# ДВОЙНЫЕ СКОПЛЕНИЯ: ТЕОРИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ

© 2022 г. С. В. Верещагин<sup>1, \*</sup>, А. В. Тутуков<sup>1</sup>, Н. В. Чупина<sup>1</sup>,

Е.С. Постникова<sup>1</sup>, М.Д. Сизова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт астрономии РАН, Москва, Россия

\**E-mail: svvs@ya.ru* Поступила в редакцию 12.08.2021 г. После доработки 24.12.2021 г. Принята к публикации 21.02.2022 г.

Цель работы — поиск тесных двойных гравитационно-связанных пар рассеянных звездных скоплений (ТДРС). Мы разделили наблюдаемые пары скоплений на визуально двойные (ВДРС) и тесные пары ТДРС. Тесные пары — это физически связанные скопления, расстояния между ними составляют не более 7 пк. К ним отнесены пары скоплений, расстояния между которыми и относительные скорости допускают гравитационную связанность их членов в двойные системы. Анализ современных каталогов рассеянных звездных скоплений позволил отобрать потенциально физически связанные пары. В настоящей работе представлен каталог, содержащий более 400 пар ВДРС и ТДРС. Многие из этих пар выделены впервые. По нашим данным наиболее перспективными для более детального исследования являются три ТДРС: 1) NGC 3590, Hogg 12; 2) ASCC 19, UBC17 a; 3) Gulliver 6, UBC 17b.

*Ключевые слова:* галактики, рассеянные звездные скопления, двойные скопления **DOI:** 10.31857/S0004629922060068

# 1. ВВЕДЕНИЕ

Прежде всего, чем интересны двойные скопления? Обратимся сначала к двойным звездам, для которых картина эволюции исторически была построена раньше. Оказалось, что исследование эволюции тесных двойных звезд позволило со временем превратить их в эффективный инструмент исследования одиночных звезд, благодаря тому, что в ходе эволюции компоненты двойных систем взаимодействуют между собой. В ходе эволюции звезды в тесных двойных системах демонстрируют свою структуру. Таким образом, всестороннее изучение тесных двойных звезд привело к тому, что они стали классическим инструментом изучения структуры и эволюции одиночных звезд. По наблюдаемым орбитальным периодам компонент в двойных системах, в частности, надежно определяются их массы. Поэтому мы надеемся, что изучение двойных звездных скоплений (прежде всего тесных двойных рассеянных скоплений, ТДРС) позволит глубже понять обстоятельства их возникновения, а также улучшить понимание эволюции одиночных скоплений.

В середине прошлого века В. Амбарцумян, Б. Маркарян и А. Блау установили, что звезды диска нашей Галактики образуются в звездных ОВ ассоциациях с размерами порядка толщины галактического газового диска, равной 100—200 пк [1]. Предшественниками OB ассоциаций являются гигантские молекулярные облака (ГМО) с массами  $10^5$ — $10^6$  масс Солнца и указанными выше размерами [1, 2]. По современным данным [2] на основании данных оптических исследований газопылевых комплексов в галактиках приводится оценка размеров ГМО, также составляющая 100— 200 пк. Размеры наблюдаемых OB ассоциаций могут превышать эту величину за счет расширения области ГМО, из которой они образовались. Эти облака структурированы на протоскопления с массами порядка  $10^3$  масс Солнца.

По мере роста числа массивных звезд в молодом скоплении за счет их звездного ветра и ионизации ими водорода происходит потеря газа молодым скоплением. Уменьшение массы приводит к разрушению большинства только что образовавшихся скоплений [1]. Молодые звезды распавшихся скоплений формируют непрерывный звездный фон OB ассоциаций [1, 3]. Таким образом, для звездных скоплений мы различаем "родство" двух типов. Оно зависит от расстояния между скоплениями  $\delta R$ , разности их пространственных скоростей  $\delta V$  (иногда для простоты мы используем разности их лучевых скоростей  $\delta RV$ ) и отношения возрастов  $\delta \lg t$ . К первому типу тесных двойных гравитационно-связанных пар рассеянных звездных скоплений (ТДРС) мы относим пары скоплений с  $\delta R \le 7$  пк,  $\delta v < 1$  км/с и  $\delta \lg t < 0.3$ . Первые два условия обеспечивают гравитационную связь членов пары за счет нахождения их в своей полости Роша при взаимодействии с гравитацией Галактики. Третье условие допускает одновременность образования членов пары с учетом, конечно, неизбежных неопределенностей определения их возрастов.

Другой, наиболее распространенный класс скоплений – визуально двойные рассеянные скопления (ВДРС). Если расстояния между центрами двух молодых скоплений менее ~100 пс (при возрастах менее ~10<sup>8</sup> лет [1, 4]), то они с большой вероятностью были рождены в одной OB ассоциации. Для этих скоплений  $\delta R < 100$  пк,  $\delta V < 10$  км/с и  $\delta \lg t < 0.3$ . Указанные условия "гарантируют" одновременность образования ВДРС в пределах одной OB ассоциации. Члены ВДРС, хотя и появились, вероятно, в одной OB ассоциации, не связаны гравитационными силами, ибо характерный размер полости Роша рассеянного звездного скопления с массой около  $10^3 M_{\odot}$  в поле гравитации Галактики ~ 7 пк. Со временем OB ас-

социации превращаются в звездный поток.

Целью нашей работы является поиск надежных ТДРС для продолжения более детального их исследования. Отметим, что мы рассматриваем лишь рассеянные звездные скопления (P3C). Мы провели поиск пар и анализ указанных выше условий связей между основными параметрами различных пар скоплений. Для этого по опубликованным данным, включая результаты по данным КА Gaia, составлен компилятивный каталог двойных РЗС (Раздел 2 и Раздел 3) и рассмотрена взаимосвязь параметров  $\delta V - \delta R$ , по которой хорошо видно разделение двойных скоплений на типы (Раздел 4). Для шаровых скоплений поиск тесных пар также интересен, но выходит за рамки нашей работы.

# 2. ДВОЙНЫЕ СКОПЛЕНИЯ

# 2.1. Звездное скопление h и $\chi$ Персея

Хорошо известное звездное скопление h и  $\chi$ Персея (NGC 869 и NGC 884) выглядит на небе как двойное скопление. Оно давно и активно исследуется (например, Мессов и Шорр (1913) [5], Остерхофф (1937) [6]). Долгое время h и  $\chi$  Персея было единственным известным двойным скоплением. Согласно [7] h Per (NGC869) и  $\chi$  Per (NGC884) – яркие и богатые рассеянные скопления. Они расположены на расстоянии 2344<sup>+88</sup><sub>-85</sub> пк от Солнца (Диас и др. [8–10]). Оценка их возрастов составляет около 12.6–14.0 млн. лет [9]. К настоящему времени обнаружены свидетельства единства этой пары. Возраст, определенный по наблюдениям отдельных звезд, для этих скоплений почти одинаков и составляет около 12.8 миллионов лет, Слесник и Хилленбранд [11]. Кроме того, не менее важно, они имеют близкие лучевые скорости. Спектры скоплений демонстрируют, что NGC 869 приближается к Земле со скоростью 39 км/с, а NGC 884 – 38 км/с, Харченко и др. [12] и  $-38.9 \pm 1.9$  и  $-44.69 \pm 0.73$  соответственно по данным [13]. В пользу физической двойственности h и  $\chi$  Персея свидетельствует общее массивное звездное гало вокруг них, включающее до 2 ×  $\times 10^4$  масс Солнца [9, 14]. Область гало может выходить далеко за пределы 30 угловых минут [9], что примерно в 6-8 раз превышает радиус каждого из их ядер. Кинематический анализ показывает, что гало, похоже, испытывало приливное влияние Галактики [16]. Расстояние между скоплениями 145 пк, поэтому пара не попала в наше рассмотрение как ТДРС. Она может служить примером ВДРС.

Для гравитационной связи компонентов этой пары в поле гравитации Галактики их масса должна быть ~ $4 \times 10^6 M_{\odot}$ . Их масса почти в сто раз меньше, что исключает их гравитационную связь, оставляя реальную возможность одновременного образования в одной ОВ ассоциации.

В недавней работе [15] приведены результаты детального отбора звезд, входящих в состав этих скоплений. Использованы различные критерии, включая собственные движения, параллаксы, а фотометрические также параметры. Всего 2186 звезд были идентифицированы как их члены. Интересными объектами являются длинные вытянутые нитевидные звездные субструктуры S1 и S2 [15]. Их размеры составляют до 200 пк. Тангенциальные скорости этих субструктур свидетельствуют, что они, скорее всего, являются остатками первичной ОВ ассоциации, а не звездным потоком, разрушенным приливами ядер скоплений. Подобные субструктуры (другое название – линейные цепочки скоплений) классифицированы в [16]. Характерные размеры потоков составляют от 10 до 30 пк. Отметим, что связь между двойным скоплением и соседней ОВ ассоциацией Perseus OB1 ([17]) все еще неясна из-за ограниченных данных наблюдений. Функция масс и сегрегация звезд различных масс в h и  $\chi$ Персея изучались во многих работах (например, [9, 11, 18, 19]). Модели формирования и ранней динамической эволюции этих скоплений обнаружили свидетельства о единой эпохе звездообразования этого двойного скопления [11]. Авторы [18] утверждают, что обнаружили убедительные доказательства сегрегации масс в h Персея, но не в  $\chi$ Персея. То есть, близкие массы и одновременность возникновения не лишили эти скопления

индивидуальности. Вероятно, как уже говорилось, члены этой пары возникли в одной OB ассоциации.

#### 2.2. Оценка числа двойных скоплений в Галактике, причина их редкости

Рассмотрим условия образования рассеянных скоплений и причины редкости ТДРС систем среди них. На фронте спиральной волны Галактики ее газовый компонент делится на гигантские молекулярные облака с массами  $\sim 10^5 - 10^6 M_{\odot}$  и размерами порядка толщины газового диска Галактики. Примечательно, что размеры гигантских молекулярных облаков ( $R_{cloud}$ ) коррелируют с их массами M<sub>cloud</sub> (Ларсон [20], Тутуков и др. [21]). Корреляция хорошо аппроксимируется выражением  $M_{\rm cloud} \cong 0.2 R_{\rm cloud}^2$  (система сгс) или  $R_{\rm cloud}$  (пк) ~  $(M_{\rm cloud}/M_{\odot})^{1/2}$ . Радиусы звездных скоплений имеют приблизительно такие же размеры согласно соотношению R (пк)  $\approx$  $\approx 0.03 (M_{
m cl}/M_{\odot})^{1/2}$ . Это означает, что при образовании звездного скопления коллапс ГМО происходит не столь "глубоко", как коллапс при образовании двойных звезд. Иными словами, сопоставимость размеров исходного ГМО И скопления исключает, как правило, образование ТДРС при коллапсе ГМО.

Другое обстоятельство, позволяющее оценить шансы на образование двойных звездных скоплений, связано с условием гравитационной связи двойного скопления в системе "двойное скопление — Галактика". Радиус полости Роша двойного звездного скопления в поле гравитации Галактики равен:

$$R_R \cong 0.4 (2m/M_{\rm Gal})^{1/3} R \, \mathrm{\pi k}, \tag{1}$$

где m — масса скопления,  $M_{\text{Gal}}$  — масса Галактики в пределах ее радиуса R. Однако, если мы возьмем суммарную массу двойного скопления равной  $2m = 10^3 M_{\odot}$  и  $M_{\text{Gal}} = 10^{11} M_{\odot}$ , то из (1) получим  $R_R \approx 7$  пк. То есть,  $R_R$  может в несколько раз превосходить размеры самих скоплений. Таким образом, появляется шанс для рождения и существования ТДРС.

Главное обстоятельство, препятствующее существованию кратных гравитационно-связанных скоплений — распад большинства (до ~95%) возникающих скоплений в ходе исходной потери ими своего газового компонента [22]. Это обстоятельство уменьшает количество скоплений в целом, а значит, и двойных среди них. Например, в OB ассоциации с массой ~ $10^5 M_{\odot}$  и размерами 100 пк в ходе звездообразования возникает

АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ том 99 № 5 2022

 $\sim 10^2$  скоплений с массой  $\sim 10^3 M_{\odot}$ , из которых после потери газового компонента остаются гравитационно-связанными только несколько.

# 2.3. Двойные звезды

Изучение звездного компонента Галактики во второй половине двалнатого века показало, что большинство ее звезд является двойными. Что определяет широкое распространение фактора двойственности и кратности среди звезд? Ответ на этот вопрос был найден в ходе исследования условий образования звезд. Двойные звезды образуются с большими полуосями в пределах от  $10R_{\odot}$  и  $10^{6}R_{\odot}$ , [1]. Наблюдения и теория продемонстрировали, что звезды возникают в ходе глубокого коллапса холодных молекулярных облаков с начальной плотностью ~10<sup>-20</sup> г/см<sup>3</sup>. Характерные начальные размеры этих облаков ~ $10^7 R_{\odot}$ . Сжатие этих облаков до размеров двойных систем, указанных выше, приводит к неизбежному ускорению их вращения и фрагментации. Продуктом такой фрагментации в ходе гравитационного коллапса неоднородных холодных газовых облаков и является появление большой части двойных звезд и кратных звездных систем с большими полуосями:  $dN \sim 0.2d \lg a/R_{\odot}$  [1]. Фактически, причиной двойственности и даже кратности большинства звезд является "глубокий" коллапс, ускоряющий в силу закона сохранения углового момента ее вращение. Часть широких двойных звезд возникает в ходе динамической эволюции молодых звездных скоплений путем гравитационного захвата близких звезд, движущихся внутри скопления [1].

Наличие спутника у звезды и осознание его роли в эволюции тесных систем позволили превратить последние в эффективный инструмент исследования эволюции звезд. В частности, это дало возможность наблюдателю уточнить параметры звезд-компонентов двойных систем, а теоретику – изучить эволюцию структуры компонентов, теряющих в ходе взаимодействия свои протяженные оболочки и демонстрирующих химический состав и природу своих ядер. Анализ изменения яркости сверхновых звезд первого типа со временем и продуктов слияния вырожденных компонентов тесных двойных стал инструментом для изучения характера космологического расширения Вселенной (Рейсс и др. [24], Перлмуттер и др. [25]). Как уже говорилось, сравнение условий возникновения звезд и рассеянных звездных скоплений позволяет понять причину принципиального различия в степени двойственности этих астрономических объектов. Детальное исследование свойств ТДРС дает надежду на получение новой информации о звездных скоплениях и их эволюции.

## 2.4. Пары или группы?

Первые попытки систематизировать скопления по различным параметрам можно найти в работах Джейнс и др. [26], Бархатовой и др. [27]. Так, в работе Бархатовой и др. (1989) [28] выделены комплексы, состоящие из нескольких скоплений. Как оказалось, время жизни бедных скоплений намного короче, чем богатых, а скопления на периферии звездного диска живут дольше, чем скопления, расположенные ближе к Центру Галактики. Авторы [28–30] провели обширные исследования группировок скоплений. В этих работах приводятся списки найденных ими групп. Павловская и др. в работе [31] указали на возможное существование двойных скоплений.

Вопрос о происхождении скоплений в группах затронут Вильямсом в [32]. Предположено, что Сг 140 и NGC 2451 (как, возможно, и Cr 135 и Cr 173) являются остатками ОВ ассоциации. Еще раньше в серии работ Эгген [33] и [34] представил доказательства общего происхождения ряда скоплений, в том числе Pleiades и NGC 2287. Авторы [35] объединяют Cr 140, NGC 2516, NGC 2547, Cr 173, IC 2391 и Tr 10 в группу с общим местом рождения. Некоторые особенности связи скопления и ассоциации рассмотрены Бика и др. [36], где скопление Bochum 1 представлено как распадающееся звездное скопление. Полезно отметить возможную связь молодых скоплений с газовым облаком, в котором они образовались. В своей ранней работе Бархатова [37] выдвинула предположение, что скопления NGC 6696, Collinder 428 и Barchatova 1 генетически связаны с туманностью NGC 700. В работе Пише [38] в ИК диапазоне обнаружена парная структура, расположенная внутри молодого скопления. Оказалось, что молодые звезды в NGC 2264 сосредоточены, фактически, в двух скоплениях. Структура этой области включает так называемое северное скопление, выделенное яркой звездой S Mon, источник инфракрасного излучения NGC 2264 1RS и вытянутое молекулярное облако, напоминающее газовый поток NGC 2264D.

Экзотический механизм образования кратных скоплений предложен в работе Ван де Путте и др. (2010) [39]. Ими были проанализированы орбиты 481 рассеянного скопления. В результате авторы пришли к выводу, что три из них (NGC 1817, NGC 6791 и NGC 7044) могли образоваться в результате удара шарового скопления о галактический диск. Исследованию кратных скоплений посвящены работы де ла Фуэнте Маркос [40] и [41]. Они представили серию статей, посвященных, главным образом, парам и кратным РЗС, выбранным на основе онлайн-базы данных WEBDA (Мермийо [42, 43]). Группа, состоящая из 6 скоплений, обнаружена Беккари и др. [44].

Таким образом, P3C, рождаясь в OB ассоциациях, в большинстве своем быстро распадаются после потери ими газа. Следами такого распада могут оказаться не только группы, состоящие из десятков скоплений, но и двойные скопления, Тутуков и др. 2020 [4].

# 3. ДАННЫЕ О СКОПЛЕНИЯХ В ПАРАХ

Для обнаружения парных скоплений мы обратились к каталогам и спискам одиночных P3C, их групп, а также пар, выделенных другими авторами. Таким образом, мы использовали, с одной стороны, наработки других авторов, а с другой, провели собственный поиск пар скоплений.

## 3.1. Поиск двойных скоплений (ВДРС и ТДРС) в опубликованных данных о группах или парах скоплений

3.1.1. Группы Павловской. Одна из первых работ по группировкам скоплений – это работа Павловской и Филиповой [31] (далее Р1989). Авторы представили каталог 66 рассеянных звездных скоплений, собранных в 8 групп, объединенных сходным движением в пространстве. Среди этих скоплений нами выделены 7 пар, скопления в которых расположены в пределах 100 пк друг от друга ( $\delta R < 100$  пк) при разности лучевых скоростей  $\delta RV < 10$  км/с. Нами также использованы лучевые скорости из базы данных SIMBAD [13]. Результаты представлены в табл. 1. В ее колонках содержатся имена и логарифмы возраста первого и второго скоплений в паре, расстояние между скоплениями  $\delta R$  и разность лучевых скоростей δ*RV*. Возрасты скоплений в табл. 1, а также в табл. 2-7 взяты из каталога MWSC (Milky Way Star Clusters, Харченко и др. [45]).

**3.1.2. Пары Субраманиам.** Субраманиам и др. [46] (далее S1995) привели список 18 пар скоплений, для которых имеются расстояния от Солнца и логарифмы возрастов. Разделение компонентов пар в пространстве составляет не более 20 пк. Лучевые скорости известны далеко не для всех скоплений. Нам удалось их найти лишь для пяти пар с  $\delta RV$ , различающимися менее, чем на ~5 км/с (табл. 2). Еще для 6 пар они оказались с превышением 5 км/с, и в нашем исследовании не использованы. В колонках табл. 2 содержатся имена и логарифмы возрастов первого и второго скоплений, расстояние между скоплениями  $\delta R$  и разность их лучевых скоростей  $\delta RV$ .

**3.1.3. Пары Субиран.** В работе Субиран и др. [47] (S2018) приведены два списка пар скоплений, отобранные по авторским критериям  $\delta R < 200$  пк и  $\delta V < \sim 5$  км/с. Они различаются тем, что 11 пар обнаружены авторами S2018, они приведены в

## ДВОЙНЫЕ СКОПЛЕНИЯ: ТЕОРИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ

Имя скопления 1	Возраст скопле- ния 1, lg <i>t</i> Имя скопления 2		Возраст скопле- ния 2, lg <i>t</i>	δ <i>R</i> , пк	δ <i>RV</i> , км/с	
NGC 869	7.28	NGC 884	7.20	48.1	1.8	
IC 2391	8.05	IC 2602	8.34	54.3	7.3	
IC 4665	7.63	NGC 6633	8.76	73.5	13.2	
NGC 6871	6.99	IC 4996	7.15	91.7	8.0	
NGC 6823	7.01	NGC 6830	8.10	95.9	41.4	
NGC 752	9.13	NGC 1039	8.38	102.4	22.9	
NGC 6694	8.12	NGC 6705	8.50	104.0	28.5	

**Таблица 1.** Пары скоплений (n = 7), отобранные по нашим критериям из каталога P1989

Таблица 2. Пары по S1995

Имя скопления 1	Возраст скопле- ния 1, lg <i>t</i>	Имя скопления 2	Возраст скопле- ния 2, lg <i>t</i>	δ <i>R,</i> пк	δ <i>RV</i> , км/с
NGC 869	7.28	NGC 884	7.20	18.9	5.8
NGC 1513	8.50	NGC 1545	8.81	19.0	1.6
NGC 1907	8.60	NGC 1912	8.35	14.1	3.2
NGC 1981	7.11	Collinder 70	7.40	19.4	3.8
NGC 6512		NGC 6208	9.28	14.0	3.5

Таблица 3. Пары скоплений, обнаруженные S2018T4

Имя скопления 1	Возраст скопле- ния 1, lg <i>t</i>	Имя скопления 2	Возраст скопле- ния 2, lg <i>t</i>	δ <i>R</i> , пк	δ <i>V</i> , км/с
ASCC 101	8.62	NGC 7058	8.35	185	1.8
ASCC 105	7.91	Roslund 5	7.57	130	3.9
ASCC 16	7.00	ASCC 19	7.50	151	3.9
ASCC 16	7.00	ASCC 21	7.11	45	4.4
ASCC 19	7.50	Gulliver 6		181	4.3
ASCC 97	7.88	IC 4725	7.97	145	3.4
Alessi 20	7.58	Stock 12	8.45	183	2.7
Collinder 140	7.70	NGC 2451B	8.23	58	1.9
Gulliver 6		NGC 2232	7.70	159	4.8
IC 2602	8.34	Platais 8	7.75	83	4.5
RSG 7		RSG 8		145	2.8

табл. 3 (далее S2018T4). В табл. 4 содержатся данные еще о 10 парах, которые найдены S2018 по публикациям других авторов (ссылки на них даны в примечании к табл. 4). Этот список далее по тексту мы будем обозначать S2018T5.

**3.1.4.** Группы Ли и Панг. В работе Ли и Панг [51] (далее LP2019) по данным Gaia найдены 56 групп скоплений по близости их расположения в пространстве. Для оценки пространственного расстояния между скоплениями нами вычислены прямоугольные координаты скоплений *X*, *Y*, *Z*. Для определения разности пространственных скоростей скоплений найдены несколько измерений их лучевых скоростей, включая собственное усреднение данных об отдельных звездах скоплений. Данные брались из SIMBAD [14] на основе Gaia DR2. В случае наличия *RV* из разных источников были определены средние лучевые скорости скоплений. Для собственного определения *RV* скоплений мы брали списки звездчленов скоплений из работы Конте-Годе и др. [52] с учетом вероятности их членства. Далее пу-

Имя скопления 1	Возраст скопле- ния 1, lg <i>t</i>	Имя скопления 2	Возраст скопле- ния 2, lg <i>t</i>	Ссылка*	δ <i>R</i> , пк	δ <i>V</i> , км/с
Alessi 13	8.72	Mamajek 1	6.99	1	292	5.5
Alessi 21	7.70	NGC 2422	8.12	1	172	8.9
Platais 8	7.75	IC 2602	8.34	1	83	4.5
Turner 9	8.03	ASCC 110	8.55	1	1759	6.0
Collinder 394	7.86	NGC 6716	7.38	1	29	13.9
IC 1396	6.00	NGC 7160	7.20	1	128	13.9
NGC 869	7.28	NGC 884	7.20	2	62	19.7
NGC 5617	8.25	Trumpler 22	8.50	3	559	10.8
IC 4756	8.79	NGC 6633	8.76	4	375	6.7

Таблица 4. Кандидаты в двойные скопления, найденные S2018T5 из работ, приведенных в столбце "Ссылка"

\* Ссылка: (1) Конрад и др. [48], (2) Мессов и Шорр [5], (3) Де Силва и др. [49], (4) Касамикуэла и др. [50].

тем усреднения индивидуальных скоростей звезд мы получили лучевую скорость для скопления в целом. Скопления, выбранные нами, расположены в пределах 1.5 кпк от Солнца. В результате в нашем распоряжении оказались 41 пара скоплений, данные о которых приведены в табл. 5. В ее колонках содержатся имя скопления по LP2019 (для каждого скопления в паре), логарифм возраста, разность положений скоплений пары в пространстве ( $\delta R$ ), разность пространственных скоростей ( $\delta V$ ).

#### 3.2. Двойные скопления, отобранные нами

**3.2.1. По каталогу MWSC.** Каталог одиночных звездных скоплений MWSC (Milky Way Star Clusters, Харченко и др. [45]), по которому мы провели поиск двойных скоплений, является наиболее полным как по числу скоплений, так и по наполнению данными. Он содержит данные о 3006 скоплениях.

Мы выбрали из MWSC скопления, расстояния между которыми не превышают 100 пк. Одновременно проанализированы их пространственные скорости (в MWSC имеется 962 скопления с известными лучевыми скоростями, необходимыми для определения пространственной скорости). Брались только те пары, у которых разность пространственных скоростей составила не более 10 км/с. В результате получен каталог двойных скоплений (далее SMD). Полный вариант нашего каталога приведен в Приложении 1. Первые пять записей полученного каталога приведены в табл. 6. В ее колонках приведены имя скопления 1 и имя скопления 2 (имена скоплений в паре), логарифм возраста lgt и ошибка логарифма возраста е  $\lg t$ , металличность FeH и ошибка металличности е *FeH*, расстояние между скоплениями  $\delta R$  и разность пространственных скоростей  $\delta V$ .

3.2.2. Свойства каталога SMD. Свойства каталога SMD иллюстрируют рис. 1 – рис. 3. На рис. 1 показана диаграмма  $\lg \delta V - \lg \delta R$  для всех отобранных нами пар с учетом разности логарифма возрастов. На рис. 1 можно заметить, что пары с наибольшей разницей в возрастах скоплений в паре присутствуют во всем диапазоне  $\lg \delta R$ , тогда как пары с близкими возрастами оказываются, скорее, случайными и занимают, в основном, область далеких расстояний  $\delta R$  между скоплениями в паре. Интересно, что на рис. 1 пары скоплений с самыми малыми взаимными расстояниями  $(\lg \delta R < 1.3)$  и одновременно умеренными различиями скоростей (обозначены черными точками) попадают в число пар с наибольшим различием возраста.

На рис. 2 показаны распределения всех скоплений MWSC и пар SMD в прямоугольной галактической системе координат. Расстояние Солнца от Центра Галактики взято  $R_0 = 8.178$  кпк (Макмиллан [53]). На рис. 2 заметно влияние наблюдательной селекции, выраженное в уменьшении числа скоплений и пар скоплений по мере удаления от Солнца. Выбранные пары расположены в пределах 2 кпк от Солнца. О полноте данных по расстоянию от Солнца свидетельствует рис. 3. где показана кривая полноты каталога. По изменению скорости роста числа скоплений с увеличением расстояния от Солнца на рис. 3 можно судить о достаточной полноте вплоть до 1 кпк (там, где статистика, судя по наклону кривой, становится неполной). Из анализа распределений, приведенных на рис. 1-3, можно сделать вывод о том, что распределение двойных скоплений в целом повторяет распределение одиночных.

**3.2.3. Наш список ESP двойных скоплений по Gaia.** Для поиска двойных скоплений использовались каталоги одиночных скоплений Субиран и др. [47] (*n* = 1026) и Кастро-Жинар и др. [54]

Имя скопления 1	Возраст скопле- ния 1, lg <i>t</i>	Имя скопления 2	Возраст скопле- ния 2, lg <i>t</i>	δ <i>R</i> , пк	δ <i>V</i> , км/с
Haffner 5	8.60	Trumpler 7	8.50	79.80	79.25
Pismis 8	7.43	Ruprecht 71	8.84	134.28	23.50
NGC 6705	8.50	LP 1235		91.62	36.06
NGC 129	7.98	Stock 21	8.82	81.28	12.19
NGC 4349	8.41	Patchick 57		56.23	32.06
FSR 0498	8.55	King 15	8.40	77.27	42.36
NGC 4755	7.30	Ruprecht 105	9.10	97.50	18.79
Gulliver 17		NGC 6871	6.99	56.23	24.66
Gulliver 49		NGC 7654	7.90	42.76	24.04
NGC 2354	8.61	NGC 2362	6.64	31.12	12.11
NGC 581	7.44	NGC 663	7.50	60.39	12.36
Collinder 277	8.30	NGC 5281	7.76	94.62	40.64
LP 1377		LP 1970		88.10	74.30
FSR 0496	9.06	Gulliver 24		81.47	40.83
NGC 2360	8.65	Ruprecht 26	7.80	93.76	34.75
NGC 2447	8.68	NGC 2448	7.25	98.86	20.14
NGC 6383	6.60	NGC 6416	8.20	40.18	40.74
Dolidze 39	9.05	LP 2178		81.85	32.06
NGC 1027	8.55	NGC 886	8.75	99.31	45.50
COIN-Gaia 25		NGC 2168	8.26	77.09	15.17
NGC 2358	8.78	NGC 2423	9.02	98.40	19.54
NGC 5662	8.28	NGC 5822	8.84	94.84	12.30
FSR 0551	6.68	Stock 5	7.70	50.12	11.25
FSR 0398	7.70	NGC 7160	7.20	89.13	28.18
ASCC 32	8.22	Collinder 121	7.08	99.77	3.84
IC 2395	7.27	Pismis 4	8.16	49.55	16.26
ASCC 12	8.63	NGC 1582	8.66	93.54	59.16
Lynga 2	8.43	LP 2309		71.29	26.24
Alessi 5	7.76	BH 99		54.95	4.07
ASCC 58	7.20	NGC 3228	8.42	30.76	8.89
ASCC 105	7.91	NGC 6793	8.70	77.62	17.50
Roslund 5	7.57	Teutsch 35		81.47	9.16
Alessi 28		LP 2417		85.51	27.93
ASCC 113	7.93	NGC 6991		90.57	34.67
ASCC 16	7.00	ASCC 19	7.50	25.18	3.03
ASCC 20	7.00	ASCC 21	7.11	23.77	12.59
IC 4756	8.79	NGC 6633	8.76	82.99	7.36
NGC 2232	7.70	LP 2383		86.50	7.64
Ruprecht 147	9.33	UBC 32		56.89	67.61
ASCC 97	7.88	NGC 6656	10.10	69.66	151.71
Alessi 20	7.58	Stock 12	8.45	58.75	3.94
Stock 2	8.44	Alessi 95		97.27	26.98

Таблица 5. Пары, выделенные нами из работы LP2019

АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ том 99 № 5 2022

#### ВЕРЕЩАГИН и др.

Имя скопления 1	lg t	e_lg t	FeH	e_FeH	Имя скопления 2	lg t	e_lg t	FeH	e_FeH	δ <i>R</i> , пк	δ <i>V</i> , км/с
NGC 3590	7.40				Hogg 12	7.60				4.89	1.79
Collinder 394	7.80				NGC 6716	7.38		-0.31		7.24	5.83
ASCC 20	7.00				ASCC 16	7.00				8.50	6.16
NGC 1981	7.11	0.001			Sigma Ori	6.10				13.94	0.78
NGC 2447	8.68	0.02	-0.10	0.11	NGC 2448	7.25				14.90	1.05

Таблица 6. Первые пять записей каталога двойных скоплений, найденных нами в MWSC

Таблица 7. Двойные ESP по Gaia DR2

Имя скопления 1	Возраст скопле- ния 1, lg <i>t</i>	Имя скопления 2	Возраст скопле- ния 2, lg <i>t</i>	δ <i>R</i> , пк	δ <i>V</i> , км/с
ASCC 19	7.50	UBC 17a	7.27*	6.28	0.53
Gulliver 6	7.22*	UBC 17b	7.06*	5.78	0.05
RSG 7		RSG 8		24.10	0.35
Alessi 62	8.95	UBC 26		15.06	2.39
NGC 1582	8.66	COIN-Gaia 39		2.17	23.89
UBC 34		COIN-Gaia 1		8.77	0.72
COIN-Gaia 11		UBC 60		19.86	1.00
COIN-Gaia 8		UBC 48		14.25	2.35
UBC 37		COIN-Gaia 30		22.38	3.44
COIN-Gaia 10		UBC 58		18.52	15.67

\* Данные из [57].

(n = 23), Кастро-Жинар и др. [55] (n = 53), Конте-Годе и др. [56] (n = 46). При критерии  $\delta R \le 100$  пк и, за исключением двух пар,  $|\delta V| \le 10$  км/с, найдены 11 пар, данные о которых приведены в табл. 7. Далее этот список мы будем обозначать ESP. В колонках табл. 7 содержатся имена и логарифмы возраста скоплений и величины  $\delta R$  и  $\delta V$ .

## 3.3. Каталог кросс-идентификации

Вопрос о появлении одинаковых пар в различных списках был решен нами с помощью специально составленного каталога, который включает информацию о том, какие пары встречаются у разных авторов. Мы искали не только полные совпадения имен членов пар, но и случаи, если одно из имен встречается в разных парах. В результате мы получили две таблицы: с полным и частичным пересечением имен в парах.

В табл. 8 приведен кросс каталог с полным пересечением имен. В нем обозначена принадлежность скоплений к различным спискам, рассмотренным в нашей работе, названия которых находятся в заголовке столбцов. Таблица 8 содержит имена скоплений в парах (Имя скопления 1 и Имя скопления 2) и колонки SMD, P1989, LP2019, S1995, S2018T4, S2018T5, ESP с флажками ("+" говорит о присутствии данной пары в списке, указанном в наименовании колонки). Наличие скоплений в списках двойных скоплений, найденных в данной работе, показаны в колонках SMD (по данным MWSC) и ESP (по данным Gaia DR2).

В Приложении 2 приведена вторая часть кросс каталога с частичным пересечением имен, включающая пары скоплений разных авторов. В табл. 9 приведены начальные записи кросс-каталога. В ней колонка "Имя скопления 1" содержит имя скопления, у разных авторов одинаковое в паре, а колонки SMD, P1989, LP2019, S1995, S2018T4, S2018T5, ESP содержат вторые имена в паре по данным соответствующих авторов. В эту часть попали также и пары скоплений из табл. 8. Можно видеть, что у некоторых авторов, например, в SMD найдено по несколько пар для выбранного скопления, колонка "скопление 1". Таким образом, есть не только полное пересечение имен в парах разных авторов, но и ряд дополнительных пар. Отметим, что 100 пк – это характерный размер ОВ-ассоциаций и, возможно, наиболее мас-



**Рис. 1.** Положения пар SMD на диаграмме  $\lg \delta R - \lg \delta V$ . Цвета точек выделены по интервалам разности логарифмов возрастов скоплений.

сивных ГМО. Кроме того, наблюдаемые OB-ассоциации представляют собой результат расширения области, ранее занимаемой ГМО. Поэтому близость на уровне 100 пк — обычное явление для населения РЗС. Количество найденных в каталоге SMD пар (вторая колонка (SMD) каталога, приведенного в Приложении 2, говорит именно об этом.

# 4. ДВОЙНЫЕ СКОПЛЕНИЯ НА ДИАГРАММЕ $\Delta R - \Delta V$

## 4.1. Структура диаграммы $\delta R - \delta V$

Покажем, что основными параметрами, позволяющими судить о природе физической связи скоплений в парах, являются параметры  $\delta V$  и  $\delta R$ . Их мы уже определили для выбранных пар в табл. 1–7. Рассмотрим свойства двойных скоплений на диаграмме  $\delta V - \delta R$  (рис. 4). На рис. 4 используется как лучевая скорость, так и пространственная: в работах [2, 4] – лучевая [1, 3, 7] – про-

странственная (см. табл. 1 - 7). Структура диаграммы на рис. 4 следующая: диаграмма делится вертикальной прямой на две области. Область справа от вертикальной прямой - это "визуальные двойные скопления" (ВДРС) с  $\lg \delta V >$ > 0.45. Они являются членами различных ОВ ассоциаций, что обусловлено величиной дисперсии пространственной скорости скоплений внутри ОВ ассоциации (10 км/с). Термин "визуально двойные" означает, что скопления близки визуально в пространстве, принадлежат при  $\delta \lg t < 0.3$  одним OB ассоциациям, но не могут быть физически двойной парой, поскольку они гравитационно не связаны.

Интерес вызывают двойные скопления, расположенные между прямой (1) (определяется исходя из размера OB ассоциации ~100 пк) и прямой (2), отмечающей размер сферы Роша. Это двойные скопления, принадлежащие одной и той же OB ассоциации, т.е. связанные общим происхождением. Большое расстояние между ними ис-



**Рис. 2.** Распределение скоплений MWSC (панели слева) и SMD (справа) в Галактике в галактоцентрической системе координат. Вверху – в плоскости *XY*, внизу – в *XZ*.

ключает гравитационную связь этих пар. В верхней части диаграммы (область выше прямой (2)) расположены скопления из распавшихся ОВ ассоциаций, представляющие собой звездные облака, или копья, растянувшиеся на сотни парсек вдоль орбиты скоплений вокруг Галактического центра.

Наибольший интерес представляет область ниже прямой (2). Прямая (2) проведена из условия размеров сферы Роша  $R_R$  для случая гравитационного поля скопления с массой ~ $10^3 M_{\odot}$  и Галактики. Здесь располагаются пары гравитационно-связанных скоплений, или ТДРС. Эти скопления движутся вокруг общего центра масс

по замкнутым орбитам и представляют наибольший интерес.

## 4.2. Найденные двойные скопления, рекомендуемые для более детального изучения

Вновь обратимся к рис. 4, на нем уже выделена область, в пределах которой располагаются "тесные двойные скопления", ТДРС. Точки, расположенные внутри этой области, представляют наиболее перспективные пары для детального исследования. В нее или категорию ТДРС у нас попали пары скоплений, данные о которых содержит табл. 10. В ее колонках приведены имена скоплений, логарифм возраста,  $\delta R$ ,  $\delta V$ , разность логарифмов возраста  $\delta \lg t$ . Как видно из табл. 10,



Рис. 3. Интегральное распределение скоплений MWSC по расстоянию от Солнца.

для этих пар скоплений  $\delta R < 7$  пк,  $\delta \lg t < 0.3$  и  $\delta V < < 3$  км/с.

Отметим, что пара NGC 3590 — Hogg 12 (отмечена стрелкой на рис. 4) рассмотрена Пиатти и др. [58]. Оба скопления представляют собой удивительно маленькие объекты, радиусы которых составляют ~1 пк, а расстояние между ними около 3.6 пк. Возраст скоплений составляет 30 млн. лет. В пользу их двойственности говорит и тот факт, что в случае их рождения в разных ОВ ассоциациях, т.е. "не родственной" связи, за время, равное их возрасту, они бы разошлись на значительно большее расстояние (~30 пк), чем наблюдается. Пространственная скорость скоплений относительно друг друга в этой паре составляет около 1 км/с. Логарифм возраста для этих скоплений 7.4 и 7.6 соответственно (табл. 10).

Исследование Пецка и Паунзен [59] показало, что пары ASCC 19 – UBC 17а и Gulliver 6 – UBC 17b близки настолько, что лишь специальное исследование позволило установить, что это именно пары разных скоплений. Кроме того, две данные пары так близки в пространстве, что выделяются как агрегация, состоящая из четырех скоплений, разбитых на пары. На диаграмме собственных движений и по параллаксам данные пары разделяются, а на двухцветных диаграммах практически их оказалось разделить сложно. Мы считаем, что пары, для которых 7 пк  $< \delta R < 20$  пк, являются надежными кандидатами в тесные двойные, или ТДРС. Данные о них приведены в табл. 11. В ее колонках название каталога, в котором они приведены, имена скоплений, логарифм возраста (удалось найти не для всех скоплений),  $\delta R$ ,  $\delta V$ .

## 5. ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

## 5.1. Доля двойных скоплений в Галактике

Для оценки типа двойственности РЗС мы провели следующий простой анализ. Вероятно, все звезды образуются в звездных скоплениях, большая часть которых распадается в момент образования массивных звезд, ионизирующих газ молодых скоплений. Температура ионизованного газа

~10<sup>4</sup> К, скорость расширения около 10 км/с. Пекулярные скорости движения звезд (дисперсия скоростей) в рассеянных звездных скоплениях ~1 км/с. Это обеспечивает потерю газового компонента, масса которого порядка массы звездного компонента скопления. В итоге гравитация не удерживает скопление, и большинство только что образовавшихся звездных скоплений распадается [22].

		· •		-					
Имя скопления 1	Имя скопления 2	Кол-во пересечений	SMD	ESP	P1989	S1995	S2018T4	S2018T5	LP2019
NGC 869	NGC 884	4	+		+	+		+	
Alessi 20	Stock 12	3	+				+		+
RSG 7	RSG 8	2		+			+		
Platais 8	IC 2602	3	+				+	+	
IC 2391	IC 2602	2	+		+				
ASCC 16	ASCC 19	3	+				+		+
ASCC 16	ASCC 21	2	+				+		
ASCC 20	ASCC 21	2	+						+
NGC 6633	IC 4756	2						+	+
NGC 6633	IC 4665	2	+		+				
NGC 6871	IC 4996	2	+		+				
NGC 6823	NGC 6830	2	+		+				
NGC 1981	Collinder 70	2	+			+			
ASCC 105	Roslund 5	2	+				+		
Alessi 13	Mamajek 1	2	+					+	
Turner 9	ASCC 110	2	+					+	
Collinder 394	NGC 6716	2	+					+	
NGC 2447	NGC 2448	2	+						+
ASCC 58	NGC 3228	2	+						+

Таблица 8. Двойные скопления, пересечения по авторам списков

Таблица 9. Начальные записи кросс-каталога с частичным пересечением имен

Имя	Имя скопления 2										
скопления 1	SMD	ESP	P1989	S1995	S2018T4	S2018T5	LP2019				
	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		Пары встреча	ются в табл. 8							
Alessi 20	Stock 12 ASCC 5 ASCC 4				Stock 12		Stock 12				
Alessi 13	Mamajek 1 Mamajek 3					Mamajek 1					
Collinder 394	NGC 6716 ASCC 99					NGC 6716					
NGC 2447	NGC 2448 ASCC 43						NGC 2448				
ASCC 58	NGC 3228 vdBergh- Hagen 9 Loden 1439						NGC 3228				

Для оценки доли скоплений, остающихся гравитационно связанными после потери ими газа, необходимо оценить массу скоплений и время их жизни. Каталог MWSC показывает, что в окрестностях Солнца до 1 кпк находится ~500 P3C со средней массой ~ $500M_{\odot}$  и возрастом ~ $10^8$  лет.

Примем радиус Галактики, в пределах которого расположены эти скопления, равным 10 кпк. В таком случае число скоплений во всем рассматриваемом объеме Галактики можно экстраполировать до 50 тыс. Полная масса скоплений здесь составит  $25 \times 10^6 M_{\odot}$ . Разделив это число на сред-



**Рис. 4.** Диаграмма  $\lg \delta R - \lg \delta V$  для пар скоплений, представленных в табл. 1–7. Цветами и подписями вверху справа показана принадлежность данных разным авторам. Границы, показанные прямыми линиями, разъяснены в тексте. Использованы данные для скоплений, обозначенных разными цветами: 1 – SMD, 2 – Павловская, Филипова [31], 3 – Ли и Панг [51], 4 – Субраманиам и др. [46], 5 – S2018T4 [47], 6 – S2018T5 [47], 7 – ESP. Наклонные прямые, показанные штрих-пунктиром, дают информацию о суммарной массе двойного скопления. При условии гравитационной связи скоплений различных масс исходя из формулы  $v^2 = GM/R$ . Для примера взяты три значения массы скопления  $M = 100M_{\odot}$ ,  $1000M_{\odot}$ ,  $1000M_{\odot}$ . Подставляя указанные значения для массы M, последовательно получены зависимости  $\delta R = GM/(\delta V)^2$ .

нее время жизни скопления  $10^8$  лет, найдем, что средняя скорость звездообразования в скоплениях ~0.25 $M_{\odot}$ /год. Наблюдаемая скорость звездообразования в Галактике ~1.65 $M_{\odot}$ /год (Фрейзер-

Маккельви и др. [60]). Следовательно, только около 8% звездных скоплений сохраняются после потери ими газового компонента. Оценка доли двойных скоплений содержится у Субраманиам и

Каталог	Имя скопления 1	Возраст скопления 1, lg <i>t</i>	Имя скопления 2	Возраст скопления 2, lg <i>t</i>	δ <i>R</i> , пк	δ <i>V</i> , км/с	$\delta \lg t$
SMD	NGC 3590	7.40	Hogg 12	7.60	4.89	2.69	0.20
ESP	ASCC 19	7.50	UBC17 a	7.27*	6.28	0.53	0.23
ESP	Gulliver 6	7.22*	UBC17 b	7.06*	5.78	0.05	0.16

Таблица 10. Пары, рекомендуемые для более глубокого исследования

\* Данные из [57].

Каталог	Имя скопления 1	Возраст скопления 1, lg <i>t</i>	Имя скопления 2	Возраст скопления 2, lg <i>t</i>	δ <i>R</i> , пк	δ <i>V</i> , км/с
MDS	Collinder 394	7.860	NGC 6716	7.385	7.24	5.83
MDS	ASCC 20	7.000	ASCC 16	7.000	8.50	6.16
MDS	NGC 1981	7.110	Sigma Ori		13.94	0.78
MDS	NGC 2447	8.680	NGC 2448	7.250	14.90	1.05
MDS	ASCC 18	7.150	ASCC 19	7.500	15.83	5.03
MDS	Collinder 70	7.400	Sigma Ori		16.69	8.39
ESP	RSG 7		RSG 8		24.10	0.35
ESP	Alessi 62	8.950	UBC 26		15.06	2.39
ESP	NGC 1582	8.665	COIN-Gaia 39		2.17	23.89
ESP	UBC 34		COIN-Gaia 1		8.77	0.72
ESP	COIN-Gaia 11		UBC 60		19.86	1.00
ESP	COIN-Gaia 8		UBC 48		14.25	2.35
ESP	UBC 37		COIN-Gaia 30		22.38	3.44
ESP	COIN-Gaia 10		UBC 58		18.52	15.67

Таблица 11. Список кандидатов в тесные двойные скопления

др. [49] и составляет около 8% оставшихся рассеянных скоплений. Это дополнительно к сказанному выше служит подтверждением степени редкости ТДРС. Звездные скопления, пережившие потерю газового компонента и остающиеся в пределах своей общей полости Роша, должны иметь определенную величину углового орбитального момента, который позволит им оставаться гравитационно-связанными (т.е. являться физически связанной парой). В отсутствие должного углового момента компоненты тесной пары просто сольются в одно скопление. Примеры шаровых скоплений – продуктов слияния – известны. Например, шаровое скопление М 3 согласно химическому составу входящих в него звезд четко делится на два компонента. Вполне возможно, является следствием того, что оно является продуктом слияния двух скоплений (Ли и др. [61]). Хотя существует и другое объяснение бимодальности химического состава звезд шаровых скоплений: возможная двукратная вспышка звездообразования в них (Валле и др. [62]). Вопрос о возможности разделить население РЗС с помощью анализа химического состава их звезд остается открытым (Брагалья и др. [63]), возможно из-за близости химического состава околосолнечных скоплений лиска Галактики.

## 5.2. РЗС, сближавшиеся в прошлые эпохи

Выше рассмотрено наблюдаемое расположение скоплений в парах. Очевидно, что оно менялось со временем за счет движения скоплений в пространстве. Так, тесное двойное скопление могло распасться по какой-либо причине и скопления могли разойтись со временем на значительное расстояние. В работе Сизовой и др. [64] сделана попытка учесть эту возможность, и проведены расчеты движения скоплений в прошлые эпохи. Полученные результаты несколько расширяют круг проблем, связанных с тесными двойными скоплениями. Так, отмечены наиболее примечательные сближения пар скоплений в прошлые эпохи. Приводим пары, которые могут представлять интерес для дальнейших исследований (эти пары практически одновременно сближались и с Солнцем):

• Alessi 13 и Mamajek 3 в момент времени 3.00 млн. лет назад сближались с Солнцем на 75 и 60 пк соответственно, при этом двигались приблизительно параллельно друг с другом на расстоянии 89 пк; это, скорее всего, ВДРС;

• Melotte 20 и Mamajek 2 в настоящий момент проходят мимо Солнца на расстоянии 174 пк практически одновременно, но не сближаются между собой. Располагаясь на более, чем 300 пк друг от друга, они являются ВДРС.

• Platais 8 и IC 2602 сближались на 30 пк около 2 млн. лет назад. Они могут быть ТДРС.

# 5.3. Выводы

1) Составлены каталоги двойных скоплений, включающие найденные нами пары по данным об одиночных скоплениях. Каталог MDS (n == 370 пар) получен с помощью MWSC, приведен в Приложении 1. Каталог ESP (n = 10 пар) составлен по публикациям списков групп и пар: P1989

Имя скопления 1		e_lg t	FeH	e_FeH	Имя скопления 2		e_lg t	FeH	e_Fe H	δ <i>R</i> , пк	δ <i>V</i> , км/с
NGC 3590	74				Ηοσσ 12	76				4 89	2 69
Collinder 394	7.86				NGC 6716	7 385		-0.31		7 24	4 36
ASCC 20	7				ASCC 16	7		0.51		8.5	7.25
NGC 1981	7 11	0.001			Sigma Ori	61				13 94	2.08
Dias 5	8.1	0.001			Turner 2	7.9				13.96	4.41
NGC 2447	8.68	0.022	-0.095	0.11	NGC 2448	7.25				14.9	2.05
ASCC 18	7.15				ASCC 19	7.5				15.83	5.08
Collinder 70	7.4		0.144	0.08	Sigma Ori	6.1				16.69	10.12
Mamajek 1	6.99				Feigelson 1	6.6				19.61	0.29
ASCC 21	7.11				ASCC 20	7				19.82	2.73
ASCC 65	6.85				Loden 306	6.76				21.17	4.52
Рию Collinder 394	7.86				ASCC 99	8.75				22.24	17.95
NGC 6716	7.385		-0.31		ASCC 99	8.75				22.61	22.31
ASCC 21	7.11				ASCC 16	7				23.69	9.99
Collinder 70	7.4		0.144	0.08	NGC 1981	7.11	0.001			25.37	8.04
Collinder 70	7.4		0.144	0.08	ASCC 20	7				25.58	3.05
ASCC 100	7.95				ASCC 101	8.62	0.088			26.25	6.49
Feinstein 1	7.2				Trumpler 18	7.69				26.91	14.27
ASCC 101	8.62	0.088			Stephenson 1	7.52				27.04	4.17
BDSB 44	6.87				Czernik 43	7.76	0.314			28.12	38.95
Hogg 10	6.785				ASCC 65	6.85				28.57	25.47
NGC 5316	8.23		0.045	0.13	NGC 5281	7.76				28.82	0.71
NGC 6169	7.5				NGC 6178	7.51				29.09	3.93
Trumpler 14	6				Bochum 11	6				29.52	17.65
NGC 1977	6.6				NGC 1981	7.11	0.001			30.13	1.39
Platais 8	7.75		-0.292	0.101	IC 2391	8.05		-0.155	0.1	30.72	7.81
Collinder 95	7.3				NGC 2264	6.75		-0.15		31.18	7.77
ASCC 21	7.11				Collinder 70	7.4		0.144	0.08	31.41	0.32
Collinder 70	7.4		0.144	0.08	ASCC 16	7				31.67	10.31
ASCC 100	7.95				Stephenson 1	7.52				32.23	2.32
Platais 8	7.75		-0.292	0.101	IC 2602	8.345		-0.099	0.101	32.63	3.66
ASCC 67	7.67				Loden 402	8.4				32.95	18.59
NGC 1977	6.6				Collinder 70	7.4		0.144	0.08	32.95	6.65
Sigma Ori	6.1				ASCC 20	7				33.88	7.07
ASCC 58	7.2				NGC 3228	8.42				34.69	8.01
NGC 1977	6.6				Sigma Ori	6.1				35.53	3.47
NGC 1912	8.35				FSR 0777	7				36.33	11.32
Hogg 16	7.95				Collinder 272	7.02				36.56	0.59
NGC 2071	6.55				NGC 2112	9.315		0.16	0.03	36.65	7.85
Hogg 10	6.785				Loden 306	6.76				36.92	20.94
Markarian 38	6.9		0.18	0.095	NGC 6603	8.4				37.5	16.08
Trumpler 33	7.84		-1.544	0.19	Dias 5	8.1				37.9	6.84
ASCC 114	7.75				IC 1396	6				37.97	7.2
NGC 2301	8.35		0.06	0.06	ASCC 29	8.06				38.26	29.1
ASCC 50	7.8				Collinder 197	7.2				39.01	14.28
Sigma Ori	6.1				ASCC 16	7				39.01	0.18

**Приложение 1.** Каталог пар звездных скоплений по MWSC (SMD), найденных по единственному критерию  $\delta R < 100$  пк

Приложение 1. Продолжение

Имя скопления 1		$e^{-l\alpha t}$	FeH	e FeH	Имя скопления ?		$e^{-l\alpha t}$	FeH	e_Fe	δ <i>R</i> ,	δ <i>V</i> ,
имя скопления т		c_lg i	1011	c_1 c11			c_lg l	1011	Н	ПК	км/с
NGC 3114	8.3		0.02	0.09	Ruprecht 161	8.45				40.21	1.38
NGC 7160	7.2		0.16	0.03	Pismis-Moreno 1	7.4				40.23	4.08
Dolidze 32	6				Dolidze 34	7.95				41.6	1.58
Loden 807	8.3				Loden 915	8.445				42.42	19.17
Collinder 135	7.6		-0.219	0.096	Collinder 140	7.7		-0.1	0.15	42.62	4.25
NGC 1981	7.11	0.001			ASCC 20	7				43.14	4.99
Collinder 367	7.295				NGC 6531	6.82				43.15	3.38
Stock 16	6.78				NGC 5045	7.955	0.159			43.6	5.05
Pismis 20	7.5				DBSB 140	7.3				43.82	24.65
Ruprecht 43	8.4				ASCC 43	8.215				43.83	21.54
Trumpler 33	7.84		-1.544	0.19	Turner 2	7.9				44.39	2.43
ASCC 1	8.406				SAI 4	8.8	0.069			44.73	30.63
Ruprecht 26	7.8		0.313	0.11	Ruprecht 151	8.15		-0.102	0.102	45.43	21.73
ASCC 21	7.11				Sigma Ori	6.1				45.73	9.81
ESO 175-06	8.6				NGC 5662	8.275	0.09			46.05	4.11
Stock 17	7				King 12	7.145				46.14	39.63
NGC 1981	7.11	0.001			ASCC 16	7				46.4	2.27
FSR 0777	7				NGC 1960	7.565	0.078			47.55	0.12
NGC 869	7.28		-0.3		NGC 884	7.2		-0.3		48.1	13.09
Collinder 132	7.51				Collinder 135	7.6		-0.219	0.096	48.21	6.18
ASCC 19	7.5				NGC 1977	6.6				48.46	6.81
Feigelson 1	6.6				IC 2602	8.345		-0.099	0.101	48.78	0.4
Hogg 12	7.6				ASCC 64	8.1	0.136			48.92	9.26
IC 2391	8.05		-0.155	0.1	Platais 9	8.09				49.01	1.28
Ruprecht 91	8.405	0.098			ASCC 60	8.125				49.93	5.69
Bochum 2	6.665				Dolidze 25	6.75				50.79	3.86
ASCC 62	6.995				Collinder 228	6.68				51.12	2.89
NGC 1444	6.85				NGC 1496	8.85				51.77	2.83
Wit 2	8.785	0.021			Ivanov 9	6.5				51.92	9.35
ASCC 111	6.65				Biurakan 1	7.035	0.001			52.07	27.69
NGC 7538	6.3				Cas OB2	7.3				52.3	16.74
Mamajek 1	6.99				Platais 8	7.75		-0.292	0.101	52.38	3.78
NGC 2232	7.7		0.32	0.08	ASCC 24	7.3				52.78	0.83
Kronberger 59	8				Collinder 419	7.1				53.05	17.93
NGC 3590	7.4				ASCC 64	8.1	0.136			53.71	6.57
NGC 2437	8.35		-0.47	0.131	NGC 2428	8.615	0.039	-0.145	0.105	53.86	12.61
Ruprecht 93	8.755		0.153	0.13	NGC 3590	7.4				53.89	14.06
NGC 6396	7.505				NGC 6383	6.6				54.08	29.39
IC 2602	8.345		-0.099	0.101	IC 2391	8.05		-0.155	0.1	54.33	4.15
Mamajek 1	6.99				IC 2602	8.345		-0.099	0.101	54.69	0.11
ASCC 21	7.11				Collinder 69	6.76				54.8	11.52
ASCC 21	7.11				NGC 1981	7.11	0.001			55.06	7.72
NGC 2270	8.915	0.036			Collinder 107	7.165	0.016			55.09	15.08
Ruprecht 93	8.755		0.153	0.13	Hogg 12	7.6				55.69	16.75
Dolidze 11	7.35				IRAS 20286+4105	7.95				55.74	20.04
Collinder 350	8.71	0.015			IC 4665	7.63		-0.03	0.04	55.82	2.85
NGC 2428	8.615	0.039	-0.145	0.105	Ruprecht 26	7.8		0.313	0.11	55.92	23.72

АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ том 99 № 5 2022

370

# Приложение 1. Продолжение

Има скопления 1		$e^{-1}at$	FeH	e FeH	Има скопления 2		$e^{-1}a^{t}$	FeH	e_Fe	δ <i>R</i> ,	δ <i>V</i> ,
имя скопления т		c_lg <i>t</i>	Ten	c_ren	тия скопления 2		$c_{lg}$	1011	Н	ПК	км/с
NGC 1977	6.6				ASCC 20	7				56.71	3.6
ASCC 14	8.53				NGC 1912	8.35				56.74	8.29
Loden 481	8.385	0.042			NGC 4103	7.755				56.97	3.07
NGC 2232	7.7		0.32	0.08	Platais 6	7.96	0.006			57.02	6.17
NGC 6475	8.25		0.14	0.06	NGC 6405	8.035	0.106	0.205	0.11	57.3	1.02
Platais 12	8.4		0.027	0.124	vdBergh-Hagen 164	7.1				57.45	4.19
Dolidze 1	7.6				Feibelman 1	6.7				57.53	3.66
ASCC 18	7.15				NGC 1977	6.6				57.69	1.73
Feigelson 1	6.6				Platais 8	7.75		-0.292	0.101	57.82	4.07
Collinder 132	7.51				Collinder 140	7.7		-0.1	0.15	58.05	1.93
NGC 1977	6.6				ASCC 21	7.11				58.77	6.33
IC 2391	8.05		-0.155	0.1	NGC 2451A	7.76		-0.531	0.101	58.88	2.59
Collinder 107	7.165	0.016			vdBergh 1	8.315				59.56	7.87
ASCC 115	8.35				IC 5146	6				60.32	0.18
NGC 3496	8.895	0.023			Feinstein 1	7.2				60.36	7.99
Loden 1194	8.705				Loden 915	8.445				60.38	15.94
ASCC 5	7.78				ASCC 4	8.65				60.38	34.12
NGC 2467	8.1				NGC 2482	8.505	0.086	-0.081	0.105	60.64	8.34
NGC 1977	6.6				ASCC 16	7				60.68	3.66
Berkeley 17	9.6		-0.1	0.09	ASCC 17	7.265				60.92	53.4
NGC 2451A	7.76		-0.531	0.101	Platais 9	8.09				60.93	1.31
BDSB 73	8.875				NGC 1912	8.35				60.95	4.81
ASCC 20	7				Collinder 69	6.76				61.02	8.79
NGC 1976	6				NGC 1980	6.67				62.18	3.75
ASCC 16	7				Collinder 69	6.76				62.51	1.53
Pismis 4	8.155		-0.2		Ruprecht 64	8.45				63.01	0.89
NGC 1027	8.55				SAI 24	7.2				63.43	22.16
NGC 6204	8		-1.053	0.15	NGC 6249	8.09	0.202			63.7	7.08
Bochum 11	6				ASCC 62	6.995				63.89	19.36
ASCC 94	8.84	0.078			NGC 6639	8.93				63.97	11.53
ASCC 84	7.85				NGC 6087	7.95		-0.01	0.06	64.23	4.08
vdBergh-Hagen 23	7.14				Trumpler 10	7.38				64.29	4.87
IRAS 06567-0355	7.35				Wit 1	6.35				64.53	37.3
Ruprecht 98	8.8				ASCC 73	8.19				64.91	5.17
NGC 6910	7.53	0.026			NGC 6913	7.51				65.01	8.89
ASCC 88	7				Bochum 13	7.25				65.22	9.38
Dolidze 28	8.25				NGC 6618	6		0.046	0.095	65.78	14.56
NGC 6193	6.7				NGC 6167	8.19				65.8	5.76
Platais 4	8.55				Collinder 65	8.065				65.99	7.37
Loden 807	8.3				Loden 682	8.47				66.2	16.67
Loden 565	8.375				Loden 682	8.47				66.27	18.4
ASCC 19	7.5				Collinder 70	7.4		0.144	0.08	66.45	0.16
Mamajek 3	7.5				Melotte 22	8.15		-0.036	0.116	67.33	11.19
NGC 6883	7.71	0.059			Dolidze 1	7.6				67.54	30.66
vdBergh-Hagen 99	8		90.128	0.117	ASCC 58	7.2				67.78	0.49
Loden 306	6.76				NGC 3572	6.925				67.89	20.03
ASCC 18	7.15				ASCC 21	7.11				68.04	4.6

Приложение 1. Продолжение

Имя скопления 1		e_lg t	FeH	e_FeH	Имя скопления 2		e_lg t	FeH	e_Fe H	δ <i>R</i> , пк	δ <i>V</i> , км/с
NGC 2244	67				Collinder 106	6 415				68.05	4 84
NGC 5155	74				Ruprecht 107	8 235				68 13	55.98
ASCC 18	7.15				Collinder 70	7.4		0 144	0.08	68 38	4 92
Loden 189	7.15		0 202	0 112	Collinder 236	8 45		0.144	0.00	68.65	7.92
NGC 5281	7.76		0.202	0.112	Trumpler 21	7.85		0.042	0.15	68 85	35.76
Pismis 17	7.4		-0 145	0 113	Bochum 11	6				68.92	38.5
ASCC 79	6.95		0.115	0.115	ASCC 84	7 85				69.17	193
Collinder 228	6.68				NGC 3324	6.1		-0.474	0.14	69.19	13.96
ASCC 65	6.85				NGC 3572	6 925				69.82	24 56
Trumpler 17	7.775				Pismis 17	7.4		-0.145	0.113	69.84	63.91
NGC 3532	8.65		0.019	0.112	vdBergh-Hagen 99	8		90.128	0.117	70.07	8.79
NGC 2423	9.025	0.014	0.068	0.103	Bochum 4	8.41	0.008	,		70.23	8.39
NGC 1981	7.11	0.001			NGC 1976	6				70.34	1.1
ASCC 58	7.2				Loden 143	8.45				70.48	7.52
NGC 6913	7.51				Berkelev 87	7.1				70.66	6.69
Collinder 258	8.35				NGC 4609	8.1	0.062			70.7	10.05
NGC 2396	8.52				Alessi 21	7.7				70.74	22.23
Sgr OB7	6.45		0.03	0.1	BDSB 3	8.255				70.95	12.2
Sigma Ori	6.1				NGC 1976	6				71.26	0.98
Turner 2	7.9				NGC 6618	6		0.046	0.095	71.28	17.02
Pismis 16	7.1				Ruprecht 79	7.265				71.39	18.69
Trumpler 16	6.5				ASCC 63	7.25				71.82	30.03
ASCC 48	9.185	0.021			Pismis 4	8.155		-0.2		71.83	9.16
Platais 3	8.8				Melotte 20	7.7				72.23	9.47
NGC 1912	8.35				NGC 1960	7.565	0.078			72.4	11.44
Muzzio 1	6.5				Collinder 205	7.03				72.44	9.24
NGC 3496	8.895	0.023			Trumpler 18	7.69				72.87	6.28
vdBergh 1	8.315				NGC 2244	6.7				72.94	7.99
ASCC 19	7.5				ASCC 21	7.11				73.04	0.48
Stock 12	8.45				Alessi 20	7.575	0.188			73.13	5.43
IC 4665	7.63		-0.03	0.04	NGC 6633	8.76		0.06	0.01	73.55	7.75
BDSB 46	7.25				Frolov 1	7.588				73.6	37.96
ASCC 48	9.185	0.021			Ruprecht 64	8.45				73.9	8.27
Roslund 3	7.7				Harvard 20	8.05				73.95	3.33
Alessi 3	8.87		-0.275	0.111	NGC 2547	7.89		-0.16	0.09	74.05	9.99
NGC 7380	7.25				Cep OB5	7.5				74.19	8.72
NGC 5662	8.275	0.09			Loden 1194	8.705				74.31	8.28
Dolidze 5	8.1				Dolidze 36	8.92				74.32	31.3
FSR 0222	7.2				Berkeley 87	7.1				74.36	7.55
Loden 1194	8.705				Loden 807	8.3				74.41	3.24
Platais 8	7.75		-0.292	0.101	Platais 9	8.09				74.63	9.09
Loden 481	8.385	0.042			NGC 3766	7.95				74.78	2.14
Alessi 3	8.87		-0.275	0.111	Collinder 135	7.6		-0.219	0.096	75.08	7.98
Alessi 5	7.765		-0.382	0.1	NGC 3532	8.65		0.019	0.112	75.08	1.1
NGC 6613	7.705	0.067	_		Dolidze 28	8.25		_		75.17	3.16
NGC 2547	7.89		-0.16	0.09	NGC 2516	8.475		-0.373	0.098	75.56	6.58
vdBergh-Hagen 56	7.3				DBSB 36	7.5				75.81	2.85

АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ том 99 № 5 2022

# Приложение 1. Продолжение

Ина оконнония 1		0.1-4	EaU	a Fall	Ина окончония 2		a 1a f	EaH	e_Fe	δ <i>R</i> ,	δ <i>V</i> ,
имя скопления т		e_lg t	геп	е_геп	имя скопления 2		e_lg t	геп	Н	пк	км/с
Platais 6	7.96	0.006			Collinder 70	7.4		0.144	0.08	75.91	7.37
ASCC 19	7.5				NGC 1981	7.11	0.001			76.33	8.2
ASCC 67	7.67				Ruprecht 97	8.65		-0.59		76.63	1.77
Stock 2	8.44		-0.14	0.2	Stock 23	8.3				76.65	23.9
Hogg 10	6.785				NGC 3572	6.925				77.15	0.91
DBSB 101	8.05				Ruprecht 119	8.435				77.28	25.92
IC 2395	7.27	0.048	0		vdBergh-Hagen 56	7.3				77.46	9.22
Stock 12	8.45				Aveni-Hunter 1	8.186	0.173			77.61	30.48
FSR 0852	9				S 242.Sh2 242	6.4				77.75	16.24
Turner 5	8.49		-0.258	0.099	Trumpler 10	7.38				77.8	17.79
ASCC 19	7.5				Sigma Ori	6.1				77.94	10.28
FSR 0052	7.5				NGC 6613	7.705	0.067			78.27	0.36
ASCC 96	8.4				ASCC 98	8.045				78.32	19.09
Melotte 22	8.15		-0.036	0.116	Melotte 20	7.7				78.71	3.17
Loden 915	8.445				Loden 682	8.47				78.97	2.5
ASCC 105	7.91				Roslund 5	7.57				79.03	3.58
ASCC 14	8.53				FSR 0777	7				79.13	3.03
Platais 6	7.96	0.006			ASCC 21	7.11				79.31	7.05
ASCC 43	8.215				NGC 2448	7.25				79.36	60.49
Platais 6	7.96	0.006			ASCC 24	7.3				79.57	7
ASCC 18	7.15				Platais 6	7.96	0.006			79.63	2.45
NGC 2422	8.12		0.008	0.116	NGC 2396	8.52				80.04	21.15
Sco OB4	6.82		-0.063	0.129	NGC 6334	8.32	0.062			80.07	0.55
Alessi 20	7.575	0.188			ASCC 5	7.78				80.19	24.88
Collinder 70	7.4		0.144	0.08	Collinder 69	6.76				80.32	11.84
NGC 6334	8.32	0.062			NGC 6396	7.505				80.37	25.8
Collinder 111	7.7				Collinder 97	8.4				80.43	12.43
Mamajek 1	6.99				IC 2391	8.05		-0.155	0.1	80.96	4.03
ASCC 18	7.15				ASCC 20	7				81.22	1.87
Platais 6	7.96	0.006			NGC 1977	6.6				81.42	0.72
DBSB 156	7.3				DBSB 164	7.3				81.56	34.04
Stock 5	7.7				NGC 743	8.29	0.09			81.65	2.61
NGC 6204	8		-1.053	0.15	NGC 6193	6.7				82.01	10.29
ASCC 18	7.15				Sigma Ori	6.1				82.13	5.2
Ruprecht 93	8.755		0.153	0.13	ASCC 64	8.1	0.136			82.16	7.49
NGC 3324	6.1		-0.474	0.14	NGC 3293	6.75				82.19	19.83
NGC 6882	8.2		-0.02	0.01	ASCC 105	7.91				82.49	2.68
Lynga 2	8.43	0.06			Loden 1010	8.825				82.55	3.1
ASCC 19	7.5				Platais 6	7.96	0.006			82.68	7.53
ASCC 18	7.15				NGC 1981	7.11	0.001			82.78	3.12
NGC 6913	7.51				FSR 0222	7.2				82.81	0.86
ASCC 16	7				NGC 1976	6				82.83	1.17
ASCC 18	7.15				Collinder 65	8.065				82.87	1.34
Czernik 4	7.715				NGC 433	7.81				82.9	19.85
ASCC 19	7.5				ASCC 20	7				83.02	3.21
NGC 2232	7.7		0.32	0.08	NGC 1977	6.6				83.02	5.45
Collinder 140	7.7		-0.1	0.15	vdBergh-Hagen 23	7.14				83.05	1.86

Приложение 1. Продолжение

Има скопления 1		a lat	FeH	e FeH	Има скопления 2		a lat	FeH	e_Fe	δ <i>R</i> ,	δ <i>V</i> ,
имя скопления т		e_ig <i>i</i>	1,611	e_ren	ИМЯ СКОПЛЕНИЯ 2		$e_{lg}l$	ren	Н	пк	км/с
NGC 6268	8.65	0.042			NGC 6242	7.55				83.1	8.9
Trumpler 17	7.775				Trumpler 14	6				83.12	7.76
ASCC 20	7				NGC 1976	6				83.26	6.09
Dias 5	8.1				NGC 6618	6		0.046	0.095	83.29	21.43
Platais 6	7.96	0.006			Sigma Ori	6.1				83.34	2.76
ASCC 8	7.77				IRAS 02232+6138	6.85				83.51	34.23
ASCC 44	7.9				Pismis 4	8.155		-0.2		83.7	5.23
Per OB2	7.355				IC 348	6.78				83.74	4.91
DBSB 36	7.5				NGC 2925	7.805				83.91	4.46
Kronberger 72	8.85				Biurakan 2	7.23	0.111			83.97	24.17
Pismis 17	7.4		-0.145	0.113	ASCC 62	6.995				84.05	19.14
NGC 6322	7.16				NGC 6249	8.09	0.202			84.11	12.57
Lynga 6	7.45				NGC 6067	7.97		0.138	0.06	84.17	22.62
NGC 6664	7.9				NGC 6694	8.12	0.029			84.17	1.57
ASCC 18	7.15				ASCC 16	7				84.19	5.39
Platais 8	7.75		-0.292	0.101	NGC 2451A	7.76		-0.531	0.101	84.24	10.4
NGC 6514	6.9				Collinder 367	7.295				84.51	2.11
NGC 6416	8.2		-0.613	0.095	vdBergh-Hagen 221	7.8				84.58	9.25
ASCC 14	8.53				BDSB 73	8.875				84.58	3.49
NGC 6383	6.6				Trumpler 27	7.58		-0.193	0.09	84.75	1.36
NGC 6178	7.51				NGC 6204	8		-1.053	0.15	84.81	20.75
Trumpler 21	7.85				Lynga 1	8.39				84.85	17.78
Trumpler 14	6				ASCC 62	6.995				84.87	37.01
NGC 2547	7.89		-0.16	0.09	Trumpler 10	7.38				84.88	9.28
NGC 5316	8.23		0.045	0.13	Trumpler 21	7.85				84.94	36.47
ASCC 123	8.191				NGC 7092	8.569	0.054	0.15		84.97	17.09
NGC 2428	8.615	0.039	-0.145	0.105	Ruprecht 151	8.15		-0.102	0.102	85.02	1.99
NGC 6167	8.19				Ruprecht 121	8.425				85.08	1.27
Collinder 70	7.4		0.144	0.08	NGC 1976	6				85.45	9.14
Ruprecht 92	7.65		0.201	0.13	Bochum 11	6				85.83	30.02
NGC 1582	8.665	0.069			FSR 0686	7.5				85.97	13.62
Turner 9	8.03				ASCC 110	8.55				86.04	2.37
ASCC 19	7.5				ASCC 16	7				86.09	10.46
IC 2395	7.27	0.048	0		DBSB 36	7.5				86.17	12.07
Trumpler 14	6				Pismis 17	7.4		-0.145	0.113	86.2	56.15
DBSB 62	6.9				Ruprecht 92	7.65		0.201	0.13	86.48	20.33
NGC 6322	7.16				NGC 6268	8.65	0.042			86.48	41.94
Ruprecht 119	8.435				NGC 6193	6.7				86.6	32.73
Stock 13	7.37				Ruprecht 93	8.755		0.153	0.13	86.69	35.07
ASCC 19	7.5				NGC 2232	7.7		0.32	0.08	87.21	1.36
NGC 3228	8.42				Loden 143	8.45				87.4	15.53
Trumpler 17	7.775				Bochum 11	6				87.47	25.41
BDSB 73	8.875				FSR 0777	7				87.54	6.51
NGC 2270	8.915	0.036			vdBergh 1	8.315				87.55	22.95
Trumpler 33	7.84		-1.544	0.19	NGC 6618	6		0.046	0.095	87.58	14.59
Kronberger 72	8.85				NGC 6910	7.53	0.026			87.67	32.97
Feigelson 1	6.6				IC 2391	8.05		-0.155	0.1	87.76	3.74

АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ том 99 № 5 2022

# Приложение 1. Продолжение

			<b>D</b> . 11		14			<b>F</b> . H	e_Fe	δ <i>R</i> ,	δ <i>V</i> ,
имя скопления 1		e_lg t	ген	е_ген	имя скопления 2		e_lg t	ген	Н	ПК	км/с
NGC 2437	8.35		-0.47	0.131	Ruprecht 26	7.8		0.313	0.11	88.17	11.11
IC 2602	8.345		-0.099	0.101	Platais 9	8.09				88.33	5.43
vdBergh-Hagen 23	7.14				NGC 2451B	8.23		-0.45		88.73	4.38
NGC 3496	8.895	0.023			Collinder 223	8.2		-0.217	0.1	88.74	4.17
NGC 6281	8.5	0.062	0		NGC 6124	8.285				88.78	3
NGC 3590	7.4				NGC 3766	7.95				88.95	3.76
ASCC 24	7.3				Sigma Ori	6.1				89.09	9.76
NGC 2383	8.69	0.061			Trumpler 7	8	0.001			89.14	25.02
NGC 1977	6.6				ASCC 24	7.3				89.19	6.28
Platais 6	7.96	0.006			ASCC 20	7				89.22	4.32
Alessi 3	8.87		-0.275	0.111	Collinder 132	7.51				89.28	1.8
NGC 5617	8.25				Cir OB1	6.8				89.33	44.21
Sigma Ori	6.1				Collinder 69	6.76				89.39	1.71
Collinder 69	6.76				NGC 1662	8.695	0.036	-0.095	0.01	89.39	16.34
NGC 1545	8.81	0.017	-0.06	0.09	NGC 1528	8.55				89.43	0.12
NGC 6613	7.705	0.067			Turner 2	7.9				89.46	5.62
Mamajek 3	7.5				Alessi 13	8.72		0.06	0.15	89.58	7.22
Dutra-Bica 58	6				NGC 6383	6.6				89.6	2.39
ASCC 43	8.215				NGC 2447	8.68	0.022	-0.095	0.11	89.91	58.44
Collinder 97	8.4				NGC 2251	8.455	0.074	0.25	0.04	89.97	2.19
Basel 8	7.925	0.099			Collinder 107	7.165	0.016			90.18	9.67
Pismis 21	8.11				NGC 5823	8.96	0.025			90.48	15.4
Hogg 12	7.6				NGC 3766	7.95				90.7	6.44
Biurakan 2	7.23	0.111			NGC 6913	7.51				90.73	0.09
Ruprecht 92	7.65		0.201	0.13	Pismis 17	7.4		-0.145	0.113	91.02	68.52
ASCC 47	7.88				ASCC 50	7.8				91.08	2.99
ASCC 24	7.3				NGC 1981	7.11	0.001			91.22	7.67
ASCC 99	8.75				Ruprecht 145	8.9		-0.127	0.08	91.35	10.08
IC 4996	7.15				NGC 6871	6.99				91.67	31.31
Collinder 65	8.065				ASCC 21	7.11				91.75	3.26
IC 2714	8.65	0.036	0.01	0.01	Ruprecht 164	7.7				91.95	15.47
Trumpler 28	6.6		0.326	0.11	Trumpler 26	8.17	0.041			92.03	1.05
Platais 6	7.96	0.006			NGC 1981	7.11	0.001			92.43	0.67
vdBergh-Hagen 99	8		90.128	0.117	NGC 3228	8.42				92.46	8.5
Collinder 135	7.6		-0.219	0.096	vdBergh-Hagen 23	7.14				92.46	2.39
NGC 6613	7.705	0.067			Trumpler 33	7.84		-1.544	0.19	92.62	3.19
DBSB 62	6.9				Melotte 105	8.375				92.71	3.11
BDSB 37	8.6				Markarian 50	7.1				92.87	11.15
NGC 6639	8.93				Ruprecht 145	8.9		-0.127	0.08	93.17	18.19
Trumpler 15	7.08				Trumpler 17	7.775				93.39	22.01
ASCC 18	7.15				NGC 2232	7.7		0.32	0.08	93.41	3.72
Loden 682	8.47				ESO 130-08	9.01	0.032	-0.25	0.14	93.6	4.83
Ruprecht 27	8.41				NGC 2527	8.91	0.031	0.208	0.11	93.99	31.85
FSR 0052	7.5				Dolidze 28	8.25				94.06	3.52

# Приложение 1. Окончание

Имя скопления 1		e_lg t	FeH	e_FeH	Имя скопления 2		e_lg t	FeH	e_Fe H	δ <i>R</i> , пк	δ <i>V</i> , км/с
ESO 175-06	8.6				Loden 1194	8.705				94.31	12.39
Ruprecht 18	8.455	0.023	-0.01	0.09	ASCC 37	8.73	0.059			94.37	11.84
vdBergh-Hagen 56	7.3				ASCC 47	7.88				94.59	5.22
Collinder 65	8.065				Collinder 69	6.76				94.81	8.26
NGC 6583	9		0.37	0.03	ASCC 93	6.1				94.97	5.01
NGC 6613	7.705	0.067			Dias 5	8.1				94.97	10.03
Turner 3	7.46				Sgr OB7	6.45		0.03	0.1	95	0.64
NGC 6882	8.2		-0.02	0.01	Roslund 5	7.57				95	6.26
Sgr OB6	7.5				NGC 6611	6.33				95.03	3.2
ASCC 7	7.4				Basel 10	7.6				95.14	17.29
ASCC 111	6.65				Berkeley 86	6.8				95.28	16.52
Collinder 197	7.2				vdBergh-Hagen 34	8.48				95.3	11.24
NGC 2068	6.45				ASCC 22	8.455				95.4	27.36
Collinder 107	7.165	0.016			NGC 2244	6.7				95.41	0.12
NGC 6823	7.01				NGC 6830	8.105	0.062			95.89	4.11
Melotte 20	7.7				Platais 2	8.313				95.9	10.73
NGC 6134	9.015	0.019	0.15	0.07	NGC 6208	9.28		-0.03		96	1.8
ASCC 127	7.82				Stock 12	8.45				96.03	9
Alessi 20	7.575	0.188			ASCC 4	8.65				96.12	9.24
Collinder 70	7.4		0.144	0.08	ASCC 24	7.3				96.21	0.37
Collinder 135	7.6		-0.219	0.096	NGC 2547	7.89		-0.16	0.09	96.63	2.01
NGC 6250	7.42				NGC 6178	7.51				96.92	2.68
NGC 2232	7.7		0.32	0.08	Collinder 70	7.4		0.144	0.08	97.03	1.2
FSR 1418	8.85	0.033			Ruprecht 67	8.6				97.03	10.57
Platais 6	7.96	0.006			ASCC 16	7				97.25	2.94
Ruprecht 107	8.235				Loden 995	8.625		-0.131	0.09	97.36	85.59
NGC 6613	7.705	0.067			NGC 6618	6		0.046	0.095	97.37	11.4
NGC 6193	6.7				Ruprecht 121	8.425				97.61	7.03
Trumpler 17	7.775				Ruprecht 92	7.65		0.201	0.13	97.71	4.61
ASCC 73	8.19				Loden 807	8.3				97.78	14.83
Ruprecht 164	7.7				Lynga 15	7.4				97.86	0.63
Loden 402	8.4				Ruprecht 97	8.65		-0.59		98.23	16.82
Loden 565	8.375				ESO 130-08	9.01	0.032	-0.25	0.14	98.28	23.23
NGC 2232	7.7		0.32	0.08	Sigma Ori	6.1				98.38	8.92
Bochum 11	6				Collinder 228	6.68				98.42	16.47
NGC 2527	8.91	0.031	0.208	0.11	Haffner 13	7.52	0.275			98.54	26.06
ASCC 19	7.5				Collinder 65	8.065				98.58	3.74
BDSB 73	8.875				NGC 1960	7.565	0.078			98.69	6.63
Roslund 2	6.78				NGC 6823	7.01				98.75	0.29
Stock 13	7.37				NGC 3590	7.4				98.75	21.01
Platais 6	7.96	0.006			Collinder 69	6.76				99.24	4.47
Mamajek 1	6.99				Alessi 13	8.72		0.06	0.15	99.41	1.2
NGC 6883	7.71	0.059			Feibelman 1	6.7				99.58	27
ASCC 125	6.7				Cep OB3	7.75				99.67	3.92
Platais 5	7.78				Collinder 132	7.51				99.85	3.02

АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ том 99 № 5 2022

376

# ДВОЙНЫЕ СКОПЛЕНИЯ: ТЕОРИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ

Имя			Имя	скопления 2			
скопления 1	SMD	ESP	P1989	S1995	S2018T4	S2018T5	LP2019
	I	Парь	ы встречают	ся в табл. 8			
Alessi 20	Stock 12 ASCC 5 ASCC 4				Stock 12		Stock 12
Alessi 13	Mamajek 1 Mamajek 3					Mamajek 1	
Collinder 394	NGC 6716 ASCC 99					NGC 6716	
NGC 2447	NGC 2448 ASCC 43						NGC 2448
ASCC 58	NGC 3228 vdBergh-Hagen 9 Loden 1439						NGC 3228
NGC 6633	IC 4665		IC 4665			IC 4756	IC 4756
NGC 6871	IC 4996		IC 4996				Gulliver 17
ASCC 105	Roslund 5 NGC 6882				Roslund 5		NGC 6793
ASCC 16	ASCC 19 ASCC 21 ASCC 20 Collinder 70 Sigma Ori NGC 1981 NGC 1977 Collinder 69 NGC 1976 ASCC 18 Platais 6				ASCC 19 ASCC 21		ASCC 19
ASCC 19	ASCC 16 ASCC 18 NGC 1977 Collinder 70 ASCC 21 NGC 1981 Sigma Ori Platais 6 ASCC 20 NGC 2232 Collinder 65	UBC 17a			ASCC 16 Gulliver 6		ASCC 16
Roslund 5	ASCC 105 NGC 6882				ASCC 105		Teutsch 35
IC 2391	IC 2602 Platais 8 Platais 9 NGC 2451A Mamajek 1 Feigelson 1		IC 2602				

# Приложение 2. Кросс каталог пар скоплений, часть 2

Имя	Имя скопления 2										
скопления 1	SMD	ESP	P1989	S1995	S2018T4	S2018T5	LP2019				
IC 2602	Platais 8 Feigelson 1 IC 2391 Mamajek 1 Platais 9				Platais 8	Platais 8					
IC 4665	NGC 6633 Collinder 350		NGC 6633								
NGC 6823	NGC 6830 Roslund 2		NGC 6830								
NGC 1981 Collinder 70	Collinder 70 Sigma Ori NGC 1977 ASCC 20 ASCC 16 ASCC 21 NGC 1976 ASCC 19 ASCC 19 ASCC 18 ASCC 24 Platais 6 NGC 1981 Sigma Ori ASCC 20 ASCC 21 ASCC 16 NGC 1977			Collinder 70 NGC 1981							
	ASCC 19 ASCC 18 Collinder 69 NGC 1976 NGC 2232 ASCC 24										
	1	Γ	Іар нет в Таб	блице 8	I	1					
ASCC 97					IC 4725		NGC 6656				
Gulliver 6		UBC 17b			ASCC 19 NGC 2232						
NGC 1582	FSR 0686	COIN-Gaia 39					ASCC 12				
NGC 2232	ASCC 24 Platais 6 NGC 1977 ASCC 19 ASCC 18 Collinder 70 Sigma Ori				Gulliver 6		LP 2383				
NGC 7160	Pismis-Moreno 1					IC 1396	FSR 0398				
NGC 6694	NGC 6664		NGC 6705								

# Приложение 2. Продолжение

Приложение 2.	Окончание
---------------	-----------

Имя	Имя скопления 2										
скопления 1	SMD	ESP	P1989	S1995	S2018T4	S2018T5	LP2019				
NGC 1545	NGC 1528			NGC 1513							
NGC 1912	FSR 0777 ASCC 14 BDSB 73 NGC 1960			NGC 1907							
NGC 6208	NGC 6134			NGC 6512							
Collinder 140	Collinder 135 Collinder 132 vdBergh-Hagen 23				NGC 2451B						
ASCC 101	ASCC 100 Stephenson 1				NGC 7058						
Alessi 21	NGC 2396					NGC 2422					
IC 1396	ASCC 114					NGC 7160					
NGC 5617	Cir OB1					Trumpler 22					
NGC 6705	NGC 6694						LP 1235				
Trumpler 7	NGC 2383						Haffner 5				
NGC 5281	NGC 5316 Trumpler 21						Collinder 277				
Ruprecht 26	Ruprecht 151 NGC 2428 NGC 2437						NGC 2360				
NGC 6383	NGC 6396 Trumpler 27 Dutra-Bica 58						NGC 6416				
NGC 1027	SAI 24						NGC 886				
NGC 2423	Bochum 4						NGC 2358				
NGC 5662	ESO 175-06 Loden 1194						NGC 5822				
Stock 5	NGC 743						FSR 0551				
IC 2395	vdBergh-Hagen 56 DBSB 36						Pismis 4				
Lynga 2	Loden 1010						LP 2309				
Alessi 5	NGC 3532						BH 99				
Stock 2	Stock 23						Alessi 95				

n = 7 пар, S1995 n = 5, S2018T4 n = 11, S2018T5 n = 9, LP2019 n = 42. Всего в нашем распоряжении оказались 428 двойных скоплений.

2) Разные списки частично перекрываются, для учета этого был составлен кросс каталог.

3) Большинство найденных пар входят в состав распадающихся ОВ ассоциаций и представляют собой визуально двойные пары. Среди них только три пары 1) NGC 3590, Hogg 12; 2) ASCC

АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ том 99 № 5 2022

19, UBC 17a; 3) Gulliver 6, UBC 17b являются физически связанными тесными двойными парами, ТДРС.

Анализ условий образования ТДРС показал, что возникновение пар скоплений в ходе фрагментации исходных газовых облаков происходит в отсутствие их "глубокого" коллапса. Случайное образование ТДРС из близких скоплений одной ОВ ассоциации маловероятно. Хотя, следует отметить, что такое событие подтверждается обнаружением двойного молодого звездного скопления NGC 2264 [65] с разделением компонентов около четырех пк. Есть свидетельства даже о возможном столкновении двух звездных скоплений в Галактике, а именно IC 4665 и Collinder 350. Это рассеянные скопления, расположенные на расстоянии ~330 пк от Солнца и ~100 пк над плоскостью Галактики, их пространственные скорости имеют небольшое различие (Collinder 350 движется на ~ 5 км/с быстрее, чем IC 4665) [66].

#### 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 рецензента за полезные замечания позволившие улучшить статью.

### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и DFG в рамках научного проекта "Теоретическая химико-динамическая модель диска Галактики: рассеянные скопления как маркеры динамической эволюции", грант РФФИ 20-52-12009.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- А. Г. Масевич, А. В. Тутуков, Эволюция звезд: теория и наблюдения (М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 280 с., 1988).
- 2. *H. Kondo, K. Tokuda, K. M. Maraoka et al.* Astrophys. J. **912**, id. 66 (2021).
- 3. D. Krolikoski, A. Kraus, A. Rizzuto, Astron. J. 162, id.110 (2021).
- A. Tutukov, M. Sizova, S. Vereshchagin, Astron. Rep. 64, 827 (2020).
- 5. *B. Messow, R. R. E. Schorr*, Astronomische Abhandlungen der Hamburger Sternwarte, **2**, 1 (1913).
- 6. *P. T. Oosterhoff*, Annalen van de Sterrewacht te Leiden 17, A1 (1937).
- H. Yu, Z. Shao, A. Diaferio, L. Li, Astrophys. J. 899, id.144 (2020).
- W. S. Dias, B. S. Alessi, A. Moitinho, J. R. D. Lépine, Astron. and Astrophys. 389, 871 (2002).
- 9. T. Currie, J. Hernandez, J. Irwin, S. J. Kenyon, et al., Astrophys. J. 186, 191 (2010).

- 10. *Gaia Collaboration, A. G. A. Brown, A. Vallenari, et al.*, Astron. and Astrophys. **616**, A1 (2018).
- 11. C. L. Slesnick, L. A. Hillenbrand, Astrophys. J. 576, 880 (2002).
- N. V. Kharchenko, A. E. Piskunov, S. Röser, E. Schilbach, R.-D. Scholz, Astron. and Astrophys. 438, 1163 (2005).
- 13. M. Wenger, F. Ochsenbein, D. Egret, P. Dubois, et al., Astron. and Astrophys. Supp. 143, 9 (2000).
- 14. T. Currie, S. J. Kenyon, Z. Balog, A. Bragg, S. Tokarz, Astrophys. J. 669, L33 (2007).
- 15. J. Zhong, L. Chen, M. B. N. Kouwenhoven, L. Li, Z. Shao, J. Hou, Astron. and Astrophys. **624**, A34 (2019).
- 16. M. A. Kuhn, E. D. Feigelson, K. V. Getman, et al., Astrophys. J. 787, 107 (2014).
- 17. C. D. Garmany, R. E. Stencel, Astron. and Astrophys. Supp. 94, 211 (1992).
- 18. A. E. Bragg, S. J. Kenyon, Astron. J. 130, 134 (2005).
- 19. R. Priyatikanto, M. B. N. Kouwenhoven, M. I. Arifyanto, H. R. T. Wulandari, S. Siregar, Monthly Not. Roy. Astron. Soc. 457, 1339 (2016).
- 20. *R. Larson*, Monthly Not. Roy. Astron. Soc. **194**, 809 (1981).
- 21. A. Tutukov, Astron. Rep. 63, 79 (2019).
- 22. A. Tutukov, Astron. and Astrophys. 70, 57 (1978).
- 23. A. M. Cherepashchuk Close binary stars. In 2 parts (Fizmatlit, 2013).
- 24. A. Reiss, A. Fillipenko, P. Challis et al., Astrophys. J. 116, 1009 (1998).
- S. Perlmutter, G. Aldering, G. Goldhaber et al., Astrophys. J. 517, 565 (1999).
- 26. K. Janes, D. Adler, Astrophys. J. Supp. 49, 425, (1982).
- 27. K. A. Barkhatova, S. A. Kutuzov, L. P. Osipkov, Astron. zhurn. 64, 956 (1987).
- 28. K. A. Barkhatova, L. P. Osipkov, S. A. Kutuzov, Soviet Astron. 33, 596 (1989).
- 29. A. V. Loktin, Astron. and Astrophys. Trans. 14, 181 (1997).
- 30. M. M. Muminov, S. N. Nuritdninov, A. A. Latyov, Yu. Muslimova, Astron. and Astrophys. Trans. 18, 645 (2000).
- 31. E. D. Pavlovskaya, A. A. Filippova, Soviet Astron. 33, 6 (1989).
- 32. *P. M. Williams*, Monthly Not. Astron. Soc. Southern Africa **26**, 139 (1967).
- 33. O. J. Eggen, Monthly Not. Roy. Astron. Soc. **120**, 563 (1960).
- 34. O. J. Eggen, Astrophys. J. 188, 59 (1974).
- 35. *G. Lynga, S. Wramdemark*, Astron. and Astrophys. **132**, 58 (1984).
- 36. *E. Bica, C. Bonatto, C. Dutra*, Astron. and Astrophys. **489**, 1129, (2008).
- 37. K. A. Barkhatova, Soviet Astron. 2, 410 (1958).
- 38. F. Piché, Publ. Astron. Soc. Pacif. 105, 324 (1993).
- D. van de Putte, T. P. Garnier, I. Ferreras, R. P. Mignani, M. Cropper, Monthly Not. Roy. Astron. Soc. 407, 2109 (2010).

- 40. *R. de la Fuente Marcos, C. de la Fuente Marcos, D. Reilly*, Astrophys. and Space Sci. **349**, 379 (2014).
- 41. *R. de la Fuente Marcos, C. de la Fuente Marcos*, Astron. and Astrophys. Lett. **500**, L13 (2009).
- 42. J. C. Mermilliod, Bull. d'Inform. Centre de Donnees Stellaires 35, 77 (1988).
- M. Netopil, E. Paunzen, C. Stütz, Astrophys. and Space Sci. Proceedings, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 53, (2012).
- 44. G. Beccari, H. M. J. Boffin, T. Jerabkova, N. J. Wright, et al., Monthly Not. Roy. Astron. Soc. Lett. 481, L11 (2018).
- N. V. Kharchenko, A. E. Piskunov, S. Roeser, E. Schilbach, R.-D. Scholz, Astron. and Astrophys. 558, A53 (2013).
- 46. A. Subramaniam, U. Gorti, R. Sagar, H. C. Bhatt, Astron. and Astrophys. **302**, 86 (1995).
- C. Soubiran, T. Cantat-Gaudin, M. Romero-Gómez, et al., Astron. and Astrophys. 619, A155 (2018).
- 48. *C. Conrad, R.-D. Scholz, N. V. Kharchenko, et al.*, Astron. and Astrophys. **600**, A106 (2017).
- G. M. De Silva, G. Carraro, V. D'Orazi, et al., Monthly Not. Roy. Astron. Soc. 453, 106 (2015).
- 50. L. Casamiquela Floriach, PhD Thesis, Universitat de Barcelona, Spain, (2017).
- 51. L. Liu, X. Pang, Astrophys. J. Supp. 245, 32 (2019).
- 52. T. Cantat-Gaudin, C. Jordi, A. Vallenari, A. Bragaglia, et al., Astron. and Astrophys. **618**, A93 (2018).
- P. J. McMillan, Monthly Not. Roy. Astron. Soc. 465, 1 (2017).

- 54. A. Castro-Ginard, C. Jordi, X. Luri, F. Julbe, M. Morvan, L. Balaguer-N'u<sup>~</sup>nez, T. Cantat-Gaudin, Astron. and Astrophys. **618**, A59 (2018).
- A. Castro-Ginard, C. Jordi, X. Luri, T. Cantat-Gaudin, L. Balaguer-Núñez, Astron. and Astrophys. 627, A35 (2019).
- 56. T. Cantat-Gaudin, A. Krone-Martins, N. Sedaghat, A. Farahi, et al., Astron. and Astrophys. 624, A126 (2019).
- 57. Y. Tarricq, C. Soubiran, L. Casamiquela, T. Cantat-Gaudin, et al., Astron and Astrophys. 647, A19 (2021).
- A. E. Piatti, J. J. Clariá, A. V. Ahumada, Publ. Astron. Soc. Pacif. 122, 516 (2010).
- 59. *M. Piecka, E. Paunzen*, Astron and Astrophys. **649**, A54 (2021).
- 60. *A. Fraser-McKelvie, M. Merrifield, A. Aragon-Salamanca*, Monthly Not. Roy. Astron. Soc. **489**, 5 (2019).
- 61. J-W. Lee, Ch. Sneden, Astrophys. J. 909, 1676 (2021).
- 62. *G. Valle, A. Milone, C. Legioia et al.*, Astrron. J. **920**, 129 (2014).
- A. Bragaglia, Ch. Sneden, E. Carretta, et al., Astrophys. J. 786, 68 (2021).
- 64. *M. D. Sizova, S. V. Vereshchagin, B. M. Shustov, N. V. Chupina*, Astron. Rep. **64**, 711, (2020).
- 65. *R. J. Parker, Ch. Schoettler*, Monthly Not. Roy. Astron. Soc. **510**, 1136 (2022).
- 66. A. E. Piatti, K. Malhan, Monthly Not. Roy. Astron. Soc. Lett. **511**, L1 (2022).