выборки по направлениям пространственных скоростей и распределение в проекции на плоскость Галактики XY. В последнем случае заметно, что пространственная форма отличается от сферически симметричной. Также на правой панели Рис.4 заметен звездный поток, расположенный близко к Плеядам и сходный по кинематике и возрасту с ними. Его звезды достаточно сложно отделить от звезд скопления в центральной части, но сам поток выделяется как сгущение звезд вдоль оси X по обе стороны от скопления.

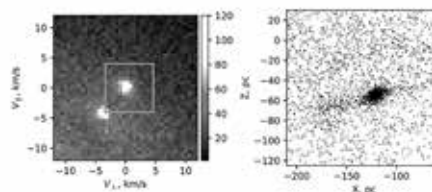


Рис. 4. Левая панель: Распределение звезд в плоскости тангенциальных скоростей. Квадратом в центральной части рисунка показана область отбора звезд РЗС Плеяды. Правая панель: распределение звезд в ZX-плоскости после выделения по направлению тангенциальных скоростей

На Рис. 4 нулевая точка — это точка схождения векторов тангенциальных скоростей звезд. Прямоугольником ограничена область, в которой производится поиск звезд скопления. Избыток плотности в левом нижнем углу обусловлен звездами РЗС альфа Персея. Избытки плотности звезд слева и справа от скопления Плеяды — части связанного с ним потока.

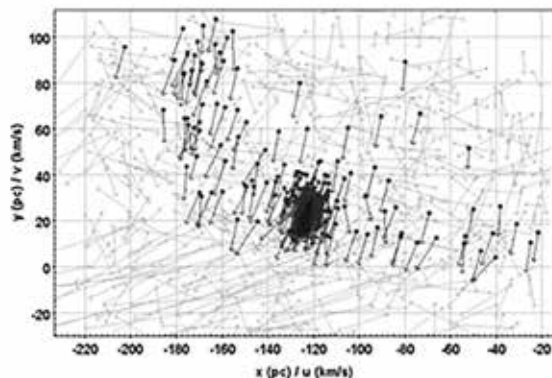


Рис. 5. Движение звезд Плеяд и связанного с ними потока (жирные стрелки) среди фона звезд (серые стрелки) в галактической плоскости

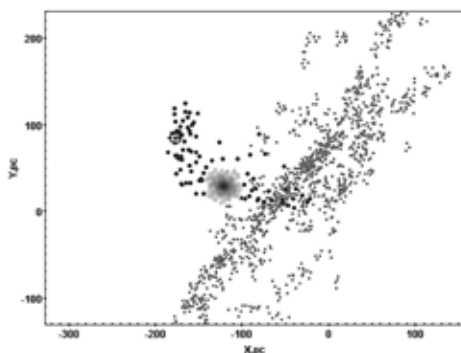


Рис. 6. Распределение звезд скопления Плеяды (область точек в центре – выборка звезд из [29]), связанного с ними потока (жирные точки) и потока Рыб-Эрида (серые точки справа от Плеяд, звезды из [29]) на плоскости XY

На Рис.5 видна вытянутая пространственная форма потока, связанного с РЗС Плеяды, а на и Рис.6 также потока Рыб-Эрида, (Розер и др. 2020 [29]). Однако эти две структуры имеют неодинаковое положение относительно друг друга и, скорее всего, являются разными структурами.

Для получения распределения звезд, представляющих звездные потоки («копья» и «суперкопья») в пространстве, представленные на Рис. 5 и Рис. 6 применена следующая методика.

Сначала был определен центр скопления $X_c, Y_c, Z_c = (-120.8, 29.1, -54.3)$ по данным из Конте-Годе и др. (2018) [30] и собственные движения также из [30], а также средняя лучевая скорость из Галли и др. (2017) [31]. Поиск звезд приливных шлейфов («копий») осуществляется в пространстве Галактики, поэтому параметры центра Плеяд, переведены в барицентрические галактические декартовы координаты.

Вокруг указанного центра X_c, Y_c, Z_c (где X направлена на ось вращения Галактики ($l=0^\circ, b=0^\circ$),

Y – в направлении вращения Галактики ($l=0^\circ, b=0^\circ$), Z – на северный галактический полюс ($b=0^\circ$)) были отобраны звезды из GDR2 в радиусе 200 пк.

Одновременно была применена процедура отбора наиболее качественных измерений, описанных в [27] Линдегрэн и др. (2018, глава 4.3 и Приложение С, рисунки С.1 и С.2), чтобы получить выборку, очищенную от возможных ошибок и артефактов. Кроме того, значение перенормированной ошибки единичного веса (RUWE), определяемой в [27] было принято <1.4 , в результате чего из выборки были исключены звезды, у которых возможна неразрешенная двойственность или присутствуют проблемы с определением астрометрических параметров, которые также не укладываются в модель одиночной звезды. Кроме того, в соответствии с процедурой, описанной в Браун и др. (2018) [32], была применена отсечка «коэффициента избытка потока». В результате осталась фотометрически и астрометрически чистая выборка, также для большей точности результатов пришлось пожертвовать звездами слабее $G = 15\text{mag}$.

После такого отбора звезд по их расположению и по качеству был использован метод точки схождения, описанный в ван Лювен (2009) [26]. Этот метод хорошо подходит для близких скоплений и ранее успешно применялся для поиска шлейфов скоплений Гиад и Ясли [33] Розер и др. (2019), также он применим и к Плеядам. Основным преимуществом метода является его применимость при недостатке лучевых скоростей, поскольку он основан на тангенциальной составляющей скорости.

Для выбора наиболее надежных членов скопления были отобраны только те звезды, лучевые скорости которых известны. Это условие позволяет наиболее полно рассмотреть их перемещение в пространстве. Для предварительной оценки дисперсии скоростей скопления с учетом шлейфов была сделана выборка из членов скопления по Лоди и др. (2019) [34] среди звезд со всеми параметрами определения скоростей. По этим данным значение дисперсии скоростей составляет около 10 км/с с учетом, как звезд скопления, так и шлейфов. Это значение кажется завышенным по сравнению со средней оценкой дисперсии в рассеянных звездных скоплениях, которая обычно принимается равной 1-3 км/с, Чумак и Расторгуев (2006) [35], а с учетом дополнительной дисперсии в шлейфах порядка 1 км/с может достигать 4 км/с. Также полученный здесь результат может иметь место из-за больших ошибок в определении лучевых скоростей

Компоненты пространственных скоростей звезд скопления также сводятся к экваториальному галактическому преобразованию, объясненному в

Джонсон и др. (1987) [36]. Таким образом, средние компоненты пространственной скорости скопления $U_c, V_c, W_c = (6.71, -28.54, -14.18)$ км/с, где U направлено к антицентру Галактики, V – в направлении вращения галактики, а W – к северному галактическому полюсу.

На рис. 5 и рис. 6 показаны векторы пространственных скоростей UVW на галактической плоскости XYZ . Отбор по пространственным скоростям задавал ограничение на дисперсию скоростей звезд не более 10 км/с от средней пространственной скорости скопления. Также отклонение направления векторов скорости (U, V, W) от направления центрального вектора направления (U_c, V_c, W_c) скопления не должно отклоняться более чем на 10 град.

8. Звездно-газовая структура области Меч Ориона

Некоторые РЗС содержат, кроме звезд, облака газа и / или пыли. Нами составлена синтетическая карта звездно-газового состава области Меч Ориона. Она позволила изучить возможные случаи связи скоплений и газовых облаков.

Метод получения звездной структуры области Меча Ориона. Сделана выборка звезд из каталога Gaia EDR3 в области Меча Ориона. В этой области находятся РЗС NGC 1981, NGC 1977, NGC 1976, NGC 1980, Рис.7 (левая панель). Взяты звезды Gaia EDR3, расположенные на расстояниях от Солнца от 408 до 377 пк (рассчитаны по параллаксам ρ_{lx} , приведенным в каталоге Gaia [1,2]).

Метод получения газовой структуры области Меча Ориона. Тепловое излучение холодной пыли лежит в дальнем инфракрасном диапазоне и его анализ может быть использован для получения физических параметров, например, температу-

ры вещества и лучевой концентрации [38, 39]. На Рис. 7 (средняя панель) и более детально на Рис. 8 показана полученная в данной работе карта кинетической температуры пыли (от 15К до 35К) по данным наблюдений космического телескопа «Гершель». Для этого было выполнено моделирование спектрального распределения энергии излучения пыли по данным «Гершель». Из архивов были скачаны карты излучения на 160, 250, 350 и 500 мкм, все карты приведены к единицам Jy/pixel , $S_v = 2h\nu^3 / c^2 (\exp(h\nu/kT) - 1) (1 - \exp(-\tau_v))$, $\tau_v = \mu_{\text{H}_2} m_{\text{H}} \kappa_v N(\text{H}_2)$, здесь μ_{H_2} – средний молекулярный вес = 2.8 [41], m_{H} масса водорода, $N(\text{H}_2)$ – лучевая концентрация, κ_v непрозрачность пыли.

Проведена процедура конволюции, все карты приведены к единому разрешению и размеру пикселя как на карте-500 мкм. С использованием 4-х карт попиксельно (количество пикселей 576050) была вписана модель абсолютно черного тела со свободными параметрами T_d и $N(\text{H}_2)$ – температура пыли и лучевая концентрация водорода [40]. В результате получены карты распределения данных параметров. Размер пикселя в получившихся картах $14''$, размер получившихся карт $3^\circ \times 3.5^\circ$, что на расстоянии в 400 пк соответствует площади 21×24 пк с центром в точке ($5^{\text{h}}33^{\text{m}}36^{\text{s}}, -5^\circ02'27''$). Получившаяся лучевая концентрация водорода лежит в пределах от $5.6 \cdot 10^{17}$ до $1.9 \cdot 10^{23}$ с медианным значением $5.30 \cdot 10^{20}$, среднеквадратичное отклонение $2.9 \cdot 10^{21}$, $\text{rms} = 3.25 \cdot 10^{21}$. Медианная температура 19 К, среднеквадратичное отклонение 4 К, $\text{rms} = 20$ К.

Построены по картам телескопа Гершель. Наблюдения на телескопе ИСЗ Гершель проводились на нескольких частотах в диапазоне от 160 до 500 микрон. Нами получены карты лучевой концентрации водорода $(1-10) \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$ и кинетической температуры пыли от 15 до 35 К. Выполнена следую-

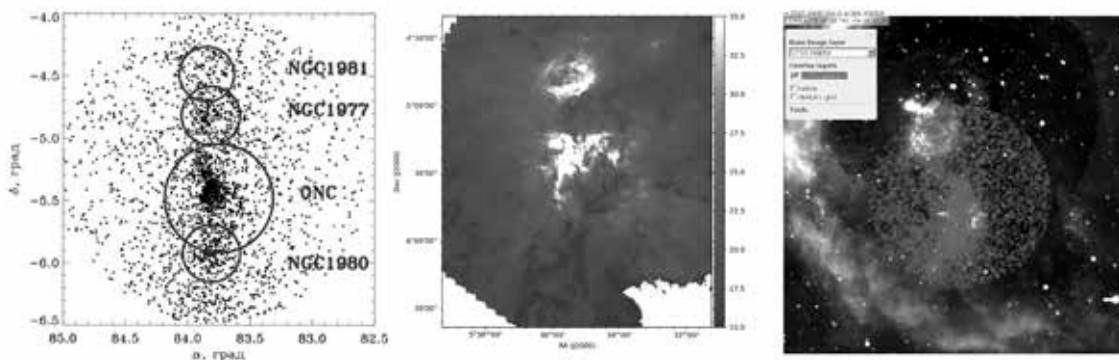


Рис.7. Распределение звезд, пыли и горячего газа в экваториальной системе координат. Левая панель показывает положение рассмотренных РЗС на небесной сфере. Средняя панель – распределения кинетической температуры пыли, полученные нами по данным космического телескопа “Гершель”, правая панель – распределение горячего газа в по данным VTSS [37], совмещено со звездами левой панели

щая обработка данных: 1) взяты карты в указанных 4-х диапазонах, 2) приведены к единому разрешению, 3) для каждого пикселя вписано функция излучения абсолютно черного тела для определения температуры и плотности для каждого пикселя.

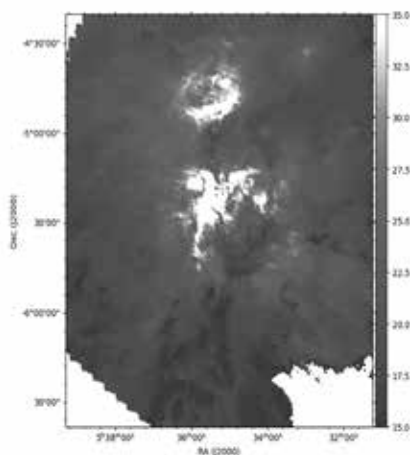


Рис. 8. Полученное нами детальное распределение кинетической температуры пыли (справа шкала температуры) по данным наблюдений «Гершель»

Рассмотренная группа РЗС в пространстве образует вытянутую с севера на юг структуру Меча Ориона размером в проекции на небесную сферу около 20 пк. Это плоская структура видимая с ребра. Ее расстояние от Солнца составляет ~400 пк. Нами рассчитаны температура и концентрация частиц на луче зрения для каждого пикселя. Сопоставление распределений звезд и указанных параметров излучения межзвездного газа и пыли (Рис. 7 и Рис. 8) позволили сделать выводы об эволюционной стадии цепочки РЗС, входящих в состав структуры Меча Ориона. Пыль наблюдается в РЗС NGC 1981, NGC 1977, облака горячего газа совпадают по положению на небе с областью занятой NGC 1976. РЗС NGC 1980 вероятно не содержит больших масс газа. Пыль связана с самыми молодыми скоплениями, в которых еще нет массивных звезд. Горячий газ появляется после образования в РЗС массивных звезд и связанных с ними областей ионизованного водорода HII. Мы видим рождение ОВ ассоциации в результате столкновения двух газовых облаков.

9. Двойные скопления

Двойственность РЗС отражает физические процессы во время фрагментации газового облака. Мы разделили наблюдаемые пары скоплений на

визуально двойные (ВДРС) и тесные пары (ТДРС), Рис. 9. Тесные пары – это физически связанные скопления, то есть такие объекты, массы которых, расстояния между которыми и относительные скорости допускают их гравитационную связанность. Анализ современных каталогов РЗС позволяет отобрать потенциально физически связанные пары и классифицировать РЗС согласно областям, выделенным на диаграмме Рис. 9, Верещагин и др. (2022) [42]. Также на диаграмме Рис. 9 показаны значения массы пар РЗС (выделены $M = 100, 1000, 10000 M_{\odot}$). Подставляя указанные значения для массы M , последовательно получены зависимости $\delta R = GM/(\delta V)^2$, где расстояние между скоплениями в паре - δR и разность их пространственных скоростей - δV , G – гравитационная постоянная.

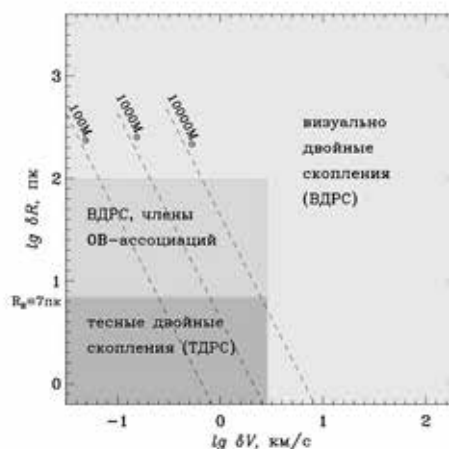


Рис. 9. Диаграмма для пар скоплений, позволяющая классифицировать типы двойственности РЗС.

Подписаны области, внутри которых находятся пары РЗС различных типов. Наклонные прямые, показанные штрих-пунктиром, дают информацию о суммарной массе скоплений. Основными параметрами, позволяющими классифицировать пары скоплений, являются расстояние между скоплениями в паре δR и разность их пространственных скоростей δV

Заключение

Для изучения звездной структуры на начальном этапе применяются машинные методы обработки массовой информации. Например, в [43] использован метод (UPMASK) для определения членства звезд в скоплениях. Он подготовлен для использования фотометрии и пространственных положений, но может учитывать другие типы данных. Подход, используемый для оценки членства, основан на итерационном процессе, уменьшении размерности, алго-

ритме кластеризации и оценке плотности ядра РЗС. Другой пример – [44] использовали метод OCfinder для поиска 628 новых РЗС в Gaia EDR3 с использованием среды больших данных. Как первый шаг, OCfinder идентифицировал звездные статистические сверхплотности в пятимерном астрометрическом пространстве (положение, параллакс и собственные движения) с использованием алгоритма кластеризации DBSCAN. Затем эти сверхплотности классифицировались на случайные статистические сверхплотности и реальные физические РЗС с использованием глубокой искусственной нейронной сети, обученной на хорошо охарактеризованных диаграммах G, GBP – GRP цвет-величина. Далее применяются методы фильтрации по параметрам звезд, детально рассматриваются: положение на небе, параллаксы, цвет, звездная величина и детальные модели распределения звездной плотности. Ясно, что эволюция скоплений тесно связана с пониманием природы звездных потоков, АКП и АКПЗ (АКП + звезды) копий. Можно выделить структуру данных, представленных в разных разделах астрофизики, сочетающихся на различных этапах эволюции РЗС, Табл. 1.

Табл. 1

Структура данных РЗС (n – ожидаемое число в Галактике, $n_{\text{кат}}$ – каталогизировано)

объект	состав		n	$n_{\text{кат}}$
ГМО			10^7	10^3
звезды		АКП	10^{11}	10^9
РЗС	звезды	АКП	10^8	10^4
двойные РЗС		РЗС	10^7	10^2
ОВ ассоциации	звезды	АКП РЗС	10^5	10^3
звездные потоки	звезды	АКП РЗС	10^8	10^3

Оценки числа РЗС, ОВ ассоциаций и звездных потоков в Табл. 1 сделаны, исходя из общей оценки числа звезд в Галактике. При этом учтены именно все РЗС, а не только выжившие.

В области Меча Ориона наблюдающиеся РЗС, по всей вероятности, связаны с газово-молекулярными облаками. По данным космического телескопа «Гершель» мы выделили скопления, связанные с пылевыми облаками ($T = 15 - 35\text{K}$) и с горячим (10000K) газом. Ранее построенная диаграмма позволяет выделить типы двойных скоплений. Все перечисленные в Таблице 1 объекты укладываются в предложенную схему эволюции скоплений, Рис. 2.

Нами изучена звездная система Плеяд по данным Gaia DR2, Рис.4 – Рис.6. Показаны особенности пространственной формы РЗС Плеяды и расположенного вместе с ними потока. Выделенный

в [29] в окрестности РЗС звездный поток Рыб-Эридана генетически, вероятно, связан с Плеядами и не содержит другого скопления. Скорее всего, совместно они представляют остатки распавшейся ОВ ассоциации.

Результаты обработки изображений газовой структуры по данным КА «Гершель», Рис. 7 и Рис. 8 свидетельствуют о том, что различные газовые структуры по положению на небесной сфере совпадают с РЗС в области Меча Ориона. При этом выделяются сочетания РЗС различного возраста с соответствующей газовой структурой.

Наша работа позволяет рассчитывать, что на основе накопления данных и их интенсивной обработки классическая классификация РЗС может быть дополнена параметрами «АКП копья» и «суперкопья» скопления, характеристиками газа, связанного со скоплением и характеристиками двойственности РЗС. Также можно говорить о изучении происхождения звездных потоков, которые могут являться как галактическими, так и внегалактического происхождения из-за разрушения галактик-спутников нашей Галактики. Перспективно обнаружение и исследование экзопланет в РЗС различных типов. Таблица 1 показывает возможности применения интенсивной обработки накапливаемых со временем данных о разных объектах, связанных с эволюцией РЗС. На сегодня данные каталога Gaia являются основой для эволюционной пространственно-кинематической классификации РЗС Галактики, которых на данный момент обнаружено около 10 тыс.

Благодарности. В этой работе использовались данные миссии Gaia Европейского космического агентства (ESA) (<https://www.cosmos.esa.int/gaia>), обработанные Консорциумом обработки и анализа данных Gaia (DPAC, <https://www.cosmos.esa.int/web/gaia/dpac/consortium>). Финансирование DPAC было предоставлено национальными учреждениями, в частности учреждениями, участвующими в Многостороннем соглашении Gaia. Веб-сайт миссии Gaia: <https://www.cosmos.esa.int/gaia>. Веб-сайт архива Gaia: <https://archives.esac.esa.int/gaia>. В этом исследовании использовалась база данных SIMBAD (<http://cds.u-strasbg.fr>), работающая в CDS, Страсбург, Франция. Авторы благодарят рецензентов за полезные замечания.

Литература

1. *Gaia Collaboration* (2016), Prusti, T., de Bruijne, J. H. J., Brown, A. G. A., Vallenari, A., et al. The Gaia mission (provides a description of the Gaia mission including spacecraft, instruments, survey

- and measurement principles, and operations) // *Astronomy and Astrophysics*. 2016. Volume 595. id.A1. 36 pp.
2. *Gaia Collaboration* (2022), Vallenari, A., et al. Gaia DR3: data release content and main properties // *Astronomy and Astrophysics*. 2022. in prep.
 3. The James Webb Space Telescope and Herschel, https://esahubble.org/images/jwst_herschel/
 4. *Cantat-Gaudin, T., Anders, F., Castro-Ginard, A., et al.* Painting a portrait of the Galactic disc with its stellar clusters // *Astronomy and Astrophysics*. 2020. Volume 640, p. 1.
 5. *Pang, X., Tang, S.-Y., Li, Y., et al.* 3D Morphology of Open Clusters in the Solar Neighborhood with Gaia EDR3 II: Hierarchical Star Formation Revealed by Spatial and Kinematic Substructures // preprint astro-ph/2204.06000. 2022.
 6. *Baily, S.I.* A catalogue of bright clusters and nebulae // *Annals Harvard College Observatory*. 1908. Volume 60. pp. 199-230.
 7. *Melotte, P.J.* A Catalogue of Star Clusters shown on Franklin-Adams Chart Plates // *Memoirs of the Royal Astronomical Society Mem.* 1915. Volume 60. pp. 175-186.
 8. *Raab, S.* Research on open clusters // *Meddelanden fran Lunds Astron. Obs. Series II*. 1922. 28. 3-48.
 9. *Trumpler, R.J.* Spectral Types in Open Clusters // *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. 1925. Volume 37. № 220. p. 307.
 10. *Markarian, B.E.* On Classification of Open (Galactic) Star Clusters. *Communications // Byurakan Astrophys. Obs. (ComBAO)*. 1950. Volume 5. p. 3-34.
 11. *Kharchenko, N.V., Piskunov, A.E., Roeser, S., Schilbach, E., Scholz, R.-D.* Global survey of star clusters in the Milky Way. II. The catalogue of basic parameters // *Astronomy and Astrophysics* 2013. Volume 558. A53.
 12. *Holmes, E.* Star Streams // *Journal British Astron. Assoc.* 1894. Volume 5. pp. 26-28.
 13. *Proctor, R.* Preliminary Paper on Certain Drifting Motions of the Stars // *Proc. Roy. Soc. London*. 1869. 18. 169-171.
 14. *Eddington, A.* Aberration, in relation to two star-streams // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 1909. Volume 69. p. 57.
 15. *Tutukov, A.* Early Stages of Dynamical Evolution of Star Cluster Models // *Astronomy and Astrophysics*. 1978. Volume 70. p. 57.
 16. *Tutukov, A.V., Vereshchagin, S.V., Sizova, M.D.* Destruction of Galaxies as a Cause of the Appearance of Stellar Streams // *Astronomy Reports*. Volume 65. № 11. pp. 1085-1101 (2021). doi: 10.1134/S106377292111007X
 17. *Tutukov, A., Smirnov, M.* Peripheral Structures of Planetary Systems // *Solar System Research*. 2004. Volume 38, № 4, pp. 279-287. doi: 10.1023/B:SO LS.0000037463.42719.71
 18. *Vshivkov, V., Lazareva, G., Snytnikov, A. et al.* Hydrodynamical Code for Numerical Simulation of the Gas Components of Colliding Galaxies // *The Astrophysical Journal Supplement Series*. 2011. Volume 194 p. 47. doi: 10.1088/0067-0049/194/2/47
 19. *Tanaka, K.* The Magellanic Stream and the Interacting Galaxies // *Publications of the Astronomical Society of Japan*. 1981. Volume 33. P. 247.
 20. *Bournaud, F., Duc, P., Amram, P. et al.* Kinematics of tidal tails in interacting galaxies: Tidal dwarf galaxies and projection effects // *Astronomy and Astrophysics*. Volume. 2004. 425, p. 813. doi: 10.1051/0004-6361:20040394
 21. *Grillmair, C.* Detection of a 60°-long Dwarf Galaxy Debris Stream // *The Astrophysical Journal*. 2006. Volume 645, p. 37. doi: 10.1086/505863
 22. *Malhan, K., Yuen, Z., Ibata, R. et al.* Evidence of a dwarf galaxy stream populating the inner Milky Way Halo // astro-ph/2104.09523. 2021.
 23. *Odenkirchen, M., Grebel, E.K., Dehnen, W., Rix, H.-W. et al.* The Extended Tails of Palomar 5: A 10° Arc of Globular Cluster Tidal Debris // *The Astronomical Journal*. 2003. Volume 126, 5, pp. 2385-2407. doi: 10.1086/378601
 24. *Grillmair, C.J., Freeman, K.C., Irwin, M., Quinn, P.J.* Globular Clusters with Tidal Tails: Deep Two-Color Star Counts // *The Astronomical Journal*. 1995. Volume 109, p. 2553. doi: 10.1086/117470
 25. *Eggen, O.* The Pleiades and alpha Persei Clusters // *The Astronomical Journal*. 1998. Volume 116, № 4, pp. 1810-1815. doi: 10.1086/300533
 26. *van Leeuwen, F.* Parallaxes and proper motions for 20 open clusters as based on the new Hipparcos catalogue // *Astronomy and Astrophysics*. 2009. Volume 497, p. 1. doi: 10.1051/0004-6361/200811382
 27. *Lindegren, L., Hernández, J., Bombrun, A. et al.* Gaia Data Release 2. The astrometric solution // *Astronomy and Astrophysics*. Volume 616, A2. doi: 10.1051/0004-6361/201832727
 28. *van Leeuwen, F., de Bruijne, J.H.J., Arenou, F. et al.* Gaia DR2 documentation. Gaia DR2 documentation, European Space Agency; Gaia Data Processing and Analysis Consortium. Online at <https://gea.esac.esa.int/archive/documentation/GDR2/>. 2018.
 29. *Röser, S., Schilbach, E.* A census of the nearby Pisces-Eridanus stellar stream. Commonalities

- with and disparities from the Pleiades // *Astronomy and Astrophysics*. 2020. Volume 638, A9. doi: 10.1051/0004-6361/202037691
30. *Cantat-Gaudin, T., Jordi, C., Vallenari, A., Bragaglia, A., et al.* A Gaia DR2 view of the open cluster population in the Milky Way // *Astronomy and Astrophysics*. 2018. Volume 618. id.A93, 16 pp.
 31. *Galli, P.A.B., Moraux, E., Bouy, H., Bouvier, J., Olivares, J., Teixeira, R.* A revised moving cluster distance to the Pleiades open cluster // *Astronomy and Astrophysics*. 2017. Volume 598. id.A48, 22 pp.
 32. *Gaia Collaboration, Brown, A.G.A., Vallenari, A., Prusti, T., et al.* Gaia Data Release 2. Summary of the contents and survey properties // *Astronomy and Astrophysics*. 2018. Volume 616. id.A1, 22 pp.
 33. *Röser, Siegfried, Schilbach, Elena, Goldman, Bertrand:* Hyades tidal tails revealed by Gaia DR2 // *Astronomy and Astrophysics*. 2019. Volume 621. id. L2, 5 pp.
 34. *Lodieu, N., Pérez-Garrido, A., Smart, R.L., Silvotti, R.* A 5D view of the α Per, Pleiades, and Praesepe clusters // *Astronomy and Astrophysics*. 2019. Volume 628. id.A66, 26 pp.
 35. *Chumak, Ya.O., Rastorguev, A.S.* Analysis of the structure and dynamics of the stellar tails of open star clusters // *Astronomy Letters*. 2006. Volume 32, № 3, p.157-165.
 36. *Johnson, Dean R.H., Soderblom, David R.* Calculating Galactic Space Velocities and Their Uncertainties, with an Application to the Ursa Major Group // *The Astronomical Journal*. 1987. Volume 93, p.864.
 37. VTSS. The Virginia Tech Spectral-Line Survey Arcminute-Resolution Digital Images of Interstellar H-alpha and [SII] Emission <http://www1.phys.vt.edu/~halph/>.
 38. *Battersby, C., Bally, J., A. Ginsburg, A. et al.* Characterizing precursors to stellar clusters with Herschel // *Astronomy and Astrophysics*. 2011. 2011. Volume 535. A128. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201116559>
 39. *Launhardt, R., Stutz, A.M., Schmiedeke, A., et al.* The Earliest Phases of Star Formation (EPoS): a Herschel // *Astronomy and Astrophysics*. 2013. Volume 551. A98. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201220477>
 40. *Mallick, K.K., Ojha, D.K., Tamura, M., et al.* Study of morphology and stellar content of the Galactic H II region IRAS 16148–5011 // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2015. Volume 447. № 3. Pp. 2307–2321. <https://doi.org/10.1093/mnras/stu2584>
 41. *Kauffmann, J., Bertoldi, F., Bourke, T.L., Evans, II, N.J., and Lee, C.W.* MAMBO mapping of Spitzer c2d small clouds and cores // *Astronomy and Astrophysics*. 2008. Volume 487. №. 3. Pp. 993 – 1017 pp. <https://doi.org/10.1051/0004-6361:200809481>
 42. *Vereshchagin, S.V., Tutukov, A.V., Chupina, N.V., Postnikova, E.S. and Sizova, M.D.* Binary Clusters: Theory and Observations // *Astronomy Reports*. 2022. Volume 66. № 5. pp. 361–386. doi: 10.1134/S1063772922060063
 43. UPMASK: Unsupervised Photometric Membership Assignment in Stellar Clusters, Linking: <https://CRAN.R-project.org/package=UPMASK>
 44. *Castro-Ginard, A., Jordi, C., Luri, X., Cantat-Gaudin, T., et al.* Hunting for open clusters in Gaia EDR3: 628 new open clusters found with OCfinder // *Astronomy and Astrophysics*. 2022. Volume 661. A118.

Постникова Екатерина Сергеевна. Федеральное государственное учреждение «Институт астрономии Российской академии наук», г. Москва, Россия. Младший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук. Количество печатных работ: 12. Область научных интересов: звездная астрономия, рассеянные звездные скопления, информационные системы. E-mail: es_p@list.ru

Рябухина Ольга Леонидовна. Федеральное государственное учреждение «Институт астрономии Российской академии наук», г. Москва, Россия. Младший научный сотрудник. Количество печатных работ: 10. Область научных интересов: структура газовых облаков, информационные системы. E-mail: ryabukhina@inasan.ru

Тутуков Александр Васильевич. Федеральное государственное учреждение «Институт астрономии Российской академии наук», г. Москва, Россия. Главный научный сотрудник, доктор физико-математических наук. Количество печатных работ: более 400. Область научных интересов: астрофизика, звездная астрономия, информационные системы. E-mail: atutukov@inasan.ru

Верещагин Сергей Викторович. Федеральное государственное учреждение «Институт астрономии Российской академии наук», г. Москва, Россия. Старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук. Количество печатных работ: 100. Область научных интересов: звездная астрономия, рассеянные звездные скопления, информационные системы. E-mail: svvs@ya.ru (ответственный за переписку).

Чупина Наталия Викторовна. Федеральное государственное учреждение «Институт астрономии Российской академии наук», г. Москва, Россия. Старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук. Количество печатных работ: 40. Область научных интересов: звездная астрономия, рассеянные звездные скопления, информационные системы. E-mail: chupina@inasan.ru

Демидов Андрей Павлович. Align Technology, Inc., г. Москва, Россия. Инженер по разработке ПО. Область научных интересов: информационные системы. E-mail: the-admax@yandex.ru

The Structure and Evolution of Open Star Clusters: Theory and Observations Based on Gaia Data

E.S. Postnikova¹, O. L. Ryabukhina¹, A. V. Tutukov¹, S.V. Vereshchagin¹, N.V. Chupina¹, A.P. Demidov^{II}

¹ Institute of Astronomy Russian Academy of Sciences (INASAN), Moscow, Russia.

^{II} Align Technology, Inc., Moscow, Russia.

Abstract. The structure and evolution of open star clusters (OSCs) are considered using the Pleiades OSCs and the OSC group in the Orion Sword region as examples. The stars were selected according to the Gaia data. The relationship between the Orion Sword clusters and molecular clouds is traced according to the data of the Herschel spacecraft. The place of the considered objects in the general scheme of evolution compiled by us earlier is shown. It is concluded that there is an urgent need to expand the OSC classification. The considered Pleiades star system showed the presence of an extensive stellar halo. The stellar stream Pisces - Eridanus found in the vicinity of the Pleiades is probably genetically related to the Pleiades and, together with it, represents the remnants of the disintegrated OB association. In the Orion Sword region, the observed young OSCs are most likely associated with molecular clouds. Young clusters stand out associated with dust (15 - 35 K) and hot (10000 K) gas. Data on OSCs are rapidly replenishing, and the number of OSCs is growing due to their detection in the Gaia surveys. Analysis in this area can be iterated and extended over time with proven methodologies to fit data management concepts in data-intensive areas.

Keywords: *operational information support, open star clusters, Pleiades, Orion Sword region, analytics, data management*

DOI: 10.14357/20790279230114

References

1. *Gaia Collaboration* (2016), Prusti, T., de Bruijne, J. H. J., Brown, A. G. A., Vallenari, A., et al. The Gaia mission (provides a description of the Gaia mission including spacecraft, instruments, survey and measurement principles, and operations) // *Astronomy and Astrophysics*. 2016. Volume 595. id.A1. 36 pp.
2. *Gaia Collaboration* (2022), Vallenari, A., et al. Gaia DR3: data release content and main properties // *Astronomy and Astrophysics*. 2022. in prep.
3. The James Webb Space Telescope and Herschel, https://esahubble.org/images/jwst_herschel/
4. Cantat-Gaudin, T., Anders, F., Castro-Ginard, A., et al. Painting a portrait of the Galactic disc with its stellar clusters // *Astronomy and Astrophysics*. 2020. Volume 640, p. 1.
5. Pang, X., Tang, S.-Y., Li, Y., et al. 3D Morphology of Open Clusters in the Solar Neighborhood with Gaia EDR3 II: Hierarchical Star Formation Revealed by Spatial and Kinematic Substructures // preprint astro-ph/2204.06000. 2022.
6. Baily, S.I. A catalogue of bright clusters and nebulae // *Annals Harvard College Observatory*. 1908. Volume 60. pp. 199-230.
7. Melotte, P.J. A Catalogue of Star Clusters shown on Franklin-Adams Chart Plates // *Memoirs of the Royal Astronomical Society Mem*. 1915. Volume 60. pp. 175-186.
8. Raab, S. Research on open clusters // *Meddelanden fran Lunds Astron. Obs. Series II*. 1922. 28. 3-48.
9. Trumpler, R.J. Spectral Types in Open Clusters // *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. 1925. Volume 37. № 220. p. 307.
10. Markarian, B.E. On Classification of Open (Galactic) Star Clusters. *Communications // Byurakan Astrophys. Obs. (ComBAO)*. 1950. Volume 5. p. 3-34.
11. Kharchenko, N.V., Piskunov, A.E., Roeser, S., Schilbach, E., Scholz, R.-D. Global survey of star

- clusters in the Milky Way. II. The catalogue of basic parameters // *Astronomy and Astrophysics* 2013. Volume 558. A53.
12. *Holmes, E.* Star Streams // *Journal British Astron. Assoc.* 1894. Volume 5. pp. 26-28.
 13. *Proctor, R.* Preliminary Paper on Certain Drifting Motions of the Stars // *Proc. Roy. Soc. London.* 1869. 18. 169-171.
 14. *Eddington, A.* Aberration, in relation to two star-streams // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.* 1909. Volume 69. p. 57.
 15. *Tutukov, A.* Early Stages of Dynamical Evolution of Star Cluster Models // *Astronomy and Astrophysics.* 1978. Volume 70. p. 57.
 16. *Tutukov, A.V., Vereshchagin, S.V., Sizova, M.D.* Destruction of Galaxies as a Cause of the Appearance of Stellar Streams // *Astronomy Reports.* Volume 65. № 11. pp. 1085-1101 (2021). doi: 10.1134/S106377292111007X
 17. *Tutukov, A., Smirnov, M.* Peripheral Structures of Planetary Systems // *Solar System Research.* 2004. Volume 38, № 4, pp. 279-287. doi: 10.1023/B:SO LS.0000037463.42719.71
 18. *Vshivkov, V., Lazareva, G., Snytnikov, A. et al.* Hydrodynamical Code for Numerical Simulation of the Gas Components of Colliding Galaxies // *The Astrophysical Journal Supplement Series.* 2011. Volume 194 p. 47. doi: 10.1088/0067-0049/194/2/47
 19. *Tanaka, K.* The Magellanic Stream and the Interacting Galaxies // *Publications of the Astronomical Society of Japan.* 1981. Volume 33. P. 247.
 20. *Bournaud, F., Duc, P., Amram, P. et al.* Kinematics of tidal tails in interacting galaxies: Tidal dwarf galaxies and projection effects // *Astronomy and Astrophysics.* Volume. 2004. 425, p. 813. doi: 10.1051/0004-6361:20040394
 21. *Grillmair, C.* Detection of a 60°-long Dwarf Galaxy Debris Stream // *The Astrophysical Journal.* 2006. Volume 645, p. 37. doi: 10.1086/505863
 22. *Malhan, K., Yuen, Z., Ibata, R. et al.* Evidence of a dwarf galaxy stream populating the inner Milky Way Halo // *astro-ph/2104.09523.* 2021.
 23. *Odenkirchen, M., Grebel, E.K., Dehnen, W., Rix, H-W. et al.* The Extended Tails of Palomar 5: A 10° Arc of Globular Cluster Tidal Debris // *The Astronomical Journal.* 2003. Volume 126, 5, pp. 2385-2407. doi: 10.1086/378601
 24. *Grillmair, C.J., Freeman, K.C., Irwin, M., Quinn, P.J.* Globular Clusters with Tidal Tails: Deep Two-Color Star Counts // *The Astronomical Journal.* 1995. Volume 109, p. 2553. doi: 10.1086/117470
 25. *Eggen, O.* The Pleiades and alpha Persei Clusters // *The Astronomical Journal.* 1998. Volume 116, № 4, pp. 1810-1815. doi: 10.1086/300533
 26. *van Leeuwen, F.* Parallaxes and proper motions for 20 open clusters as based on the new Hipparcos catalogue // *Astronomy and Astrophysics.* 2009. Volume 497, p. 1. doi: 10.1051/0004-6361/200811382
 27. *Lindegren, L., Hernández, J., Bombrun, A. et al.* Gaia Data Release 2. The astrometric solution // *Astronomy and Astrophysics.* Volume 616, A2. doi: 10.1051/0004-6361/201832727
 28. *van Leeuwen, F., de Bruijne, J.H.J., Arenou, F. et al.* Gaia DR2 documentation. Gaia DR2 documentation, European Space Agency; Gaia Data Processing and Analysis Consortium. Online at <https://gea.esac.esa.int/archive/documentation/GDR2/>. 2018.
 29. *Röser, S., Schilbach, E.* A census of the nearby Pisces-Eridanus stellar stream. Commonalities with and disparities from the Pleiades // *Astronomy and Astrophysics.* 2020. Volume 638, A9. doi: 10.1051/0004-6361/202037691
 30. *Cantat-Gaudin, T., Jordi, C., Vallenari, A., Bragaglia, A., et al.* A Gaia DR2 view of the open cluster population in the Milky Way // *Astronomy and Astrophysics.* 2018. Volume 618. id.A93, 16 pp.
 31. *Galli, P.A.B., Moraux, E., Bouy, H., Bouvier, J., Olivares, J., Teixeira, R.* A revised moving cluster distance to the Pleiades open cluster // *Astronomy and Astrophysics.* 2017. Volume 598. id.A48, 22 pp.
 32. *Gaia Collaboration, Brown, A.G.A., Vallenari, A., Prusti, T., et al.* Gaia Data Release 2. Summary of the contents and survey properties // *Astronomy and Astrophysics.* 2018. Volume 616. id.A1, 22 pp.
 33. *Röser, Siegfried, Schilbach, Elena, Goldman, Bertrand.* Hyades tidal tails revealed by Gaia DR2 // *Astronomy and Astrophysics.* 2019. Volume 621. id. L2, 5 pp.
 34. *Lodieu, N., Pérez-Garrido, A., Smart, R.L., Silvotti, R.* A 5D view of the α Per, Pleiades, and Praesepe clusters // *Astronomy and Astrophysics.* 2019. Volume 628. id.A66, 26 pp.
 35. *Chumak, Ya.O., Rastorguev, A.S.* Analysis of the structure and dynamics of the stellar tails of open star clusters // *Astronomy Letters.* 2006. Volume 32, № 3, p.157-165.
 36. *Johnson, Dean R.H., Soderblom, David R.* Calculating Galactic Space Velocities and Their Uncertainties, with an Application to the Ursa Major Group // *The Astronomical Journal.* 1987. Volume 93, p.864.
 37. VTSS. The Virginia Tech Spectral-Line Survey Arcminute-Resolution Digital Images of

- Interstellar H-alpha and [SII] Emission <http://www1.phys.vt.edu/~halph/>.
38. *Battersby, C., Bally, J., A. Ginsburg, A. et al.* Characterizing precursors to stellar clusters with Herschel // *Astronomy and Astrophysics*. 2011. Volume 535. A128. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201116559>
 39. *Launhardt, R., Stutz, A.M., Schmiedeke, A., et al.* The Earliest Phases of Star Formation (EPoS): a Herschel // *Astronomy and Astrophysics*. 2013. Volume 551. A98. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201220477>
 40. *Mallick, K.K., Ojha, D.K., Tamura, M., et al.* Study of morphology and stellar content of the Galactic H II region IRAS 16148–5011// *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2015. Volume 447. № 3. Pp. 2307–2321. <https://doi.org/10.1093/mnras/stu2584>
 41. *Kauffmann, J., Bertoldi, F., Bourke, T.L., Evans, II, N.J., and Lee, C.W.* MAMBO mapping of Spitzer c2d small clouds and cores // *Astronomy and Astrophysics*. 2008. Volume 487. № 3. Pp. 993 – 1017 pp. <https://doi.org/10.1051/0004-6361:200809481>
 42. *Vereshchagin, S.V., Tutukov, A.V., Chupina, N.V., Postnikova, E.S. and Sizova, M.D.* Binary Clusters: Theory and Observations // *Astronomy Reports*. 2022. Volume 66. № 5. pp. 361–386. doi: 10.1134/S1063772922060063
 43. UPMASK: Unsupervised Photometric Membership Assignment in Stellar Clusters, Linking: <https://CRAN.R-project.org/package=UPMASK>
 44. *Castro-Ginard, A., Jordi, C., Luri, X., Cantat-Gaudin, T., et al.* Hunting for open clusters in Gaia EDR3: 628 new open clusters found with OCfinder // *Astronomy and Astrophysics*. 2022. Volume 661. A118.

Postnikova E.S. PhD. Institute of Astronomy of the Russian Academy of Sciences, 48 Pyatnitskaya st. 119017, Moscow, Russia. E-mail: es_p@list.ru

Ryabukhina O.L. Researcher. Institute of Astronomy Russian Academy of Sciences (INASAN), 48 Pyatnitskaya st., 119017, Moscow, Russia. E-mail: ryabukhina@inasan.ru

Tutukov A.V. Professor, Institute of Astronomy of the Russian Academy of Sciences, 48 Pyatnitskaya st. 119017, Moscow, Russia. E-mail: atutukov@inasan.ru

Vereshchagin S.V. Senior Researcher. Institute of Astronomy Russian Academy of Sciences (INASAN), 48 Pyatnitskaya st., 119017, Moscow, Russia. E-mail: svvs@ya.ru (corresponding author)

Chupina N.V. Senior Researcher. Institute of Astronomy Russian Academy of Sciences (INASAN), 48 Pyatnitskaya st., 119017, Moscow, Russia. E-mail: chupina@inasan.ru

Demidov A.P. Software development engineer. Align Technology, Inc., 117105, Varshavskoye shosse, 9, building 1b, Moscow, Russia. E-mail: the-admax@yandex.ru