## ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ АСТРОНОМИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи

Постникова Екатерина Сергеевна

#### Кинематика и эволюция рассеянных звездных скоплений по данным Gaia

01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук Верещагин Сергей Викторович

Научный консультант: канд. физ.-мат.наук Чупина Наталия Викторовна

Москва – 2022

### Содержание

Введение	4
Глава 1. Схема эволюции звездных скоплений и источники данных	19
1.1. Формирование и структура скоплений и ассоциаций в Галактике	19
1.1.1. Образование скоплений из газа, быстрый распад	19
1.1.2. Особенности появления парных звездных скоплений	21
1.1.3.Структура скопления: ядро, корона, звездные шлейфы	24
1.1.4. О природе потоков	26
1.1.5. Скопления и планетные системы	28
1.1.6. Используемая схема эволюции звездных скоплений	33
1.2. Источники данных	35
1.2.1. Каталоги Hipparcos, TGAS, Gaia DR2 как источники данных о звездах скоплений	35
1.2.2. Глобальный обзор звездных скоплений в Млечном Пути (каталс MWSC)	оги 40
1.2.3. Каталог РЗС в Млечном Пути на основе данных Gaia DR2	42
1.2.4. Создание собственных списков звезд скоплений	44
Глава 2. Двойные звездные скопления	47
2.1. Поиск двойных звездных скоплений в Галактике	48
2.1.1. Физические параметры двойных скоплений	50
2.2. Пара Cr 135 и UBC7	53
2.2.1. Определение параметров	54
2.2.2. Гипотезы образования	60
2.3. Список кандидатов в двойные скопления на основе данных Gaia	61
Глава 3. Скопления на ранних стадиях эволюции	63
3.1. Рассеянное звездное скопление IC 2391 и одноименный поток	63
3.1.1. Данные наблюдений	64
3.1.2. Отбор звезд из Gaia DR2	69
3.1.3. Распределение звезд в пространстве, аппроксимация формы	71
3.1.4. Положение в пространстве скоростей	74
3.1.5. Оценка положений мест образования	76
3.1.6. Определение апекса	77
3.1.7. Ассоциация – скопление – поток	79
3.2. Рассеянное звездное скопление Плеяды	80
3.2.1. Обзор данных	80

3.2.2. Выборка звезд	
3.2.3. Кинематический анализ РЗС Плеяды	
Глава 4. Поздние стадии эволюции звездных систем	
4.1. Кинематика и физические параметры скопления Гиады	
4.1.1 Обзор и использованные данные	
4.1.2 Определение положения апекса	
4.1.3. Структура скопления в пространстве	
4.2. Звездный поток Большой Медведицы	
4.2.1. Природа потока Большой Медведицы	
4.2.2 Пространственно-кинематическая неоднородность	
4.3. Исследование скопления NGC 2158	
4.3.1. Выбор данных для определения параметров скопления	119
4.3.2. Возраст и расстояние	
4.3.3. Апекс скопления	
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	
Список литературы	
Приложение 1.Список звезд скопления IC 2391	
Приложение 2. Список звезд скопления Гиады	

#### Введение

Рассеянные звездные (P3C) Актуальность темы. скопления гравитационно-связанные звездные системы, в которые входит от нескольких десятков до нескольких тысяч звезд. Они являются отличным инструментом для анализа звездообразования и эволюции Галактики. По различным оценкам (см., например, [172], [224]), считается, что в нашей Галактике приблизительно 10<sup>5</sup> рассеянных звездных скоплений. Накопление знаний о скоплениях сформировало картину разнообразия их видов. Существуют как рыхлые конгломераты из нескольких десятков звезд, такие как NGC 3680, так и густонаселенные (например, М 11), среди которых есть и достаточно старые, типа скопления М 67. Большинство из них сосредоточено в тонком диске близко к галактической плоскости, однако некоторые расположены вне его и имеют нехарактерную для диска металличность, например, NGC 2158. Границы классификаций шаровых и рассеянных скоплений перекрываются между собой, а значит, существуют скопления «переходного» типа, которые можно отнести по разным критериям и к тому и к другому классу, что ставит интересные задачи для понимания природы их формирования и эволюции.

В представленной работе мы рассмотрели ряд звездных скоплений, потоков и ассоциаций. Перед нами стояла задача определить их пространственно-кинематические параметры, в частности, пространственную форму. Полученные данные мы сопоставили со схемой распада и эволюции, [243].

До опубликования данных космического аппарата (КА) Gaia (до "эпохи Gaia") было детально изучено приблизительно 4000 скоплений (MWSC [121], WEBDA [227]). По мере выхода версий каталогов Gaia (URL: https://gea.esac.esa.int/archive/) появились новые данные о звездах, в том числе, слабых. Обнаружено как множество звезд – кандидатов в состав скоплений, так и ранее неизвестных скоплений [33]. Это позволило увеличить число каталогизированных скоплений приблизительно до 10 тысяч. [19].

Обнаружение шлейфов, состоящих из звезд, покинувших РЗС и распределенных вдоль орбиты скопления (см., например, [184], [148]), пролило свет на механизм динамической эволюции РЗС. Последовало лавинообразное нарастание публикаций о рассеянных звездных скоплениях, так как такие структуры были обнаружены у многих РЗС, (см. например, [135]).

Сценарий, или схема эволюции ([214], [243]) звездных ассоциаций и скоплений позволил рассматривать выбранные объекты в последовательности эволюционных стадий, характеризующихся набором параметров, включая пространственную форму РЗС.

Выбор объектов исследования. Для нашего исследования мы выбрали ряд скоплений, укладывающихся на различные стадии эволюционного сценария – с одной стороны, и с другой стороны, с наиболее надежными данными наблюдений. Последнему требованию, очевидно, соответствуют наиболее близкие к Солнцу скопления, такие как Плеяды, Гиады, а также поток Большой Медведицы. Мы рассмотрели РЗС, явно и неявно связанные с потоками и звездными ассоциациями. Разнообразие объектов позволяет понять возможные связи в последовательности эволюционных изменений звездных скоплений. В Таблице 1.1 приводятся названия этих скоплений, тип, возраст и расстояние от Солнца. Представлены объекты на широком интервале возрастов, анализируя которые по единой методике, можно проследить эволюцию их пространственной формы.

Наррание	Тип областо	Возраст,	Расстояние,
Пазвание	ТИП ООБСКІА	лет	ПК
Cr 135	РЗС+ гало	50 млн.	280
UBC7	РЗС+ гало	50 млн.	300
IC 2391	РЗС+поток+ассоц	50-250	142
	иация Аргус?	МЛН.	
Плеяды	РЗС+поток	115 млн.	136
Гиады	РЗС+шлейфы+по	625 MIII	46
	ток Геркулеса?	023 MJH.	
Collinder 285	поток с остатками	600 мли	20-200
(поток Большой Медведицы)	P3C?	ооо млн.	
NGC2158	РЗС	2 млрд.	4690

Таблица 1.1. Объекты, выбранные для изучения

Некоторые комментарии к Таблице 1.1.

Скопление Гиады и поток Геркулеса наблюдаются давно, имеют сходную кинематику, но различный химический состав и возраст (см. работу [85], где сделан вывод о резонансной природе потока, представляющего собой смесь малометалличных звезд поля и звезд, потерянных скоплением). Если возраст Гиад составляет приблизительно 625 млн. лет [169], то возраст потока значительно больше (~1 млрд. лет), что свидетельствует об их различных стадиях эволюции или, вполне вероятно, случайной встрече. Также в работе Roser et al. [185] были обнаружены обильные приливные шлейфы из звезд, ранее принадлежавших скоплению.

Collinder 285 (поток Большой Медведицы) интересен не только тем, что это звездный поток, свободный от скоплений, но и тем, что он: 1) кинематически неоднороден и 2) полезен при изучении экзопланет, так как имеет надежные оценки возраста. Этот поток, по всей вероятности, является звездной ассоциацией, то есть группой звезд, скорее всего родившихся вместе, но не связанных гравитацией, однако имеющих схожую кинематику. Кинематическая неоднородность, присутствующая внутри потока, предположительно образована распавшимися скоплениями.

Рассеянное скопление IC 2391 удобно для изучения своим близким расположением и низким покраснением, а также интересно соседствующим с

ним одноименным звездным потоком. Поток IC 2391 включает 60 – 63 звезды южного неба. По оценкам Montes et al.[156] поток и скопление ровесники. Тогда, вероятно, поток и скопление сформировались одновременно, их кинематика схожа и они движутся в пространстве в направлении созвездия Зайца (Lepus). По другим оценкам поток намного старше [74] и тогда, вполне возможно, что в пространстве рядом со скоплением IC 2391 (Caldwell 85), как и у Гиад, расположена звездная группа с возрастом, почти на порядок отличающимся от возраста скопления. Возникает вопрос о происхождении близких по кинематике, но отличных по возрасту потоков и РЗС. Поскольку в диске пространственные движения по преимуществу круговые, то такие совпадения могут иметь случайный характер.

Скопления Collinder 135 и UBC7 молодые и, возможно, не обрели приливных шлейфов. Они достаточно компактные и образуют пару (их центры находятся на расстоянии 24 пк друг от друга). Однако вокруг них имеется общее гало из звезд, примерно равное общей массе обоих скоплений. Это гало расширяется и, скорее всего, возникло после потери газа из скоплений за счет звезд, потерявших с ними тесную гравитационную связь.

#### Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Число страниц в диссертации 153, Рисунков 35, Таблиц 19. Список литературы содержит 262 наименования.

Во **Введении** представлен краткий обзор предмета исследования и содержания диссертационной работы. Описаны актуальность диссертационной работы, ее цели и задачи, новизна полученных результатов, их научная и практическая значимость. Представлена информация по апробации результатов, научным публикациям по результатам исследований автора и его вклада в работу.

В Главе 1 представлен используемый сценарий, по которому идет эволюция звездных скоплений, потоков и ассоциаций и источники данных, как о скоплениях, так и о звездах, из которых они состоят.

Продолжительность существования скопления обусловлена местом, где оно родилось, а также внутренними процессами и влиянием внешних сил Галактики, в результате которых звезды постепенно покидают его, скопление растягивается, образуя шлейфы из звезд, и постепенно рассеивается по всей Галактике. Эволюция звездных ассоциаций идет схожим образом, но ассоциации включают в себя звезды и скопления, которые в процессе жизни отдаляются друг от друга из-за влияния Галактики и постепенно распадаются, также рассеиваются и сами скопления.

В данной работе использованы различные каталоги, которые наилучшим образом подходили для поставленных задач, а также составлены собственные каталоги звезд скоплений. Основные результаты получены с помощью данных миссий Hipparcos и Gaia. Использованы не только каталоги звезд, но и каталоги скоплений. Каталоги MWSC [121] содержат данные о 3784 скоплениях, для 953 из них есть данные о лучевых скоростях. Каталог "Gaia DR2 open clusters in the Milky Way" [33] включает 1229 скоплений нашей Галактики (в том числе 60 новых рассеянных скоплений).

В разделе 1.1 дано описание процесса формирования скоплений, потоков и ассоциаций, их структуры, включая процесс распада. Дана общая схема эволюции звездных скоплений и ассоциаций. Рассмотрены особенности появления парных звездных скоплений (п. 1.1.2), а также возможность формирования экзопланет в РЗС. В разделе 1.2 описаны использованные источники данных и принципы создания собственных каталогов звезд скоплений.

Глава 2 посвящена исследованию и поиску двойных звездных скоплений.

В данной главе рассмотрены два молодых скопления Cr 135 и UBC7, которые возможно являются гравитационно-связанной парой скоплений. Оба скопления одного возраста, имеют схожие физические характеристики, близко

расположены на небе, также близко находятся и их приливные радиусы, а внешние части скоплений соприкасаются. Как показывают модели, совместное рождение из одного облака и даже изначальная физическая гравитационная связь возможна для этих объектов во многих сценариях.

Мы решили составить свой каталог кандидатов в двойные звездные скопления, так как в последние годы было открыто много новых скоплений по высокоточным данных Gaia, некоторые из них найдены рядом с уже известными скоплениями. Найдены несколько пар скоплений, которые перспективны для дальнейшего изучения, чтобы рассмотреть предположение об их двойственности.

В разделе 2.1 рассмотрены результаты поиска двойных звездных скоплений различными авторами, а также приведены физические параметры скоплений, которые мы считаем кандидатами в двойные. Далее в разделе 2.2 рассматривается уже пара скоплений Cr 135 и UBC7, определяются их параметры и приводятся гипотезы образования. В 2.3 приведен список кандидатов в двойные скопления, составленный нами на основе данных Gaia.

Глава 3 посвящена скоплениям на ранних стадиях эволюции, к которым здесь отнесены IC 2391 и Плеяды.

Звездное скопление IC 2391 – это близкая молодая группа звезд, неподалеку от которой расположен одноименный поток со схожей кинематикой. Была исследована кинематика и пространственная форма этих объектов на основе выборок [33] и [156], а также сделана собственная выборка звезд скопления. В рамках ряда предположений произведена оценка возможности совместного формирования потока и скопления в контексте общей схемы эволюции РЗС и звездных ассоциаций, а также и возможное место образования этих объектов.

В пункте 3.1 рассмотрено рассеянное звездное скопление IC 2391 и одноименный поток (распределение звезд в пространстве, определен апекс и положение в пространстве скоростей). Произведена оценка возможности совместного формирования потока и скопления.

Пункт 3.2 посвящен скоплению Плеяды, где выполнен кинематический анализ скопления, определены основные характеристики. Для определения пространственно-кинематических параметров Плеяд использован актуальный на момент проведения исследования каталог TGAS [29], к данным которого были присоединены лучевые скорости из RAVE DR5 [128]. Проведено сравнение результатов с результатами по данным каталогов Hipparcos [81] и Hipparcos-2 (HIP New) [220] с добавленными к ним лучевыми скоростями из базы данных SIMBAD [200].

Глава 4 посвящена объектам, находящимся на поздних стадиях эволюции. В этом случае становится заметно влияние приливных сил Галактики на форму скопления и движение звезд.

В разделе 4.1 рассматривается кинематика и физические параметры скопления Гиады – одного из самых близких к нам звездных скоплений. Это скопление уже достаточно старое (возраст 600 – 750 млн. лет) и совершило не один оборот вокруг центра Галактики, что могло повлиять на его параметры, в том числе на пространственную форму. Оценка пространственнокинематической структуры Гиад произведена с помощью метода ADдиаграмм [45, 46]. Обнаружена вытянутость ядра приблизительно в направлении на центр Галактики и неоднородность кинематики.

В пункте 4.2 рассмотрена природа потока Большой Медведицы (БМ). Этот поток, обнаруженный почти 150 лет назад, остается одним из пяти главных потоков в околосолнечных окрестностях и привлекает постоянное внимание исследователей. Его возраст близок к возрасту Гиад, но это более проэволюционировавшая структура. Ранее в потоке по данным Hipparcos обнаружены три кинематические группы и обособленное ядро, отличающиеся направлениями векторов пространственных скоростей на диаграмме апексов (AD-диаграмме), и, по данным Gaia эти неоднородности сохраняются. Проведен поиск кандидатов в члены потока.

Пункт 4.3 посвящен скоплению NGC 2158 – самому старому исследуемому скоплению в данной работе. Его возраст составляет примерно

2-3 млрд. лет. Это далекое скопление расположено в направлении антицентра Галактики и, к тому же, достаточно высоко относительно ее плоскости. Изучение такого объекта интересно в плане влияния гравитационного поля Галактики на изменения его формы. Для этого сделана выборка звезд в широкой области вокруг центра скопления, чтобы выявить максимально возможное число членов скопления и более подробно изучить изменения, происходящие в его внешних частях. Также был определен его возраст и расстояние фотометрическим способом.

В Заключении представлены основные результаты диссертационной работы. Даны рекомендации для дальнейшего развития темы диссертации.

В Приложениях 1 и 2 даны дополнительные материалы по Главе 3 и Главе 4, соответственно.

Цели диссертации:

1. Выбрать и изучить скопления, находящихся на различных эволюционных стадиях, по наиболее достоверным данным наблюдений. В их число входят близкие скопления различного возраста. Надежные данные наблюдений позволяют минимизировать ошибки различных параметров объекта исследования, наиболее полно и достоверно отобрать его звездных членов и получить исчерпывающую информацию о нем.

2. Для выбранных рассеянных звездных скоплений, потоков И ассоциаций на основе наиболее надежных и точных данных получить их параметры, особо выделяя характеристики пространственной структуры. Последняя наиболее подвержена заметным изменениям в ходе эволюции. Сделать эволюции, вывод о стадии оценить ИХ пространственнокинематические параметры и связь с потоками и ассоциациями.

3. На основе полученных характеристик выбранных скоплений и ассоциаций разного возраста и формы проследить эволюцию таких объектов. Понять их место в выбранной схеме эволюции.

Для достижения целей диссертации были поставлены задачи:

1. Отбор необходимых данных наблюдений. Составление собственных каталогов звезд, входящих в состав скопления, на основе выбранных в данной работе критериев. Уточнение состава потоков и скоплений, поиск кандидатов в новые члены.

2. Определение физических характеристик выбранных кандидатов в двойные скопления, поиск новых кандидатов по данным каталога Gaia.

3. Рассмотрение возможности совместного формирования ряда исследуемых в работе скоплений и потоков на основе моделирования движения их орбит назад во времени.

4. Определение различных параметров выбранных скоплений на основе данных Gaia, чтобы на конкретных примерах понять наблюдаемые характеристики объектов, присущие различным стадиям эволюции скоплений и ассоциаций

5. Выявление особенностей и изучение кинематических параметров, пространственной формы и структуры, движения в галактическом диске.

6. Определение по полученным данным наблюдений места скопления в эволюционном процессе и использование полученных результатов в качестве проверочных для эволюционного сценария распада звездных систем.

#### Научная новизна:

1. Для скопления Плеяды по Gaia DR1 получена независимая оценка расстояния по собственному списку звезд скопления.

2. Для NGC 2158 по собственному каталогу получены оценки возраста и расстояния по данным Gaia DR2.

3. Для IC2391 по нескольким спискам звезд, включая собственный, получены оценки возраста, параметры пространственной формы. Сделан вывод о принадлежности скопления и потока к распадающейся звездной ассоциации.

4. Для Гиад по данным Gaia DR1 обнаружена пространственная эллиптичность центральной части скопления, являющаяся признаком шлейфов, впоследствии обнаруженных другими авторами по данным Gaia DR2.

5. По результатам данной работы дополнен состав потока Большой Медведицы кандидатами, не упоминавшимися в работах других авторов.

6. Создан компилятивный каталог кандидатов в двойные звездные скопления. Семь пар скоплений из данного каталога были обнаружены впервые.

Научная и практическая значимость. Представленные в диссертации результаты важны для понимания эволюции звездных скоплений и ассоциаций важнейших населений Галактики. Разработанная как одного ИЗ последовательность критериев для отбора членов скоплений позволит уточнять списки звезд скоплений при составлении собственных каталогов. Представленные списки членов скоплений и определенные в работе параметры могут быть использованы для изучения эволюции, формы и кинематики Галактики, а также для моделирования различных динамических процессов, таких как звездообразование, исследования связи звездных структур и структуры газа. Полученные параметры скоплений могут использоваться для дальнейшего и более глубокого их изучения. Например, для расчетов орбит, моделей динамики, поиска новых членов, а также для изучения химического состава РЗС.

Методология и методы исследования. Большая часть задач решалась с использованием как классических методов отбора звезд скопления, так и разработанных нами, [45, 46]. Для моделирования влияния ошибок наблюдений на результаты использовался метод Монте-Карло. Результаты были получены и проанализированы с помощью авторского программного обеспечения.

Достоверность представленных результатов. Достоверность представленных в диссертационной работе результатов обеспечивается применением проверенных методов и обоснованным выбором объектов исследования, данных наблюдений и методов обработки, прошедших апробацию, а также согласованностью с опубликованными результатами других авторов и обсуждением полученных результатов на российских и международных конференциях и семинарах. Результаты опубликованы в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК.

**Личный вклад автора.** Автор принимал активное участие в постановке задачи, подборе и обработке наблюдательных данных, проведении численных расчетов, моделировании, а также в обсуждении полученных материалов, их подготовке к публикации. Все результаты, выносимые на защиту, получены автором в результате совместных исследований, опубликованных с соавторами в научных статьях.

В частности, автором:

1. Составлен каталог звезд скопления IC2391.

2. Определена и проанализирована форма скоплений IC2391, Гиады и Плеяды.

3. Обнаружено семь пар – кандидатов в двойные звездные скопления.

4. Поток Большой Медведицы дополнен новыми членами.

#### Положения, выносимые на защиту:

1. По выполненному всенебесному анализу найдено девять пар – кандидатов в гравитационно связанные двойные скопления, из них семь пар обнаружены впервые.

2. Составлен авторский список звезд, входящих в состав скопления IC 2391. Определены физические характеристики скопления. Высказано предположение о совместном рождении скопления IC 2391 и одноименного потока.

3. По данным каталогов Gaia DR1 и RAVE DR5 получены физические характеристики скопления Плеяды: дисперсия скоростей, расстояние от Солнца, положение апекса, пространственная скорость.

4. По данным Gaia DR1 определены пространственно-кинематические параметры скопления Гиады. Впервые показана эллиптичность пространственной формы скопления с большой осью ориентированной вдоль ее галактической орбиты. Форма указывает на наличие приливных шлейфов, позже обнаруженных многими авторами по данным Gaia DR2.

5. Автором выполнен собственный отбор звезд, входящих в состав потока Большая Медведица, по данным Gaia DR1. Обнаружены новые кандидаты в члены потока. Подтверждена кинематическая неоднородность Большой Медведицы, состоящей из нескольких групп звезд. Предложена трактовка природы потока, как распадающейся звездной ассоциации.

6. По данным каталога Gaia DR2 определены пространственнокинематические характеристики скопления NGC 2158 и его возраст.

#### Апробация работы:

Результаты диссертации были представлены на российских и зарубежных конференциях и семинарах в качестве устных и стендовых докладов:

1. Е.С. Постникова, Н.В. Чупина, С.В. Верещагин. Скопления в каталоге MWSC II движущиеся к полюсам Галактики. Международная конференция. «Современная звездная астрономия – 2017», г. Екатеринбург, Россия, 14-16 июня 2017 г.

2. С.В. Верещагин, Е.С. Постникова. Накопление новых знаний о внутреннем устройстве рассеянных звездных скоплений на основе интенсивного использования данных. XIX Международная конференция «Аналитика и управление данными в областях с интенсивным использованием данных» DAMDID/RCDL'2017, г. Москва, Россия, 10–13 октября 2017 года.

3. S. V. Vereshchagin, N. V. Chupina E. S. Postnikova. What will lead the astrometry data accuracy breakthrough in the study of star clusters? XX

International Conference "Data Analytics and Management in Data Intensive Domains" (DAMDID/RCDL'2018), Moscow, Russia, October 9-12, 2018.

4. Е.С. Постникова, Н.В. Чупина, С.В. Верещагин. Субструктуры в некоторых рассеянных звездных скоплениях. Конференция «Звезды и спутники», посвященная 100-летию со дня рождения проф. А. Г. Масевич, г. Москва, Россия, 15-16 октября 2018 г.

5. Е.С. Постникова, Н.В. Чупина, С.В. Верещагин. Параметры 19 рассеянных звездных скоплений по данным каталога Gaia DR2. Всероссийская конференция «Современная звездная астрономия – 2018», г. Москва, Россия, 22 - 26 октября 2018 г.

6. Е.С. Постникова, С.В. Верещагин, Н.В. Чупина. Пространственнокинематические свойства потока IC 2391 по данным Gaia. Всероссийская конференция «Современная звездная астрономия – 2018», г. Москва, Россия, 22 - 26 октября 2018 г.

8. E. S. Postnikova. Binary open cluster Collinder 135 and UBC7. BASIS Foundation Summer School 2019 «Evolution of galaxies and stars», г. Сочи, Россия, 15-27 июля 2019 г.

9. E. S. Postnikova. The search for candidates for double open clusters in the Galaxy. 6-th Gamow International Conference in Odessa «New Trends in Astrophysics, Cosmology and HEP after Gamow», Odessa, Ukraine, August 11–18, 2019

10. Е.С. Постникова. Исследование рассеянного звездного скопления Плеяды по данным Gaia DR2. Всероссийская конференция «Современная звездная астрономия -2019», п. Нижний Архыз, Россия, 7-11 октября 2019 г.

11. Е.С. Постникова. Приливные образования в области звездного скопления Плеяды. XX Gamow International Astronomical Conference-School in Odessa: "Astronomy and beyond: Astrophysics, Cosmology and Gravitation, High Energy Physics, Astroparticle Physics, Radioastronomy and Astrobiology", Odessa, Ukraine, August 10 - 16, 2020.

#### Публикации по теме диссертации:

Основные результаты работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях, из них 6 — в журналах, рекомендованных ВАК.

#### Статьи в журналах, рекомендованных ВАК:

1. Elsanhoury W. H., Postnikova E. S., Chupina N. V., Vereshchagin S. V., Sariya Devesh P., Yadav R. K. S., Jiang, Ing-Guey. The Pleiades apex and its kinematical structure // Astrophysics and Space Science. – 2018. – Vol. 363, Issue 3, article id. 58. – P.13.

2. Верещагин С.В., Чупина Н.В., Постникова Е.С.. Кинематические группы в короне потока Большой Медведицы по данным ИСЗ Gaia // Астрономический журнал. – 2018. – Т.95, № 8. – С.530–541.

3. Postnikova E. S., Elsanhoury W. H., Sariya Devesh P., Chupina N. V.,. Vereshchagin S. V, Ing-Guey Jiang. The kinematical and space structures of IC 2391 open cluster and moving group with Gaia DR2 // Research in Astronomy and Astrophysics. – 2020. – Vol. 20, Issue 2, article id.016. – P.10.

4. Sariya Devesh P., Jiang Ing-Guey, Sizova M. D., Postnikova E. S., Bisht D., Chupina N. V., Vereshchagin S. V., Yadav R. K. S., Rangwal G., Tutukov A. V. Comprehensive Analysis of NGC 2158 in the Gaia Era: Photometric Parameters, Apex, and Orbit // The Astronomical Journal. – 2021. – Vol. 161, Issue 3, article id.101. – P.12.

5. Kovaleva D.A., Ishchenko M., Postnikova E., Berczik P., Piskunov A. E., Kharchenko N. V., Polyachenko E.V., Reffert S., Sysoliatina K., Just A. Collinder 135 and UBC7: A physical pair of open clusters // Astronomy & Astrophysics. – 2020. – Vol. 642, article id.L4. – P.5.

6. Верещагин С. В., Тутуков А. В., Чупина Н.В., Постникова Е. С., Сизова М. Д. Двойные скопления: теория и наблюдения // Астрономический журнал. – 2022. – Т.5. – С.355

#### Другие публикации автора по теме диссертации

1. С.В. Верещагин, Е.С. Постникова. Накопление новых знаний о внутреннем устройстве рассеянных звездных скоплений на основе интенсивного использования данных // Аналитика и управление данными в областях с интенсивным использованием данных: сборник научных трудов XIX Международной конференции DAMDID/RCDL'2017 (10–13 октября 2017 года, г. Москва, МГУ, Россия), под ред. Л.А. Калиниченко, Я.Манолопулос, Н.А. Скворцова, В.А. Сухомлина. Москва: ФИЦ ИУ РАН. – 2017.

2. Sergei V. Vereshchagin, Ekaterina S. Postnikova. Aggregation of Knowledge on Star Cluster Structure and Kinematics // «Data Analytics and Management in Data Intensive Domains». – 2018. – P.113-127.

3. Постникова Е.С., Верещагин С.В., Чупина Н.В. Параметры 19 рассеянных звездных скоплений по данным каталога Gaia DR1 // Сб. трудов конференции "Звезды и спутники", посвященной 100-летию со дня рождения А.Г.Масевич, Ред.Б.М.Шустов, Д.З.Вибе, Москва, Янус-К. – 2018. – С.235-240.

4. Постникова Е.С., Верещагин С.В., Чупина Н.В. Изучение кинематики звезд в скоплении Гиады методом АD-диаграмм. В Сб. трудов конференции "Звезды и спутники", посвященной 100-летию со дня рождения А.Г.Масевич, Ред. Б.М.Шустов, Д.З.Вибе, Москва, Янус-К. – 2018. – С.228-234.

5. S.V. Vereshchagin, N.V. Chupina, E.S. Postnikova. What will lead the astrometry data accuracy breakthrough in the study of star clusters? // Proceedings of the XX International Conference "Data Analytics and Management in Data Intensive Domains" (DAMDID/RCDL'2018), Moscow, Russia, October 9-12, 2018 eds. L.A. Kalinichenko et al. Москва. – 2018.

6. Постникова Е.С., Чупина Н.В., Верещагин С.В. Каталог звезд скопления IC 2391 // Научные труды Института астрономии РАН. – 2019. – Т.З. – С.336-341.

#### Глава 1. Схема эволюции звездных скоплений и источники данных

#### 1.1. Формирование и структура скоплений и ассоциаций в Галактике

#### 1.1.1. Образование скоплений из газа, быстрый распад

Межзвездное вещество в галактическом масштабе имеет тенденцию конденсироваться под действием силы тяжести в гигантские холодные газопылевые облака. Они, как правило, слабо турбулизованы, пронизаны магнитным полем и имеют неоднородную пространственную структуру, в которой выделяются уплотнения (ядра). Если в таком облаке еще не происходит процесса звездообразования, то оно находится в состоянии равновесия, когда сила тяжести уравновешена градиентом давления. Для начала процесса фрагментации необходимы механизмы, запускающие процесс звездообразования. Иногда коллапс происходит из-за нестабильности, вызванной потерей облаком его турбулентной энергии через какие-либо механизмы диссипации, или частичной потерей магнитного поля или исчезновения углового момента вращения из-за магнитного натяжения (Elmegreen [77]). Достаточно сильное возмущение могут вызвать взрывы сверхновых, а также порожденные ими ударные волны; УФ-излучение массивных горячих ОВ-звезд, которые, ионизуя водород, образуют области HII, расширяющиеся в процессе нагрева и перераспределяющие области давления в облаке, что неизбежно уплотнит какие-то его части и может привести к нарастанию гравитирующего вещества в локальной области; прохождение спиральных волн плотности через облака также создают сильное гравитационное возмущение.

Возникающая в результате этих процессов неустойчивость способна привести к фрагментации – распаду облака на отдельные части. Впоследствии в образовавшихся более плотных фрагментах также могут идти процессы дальнейшего разделения, приводящие к последовательному уменьшению массы фрагментов. Однако сколь угодно малую массу фрагментов таким путем получить нельзя. Минимальная масса фрагмента практически независима от физических характеристик среды. Тем не менее считается, что нижний предел массы протозвездного фрагмента зависит от химического состава вещества, определяющего его охлаждение и непрозрачность, и чем меньше в нем содержится элементов, тяжелее гелия, тем больше будет масса у формирующихся звезд. В процессе сжатия фрагменты постепенно становятся более плотными и непрозрачными к охлаждающему излучению, что приводит к разогреву при дальнейшем сжатии. Из-за повышения температуры растет давление, которое противодействует сжатию, и плотность постепенно Co фрагменты снижается. временем протозвездные лостигают гидростатического равновесия и становятся звездами.

Как уже было сказано, облако дробится на фрагменты, и кроме того, этот процесс имеет иерархический характер, в результате чего звезды рождаются не поодиночке, а группами. Новорожденные звездные скопления погружены в родительское газо-пылевое облако в течение примерно первых 5 лет своей жизни. Их выделяют в отдельный класс объектов, МЛН. обозначаемых как «погруженные скопления». В областях, где расположены данные объекты, поглощение света колеблется в пределах  $A_v \approx 3^m - 20^m$  и более, по этой причине их можно исследовать только в инфракрасном диапазоне. Такие звездные скопления имеют радиусы 0.3 – 1 пк, массы 20 – 1000 солнечных масс, причем маломассивные скопления встречаются значительно чаще, чем те, в которых 100 и более звезд и массы более 50 [129]. Погруженные скопления имеют высокие солнечных звездные плотности: от 10 масс Солнца на пк<sup>3</sup> (типичная плотность РЗС) до 1000 масс Солнца на пк<sup>3</sup>. И их насчитывается гораздо больше, чем обычных РЗС. Это связано с тем, что выброс газа из скопления приводит к потере устойчивости и быстрому развалу многих из них. Не преобразовавшийся в звезды газ выметается из скопления давлением излучения образовавшихся в нем ярких горячих звезд, после чего звездообразование в объеме родившегося скопления прекращается. Причем после удаления газа остается только несколько процентов гравитационно связанных скоплений (по разным оценкам от 5 до

30%) [214, 127]. Таким образом, звездные скопления являются одним из поставщиков звезд в галактиках.

#### 1.1.2. Особенности появления парных звездных скоплений

Предполагается, что подобно звездам, звездные скопления могут образовывать кратные группы (см., например, работы [78], [90], [20], [102] и ссылки в них) и физические пары. Множество таких пар наблюдаются в Большом и Малом Магеллановых Облаках. Они представляют прекрасную лабораторию для изучения свойств двойных скоплений.

В одних из первых работ по оценке формирования парных скоплений была дана оптимистичная оценка, что доля кратных систем среди РЗС в нашей Галактике примерно 20% [186]. Более поздние работы исследований БМО [17] и ММО [106] показали, что доля парных скоплений составляет почти 10%, по другой оценке 8% [210]. Несколько большее значение - 12%, найдено Pietrzynski & Udalski [171]. Эти результаты были позже подтверждены более тщательной и всеохватывающей статьей Dieball et al. [66]. Считается, что в Магеллановых Облаках звездообразование идет сейчас гораздо более бурно, чем у нас, и что количество парных скоплений в Млечном Пути меньше (см., например, [65] и [14]). Возможно, что на самом деле, в процентном соотношении, этих объектов не так уж сильно меньше в нашей Галактике.

Численное моделирование формирования двойного скопления В приливном поле Галактики демонстрирует сложную зависимость между его начальными свойствами. По мнению Fujimoto & Kumai [90] формирование двойных скоплений происходило при подборе определенных условий для прицельного параметра косого столкновения двух фрагментов джинсовского сгустка и последующего расстояние между ними, рассчитанные с сохранением массы и углового момента. В моделях в работе Becky et al. [13] показано, что одним основополагающих факторов является условие начальной ИЗ согласованности скоростей формирующихся субструктур. Скопления могут образовать пару также в случае сближения.

Несколько возможных сценариев формирования двойных звездных скоплений предложены De La Fuente Marcos, R. & de La Fuente Marcos, C. в [57]:

Совместное рождение. Это истинно двойные скопления – они рождаются в одном звездном комплексе (одно молекулярное облако), соответственно, имеют схожий химический состав, кинематику и возраст (сценарии подтверждены в работах [90] и [14]). В работе Fujimoto & Kumai [90] рассматривают процессы формирования таких объектов на примере Магеллановых Облаков.

Последовательное формирование. Такие пары возникают в результате взрыва сверхновой в соседнем скоплении, что может индуцировать звездообразование в ближайшем облаке (см., например, [30] и [99]). Таким образом, рядом оказываются скопления из разных волн звездообразования, их возраст будет различаться примерно на время жизни звезды, ставшей сверхновой. Эти скопления могут быть как физически двойными, так и не быть.

**Приливный захват.** Эти двойные скопления формируются путем случайного сближения в пространстве, в результате чего их пространственная скорость будет схожа, но они, скорее всего, будут иметь разный химический состав и возраст (см. подробнее в [217]). Это физически двойной объект, но ставший таким не в результате совместного рождения, а, можно сказать, случайно.

Захват в резонансах. Движущиеся звездные группы в солнечной окрестности могли возникнуть из-за влияния линдбладовских резонансов, которые формируются спиральной структурой Галактики и баром, Dehnen [62] (см., также [39], [61], [84], [174]). В областях резонанса объекты затормаживаются. Это может привести к образованию «резонансных» скоплений из-за высокой плотности звезд в данной области, но получившееся скопление будет состоять из случайных, генетически неродственных звезд. Можно так же применить этот механизм к формированию двойных или

кратных скоплений, где скопления будут приливно захвачены именно в этих областях (сами скопления при этом будут состоять из генетически родственных звезд). Такие скопления в паре также должны иметь одинаковую кинематику, но, скорее всего, у них будет разный возраст и химический состав. Являются псевдодвойными (кратными) скоплениями.

Сближающиеся двойные скопления: сближения на гиперболической орбите. Несмотря на то, что расстояние между скоплениями близкое и может происходить гравитационное взаимодействие – назвать их в полном смысле двойным скоплением нельзя, так как они не образуют стабильную пару, а будут влиять приливно, друг на друга как ЭТО происходит BO взаимодействующих галактиках. Результатом их взаимодействия может стать разрушение или столкновение обоих скоплений, а также слияние – все зависит от скоростей и направления движения скоплений. Такие скопления не обладают общей кинематикой, хотя могут иметь схожий возраст и химический состав, особенно если это молодые скопления диска.

Можно предположить, что в комплексах звездообразования одно звездное скопление может захватывать другое, образуя гравитационносвязанную пару в присутствии третьего тела или вследствие потери энергии. Этот механизм может также работать в орбитальных резонансах для разных местах. рожденных Двойные скоплений, В скопления могут образоваться как связанная система одновременно и последовательно; кратные системы – последовательно. Однако не многие из таких систем существуют дольше 50 млн. лет, [57]. РЗС рыхлы по своей природе и подвержены большому влиянию приливных сил Галактики, что не способствует их долгой выживаемости как совместной системы.

Исследуемое в данной работе скопление Collinder 135 (Cr 135) долгое время считалось одиночным, однако по данным Gaia рядом с ним обнаружено второе скопление. Звезды обоих скоплений достаточно слабые, что объясняет факт того, что их долго не различали между собой. Второе скопление – UBC7 было обнаружено на расстоянии около 300 пк от Солнца. Впервые Cr 135 упоминается как, вероятно, связанное с UBC7 в [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. До Gaia звезды UBC7 рассматривались как часть Cr 135.

#### 1.1.3. Структура скопления: ядро, корона, звездные шлейфы

Обычно скопления разделяют на ядро (внутренняя плотная часть) и корону (внешняя разреженная часть). Корона скопления постепенно сливается с общим фоном звезд, так что у большинства скоплений видны, как правило, в основном, их ядра, особенно это касается не очень богатых звездами скоплений. Иногда граница между ядром и короной незаметна и градиент плотности меняется постепенно. У богатых звездами скоплений область перехода между ядром и короной плавная, и по внешнему виду сложно их четко разделить. Причем такая структура наблюдается даже у совсем недавно появившихся скоплений, еще погруженных в родительское облако. Возможно, что они рождаются, уже имея центральную концентрацию (ядро скопления) и сегрегацию масс (более массивные звезды наблюдаются преимущественно в центральных областях скопления). В каталогах приводятся такие пространственные параметры как радиус ядра, центральной части и самого скопления, приливный радиус, радиус ядра по Кингу. В необходимых случаях мы их используем.

Изучение, как центральной части скопления (ядра), так и внешней разреженной области (гало или короны) необходимо для понимания эволюции звездной системы [140]. В области ядра, как правило, находятся относительно яркие и массивные ( $\geq 3M_{\odot}$ ) звезды, хотя и маломассивные там также присутствуют [25], в то время как корона содержит большое количество слабых и более легких ( $\leq 1M_{\odot}$ ) звезд. Эти области имеют весомое значение для исследований, связанных как с функцией масс, так и со структурой скопления в целом [192]. Подробный структурный анализ короны необходим для понимания влияния внешних факторов, таких как, например, приливное поле Галактики или импульсные столкновения с межзвездными облаками на

динамическую эволюцию выбранной звездной системы [163]. Предполагается, что большинство скоплений рождаются, имея сферическую форму, но взаимодействуя с близкими объектами, а также под действием приливных сил Галактики, меняют свой внешний вид. На эти изменения влияют и внутренние процессы, происходящие в звездной группе. В результате гравитационного взаимодействия между звездами происходит их сегрегация по массе. В итоге движение массивных звезд замедляется, а менее массивные увеличивают скорость и легче покидают скопление. Общее количество маломассивных звезд играет важную роль в выживании звездного скопления [58]. Однако, при взрыве первых сверхновых звезд может произойти выброс более массивных звезд из скопления, так что при наблюдении мы необязательно будем видеть описанную в теории сегрегацию в чистом виде.

Как описано выше, из-за внутренних И внешних процессов, происходящих в скоплении, теряются звезды, что ведет к образованию короны и приливных шлейфов. В Kharchenko et al. [117] показано, что под влиянием приливных сил Галактики РЗС приобретает форму эллипсоида с большой осью, направленной приблизительно в сторону центра Галактики (ЦГ). Это происходит классическим путем: существующий градиент силового поля приводит к разнице сил притяжения (относительно центра скопления имеются диаметрально противоположно направленные векторы силы, которые сильнее притягивают к ЦГ ближнюю часть скопления, а дальнюю – слабее). Согласно третьему закону Кеплера, система, скорее всего, еще немного поворачивается вокруг своей оси, и дальние части скопления вынуждены двигаться быстрее по орбите, чтобы уравновесить центробежную силу, - скопление не разваливается. Звезды, покинувшие скопление образуют "хвосты", расположенные вдоль орбиты.

Описанный выше эффект был смоделирован в различных работах, таких как Chumak & Rastorguev [41] с помощью кода NBODY6, и в Kharchenko et al. [117] с использованием программы N тел (fiGRAPE), с учетом времени жизни звезд и потери массы звездами. По результатам расчетов под действием сил

Галактики скопление постепенно превращается в эллипсоид, большая ось которого расположена под углом  $30^{\circ}$ –  $40^{\circ}$  к радиус-вектору на ЦГ. Со временем скопление теряет звезды, которые покидают его преимущественно из точек Лагранжа L1 и L2 – там, где уравниваются силы, действующие на звезду со стороны скопления и Галактики. Покинувшие скопление звезды продолжают движение рядом со скоплением, сохраняя схожие с ним характеристики направления. При этом, чем дальше звезда находится от центра скопления, тем больше может отличаться ее пространственная скорость от средней скорости, [43]. Образуются так называемые шлейфы, или приливные хвосты. Постепенно звезды шлейфов будут уходить все дальше от родительского скопления, располагаясь в обе стороны от скопления вдоль его орбиты, а со временем могут замкнуться, образовав кольцевую структуру вокруг ЦГ. Длительность этой стадии составляет ~  $10^8$ - $10^9$  лет, [243].

Долгое время на уровне наблюдений обнаруживались хвосты у шаровых скоплений (например, Palomar 5 [161]) или у разрушающихся спутников галактик (см.[166]). Шлейфы у РЗС небогаты звездами, а сами они находятся в диске, где население звезд фона достаточно густо. Поэтому у РЗС их наличие удалось обнаружить по данным Gaia DR2. Шлейфы найдены у Гиад [184, 148], скопления Альфа Персея [198], Ruprecht 147 [198, 234], Волосы Вероники [91, 212] и Ясли [185].

#### 1.1.4. О природе потоков

Движущиеся звездная группа (кинематическая группа, поток, сверхскопление) – это ансамбль гравитационно несвязанных звезд, которые имеют близкое пространственное движение [156, 41]. В эпоху Gaia, благодаря наличию беспрецедентно точных данных, движущиеся группы рассматриваются как объекты, способные дать ключ к пониманию структуры диска Галактики в окрестностях Солнца. Молодые скопления помогают получить информацию о химическом составе в области, близкой к солнечной системе [53].

Кинематические группы звезд, как правило, объединены общим рождением. Они могут возникнуть как сразу после потери молодым звездным скоплением газа, когда гравитация уже не может удержать их вместе и образовать связанную группу звезд (такой сценарий, возможно, применим к потоку IC 2391), так и в результате постепенного разрушения скопления. К причинам разрушения РЗС можно отнести взаимодействие с галактическим диском (особенно, если скопление находится на некруговой и наклонной орбите и имеет большую массу), влияние проходов скопления через спиральные рукава, приливное разрушение от близлежащих гигантских молекулярных облаков или возможное взаимодействие с другими массивными скоплениями. Все это ведет к постепенному распаду звездной группы, перемешиванию его бывших членов со звездами других распавшихся скоплений, которые уже стали звездами фона Галактики.

В конце концов, распавшееся звездное скопление может быть распознано как кинематическая группа, или звездный поток, если его члены все еще имеют общие характеристики движения и занимают ограниченный объем в пространстве [236]. Отметим, что изучаемое здесь скопление IC 2391 является интересным объектом, который представляет собой рассеянное звездное скопление, а также находящуюся рядом с ним кинематическую группу. Поток IC 2391 был открыт Eggen [74], он использовал термин этого объекта. «сверхскопление» Оценки по пространственному для расположению и компонентам пространственной скорости (полученных по измерениям Gaia) позволили в целом подтвердить общность положения и направления движения в пространстве звезд потока и скопления IC 2391. Получено свидетельство их возможной генетической связи в прошлом, предположительно, в момент их образования в диске.

После того как скопление сформировалось И выжило как гравитационно-связанная группа, длительность последующего его существования в Галактике зависит от многих факторов. Например, есть исследования, включающее ЧТО скопления, достаточное количество

маломассивных звезд, лучше противостоят перемешиванию со звездами поля и выживают на относительно большой шкале времени приблизительно в 1 млрд. лет [59]. Также замечено, что наиболее компактные и далекие от галактического центра скопления имеют больше шансов на длительное существование. Примером выполнения одного из таких условий является рассмотренное в данной работе скопление NGC 2158 с возрастом 2-3 млрд. лет. Весьма вероятно, что оно является долгожителем во многом благодаря тому, что большую часть времени проводит высоко над галактической плоскостью на Z от -500 до 500 пк.

#### 1.1.5. Скопления и планетные системы

В процессе коллапса молекулярного облака образуются не только звезды, но и планеты. Когда звезда начинает формироваться, вокруг нее присутствует много вещества, организованного в форме протопланетного диска. Он образуется благодаря закону сохранения углового момента: когда вращающийся объект начинает сжиматься, вращение ускоряется. Такой процесс характерен как для Солнечной системы, так и для других звезд. Получено множество изображений молодых звезд, где видны такие диски. Из вещества дисков образуются планеты, причем рождаются они, как и звезды, во многих случаях не поодиночке, а группами. Они испытывают порой сложные взаимодействия из-за гравитационного влияния друг на друга, которое может носить катастрофический характер. В изначальной системе из 5-6 планет может в итоге остаться одна или две, потому что остальные могут быть выброшены из системы или поглощены звездой. Близко расположенные звезды также могут оказывать гравитационное влияние на планетную систему. При этом сближения звезд могут влиять на объекты облаков Оорта и порождать кометно-астероидные бомбардировки.

Некоторые планеты могут по своим массам быть сопоставимы со звездами. На данный момент самой маломассивной звездой считается EBLM J0555-57. Она имеет массу равную 85±4 масс Юпитера, [225]. Крупнейшая

обнаруженная на данный момент экзопланета DENIS-P J082303.1-491201b имеет массу, составляющую 28.5±1.9 масс Юпитера, [189]. Таким образом, не всегда легко определить грань между коричневыми карликами и крупными экзопланетами: по приведенным выше данным разница лишь в 3 раза.

Большинство известных экзопланет открыто у сравнительно небольших и холодных звезд – красных карликов. Отчасти это связано с тем, что этот тип звезд наиболее распространен. Вместе с тем планеты могут существовать и у более горячих звезд, очень много экзопланет было найдено у звезд спектральных классов К – F. Отметим, что около звезд ранних спектральных классов с температурой поверхности ≥10000 К известно достаточно мало 15-ти NASA экзопланет всего около (по данным Exoplanet Archive<sup>1</sup>). Связанно это во многом с тем, что горячие звезды спектральных классов О-В обладают мощными потоками электромагнитного излучения и быстрых которые препятствуют частиц, конденсации вещества дисков. Одной из протопланетных самых горячих звезд, имеющих экзопланету, является бело-голубая звезда KELT-9 с температурой немного выше 10 тысяч градусов. Планета представляет собой газовый гигант в три Юпитера. Вероятно, раза массивнее из-за постоянного облучения ультрафиолетом, у экзопланеты может присутствовать газовый хвост, аналогичный кометным. Температура дневной стороны планеты превышает 4000 K, [96].

Из сказанного выше следует, что экзопланеты чаще формируются у звезд поздних спектральных классов. Также замечена зависимость процесса формирования планетных систем от химического состава (металличности) протопланетного вещества. Чем звезда моложе, тем она имеет большую металличность. Это связано с тем, что вещество, из которого она сформировалась, обогащено тяжелыми химическими элементами предыдущих поколений звезд. В таком случае звезды и скопления, возникшие в начале

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> <u>https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/index.html</u>

эволюции Вселенной, бедны металлами и имеют меньше шансов на формирование вокруг них планет. Чем больше металлов в протозвезде, тем больше их и в ее протопланетном диске. В бедном металлами диске появление планет затруднено, и они, скорее всего, будут маломассивными и неблагоприятными для жизни. Спектроскопические исследования систем, где были найдены экзопланеты, подтверждают взаимосвязь между высокой концентрацией металлов в звездах и образованием планет: «звезды с планетами (по крайней мере, подобными известным) явно богаче металлами, чем звезды, не имеющие планет», [188].

Существовало мнение, что планеты не могут формироваться у звезд скоплений из-за сложного гравитационного взаимодействия между его членами, а также взрывов относительно близко расположенных сверхновых. Однако, в рассеянных звездных скоплениях звезды находятся достаточно далеко друг от друга и их гравитация не влияет на формирование планет у соседних звезд. Большинство звезд возникли в скоплениях, и поиски в них экзопланет перспективных направлений. Тому одно ИЗ самых подтверждением послужило опредленное число исследований, в которых экзопланеты успешно обнаружены. Это касается как рассеянных, так и шаровых скоплений. Например, в достаточно старом и богатом звездами РЗС М 67 найдены 3 экзопланеты, причем одна из них около звезды, которая почти полностью идентична Солнцу, [31]. В плотном рассеянном скоплении NGC 6811 замечены две экзопланеты – Kepler-66b и Kepler-67b (по изменению) блеска светил). Это крупные планеты, скорее всего "мини-Нептуны" – газовые гиганты с относительно крупным каменистым ядром. В скоплении Ясли, схожим по возрасту и многим другим характеристикам со скоплением Гиады, имеется много звезд, схожих с Солнцем. Около таких солнцеподобных звезд обращаются не так давно открытые планеты Pr0201b и Pr0211b, [175]. В Гиадах также найдены экзопланеты (см, например, Vanderburg et al. [221] и Mann et al.[145]). У звезд изученного нами потока Большой Медведицы обнаружен ряд экзопланет (например, звезда подобная Солнцу HD 63433

обладает двумя экзопланетами (Mann et al. [146])). Им, конечно, было проще формироваться, так как звезды потока расположены дальше друг от друга, чем звезды рассеянных звездных скоплений. Приведенные выше примеры включают относительно старые звездные системы.

Изучают экзопланеты также у молодых скоплений. В Плеядах есть звезды – кандидаты для поиска экзопланет. Отметим, что у очень ярких звезд поиск экзопланет затруднен, так как их блеск мешает этому. Тем не менее существуют алгоритмы и методы, которые позволяют решить такую задачу. Известны странные пульсации блеска с периодом в 10 дней у звезды Майя. На поверхности этой звезды содержится большая концентрация некоторых тяжелых химических элементов, например, марганца. Оказалось, ЧТО этой наблюдаемые изменения яркости звезды, телескопом Kepler, соответствуют изменениям интенсивности линий поглощения марганца в атмосфере Майи. Это может свидетельствовать о процессе зарождения около нее планет, [229]. Ранее у звезды HD 23514 обнаружены признаки формирования "силикатных" скалистых планет земной группы (Rhee et al. [177]).

Скопление  $\lambda$  Ориона было изучено на наличие экзопланет или процесса их формирования. Это совсем молодая звездная группа с возрастом около 5 млн. лет, содержащая в себе остатки родительского газового облака. Ключевым является тот факт, что в скоплении содержатся ОВ-звезды. В скоплении  $\lambda$  Ориона обнаружено 14 протопланетных дисков. Авторы [5] исследовали центральную область размером 3 пк и предположили, что в других диапазонах и на более широкой области вокруг центра скопления подобных объектов может быть намного больше. Возможно также, что около 1 млн. лет назад в центре скопления взорвалась сверхновая. Предполагается, что это событие должено привести к выметанию значительного количества вещества дисков вокруг ближайших звезд. Повлиял ли взрыв сверхновой на протопланетные диски? Для ответа на этот вопрос Close & Pittard [49] провели трехмерное гидродинамическое моделирование протопланетных дисков (с

различными массами и наклонами оси вращения), рассмотрев влияние возможного взрыва сверхновой на расстоянии менее 0.3 пк от звезды. По результатам моделирования получено, что для маломассивных и умеренно массивных дисков до 90% и 30% массы диска потеряно после взрыва Олнако большой соответственно. диски массы практически не пострадали. Поскольку пиковое давление набегающего потока в модели [49] сильно зависит от расстояния до сверхновой, то происходит, в основном, удаление вещества с близлежащих дисков, которые находятся в пределах небольшой доли парсека. Интересно отметить, что в скоплении λ Ориона, по данным, действительно, на расстоянии наблюдательным <0.3 пк OT предполагаемого местоположения сверхновой не наблюдается Несколько протопланетных дисков. звезд с газопылевыми дисками обнаружены сразу за пределами 0.3 пк. Возможно также, что дело здесь не в сверхновой, а в том, что в ядре скопления расположены горячие ОВ-звезды, излучение которых влияет на формирование протопланетных дисков, [111]. В работе Ansdell et al. [4] также обнаружено, что в другом молодом скоплении –  $\sigma$  Ориона – наблюдается недостаток массивных дисков в пределах до  $\approx 0.5$  пк от центральных ОВ-звезд, за пределами которых следует четкая, зависящая от расстояния тенденция к увеличению массы протопланетных дисков у звезд, расположенных ближе к краю скопления.

Таким образом, предположительно, экзопланеты встречаются у звезд скоплений так же часто, как и у звезд поля, хотя порой их не так просто обнаружить, особенно если в скоплении много близкорасположенных звезд. Но так как плотность звезд в области скопления во много раз превышает плотность звезд поля, то это позволяет видеть одновременно намного больше объектов в поле зрения телескопа, если он наведен на скопление. Тем самым, повышается вероятность обнаружения и экзопланет.

Известно, что для скоплений, а, следовательно, и звезд с экзопланетами в их составе, наиболее надежно определяется возраст и расстояние. Звезды скопления также имеют приблизительно схожий химический состав. Это дает

возможность сопоставить типы звезд и характеристики экзопланет. Таким образом, изучение экзопланет в скоплениях позволяет получить знания о процессе формирования планет в условиях достаточно близкого расположения соседних звезд, а также узнать закономерности нахождения планет в пространстве в зависимости от плотности скопления, степень хаотичности орбит, свободных частоту возникновения планет, возможно, даже переходящих от одной звезды к другой. Моделирование и наблюдение процессов, происходящих в скоплении, и затрагивающих не только их звездную составляющую, дает ключ к более полному пониманию физической и химической эволюции Галактики.

#### 1.1.6. Используемая схема эволюции звездных скоплений

Образование OB-ассоциаций в спиральных галактиках является примером разбиения галактического газового диска на гигантские облака с размерами порядка его толщины. Процесс охлаждения газа приводит к его фрагментации.

Расположение звездных ассоциаций и скоплений структурировано иерархически: ассоциации включают скопления. Они образуются из единого облака, содержащего протоскопления с характерными массами  $\sim 10^3 M_{\odot}$ . Следовательно, их эволюция представляет общий процесс. Важно отметить, что эффективность превращения газа в звезды составляет от 0.1 до 13.6% (в среднем около 2-3%) по данным Mel'nik & Dambis [151], поэтому его потеря вследствие истечения, вызванного ионизацией водорода, приводит к потере звезд и распаду большей части скоплений за время  $\sim 10^5$  лет [243, 129]. Те скопления, что не выжили после этапа сброса газа и распались, заполняют объем ассоциации звездами, наследующими основные параметры исходных гигантских молекулярных облаков.



Рис.1.1. Используемая схема эволюции звездных скоплений (левая ветка) и звездных ассоциаций (правая ветка) [243]. Показаны последовательные стадии эволюции. Точками схематично обозначена звездная составляющая, группами точек – скопления, полыми кружками – протоскопления.

Приливные силы Галактики со временем искажают форму ассоциации, что приводит к рассеянию звездной системы в направлении орбитального движения вокруг галактического центра. Со временем возникает звездный поток, состоящий из звезд поля ассоциации и потоков выживших звездных скоплений. Эволюция этого потока приводит за время ~10<sup>9</sup> лет к его замыканию в кольцо вокруг ЦГ. Этот процесс численно промоделирован Тутуков и др.[243].

Все сказанное выше, как итог, отображено на Рис.1.1. Мы видим последовательность стадий процесса эволюции звездных ассоциаций и скоплений от образования до распада, в ходе которого они превращаются в звездные потоки, движущиеся в диске, и звездные «кольца» вокруг галактического центра.

#### 1.2. Источники данных

# 1.2.1. Каталоги Hipparcos, TGAS, Gaia DR2 как источники данных о звездах скоплений

В данной работе использованы различные каталоги, которые наилучшим образом подходили для наших задач. В этой главе приведен краткий обзор выбранных источников данных.

Основные астрометрические каталоги получены с помощью космических аппаратов Ніррагсоз и Gaia. Эти миссии разнесены по времени почти на 25 лет, однако принципы астрометрических измерений схожи, хотя их научные задачи имеют различия: задача Ніррагсоз заключалась, в основном, в получении астрометрических данных для звезд, а миссия Gaia ориентирована на Галактику с целью изучения ее структуры и истории формирования. Каталоги Gaia содержат также данные об астероидах и других малых телах Солнечной системы. Наблюдения Ніррагсоз охватили 48 малых планет, но это число несравнимо с количеством объектов Солнечной системы в каталогах Gaia, а также экзопланет.

КА Ніррагсоѕ был запущен с космодрома Куру (Французская Гвиана) на ракете Ариан-4 в 1989 году. Продолжительность полета составила 3.3 года, в течение которых было произведено в среднем 110 измерений на каждый объект. Окончательные результаты были опубликованы в 17-ти томном каталоге в 1997 году [81], и долго оставались непревзойденными по объему и качеству. Собранные данные позволили получить параллаксы примерно для 120 000 звезд Галактики [81, 219] до звездной величины равной Hp = 12.4. Каталог является практически полным на интервале звездных величин 7.3<sup>m</sup> ≤ Hp ≤ 9.0<sup>m</sup>. Степень полноты зависит от области на небесной сфере.

В каталоге Hipparcos получены астрометрические данные на уровне миллисекундной точности. Через десять лет после публикации каталога Hipparcos была осуществлена и опубликована редукция астрометрических данных – Hipparcos-2 [219], где почти все звезды ярче Hp = 8<sup>m</sup>, имеют улучшенную до 4 раз точность астрометрических параметров по сравнению с оригинальным каталогом. Улучшения были достигнуты за счет крайне тщательного изучения движения спутника и включения результатов в моделирование ориентации. В результате практически исчезли корреляции вызванные ошибками моделирования положения данных, спутника, существовавшие в исходном каталоге. Также произведена калибровка светимости источников.

Каталог Ніррагсоз-2 содержит 23882 двойных и кратных системы. Благодаря высокой точности полученных данных, согласно рекомендациям Международного Астрономического Союза (МАС), модифицированная система каталога Ніррагсоз называется небесной опорной системой координат Hipparcos – Hipparcos Celestial Reference Frame (HCRF). Она является первичной реализацией системы ICRS (International Celestial Reference System – барицентрической, с началом отсчета в центре масс Солнечной системы) в оптическом диапазоне.

Кроме каталога HIP, на основе данных для основного каталога, были созданы каталоги Tycho [81] и Tycho-2 [107].

Tycho-2 – это астрометрический каталог, в котором содержатся положения и собственные движения для 1058332 звезд (включая 6301 звезду из каталога HIP). В данном каталоге собственные движения с точностью до 2.5 мсд/год получены в результате сравнения с данными Astrographic Catalog [215]
и 143 другими наземными астрометрическими каталогами, которые были приведены к небесной системе координат Hipparcos.

Космический телескоп Gaia (сокращение от Global Astrometric Interferometer for Astrophysics) Европейского космического агентства является преемником телескопа Hipparcos. ИСЗ был запущен 19 декабря 2013 года и находится в области точки Лагранжа системы Земля-Солнце (L2), которой достиг примерно спустя месяц после запуска, и где, по предварительным оценкам, должен проработать еще как минимум 6 лет. Выпуск редакций каталога миссии запланирован вплоть до 2024 года.

Первая редакция миссии Gaia – Gaia DR1 [29], была основана на результатах, полученных за 14 месяцев работы КА. За это время не было достигнуто равномерное качество измерений по всей небесной сфере, оно чаще производилось в областях, расположенных ближе к полюсам эклиптики, так что качество данных значительно различалось в разных областях неба. Эта редакция каталога содержит координаты (на эпоху J2015.0) и звездные величины для более 1 миллиарда объектов ярче G >20.7<sup>m</sup>. В нем выделен подкаталог Tycho-Gaia Astrometric Solution (TGAS) [132] в который входит 2 млн. источников с астрометрическими данными, полученными на основе Gaia, Hipparcos и Tycho-2. TGAS содержит координаты, параллаксы и средние собственные движения для 2 057 050 источников, в том числе общих с каталогами Hipparcos и Tycho-2. Характерная систематическая ошибка определения параллаксов на основе этих данных составляет около 0.3 мсд, собственных движений – 0.5-2.6 мсд/год [132]. Предел полноты до ~11 – 11.5<sup>m</sup> с типичной стандартной ошибкой фотометрии в полосе G до ~ 0.03<sup>m</sup>.

Собственные движения из TGAS в некоторых случаях, возможно, являются более надежными, чем в Gaia DR2, так как данные о них получены на интервале измерений более 20 лет, однако данные о параллаксах там хуже [242]. Таким образом, благодаря использованию каталогов Hipparcos и Tycho-2, TGAS дал возможность получить усовершенствованные данные с Gaia, чем, если бы они были взяты только со спутника за 14 месяцев.

37

В апреле 2018 года был опубликован выпуск Gaia DR2, точнее и полнее, чем Gaia DR1. В новом каталоге были даны фотометрические данные в полосе G и координаты звезд для 1 692 919 135 звезд, включая объекты с измеренными собственными движениями и параллаксами (1 331 909 727). Также были приведены значения лучевых скоростей для 7224631 источника со средней погрешностью около 1 км/с. В том числе определен ряд астрофизических параметров для большого количества звезд, таких как радиус, эффективная температура, светимость, указание на переменность. Кроме того, для 87 733 672 объектов измерено межзвездное поглощение ( $A_G$ ) и покраснение (E ( $G_{BP}$ - $G_{RP}$ )).

Ошибки параллакса каталога Gaia DR2 находятся в диапазоне от 0.04 мсд (для источников с G <15<sup>m</sup>) до 0.1 мсд (до G = 17<sup>m</sup>) и возрастают до 0.7 мсд при G = 20<sup>m</sup>. Соответственно, ошибки собственных движений составляют 0.06 мсд/год (для G <15 m), 0.2 мсд/год, (до G = 17m) и 1.2 мсд/год (для G = 20m). Однако, около 20% звезд с большими собственными движениями, известные на сегодняшний день, отсутствуют в данном каталоге. Лучевые скорости же измерены только для объектов со звездной величиной  $4^m \le G \le 13^m$ , имеющих при этом эффективные температуры в диапазоне от 3550 до 6900 K, поэтому особо "холодные" и "горячие" звезды туда не входят. Точность лучевых скоростей у особо ярких звезд составляет 0.2-0.3 км/с, в то время как у наиболее слабых ошибка достигает примерно 1.2 км/с для эффективной температуры 4750 K и около 2.5 км/с для эффективной температуры 6500 K. Лучевые скорости также не определены для звезд с эмиссионными линиями в спектре, и могут быть не совсем корректны для спектроскопически двойных звезд.

Что касается эффективной температуры звезд, то ее оценки сделаны без учета межзвездного поглощения (только по данным фотометрических полос и параллаксам), и это сильно влияет на точность приведенного параметра для объектов, которые находятся в областях с его высоким коэффициентом. В данном случае нужно обращаться к дополнительной литературе, если она имеется для источника, или же относиться с достаточной осторожностью к полученным измерениям.

Стоит дополнительно учитывать, что в Gaia DR2 есть систематическая ошибка параллакса, которая зависит от положения объекта на небесной сфере и по разным оценкам составляет от 0.029 (по квазарам) до 0.085 мсд (зависит от метода оценки и вида объектов).

Данные из каталога Gaia DR1 (наблюдение с 25.07.2014 по 16.09.2015) и каталога Gaia DR2 (наблюдение с 25.07.2014 по 23.05.2016) являются полностью независимыми друг от друга, хотя для них и имеется кроссидентификация, однако номера не наследуются. Некоторые из объектов, полученных в каталоге Gaia DR1, могут отсутствовать в Gaia DR2 по тем или иным причинам. Различаются и эпохи наблюдений – у Gaia DR1 это J2015.0, а у Gaia DR2 – J2015.5. Данные в Gaia DR1 и Gaia DR2 определены по наблюдениям, выполненным каждое по своей программе, независимо друг от друга.

Звезды в обеих редакциях Gaia рассматриваются как одиночные объекты (предел разрешения до 0.4 угловых секунд между двумя источниками), хотя изначально был запланирован и отдельный каталог двойных звезд, но он остался нереализованным.

Каталоги Hipparcos Gaia. И являются ДЛЯ своего времени беспрецедентными по точности для содержащихся в них объектов, полноте звездных величин в определенных диапазонах, объему и качеству. Чем точнее данные о звездах, тем больше мы узнаем соответственно и о скоплениях. Благодаря материалам, полученным со спутника Hipparcos, были гораздо точнее, чем по информации с наземных телескопов, исследованы различные свойства скоплений (в том числе обнаружены кинематические неоднородности в некоторых скоплениях, таких как Большая Медведица и М 67). Кроме того, пересмотрены расстояния до некоторых скоплений, членство звезд, а, значит, и объем, и функция масс и некоторые структурные особенности. Из-за наиболее точных на тот момент данных о параллаксах из каталога HIP, стало

достовернее известно положение скоплений в Галактике, что дало больше понимания о том, как они формировались и смогли оказаться в той или иной области. Благодаря измерениями со спутника Gaia точность астрометрических измерений улучшилась в десятки раз. Были открыты сотни звездных скоплений (например, [33], [Ошибка! Источник ссылки не найден.], [38]), обнаружены новые свойства, какие были до этого лишь предсказаны теоретически (шлейфы, продолжительность этапов звездообразования и т.п.), что помогло также более глубоко понять внутренние процессы, происходящие в скоплениях и Галактике.

# 1.2.2. Глобальный обзор звездных скоплений в Млечном Пути (каталоги MWSC)

Каталоги MWSC (Milky Way Global Survey of Star Clusters) созданы на основе каталога PPMXL [181], который содержит координаты и собственные движения в Международной эталонной системе небесных координат (ICRS) и фотометрию низкой точности из USNO-B1.0 [155] для примерно 900 миллионов объектов вплоть до V  $\approx 20^{m}$ . Эти данные были соединены с точной фотометрией в полосах J, H, Ks из обзора 2MASS [201] для примерно 400 миллионов объектов, в результате чего был получен собственный каталог, названный 2MAst (расшифровывается как 2MASS с астрометрическими данными) включающий около 471 миллион звезд. В итоге около 399 миллионов звезд полученного каталога имеют координаты и собственные движения PPMXL, а также фотометрию ближнего инфракрасного диапазона (NIR) и флаги 2MASS. Для остальных звезд доступны только данные 2MASS.

Список из 3784 записей (рассеянные и шаровые скопления, кандидаты в скопления, ассоциации и движущиеся группы), на котором основывается каталог MWSC с исходными параметрами скоплений, был составлен по данным взятым из литературы ([18], [32], [63], [71], [88], [89], [105], [115], [116] и [150]). К этим данным была присоединена информация о лучевых скоростях скоплений, большая часть из которой (670 записей) была взята из

[118] и [63]. В дополнение взяты измерения из [1], [27], [50], [117], [200], что, в совокупности, дало значения лучевых скоростей для 953 объектов.

Далее кандидаты из списка скоплений проходили идентификацию по каталогу 2MAst с определением членства звезд скопления, включающим параметров: фотометрической, вероятность совокупности ПО пространственной и кинематической. Для установления членства и получения параметров скопления использовался автоматизированный конвейер. Однако, в дополнение, на каждом этапе применялся ручной контроль результатов, чтобы достоверность их определения была как можно выше и исключалась возможность сбоя. Из установленных наиболее вероятных звезд-членов выводились параметры скопления (координаты центров и радиусы скоплений) и кинематика скопления (средние собственные движения, а иногда и лучевые скорости). Для большинства скоплений в каталоге определены угловые радиусы ядра, центральной части и самого скопления, а также приливный радиус (rt) и радиус ядра по Кингу (rc). Приливные параметры были получены путем приближения наблюдаемого распределения плотности объектов к трехпараметрическим профилям Кинга [122].

Для определения расстояния, покраснения и возраста РЗС применялись наборы теоретических изохрон Padova CMD 2.23 [162] для фотометрической системы 2MASS (и металличности Z = 0.019). Их расчет основан на моделях эволюции звезд различных масс, [147]. В целях лучшего согласования нижней части начальной главной последовательности (ZAMS) с наблюдениями в области поздних К-М-звезд, изохроны Padova CMD были использованы с совмещением с другими вычислениями, выполненных с учетом последних моделей Allard атмосфер М-карликов (см. [121]). Для звезд еще не достигших главной последовательности (preMS-stars), использована сетка треков, основанных на модели [199]. Полученные параметры log g, log L/L<sub> $\odot$ </sub> и T<sub>eff</sub> затем преобразовывались в фотометрическую JHK-систему. В итоге яркая часть ZAMS (звезды, более ранних типов, чем класс K) представлена изохроной Padova (на момент времени t = 0.001 млн. лет). Для звезд поздних

спектральных классов взяты изохроны пизанской группы для preMS-stars (t = 650 млн. лет) и содержаниями гелия и тяжелых элементов (Y, Z) = (0.28, 0.016). Последнее обеспечивает лучшее согласие с наблюдениями М-карликов в Гиадах [182].

Каталог MWSC II полон приблизительно до расстояния 1.8 кпк, хотя не исключено, что в области Галактики, рассмотренной в данном каталоге, еще существуют неоткрытые скопления. По сравнению С изначальными разрозненными параметрами скоплений ИЗ литературы, база данных скоплений имеет хорошее согласие пространственных и кинематических данных, и является достаточно однородной. Небольшие, но систематические ошибки могут присутствовать при определении возраста.

Данные о металличности объектов в системе каталогов MWSC не выводились, а были взяты из литературы ([50] и [63]; для шаровых скоплений из Harris [105]). Также в будущем планируется совмещение MWSC и данных Gaia [29].

## 1.2.3. Каталог РЗС в Млечном Пути на основе данных Gaia DR2

Каталог РЗС в Млечном Пути на основе данных Gaia DR2 ("Gaia DR2 open clusters in the Milky Way", Cantat-Gaudin et al.,2018 [33]) включает 1229 рассеянных скоплений Галактики (в том числе 60 новых, обнаруженных в процессе составления каталога) и 2 шаровых скопления, которые ранее считались рассеянными.

Для создания данного каталога изначально был составлен список из 3328 известных скоплений и кандидатов в скопления из каталогов [63], [88], [121], [183], [194] и [195]. Однако, в конечном итоге, были отождествлены менее половины от первоначального списка объектов, что могло быть вызвано различными причинами. Например, малое превышение плотности звезд скопления над звездами поля, малое отличие собственных движений звезд скопления от собственных движений звезд фона, а также присутствие ошибок в астрометрических данных, отчасти из-за высокой степени межзвездного поглощения. Из-за большой площади, занимаемой на небе, были исключены поток Большой Медведицы, Гиады и Волосы Вероники, а также некоторые другие скопления, которые имеют большую разреженность звезд, так как применяемый для отбора звезд скоплений алгоритм не подходит для идентификации такого типа объектов. В обзор не попали шаровые скопления из [105] и [121] и многие «инфракрасные скопления», ранее обнаруженные по данным 2MASS, так как предел наблюдения в полосе G не дотягивает до J-диапазона 2MASS.

Для выбора звезд, входящих в состав скоплений, применялась программа UPMASK [125], использующая древовидный алгоритм кластеризации.

Процесс работы UPMASK не контролируется и не основывается на физическом предположении о существовании звездных скоплений, за исключением того факта, что выбираемые звезды-члены должны иметь общие свойства в трехмерном астрометрическом пространстве ( $\mu_{\alpha}$ ,  $\mu_{\delta}$ ,  $\overline{\omega}$ ) и быть более плотно распределенными по небу, чем случайное распределение.

Радиус, выбираемый вокруг центра скопления для отождествления его членов, не является критическим для кода UPMASK, даже если радиус будет в 2 раза больше истинного размера скопления. Однако, скопление может быть не найдено, если оно само по себе очень компактно – состоит только из небольшого плотного ядра.

При отборе членов скопления были наложены ограничения на диапазон величин параллаксов членов скопления (±0.3 мсд от среднего значения) и собственных движений (±2 мсд/год от средних значений), что позволило отсеять большинство звезд, на самом деле не принадлежащих выбранной звездной группе.

Для наиболее близких звездных скоплений собственные движения никак не ограничивались, по той причине, что у близких объектов оно может превышать выбранные грубые границы 2 мсд/год.

43

Для удаленных скоплений (более 900 пк) или скоплений с очень небольшими собственными движениями, членами считались звезды с отклонением до 0.5 мсд/год от среднего.

Скопления, которые накладываются друг на друга на небе (например, пары NGC7245 / King 9 или NGC2451A / NGC2451B) разделены не автоматически, а в ручном режиме.

При отборе членов не применялись фотометрические критерии, не брались во внимание лучевые скорости звезд. Авторы каталога не ставили своей целью получение возрастов скоплений и брали его из литературы.

Каталог содержит несколько возможных определений расстояний до скопления (подробное описание см. в [33]) в том числе с учетом локальной систематической ошибки параллаксов Gaia DR2 [133]. Эти оценки неплохо согласуется с определением расстояниия для нескольких сотен объектов из MWSC. Но скопления в каталоге «Gaia DR2 open clusters in the Milky Way» все же чаще оказываются гораздо более удаленными, что может быть результатом того, что в MWSC использовался метод фотометрических расстояний, который может иметь смещенные оценки из-за не столь точной фотометрии, чем те, что имеются сейчас в Gaia, и вероятного загрязнения выборки звездами поля.

Для каждого скопления представлен список его членов, включая вероятность принадлежности каждой звезды, данные о звездах из Gaia DR2 и средние астрометрические параметры скопления (собственные движения, параллаксы, координаты и ошибки величин). Также для удобства в каталоге приведены галактические барицентрические координаты X, Y, Z, расстояние скопления от центра Галактики (расстояние до Солнца принято как 8.34 кпк) и радиус скопления, содержащий 50% членов скопления – r50 (в градусах).

## 1.2.4. Создание собственных списков звезд скоплений

Не всегда опубликованные списки звезд-членов скоплений и каталоги подходят под поставленную задачу, и часто бывает так: опубликованные выборки членов скопления нуждаются в дополнительных уточнениях, как по содержанию, так и по числу звезд, а иногда сам метод не является достаточно универсальным. Часто авторы обрезают свои выборки по какой-либо предельной звездной величине из-за ненадежности определения параметров и сложности приведения их к более точному результату в процессе обработки. Поэтому, из-за отсутствия слабых по яркости звезд, список становится максимально точным по параметрам, но неполным по числу.

Некоторые выборки, наоборот, обладают малым количеством ограничений и являются слишком обширными для конкретной задачи. Не всегда, например, приведены значения вероятностей принадлежности звезды к скоплению по тому или иному критерию, часто существует ограниченный набор данных, созданный по уже устаревшим каталогам. Естественно, что пересмотр членов скоплений по новым измерениям может привести к иным результатам.

Для решения поставленных здесь задач и в процессе их выполнения более ранние списки звезд корректировались вследствие получения новой информации об объектах.

Таким образом, в данной работе было сделано следующее:

1) Пересмотр опубликованных выборок. Наши каталоги составлены путем новых обоснований включения (или исключения) звезд в состав скопления. Приводимые здесь списки звезд оптимизированы под задачу, для которой она использована. Например, для Плеяд пришлось проводить собственный анализ звезд с учетом замечаний от доктора Флора Ван Лювена (F. van Leeuwen.Частное сообщение).

2) Дополнение по новым данным. Для потока Большой Медведицы нами отобраны объекты по каталогу Gaia DR1 (ранее были из Hipparcos), что привело к дополнительному отождествлению слабых звезд. Мы дополнили список слабыми членами потока, обнаруженным впервые по данным КА Gaia.

 Создание нового списка звезд путем последовательного применения критериев отбора. Критерии отбора звезд применялись по классической схеме:
 по параллаксам, собственным движениям и диаграмме Герцшпрунга-Рассела. Для скопления IC 2391 был осуществлен отбор членов по данным Gaia DR2. Следует отметить, что выборка звезд IC 2391 из Cantat-Gaudin et al [33], нами не использована, так как она искусственно ограничивалась по параллаксам и собственным движениям практически одинаково для всех скоплений. Кроме того, в каталоге [33] не производился отбор по качеству фотометрии лучевым скоростям. Мы провели сравнение нашей выборки IC 2391 со списками членов скопления, отобранными в [33] и [92] (по данным Gaia DR1). Получено общее согласие, а некоторые различия в деталях обсуждаются в соответствующем разделе.

## Глава 2. Двойные звездные скопления

Для оценки количества двойных скоплений в Галактике мы провели следующий Известно, простой анализ. что скорость расширения ионизованного газа скоплений, нагретого до температуры ~10<sup>4</sup>K составляет около 10 км/с. Пекулярные скорости звезд в РЗС можно принять равными 1 км/с. Это обеспечивает быструю потерю газового компонента, масса которого значительно превышает массу звездного компонента скопления. 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 скоплений со средней массой ~500*M*<sub>☉</sub> и возрастом ~10<sup>8</sup> лет. Примем радиус Галактики равным 10 кпк, в таком случае число скоплений во всей Галактике можно экстраполировать до 50 тыс. (в 100 раз больше). Умножаем это число на среднюю массу скопления, получаем полную массу скоплений  $25 \cdot 10^6 M_{\odot}$ . Разделив это число на среднее время жизни скопления 10<sup>8</sup> лет, найдем, что средний темп звездообразования в остающихся скоплениях  $\sim 0.25 M_{\odot}$  /год, а в самой в Галактике он составляет ~1.65 M<sub>☉</sub>/год [87]. Следовательно, только около 7.6% звездных скоплений сохраняются после потери ими газового компонента. Как упоминалось выше, по данным разных авторов, считается, что от 5% [214] до 30% [127] гравитационно-связанных звездных групп выживает после потери газа. Если предположить, что только 8% от выживших скоплений могут быть двойными (Subramaniam et al. [210]), то становится понятным, что такие объекты очень редки в Галактике.

Стоит отметить, что скопления, которые пережили потерю газа и чьи приливные радиусы при этом находятся вблизи друг друга, должны иметь соответствующий угловой орбитальный момент для того, чтобы оставаться гравитационно связанными (то есть являться физически связанной парой). В отсутствие должного углового момента компоненты такой пары просто сольются в одно скопление. Примеры скоплений – продуктов слияния, известны, однако хорошо заметны только у шаровых скоплений. Например, скопление М 3 согласно химическому составу входящих в него звезд, четко делится на две компоненты. Одна из возможных причин этого может быть следствием того, что оно в свое время слилось с другим скоплением, Lee et al. [131]. Другим объяснением бимодальности химического состава звезд некоторых шаровых скоплений остается возможная двукратная вспышка звездообразования в них, Bastian & Lardo [12]. Вопрос о возможности разделить население рассеянных звездных скоплений с помощью анализа химического состава их звезд остается пока открытым, Bragaglia et al. [23].

#### 2.1. Поиск двойных звездных скоплений в Галактике

Наиболее известным двойным скоплением в нашей Галактике является h и χ Per (NGC 869/NGC 884). Это крупное и относительно близкое P3C с почти одинаковым расстоянием обоих компонентов 2.2±0.2 кпк от Солнца [235]. Однако все же такая удаленность затрудняет их детальное изучение. Пространственное разделение между этими скоплениями составляет в среднем 200 пк [57]. Кроме этой пары существуют обширные списки кандидатов на данное звание, предложенные различными авторами, и наиболее обширные из них приведены ниже.

Subramaniam et al. [210] сделали выборку из примерно 1400 объектов каталога Lynga [138] и отобрали из них 18 пар со схожими возрастами и разделением в пространстве между объектами менее 20 парсек. В работе также было посчитано примерное время разрушения пар скоплений. Однако расстояния до скоплений из этого каталога имеют достаточно большую погрешность – 20%, к тому же нет практически никакой информации о кинематике этих пар.

В работе De La Fuente Marcos, R & de La Fuente Marcos, C. [57] составлен список кандидатов в двойные скопления на основе базы данных скоплений WEBDA [227] (34 пары) и каталога [63] (27 пар). Ими было обнаружено, что большинство кандидатов имеют достаточно молодой возраст,

25-50 млн. лет, и было сделано предположение, что в более позднем возрасте пары разлетаются вследствие постепенной потери звезд скоплениями и действия сил Галактики. Также авторами были найдены возможные парные скопления, образовавшиеся в процессе приливного или резонансного захвата – они выделялись за счет большего возраста, чем указанный выше. Кроме того, было предложено, что некоторые из перечисленных в статье пар находятся в процессе сближения на гиперболической орбите (скопления с разной кандидаты кинематикой, но находящиеся близко) И обнаружены В иерархическое тройное скопления. Для большинства объектов была известна кинематика и их пространственное расположение.

Vázquez et al. [222] исследовали 8 кандидатов на двойные скопления во внутренней области Галактики (на окрестности в пределах  $180^{\circ} \le l \le 270^{\circ}$  и -  $5^{\circ} \le b \le 5^{\circ}$ ). Данные включали расстояния, возраст и металличность, однако ни один из выбранных объектов не оказался истинно двойным скоплением. Из четырех возможных пар только NGC 2383 / NGC 2384 близки друг к другу в пространстве, но имеют разную металличность и возраст. Остальные объекты оказались флуктуациями плотности, либо случайно попали на луч зрения. Авторы предполагают, что выбранная в исследовании окрестность Галактики сейчас не имеет достаточно условий для формирования такого типа объектов.

Conrad et al. [51] изучали галактическую структуру и формирование скоплений с использованием информации 0 шестимерном фазовом пространстве (координаты и скорости), базируясь на основе Каталога данных рассеянных скоплений (COCD [116]) и лучевых скоростей из RAVE [128]. Была также проведена проверка распределения потенциальных кандидатов по возрасту, чтобы различать реальные и случайные группы. Группы выделялись алгоритмами кластеризации по расстоянию и скорости, а результаты проверялись моделированием по методу Монте-Карло. В итоге были обнаружены 19 групп, в том числе 14 пар, 4 группы по 3-5 членов и 1 комплекс с 15 членами. Авторы предполагают, что комплекс и группы РЗС, скорее всего, родились из одного облака, а пары скоплений, вероятно, случайны.

Soubiran et al. [207, 208] обнаружили некоторое количество кратных скоплений из выборки 861 объекта в результате исследования кинематики по новым точным данным Gaia DR2. Предполагается, что пять пар скоплений и одна группа из пяти членов могут быть физически связаны между собой. Данное исследование также опровергло предположение о двойственности некоторых объектов, ранее считавшихся таковыми [57, 51].

Кроме того, Dias et al. [64] выявил, что скопление Dias 4, которое ранее считалось одиночным, на самом деле является двойным.

Статья	Число рассмот- ренных скоплений	Число обнаруженных пар
Subramaniam et al. [210]	~1400	18
Vázquez et al. [222]	8	1
de La Fuente Marcos, R. & de La Fuente Marcos, C. [57]	3543	61
Conrad et al. [51]	650	14 пар, 4 группы с 3–5 членами и 1 комплекс с 15 членами
Soubiran et al. [207,208]	861	20

Таблица 2.1. Поиск кандидатов в двойные скопления различными авторами.

## 2.1.1. Физические параметры двойных скоплений

Какими должны быть физические параметры гравитационно связанных скоплений? Целью нашей работы является поиск наиболее надежных кандидатов в двойные рассеянные скопления для продолжения более детального их исследования. Основными параметрами, позволяющими судить о природе физической связи скоплений в парах, являются параметры  $\delta V$  и  $\delta R$ , а также масса и положение скоплений в Галактике. Двойные скопления должны быть устойчивы относительно ее приливных сил. Критерий приливный устойчивости (King [122]) позволяет оценить нижнюю границу суммарной массы двух гравитационно связанных скоплений:

$$M \ge 3 M_G \left( \Delta R/R_{Gal} \right)^3 \qquad (2.1)$$

где M — общая масса рассматриваемых скоплений,  $M_G$  - масса Галактики внутри галактического радиуса,  $R_{Gal}$  — расстояние от центра масс скопления до Центра Галактики,  $\Delta R$  — расстояние между центрами скоплений. Вышеперечисленные параметры недостаточны, если мы не знаем скорости скоплений друг относительно друга. Чтобы узнать максимально возможную разницу скоростей (скорость отрыва), необходимо оценить ее по теореме вириала:

$$\Delta V \leq \sqrt{\frac{2GM}{\Delta R}} \qquad (2.2)$$

На Рис. 2.1 и Рис. 2.2 показаны зависимости параметров двойных звездных скоплений, необходимые для их физической связи.



Рис.2.1. График зависимости массы и расстояния между скоплениями и ЦГ для физически связанных пар. Разным цветом показаны различные расстояния между центрами скоплений. Все объекты, лежащие выше кривой определенного радиуса, будут физически связаны, если расстояние между ними не превышает этот радиус.

На Рис. 2.1. показана зависимость расстояния между скоплениями и ЦГ от суммарной массы скоплений. Было взято несколько расстояний между центрами скоплений от 3 пк до 100 и проведены расчеты, где они должны находиться и какова должна быть их масса, чтобы скопления были гравитационно связанными. Расстояние от ЦГ было взято от 3 до 30 кпк. Скопления будут связаны при заданных расстояниях друга от друга и от ЦГ и массе, значения которой лежат выше соответствующей кривой. Это условие выполняется, если скопления имеют нулевую скорость друг относительно друга.

Приведем пример на основе Рис. 2.1. Допустим, что в околосолнечной окрестности на расстоянии 8.5 кпк от ЦГ, расположены два скопления. Пусть расстояние между ними составляет 15 пк. На Рис. 2.1 можно видеть, что пара будет физически связанной при суммарной массе  $\geq 45 M_{\odot}$ . При этом разница их скоростей не должна превышать 0.21 км/с. Но при таком же расстоянии между скоплениями и расстоянии пары 20 кпк от ЦГ, их масса должна превысить 4300M<sub> $\odot$ </sub>. Но с такой массой им можно уже иметь разницу скоростей в 1.6 км/с.

На Рис.2.2 приведены параметры двойственности скоплений с учетом их взаимных скоростей.



Рис.2.2. График зависимости массы и взаимной разницы пространственных скоростей для физически связанных пар. Цветами показаны различные расстояния между центрами скоплений. Все объекты, лежащие ниже кривой определенного радиуса, будут физически связаны, если расстояние между ними не превышает этот радиус.

Определенный интерес вызывают скопления, расстояние между которыми не превышает 100 пк. Скорее всего, эти скопления принадлежат одной и той же ассоциации, то есть могут иметь общее происхождение. Но большое расстояние между ними исключает гравитационную связь.

## 2.2. Пара Cr 135 и UBC7

Скопление Collinder 135 ( $\alpha = 108.3^{\circ}$ ,  $\delta = -37.35^{\circ}$ ) впервые обнаружено в 1931 году, но из-за большой разреженности его звезд вопрос существования данного скопления какое-то время был спорным [48, 230]. Оно занимает на небе область около 4х4 градусов (наиболее густонаселенная его часть), расположено на южном небе в районе созвездия Корма и удаленно от нас примерно на 300 пк. Совсем недавно рядом с Collonder 135 по данным Gaia

DR2 было обнаружено новое скопление – UBC7, которое имеет близкие к Collinder 135 характеристики (возраст и собственное движение) [36]. Авторы, открывшие скопление UBC7, не утверждали прямо, что это новый отдельный объект, а склонялись к тому, что эта структура могла возникнуть вследствие ошибок измерения Gaia и на самом деле является частью Cr 135.

Разные источники дают большой разброс в оценке количества звезд в скоплении Cr 135. По сведениям из [63] оно содержит 18 членов, по каталогу MWSC – 234 (с вероятностью Р>90%), а по последним данным из каталога [33] – 352, однако, часть этих звезд, на самом деле, может принадлежать соседнему скоплению UBC7. Близкое расположение друг к другу этих двух объектов и достаточно молодой возраст (примерно 50 млн. лет) дает возможность предположить, что эта пара сформировалась вместе, и пока еще не была разлучена или слита под воздействием сил Галактики.

## 2.2.1. Определение параметров

Чтобы понять природу этой пары и ее физические свойства, необходимо получить параметры скоплений и на их основе изучить уже природу этих объектов. Для этой цели был произведен отбор звезд скоплений, разделение членов между ними и определение основных характеристик на базе отнесенных к ним звезд.

Мы очертили обширную область для выбора членов обоих скоплений радиусом 6.5 градусов вокруг центра Cr 135, так как оба скопления достаточно масштабны в пространстве. Данные о параллаксах, собственных движениях и лучевых скоростях взяты из Gaia DR2. Были отобраны звезды с относительной ошибкой менее 10% параллакса И значением перенормированной (откалиброванной в зависимости от выборки данных, для которых она средневзвешенной единичной ошибки RUWE<1.4. выведена) RUWE представляет собой единый весовой коэффициент определенный согласно критериям выборки [133] и техническим примечаниям из GAIA-C3-TN-

LULL-124-01<sup>2</sup>. Он получен с использованием многих измерений с учетом их качества. В указанных источниках представлены наиболее точные критерии отбора по ошибкам в фотометрических полосах, параллаксах, периодах видимости, уровнем астрометрического шума и т.п.

Количество источников, отобранных с условием этих ограничений, составляет 411 153. Для каждого объекта была рассчитана вероятность его принадлежности к скоплению Cr 135 или UBC7, следуя принципам, описанным в [120] с подстройкой под особенности данных Gaia DR2 (иная фотометрия и лучшая точность) и адаптацией к характеристикам скоплениям.

Начальные оценки основных параметров скоплений Cr 135 и UBC7, таких, как: параллакс, собственные движения, возраст и покраснение были получены для подвыборки членов скоплений на основе визуального анализа фотометрических астрометрических И диаграмм: векторно-точечной диаграммы собственных движений, графика зависимости параллакса от звездной величины ( $\varpi$ , G) и диаграммы цвет-величина Gaia (CMD). В итоге обнаружено, что нельзя различить ни возраст двух скоплений, ни их покраснение, поэтому здесь использовано единое значение для обоих Напротив, собственные скоплений. движения И средние параллаксы выбранных групп звезд явно различаются - они четко образуют два пика плотности в данных пространствах. Расстояние между центрами скоплений составляет 25 пк, что также говорит нам о том, что это два разных скопления, хотя и расположенных достаточно близко друг от друга.

Далее более точно параметры скопления определялись следующим образом: вычислялась вероятность пространственной принадлежности звезды к скоплению, потом кинематическая и фотометрическая принадлежности по формулам в [120]. На основе наиболее вероятных членов определялись характеристики скопления (координаты и радиусы, среднее собственное движение, возраст, расстояние и покраснение). Далее по полученным

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> <u>http://www.rssd.esa.int/doc\_fetch.php?id=3757412</u>

характеристикам снова отбирались вероятные члены скопления и опять определялись параметры скопления. И если они не совпадали с параметрами предыдущей итерации и/или список элементов отличался от прошлого, то входные характристики корректировались, и итерация снова повторялась, если же изменений уже не происходило – процесс останавливался.

Таким образом, 244 звезды идентифицированы как вероятные члены Cr 135 и 184 звезды как вероятные члены UBC7, при этом 12 из них могут в равной степени принадлежать и тому, и другому скоплению. Оценка случайного попадания звезд поля в выборку, полученная на основе данных о параметрах окружающего фона, говорит о том, что от 0 до 7 звезд в этих скоплениях, хотя и имеют общие с ним свойства, могут быть содвижущимися звездами поля.

По данным о наиболее вероятных членах скопления из наших списков были вычислены различные характеристики скоплений. Координаты и параллаксы центров скоплений получены по положению максимумов распределения плотности звезд в Cr 135 и UBC7. Если координаты, как правило, имеют очень маленькую погрешность определения, и в этом исследовании не принимались в расчет, то учет ошибок параллаксов важен. Если мы берем относительную ошибку в 10% для дистанции в 300 пк, то и точность определения расстояния составит примерно 30 пк, что на порядок больше разброса положений звезд в пространстве для среднестатистического размера скопления (большинство скоплений имеют диаметр около десятка парсек, с расстоянием между звездами 0.5 – 1 пк). Поэтому, чтобы отобрать наиболее вероятные члены и избежать ошибок, допустимый диапазон величин параллаксов был взят не более 0.12 мсд от среднего, что было определено по наиболее надежным звездам скопления с учетом индивидуальных ошибок фотометрической величины G. Разница в параллаксах, как правило, в большей степени определяется точностью наблюдений, а не фактическим разбросом расстояний.

56

С собственными движениями дело обстоит несколько иначе. Для таких не сильно далеких от Солнца скоплений дисперсия этой величины обусловлена скорее фактическим разбросом скоростей членов скопления, чем ошибками собственного движения отдельных звезд (среднее значение 0.15 мсд/год, максимальное – 0.45 мсд/год для кандидатов в члены скопления).

Естественно предположить, что если скопления родились вместе, то их возраст не будет сильно отличаться. Был определен возраст скоплений методом подбора изохрон по данным фотометрии Gaia DR2 на основе вычислений Maíz-Apellániz & Weiler [142] (данные о расчете звездной эволюции – с веб-сервера Padova CMD 3.3 [162]) для Z = 0.019 [26], использовано соотношение между E (BP - RP) и A<sub>G</sub>. Применяя коэффициенты, данные в [162] для  $A_{\lambda}/A_{V}$  фотометрических полос Gaia, получено отношение  $A_{G} / E$  (BP - RP)  $\approx 2.05$ .



Рис.2.3 Изохроны для звезд скоплений Cr 135 (красные точки) и UBC7 (синие точки). Зеленая линия – главная последовательность нулевого возраста, синяя и красная – изохроны 50 млн. лет для соответствующих скоплений. Здесь используется видимая звездная величина, поэтому линии изохрон поправлены за расстояние до скопления. Величина кружка зависит от вероятности членства – чем больше, тем больше и вероятность. Бежевые точки – звезды фона.

Как видно на Рис.2.3, скопления имеют очень малое различие в характеристиках межзвездного покраснения и возраста (∆т≈0.05). Полученный возраст обоих скоплений находится в диапазоне значений от 40 до 50 млн. лет (был определен по звездам с вероятностью членства P > 0.6).

Чтобы сделать вывод о наличии гравитационной связи между скоплениями в паре, необходимо изучить их физические параметры. Радиусы центральных частей скоплений определены по радиусу их видимой полумассы Массы (см., например, [182]). членов скопления определены путем интерполяции на изохрону 50 млн. лет без учета неразрешенных двойных. Это дает нам нижнюю границу оценки массы скопления, которая составляет для Cr 135 и 87М<sub>☉</sub> для UBC7. Угловой размер радиуса видимой 126M⊙ полумассы составляет 1.20° и 1.13° (или 6.3 и 5.6 пк) для Cr 135 и UBC7 соответственно. Полученные параметры согласуются с оценками приливных радиусов по Кингу [122]. Как видно на Рис.2.4, приливные радиусы скоплений лежат очень близко друг к другу, что явно говорит об их гравитационном влиянии друг на друга, так что, возможно, перед нами физически связанная пара.



Рис.2.4. Расположение членов Cr 135 (красные точки) и UBC7 (синие точки) в галактических координатах. Красный и синий контур – приливные радиусы скоплений. Величина кружка зависит от вероятности членства – чем больше,

тем больше и вероятность. Бежевыми точками показаны звезды фона. Структурно скопления можно разделить на плотную внутреннюю часть, и внешнюю, представляющее собой общее гало с радиусом более 5 градусов.

Для более точных оценок средних основных параметров Cr 135 и UBC7 мы используем здесь только звезды, лежащие в пределах радиуса полумассы. Они содержат 91 звезду для Cr 135 и 80 звезд для UBC7. В Таблице 2.3 приведены параметры скоплений, полученные путем усреднения индивидуальных значений  $l, b, \varpi, \mu_l, \mu_b$  вероятных членов, расположенных в центральной части. Для  $\varpi$ ,  $\mu_l$ ,  $\mu_b$  точность вычисляется как комбинация ошибки среднего и оценки ожидаемой систематической ошибки.



Рис.2.5. Диаграмма векторов собственных движений для Cr 135 (красные точки) и UBC7 (синие точки). Величина кружка зависит от вероятности членства – чем больше, тем больше и вероятность. Бежевые точки – звезды фона.

Количество звезд с измерениями лучевых скоростей в центральной части скоплений оказалось невелико – только 14 объектов для Cr 135 и 5 для UBC7. Поэтому для улучшения статистики были взяты все вероятные члены скопления с измерениями лучевой скорости (30 и 24 источника, соответственно), по которым получены их средние значения.

РЗС	Число членов	Macca, ${ m M}_{\odot}$	$l^o$	b°	ϖ±σ <sub>ϖ</sub> , мсд	μ <sub>l</sub> ±σμ <sub>l</sub> , мсд/год	μ <sub>b</sub> ±σμ <sub>b</sub> , мсд/год	Vr±σ <sub>Vr</sub> , <sub>KM/c</sub>
Cr135	244	126	248.98	-11.10	3.31±0.02	-9.92±0.05	-6.47±0.06	17.4±1.3
UBC7	184	87	248.62	-13.37	3.56±0.02	-10.25±0.05	-5.98±0.05	16.7±1.5

Таблица 2.3. Параметры скоплений.

Таблица 2.3 наглядно показывает, что кинематические параметры и возрасты для двух скоплений имеют схожие значения. При такой конфигурации характеристик скоплений вероятность случайности того, что какая-то пара скоплений одновременно будет иметь пространственное расстояние менее 25 пк и разность собственных движений менее 0.7 мсд/год, очень небольшая (P = 2.4%). Поэтому маловероятно, что Cr 135 и UBC7 расположенны так близко друг к другу случайно.

## 2.2.2. Гипотезы образования

Чтобы оценить вероятность образования этих объектов в одном месте, надо «прокрутить» их движение вспять и оценить полученный результат. Моделирование обратного движения скоплений нами ограничено простейшей моделью: звездные скопления представлены гравитирующими точечными массами, вращающимися в фиксированном внешнем потенциале Млечного Пути [82]. Интегрирование выполнено назад во времени на промежутки в 40 и в 50 млн. лет с использованием кода Hermite высокого порядка ф-GRAPE [104]. В части экспериментов масса точек была взята постоянной, а в моделях варьировались значения лучевых скоростей. Также в ряде моделей изменялась масса при постоянстве остальных параметров, чтобы оценить влияние ее изменения на конечный результат, так как точную массу скоплений определить сложно. В итоге удалось получить, в том числе, близкие к наблюдаемым на данный момент параметрам пары с начальным расстоянием между скоплениями менее 15 пк. При моделировании на 40 млн. лет назад для начальных условий с расстоянием между скоплениями 15 пк и менее гравитационной связи между скоплениями при рождении не обнаружено.

Однако, в случае интеграции на 50 млн. лет уже появлялись различные комбинации условий для возможности их гравитационной связи в прошлом.

Как показали расчеты, совместное рождение из одного облака и изначальная физическая гравитационная связь данной пары достаточно реальны. Модель со рандомизированными пространственными и кинематическими характеристиками показывает вероятность только P = 2.4% для случайного совпадения скоплений с такими параметрами в пространстве. На данный момент времени скопления также могут являться физически связанными друг с другом.

#### 2.3. Список кандидатов в двойные скопления на основе данных Gaia

Мы решили составить свой каталог кандидатов в двойные звездные скопления, так как последние годы было обнаруженно много новых скоплений по высокоточным данных Gaia. Ранее эти скопления были не распознаны либо из-за слабости или большой разреженности их звезд, либо из-за недостаточной точности данных. По каталогам Gaia было найдено несколько сотен новых РЗС, многие из них обнаружились рядом с уже известными скоплениями, которые ранее считались одиночными, как, например, в случае с Collinder 135 и UBC7. Поэтому, на основе списков скоплений, открытых по Gaia, а также общирных каталогов уже известных скоплений, в этой работе был произведен отбор перспективных пар для изучения.

Для поиска двойных скоплений использовались каталоги одиночных скоплений Soubiran et al. [207] (n=1026), Castro-Girard et al. [36] (n=23), Castro-Girard et al. [37] (n=53), Cantat-Gaudin et al. [33] (n=46). Пары выбирались с условием расстояния между центрами расположенных рядом скоплений  $\delta R$  не более 30 пк и разницей пространственных скоростей δV ≤ 10 км/с, за Таким образом, найдено 10 пар, исключением двух пар. которые удовлетворяют приведенным выше критериям. Данные о выбранных объектах приведены в Таблице 2.2, которая содержит имена скоплений и величины  $\delta R$  и  $\delta V$ .

Имя скопления 1	Имя скопления 2	<i>δR</i> , пк	$\delta V$ , км/с
ASCC 19	UBC 17a	6.28	0.53
Gulliver 6	UBC 17b	5.78	0.05
Alessi 62	UBC 26	15.06	2.39
NGC 1582	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

Таблица 2.2. Двойные скопления по Gaia DR2

О близком расположении и схожести параметров скоплений Gulliver 6, ASCC 19 и UBC 17a,b ранее уже упоминалось в [170]. Есть также предположение, что на самом деле Gulliver 6 и UBC 17b являются одним скоплением. Если это не так, то ASCC 19 – UBC 17a и Gulliver 6 – UBC 17b должны быть гравитационно связанными или находиться в стадии слияния.

Другие представленные в Таблице 2.2. скопления выдвинуты как кандидаты в двойные впервые. Эти пары перспективны для дальнейшего изучения, так как по схожести их параметров, положению в пространстве и скоростях можно пока только предположить об их двойственности. Чтобы знать наверняка и проверить другие гипотезы об их природе, необходимо располагать данными об их массе, смоделировать орбиты, вращение, взаимодействие с Галактикой и т.п.

## Положение, выносимое на защиту:

 По выполненному всенебесному анализу найдено девять пар – кандидатов в гравитационно связанные двойные скопления, из них семь пар обнаружены впервые.

#### Глава 3. Скопления на ранних стадиях эволюции

## 3.1. Рассеянное звездное скопление ІС 2391 и одноименный поток

Звездное скопление IC 2391 (MWSC 1529, Cl VDBH 42, omi Vel Cluster, C 0838-528, Escorial 31) – это близкая молодая группа звезд, имеющая низкую величину покраснения, E(B-V) = 0.01 [176], что делает его благоприятным для изучения.

Гелиоцентрическое расстояние IC 2391 определялось в разных публикациях: Efremov et al. [72] вывели модуль расстояния (m – M) = 5.84, основываясь на Hipparcos [81]; Robichon et al. [179] получили расстояние 146  $^{+4.8}/_{-4.5}$  пк, опираясь на данные Hipparcos для 11 звезд; в работе Dodd [67] оценено расстояние до скопления как 147±5.5 пк.

Возраст скопления колеблется в пределах 40 млн. лет – определен в [169] по положению звезд на диаграмме Герцшпрунга-Рассела. В работе [17] приведен возраст в 50 млн. лет, полученный по оценке количества лития в атмосферах звезд.

Расположенное на относительно близком расстоянии от Солнца [121], IC 2391 скопление (MWSC 1529) рассеянное звездное удобно ДЛЯ исследования. Его видимые размеры (в полосе V) составляют 60.00' × 60.00'. Приблизительно в одном направлении со скоплением движутся звезды потока IC 2391. Эту звездную группу исследовал Eggen [74] и назвал ee сверхскоплением. Эгген включил в состав потока, как само скопление, так и несколько десятков звезд со сходными векторами пространственной скорости. Позднее, Montes et al. [156] составил свой список звезд потока. Оба списка частично пересекаются. Звезды потока занимают обширную область неба, будучи разбросаны практически по всей северной полусфере. Данные Gaia DR2 [29], обладая беспрецедентно высокой точностью, позволяют обратиться К вопросу проверки возможного совместного происхождения И пространственно-кинематической связи потока и скопления.

В данной работе мы использовали списоки звезд из [33], [92] и [156], а также сделали свою выборку, применяя необходимые критерии к выбору из [8]. Аппроксимация пространственной формы рассматриваемых группировок эллипсами позволила уточнить направление их вытянутости в диске. В рамках ряда предположений определены предполагаемые места образования потока и скопления.

## 3.1.1. Данные наблюдений

Для некоторых иллюстраций использованы данные Gaia DR1, выборка и многие оценки сделаны по Gaia DR2.

Перечень звезд скопления по наиболее современным данным (Gaia DR2) представлен в каталоге [33] и содержит 224 вероятных члена IC 2391, из которых 39 звезд имеют информацию о лучевой скорости. Этот список из 39 звезд и был использован для анализа кинематики скопления IC 2391. Параметры звезд, используемые для определения характеристик скопления, представлены в Таблице 3.1.

	1		2	1	1 1	1			
Gaia DR2	RA J2015.5, град	DEC J2015.5, град	ϖ±σ <sub>ϖ</sub> , мсд	μ <sub>α</sub> ±σ <sub>μα</sub> , мсд/год	μ <sub>δ</sub> ±σ <sub>μδ</sub> , мсд/год	Vr±σ <sub>Vr</sub> , км/с	А, град	D, град	d, пк
5317423293481147264	131.89258	-54.48348	6.55±0.02	-25.28±0.05	23.66±0.04	12.86±2.16	91.38	-1.04	151.65
5317884439832479872	130.75151	-53.90202	6.38±0.03	-23.29±0.06	22.85±0.06	16.48±4.82	94.29	-6.48	155.07
5317887321743547264	130.57572	-53.90217	6.64±0.04	-24.63±0.06	23.31±0.06	16.12±0.68	93.10	-6.34	148.84
5317906155187202176	130.34457	-53.63577	6.53±0.02	-24.91±0.04	23.20±0.05	16.51±1.32	92.58	-6.38	152.00
5318059532750974720	129.84384	-53.91815	6.48±0.05	-24.45±0.10	23.44±0.11	16.94±0.94	92.95	-6.86	151.61
5318069604459639552	129.10085	-54.01815	6.47±0.02	-23.69±0.04	23.38±0.05	14.11±2.21	91.02	-2.74	153.43
5318077507199948672	129.46469	-53.76262	6.68±0.02	-24.73±0.04	23.76±0.04	14.86±0.80	91.36	-4.04	148.63
5318093243960659456	130.20441	-53.62916	6.71±0.02	-24.04±0.04	23.80±0.04	13.55±0.61	91.99	-1.96	147.95
5318097916884923520	130.07602	-53.50790	6.60±0.02	-23.75±0.04	22.46±0.04	14.52±2.49	91.78	-4.32	150.34
5318150349846655488	128.93185	-53.35554	6.34±0.28	-24.26±0.53	23.51±0.50	17.61±7.77	92.55	-6.79	141.98
5318162238316886528	129.74460	-53.32008	6.60±0.02	-24.90±0.04	23.00±0.04	16.87±11.83	92.27	-7.11	150.20
5318170828251553792	129.31320	-53.33834	6.58±0.01	-24.02±0.03	23.07±0.03	9.66±12.47	87.13	4.84	151.29
5318176875565072768	129.22895	-53.14275	6.71±0.02	-23.96±0.05	23.78±0.04	16.20±1.52	93.07	-5.74	147.95
5318185667356683392	129.48414	-52.95143	6.66±0.03	-23.73±0.05	23.74±0.05	11.05±5.75	89.51	2.94	148.52
5318186221414047104	129.59528	-52.94657	6.66±0.02	-25.24±0.05	24.23±0.04	15.43±0.71	91.67	-3.76	148.91
5318229274167094656	131.56346	-53.75616	6.65±0.03	-24.66±0.05	22.92±0.04	16.00±0.83	93.73	-6.46	149.00
5318267653995965568	131.04233	-53.72592	6.68±0.03	-25.05±0.05	23.87±0.05	12.63±1.28	90.96	-0.33	148.43

Таблица 3.1. Данные для 39 звезд скопления IC2391. Данные взяты из [33]. Апекс звезды и расстояние получены в расчетах в данной работе.

Gaia DR2	RA J2015.5, град	DEC J2015.5, град	መ±σ <sub>መ</sub> , мсд	μ <sub>α</sub> ±σ <sub>μα</sub> , мсд/год	μ <sub>δ</sub> ±σ <sub>μδ</sub> , мсд/год	Vr±σ <sub>Vr</sub> , км/с	А, град	D, град	d, пк
5318296275658773888	131.44960	-53.43063	6.71±0.03	-26.09±0.05	23.48±0.05	15.83±8.73	92.44	-5.54	147.70
5318328676892604800	131.36203	-52.86715	6.65±0.02	-25.58±0.05	23.42±0.04	11.48±1.97	89.35	1.93	149.08
5318474941990522368	130.35768	-53.37808	6.65±0.03	-25.04±0.05	25.06±0.04	20.72±11.17	96.58	-10.53	149.08
5318504426950057728	130.49085	-52.87044	6.58±0.03	-25.73±0.05	22.70±0.05	17.12±2.11	92.07	-7.22	150.46
5318521671232021632	131.10882	-52.70888	6.58±0.03	-24.87±0.05	23.38±0.04	13.84±2.47	91.66	-1.62	150.78
5318532189619619328	130.98653	-52.68479	6.68±0.09	-22.95±0.16	22.84±0.14	14.84±3.70	94.33	-4.13	145.82
5318536999982933248	130.82442	-52.60302	6.52±0.03	-24.65±0.05	22.76±0.05	14.15±1.45	91.32	-2.43	151.65
5318541982138813824	129.99375	-53.05061	6.61±0.04	-25.30±0.07	24.69±0.07	17.24±0.83	93.48	-5.86	149.03
5318545521198976000	129.97087	-52.96569	6.56±0.02	-24.35±0.04	23.90±0.04	16.85±1.66	93.65	-5.87	151.25
5318546139674245888	129.92918	-52.96414	6.64±0.03	-25.44±0.05	22.48±0.05	16.78±2.79	91.52	-7.25	149.37
5318546822567826944	130.06753	-52.94134	6.54±0.03	-23.22±0.04	23.23±0.04	7.14±5.52	86.58	10.31	151.57
5318549678727766656	130.29139	-52.90283	6.58±0.03	-25.68±0.05	22.85±0.06	11.52±13.4	87.63	1.57	150.76
5318565656005527936	129.76157	-52.71059	6.50±0.02	-23.71±0.05	23.82±0.05	11.82±3.91	90.27	2.36	152.49
5318567958108066944	130.00665	-52.70338	6.64±0.03	-24.57±0.06	23.38±0.05	15.65±0.49	92.38	-4.63	149.21
5318647466543875584	131.91069	-52.26934	6.95±0.09	-25.41±0.16	24.42±0.18	16.68±2.97	95.37	-5.90	139.45
5321176205843037440	128.55421	-52.97214	6.70±0.02	-24.41±0.04	24.29±0.04	15.12±1.26	91.44	-3.43	148.14
5321188953307253760	129.35248	-52.90294	6.54±0.02	-23.94±0.05	22.51±0.05	15.50±4.71	91.55	-5.11	151.52
5321275295028390912	128.57546	-52.26594	6.44±0.02	-23.47±0.04	23.07±0.04	14.90±0.59	91.11	-2.80	153.80
5321280728169745536	128.75480	-52.23363	6.83±0.02	-24.52±0.04	24.36±0.04	17.26±2.55	93.34	-6.39	145.36
5321517672922567040	127.18998	-52.09067	6.42±0.02	-23.03±0.04	23.05±0.04	12.65±1.79	88.45	1.00	154.60
5321600445535344000	129.65022	-52.11067	6.63±0.03	-24.97±0.05	23.59±0.04	11.74±6.47	88.62	2.30	149.66
5321723109802924416	130.91001	-51.50794	6.54±0.05	-25.61±0.06	23.41±0.06	16.05±1.57	92.33	-3.85	150.41
5321723109802924416	130.91001	-51.50794	6.54±0.05	-25.61±0.06	23.41±0.06	16.05±1.57	92.33	-3.85	150.41

Расстояния звезд скопления вычислялись ЛО по параллаксам, измеренным в Gaia DR2 следующим образом: для каждого значения т с ошибкой  $\sigma_{\varpi}$  построено нормальное распределение  $N(\varpi,\,{\sigma_{\varpi}}^2),$  в рамках которого Ν случайных значений Эти искусственно генерировалось  $\overline{\mathbf{U}}_i$ . смоделированные значения параллакса переведены в расстояние по формуле  $1/\overline{\omega}_i$ , где  $\overline{\omega}_i$  задается в секундах дуги. Распределение полученных расстояний уже не является гауссовым, а имеет несимметричный вид, где максимум сторону больших расстояний. Полученное распределение смещен В аппроксимируется кривой методом наименьших квадратов. Значение аргумента, дающее максимум этой кривой (максимальная плотность вероятности), принимается как наиболее вероятное значение расстояния.



Рис.3.1. Левая панель: черной линией показан максимум значения параллакса при гауссовом распределении выборки. Правая панель: максимум значения расстояния отмечен черной линией, красной линией отмечено значение 1/ $\varpi$ , которое являлось максимальным на левой панели.

Список звезд потока был взят из Montes et al. [156] и дан в Таблице 3.2 с добавлением астрометрических данных (параллаксы и собственных движения) из Gaia DR2, которые определены для большинства звезд. Для двух звезд (HIP 11072 и HIP 62686) астрометрические данные были взяты из публикации van Leeuwen [219], так как не были найдены в Gaia DR2. Таблица 3.1 и Таблица 3.2 составлены в несколько разном формате: в Таблице 3.1 первый столбец содержит номер Gaia DR2, а первые два столбца в Таблице 3.2 номера Hipparcos (HIP) и Gaia DR2. В Таблице 3.2 содержатся параллаксы (т), компоненты собственного движения ( $\mu_{\alpha}$ ,  $\mu_{\delta}$ ) с их ошибками, взятые из Gaia DR2. Для звезд, которые отсутствуют в Gaia DR2 (HIP 11072 и HIP 62686), значения и ошибки т и собственных движений добавлены из [92]. Звезды, отмеченные звездочкой (\*) рядом с номером HIP, считаются возможными Лучевые скорости в Таблице 3.2 выбраны из различных двойными. источников, которые указаны в столбце «Ref» (a – [29], b – [98], c – [232], d – [213], e – [84] и f – [228]).

Для Таблицы 3.1 все значения лучевой скорости взяты из [33].

Таблица 3.2. Звезды потока из [156] с добавлением астрометрических данных по Gaia DR2 и van Leeuwen [219], и лучевых скоростей из указанных источников для получения наиболее релевантных астрометрических параметров. Значения апекса определены в данной работе.

				<b>1</b>					
HIP	Gaia DR2	ϖ±σ <sub>ϖ</sub> , мсд	μ <sub>α</sub> ±σ <sub>μα</sub> , мсд/год	μ <sub>δ</sub> ±σ <sub>μδ</sub> , мсд/год	Vr±σ <sub>Vr</sub> , км/с	Ref	А, град	D, град	d,пк
4979	2538159890494125184	16.95±0.07	122.91±0.15	-40.36±0.07	5.60±2.90	b	96.27	-17.73	58.44
6869	2593154747696080640	19.39±0.06	112.68±0.11	-33.45±0.12	8.61±0.16	a	91.00	-10.16	51.19
10175*	77161217776670208	23.32±0.06	113.92±0.11	-72.09±0.10	25.09±0.21	a	72.47	-12.91	42.64
10175*	77161222072044288	23.26±0.05	111.01±0.09	-73.34±0.09	22.60±0.20	с	74.31	-15.07	42.78
11072	_	45.53±0.82	196.61±0.81	-4.98±0.58	16.70±0.10	d	89.28	-15.85	21.07
12326*	4741722617241539456	17.04±0.16	64.82±0.29	54.02±0.28	13.63±1.20	a	81.44	-3.85	57.43
12326*	4741722823399969536	17.28±0.03	74.68±0.05	48.74±0.05	16.45±0.24	a	84.56	-9.90	57.66
12926	114575472461716864	39.60±0.06	237.61±0.09	-149.01±0.09	14.01±0.15	а	95.98	-15.98	25.17
13081	114832620743735808	43.41±0.04	279.96±0.08	-119.15±0.06	10.21±0.21	а	105.89	-11.52	22.99
14150	115311458058061440	47.16±0.06	233.12±0.12	-168.44±0.12	10.09±0.13	a	100.29	-20.30	21.15
14954	3265335443260522112	44.37±0.20	193.25±0.32	-69.29±0.31	19.62±0.15	a	94.88	-15.39	22.31
15058*	3266941481859767680	13.79±0.13	80.89±0.18	-9.32±0.22	_	a	-	-	71.00
15058*	3266941486151475456	14.98±0.23	72.09±0.3	-15.07±0.39	28.30±0.20	b	87.33	-6.90	64.42
22449	3288921720024442496	124.35±0.39	462.1±0.75	12.13±0.57	22.54±3.76	a	110.75	6.40	7.98
23200	3231945508509506176	40.98±0.03	39.23±0.06	-95.05±0.04	$18.08 \pm 0.63$	a	88.74	-28.80	24.36
25119	3234412606443085824	50.39±0.11	64.45±0.32	-180.09±0.24	36.3±0.24	a	89.96	-22.15	19.74
29241	2912022740481002752	17.68±0.03	-28.65±0.04	45.06±0.05	26.98±0.19	a	77.91	-1.46	56.31
33690	5479222240596469632	54.47±0.02	-162.07±0.05	264.64±0.04	22.04±0.19	а	80.38	-13.75	18.34
40774	3089675232224086784	44.66±0.04	-164.23±0.07	-53.49±0.05	27.35±0.17	a	92.44	-8.80	22.34
42253*	666296182348971776	25.45±0.04	-110.14±0.07	-102.81±0.04	23.13±0.56	a	93.78	-13.46	39.15
42253*	666296212412465024	25.54±0.04	$-108.78 \pm 0.07$	-102.91±0.05	19.3±0.29	a	90.61	-17.07	39.00
47193	1144716265940854016	3.72±0.29	-16.79±0.61	-17.61±0.5	-6.98±0.10	e	98.90	-18.87	265.11
50371	5253347574048995584	4.34±0.39	-23.92±0.63	6.73±0.63	8.06±1.15	a	85.82	-7.18	225.37
50660	749024502373761664	20.64±0.08	-152.52±0.09	-58.66±0.08	2.88±0.40	a	80.59	-15.14	48.04
51931	3750851328223270400	31.36±0.07	-163.87±0.09	22.62±0.09	18.79±0.18	a	106.70	-2.15	31.74
52468	5254185333222868352	3.40±0.25	$-14.7 \pm 0.43$	2.28±0.41	9.10±0.30	b	90.33	-16.32	292.08
57198	4004885655800704896	3.94±0.07	-22.86±0.09	-7.49±0.08	5.14±0.28	a	102.86	-12.05	253.84
59280	1536064958579187840	39.82±0.06	-314.2±0.05	$-51.00\pm0.07$	-2.61±0.12	a	95.36	-9.57	25.03
60831	1541667932396172800	21.95±0.04	-182.13±0.04	-4.69±0.05	-2.21±0.18	a	95.77	-3.31	45.37
60832	1541667932396172416	21.94±0.04	-180.39±0.05	$0.44{\pm}0.06$	-1.91±0.19	a	94.92	-1.88	45.38
62686	—	26.13±3.38	-135.82±3.6	-27.22±5.02	$-2.90\pm0.40$	b	100.39	-12.89	27.23
62758	3958028490314315008	25.81±0.04	-141.07±0.06	-37.86±0.04	-4.24±0.23	а	101.08	-17.35	38.59
66252	3630092241022731136	48.73±0.06	-286.58±0.11	-91.87±0.08	-23.16±0.16	a	72.71	-8.44	20.46
67412	3658911226765436032	22.94±0.06	-136.86±0.09	$-44.06 \pm 0.07$	-13.44±0.25	a	91.41	-15.52	43.33
68076	1671816367861537408	21.75±0.03	-138.54±0.06	54.51±0.05	-15.12±0.14	а	89.90	-15.00	45.84
69713	1511727333122255744	34.30±0.18	-149.63±0.27	88.89±0.30	-18.4±2.70	b	78.48	-12.79	28.80
74045	1701849283160198400	33.76±0.15	-127.83±0.31	165.69±0.30	-8.72±0.77	f	83.02	-5.46	29.33
77152	1224551770875466496	20.67±0.05	-88.05±0.06	37.70±0.07	-20.50±0.35	a	98.64	-4.14	48.14
77749	4403292246725472384	24.59±0.04	-115.09±0.07	10.81±0.07	-24.90±0.14	a	99.94	5.00	40.52
84827	5811053234948685312	25.43±0.09	-47.08±0.13	-199.34±0.18	-3.30±0.20	a	93.73	-14.47	39.00
85360	5976271757721062528	21.94±0.07	-26.13±0.12	-109.38±0.09	-16.03±0.27	a	93.76	-22.43	45.28

HIP	Gaia DR2	ϖ±σ <sub>ϖ</sub> , MCЛ	μ <sub>α</sub> ±σ <sub>μα</sub> , Μςπ/Γοπ	μ <sub>δ</sub> ±σ <sub>μδ</sub> , Μοπ/γοπ	Vr±σ <sub>Vr</sub> , κм/c	Ref	А, град	D, град	d,пк
89005	2260109892505203328	31.78±0.03	-26.17±0.06	194.87±0.06	-13.88±0.36	a	99.42	-5.16	31.40
90004	4153637759337630720	24.03±0.06	-23.1±0.09	-68.3±0.09	-25.52±0.14	a	104.78	-15.71	41.39
93096	6711686642605457408	13.53±0.04	24.3±0.06	-72.81±0.06	-12.82±0.40	a	87.04	-17.56	73.41
99803*	6468703708258513024	15.51±0.06	35.37±0.08	-98.19±0.07	-17.19±0.40	a	106.35	-3.07	63.93
99803*	6468703712555652096	15.45±0.05	$37.07 \pm 0.08$	-93.29±0.06	-19.67±0.44	a	105.59	1.39	64.26
101262	1863898674120773760	37.13±0.03	141.86±0.05	16.81±0.06	-26.72±0.17	а	90.15	-23.83	26.88
104225	2270771375724754816	31.00±0.03	108.41±0.05	66.26±0.05	-12.72±0.17	a	86.75	-21.23	32.20
105232	1846882224145757056	25.45±0.06	133.59±0.11	9.56±0.11	-16.92±0.26	а	82.42	-11.25	39.08
109110	2621051110038749440	27.45±0.05	176.76±0.09	-43.74±0.09	-11.31±0.63	a	82.93	-11.15	36.27
109612	6508969718149502976	20.45±0.03	114.74±0.06	-65.22±0.06	-9.78±0.35	а	97.15	-1.19	48.72
112909	1889703525209960960	66.42±0.07	523.78±0.10	-48.49±0.12	-2.78±0.55	а	73.81	-6.72	15.02
113556	2663025241307454848	4.53±0.06	39.39±0.08	-6.67±0.08	-16.28±0.78	а	95.69	-10.81	220.90
114236	6393744472971218048	17.80±0.04	103.61±0.05	-63.04±0.05	3.56±0.18	a	103.06	-19.12	55.92
115288	2818000408811106688	15.61±0.18	73.65±0.37	20.25±0.22	-19.00±4.40	b	121.99	0.46	62.40
116384	2646280705713202816	48.03±0.08	339.80±0.09	28.52±0.07	-10.44±0.52	a	101.16	4.10	20.74
117410	2420563960807395072	35.47±0.90	234.22±1.45	23.16±1.30	-9.88±0.95	a	103.04	9.14	26.58

В Таблицах 3.1 и 3.2 также представлены индивидуальные апексы звезд (A, D) и гелиоцентрические расстояния (d).

Список 53 звезд потока, кинематически связанного с IC 2391, приведен Montes et al. [156]. Но для некоторых звезд из этого списка с одинаковыми номерами HIP имеется по 2 записи в каталоге Gaia DR2, что, вероятно, указывает на их возможную двойственность (звезды имеют примерно одинаковые астрометрические параметры). В итоге вместо 53 звезд в Таблице 3.2 содержится 58 звезд. О том, что звезда HIP 99803 двойная, было известно ранее, в то время как предположение о двойственности звезд HIP 10175, HIP 12326, HIP 15058, HIP 42253 ранее не высказывалось, однако на момент написания данной диссертации в SIMBAD и каталоге Washington Double Star (WDS) [233] эти звезды уже значатся как двойные. Благодаря лучшей чувствительности и угловому разрешению данные Gaia точнее данных Hipparcos и более многочисленны. Это означает, что в областях, где HIP обнаружил одну звезду, Gaia может обнаружить несколько звезд. Несмотря на предположение о двойственности этих звезд, мы не стали исключать их из нашего списка, хотя их параметры скоростей могут быть не столь хорошо измерены как у одиночных.

Для звезды HIP 15058 нет данных о лучевых скоростях, поэтому она была исключена из списка, в результате чего для определения апекса потока использовалось 56 звезд.

## 3.1.2. Отбор звезд из Gaia DR2

Применяя критерии, описанные ниже, мы создали собственную выборку звезд скопления. Одна из целей – это включить туда также и относительно слабые звезды. Наш перечень звезд может несколько отличаться от каталога [33] вследствие применения разных методов. Мы сравниваем полученные результаты со списками звезд скопления из [33] и [92]. Выборка производилась из каталога Gaia DR2 [29]. Результаты представлены в Приложении 1.

Критерий 1: выбор звезд в области скопления. Использовались координаты центра:  $\alpha = 130.065^{\circ}$ ,  $\delta = -53.028^{\circ}$  из [121]. Разницей эпох по сравнению с Gaia DR2 мы пренебрегли ввиду ее незначительности (несколько угловых секунд). Радиус выборки (5°) взят исходя из пространственных размеров скопления (приблизительно 10 пк). Дополнительно для уменьшения загрязнения полученных данных введено ограничение 3 – 8 мсд по параллаксу. Выбрано 11954 звезды.



Рис. 3.2. Левая панель: диаграмма собственных движений. Черные точки (n = 404) – потенциальные члены скопления, серые точки — звезды фона. Сгущение в правом нижнем углу – возможно, часть Местного потока. Правая панель: диаграмма «параллакс – звездная величина G». Черные точки – потенциальные члены скопления, серые – звезды поля.

Критерий 2: отбор по диаграмме собственных движений (Рис. 3.2, левая панель). На Рис. 3.2 определен геометрический центр сгущения  $\mu_{\alpha} = 24.3$ ,  $\mu_{\delta} = -22.4$  мсд/год. Граница сгущения имеет форму эллипса. Она проведена путем выравнивания звездной плотности с фоновой плотностью. Выбор эллиптической формы сделан исходя из формы распределения на Рис. 3.2. Размеры осей эллипса составляют 2.3 по  $\mu_{\alpha}$  и 2.4 по  $\mu_{\delta}$ . Это ограничивает дисперсию пекулярных скоростей до 1.8 км/с, что близко к оценке дисперсии скоростей звезд в скоплении в 1-3 км/с [187]. На данном этапе в выборке осталось 404 звезды.

Критерий 3: отбор по диаграмме «параллакс – звездная величина G». Отобранные по собственным движениям звезды на Рис. 3.2 (правая панель) представлены на плоскости «параллакс – звездная величина G». Звезды скопления выделяются, образуя вытянутую структуру на этом графике, потому что они находятся примерно на одном расстоянии от Солнца, но имеют разную яркость. Мы взяли границы по параллаксу от 4.50 мсд до 5.94 мсд, которые четко выделяются для звезд скопления на рисунке, что соответствует расстоянию от 220 до 167 пк (с учетом ошибок параллакса <10%). В нашем распоряжении осталось 258 звезд.

Критерий 4: подбор изохроны нужного возраста по распределению звезд на диаграмме «цвет – звездная величина». Члены скопления, выбранные на предыдущем шаге, нанесены на диаграмму «цвет (BP–RP) – абсолютная звездная величина (M<sub>G</sub>)» и совмещены с изохроной равной возрасту скопления на Рис. 3.3. Звезда считается принадлежащей скоплению, если она в пределах радиуса своих фотометрических ошибок ложится на линию изохроны. Погрешности фотометрии в Gaia DR2 крайне малы и для отобранных звезд составляют не более  $0.0035^{m}$  для полосы G,  $0.077^{m}$  для BP,  $0.012^{m}$  для RP. По Рис. 3.3 выбрано 148 звезд. Таким образом, возраст можно принять равным lg t =  $7.75 \pm 0.25$ .



Рис. 3.3. Диаграмма «цвет – абсолютная звездная величина» для звезд, удовлетворяющих четырем критериям отбора (n = 148). Показаны точки нашего списка и изохрона из [162] для lg t = 7.75.

В Приложении 1 приведен полученный каталог. В колонках его таблицы содержатся: номер по Gaia DR2, экваториальные координаты (J2015.5), параллакс, расстояние от Солнца, пространственные прямоугольные координаты, компоненты собственных движений, лучевая скорость, звездная величина G, показатель цвета BP–RP, абсолютная звездная величина, координаты индивидуальных апексов звезд, компоненты пространственных скоростей, флажки присутствия (+) звезды в каталогах [33] и [92]. Расстояния для звезд получены нами способом, который описан в 3.1.1.

## 3.1.3. Распределение звезд в пространстве, аппроксимация формы

Кривые на Рисунке 3.4 показывают контуры с одинаковой звездной плотностью. Оценка плотности была сделана применением гауссовых ядер [191] с использованием пакета scipy python [110] для построения графика изоплотности.



Рис.3.4. Распределение звезд скопления (черные крестики) и потока (серые крестики) в ХҮ-плоскости Галактики. Левая панель — распределение плотности для потока (Табл. 3.2), середина — для звезд скопления (Табл. 3.1), правая панель — для звезд скопления нашей выборки.

На периферии, как потока, так и скопления, звезд настолько мало, что плотность звезд можно считать практически фоновой. Как видно на Рисунке 3.4 (левая панель), звезды потока занимают область, растянутую примерно вдоль оси ОҮ и повернутую на небольшой угол относительно нее, не превышающий 40 градусов. Здесь и далее направления осей таково: Х – в направлении галактической долготы 1 = 0°, Y – в направлении 1 = 90° (по вращению Галактики) и Z – в направлении Северного полюса Галактики. Причиной такой ориентации большой полуоси является процесс, приводящий к распаду скоплений (и ассоциаций, содержащих несколько скоплений) с их растяжением (из-за влияния галактического потенциала) вдоль вращения диска Галактики. Это приводит к постепенному превращению скоплений в звездные потоки, и далее к преобразованию в упорядоченные кольцевые структуры, растянутые вокруг центра Галактики [167], [226]. Интересно, что подобное распределение звездных потоков наблюдается и в других галактиках [168]. Тот факт, что звезды потока разбросаны по обширной области неба, создает значительную сложность при их отборе, так как звезд потока гораздо шире рассредоточены, чем звезды скопления (см. Рис. 3.4). На Рис. 3.5 показано распределение плотности звезд потока и скопления IC 2391 и их
сравнительные размеры в проекции на плоскость Галактики. Контурами показаны области равной плотности (использована та же функция, что и на Рис.3.4, но с большим разбиением на количество уровней изоплотности для более тонкой детализации и наглядного выделения деталей потока). Можно заметить, что внутренняя часть потока имеет концентрацию к центру и относительно однородная, а сам он вытянут и повернут приблизительно на 40 градусов относительно направления на ЦГ. Скопление выглядит компактно, его структура на таком масштабе не просматривается в подробностях.



Рис. 3.5. Распределение звездной плотности потока и скопления IC 2391 в проекции на плоскость Галактики. Кривые показывают контуры с одинаковой звездной плотностью. Черные точки – звезды потока, красные – скопления.

Скопление IC 2391 и его пространственные контуры, представленное группой звезд (из Таблицы 3.1) на Рис. 3.4 (средняя панель) также демонстрирует картину вытянутости вдоль оси ОҮ. Наша выборка (правая панель), хоть и имеет большее количество звезд, но сохраняет общее направление растяжения со списком звезд скопления из [33].

Поскольку количество звезд используемой здесь выборки невелико, структура скопления не определяется в мелких деталях. Если скопление (по данным [33]) выглядит более кучно (см. Рис. 3.5), а также имеет более узкий диапазон скоростей, то поток – гораздо более рыхлое образование, занимающее и больший объем пространства (Рис.3.5), и имеющее значительную дисперсию скоростей.

На Рис. 3.6, где показана трехмерная структура скопления (по данным [33]) и потока. Видно, что эти объекты не являются сферически симметричными структурами. В целом, их вид согласуется с теоретическими представлениями о приливных силах Галактики, влияние которых на форму скопления описано в п.1.1.2.



Рис.3.6. Положение в пространстве потока и скопления IC 2391 (по данным [33]). Черными точками обозначены звезды скопления, серыми – потока.

### 3.1.4. Положение в пространстве скоростей

Чтобы вычислить компоненты пространственной скорости U, V и W, мы использовали преобразование, описанное в [134], где было дано положение галактической плоскости по данным 2MASS [201] и определена оптимальная галактическая система координат, где в качестве центра Галактики приняты

ICRS координаты компактного радиоисточника Стрельца А\* [134]. Таким образом, их значения вычисляются как:

$$U = -0.0518807421Vx - 0.8722226427Vy - 0.4863497200Vz,$$
  

$$V = +0.4846922369Vx - 0.4477920852Vy + 0.7513692061Vz,$$
 (3.1)  

$$W = -0.8731447899Vx - 0.1967483417Vy + 0.4459913295Vz$$

где Vx, Vy, Vz – компоненты пространственной скорости в прямоугольной гелиоцентрической системе координат:

$$Vx = -4.74r \mu_{\alpha} \cos\delta \sin\alpha - 4.74r_{i} \mu_{\delta} \sin\delta \cos\alpha + Vr \cos\delta \cos\alpha,$$
  

$$Vy = +4.74r \mu_{\alpha} \cos\delta \cos\alpha - 4.74r_{i} \mu_{\delta} \sin\delta \sin\alpha + Vr \cos\delta \sin\alpha,$$
 (3.2)  

$$Vz = +4.74r \mu_{\delta} \cos\delta + Vr \sin\delta$$

На Рисунке 3.7 показаны компоненты (U, V, W) пространственных скоростей звезд скопления и звезд потока, для рассчета которых данные были взяты из Таблиц 3.1 и 3.2. Как видно на Рис. 3.7, они не очень сильно отличаются друг от друга. Таким образом, можно сделать вывод, что и скопление, и поток имеют схожую кинематику.



Рис 3.7. Сравнение пространственных скоростей звезд скопления и потока. Звезды скопления представлены черными крестиками, звезды потока – серыми.

В пространстве скоростей скопление и поток лежат очень близко, в трехмерном же пространстве картина несколько иная. Звезды самого потока

достаточно обширно распределены по небу, и можно сказать, что скопление попадает в область, очерчиваемую членами потока (Рис.3.6), хотя центры концентрации звезд и потока лежат на расстоянии сотни парсек друг от друга.

### 3.1.5. Оценка положений мест образования

Где в Галактике образовались поток и скопление? С помощью интегрирования орбит было рассчитано положение звезд этих объектов приблизительно в момент их формирования, определенное путем расчета движения назад во времени вплоть до 70 миллионов лет (с учетом неопределенности оценок данного параметра).

Возраст потока может составлять до 250 млн. лет (по оценкам Eggen [74]), что уже должно привести к определенным изменениям в его структуре. Однако о времени рождения потока есть несколько предположений. Эгген писал, что поток содержит звезды двух возрастов – 80 и 250 млн. лет [74], а по более новым данным Montes et al. [156] поток и скопление ровесники, и им всего 35 млн. лет.

Для вычисления орбит использован программный пакет python galpy [22]. Аналогичные расчеты, выполненные с использованием другого метода, описаны в [42], [119]. Гравитационные взаимодействия среди звезд не учитывались. Объекты рассматривались как пробные точки в потенциале Галактики. Не было учтено влияние иррегулярных сил, так как диапазон пекулярных скоростей звезд, пренебрежимо мал ПО сравнению С пространственной скоростью. Кроме того, в расчетах не бралось во внимание влияние спиральных рукавов. По Рис. 3.8, можно заключить, что места рождения звезд скопления и потока находятся в одной и той же области диска, с учетом погрешностей измерения скоростей звезд, а также увеличивающейся со временем дисперсии среди членов потока и скопления. Тот объем, который занимали эти объекты относительно друг друга 70 млн.лет назад не превышает объем пространства, характерный для размещения в нем одной звездной ассоциации. Это примерно 1 куб. кпк, и если звездные группы находятся

ближе, то они могли родиться в едином комплексе. Возможно, что скопление и поток образовались в один этап звездоформирования, которым было охвачено их родительское облако.



Рис 3.8. Области формирования звезд скопления (черные крестики, данные из Табл. 3.1) и потока (серые крестики, данные из Табл. 3.2).

# 3.1.6. Определение апекса

Апекс – это условная точка в пространстве, в направлении которой движется объект. Так как данные группы звезд имеют общую кинематику, то их движение будет направлено к единому апексу, или точке схождения. Были определены апексы скопления и потока IC 2391 с помощью методов точки схождения (СР) и AD-диаграмм (успешно использовался для M 67, NGC 188 и Pleiades (см. [223], [79], [80])). Результаты сведены в Таблицу 3.3.

последовании в сравнении с данными, полу тенными другими авторами.									
Параметр	Результат	Данные							
Число звезд скопления	39	Табл.3.1							
Число звезд потока	56	Табл.3.2							
$(A, D)_{CP}$	$6^{h}17\pm0^{h}004$ , -6.88°±0.381°	Табл.3.1							
	$6^{h} 07 \pm 0^{h} 007, -5.00^{o} \pm 0.447^{o}$	Табл.3.2							
$(A_0, D_0)$	$6^{h}12\pm0^{h}004$ , -3.4° $\pm0.3^{o}$	Табл.3.1							
	$6^{h}21\pm0^{h}007$ , -11.895° $\pm0.290^{o}$	Табл.3.2							
	5 <sup>h</sup> 83, -12.44 <sup>o</sup>	Montes et al. [156]							
	5 <sup>h</sup> 82, -12.44°	Eggen [74]							
U, V , W, км/с	-23.63, -14.45, -5.53	Табл.3.1							

Таблица 3.3. Параметры скопления и потока IC 2391, определенные в данном исследовании в сравнении с данными, полученными другими авторами.

Параметр	Результат	Данные
	-21.11, -7.21, -6.65	Табл.3.2
	-20.6, -15.7, -9.1	Montes et al. [156]
Координаты центра	-57.84, 68.78, -119.66	Табл.3.1
(х <sub>с</sub> , у <sub>с</sub> , z <sub>с</sub> ), пк	4.471, -0.552, 9.287	Табл.3.2
Пространственная	$28.25 \pm 0.19$	Табл.3.1
скорость, км/с	$23.28 \pm 0.21$	Табл.3.2
$(U^2 + V^2 + W^2)^{1/2}$	27.45±5.24	Montes et al. [156]
	30.00	Eggen [74]



Рис. 3.9. AD-диаграмма скопления и потока IC 2391. Черные крестики – звезды скопления, серые крестики – звезды потока. Данные о скоплении взяты из Табл. 3.1, данные о потоке – из Табл. 3.2.

Метод сходящейся точки – классический метод, основанный на использовании векторов собственных движений, описанный Смартом [202]. С помощью него можно оценить компоненты скорости (Vx, Vy, Vz), направленной вдоль осей x, y и z в галактической гелиоцентрической системе координат.

Формулы для построения AD-диаграммы можно увидеть в работах [45], [46]. Значение координат апекса, вычисленное этим методом для скопления IC 2391 по данным из Таблицы 3.1, составляет (A<sub>0</sub>, D<sub>0</sub>) = (6<sup>h</sup>12±0<sup>h</sup>004, -  $3.4^{\circ}\pm0.3^{\circ}$ ). Апекс скопления, полученный по собственной выборке звезд (A<sub>0</sub>, D<sub>0</sub>) = (92.13° ± 0.7°, 4.7°±1.5°). Для звездного потока использовались данные из Таблицы 3.2, и получено положение апекса (A<sub>0</sub>, D<sub>0</sub>) = (6<sup>h</sup>21±0<sup>h</sup>007, -11.96°±0.29°). На AD-диаграмме Рис. 3.9 для скопления и потока заметно, что их направления движения в пространстве практически совпадают. Также видно, что результаты, полученные двумя методами – сходящейся точки и AD-диаграмм, достаточно схожи.

#### 3.1.7. Ассоциация – скопление – поток

В заключение мы приводим результаты рассмотрения комплекса ассоциация – скопление – поток. Он включает следующие объекты: собственно скопление IC 2391 и одноименный поток (список звезд из Montes et al. [156]) и ассоциацию Argus (данные из [60]). На Рис.3.10 показано распределение звезд комплекса в плоскости XY галактического диска с векторами пространственных скоростей для потоков Argus и IC 2391.



Рис.3.10. Ассоциация и поток IC2391 (по данным Gaia DR2). Для Argus: U, V, W = (-19.55, -6.16, 0.01) км/с. Для IC 2391: U, V, W = (-21.11, -7.21, -6.65) км/с. Учитывая движение Солнца (относительно всех звезд, см. Allen [2]): V=+15.1 – в направлении к галактическому центру, U=+10.2

На плоскости XY распределения звезд ассоциации Argus (черные точки) и IC2391 (красные точки). Векторы – пространственные скорости звезд с учетом движения Солнца относительно всех близких звезд. Возможно, что поток и скопление IC 2391, а также Argus тоже могли родиться вместе.

#### 3.2. Рассеянное звездное скопление Плеяды

#### 3.2.1. Обзор данных

Рассеянное звездное скопление Плеяды (M45, Melotte 22 или NGC 1432) известно еще с древних времен. Эта звездная группа расположена в созвездии Тельца и содержит, по современным данным, около двух тысяч звезд [21]. Плеяды – одно из самых изученных рассеянных скоплений, но, тем не менее, оно остается перспективным для новых исследований.

На сегодня существует несколько оценок расстояния Плеяд от Солнца, полученных разными методами. Согласно данным Hipparcos, оно составляет 118 пк, в то время как большинство других авторов дают значение в диапазоне от 130 до 140 пк (например, [92]).

Еще до эпохи космических астрометрических спутников дистанция до Плеяд оценивалась в 130 пк (например, [160], [97]). Однако после запуска КА Hipparcos на базе первичной обработки данных, расстояние до Плеяд составило 118 пк [152], что явно отличалось от принятого ранее. Немного позже van Leeuwen [220], основываясь на перекалиброванных параллаксах 53 звезд из Hipparcos [81], вывел значение 120.2±1.9 пк, что все равно вызывало ряд вопросов. Такая ошибка в определении расстояний, полученная с использованием данных Hipparcos, возможно, была связана и со случайными ошибками измерений и применяемыми методами усреднения параллаксов, или иными причинами, возникшими, вероятно, при математической обработке результатов данных о скоплении [86].

Более поздние оценки расстояния, рассчитанные различными методами, подтвердили полученные ранее представления о реальной удаленности

скопления. Так, например, метод орбитального моделирования двойных звезд привел к величине расстояния до скопления 138.0±1.5 пк [100]. Melis et al. [149] определили его в 136.2±1.2 пк на основе интерференции с длинной базой (VLBI). Используя метод движущегося скопления, Galli et al. [94] дали значение 134.4<sup>+2.9</sup>/-.2.8 пк. По данным Gaia DR1 Brown et al. [29] получили среднее значение параллакса 7.45±0.3 мсд, что соответствует его удаленности на 134±6 пк. Также Mädler et al. [141] методом двойных звезд определили расстояние в 134.8±1.7 пк. Как можно заметить, большинство оценок дают схожие результаты, близкие к ~135 пк.

# 3.2.2. Выборка звезд

Для определения параметров Плеяд использован актуальный на момент проведения исследования каталог TGAS [29]. На первом шаге взят список звезд Плеяд из [219], к данным которого мы присоединили лучевые скорости из RAVE DR5 [128]. Чтобы сравнить результаты мы провели расчеты с данными, как из каталога Hipparcos [81], так и из переобработанной версии Hipparcos-2 2007 года (далее – HIP New) [219]. Поскольку нашей целью является получение наиболее точных параметров скопления на основе астрометрии, то во всех случаях мы использовали данные для одиночных звезд, исключив двойные и кратные системы, параметры которых могут быть искажены орбитальными движениями. Это также относится и к лучевым скоростям. В случае обеих версий каталога Hipparcos мы взяли лучевые скорости из базы данных SIMBAD [200].

Список van Leeuwen [220] включает 57 звезд, из которых он отбросил 4 звезды, являющихся двойными системами с высокой скоростью орбитального движения. Мы использовали этот список в качестве основы для поиска и расчета параметров скопления. У 53 указанных выше звезд лучевые скорости (взятые из SIMBAD) найдены лишь для 48 звезд. Как уже было замечено, для данных HIP и HIP New существует свой набор параллаксов и собственных движений, для каждого каталога отдельный, включающий их ошибки. Лучевые скорости в обоих случаях одинаковы, так как взяты из SIMBAD.

В Таблице 3.4 перечислены 48 звезд с астрометрическими параметрами, определенными для них в упомянутых каталогах, и известными лучевыми скоростями и ее ошибками из SIMBAD. Флаги d1 и d2, обозначенные знаком «+», представляют флаги двойственности звезды. Флаг d1 указывает на то, что звезда включена в каталог ССDM [68], а флаг d2 – в WDS [233]. Данные HIP используются для иллюстрации ошибок на AD-диаграмме, так как в нем указаны коэффициенты корреляции, необходимые для построения эллипсов ошибок.

		HIP		HIP New			Re			Dof
нр	$\varpi \pm \sigma_{\varpi},$	$\mu_{\alpha}\pm\sigma_{\mu\alpha},$	$\mu_{\delta} \pm \sigma_{\mu\delta},$	$\varpi \pm \sigma_{\varpi},$	$\mu_{\alpha}\pm\sigma_{\mu\alpha},$	$\mu_{\delta} \pm \sigma_{\mu\delta},$	Vr $\pm \sigma_{Vr}$ , км/с	d1	d2	Vr
1111	мсд	мсд/год	мсд/год	мсд	мсд/год	мсд/год				V1
15341	8.50±1.33	22.79±1.43	$-43.58 \pm 1.30$	9.21±0.86	$21.06 \pm 0.97$	$-43.68 \pm 0.70$	$-1.00\pm3.60$			[98]
16407	7.62±1.15	22.07±1.30	$-46.56 \pm 1.03$	6.75±0.85	$23.22 \pm 1.06$	$-46.91 \pm 0.82$	-2.35±4.02	+	+	[128]
16423	8.44±1.45	24.13±1.80	$-49.19 \pm 1.50$	8.20±1.32	$24.58 \pm 1.56$	$-47.50 \pm 1.44$	2.15±2.46	+	+	[128]
16635*	9.62±2.18	$23.02 \pm 2.81$	$-43.05 \pm 2.19$	7.95±2.15	$20.65 \pm 2.84$	$-49.58 \pm 2.45$	3.80±0.40			[98]
16639*	8.11±1.47	19.64±1.80	-43.71±1.31	6.58±1.38	$20.58 \pm 1.91$	-44.51±1.48	5.92±1.95			[128]
16753*	9.98±1.58	23.92±1.76	$-44.12 \pm 1.54$	8.17±1.29	22.87±1.63	$-44.60 \pm 1.65$	5.60±0.40			[98]
16979*	5.86±1.77	20.33±1.87	$-43.05 \pm 1.69$	6.08±1.82	$21.34 \pm 2.24$	-42.16±2.17	6.80±0.78			[153]
17000	7.88±1.00	$19.34 \pm 0.98$	$-45.29 \pm 0.90$	8.12±0.51	$19.88 \pm 0.63$	$-45.25 \pm 0.57$	4.70±2.20			[98]
17034	6.87±1.08	21.36±1.24	$-46.01 \pm 0.85$	8.32±0.79	$23.91 \pm 0.97$	-45.11±0.74	3.00±3.00	+		[117]
17043	7.78±0.98	21.89±1.13	$-41.60 \pm 1.10$	7.33±0.61	$20.57 \pm 0.81$	$-42.74 \pm 0.86$	5.90±7.40			[117]
17091*	9.97±1.82	23.15±2.43	$-46.14 \pm 1.64$	$11.82 \pm 1.94$	$26.82 \pm 2.74$	-44.23±2.11	3.40±0.40			[98]
17125	7.69±1.51	19.70±1.76	$-44.38 \pm 1.15$	9.19±1.66	$21.31{\pm}1.90$	$-46.36 \pm 1.67$	0.01±2.84			[128]
17225	9.21±1.45	22.49±1.75	$-44.32 \pm 1.46$	8.10±1.06	$21.78 \pm 1.42$	-44.97±1.26	3.00±7.40			[117]
17245*	5.91±1.67	14.95±1.73	$-46.42 \pm 1.50$	6.64±1.51	$14.67 \pm 1.80$	$-47.59 \pm 1.67$	3.60±1.30			[98]
17289*	7.29±1.50	19.70±1.85	$-41.66 \pm 1.45$	7.65±1.50	$20.04{\pm}1.89$	$-42.56 \pm 1.51$	5.72±1.46			[128]
17316*	6.28±1.66	24.13±1.70	$-47.88 \pm 1.22$	7.27±1.59	$23.97 \pm 1.78$	$-46.89 \pm 1.40$	7.40±0.60			[98]
17401	9.48±1.11	20.36±1.15	$-45.10\pm0.97$	7.58±0.90	$18.77 \pm 1.06$	$-46.36 \pm 0.95$	$-46.90 \pm 1.90$		+	[98]
17489	9.75±1.05	20.73±0.96	$-44.00 \pm 0.74$	8.65±0.36	$20.38 \pm 0.43$	$-44.81 \pm 0.37$	5.50±0.90		+	[98]
17497*	9.76±1.29	22.71±1.41	$-43.67 \pm 0.95$	8.33±1.22	$21.87 \pm 1.37$	$-43.18 \pm 1.08$	6.23±0.63			[153]
17499	8.80±0.89	21.55±0.85	$-44.92 \pm 0.64$	8.06±0.25	$20.84{\pm}0.28$	$-46.06 \pm 0.23$	6.70±1.40		+	[98]
17511*	$10.00 \pm 1.64$	18.31±1.71	-42.76±1.18	$10.67 \pm 1.37$	$16.52 \pm 1.46$	-43.53±1.15	5.80±0.40			[98]
17527	8.87±0.89	19.03±0.85	$-46.64 \pm 0.75$	7.97±0.37	$20.36 \pm 0.45$	$-46.52 \pm 0.41$	4.80±0.80		+	[98]
17531	8.75±1.08	19.35±0.95	$-41.63 \pm 0.76$	7.97±0.33	$21.24{\pm}0.38$	$-40.56 \pm 0.35$	7.80±0.60	+	+	[98]
17547	8.27±1.14	21.08±1.86	$-49.00 \pm 1.03$	8.82±0.79	$20.83{\pm}1.56$	$-48.34 \pm 0.92$	-0.90±2.20			[98]
17552	$11.21 \pm 1.09$	$19.02 \pm 1.02$	$-47.65 \pm 0.78$	$11.04 \pm 0.93$	$18.41 \pm 1.00$	$-46.82 \pm 0.87$	5.90±2.90			[98]
17579	8.43±0.89	19.44±0.86	$-45.36 \pm 0.67$	8.77±0.54	$20.18 \pm 0.70$	$-44.87 \pm 0.62$	6.00±0.60		+	[98]
17583*	8.50±1.17	$18.88 \pm 1.18$	$-46.40 \pm 1.13$	$8.00 \pm 0.89$	$19.00 \pm 0.99$	$-47.23 \pm 0.94$	6.50±2.00			[98]
17588	9.21±0.92	$19.83 \pm 0.92$	$-44.38 \pm 0.67$	8.58±0.56	$19.88 \pm 0.73$	$-44.37 \pm 0.65$	6.90±1.30		+	[98]
17608	9.08±1.04	21.17±0.87	$-42.67 \pm 0.61$	8.58±0.37	$21.13 \pm 0.35$	$-43.65 \pm 0.27$	6.20±2.00	+	+	[231]
17625	4.73±1.48	$20.07 \pm 1.50$	$-46.07 \pm 1.16$	$4.42 \pm 1.48$	$20.91{\pm}1.65$	$-45.13 \pm 1.38$	4.00±4.60			[98]
17664	6.66±0.99	21.47±0.93	$-45.43 \pm 0.70$	7.66±0.66	$22.73 \pm 0.84$	$-45.00 \pm 0.85$	9.10±0.80	+	+	[98]
17692*	8.35±1.00	19.78±0.97	-43.97±0.65	8.90±0.77	18.56±0.75	-44.31±0.60	4.90±0.80			[98]
17702	8.87±0.99	19.35±0.82	-43.11±0.59	8.09±0.42	19.34±0.39	-43.67±0.33	5.40±1.20	+	+	[98]
17704	$9.05 \pm 0.97$	$17.84 \pm 0.96$	$-44.94 \pm 0.67$	$9.42 \pm 0.75$	$18.33 \pm 0.87$	$-44.69 \pm 0.74$	5.00±3.00			[98]

Таблица 3.4. Астрометрические параметры для 48 звезд Плеяд из HIP (1997) и HIP New. Звезды с отметкой \* использованы для расчета апекса.

		HIP	P HIP New							Dof
нір	$\varpi \pm \sigma_{\varpi},$	$\mu_{\alpha}\pm\sigma_{\mu\alpha},$	$\mu_{\delta} \pm \sigma_{\mu\delta},$	$\varpi \pm \sigma_{\varpi},$	$\mu_{\alpha}\pm\sigma_{\mu\alpha},$	$\mu_{\delta} \pm \sigma_{\mu\delta}$ ,	$Vr{\pm}\sigma_{Vr},\kappa_M/c$	d1	d2	Vr
1111	мсд	мсд/год	мсд/год	мсд	мсд/год	мсд/год				۷I
17729	7.61±1.17	19.34±1.05	-46.91±0.79	9.68±0.93	19.26±0.96	-46.75±0.91	5.10±2.50			[98]
17776*	9.64±0.91	$19.14 \pm 0.84$	$-46.80\pm0.59$	8.45±0.39	17.99±0.39	-46.57±0.32	7.60±0.50			[98]
17851	8.42±0.86	18.71±0.76	$-46.74 \pm 0.58$	8.54±0.31	$18.07 \pm 0.30$	$-47.20\pm0.27$	5.10±0.20	+		[98]
17862	8.02±0.91	$18.34 \pm 0.86$	-44.53±0.67	8.18±0.59	17.42±0.65	$-45.38 \pm 0.52$	7.20±0.90	+	+	[98]
17892	$10.12 \pm 1.04$	$17.80{\pm}1.04$	$-45.00\pm0.79$	8.30±0.66	$18.52 \pm 0.80$	-42.87±0.65	3.80±3.00			[98]
17900*	8.58±0.93	16.50±0.86	-44.53±0.65	8.72±0.60	16.73±0.63	$-44.82 \pm 0.53$	9.50±0.40			[98]
17921	$10.14 \pm 0.90$	$23.88 \pm 0.88$	$-45.90\pm0.69$	8.86±0.42	$24.31 \pm 0.48$	$-44.46 \pm 0.39$	4.10±3.20			[98]
17999*	9.83±1.00	16.80±0.94	-45.76±0.76	9.93±0.75	$18.86 \pm 0.83$	-43.51±0.69	4.50±0.90			[98]
18050*	7.56±1.47	20.19±1.42	$-45.36 \pm 1.04$	7.65±1.34	$21.84{\pm}1.40$	$-45.50 \pm 1.08$	9.20±1.80			[98]
18091*	7.71±1.89	13.35±2.65	-46.20±2.53	6.16±1.42	$14.35 \pm 2.07$	-45.32±1.95	$7.60 \pm 0.40$			[98]
18154	8.57±1.57	$15.43 \pm 1.74$	$-45.83 \pm 1.30$	10.13±1.66	15.64±1.99	-46.22±1.66	$8.00 \pm 7.40$			[117]
18431	8.66±1.53	16.99±1.28	$-47.06 \pm 1.17$	7.18±1.48	16.59±1.22	$-47.78 \pm 1.08$	13.00±5.10			[117]
18955*	6.13±1.42	$19.18 \pm 1.70$	-45.37±1.28	5.88±1.26	$20.08 \pm 1.54$	-46.67±1.12	5.04±1.65			[153]
19171*	6.60±0.85	22.13±0.91	-50.18±0.79	7.76±0.36	$21.88{\pm}0.39$	-52.34±0.33	$-2.00\pm2.00$			[231]

Мы не использовали звезды, имеющие хотя бы один из флагов "двойная звезда" (d1, d2) в Таблице 3.4, в результате чего у нас осталось 33 звезды. Звезда HIP 17401 была исключена из-за большого значения лучевой скорости (Vr = -46.90 км/c), явно выходящего за пределы 3 $\sigma$  от среднего значения Vr по нашей выборке. Наконец, мы наложили ограничение в 2 км/с на ошибку лучевой скорости, что уменьшило нашу выборку до 19 звезд, но увеличило ее качество. Для определения экваториальных координат апекса были использованы эти 19 одиночных звезд с наиболее надежными данными.

Чтобы увеличить количество звезд в выборке, был осуществлен поиск лучевых скоростей для них в RAVE DR5 [128]. Мы приводим список из 35 звезд и их параметров в Таблице 3.5, для которых нам удалось присоединить лучевые скорости из RAVE DR5 [128]. В том случае, если в каталоге указано более одного измерения лучевой скорости, то выбиралось значение с наименьшей относительной ошибкой.

Таблица 3.5. Астрометрические параметры для 35 звезд Плеяд из каталогов TGAS (астрометрия) и RAVE DR5 (лучевые скорости). Звезды с отметкой \* использованы для расчета апекса.

TGAS	RA	DEC	$\varpi \pm \sigma_{\varpi},$	$\mu_{\alpha} \pm \sigma_{\mu\alpha},$	$\mu_{\delta} \pm \sigma_{\mu\delta}$ ,	Vr+ov KM/C	d1	$d^2$
10110	iu i	DLC	мсд	мсд/год	мсд/год		u I	u2
69335615566555904	52.81657	+25.25527	$7.57 \pm 0.34$	$22.687 \pm 0.058$	$-46.666 \pm 0.029$	$-2.35 \pm 4.02$	+	+
61519668439604992	52.86820	+21.82172	7.81±0.26	$24.116 \pm 0.102$	$-47.109 \pm 0.049$	2.15±2.46		+
61554646652580736	53.27437	+22.13406	$7.44 \pm 0.41$	$22.813 \pm 1.105$	$-46.278 \pm 0.562$	0.59±2.51		
69250231614573056*	53.50763	+24.88072	$7.43 \pm 0.28$	$21.268 \pm 0.167$	$-44.702 \pm 0.098$	3.39±1.32		
68097015715726208*	53.53056	+24.34426	$7.22 \pm 0.24$	$21.637 \pm 0.135$	-45.051±0.066	5.92±1.95		
67618281484716544	53.88216	+22.82340	7.67±0.24	$21.481 \pm 0.148$	$-45.391 \pm 0.084$	109.26±2.24		

TGAS	RA	DEC	<del>ω</del> ±σ <sub>∞</sub> , мсд	μ <sub>α</sub> ±σ <sub>μα</sub> , мсд/год	μ <sub>δ</sub> ±σ <sub>μδ</sub> , мсд/год	Vr±σ <sub>vr</sub> , км/с	d1	d2
68444873706967808*	54.73703	+24.56963	7.26±0.23	20.140±0.282	-43.468±0.156	4.95±1.74		
65113559634339200*	54.92166	+23.29070	7.23±0.23	21.244±0.196	$-43.681 \pm 0.097$	3.92±1.80		
71371258264471424	55.01294	+27.74033	7.13±0.26	21.011±0.142	$-44.371 \pm 0.093$	0.01±2.84		
70941383577307392	55.02405	+26.19617	7.87±0.24	21.917±0.740	-49.352±0.449	-8.19±2.53		
68334235349446528	55.12810	+24.48713	7.27±0.48	23.272±1.463	$-44.394 \pm 0.752$	3.88±2.36		
70190245337962368*	55.14953	+26.15123	6.64±0.25	$18.568 \pm 0.815$	$-40.566 \pm 0.338$	$1.45 \pm 1.70$		
65150943028579200*	55.36604	+23.70815	7.72±0.24	$20.093 \pm 0.753$	-45.571±0.371	4.09±1.58		
70108469159560448*	55.40077	+25.61914	7.66±0.29	$16.882 \pm 0.107$	$-43.604 \pm 0.064$	2.21±1.37		
65027591568709632*	55.51978	+22.85837	$7.36 \pm 0.25$	$21.049 \pm 0.138$	$-44.653 \pm 0.075$	5.72±1.42		
64317994252099840*	55.60007	+21.47329	$7.84{\pm}0.23$	$20.991 \pm 0.150$	$-47.972 \pm 0.094$	6.23±1.06		
64449729487990912*	55.60019	+22.42095	7.33±0.24	$19.649 \pm 0.195$	-44.357±0.094	4.79±1.86		
64879398017459072*	56.21357	+23.26874	7.68±0.29	$20.520 \pm 0.092$	$-44.280 \pm 0.060$	5.64±1.45		
64739244643463552*	56.24559	+22.03227	6.98±0.29	$18.675 \pm 0.111$	$-43.663 \pm 0.061$	6.49±1.40		
65275497080596480	56.27733	+24.26332	$8.14 \pm 0.46$	$19.282 \pm 0.508$	$-42.438 \pm 0.559$	6.76±2.85		
70242781377368704*	56.28429	+26.29232	$7.58 \pm 0.48$	$19.650 \pm 0.173$	$-45.539 \pm 0.103$	1.17±1.86		
69872039800655744	56.49651	+25.39840	7.57±0.34	$20.288 \pm 0.054$	$-45.367 \pm 0.035$	11.35±4.25		
69964879813013248	56.83709	+25.52565	7.63±0.30	$18.481 \pm 0.797$	$-44.980 \pm 0.442$	2.65±2.23		
64898364591843712	56.84551	+22.92192	$6.62 \pm 0.66$	$21.620 \pm 0.054$	$-47.038 \pm 0.034$	6.79±2.55		+
69948249699646720	56.94524	+25.38551	$7.37 \pm 0.28$	$19.469 {\pm} 0.070$	$-45.724 \pm 0.049$	-1.84±3.86		
64933755122821120	57.18298	+23.25963	$7.01 \pm 0.30$	$19.376 \pm 0.431$	$-44.386 \pm 0.303$	4.47±2.28		
66980358578521856*	57.47057	+25.64726	$7.17 \pm 0.24$	$18.072 \pm 1.124$	$-45.697 \pm 0.609$	2.54±1.83		
64924409273987712*	57.48549	+23.21844	6.61±0.40	20.067±1.469	$-42.796 \pm 0.373$	4.34±1.50		
66558249192653952	57.48590	+24.34881	7.41±0.35	$19.031 \pm 0.322$	$-44.427 \pm 0.330$	8.46±9.47		
66960258131598720*	57.57373	+25.37938	$7.35 \pm 0.25$	$19.397 {\pm} 1.011$	-45.891±0.501	2.96±1.20		
64172034082472448	57.58886	+23.09616	$7.20{\pm}0.61$	$20.869 \pm 2.236$	$-46.430 \pm 0.505$	4.17±2.34		
63730305286697600*	57.92546	+21.66817	$7.22 \pm 0.27$	$18.369 \pm 1.411$	$-43.122 \pm 0.657$	3.65±1.33		
66570549979009280	58.34887	+24.06485	7.33±0.30	19.792±1.035	-45.735±0.595	$10.64 \pm 3.78$		
65819961494790400	52.81657	+24.07550	7.71±0.26	$19.\overline{458 \pm 0.872}$	$-45.686 \pm 0.447$	$-3.82\pm5.46$		
65754128236100096	52.86820	+23.78413	6.64±0.24	22.523±1.351	-41.646±0.550	44.17±3.39		

Среди одиночных звезд в Таблице 3.5 есть две звезды с лучевыми скоростями, значительно превышающими среднее значение для скопления Плеяды. Это Gaia 5754128236100096 (Vr = 44.17 км/с) и Gaia 67618281484716544 (Vr = 109.26 км/с). Для 13 звезд погрешность лучевой скорости превышает 2.0 км/с. Эти 15 звезд и 3 двойные звезды исключены из наших расчетов. В конечном итоге использовалось 17 звезд из Таблицы 3.5.

Итого, нами было создано 3 списка: по НІР и НІР New с лучевыми скоростями из SIMBAD одинаковыми для обоих списков и выборка из наиболее новых и точных параметров по TGAS с лучевыми скоростями из RAVE. Это было сделано для того, чтобы сравнить как старые данные между собой и определить параллакс по ним (результат по НІР 1997 и улучшенному каталогу НІР New), так и посмотреть, насколько изменились характеристики

скопления с появлением TGAS и оценить дисперсию скоростей по всем трем спискам звезд.

## 3.2.3. Кинематический анализ РЗС Плеяды

На основе значений из Таблицы 3.4 и Таблицы 3.5, нами рассчитано положение апекса скопления, расстояние до скопления и пространственная скорость.

Изучена кинематика Плеяд, с использованием каталогов HIP, HIP New и TGAS. С применением этих наборов данных, рассчитан апекс скопления. Положения апексов отдельных звезд скопления (AD-диаграмма) позволяют судить также о возможной кинематической неоднородности скопления.

Для этого могут быть применены два следующих метода:

1. СР-метод (точки схождения).

2. Метод АD-диаграммы.

Результаты, использующие разные входные данные и основанные на двух независимых способах, приведены ниже. В обоих случаях требуются знания лучевой скорости и параллакса (описание СР-метода можно найти в [93]).

Для определения апекса СР-методом были взяты 19 звезд из каталога HIP New (номера HIP, отмеченные звездочками в Таблице 3.4) и 17 звезд из TGAS (Таблица 3.5).

Точность полученных индивидуальных апексов звезд демонстрируют эллипсы ошибок. Для их построения необходимо знать коэффициенты корреляции между астрометрическими параметрами. Полная ковариационная матрица есть в каталогах HIP и TGAS, но ее нет в HIP New. По этой причине эллипсы ошибок могут быть построены на AD-диаграмме для данных HIP и TGAS, но не для HIP New, что и показано на панелях (b) и (c) на Puc. 3.10.



Рис.3.10. AD-диаграммы, основанные на различных данных: (a) HIP New, (b) HIP и (c) TGAS + RAVE DR5. На левой панели для всех трех наборов данных показаны одиночные звезды, а на правой панели – двойные и кратные звезды. Красными точками обозначены звезды, ошибки лучевых скоростей которых не превышают 2 км/с. На левой панели (c) TGAS не показаны звезды TGAS с номерами 67618281484716544 с Vr = 109.26 км/с и 65754128236100096 с Vr = 44.17 км/с, положение которых выходит за пределы графиков. Также на левой панели (c) количество одиночных звезд с  $\sigma$ Vr> 2 км/с составляет 13, а не 15.

На Рис. 3.10 представлены AD-диаграммы, полученные по разным астрометрическим данным. Отдельно построена AD-диаграмма, в которой

используются только одиночные звезды (левые панели) и отдельно, где присутствуют двойные и кратные (правые панели), что демонстрирует разницу в результатах, при данных астрометрии не отягощенных орбитальными движениями систем с множественными компонентами. В конечном итоге во всех наших расчетах использовались только одиночные звезды. На верхней панели Рис. 3.10, обозначенной как (а), показаны положения апексов, вычесленные по параллаксам и собственным движениям, взятым из НІР New (Таблица 3.4, столбцы 2-4), на средней панели (b) – апексы по старым данным НІР (Таблица 3.4, столбцы 5-7). Нижняя панель (с) содержит AD-диаграмму, полученную по TGAS (Таблица 3.5).

Точки красного цвета на Рис.3.10 отображают звезды, ошибки лучевых скоростей которых не превышают 2 км/с. Как упоминалось ранее, только эти звезды использовались для расчета координат апекса самого скопления. Лучевые скорости для обеих панелей идентичны. На нижней левой панели Рисунка 3.10 показан основной результат, полученный с использованием астрометрических параметров Gaia и лучевых скоростей RAVE DR5.

AD-диаграмма по данным TGAS+RAVE DR5, представленная на Рис. 3.10, имеет не скученную, а скорее вытянутую форму. Такое вытягивание по диагонали индивидуальных апексов звезд и аналогичное вытягивание эллипсов ошибок в том же направлении возникает по причине того, что ошибки измерения лучевых скоростей гораздо больше, чем у остальных астрометрических параметров. Возможно, такая форма может быть вызвана и изменениями, связанными с эволюцией скопления, постепенным появлением у него шлейфов. Но наша выборка не столь общирна для обоснования такого вывода.

По имеющимся данным мы можем сделать вывод, что Плеяды пока еще не сильно проэволюционировали, и признаков распада не наблюдается. Точки на нижней панели на Рис. 3.10 распределены более компактно по сравнению с двумя верхними панелями, но не во всех направлениях - вдоль наклонной линии разброс по-прежнему остается большим. Очевидно, что результаты по данным Gaia все же более точны, поэтому они рассматриваются здесь как основные.

Результаты расчета положения апекса и других пространственнокинематических параметров, с использованием каталогов HIP New (19 звезд из Таб. 3.4) и TGAS (17 звезд из Таб. 3.5) приведены в Таблице 3.6.

По данным HIP New, мы получили:

 $(A_{CP}, D_{CP}) = (95.73 \pm 3.56^{\circ}, -50.44 \pm 8.84^{\circ})$  CP-методом

 $(A_0, D_0) = (93.06 \pm 5.95^\circ, -48.42 4.02^\circ)$  с применением AD-диаграмм.

По данным TGAS и RAVE DR5:

 $(A_{CP}, D_{CP}) = (92.52 \pm 1.72^{\circ}, -42.28 \pm 2.56^{\circ})$  CP-методом

 $(A_0, D_0) = (95.59 \pm 2.30^\circ, -50.90 \pm 2.04^\circ)$  с применением AD-диаграмм.

Результаты обоих методов – AD-диаграммы и CP – практически одинаковы. Было показано, что кинематические параметры, вычисленные с использованием данных Gaia DR1 (TGAS), более надежны. Однако набор данных с комбинацией Gaia DR1 и RAVE DR5 не содержит слишком много звезд (35 звезд, Таблица 3.5).

Наши определения координат апекса хорошо согласуются с оценками других авторов (см., например, [94] и [143]), которые также упомянуты в Таблице 3.6. Имеется расхождение с результатами, полученными в [156], что могло быть связано с тем, что ими использовались данные ESA HIP 1997 [81].

Таблица 3.6 содержит координаты апекса скопления со среднеквадратической ошибкой (σ<sub>A0</sub>, σ<sub>D0</sub>), полученные нами и другими авторами для сравнения. Формулы для (A<sub>0</sub>, D<sub>0</sub>) и эллипсов ошибок даны в Chupina et al. [45].

Представленная AD-диаграмма скопления Плеяды свидетельствует о кинематической однородности скопления. Параметры апекса, рассчитанные с использованием различных данных, существенно не различаются как по положению, так и по дисперсии. Сравнение результатов позволяют выделить значения, ошибки которых минимальны. Наши оценки наглядно показывают, что данные Gaia позволили увеличить точность определения апекса Плеяд почти в 2 раза, однако точность могла быть и больше, если бы у нас были лучшие значения лучевых скоростей.

К сожалению, данные Gaia DR1 не дали преимущества с точки зрения количества звезд, являющимися членами Плеяд (Таблица 3.5). Это сделало невозможным изучение тонкой структуры с помощью AD-диаграммы и выявление возможных кинематических групп внутри скопления.



Рис.3.11. Сравнение параллаксов, взятых из HIP New и TGAS.

На Рис.3.11 представлено сравнение параллаксов, взятых из HIP New и TGAS. Видно, что для некоторых звезд существует значительная разница между значениями, определенными с использованием HIP New и TGAS. Разброс точек и отдельно взятые ошибки параллакса из каталога HIP New в несколько раз превышают соответствующие величины для данных TGAS. Также есть отличия и среднего параллакса. Для наших результатов разница в значении параллакса (Рис. 3.11) привела к различиям в координатах апекса, но его отклонение не сильно велико и находится в пределах 1°, как видно из Таблицы 3.6.

Определение параллакса Плеяд. Использованы данные TGAS из Таблицы 3.5 для определения среднего параллакса отдельных звезд. Для n = 17 одиночных звезд в Плеядах среднее значение параллакса было преобразовано в среднее гелиоцентрическое расстояние, составившее 136.8±6.4 пк, что хорошо согласуется с результатами других авторов, но расстояние будет отличаться, если мы возьмем данные HIP, приведенные в Таблице 3.4.

Таблица 3.6. Полученные в этой работе кинематические параметры скопления Плеяды, соответствующие данным HIP New (19 звезд) и TGAS + RAVE DR5 (17 звезд) и результаты, полученные другими авторами.

Параметр	Значение	Данные
Vx,Vy,Vz, км/с	-1.07,20.26,-23.26	Таблица 3.4
Vx,Vy,Vz, км/с	-1.94,19.98,-24.70	Таблица 3.5
А <sub>СР</sub> , D <sub>СР</sub> , град	95.73±3.56,	Таблица 3.4
А <sub>СР</sub> , D <sub>СР</sub> , град	-42.28±2.56	Таблица 3.5
А <sub>0</sub> ,D <sub>0</sub> , град	-48.42±4.02	Таблица 3.4
А <sub>0</sub> ,D <sub>0</sub> , град	-50.90±2.04	Таблица 3.5
А <sub>0</sub> ,D <sub>0</sub> , град	89.7, -35.15	Montes et al.[156]
А <sub>СР</sub> , D <sub>СР</sub> , град	92.49±5.4, -47.87±5.3	Makarov and Robichon [143]
А <sub>0</sub> , D <sub>0</sub> , град	92.9±1.2, -49.4±1.2	Galli et al.[94]
V, км/с	35.36	Таблица 3.4
V, км/с	26.72	Таблица 3.5
V, км/с	26.5	Montes et al.[156]
d, ПК	124.5±24.1	Таблица 3.4
d, ПК	136.8±6.4	Таблица 3.5
d, ПК	134±6	Brown et al.[29]
d, ПК	132.0±2.0	Munari et al.[158]
d, ПК	134.6±3.1	Soderblom et al.[204]
d, ПК	122.2±1.9	van Leeuwen [219]
d, ПК	134.4 <sup>+2.9</sup> / <sub>-2.8</sub>	Galli et al.[94]
d, ПК	134.8±1.7	Mädler et al.[141]
Модуль расстояния(m-M)	5.48±0.32	Таблица 3.4
Модуль расстояния(m-M)	5.68±0.12	Таблица 3.5
Модуль расстояния(m-M)	5.6	Munari et al.[158]
Модуль расстояния(m-M)	5.65±0.05	Soderblom et al.[204]
Модуль расстояния(m-M)	5.44±0.03	van Leeuwen [219]
U,V,W, км/с	-6.38±0.32,-26.91±2.04,-13.69±0.16	Таблица 3.4
U,V,W, км/с	-5.39±0.12,-28.29±1.36,-13.53±1.16	Таблица 3.5
U,V,W, км/с	-11.6,-21.0,-11.4	Montes et al.[156]
U,V,W, км/с	-6.2,-28.7,-14.7	Galli et al.[94]
Пространственная скорость V, км/с	30.86±3.72	Таблица 3.4
Пространственная скорость V, км/с	32.14±2.24	Таблица 3.5
Пространственная скорость V, км/с	32.9±0.3	Galli et al.[94]

# Положения, выносимые на защиту:

- Составлен авторский список звезд, входящих в состав скопления IC 2391. Определены физические характеристики скопления. Высказано предположение о совместном рождении скопления IC 2391 и одноименного потока.
- По данным каталогов Gaia DR1 и RAVE DR5 получены физические характеристики скопления Плеяды: дисперсия скоростей, расстояние от Солнца, положение апекса, пространственная скорость.

# Глава 4. Поздние стадии эволюции звездных систем

# 4.1. Кинематика и физические параметры скопления Гиады

### 4.1.1 Обзор и использованные данные

Рассеянное звездное скопление Гиады (Collinder 50, Melotte 25) является одним из самых близких к нам – расстояние от Солнца составляет 47 пк. Его возраст около 625 – 750 млн. лет [24, 169]. Это скопление совершило не один оборот вокруг ЦГ, что могло повлиять на параметры и пространственную форму скопления.

Маялая удаленность Гиад от Солнца является преимуществом во многих отношениях. Например, члены скопления имеют незначительное межзвездное покраснение. Определения физических параметров будут наиболее надежны.

Кроме того, звезды в Гиадах относительно яркие, имеют большие собственные движения на небе. А ошибки определения характеристик объекта, расположенного рядом, будут меньше, чем более далеких. Это касается и значений параллаксов, а, следовательно, и распределения звезд скопления в пространстве. Близость скопления к Солнцу имеет и свои недостатки. Из-за большого углового размера скопления на небе его члены рассеяны на значительной площади неба и имеются трудности их выделения среди звезд поля.

Мы изучили Гиалы скопление с использованием полкаталога астрометрических параметров Tycho-Gaia Astrometric Solution (TGAS), входящего в первый выпуск данных миссии Gaia (Gaia DR1 [29]). Отправной точкой для настоящей работы является выборка членов скопления, взятая из работы van Leeuwen et al. [92] (vLw). В нее входят экваториальные координаты, параллаксы и собственные движения для 103 звезд. Однако там отсутствуют лучевые скорости, поэтому мы взяли их из SIMBAD, но определен этот параметр не для всех звезд списка, а только для 92-х. Данные приведены в Приложении 2. В столбцах указаны номера по каталогам Gaia Collaboration [29] и Hipparcos ESA 1997 [81], посчитанные в данной работе положения индивидуальных апексов звезд (см. выше), собственные движения, параллаксы и их ошибки из TGAS, лучевые скорости и их ошибки из SIMBAD [200].

### 4.1.2 Определение положения апекса

Скопление Гиады относится к «движущимся» скоплениям: направления собственных движений звезд, входящих в его состав, сходятся к одной точке – апексу. Это позволяет эффективно использовать для изучения его внутренней кинематики метод AD-диаграмм, основанный на определении положений апексов звезд скопления (см.[45], [46]).



Рис. 4.1. AD-диаграмма РЗС Гиады, построена по 92 звездам (левая панель) и положение среднего апекса РЗС Гиады по данным разных авторов, см. Табл. 4.2 (правая панель). Единицы измерения по осям – градусы.

На Рис 4.1 показаны результаты наших расчетов и положения среднего апекса Гиад, полученные разными авторами. Сравнение правой и левой панелей Рис. 4.1 показывает, что значения средних апексов укладывается в область разброса индивидуальных апексов звезд.

Четыре звезды – НІР 19441, НІР 21267, НІР 22850, НІР19870 – на Рис. 4.1 (левая панель) выходят за пределы трех сигм от среднего апекса. Данные об этих звездах представлены в Таблице 4.1. Отклонение апекса звезды НІР 19870, возможно, обусловлено отличием ее лучевой скорости от среднего значения. Средняя лучевая скорость Гиад, равная Vr = 39.1±0.02 км/с, была определена по данным Ciardi et al. [47]. Оставшиеся три звезды представляют

собой звезды с большими собственными движениями SIMBAD. Эти звезды могли приобрести свою скорость из-за распада двойных систем, в которой одна сколлапсировала в компактный объект или быть задеты ударной волной от взрыва одиночной массивной звезды.

Таблица 4.1 Звезды, положения апексов которых значительно отклоняются от среднего.

TGAS	HIP	А, град	D, град	RA J2015.0, град	DEC J2015.0, град	ϖ±σϖ, мсд	µа±σµа, мсд∕год	μδ±σμδ, мсд/год	Vr±σVr, км/с	Доп. информация
3300315439330018304	19441	105.615	5.433	62.456	9.305	28.08±0.25	154.748±0.15	-5.447±0.12	28.08±0.25	High PM Star
3307528029449757056	21267	101.214	5.927	68.444	13.251	21.67±0.41	102.816±0.04	-17.418±0.02	35±4.4	High PM Star
3408463506117452544	22850	101.293	5.024	73.743	19.485	15.92±0.39	62.838±0.03	-28.918±0.02	35±4.3	High PM Star
49365082792386816	19870	106.564	2.712	63.927	20.819	19.87±0.32	109.624±0.06	-35.151±0.04	27.2±2	SB

В столбцах Таблицы 4.1 перечислены номера звезд по каталогам TGAS и Hipparcos, координаты апекса, экваториальные координаты, параллакс, собственные движения и лучевые скорости, дополнительная информация из SIMBAD. В Таблице 4.2 приведены определения положения апекса Гиад различными авторами.

Таблица 4.2.	Положения апекса	РЗС Гиалы.	опрелеленные	разными авто	рами
таозніца н.2.		гостпады,	определенные		pannin

A	$\sigma_{\rm A}$	D	$\sigma_{\rm D}$	Источник
98.2	1.1	6.1	1.0	[101]
97.68	0.42	5.98	0.18	[190]
96	-	6.50	-	[156]
97.23	1.41	6.96	0.74	[237]
96.533	0.563	6.5735	0.226	[193]
97.71	0.57	6. 71	0.24	эта работа

Нами получены координаты апекса: A<sub>0</sub> = 97.71±0.57, D<sub>0</sub> = 6.71±0.24. Однородность формы AD-диаграммы свидетельствует о кинематической однородности ядра и короны.

# 4.1.3. Структура скопления в пространстве

Динамические эволюционные процессы, такие как перераспределение энергии звезд и взаимодействия с галактическим приливным полем, вызывают потерю значительной части членов скопления. Первоначально сферическая форма скопления может становиться эллипсоидальной благодаря гравитационному взаимодействию с элементами диска и диссипацией звезд.

Из-за этих внешних событий и динамической эволюции изменяется внутренняя структура скопления [131]. Важно понять в каком из направлений начинает происходить растекание звездной группы. Для этого было построено изображение скопления с проекцией его пространственного распределения звезд на плоскость галактического диска XY, представленное на Рис. 4.2, которое аппроксимировали эллипсоидом. Направления осей описано в п.3.1.3. Для построения эллипса использовалась программа, реализованная нами на языке программирования Python, алгоритм взят на сайте MathWorks<sup>3</sup> [157].



Рис.4.2. Распределение звезд Гиад в гелиоцентрической прямоугольной системе координат.

Внешний эллипс охватывает все звезды. В области, ограниченной внутренним эллипсом, концентрация звезд по отношению к внешней части возрастает более чем в 5 раз. Здесь просматривается асимметрия ядра и

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/9542-minimumvolume-enclosing-ellipsoid

смещение концентрации звезд по направлению на центр Галактики. Виден постепенный процесс вытягивания его вдоль орбиты. На Рис. 4.3 изолиниями представлено распределение звездной плотности скопления Гиады В различных плоскостях (оценка плотности сделана тем же способом, что в п. 3.1.3). Заметно, что скопление может быть аппроксимировано также трехосным эллипсоидом, сплюснутым по Z-координате (Рис 4.3, верхние панели). Плотность звезд в центре и на периферии отличается. Внутренняя часть скопления имеет приблизительно сферически симметричный вид в пределах радиуса менее 5 парсек от центра. Во внешней области распределение звезд нерегулярно. По данной выборке скопление выглядит достаточно неоднородно в пространстве. На правом нижнем графике показан анализ распределения концентрации звезд скопления на плоскости ХҮ. Оно разбито на 5 уровней изоплотности. Можно заметить, что внутренние части скопления сдвинуты к ЦГ (красная и фиолетовая гауссиана) относительно периферии (желтая гауссиана). Однако эти эффекты могут быть следствием недостатка данных в Gaia DR1, где ограниченно представлены некоторые типы звезд. То есть, в этом случае показан скорее срез объектов определенной звездной величины.

По каталогу Gaia DR2 было обнаружено, что скопление Гиады растянуто вдоль пространственной орбиты на десятки парсек (см. [148] и [184]). На разном материале это было также показано в Perryman et al. [169], Röser et al. [182], и по данным Reino et al. [178].



Рис. 4.3. Распределение звезд скопления Гиады в различных плоскостях. На верхних панелях – в плоскостях ZX, ZY. На нижней левой панели – в плоскости XY. Контурами показаны уровни равной плотности. На правой нижней панели показана аппроксимация распределения концентрации звезд вдоль осей координат. Показаны кривые, аппроксимирующие распределение звезд в центральной части скопления (фиолетовый) и периферии (красный, желтый). Серой гауссианой показано распределение объемной плотности.

Если рассматривать Гиады в трехмерном пространстве (Рис. 4.4), то также видно, что они имеют вытянутую форму, которую можно аппроксимировать эллипсоидом. Большая ось эллипса образует углол 8° с осью ОХ. Вытянутость скопления направлена в сторону ЦГ, что также говорит о процессах, описанных в п.1.1.2.



Рис. 4.4. Распределение звезд Гиад в пространстве.

По данным Gaia DR1 (Brown et al. [29]) получено, что скопление имеет приблизительно сферическую форму в центральной части (с радиусом 10 пк) и уплощенную периферию. Отметим, что скопление выглядит относительно компактным кинематически на Рис.4.1 (за исключением небольшого количества звезд, отклонившихся от общего центра) и пространственно на Рис.4.4.

# 4.2. Звездный поток Большой Медведицы

#### 4.2.1. Природа потока Большой Медведицы

Остатки ассоциаций, растянутые приливными силами Галактики еще какое-то время продолжают свой путь по схожей орбите, постепенно все больше отдаляясь друг от друга. Движущиеся группы звезд, как их еще называют, могут быть старыми, такими как движущаяся группа HR 1614 возрастом в 2 миллиарда лет, или молодыми, такими как группа AB Золотой Рыбы (AB Doradus) возрастом в 50 миллионов лет. Данный тип образований

интенсивно изучался Эггеном в 1950-60-х годах (см., например, Eggen [73]). Эти объекты обычно имеет рыхлый и вытянутый вид.

Самой близкой является движущаяся группа звезд Большой Медведицы, которая включает часть звезд в Ковше Большой Медведицы и простирается до Южного Треугольника.

Согласно современным представлениям о процессе звездообразования (см., например, обзор [130]), большинство звезд окрестности Солнца (одиночных, двойных и устойчивых кратных) могло образоваться в результате распада неиерархических малых групп звезд, содержащих от нескольких до нескольких десятков объектов. Эти представления восходят к работам van Albada [216], в которых была показана возможность формирования двойных и кратных звезд с характерными размерами 10 а.е. и более. Эти системы являются результатом распада небольших звездных групп с размерами от 100 до 1000 а.е. Процесс образования кратных систем в скоплениях рассмотрен в van den Berk et al. [218].

#### 4.2.2 Пространственно-кинематическая неоднородность

Внутренняя структура скоплений иногда проявляет интересные свойства. В частности, в некоторых РЗС структура не является строго однородной (например, группы 189 и скопление NGC1977 [44]). Наблюдения показывают флуктуации плотности звезд в разных масштабах. Их природа еще не полностью понята. Перспективным направлением является поиск ранее подструктур внутри РЗС неизвестных как пространственных, так И кинематических. Несмотря на динамические расчеты, подтверждающие возможность появления обособленных групп звезд внутри скопления, многие детали по-прежнему отсутствуют. Вполне уместно детальное сравнение параметров таких групп, как размер, число звезд, дисперсия и т. п.

Поток Большой Медведицы (БМ), выявленный в Галактике почти 150 лет назад, остается одним из пяти главных потоков в околосолнечных окрестностях и привлекает постоянное внимание исследователей.

99

Свидетельства о существовании кинематических субструктур (звездных групп) в короне этого потока впервые появились по данным КА Hipparcos. Обнаружены три кинематические группы и обособленное ядро, отличающиеся направлениями векторов пространственных скоростей на диаграмме апексов (см. Рис. 3 в [45]). Подобные группы обнаруживались и в Плеядах [7,8,9].

Появление каталога Tycho-Gaia astrometric solution (TGAS) Gaia DR1 [29] позволило вновь обратиться к этой теме. По выборке из Gaia были рассмотрены детали структуры потока БМ. Это позволило проверить по независимым данным результаты, полученные при помощи Hipparcos [45, 46, 237]. Дополнительно проведен поиск новых кандидатов в состав потока по каталогам Gaia. Для этого данные астрометрии TGAS дополнены измерениями лучевых скоростей из Data Release 5 of the Radial Velocity Experiment (RAVE DR5) [128].

	Gaia (TGAS)			HIP	Gaia (TGAS)	HIP	Gaia (TGAS)	HIP			
HIP	RA2015, град	DEC2015, град	<del>ω</del> ±σ <sub>0</sub> , мсд	ϖ±σ <sub>σ</sub> , мсд	μ <sub>α</sub> ±σ <sub>μα</sub> , мсд/год	μ <sub>α</sub> ±σ <sub>μα</sub> , мсд/год	μ <sub>δ</sub> ±σ <sub>μδ</sub> , мсд/год	μ <sub>δ</sub> ±σ <sub>μδ</sub> , мсд/год			
				Я	цро						
61946	190.4364	55.7247	44.07±0.26	43.06±0.82	122.79±0.05	121.53±0.65	$-5.02 \pm 0.06$	-4.36±0.63			
Группа 1											
29884	94.3941	46.4240	13.24±0.38	13.86±0.78	$-43.52 \pm 0.03$	$-43.79 \pm 0.64$	11.15±0.02	11.26±0.38			
35628	110.2773	67.6621	38.97±0.25	39.10±1.15	$-70.23 \pm 0.05$	-70.56±0.59	70.57±0.06	70.11±0.92			
36827	113.6087	-6.8969	42.68±0.24	40.32±1.26	$-80.29 \pm 0.09$	-83.68±1.56	$-42.97 \pm 0.06$	$-43.15 \pm 0.81$			
75342	230.9324	-1.0225	17.88±0.55	18.20±0.78	75.03±0.030	76.73±0.85	-29.13±0.02	-28.21±0.72			
Группа 2											
954	2.9479	9.1399	7.83±0.75	7.81±0.96	$-32.81{\pm}0.04$	$-32.99{\pm}0.84$	-18.23±0.03	$-18.32 \pm 0.61$			
38747	118.9927	-9.7973	20.30±0.25	20.69±1.15	21.09±0.08	21.01±1.08	-24.63±0.06	-25.39±0.95			
59152	181.9627	18.9485	23.50±0.28	25.27±1.40	120.33±0.08	120.06±1.54	-73.46±0.06	-73.58±0.72			
48331	147.7820	-43.5048	88.37±0.30	89.67±0.82	461.63±0.04	461.28±0.66	-471.80±0.04	-472.87±0.66			
				Гру	ппа 3						
56154	172.6617	-13.0505	16.35±0.57	15.56±0.82	29.77±0.03	30.16±0.66	-51.12±0.03	-51.37±0.61			
50061	153.3185	-8.4457	9.92±0.32	10.80±0.96	22.67±0.05	23.44±0.97	$-30.05\pm0.04$	-30.88±0.69			
				Кој	оона						
2213	6.9935	19.5140	6.60±0.59	6.12±0.79	-21.67±0.03	-22.3±0.72	-17.71±0.02	-17.33±0.49			
12647	40.6205	10.7416	8.15±0.42	7.66±0.94	-24.79±0.06	-24.27±1.04	$-22.93 \pm 0.05$	-23.37±0.88			
21295	68.5344	5.5686	7.32±0.74	7.99±1.09	-14.64±0.06	-15.58±1.21	$-5.67 \pm 0.04$	-7.77±1.03			
22776	73.4842	36.7575	36.44±0.23	35.14±1.12	5.87±0.08	6.17±1.02	11.48±0.07	11.58±0.85			

Таблица 4.3. Астрометрические параметры звезд потока БМ по данным Gaia и Hipparcos.

		Gaia (TGAS)	)	HIP	Gaia (TGAS)	HIP	Gaia (TGAS)	HIP
HIP	RA2015, град	DEC2015, град	ѿ±о <sub>ѿ</sub> , мсд	ϖ±σ <sub>σ</sub> , мсд	μ <sub>α</sub> ±σ <sub>μα</sub> , мсд/год	μ <sub>α</sub> ±σ <sub>μα</sub> , мсд/год	μ <sub>δ</sub> ±σ <sub>μδ</sub> , мсд/год	μ <sub>δ</sub> ±σ <sub>μδ</sub> , мсд/год
27015	85.9530	85.6684	5.40±0.30	6.90±0.56	$-11.01{\pm}0.03$	-10.52±0.49	11.57±0.03	11.39±0.61
38228	117.4794	27.3631	45.09±0.41	45.84±0.89	-10.12±0.04	-9.29±0.99	-11.24±0.02	-11.84±0.71
42438	129.7985	65.0213	69.42±0.64	70.07±0.71	-27.26±0.02	-27.73±0.59	87.83±0.03	87.90±0.49
43670	133.4582	26.9132	26.48±0.26	24.66±1.34	14.45±0.11	10.51±2.20	$-5.04{\pm}0.06$	-6.53±1.14
43852	133.9819	36.1961	39.43±0.30	38.21±10	$-25.70\pm0.07$	-23.50±1.19	-12.54±0.04	-12.23±0.86
46324	141.6786	-14.4913	25.53±0.26	25.07±10	38.14±0.06	37.6±1.08	-130.44±0.05	-130.80±0.67
51914	159.0894	36.3268	21.37±0.24	21.6±0.75	36.33±0.03	36.92±0.67	-33.22±0.02	-33.84±0.41
53985	165.6604	21.9669	83.77±0.35	85.76±1.36	142.75±0.08	141.40±1.45	$-51.69{\pm}0.05$	-51.13±0.99
56337	173.2382	52.5237	21.49±0.25	22.33±1.22	61.05±0.07	59.35±0.99	-11.47±0.08	-10.57±0.73
59496	183.0225	58.9265	39.21±0.56	35.24±1.24	97.82±0.06	102.00±0.97	9.77±0.06	20.26±1.01
61748	189.8204	35.9519	7.30±0.40	6.45±0.73	19.21±0.03	19.31±0.67	-2.81±0.02	-2.63±0.53
62541	192.2260	14.1225	7.81±0.51	8.10±0.77	28.47±0.03	28.96±0.82	-19.64±0.02	-20.23±0.51
67596	207.7691	34.7725	10.92±0.46	11.24±0.68	33.08±0.02	32.16±0.58	$-8.07 \pm 0.02$	$-8.29\pm0.47$
74702	228.9973	0.7958	62.98±0.38	64.19±0.97	178.07±0.04	178.00±0.85	-137.08±0.03	-136.50±0.70
79945	244.7822	-20.2181	8.03±0.33	6.65±0.84	16.80±0.04	16.84±0.94	$-14.07 \pm 0.02$	-15.31±0.74
80686	247.1197	-70.0839	81.23±0.90	82.61±0.57	200.22±0.03	199.90±0.31	110.64±0.03	110.80±0.51
85185	261.1315	16.3009	9.13±0.51	7.55±0.71	12.54±0.02	12.58±0.46	$-28.46\pm0.02$	$-28.83 \pm 0.50$
89282	273.2804	41.4748	28.81±0.25	29.91±0.59	50.87±0.03	51.47±0.55	-129.14±0.04	-128.5±0.58
90342	276.4951	29.8288	8.27±0.56	7.63±0.60	22.74±0.02	23.23±0.54	-24.38±0.02	-24.45±0.51
93179	284.6955	13.9065	13.26±0.48	13.45±0.67	0.45±0.03	0.94±0.72	-48.31±0.02	-51.42±0.58
94083	287.2921	76.5600	36.45±0.87	36.64±0.49	52.61±0.03	51.63±0.62	-119.35±0.04	-119.8±0.46
95352	290.9855	43.3881	7.43±0.28	8.06±0.47	14.89±0.02	16.30±0.41	-28.17±0.02	-27.36±0.46
107555	326.7534	70.1508	6.79±0.28	6.62±0.47	$-10.48 \pm 0.02$	-10.46±0.55	$-25.09{\pm}0.02$	$-25.07 \pm 0.44$
110091	334.5176	-0.2379	24.13±0.29	24.11±0.92	$-42.00\pm0.04$	-41.39±1.37	-54.41±0.03	-54.73±0.58

Звезды потока БМ были взяты из Табл. 7 в работе [46] и отождествлены со звездами каталога TGAS. Полученная выборка представлена в Табл. 4.3. Данные разбиты на ядро, три группы и корону, наследуя это разбиение из [46]. В колонках приведены номера звезд по Hipparcos, экваториальные координаты из Gaia на эпоху J2015.0, параллаксы и компоненты собственных движений со средними квадратичными ошибками (СКО). Астрометрические параметры взяты из каталогов TGAS и Hipparcos. В каталоге TGAS присутствуют не все звезды потока БМ, отождествленные ранее по каталогу Hipparcos. Так, в ядре найдена лишь одна звезда из пяти, представленных в Табл. 7 из работы [46], в группе 1 – 4 из 13, в группе 2 – 4 из 13, в группе 3 – 2 из 8 и в короне – 28 из 78. Всего в Табл. 4.3 имеются данные для 39 звезд TGAS. Это может быть связано как с ограничением звезд по яркости в каталоге, так и с тем, что поток расположен близко к Солнцу и содержит звезды с большим собственным движением, которые тоже не полностью присутствуют в TGAS.

По нашей выборке для БМ собственные движения обоих каталогов хорошо согласуются между собой (Рис 4.5 для звезд из Табл. 4.3), однако, на Рисунке 4.5 хорошо заметно, что средняя точность Gaia (бары ошибок по вертикали не видны в масштабах рисунка) намного превосходит среднюю точность Hipparcos (бары ошибок по горизонтали).

Почти все точки лежат на диагонали в пределах СКО. Вне рамок Рис. 4.5 оказалась звезда НІР 48331, компоненты собственного движения которой по Ніррагсов  $\mu_{\alpha} = 461.28$ ,  $\mu_{\delta} = -472.87$  мсд/год (Табл. 4.3), что практически на порядок превосходят значения для других звезд в Табл. 4.3. Это происходит по причине того, что НІР 48331 — очень близкая звезда, расположенная на расстоянии 11.1±0.1 пк от Солнца [200], а так как величина собственного движения зависит от дистанции до объекта, то его величина будет больше, чем у далеких звезд при равных исходных данных. Значения собственных движений для этой звезды согласуются в пределах СКО как по каталогу Ніррагсов, так и по Gaia. Звезды, для которых различия в положениях на Рис. 4.5 превосходят СКО, приведены в Таблице 4.4.

LIID	$\mu_{\alpha}$ , TGAS	$\mu_{\alpha}$ , HIP	$\Delta \mu_{\alpha}$	μ <sub>δ</sub> , TGAS	$\mu_{\delta}$ , HIP	$\Delta \mu_{\delta}$	Комантарий
піг		коментарии					
21295	$-14.64 \pm 0.06$	$-15.58{\pm}1.21$	0.94	$-5.67 \pm 0.04$	$-7.77 \pm 1.03$	2.10	
36827	$-80.29 \pm 0.09$	$-83.68 \pm 1.56$	3.39	-42.97±0.06	-43.15±0.81	0.18	переменная типа BY Dra
43670	14.45±0.11	10.51±2.20	3.94	$-5.04 \pm 0.06$	-6.53±1.14	1.49	переменная типа BY Dra
59496	$97.82 \pm 0.06$	$101.96 \pm 0.97$	4.14	$9.77 {\pm} 0.06$	20.26±1.01	10.49	
93179	0.45±0.03	0.94±0.72	0.49	-48.31±0.02	$-51.42 \pm 0.58$	3.11	переменная типа alpha2 CVn

Таблица 4.4. Звезды, для которых разности компонент собственных движений по Gaia и Hipparcos превышают СКО.

В ее колонках даны номера Hipparcos, компоненты собственных движений с ошибками из Hipparcos и Gaia (TGAS). В последней колонке присутствуют комментарии. Значения Δμ<sub>α</sub> и Δμ<sub>δ</sub> (в 4-й и 6-й колонках

соответственно) представляют собой соответствующие разности между значениями μ<sub>α</sub> и μ<sub>δ</sub> из Hipparcos и Gaia.

Значения параллаксов по TGAS и Hipparcos также хорошо согласуются. Их сравнение отображено на Рис. 4.6, где видно, что практически все точки в пределах ошибок укладываются на диагональ. Ранее отмечалась проблема определений расстояний в Hipparcos на интервале 7–10 мсд, [92]. Интересно, что наш материал также показывает локальное увеличение разброса точек на этом диапазоне значений. На Рис. 4.6 показан весь интервал параллаксов (левая панель) и отдельно интервал для далеких звезд (правая панель). Область с наибольшим разбросом точек: 6–10 мсд, около 25 мсд (правая панель) и 40– 50 мсд (левая панель). Предположительно, в проекте Hipparcos для определения параллаксов использовалась такая модель или способ обработки, который на определенных дистанциях не точен. В Gaia в зависимости от расстояний брались разные модели.



Рис. 4.5. Сравнение компонентов собственных движений по каталогам Gaia и Hipparcos для звезд потока БМ из нашей выборки, для  $\mu_{\alpha}$  (левая панель) и для  $\mu_{\delta}$  (правая панель).



Рис. 4.6. Сравнение параллаксов по Gaia и Hipparcos. Весь интервал (левая панель), область далеких звезд (правая панель).

Так как лучевых скоростей в TGAS не представлено, и они появляются только во втором выпуске Gaia, для получения данных о полном движении в пространстве было взято два набора лучевых скоростей: из каталога Duflot et al. [70] и значения из SIMBAD [200], отобранные по наиболее современным и точным публикацям. Для измерений Vr в [70] (определенных с помощью объективной призмы) величины ошибок не приводятся. В Табл. 4.5, которая содержит значения лучевых скоростей, в этом случае дана единая для всех средняя по каталогу ошибка  $\sigma_{Vr} = 2$  км/с. Эти два источника данных о лучевых скоростях сравнены на Рис. 4.7.



Рис. 4.7. Сравнение лучевых скоростей из Табл. 4.5. Старые Vr взяты из [70], новые – из SIMBAD [200].

Для большинства звезд значения Vr согласуются в пределах ошибок. Как видно, сравнение величин лучевых скоростей по каталогу Galli et al. [94], использованных в Chupina et al. [46], с измерениями SIMBAD [200] показало, что замена старых измерений на современные не меняет картины распределения звезд по группам. Точки для HIP 61946 и HIP 29884 расположены вне пределов СКО и находятся внизу, под диагональю. По данным SIMBAD [200] не выявлено каких-либо особенностей для этих звезд, которые помогли бы помочь понять причины этих несовпадений. Отметим лишь, что HIP 29884 – быстровращающаяся звезда с Vsin i = 220 км/с [200], что могло повлиять на точность измерения ее лучевой скорости.

Величина лучевой скорости влияет на положение звезды на диаграмме апексов. Апекс звезды показывает нам направление пространственной скорости на небесной сфере. Движения звезд скопления, обычно, направлены в одну, достаточно узкую область небесной сферы, с небольшим разбросом относительно некого центрального значения. Иногда некоторые звезды скопления еще дополнительно разбиваются на несколько обособленных плотных групп, как в случае с БМ [46], но все же, в целом, они остаются достаточно кучной группой, в отличие от звезд фона, кинематика которых более разнообразна. Метод AD-диаграмм хорошо позволяет выявить детали внутренних движений звезд в скоплении.

Таблица 4.5.	Индивидуа.	льные апе	ксы	звезд,	рассчитанные	по	параметрам и
Hipparcos и л	учевым скор	оостям из	[70] 1	и совр	еменным данні	ым.	

LID		Vr из [70]			Vr по современным публикациям			Uanauuu Vr	
піг	1, 11K	А, град	D, град	Vr, км/с	А, град	D, град	Vr, км/с	источник ит	
Ядро									
61946	23.22	293.6888	-21.7228	-6.3±2	301.0055	-29.9072	-9.95±0.27	[205]	
	Группа 1								
29884	72.15	335.3871	-10.393	-8.0±2	327.9459	-17.9694	-12±1.00	[98]	
35628	25.58	327.5409	-19.493	-8.9±2	327.4014	-19.9325	-8.5±0.90	[98]	
36827	24.80	337.466	-15.2518	-9.7±2	337.689	-15.3467	-9.62±0.09	[206]	
75342	54.95	327.5839	-19.9595	-2.2±2	345.7203	-18.0741	-0.773±1.71	[128]	
	Группа 2								
954	128.04	272.9172	-29.3598	-1.8±2	271.2792	-29.5493	-2.38±0.33	[40]	
38747	48.33	270.7768	-23.1541	-8.1±2	270.6451	-23.2833	$-8.002 \pm 0.01$	[206]	
48331	11.15	282.5253	-18.5538	-9.6±2	282.4478	-18.6699	-9.51±0.00	[206]	
59152	39.57	273.7922	-33.3693	-5.5±2	275.4727	-33.7344	$-6.2 \pm 0.80$	[98]	
Группа 3									
56154	64.27	292.5792	-54.4587	-1.8±2	292.5792	-54.4587	$-1.8 \pm 1.00$	[98]	
50061	92.59	284.2264	-42.2812	-7.0±2	284.195	-42.2981	-6.99±0.22	[40]	

На Рис. 4.8 представлена AD-диаграмма, построенная по параметрам из Ніррагсоs. Астрометрические данные для вычисления координат A и D взяты из Табл. 4.3, лучевые скорости из Табл. 4.5: Vr из [70] и Vr по современным публикациям из [200], соответственно. На Рис. 4.8 также показаны эллипсы ошибок. Размеры осей эллипсов определяются величиной ошибки лучевой скорости (большая ось) и погрещностями измерения астрометрических параметров (малая ось) [237].



Рис. 4.8. Положения апексов звезд БМ. Данные астрометрии взяты из Ніррагсоs, лучевые скорости: каталог [70] – точки; SIMBAD [200] – косые крестики (Табл. 4.5). Большие прямые крестики (размеры перекладин равны СКО) – положения средних апексов групп и ядра (Табл. 4.6). Также эллипсы ошибок определения значения апекса отмечены сплошной линией для новых данных [200] и точечным контуром – для старых [70].

Размеры осей эллипсов на Рис. 4.8 тем больше, чем меньше точность измерений. Вследствие больших величин ошибок  $\sigma_{Vr}$  эллипсы для старых Vr [70] более вытянуты (точечный контур), чем для новых из [200] (сплошная линия). Малые оси эллипсов в обоих случаях одинаковы, поскольку, как уже говорилось, данные астрометрии в обоих случаях взяты из Hipparcos. В Табл. 4.6 приведены средние положения апексов групп и ядра, полученные по нашей выборке. Как видно на Рис. 4.8, положения точек на AD-диаграмме для старых и новых Vr совпадают в пределах СКО. Исключения – HIP 61946 и HIP 29884, для которых новые лучевые скорости значительно отличаются от старых (Рис. 4.8 и Табл. 4.5). Разброс точек вдоль оси A превосходит разброс вдоль оси D (Рис. 4.8). Этот эффект, как уже говорилось, обусловлен влиянием ошибок лучевых скоростей, [237]. Дополнительно производился поиск лучевых скоростей в каталоге RAVE DR5 [128], но он дал измерения для лишь одной звезды – HIP 75342.

	А	$\sigma_{\rm A}$	D	$\sigma_{\rm D}$	Число звезд для
		Град	цусы		определения СКО
Группа 1	341.47	9.89	-12.59	6.09	13
Группа 2	267.34	10.15	-30.43	6.47	12
Группа 3	283.75	6.70	-51.35	6.86	5
Ядро	300.58	3.56	-29.21	3.97	5

Таблица 4.6. Средние положения апексов групп и ядра.

Была также построена диаграмма апексов для данных Gaia с дополнением лучевыми скоростями по наиболее свежим источникам [200]. Высокоточные измерения астрометрических параметров, содержащиеся в данном каталоге – хороший тест для проверки ранее полученных результатов.

В Таблице 4.7 приведены положения апексов, определенных: а) по астрометрии Hipparcos и старым Vr [70] и б) по астрометрии Gaia и новым Vr из SIMBAD [200]. AD-диаграмма по данным а) и б) показана на Рисунке 4.9. Видно, что новые положения точек, располагаясь внутри областей потока БМ, не противоречат полученным ранее результатам. Наибольшее отличие в положениях старого и нового значения апекса на Рис. 4.9 (около 3°, Табл. 4.8) наблюдается для HIP 36827. Эта звезда – переменная типа BY Dra [200] с необычно большими разностями компонентов собственного движения на Рис. 4.5 (Табл. 4.5).

HIP	HIP + V	/r из [200]	Gaia + Vr по современным публикациям					
Номер	А	D	А	D				
-	Градусы							
		Ядро						
51814	298.0506	-26.17701						
53910	301.8287	-29.84371						
58001	301.5973	-30.86298						
61946	293.6888	-21.72277	293.6521	-22.10351				
62956	301.7392	-30.94903						
Группа 1								
4520	358.4648	-2.27271						
7906	343.9594	-10.21447						
8588	338.2331	-10.43898						

Таблица 4.7. Индивидуальные апексы звезд по данным Hipparcos и Gaia
	HIP + V	/r из [200]	Gaia + Vr по современным							
HIP			публ	икациям						
Номер	A		A	D						
20004	225 2071									
29884	335.38/1	-10.39303	336.0439	-9.76334						
35628	327.5409	-19.49303	327.3147	-19.30940						
36827	337.466	-15.25175	334.7613	-14.77030						
64078	340.5282	-12.46548								
66200	337.9686	-23.58168								
71759	336.9003	-19.77974								
75342	327.5839	-19.95945	323.5218	-20.12937						
77163	358.6376	-8.56689								
109577	329.2012	-8.50364								
116354	336.8974	-9.42344								
Группа 2										
954	272.9172	-29.35984	272.8784	-29.37554						
1473	269.6006	-40.67591								
3231	257.7982	-29.52141								
13244	277.7128	-21.80558								
13717	256.542	-31.61938								
38747	270.7768	-23.15413	270.2014	-22.76104						
48331	282.5253	-18.55378	282.3422	-18.67720						
59152	273.7922	-33.36932	272.8827	-33.06071						
59199	249.2628	-29.28332								
80337	274.9908	-33.99162								
102395	256.2824	-37.93988								
102978	267.5123	-30.07533								
Группа 3										
3909	299.03	-45.98114								
36425	287.4783	-57.43864								
56154	292.5792	-54.45865	293.2353	-54.45354						
50061	284.2264	-42.28116	283.129	-43.04957						
62103	279.0569	-57.17130								



Рис.4.9. AD-диаграмма по астрометрии Hipparcos и «старым» Vr [70] (полые кружки) и по астрометрии Gaia и новым Vr из SIMBAD [200](крестики). Овалами показаны области групп и ядра.

С выходом первой редакции каталога Gaia (Gaia DR1 TGAS – примерно 2.5 млн. звезд по всему небу) и нового релиза каталога RAVE появилась возможность получения дополнительной информации о членах потока БМ.

Ядро потока Большая Медведица находится в северном полушарии и исторически сложилось так, что большая часть исследований проводилась из этой области. Каталог RAVE DR5 охватывает в основном южное полушарие, а так как мы находимся внутри БМ, то в южной части неба также должны находиться ее члены.

Возникает множество проблем для выделения звезд потока БМ, движущихся в одном направлении с множеством звезд поля (возможно из-за того, что апексы потока и Солнца расположены в сходных направлениях). Отчасти этим фактором объясняется многошаговая система применения различных критериев отбора, которые будут описаны здесь. Как уже говорилось, использовался каталог TGAS с лучевыми скоростями RAVE DR5. Первоначально, для сокращения объема данных, введены два простых ограничения:  $|Vr| \le 500$  км/с и  $0 \le r \le 500$  пк. В случае нескольких значений лучевой скорости выбиралось измерение с минимальной относительной ошибкой min( $\sigma_{Vr}/Vr$ ). В результате на первом шаге в нашем распоряжении имелось 96 313 звезд.

Следующий шаг – ограничение по пространственным координатам X, Y, Z. Границы области, занимаемой БМ в пространстве, взяты из [46]: X от –170 до 170 пк; Y от –100 до 150 пк; Z от –120 до 170 пк. По этим критериям отобрано 13 812 звезд. Направления осей такие же, как описано в п.3.1.3.

При выборе звезд по компонентам пространственной скорости U, V, W (ось U – направлена к антицентру Галактики, V – на 1 = 180° и W – к Северному полюсу Галактики) приделы взяты из [123]: U от –16.3 до 52.4 км/с; V от –16.5 до 14.2 км/с; W от –41.8 до 11.4 км/с. После этого шага осталось 3315 звезд. На следующем этапе отобраны 2716 звезд по критерию –23.5  $\leq$ Vr  $\leq$ 20.0 км/с (на основании [46], [123]). Для выделения звезд с сонаправленными векторами пространственных скоростей было использовано условие  $\lambda$  < 60°, где  $\lambda$  – угловое расстояние индивидуального апекса звезды от апекса БМ. Максимальное отклонение 60° определено ранее по списку звезд Табл. 7 из работы [46]. Координаты апекса БМ брались равными A<sub>0</sub> = 303.1°, D<sub>0</sub> = –34.9° [46]. После применения этого ограничения выборка уменьшилась до 1351 звезды.

Кроме пространственно-кинематических критериев важно отобрать звезды по значению возраста, так как поток, занимая столь обширное пространство, перемежается и попавшими в него звездами поля. Звезды одного возраста ложатся на соответствующую изохрону, которая отображает теоретически рассчитанное положение звезд родившихся в одно время, но имеющие разные массы на диаграмме Герцшпрунга-Рассела. Чтобы примененить диаграмму Герцшпрунга-Рассела для отбора звезд необходимо сравнить наблюдаемое распределение «цвет-звездная величина» с выбранной системой изохрон.

111



Рис.4.10. Диаграмма «цвет – абсолютная звездная величина» для 709 звезд нашей выборки. Показаны изохроны для различных возрастов: 600 млн. лет – черная линия, 400 млн. лет – пурпурная, 200 млн. лет – голубая.

Нами взята падуанская система изохрон PARSEC [162]. Выбраны изохроны со стандартным для БМ значением содержания тяжелых элементов Z = 0.02; диапазон возрастов рассмотрен из [126] – 200 млн. лет и [123] – 500  $\pm$  100 млн. лет. Изохроны построены в фотометрической системе Джонсона UBV, где по осям:  $M_V$  – абсолютная звездная величина,  $(B-V)_0$  – показатель цвета.

В нашем распоряжении были звездные величины VT, ВТ и цвета в системе Tycho-2 [107]. Для их перевода в систему Джонсона использовались формулы перехода из раздела 1.3 работы [81] с использованием уравнений из [16]. Значение показателя цвета вычислялось по формуле  $(B-V)_0 = (B-V) - E(B-V)$ , где  $E(B-V) = A_V/R_V$ ,  $R_V = 3.0$ . Межзвездное покраснение  $A_V$  определялась для каждой звезды по [19]. В случаях отсутствия данных об  $A_V$  в каталоге RAVE DR5 его значение принималось равным 1.9 звездных величин на кпк. Абсолютные величины найдены по формуле  $M_V = V + 5 + 5 \lg(\varpi) - A_V$ . Звезды нашей выборки расположены на интервале V от 9<sup>m</sup> до 14<sup>m</sup>.

На Рис. 4.10 представлена диаграмма «цвет – абсолютная звездная величина» и изохроны для нескольких значений возрастов, чтобы точнее определить, на какую из них звезды лучше ложатся. Как было указано выше, диапазон определения возрастов для БМ колеблется от 200 до примерно 600 млн. лет. По этой причине было взято 3 изохроны с возрастами 200, 400 и 600 млн. лет (голубая, пурпурная и черная линия на Рис. 4.10, соответственно). К сожалению, по имевшемовся списку и с доступным качеством фотометрии определить возраст сложно, так как в выборку не попали звезды, проэволюционировавшие дальше линии главной последовательности. Поэтому были взяты все звезды, которые в пределах ошибок ложились на данные изохроны (бары ошибок на Рис. 4.10 отсутствуют из-за возникновения нечитаемости данных при их нанесении на график с таким количеством объектов) или попадали в область неразрешенных двойных (+0.75<sup>m</sup>) на тех же условиях. Значения ошибок брались из Тусhо-2 [107]. Диаграмма на Рис. 4.10 позволила отобрать 709 звезд.

Так как звездные скопления и потоки рождаются из одного облака, то их члены имеют примерно одинаковый химический состав. К сожалению, данных о химическом составе звезд обычно немного и редкие каталоги содержат такую информацию. Однако данные RAVE DR5 [128] включает информацию о содержании тяжелых элементов в атмосферах звезд. Спектры звезд были получены на спектрографе, способным одновременно наблюдать множество объектов (с полем зрения 6°), который был установлен на 1.2-метровом телескопе Шмидта Австралийской астрономической обсерватории (AAO). Данный инструмент был сделан близким к спектральному диапазону спектрометра Gaia и имеет эффективное разрешение  $R = \lambda/\Delta\lambda \sim 7500$ . Поэтому, данные в каталоге о содержании Fe, Mg, Al, Si, Ti, Ni (определенные относительно водорода), к сожалению, приведены со значительными ошибками от 0.17 dex для Mg, Al и Ti; до 0.3 dex для Ti и Ni; и 0.23 dex для Fe. Однако даже при такой точности мы можем отбросить звезды, расположенные вне пределов содержаний химических элементов, характерных для звезд БМ.

Эти оценки сделаны следующим образом. Tabernero et al. [211] использовали данные о химическом составе в сочетании с отбором по компонентам пространственной скорости U, V и W. Критерии химического состава Tabernero et al. [211] построены на основе [3, 108, 136]. Таким образом, по 16 звездам из [211] были определены интервалы, в которые должно попасть значения соответствующих химических элементов для выбираемых звезд. Эти интервалы в данном случае выбраны таковыми: [Fe/H] от -0.13 до 0.13; [Mg/H] от -0.17 до 0.075; [Al/H] от -0.12 до 0.115; [Si/H] от -0.073 до 0.105; [Ti/H] от -0.077 до 0.12; [Ni/H] от -0.14 до 0.083 (критерии отбора по химических элементов для одной и той же звезды. Были отобраны звезды, у которых хотя бы значение одного измерения для конкретного элемента попадает в определенный для него интервал. В целом, все рассмотренные содержания для данной звезды должны попадать в свой диапазон. Этот подход обоснован низкой точностью спектральных данных каталога RAVE DR5.

Из 709 звезд, оставшихся на предыдущем шаге, для 593 найдены данные о значениях содержания перечисленных химических элементов. Из них 229 звезд удовлетворяют критерию для [Fe/H]. В том числе, для 27 звезд имеется только [Fe/H]. Для 61 звезды с [Fe/H] имеются еще измерения [Mg/H], [Al/H], [Si/H] или [Ni/H], попадающие в указанные выше диапазоны (данных по измерениям содержания других элементов не найдено). Далее, 70 звезд попали в выбранные интервалы по [Fe/H] и еще двум измерениям, 45 – по [Fe/H] и еще трем, 23 звезды – по [Fe/H] и еще четырем. Только три звезды, у которых имеется информация по содержанию всех шести химических элементов (включая [Fe/H]) удовлетворяют нашим условиям (Табл. 3.9). Проверка показала, что эти звезды к составу БМ отнесены впервые. Для сравнения брались списки звезд БМ из статей [11, 73, 76, 95, 108, 123, 124, 144, 156, 159, 180, 197, 203, 209].

Колонки Таблицы 4.8 содержат номер TGAS, координаты из Gaia, значения индивидуального апекса звезды А и D, параллакс, компоненты

собственного движения и их ошибки из Gaia, лучевую скорость с ошибкой, содержание химических элементов из RAVE DR5. Жирным шрифтом выделены содержания химических элементов, попадающие в диапазоны фильтрации.

Таблица.4.8. Звезды	Gaia, прошедшие	все критерии	отбора.
---------------------	-----------------	--------------	---------

TGAS	4349305401162869248	3568397574141437824	6269791540714113664
RA,град	242.775	177.94	215.51
DEC,град	-6.53599	-16.4103	-27.4073
А,град	319.99	317.241	261.668
D,град	-17.4357	-61.5193	-61.5194
ϖ,мсд	3.02	7.31	5.03
σ <sub>ω</sub> ,мсд	0.33	0.33	0.5
μ <sub>α</sub> ,мсд/год	4.348	9.845	9.395
σ <sub>µα</sub> ,мсд/год	0.903	0.756	1.535
μ <sub>δ</sub> ,мсд/год	13.044	-29.929	-17.162
σ <sub>µδ</sub> ,мсд/год	0.578	0.308	0.587
Vr,км/c	0.232	-2.022	17.965
σ <sub>Vr</sub> ,км/с	0.84	0.751	1.435
[Mg/H]	-0.25, <b>-0.17,-0.11</b> ,	<b>0.04</b> ,0.17,0.14,0.15,	0.07,-0.09,-0.05,
	<b>-0.11,-0.08</b> ,-0.19	0.15,0.18,0.22	-0.33,-0.18
[Al/H]	-0.25, <b>-0.1</b> ,-0.27,	0.17,0.24,0.15, <b>0.04</b> ,	<b>-0.03,</b> -0.27,-0.15,
	-0.15,-0.13,-0.15	0.06,0.02,-0.06	-0.31
[Si/H]	-0.18, <b>-0.01</b> ,-0.08,	0.12,0.26,0.2, <b>0.11</b> ,0.16,	0.18, <b>0.11</b> ,0.28,0.32,
	0.03,0.04,-0.05	0.15,0.13	-0.07
[Ti/H]	<b>0.01,</b> 0.14,0.27,0.17,	<b>0.08</b> ,-0.22,0.21, <b>-0.04</b> ,	-0.19, <b>0.07</b> ,-0.1, <b>0.1</b>
	0.4,0.22	- <b>0.05</b> ,0.23,- <b>0.0</b> 7	
[Fe/H]	-0.1,-0.01,0.04,	-0.08,0.09,0.02,-0.04,	-0.08,-0.09,0.07,
	0.03,0.09,-0.04	-0.06,-0.06,-0.04	-0.14,-0.31
[Ni/H]	<b>0.07</b> ,0.42,0.34	<b>0.07</b> ,0.19, <b>-0.06</b>	0.33, <b>0</b>

Применив критерии отбора по пространственным координатам и скоростям, лучевым скоростям, по диаграмме «цвет – абсалютная звездная величина», а также ограничения по [Fe/H], [Mg/H], [Al/H], [Si/H], [Ti/H], [Ni/H], мы сокращали списки звезд на каждом из указанных этапов. Все условия отбора прошли лишь три звезды, данные о которых приведены в Таблице 4.8. Положения на AD-диаграмме этих звезд показано на Рис. 4.11.

Аналогичный результат получен van Leeuwen et al. [92], где поиск слабых членов БМ осуществлен путем сопоставления собственных движений с локальной проекцией пространственной скорости группы. В [92] также найдены три звезды-кандидата в состав БМ. Но номера их по какому-либо каталогу или координаты не приведены, что не позволило сделать сравнение. Отметим, что число вновь обнаруженных звезд потока БМ за последние 60 лет практически не изменилось [224]. Новые данные по структуре потока БМ возможно получить с использованием каталога Gaia DR2 [117] с более полным объемом звезд и измерений для них, включая лучевые скорости. Однако в [117] нет информации о химическом составе и соответственно нет возможности использовать отбор по содержаниям химических элементов.



Рис.4.11. AD-диаграмма для звезд из Таблицы 4.8. Овалами показаны области групп и ядра потока. Фиолетовые точки – положения трех звезд, оставшихся после применения всех критериев.



Рис. 4.12. Кандидаты в члены потока скопления и звезды короны с эллипсами ошибок из [46] на AD-диаграмме для звезд короны.

Обнаруженные 3 звезды являются кандидатами в члены потока, но их сложно отнести к какой-либо из указанных ранее групп. Возможно, что звезду Gaia DR1 4349305401162869248 можно с натяжкой приписать к группе 1, остальные звезды, скорее всего, могут являться членами короны потока (Рис. 4.12). В целом заметно, что с использованием новых данных картина не изменилась. Как показало наше исследование, видимые отличия положений апексов по Hipparcos и Gaia носят случайный характер (Табл. 4.7 и Рис. 4.9). В целом полуенная по Gaia структура БМ подтверждает результаты [46]: звезды не выходят за пределы тех групп, в которых они были ранее обнаружены.

Что в итоге можно сказать о происхождении кинематических неоднородностей внутри РЗС? В звездных системах с низкой дисперсией скоростей взаимная гравитация могла бы привести к возникновению парных и множественных корреляций положений и скоростей звезд. Современные вычисления приводят к разнообразным проявлениям неустойчивости в

звездных скоплениях. Расчеты показывают, что звезды в скоплениях могут образовывать группы ИЛИ потоки с близкими кинематическими И динамическими параметрами (см. работы Данилова и Лескова [238, 239, 240, 241]). Причинами образования таких групп на периферии скопления могут быть колебания силового поля [240, 241]. Рассмотрение флуктуаций фазовой плотности и их спектров позволяет обобщить влияние неустойчивости на характеристики движения звездных групп в скоплении. Этот метод позволяет рассмотреть вопрос о формировании волн плотности и звездных групп с различными кинематическими и динамическими свойствами [54, 55, 56]. Звезды могут объединяться также при возмущениях, связанных с прохождением плотного диска или гигантских молекулярных облаков [15]. Группы внутри потока БМ обладают дисперсией меньшей, чем сам поток в целом, однако эта дисперсия больше, чем в РЗС. Возможно, что эти кинематические образования возникли как несостоявшиеся звездные скопления, развалившееся после выметания яркими звездами газа. Таким образом, поток БМ может являться звездной ассоциацией, в которой формировалось несколько скоплений, но ни одно не выжило после потери газа.

## 4.3. Исследование скопления NGC 2158

NGC 2158 (OCL 468, Lund 206, Melotte 40) – рассеянное звездное скопление, расположенное в направлении антицентра Галактики в созвездии Близнецов ( $\alpha$ =91.8620°,  $\delta$ =+24.0990°) на расстоянии почти 5 кпк. Однако эта звездная группа находится достаточно высоко относительно плоскости Галактики (примерно Z = 110 пк [35]), что делает ее вполне удобной для изучения, несмотря на большую удаленность от Солнца. Также скопление имеет малую металличность ([Fe/H]=-0.46 [154]). Из-за своего расположения, низкой металличности и возраста, а также большого количества звезд в нем, первоначально скопление было принято за шаровое, однако, из-за диффузного ядра в итоге было классифицировано как РЗС (Shapley [196]). Кроме того, NGC 2158 во многом напоминает густонаселенные РЗС среднего возраста в

Больших Магеллановых Облаках [52], какие в нашей Галактике встречаются не так уж часто.

Несмотря на то, что скопление входит во многие каталоги и не раз наблюдалось, к тому же имеет достаточно интересные физические свойства, эта группа звезд не является популярным объектом для исследования, во многом из-за своей удаленности. Первое детальное его изучение было проведено Arp & Cuffey, 1962 [6], также за несколько десятилетий был проведен еще ряд фотометрических исследований (см. напр., [109], [103], [52], [35]). Carraro et al. [35] определили расстояние до скопления в 3600±400 пк и возраст ~2 млрд. лет. Они также предположили, что NGC 2158 относится к старой популяции тонкого диска. Этот факт делает скопление интересным как с точки зрения теории эволюции Галактики, так и звездной эволюции. Самым свежим исследованием данного скопления была статья Cantat-Gaudin et al. [34], однако область, которую оно охватывает, показалась нам недостаточной и не включающей дополнительных возможных членов скопления, что могло повлиять на определение характеристик этой звездной группы. Поэтому мы решили получить наиболее полный каталог звезд скопления и, с учетом вероятности их принадлежности, определить параметры NGC 2158 наиболее точно.

#### 4.3.1. Выбор данных для определения параметров скопления

Для того чтобы получить параметры скопления и изучить его физические свойства, были использованы данные Gaia DR2, так как они лучше всего подходят для глубокого изучения кинематики и динамики скопления благодаря пятипараметрическому астрометрическому решению и обладают на сегодняшний момент самой высокой точностью. Мы выбрали для этой цели звезды с ошибкой собственных движений не более чем 1.0 мсд/год, и ошибкой параллакса не более 1.0 мсд. В итоге были отобраны около 800 звезд с вероятностью принадлежности, основанной на собственных движениях Рµ> 90%. Эти же звезды использовались для расчета среднего параллакса, средних собственных движений скопления и всех остальных параметров.

Преимущество нашей выборки состоит в том, что она охватывает на небе более широкий регион NGC 2158 (~25 угловых минут от центра скопления) по сравнению с каталогом Cantat-Gaudin et al.[34] (~10 угловых минут от центра скопления), что позволяет более детально исследовать корону скопления и границы его протяженности.

К сожалению, из-за большой удаленности скопления от наблюдателя диаграмма «цвет – звездная величина» для звезд, отобранных по собственным движениям, выглядит очень размытой, поэтому выбор членов скопления по ней не осуществлялся (см. Рис. 4.13), и принадлежность звезд основывалась большей частью на кинематике.



Рис. 4.13. Диаграмма цвет – величина для звезд с вероятностью членства по собственным движениям Рµ ≥ 90%.

### 4.3.2. Возраст и расстояние

Для NGC 2158 существуют несколько противоречивых оценок расстояния от Солнца. Кроме указанного выше расстояния в 3.6 кпк, в каталоге Kharchenko et al. [121] имеются данные, что NGC 2158 удалено еще больше и находится на 4770 пк. По современным данным Gaia DR2 также получено значение – 4535.1 пк [34].

Чтобы определить возраст, расстояние и металличность NGC 2158 в данном исследовании были взяты теоретические изохроны от Pastorelli et al. [164] и наложены на диаграмму «цвет – звездная величина» для звезд скопления (см. Рис. 4.14), построенную без коррекции по параллаксу, так как при такой удаленности она может вносить дополнительную ошибку. В результате подбора наиболее подходящей для скопления оказалась изохрона с металличностью Z = 0.004 и возрастом lg  $t = 9.38 \pm 0.04$  млрд. лет, что подтверждает тот факт, что NGC 2158 является старым рассеянным скоплением. Полученный возраст находится между значениями в 2 и 3 млрд. лет, указанными ранее в статьях Сагтаго et al. [35] и Kharchenko et al. [114].

Данные Gaia DR2 также содержат значения поглощения в полосе  $G(A_G)$ для некоторых звезд. С использованием выбранной изохроны для скопления был определен модуль расстояния с учетом медианного значения  $A_G = 0.98$  по наиболее вероятным звездам скопления. Это расстояние, выведенное здесь фотометрическим методом, составляет 4.69±0.22 кпк, что хорошо согласуется с выводами, приведенными в Cantat-Gaudin et al. [34] и Kharchenko et al. [121]. Значения расстояния до звезд скопления (в парсеках) для сравнения с полученными в работе результатами брались из каталога Bailer-Jones et al. [10].



Рис. 4.14. На графике представлены теоретические изохроны с металличностью Z = 0.004 различного возраста (lg t = 9.34 (красный), 9.38 (зеленый), 9.42 млрд. лет (синий)), подобранные визуально.

### 4.3.3. Апекс скопления

По концентрации точек на диаграмме апексов, построение которой подробно описано в статье [45], можно выделить группы звезд с общей кинематикой. Движение звезд в скоплении, как правило, характеризуется единым направлением.

Чтобы определить апекс звезды, необходимо знать ее расстояние от Солнца, собственное движение и лучевую скорость. В каталоге Gaia DR2 нашлось всего 12 звезд, включающих все необходимые параметры. Чтобы расширить выборку звезд, имеющих измерения лучевых скоростей, было проведено отождествление наиболее вероятных членов скопления со звездами каталога LAMOST DR5[137]. В результате были обнаружены еще 13 звезд, имеющих лучевые скорости. Особенностью каталога LAMOST является то, что для некоторых объектов в нем существует не одно, а несколько измерений лучевой скорости. В этом случае нами выбирались значение с наименьшей относительной ошибкой. В итоговом списке получилось 25 звезд (лучевые скорости: 13 – из LAMOST DR5, 12 – из Gaia DR2) с полным набором астрометрических параметров. Чтобы проверить, существует ЛИ систематическая разница между данными из каталогов LAMOST и Gaia DR2, было произведено сравнение лучевой скорости для более 8000 звезд в радиусе NGC 2158. 5 градусов вокруг центра В результате обнаружено систематическое различие в ~5 км/с между этими двумя выборками. Это значение также подтверждается аналогичным исследованием, проведенным Du et al. [69]. Поэтому была произведена поправка для LAMOST на указанное выше отличие (данные LAMOST скорректированы на +5 км/с), чтобы привести величин, Gaia. параметры к уровню полученных В Скорректированные результаты приведены в Таблице 4.9. Столбцы Таблицы 4.9 содержат: номер звезды ПО нашему каталогу (ID), вероятность принадлежности к скоплению (Рµ), экваториальные координаты (α, δ), координаты апекса (A, D), расстояние Dist (нижняя и верхняя границы взяты из Bailer-Jones et al. [10]), лучевая скорость и ее ошибка (Vr,  $\sigma_{Vr}$ ) и компоненты собственного движения ( $\mu_{\alpha}$ ,  $\mu_{\delta}$ ) с их ошибками ( $\sigma_{\mu\alpha}$ ,  $\sigma_{\mu\delta}$ ).

Таблица 4.9. Данные для 25 звезд, для которых были получены апексы. Для звезд, отмеченных звездочкой (\*) в столбце ID, данные о Vr выбраны из каталога LAMOST DR5 (скорректированные на +5 км/с). Остальные измерения Vr взяты из Gaia DR2.

ID	Ρμ	α	δ	А	D	Dist	Верхняя граница	Нижняя граница	Vr	$\sigma_{Vr}$	μα	$\sigma_{\mulpha}$	$\mu_{\delta}$	$\sigma_{\mu\delta}$
	%	J2000	J2000	0	0	пк	пк	пк	км/с	км/с	мсд/год	мсд/год	мсд/год	мсд/год
3966	94.61	92.14	23.94	90.98	-26.51	1795.93	1664.22	1949.68	13.36	1.53	-0.045	0.074	-1.901	0.068
4943	90.81	91.86	24.45	86.18	-40.13	4060.15	3448.68	4901.46	16.21	0.46	-0.150	0.078	-1.784	0.064
1116	93.94	91.77	24.07	91.36	-35.82	3939.93	3514.36	4474.86	22.39	3.85	-0.014	0.051	-2.068	0.042
679	97.22	91.80	24.11	87.90	-40.27	5338.48	4362.64	6732.92	23.71	0.54	-0.113	0.075	-1.960	0.062
998	97.54	91.91	24.05	85.18	-36.76	4929.57	4326.82	5707.66	24.74	3.32	-0.206	0.049	-1.910	0.041
1203	97.11	91.92	24.14	89.33	-41.25	5956.24	5143.55	7027.85	25.77	1.06	-0.075	0.043	-1.996	0.037
314	96.77	91.87	24.07	82.12	-38.04	5508.11	4769.56	6480.65	25.95	3.82	-0.290	0.051	-1.911	0.043
1708	95.26	91.71	24.10	86.04	-33.28	4227.47	3203.96	5845.99	27.11	1.71	-0.209	0.121	-2.124	0.102
383	93.29	91.87	24.07	90.21	-36.08	4732.69	3811.66	6088.30	27.54	0.36	-0.058	0.082	-2.140	0.068

ID	Рц	α	δ	А	D	Dist	Верхняя	Нижняя	Vr	σv	IJ.,	σ	II.s	<b>σ</b> s
	- 10					2150	граница	граница		0 VI	μa	υμα	1-0	- μυ
1263	92.38	91.92	24.15	88.11	-27.80	4392.33	3779.98	5213.78	29.34	0.96	-0.135	0.065	-1.804	0.055
120	97.46	91.84	24.10	85.47	-27.91	4141.82	3632.79	4802.22	31.39	2.52	-0.257	0.049	-2.059	0.041
305	96.52	91.84	24.07	85.34	-19.55	3530.39	3132.85	4035.98	33.42	3.46	-0.297	0.066	-1.911	0.061
1225*	96.93	91.88	24.17	89.58	17.81	3129.68	2749.93	3622.94	31.63	5.12	-0.110	0.063	-1.920	0.053
1509*	91.43	91.75	24.02	86.98	-39.56	4634.04	3649.69	6119.12	23.92	4.15	-0.158	0.082	-2.202	0.070
96*	94.30	91.86	24.08	82.12	-30.67	4238.62	3546.98	5213.17	28.91	3.94	-0.370	0.077	-2.064	0.068
2389*	96.62	91.94	23.91	89.59	-26.78	1847.43	1705.05	2015.02	13.76	11.46	-0.091	0.062	-1.921	0.052
607*	96.64	91.89	24.12	87.15	-26.38	3884.08	3357.91	4586.58	31.95	8.72	-0.203	0.066	-2.111	0.056
679*	97.22	91.80	24.11	87.53	-44.16	5338.48	4362.64	6732.92	19.68	3.19	-0.113	0.075	-1.960	0.062
787*	97.88	91.82	24.14	85.75	-36.10	4428.83	3780.77	5310.08	24.17	4.61	-0.200	0.061	-2.026	0.052
3029*	97.89	92.02	24.28	83.48	-40.14	4831.88	4292.76	5512.59	21.70	4.52	-0.254	0.045	-2.008	0.038
4943*	90.81	91.86	24.45	86.76	-35.35	4060.15	3448.68	4901.46	19.89	3.72	-0.150	0.078	-1.784	0.064
3688*	96.54	92.00	24.35	87.27	-43.47	4861.61	3747.84	6553.76	18.92	11.63	-0.131	0.117	-2.024	0.099
3765*	96.99	91.53	24.07	81.64	-49.67	6033.00	4439.32	8329.23	16.04	2.77	-0.230	0.114	-1.978	0.092
5394*	99.80	92.16	24.35	89.91	16.97	2388.29	1578.92	4004.46	39.03	5.33	-0.131	0.359	-0.446	0.304
1708*	95.26	91.71	24.10	86.63	-28.4	4227.47	3203.96	5845.99	32.53	3.52	-0.209	0.121	-2.124	0.102

Как видно из Таблицы 4.9, диапазон значений лучевых скоростей для звезд скопления довольно велик. Может ли это быть вызвано тем, что погрешности измерений достаточно большие? Средняя величина ошибок Vr составляет ~2 км/с для звезд Gaia DR2 и около 5.6 км/с для данных LAMOST, однако широта диапазона значений все же превышает их. Поскольку этот фактор характерен как для данных Gaia DR2, так и для данных LAMOST, то, скорее всего, этот разброс не вызван методом измерения и его общей точностью. Одной из возможных причин может быть вхождение некоторых звезд в состав двойных или кратных систем, что часто влияет на значение их лучевой скорости.

Кроме того, как видно из Таблицы 4.9, расстояния до звезд значительно различаются. Эта разница продемонстрирована на Рис. 4.15.

На Рис.4.15 AD-диаграмма для 25 звезд скопления дает нам информацию о их движении и сонаправленности векторов пространственной скорости. Измерения расстояний и лучевых скоростей содержат ошибки, достаточно ожидаемые для таких удаленных объектов. С учетом данной информации, были определены ошибки определения индивидуальных апексов звезд. Результаты показаны на Рис. 4.15.



Рис. 4.15. На AD-диаграмме показано положение индивидуальных апексов звезд, включая бары ошибок, в экваториальных координатах для NGC2158. Близость точек на графике указывает на параллельность соответствующих векторов пространственной скорости. Красная точка – среднее положение апекса скопления  $A = 87.24^{\circ} \pm 1.60^{\circ}$ ,  $D = -36.61^{\circ} \pm 5.30^{\circ}$ .

На Рис. 4.15 барами показаны ошибки определения индивидуальных апексов звезд – они велики, но не критичны для такого далекого скопления, где даже с учетом появления новых астрометрических данных Gaia, сложно добиться высокой точности.

Чтобы учесть ошибки расстояний при определении апекса скопления, была использована следующая процедура усреднения индивидуальных апексов звезд. Вклад каждой звезды в определение апекса принимается во внимание исходя из ее веса, который рассчитывался как:  $p = 1/(|D_{NGC} - D_{BJ}|)$ , где  $D_{NGC} = 4.69$  кпк (расстояние до центра скопления, определенное в данной работе), а  $D_{BJ}$  – среднее расстояние до звезды из каталога Bailer-Jones et al. [10] (см. соответствующий столбец в Таблице 4.9).



Рис. 4.16. Расстояния членов скопления от Солнца (d, пк) Bailer-Jones et al. [10] с барами ошибок (см. Таблицу 4.9) в сопоставлении с расстоянием до центра скопления. Красной пунктирной линией показано определенное нами расстояние до центра NGC 2158.

Был вычислен апекс скопления путем усреднения индивидуальных апексов звезд с учетом их веса. Его значение A = 87.24°±1.60°, D = - 36.61°±5.30° (см. Рис.4.15).

## Положения, выносимые на защиту :

- По данным Gaia DR1 определены пространственно-кинематические параметры скопления Гиады. Впервые показана эллиптичность пространственной формы скопления с большой осью ориентированной вдоль ее галактической орбиты. Форма указывает на наличие приливных шлейфов, позже обнаруженных многими авторами по данным Gaia DR2.
- Автором выполнен собственный отбор звезд, входящих в состав потока Большая Медведица, по данным Gaia DR1. Обнаружены новые кандидаты в члены потока. Подтверждена кинематическая неоднородность Большой Медведицы, состоящей из нескольких групп звезд. Предложена трактовка природы потока, как распадающейся звездной ассоциации.
- По данным каталога GAIA DR2 определены пространственнокинематические характеристики скопления NGC2158 и его возраст.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации рассмотрен ряд звездных систем (скопление, поток, ассоциация) расположенных на различных стадиях эволюции в рамках сценария, приведенного на Рис.1.1. Детально изучены строение и определены параметры выбранных объектов. В целом изученные звездные группы вписываются в соответствующие этапы принятого сценария. Рождаясь в ассоциациях, скопления быстро распадаются и постепенно превращаются в звездные потоки. Выжившие скопления остаются в пределах распавшейся родительской ассоциации. Они продолжают эволюционировать в основном под действием приливных сил Галактики. Мы выделили связь рассмотренных звездных систем с различными этапами эволюции.

На самых ранних стадиях эволюции в звездной ассоциации разрушается множество скоплений. Характерный размер ассоциации составляет 100 пк, а удаление между скоплениями около 20 пк. Расстояния между выжившими скоплениями укладываются в эту величину и, естественно, не превышают ассоциации. Поскольку такие скопления связаны обшим размер происхождением и кинематикой, то представляет интерес их поиск, исследование возможных пар среди них и детальное рассмотрение. Подобное исследование выполнено для двух скоплений – Cr 135 и UBC7. Они обладают близкими кинематическими параметрами и расположением в пространстве. Интересно, что они легко встраиваются В использованную нами эволюционную схему, что хорошо видно на Рис.5.2.

Кроме того, представляют интерес связь поток – ассоциация – скопление. В эту категорию попадают скопление и поток IC 2391. В представленном случае в ассоциации наблюдается лишь одно выжившее

128

скопление. Звезды распавшихся скоплений вероятно сформировали звездный поток – население ассоциации Аргус.

В случае скопления Гиады с возрастом ~600 млн. лет, родительская ассоциация успела превратиться в настолько вытянутый звездный поток, что его трудно выделить наблюдениями. Само же скопление Гиады, оказалось, обладает обширными шлейфами длиной до 800 пк. Такой объект также занимает свое место в нашей схеме.

Приблизительно такой же возраст, как и Гиады, имеет сложный кинематический поток Большой Медведицы. Его главной чертой, подтвержденной в диссертации, является кинематическая неоднородность. В нашей модели это уже почти полностью распавшаяся звездная ассоциация. В ее составе, скорее всего, не осталось ни одного скопления. Она могла полностью превратиться в кольцевой звездный поток, расположенный вокруг ШΓ (например, [167], [226]). Важно отметить, что подобные объекты наблюдается в других галактиках [168]. Такие потоки хорошо укладываются в схему эволюции и представляют одну из ее завершающих стадий. Существование нескольких кинематических групп звезд, или субпотоков, в составе потока БМ дает почву для более детального исследования природы этого интересного объекта.



Рис.5.1. Схема эволюции скоплений и ассоциаций с указанием места исследованных в диссертации объектов.

Самым старым объектом, рассмотренным нами, является скопление NGC 2158 возрастом около 2.5 млрд. лет. Его структура и кинематика изучена в данной работе. Однако на основе используемого списка звезд не видно каких-либо эволюционных изменений. Возможно, это объясняется тем, что наша выборка сделана в недостаточно обширной области неба. Этих данных может быть недостаточно, чтобы заметить ощутимое изменение его формы и наличие шлейфов. Вероятно также что работает эффект селекции, так как скопление расположено далеко от Солнца и велико влияние ошибок измерений параметров звезд. Интересно отметить, что скопление находится высоко над плоскостью Галактики и, возможно, процесс его распада идет замедленно относительно скоплений тонкого диска. Таким образом, на данном этапе исследований NGC 2158 не вписывается в принятый сценарий. Это говорит о необходимости расширения нашей схемы эволюции за счет учета положения скопления в галактическом пространстве. Последнее может оказывать влияние, как на время распада скопления из-за внутренних процессов, так и на особенности изменения формы под действием приливных сил Галактики.

Представленная картина, основываясь на доступном уровне данных наблюдений, носит не окончательный характер. Нам кажется важным тот факт, что она позволяет говорить о создании классификации эволюционных стадий рассеянных звездных скоплений, в основе которой находится пространственно-кинематическая связь звездных систем скопление – звездный поток – ассоциация.

Каталог космической миссии Gaia Перспективы. непрерывно совершенствуется и расширяется. Во втором квартале 2022 выходит полная версия 3-й редакции, где будет увеличено количество И точность астрометрических параметров. Число измерений лучевых скоростей возрастет в 4-5 раз и достигнет 33 млн. звезд. Это открывает широкие перспективы для продолжения нашего исследования.

# Список литературы

- Ahn C. P., Alexandroff R., Allende P. et al. The Ninth Data Release of the Sloan Digital Sky Survey: First Spectroscopic Data from the SDSS-III Baryon Oscillation Spectroscopic Survey // The Astrophysical Journal Supplement Series. – 2012. – Vol.203, Issue 2. – P. 21.
- 2. Allen C. W. Astrophysical quantities // London: University of London. 1973 P.361.
- 3. Ammler-von Eiff M., Guenther E. W. Spectroscopic properties of cool Ursa Major group members // Astronomy and Astrophysics. 2009. Vol.508. P. 677-693.
- 4. Ansdell M., Williams J. P., Manara C. F. et al. An ALMA Survey of Protoplanetary Disks in the σ Orionis Cluster // The Astronomical Journal. 2017. Vol. 153. P. 240.
- 5. Ansdell M., Haworth T. J., Williams J. P. et al. An ALMA Survey of λ Orionis Disks: From Supernovae to Planet Formation // The Astronomical Journal. 2020. Vol. 160. P. 248.
- Arp H. C., Cuffey J. The star cluster NGC 2158 // The Astrophysical Journal. 1962. Vol. 136. – P. 51-65.
- 7. Asiain R., Figueras F., Torra J. and Chen B. Detection of moving groups among early type stars // Astronomy and Astrophysics. 1999. Vol. 341. P.427-436.
- 8. Asiain R., Figueras F., Torra J. On the evolution of moving groups: an application to the Pleiades moving group // Astronomy and Astrophysics. 1999. Vol. 350. P. 434-446.
- 9. Asiain R., Figueras F., Torra J. The Pleiades Moving Group: Substructures and Evolution // Astrophysics and Space Science. 2000. Vol. 272. P.105-108.
- Bailer-Jones C. A. L., Rybizki J., Andrae R., Fouesneau M. Estimating Distance from Parallaxes. IV. Distances to 1.33 Billion Stars in Gaia Data Release 2 //Astronomy and Astrophysics. – 2018. – Vol. 156, Issue 2, article id. 58. – P.11.
- Bannister N. P., Jameson R. F. L and T dwarfs in the Hyades and Ursa Major moving groups // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters. – 2007. – Vol. 378, Issue 1. – P. L24-L28.
- 12. Bastian N., Lardo C. Multiple Stellar Populations in Globular Clusters // Annual Review of Astronomy and Astrophysics. 2018. Vol. 56. P. 83-136.
- Becky A., Goodwin S. P., Griffiths D. W., Parker R. J.. How do binary clusters form? // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2017. – Vol. 471, Issue 2. – P. 2498– 2507.
- 14. Bekki K., Beasley M. A., Forbes D. A., Couch W. J. Formation of Star Clusters in the Large Magellanic Cloud and Small Magellanic Cloud. I. Preliminary Results on Cluster

Formation from Colliding Gas Clouds // The Astrophysical Journal. – 2004. – Vol. 602, Issue 2. – P. 730-737.

- 15. Bergond G., Leon S., Guibert J. Gravitational tidal effects on galactic open clusters // Astronomy and Astrophysics. 2001. Vol. 377. P. 462-472.
- 16. Bessell M. S. The Hipparcos and Tycho Photometric System Passbands // The Publications of the Astronomical Society of the Pacific. 2000. Vol. 112, Issue 773. P.961-965.
- 17. Bhatia R. K., Hatzidimitriou, D. Binary star clusters in the Large Magellanic Cloud // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 1988. Vol. 230. P.215-221.
- 18. Bica E., Dutra C., Soares J., Barbuy B. New infrared star clusters in the Northern and Equatorial Milky Way with 2MASS// Astronomy and Astrophysics. 2003. Vol. 404. P.223-232.
- 19. BicaE., Pavani D. B., Bonatto C. J. et al. A Multi-band Catalog of 10978 Star Clusters, Associations, and Candidates in the Milky Way // The Astronomical Journal. 2019. Vol. 157. P.12.
- 20. Bonatto C., Bica, E. Hierarchical structures in the Large and Small Magellanic Clouds // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 210. Vol. 403. P.996-1008.
- Bouy H., Bertin E., Sarro L.M., et al. The Seven Sisters DANCe. I. Empirical isochrones, luminosity, and mass functions of the Pleiades cluster // Astronomy and Astrophysics. – 2015. – Vol. 577, article id.A148. – P.17.
- Bovy J. galpy: A python Library for Galactic Dynamics // The Astrophysical Journal Supplement Series. – 2015. – Vol.216, Issue 2, article id. 29. – P.27.
- 23. Bragaglia A., Sneden C., Carretta E. et al. Searching for Chemical Signatures of Multiple Stellar Populations in the Old, Massive Open Cluster NGC 6791 // The Astrophysical Journal – 2014 – Vol. 796, Issue 1, article id. 68. – P.17.
- 24. Brandt T. D., Huang C. X. The Age and Age Spread of the Praesepe and Hyades Clusters: a Consistent, ~800 Myr Picture from Rotating Stellar Models // The Astrophysical Journal. – 2015. – Vol. 807. – P.24.
- 25. Brandl B., Zinnecker H., Brandner W. The IMF in Starbursts // Star Formation 1999, Proceedings of Star Formation 1999, held in Nagoya, Japan, June 21 - 25, 1999, Editor: Nakamoto T., Nobeyama Radio Observatory. – 1999. – P.341-342.
- Bressan A., Marigo P., Girardi L., et al. PARSEC: stellar tracks and isochrones with the PAdova and TRieste Stellar Evolution Code // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2012. – Vol. 427. – P.127-145.
- Bronfman L., Nyman L.-A., May J. A CS(2-1) survey of IRAS point sources with color characteristics of ultra-compact HII regions // Astronomy and Astrophysics Supplement– 1996. – Vol.115. – P. 81.

- Brown A.G.A., Arenou F., van Leeuwen F. et al. Considerations in Making Full Use of the HIPPARCOS Catalogue //Proceedings of the ESA, 'Hipparcos' Symposium, Venice 97.ESA SP. – 1997. – Vol. 402. – P. 63–68.
- Brown A.G.A., Vallenari A., Prusti T. et al. Gaia Data Release 1. Summary of the astrometric, photometric, and survey properties // Astronomy and Astrophysics. 2016. Vol. 595, article id. A68. P.23.
- 30. Brown J. H., Burkert A., Truran J. W. On the Formation of Globular Clusters. II. Early Dynamical Evolution // The Astrophysical Journal. 1995. Vol.440. P. 666-673.
- Brucalassi A., Pasquini L., Saglia R. et al.. Search for giant planets in M67 III. Excess of hot Jupiters in dense open clusters// Astronomy and Astrophysics. – 2014. – Vol. 561, article id. L9 – P.6.
- 32. Bukowiecki Ł., Maciejewski G., Konorski P., Strobel A. Open Clusters in 2MASS Photometry. I. Structural and Basic Astrophysical Parameters // Acta Astronomica. – 2011.
  – Vol. 61, no 3. – P. 231-246.
- Cantat-Gaudin T., Jordi C., Vallenari A., et al. A Gaia DR2 view of the open cluster population in the Milky Way // Astronomy and Astrophysics. – 2018. – Vol. 618, article id. A93. – P.16.
- 34. Cantat-Gaudin T., Anders F., Castro-Ginard, A., Jordi, C. et al., Painting a portrait of the Galactic disc with its stellar clusters // Astronomy and Astrophysics. – 2020. – Vol. 640, article id. A1. – P.17.
- 35. Carraro G., Girardi L., Marigo P. The intermediate-age open cluster NGC 2158 // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2002. Vol. 332. P.705-713.
- 36. Castro-Ginard A., Jordi C., Luri X., et al. A new method for unveiling open clusters in Gaia. New nearby open clusters confirmed by DR2 // Astronomy and Astrophysics. – 2018. – Vol. 618, article id. A59. – P.18.
- 37. Castro-Ginard A., Jordi C., Luri X. et al. Hunting for open clusters in Gaia DR2: the Galactic anticentre // Astronomy and Astrophysics. 2019. Vol. 627, article id. A35. P.8.
- 38. Castro-Ginard A., Jordi C., Luri X., et al. Hunting for open clusters in Gaia DR2: 582 new open clusters in the Galactic disc // Astronomy and Astrophysics. 2020. Vol. 635, article id. A45. P.10.
- 39. Chakrabarty D. Phase space structure in the solar neighbourhood // Astronomy and Astrophysics. 2007. Vol. 467. P.145-162.
- 40. Chubak C. and Marcy G. Accurate Radial Velocities of 2284 FGKM Stars and 127 Standards // American Astronomical Society, AAS Meeting No 217, id.434.12; Bulletin of the American Astronomical Society. – 2011. – Vol. 43.
- 41. Chumack Ya.O. & Rastorguev A. S. Analysis of the structure and dynamics of the stellar tails of open star clusters // Astronomy Letters. 2006. Vol. 32 P.157-165.

- 42. Chumak Ya. O., Rastorguev A. S. Study of the nearest open clusters and the associated moving clusters by numerical simulations // Astronomy Letters. 2006. Vol. 32, Issue 7. P.446-455.
- Chumak Ya. O., Platais I., McLaughlin D. E., Rastorguev A. S. et al. Numerical simulations of tidal tails for the open cluster NGC 188 // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2010. – Vol. 402. – P. 1841-1853.
- 44. Chupina N. V., Vereshchagin, S. V. Star clusters in the Sword region in Orion. Star formation from the small to the large scale// ESLAB symposium. Edited by Favata F., Kaas A., and Wilson A. Proceedings of the 33rd ESLAB symposium on star formation from the small to the large scale, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, 2-5 November 1999 Noordwijk, The Netherlands: European Space Agency (ESA), ESA SP 445. – 2000. – P.347.
- 45. Chupina N. V., Reva V. G., Vereshchagin S. V. The geometry of stellar motions in the nucleus region of the Ursa Major kinematic group // Astronomy and Astrophysics. 2001. Vol. 371 P.115-122.
- 46. Chupina N. V., Reva V. G., Vereshchagin, S. V. Kinematic structure of the corona of the Ursa Major flow found using proper motions and radial velocities of single stars // Astronomy and Astrophysics. – 2006. – Vol. 451, Issue 3. – P.909-916.
- 47. Ciardi D. R., Crossfield I. J. M., Feinstein A. D. et al. K2-136: A Binary System in the Hyades Cluster Hosting a Neptune-sized Planet // The Astrophysical Journal. – 2018. – Vol.155, article id. A10. – P.11.
- Ciaría J. J., Kepler S. O. Wide- and narrow-band photometry of stars in a field around Collinder 135 // Publications of the Astronomical Society of the Pacific. – 1980. – Vol.92 – P. 501-513.
- Close J. L., Pittard J. M. External photoevaporation of circumstellar discs constrains the time-scale for planet formation // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2017 – Vol.469, Issue 1 – P. 1117–1130.
- 50. Conrad C., Scholz R. -D., Kharchenko N. V. et al. RAVE investigation on Galactic open clusters . II. Open cluster pairs, groups and complexes // Astronomy and Astrophysics. – 2014 – Vol. 562, article id. A54. – P.15.
- 51. Conrad, C., Scholz, R. D., Kharchenko, N. V., et al. A RAVE investigation on Galactic open clusters// Astronomy and Astrophysics. 2017 Vol. 600, article id. A106. 15 p.
- 52. Christian C. A., Heasley J. N., Jane, K. A. The Open Cluster NGC 2158 // The Astrophysical Journal. 1985. Vol.299. P.683-694.
- 53. D'Orazi V. D., Randich S. Chemical composition of the young open clusters IC 2602 and IC 2391 // Astronomy and Astrophysics. 2009. Vol. 501, Issue 2. P.553-562.
- 54. Danilov V. M., Putkov S. I. Wavenumber spectra of oscillations of open star cluster models // Astrophysical Bulletin. – 2015. – Vol.70, Issue 1. – P.71-82.

- 55. Danilov V. M., Putkov S. I. Correlations, spectra, and instability of phase-space density fluctuations in open-cluster models // Astrophysical Bulletin. – 2013. – Vol.68, Issue 2. – P. 154-168.
- 56. Danilov V. M., Putkov S. I. Smoothing of force functions and the fluctuation spectra of an open star cluster model // Astrophysical Bulletin. 2014. Vol.69, Issue 1. P.27-39.
- 57. de La Fuente Marcos R. & de La Fuente Marcos C. Double or binary: on the multiplicity of open star clusters // Astronomy and Astrophysics. 2009 Vol. 500, article id. L13. P.6.
- 58. de Grijs R., Parmentier, G. The Long-term Survival Chances of Young Massive Star Clusters // Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics. – 2007. – Vol.7, Issue 2. – P. 155-186
- 59. de Grijs R. The long-term survival chances of young massive star clusters // Astrophysics and Space Science. 2009 Vol. 324, Issue 2-4. P. 283-291.
- 60. De Silva G. M., D'Orazi V., Melo, C. et al. Search for associations containing young stars: chemical tagging IC 2391 and the Argus association // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2013. Vol.431, Issue 2. P. 1005-1018.
- De Simone R. S., Wu X., Tremaine, S. The stellar velocity distribution in the solar neighbourhood // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2004. – Vol.350, Issue 2 – P.627-643.
- Dehnen W., AJ, 115, 2384 (1998) The Distribution of Nearby Stars in Velocity Space Inferred from HIPPARCOS Data // The Astrophysical Journal. – 1998. – Vol. 115, Issue 6. – P. 2384-2396.
- 63. Dias W. S., Alessi B. S., Moitinho A. et al. New catalogue of optically visible open clusters and candidates // Astronomy and Astrophysics. 2002. Vol. 389. P. 871-873.
- 64. Dias W., S., Monteiro H., Lepine J. R. D. et al. Astrometric and photometric study of Dias 4, Dias 6, and other five open clusters using ground-based and Gaia DR2 data // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2018. Vol 481. P.3887-3901.
- 65. Dieball A& Grebel E. K. The cluster pair SL 538 / NGC 2006 (SL 537) // Astronomy and Astrophysics. 1998. Vol. 339. P. 773-781.
- 66. Diebal A., Müller H., Grebel E. K. A statistical study of binary and multiple clusters in the LMC // Astronomy and Astrophysics. 2002. Vol. 391. P. 547-564.
- 67. Dodd R. J. Data mining in the young open cluster IC2391 // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2004. Vol. 335, Issue 3. P. 959-972.
- 68. Dommanget J., Nys O. The Catalogue of the Components of Double and Multiple Stars. First edition. // In: Høg E., Seidelmann P.K. (eds) Astronomical and Astrophysical Objectives of Sub-Milliarcsecond Optical Astrometry. International Astronomical Union / Union Astronomique Internationale – Vol.166. Springer, Dordrecht. – 1995.

- 69. Du Cuihua, Li Hefan, Newberg Heidi Jo et al. The Origin of High-velocity Stars from Gaia and LAMOST // The Astrophysical Journal Letters. . 2018 Vol. 869, Issue 2, article id. L31. P.6.
- Duflot M., Figon P., Meyssonnier N., Vitesses radiales. Catalogue WEB: Wilson Evans Batten. Subtitle: Radial velocities: The Wilson-Evans-Batten catalogue // The Astrophysical Journal Supplement Series. – 1995. – Vol. 114. – P.269-280.
- 71. Dutra C. M., Bica E., Soares J., Barbuy B. New infrared star clusters in the southern Milky Way with 2MASS // Astronomy and Astrophysics. 2003. Vol. 400. P. 533-539.
- 72. Efremov Y. N., Schilbach E., Zinnecker H. The Hipparcos distances of open clusters and their implication on the local variations of the  $\Delta Y/\Delta Z$  ratio // Astronomische Nachrichten. 1997. Vol.318, Issue 6. P.335-338.
- 73. Eggen O. J. Stellar groups. I. The Hyades and Sirius groups // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 1958. Vol. 118. P. 65-79.
- 74. Eggen O. J. The IC 2391 Supercluster // The Astronomical Journal. 1991. Vol. 102. P.2028-2040.
- 75. Eggen O. J. Reality Tests of Superclusters in the Young Disk Population // The Astronomical Journal. 1995. Vol. 110. P.2862-2867.
- 76. Eggen O. J.The Sirius Supercluster and Missing Mass near the Sun // The Astronomical Journal. 1998. Vol. 116, Issue 2. P.782-788.
- 77. Elmegreen B. G. Observations and Theory of Dynamical Triggers for Star Formation // Astronomical Society of the Pacific Conference Series. 1998. Vol.148 P.150-183.
- 78. Elmegreen B. G., Efremov Y. N. An Extension of Hierarchical Star Formation to Galactic Scales // The Astrophysical Journal. – 1996. – Vol. 466. – P.802-807.
- 79. Elsanhoury W. H., Haroon A. A., Chupina N. V., Vereshchagin S. V. et al. 2MASS photometry and kinematical studies of open cluster NGC 188 // New Astronomy. – 2016. – Vol.49. – P.32-37.
- Elsanhoury W. H., Postnikova E. S., Chupina N. V., Vereshchagin S. V. et al. The Pleiades apex and its kinematical structure // Astrophysics & Space Science. – 2018. – Vol.363, Issue 3, article id. 58. – P.13.
- ESA, ed., The HIPPARCOS and TYCHO catalogues. Astrometric and photometric star catalogues derived from the ESA HIPPARCOS Space Astrometry Mission // ESA Special Publication. – 1997. – Vol.1200.
- 82. Ernst A., Just A., Berczik P., Olczak C. Simulations of the Hyades // Astronomy and Astrophysics. 2011 Vol. 536, article id. A64. P.12.
- 83. Evans D.S. The revision of the General catalogue of radial velocities // IAU Symp., 30, held in Toronto, Canada. 1979. Vol. 30. P.57-62.

- Famaey B., Jorissen A., Luri X. et al. Local kinematics of K and M giants from CORAVEL/Hipparcos/Tycho-2 data. Revisiting the concept of superclusters // Astronomy and Astrophysics. – 2005. – Vol. 430. – P. 165-186.
- 85. Famaey B., Pont F., Luri X. et al. The Hyades stream: an evaporated cluster or an intrusion from the inner disk? // Astronomy and Astrophysics. 2007. Vol. 461. P. 957-962.
- Francis C., Anderson E. XHIP-II: Clusters and associations // Astronomy Letters. 2012. Vol. 38. – P. 681-693.
- Fraser-McKelvie A., Merrifield M., Aragón-Salamanca A. From the outside looking in: what can Milky Way analogues tell us about the star formation rate of our own galaxy? // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2019. – Vol. 489, Issue 4. – P. 5030-5036.
- Froebrich D., Scholz A., Raftery C. L. A systematic survey for infrared star clusters with |b|
   < 20° using 2MASS // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2007. Vol. 374. P. 399-408.</li>
- Froebrich D., Schmeja S., Samuel D., Lucas P. W. Old star clusters in the FSR catalogue // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2010. – Vol. 409, Issue 3. – P. 1281-1288.
- Fujimoto M., Kumai Y. Star Clusters Driven to Form by Strong Collisions Between Gas Clouds in High-Velocity Random Motion // The Astronomical Journal. – 1999. – Vol. 113. – P.249-263.
- 91. Fürnkranz V., Meingast S., Alves J. Extended stellar systems in the solar neighbourhood // Astronomy and Astrophysics. 2019. Vol. 624, article id L11. P.7.
- 92. Gaia Collaboration, van Leeuwen F., Vallenari A., Jordi C. F., et al. Gaia Data Release 1. Open cluster astrometry: performance, limitations, and future prospects // Astronomy and Astrophysics. – 2017. – Vol. 601, article id A19. – P.65.
- 93. Gall, P.A.B., Teixeira R., Ducourant C. et al. A new method for calculating the convergent point of a moving group // Astronomy and Astrophysics. – 2012. – Vol. 538, article id A23. – P.15.
- 94. Galli P. A. B., Moraux E., Bouy H. et al. A revised moving cluster distance to the Pleiades open cluster // Astronomy and Astrophysics. 2017. Vol. 598, article id A48. P.22.
- 95. Galvez-Ortiz M. C., Kuznetsov M., Clarke J. R. A. et al. Spectroscopic signatures of youth in low-mass kinematic candidates of young moving groups // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2014. – Vol. 439, Issue 4. – P. 3890-3907.
- 96. Gaudi B. S., Stassun K. G., Collins K. A. et al. A Giant Planet Undergoing Extreme-Ultraviolet Irradiation By Its Hot Massive-Star Host // Nature. – 2017. – Vol.546. – P. 514-518.
- 97. Giannuzzi M. A. The spectroscopic binary HD 23642 and the distance of the Pleiades // Astronomy and Astrophysics 1995. Vol. 293. P.360-362.

- 98. Gontcharov G. A. Pulkovo Compilation of Radial Velocities for 35 495 Hipparcos stars in a common system // Astronomy Letters. 2006. Vol. 32, Issue 11. P. 759-771.
- Goodwin S. P. Residual gas expulsion from young globular clusters // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 1997. – Vol. 284, Issue 4. – P. 785-802.
- 100.Groenewegen M.A.T., Decin L., Salaris M., De Cat P. The Pleiades eclipsing binary HD 23642 revisited // Astronomy and Astrophysics. 2007. Vol. 463, Issue 2. P. 579-587.
- 101.Gunn J. E., Griffin R. F., Griffin R. E. M., Zimmerman B. A. A New Convergent Point and Distance Modulus for the Hyades from Radial Velocities // The Astrophysical Journal. – 1988. – Vol. 96. – P.198-210.
- 102.Gusev A. S., Efremov Y. N. Regular chains of star formation complexes in spiral arms of NGC 628 // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2013. – Vol. 434. – P. 313-324.
- 103.Hardy E. Observations of clusters in the Washington system // The Astronomical Journal. 1981. Vol. 86. P.217-221.
- 104.Harfst S., Gualandris A., Merritt D., et al. Performance analysis of direct N-body algorithms on special-purpose supercomputers // New Astronomy. – 2007. – Vol.12, Issue 5. – P.357-377.
- 105.Harris W. A catalog of parameters for globular clusters in the Milky Way // Astronomy and Astrophysics. 1996. Vol. 112. P. 1487-1488.
- 106.Hatzidimitriou D., Bhatia R. K. Cluster pairs in the Small Magellanic Cloud // Astronomy and Astrophysics. 1990. Vol. 230. P.11-15.
- 107.Høg E., Makarov V.V., Urban S. et al. The Tycho-2 catalogue of the 2.5 million brightest stars // Astronomy and Astrophysics. 2000. Vol. 355. P.L27-L30.
- 108.Holmberg J., Nordstrom B., Andersen J. The Geneva-Copenhagen survey of the solar neighbourhood. III. Improved distances, ages, and kinematics // Astronomy and Astrophysics. – 2009. – Vol. 504, Issue 3. – P. 941-947.
- 109.Janes K. A. Evidence for an abundance gradient in the galactic disk // The Astrophysical Journal Supplement Series. 1979. Vol. 39. P.135-156.
- 110.Jones E., Oliphant E., Peterson P. et al., SciPy: Open Source Scientific Tools for Python, http://www.scipy.org/. - 2001.
- 111.Johnstone D., Hollenbach D., Bally J. Photoevaporation of Disks and Clumps by Nearby Massive Stars: Application to Disk Destruction in the Orion Nebula // The Astrophysical Journal. – 1998. – Vol. 499, Issue 2. – P.758-776.
- 112.KarataşY., Bilir S., Eker Z., Demircan O. Kinematics of chromospherically active binaries and evidence of an orbital period decrease in binary evolution // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2004. – Vol 349, Issue 3. – P.1069-1092.

- 113.Katz D., Brown A. G. A. Gaia: on the road to DR2 // SF2A-2017: Proceedings of the Annual Meeting of the French Society of Astronomy and Astrophysics. – 2017. – P. 259-263.
- 114.Kharchenko N., Andruk V., Schilbach E. Schmidt survey in the Galactic anticentre direction.
  1. Investigation of open clusters // Astronomische Nachrichten. 1997. Vol. 318. P. 253-266.
- 115.Kharchenko N. V., Piskunov A. E., Röser S. et al. 109 new Galactic open clusters // Astronomy and Astrophysics. 2005. Vol. 440, Issue 1. P. 403-408.
- 116.Kharchenko N. V., Piskunov A. E., Röser S., et al. Astrophysical parameters of Galactic open clusters // Astronomy and Astrophysics. 2005. Vol. 438, Issue 3. P. 1163-1173.
- 117.Kharchenko N. V., Scholz R.-D., Piskunov A. E. et al. Astrophysical supplements to the ASCC-2.5: Ia. Radial velocities of ~55000 stars and mean radial velocities of 516 Galactic open clusters and associations //Astronomische Nachrichten. – 2007. – Vol. 328, Issue 9. – P. 889-896.
- 118.Kharchenko N. V., Scholz R.-D., Piskunov A. E .et al. VizieR Online Data Catalog: III/2801 2007.
- 119.Kharchenko N. V., Berczik P., Petrov M. I. et al. Shape parameters of Galactic open clusters // Astronomy and Astrophysics. 2009. Vol. 495, Issue 3. P. 807-818.
- 120.Kharchenko N. V., Piskunov A. E., Schilbach E. et al. Global survey of star clusters in the Milky Way. I. The pipeline and fundamental parameters in the second quadrant // Astronomy and Astrophysics. – 2012. – Vol. 543, article id. A156. – P.13.
- 121.Kharchenko N. V., Piskunov A. E., Schilbach E. et al. Global survey of star clusters in the Milky Way. II. The catalogue of basic parameters // Astronomy and Astrophysics. 2013. Vol. 558, article id. 53 P.8.
- 122.King I. The structure of star clusters. I. An empirical density law // The Astronomical Journal. 1962. Vol. 67. P. 471-485.
- 123.King J. R., Villarreal A. R, Soderblom D. F., Gulliver, A. F. and Adelman, S. J. Stellar Kinematic Groups. II. A Reexamination of the Membership, Activity, and Age of the Ursa Major Group // The Astrophysical Journal. – 2003. – Vol. 125, Issue 4. – P.1980-2017.
- 124.Klutsch A, Freire F. R., Guillout P. et al. Reliable probabilistic determination of membership in stellar kinematic groups in the young disk // Astronomy and Astrophysics. – 2014. – Vol. 567, article id. A52. – P.30.
- 125.Krone-Martins A., Moitinho A. UPMASK: unsupervised photometric membership assignment in stellar clusters // Astronomy and Astrophysics. 2014. Vol. 561, article id. A57. P.12.
- 126.Konig B., Fuhrmann K., Neuhauser R. et al. Direct detection of the companion of chi<sup>1</sup> Orionis // Astronomy and Astrophysics. – 2002. – Vol. 394. – P. L43-L46.

- 127.Kroupa P. The stellar initial mass function // Proceedings of IAU Symposium 241, eds Vazdekis A. and Peletier R. F., Cambridge: Cambridge University Press. – 2007. – P.109-119.
- 128.Kunder A., Kordopatis G., Steinmetz M. et al. The Radial Velocity Experiment (RAVE): Fifth Data Release // The Astrophysical Journal. – 2017. – Vol. 153, Issue 2, article id. 75. – P.30.
- 129.Lada C. J., Lada E. A. Embedded Clusters in Molecular Clouds // Annual Review of Astronomy and Astrophysics. 2003. Vol. 41. P.57-115.
- 130.Larson R. Implications of Binary Properties for Theories of Star Formation // The Formation of Binary Stars, Proceedings of IAU Symp. 200, held 10-15 April 2000, in Potsdam, Germany, Edited by Hans Zinnecker and Robert D. Mathieu. – 2001. – P. 93-106.
- 131.Lee S. H., Kang Y.-W., Ann H. B. Deep and wide photometry of two open clusters NGC 1245 and NGC 2506: dynamical evolution and halo // Notices of the Royal Astronomical Society. – 2013. – Vol. 432, Issue 2. – P. 1672-1679.
- 132.Lindegren L., Lammers U., Bastian U. et al. Gaia Data Release 1. Astrometry: one billion positions, two million proper motions and parallaxes // Astronomy and Astrophysics. 2016. Vol. 595, article id. A4 P.32.
- 133.Lindegren, L, Hernández J., Bombrun A. et al. Gaia Data Release 2. The astrometric solution // Astronomy and Astrophysics. 2018. Vol. 616, article id. A2. P.25.
- 134.Liu J.-C., Zhu Z., Hu B. Constructing a Galactic coordinate system based on near-infrared and radio catalogs // Astronomy and Astrophysics. 2011. Vol. 536, article id. A102 P.6.
- 135.Lodieu N., Pérez-Garrido A., Smart R. L., Silvotti R. A 5D view of the α Per, Pleiades, and Praesepe lusters // Astronomy and Astrophysics. 2019. Vol. 628, article id. A66. P.26.
- 136.Lopez-Santiago J., Montes D., Galvez-Ortiz M. C.et al. A high-resolution spectroscopic survey of late-type stars: chromospheric activity, rotation, kinematics, and age // Astronomy and Astrophysics. – 2010. – Vol. 514, article id. A97. – P.58.
- 137.Luo A.-L., Zhao Y.-H., Zhao G., et al. VizieR Online Data Catalog: LAMOST DR5 catalogs // Research in Astronomy and Astrophysics. 2019.
- 138.Lynga. // Catalogue of open clusters data 1987.
- 139.Maderak R. M., Deliyannis C. P., King J. R., Cummings J. D. WIYN Open Cluster Study. LVII. Oxygen Abundances of Solar-type Dwarfs in the Hyades and NGC 752 // The Astronomical Journal. – 2013 – Vol.146, article id. 143 – P.17.
- 140.Maciejewski G. Space structure and dynamical evolution of the open star clusters // Bulgarian Astronomical Journal. 2009 Vol.11 P.67.
- 141.Mädler T., Jofré P., Gilmore, G., Worley, C.C. et al. Stellar twins determine the distance of the Pleiades // Astronomy and Astrophysics. 2016. Vol. 595, article id. A59. P.9.

- 142.Maíz-Apellániz J., Weiler, M., Reanalysis of the Gaia Data Release 2 photometric sensitivity curves using HST/STIS spectrophotometry // Astronomy and Astrophysics. – 2018. – Vol. 619, article id. A180. – P.19.
- 143.Makarov V.V., Robichon N. Internal kinematics and binarity of X-ray stars in the Pleiades open cluster // Astronomy and Astrophysics. 2001. Vol. 368 P.873-879.
- 144.Maldonado J., Martinez-Arnaiz R. M., Eiroa C. et al. A spectroscopy study of nearby latetype stars, possible members of stellar kinematic groups // Astronomy and Astrophysics. – 2010. – Vol. 521, article id. A12. – P.40.
- 145.Mann A.W., Vanderburg A., Rizzuto A. C. et al . Zodiacal Exoplanets in Time (ZEIT). VI. A Three-planet System in the Hyades Cluster Including an Earth-sized Planet // The Astronomical Journal. 2018. Vol. 155. P.4.
- 146.Mann A. W., Johnson M.C., Vanderburg A.et al., TESS Hunt for Young and Maturing Exoplanets (THYME). III. A Two-planet System in the 400 Myr Ursa Major Group // The Astronomical Journal. 2020. Vol. 160, Issue 4, id.179. P.18.
- 147.Marigo P., Girardi L, Bressan A. et al. Evolution of asymptotic giant branch stars. II. Optical to far-infrared isochrones with improved TP-AGB models// Astronomy and Astrophysics. 2008. Vol. 482, Issue 3 P.883-905.
- 148.Meingast S., Alves J. Extended stellar systems in the solar neighbourhood. I. The tidal tails of the Hyades // Astronomy and Astrophysics. 2019. Vol. 621, article id. L3. P.6.
- 149.Melis C., Reid M.J., Mioduszewski A.J. et al. A VLBI resolution of the Pleiades distance controversy // Science. 2014. Vol. 345. P. 1029-1032
- 150.Mel'nik A. M., & Dambis A. K. Kinematics of OB-associations and the new reduction of the Hipparcos data // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2009. – Vol. 400, Issue 1. – P. 518-523.
- 151.Mel'nik A. M., Dambis A. K. Kinematics of OB-associations in Gaia epoch // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2017. Vol.472, Issue 4. P.3887–3904.
- 152.Mermilliod J.-C., Turon C., Robichon N. et al. The Distance of the Pleiades and Nearby Clusters // ESA SP-402: Hipparcos—Venice'97 (eds Perryman M. A. C. & Bernacca P. L.) – 1997. – P.643–650.
- 153.Mermilliod J.C., Mayor M., Udri S. Catalogues of radial and rotational velocities of 1253 F-K dwarfs in 13 nearby open clusters // Astronomy and Astrophysics. – 2009. – Vol. 498, Issue 3. – P. 949-960.
- 154.Mochejska B. J., Stanek K. Z., Sasselov D. D., et al. Planets in Stellar Clusters Extensive Search. II. Discovery of 57 Variables in the Cluster NGC 2158 with Millimagnitude Image Subtraction Photometry // The Astronomical Journal. – 2004. – Vol. 128, Issue 1. – P.312-322.
- 155.Monet D. G., Levine S. E., Canzian B. et al, The USNO-B Catalog // The Astrophysical Journal. 2003. Vol. 125, Issue 2. P.984-993.

- 156.Montes D., Lopez-Santiago P. J., Galvez M. C. et al. Late-type members of young stellar kinematic groups - I. Single stars // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2001. – Vol 328, Issue 1. – P.45-63.
- 157.Moshtagh N. An open exchange for the MATLAB and Simulink user community. Program: Computes the minimum-volume covering ellipoid that encloses N points in a Ddimensional space, version 1.2. – 2009.
- 158.Munari U., Dallaporta S., Siviero A. et al. The distance to the Pleiades from orbital solution of the double-lined eclipsing binary HD 23642 // Astronomy and Astrophysics. – 2004. – Vol. 418. – P. L31-L34.
- 159.Nakajima T. and Morino J.-I. Potential Members of Stellar Kinematic Groups within 30 pc of the Sun // The Astronomical Journal. 2012. Vol143, Issue 1, article id. 2. P.16.
- 160.O'Dell M. A., Hendry M. A., Collier C. A. Distance Measurements to the Pleiades and alpha Persei Clusters Using a New Distance Estimator // Cool Stars; Stellar Systems; and the Sun; Eighth Cambridge Workshop. Astronomical Society of the Pacific Conference Series. Astronomical Society of the Pacific. – 1994. – Vol. 64. – P.723.
- 161.Odenkirchen M., Grebel E. K., Rockosi C. M. et al., Detection of Massive Tidal Tails around the Globular Cluster Palomar 5 with Sloan Digital Sky Survey Commissioning Data // The Astrophysical Journal. – 2001. – Vol. 548, Issue 2 – P. L165-L169.
- 162.Padova database of stellar evolutionary tracks and isochrones, <u>http://stev.oapd.inaf.it/cgi-bin/cmd</u>
- 163.Pandey A. K., Mahra H. S., Sagar R. The Young Open Star Clusters: Stability and Structure // The Astronomical Journal. 1990 Vol.99 P.617-621.
- 164.Pastorelli G., Marigo P., Girardi L. et al. Constraining the thermally pulsing asymptotic giant branch phase with resolved stellar populations in the Small Magellanic Cloud // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2019. Vol. 485. P. 5666-5692.
- 165. Patel M. K., Pandey J. C., Savanov I. S. et al. Study of photospheric, chromospheric and coronal activities of V1147 Tau // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2013. – Vol. 430, Issue 3. – P. 2154-2168.
- 166.Peng E. W., Ford H. C., Freeman K. C., White R. L. A Young Blue Tidal Stream in NGC 5128 // The Astronomical Journal. 2002. Vol. 124, Issue 6. P.3144-3156.
- 167.Perottoni H.D., Martin C., Newberg H.J. et al. A cold stellar stream in Pegasus // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2019. Vol. 486, Issue 1. P. 843-850.
- 168.Pearson S., Starkenburg T. K., Johnston, K. V. et al. Detecting Thin Stellar Streams in External Galaxies: Resolved Stars and Integrated Light // The Astrophysical Journal. – 2019. – Vol. 883, Issue 1, article id. 87. – P.16.
- 169.Perryman M. A. C., Brown A. G. A., Lebreton Y., et al., The Hyades: distance, structure, dynamics, and age // Astronomy and Astrophysics. 1998. Vol. 331 P.81-120.

- 170.Piecka M., Paunzen E. Aggregates of clusters in the Gaia data// Astronomy and Astrophysics. 2021. Vol. 649, article id. A54. P12.
- 171.Pietrzynski G., Udalski A. The Optical Gravitational Lensing Experiment. Multiple Cluster Candidates in the Small Magellanic Cloud // Acta Astronomy. – 1999. – Vol. 49 – P. 165-169.
- 172.Piskunov A. E., Kharchenko N. V., Röser S. et al. Revisiting the population of Galactic open clusters // Astronomy and Astrophysics. 2006. Vol. 445, Issue 2. P.545-565.
- 173.Priyatikanto R., Kouwenhoven M. B. N., Arifyanto M. I.et al. The dynamical fate of binary star clusters in the Galactic tidal field // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2016. – Vol. 457. – P. 1339-1351.
- 174.Quille A. C., Minchev I. The Effect of Spiral Structure on the Stellar Velocity Distribution in the Solar Neighbourhood // The Astronomical Journal. 2005. Vol. 130. P.576-585.
- 175.Quinn S.N., White R.I J., Latham D.W. et al. Two "b"s in the Beehive: The Discovery of the First Hot Jupiters in an Open Cluster // The American Astronomical Society. 2012. Vol.756, Issue 2, article id. L33. P.5.
- 176.Randich S., Pallavicini R., Meola G. et al. Membership, lithium, and metallicity in the young open clusters IC 2602 and IC 2391: Enlarging the sample // Astronomy and Astrophysics. 2001. Vol. 372 P.862-878.
- 177.Rhee J. H., Inseok Song, Zuckerman B. Warm Dust in the Terrestrial Planet Zone of a Sunlike Pleiades Star: Collisions between Planetary Embryos? // The Astronomical Journal. – 2008. – Vol. 675, Issue 1. – P. 777-783.
- 178.Reino S., de Bruijne J., Zari E.et al. Gaia study of the Hyades open cluster // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2018. Vol. 477, Issue 3. P. 3197-3216.
- 179.Robichon N., Arenou F., Mermilliod J.-C., Turon C. Open clusters with Hipparcos. I. Mean astrometric parameters // Astronomy and Astrophysics. 1999. Vol. 345 P.471-484.
- 180.Roman, N.G. The Ursa Major Group // The Astronomical Journal. 1949. Vol. 110. P.205-241.
- 181.Röser S., Demleitner M., Schilbach E. The PPMXL Catalog of Positions and Proper Motions on the ICRS. Combining USNO-B1.0 and the Two Micron All Sky Survey (2MASS) // The Astronomical Journal. – 2010. – Vol.139, Issue 6 – P.2440-2447.
- 182.Röser S., Schilbach E., Piskunov A. E. et al. A deep all-sky census of the Hyades // Astronomy and Astrophysics. 2011. Vol. 531, article id. A92. P.15.
- 183.Röser S., Schilbach E., Goldman B. Nine new open clusters within 500 pc from the Sun // Astronomy and Astrophysics. 2016. Vol. 595, article id. A22. P.6.
- 184.Röser S., Schilbach E., Goldman B. Hyades tidal tails revealed by Gaia DR2 // Astronomy and Astrophysics. – 2019. – Vol. 621, article id. L2. – P.5.
- 185.Röser S., Schilbach E. Praesepe (NGC 2632) and its tidal tails // Astronomy and Astrophysics. 2010. Vol. 627, article id. A4. P.6.
- 186.Rozhavskii F. G., Kuz'mina V. A., Vasilevskii A. E. Statistical approach toward determining the multiplicity of open stellar clusters // Astrophysics. – 1976. – Vol.12, Issue 2. – P. 204-209.
- 187.Sagar R., Bhatt H. C. Internal kinematics of open star clusters // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 1989. Vol. 236. P. 865-874.
- 188.Santos N. C. Confirming the Metal-Rich Nature of Stars with Giant Planets // Proceedings of 12th Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems, and The Sun (University of Colorado) . N. C. Santos, G. D. Israelian, M. K. Mayor. – 2003.
- 189.Sahlmann J., Lazorenko P. F., Ségransan D. et al. Astrometric orbit of a low-mass companion to an ultracool dwarf // Astronomy and Astrophysics. – 2013. – Vol. 556, article id. A133. – P.10.
- 190.Schwan H. The Distance and Main Sequence of the Hyades Cluster Based on 145 Stars with Highly Accurate Proper Motions Obtained from Work on the Catalogues FK5 and PPM // Astronomy and Astrophysics. 1991. Vol.243 P.386-400.
- 191.Scott D.W., Multivariate Density Estimation: Theory, Practice, and Visualization, 2nd Edition //John Wiley & Sons Inc., New York, Chicester. 2015 P.384.
- 192.Sharma S., Pandey A. K., Ogura, K., Mito H., et al Wide-Field CCD Photometry around Nine Open Clusters // The Astronomical Journal. – 2006. – Vol.132, Issue 4. – P. 1669-1691.
- 193.Sharaf M. A., Selim H. H. An Intrinsic Relation Between A Function of The Right Ascension and Declination With the Angular Distance to The Vertex for Hyades Stars // International Journal of Astronomy and Astrophysics. – 2011. – Vol.1, N2. – P. 104-107.
- 194.Schmeja S., Kharchenko N. V., Piskunov A. E., et al. Global survey of star clusters in the Milky Way. III. 139 new open clusters at high Galactic latitudes // Astronomy and Astrophysics. – 2014. – Vol. 568, article id. A51. – P.9.
- 195.Scholz R.-D., Kharchenko N. V., Piskunov A. E., et al. Global survey of star clusters in the Milky Way. IV. 63 new open clusters detected by proper motions // Astronomy and Astrophysics. – 2015. – Vol. 581, article id. A39. – P.15.
- 196.Shapley H., Star Clusters //New York: McGraw-Hill Book Co. 1930.
- 197.Shkolnik E. L., Anglada-Escude G., Liu M. C. et al. Identifying the Young Low-mass Stars within 25 pc. II. Distances, Kinematics, and Group Membership AJ. 758, 56 (2012). // The Astronomical Journal. 2012. Vol.758, Issue 1, article id. 56. P.23.
- 198.Seleznev A. F.; Danilov V.M.; Carraro G. Investigation of the nearby open clusters with Gaia DR2 data // Proceedings of the International Astronomical Union 2020. Vol. 351 P. 502-506.

- 199.Siess L., Dufour E., Forestini M. An internet server for pre-main sequence tracks of lowand intermediate-mass stars // Astronomy and Astrophysics. – 2000. – Vol. 358 – P.593-599.
- 200.SIMBAD Astronomical Database CDS (Strasbourg). http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/
- 201.Skrutskie M.F., Cutri R.M., Stiening R., et al. The Two Miron All Sky Survey (2MASS) // The Astronomical Journal. 2006. Vol. 131. P.1163-1183.
- 202.Smart W. M., Stellar kinematics. // Longmans, London 1968.
- 203.Soderblom D. R. and Mayor M. Stellar Kinematic Groups. I. The URSA Major Group // The Astronomical Journal. – 1993. – Vol.105 – P.226-249
- 204.Soderblom D.R., Nelan E., Benedict, G.F et al. Chemical tagging of the Ursa Major moving group. A northern selection of FGK stars // The Astronomical Journal. – 2005. – Vol. 129, Issue 3 – P.1616-1624
- 205.Soubiran C., Bienayme O., Mishenina T. V., Kovtyukh, V. V. Vertical distribution of Galactic disk stars. IV. AMR and AVR from clump giants // Astronomy and Astrophysics. – 2008. – Vol. 489, Issue 1. – P.91-101
- 206.Soubiran C., Jasniewicz G., Chemin, L. et al. The catalogue of radial velocity standard stars for Gaia. I. Pre-launch release // Astronomy and Astrophysics. 2013. Vol. 552, article id. A64. P.11.
- 207.Soubiran C., Cantat-Gaudin T., Romero-Gomez M.et al. Open cluster kinematics with Gaia DR2 // Astronomy and Astrophysics. 2018. Vol. 619, article id. A155. P.11.
- 208.Soubiran C., Cantat-Gaudin T., Romero-Gomez M. et al. Open cluster kinematics with Gaia DR2 (Corrigendum) // Astronomy and Astrophysics. 2019. Vol. 623, article id. C2. P.2.
- 209.Sperauskas J., Bartasiute S., Boyle R. R., Deveikis V., Raudeliunas, S. Radial velocities of K-M dwarfs and local stellar kinematics // Astronomy and Astrophysics. 2016. Vol. 596, article id. A116. P.26.
- 210.Subramaniam A., Gorti U., Sagar R., Bhatt H. C. Probable binary open star clusters in the Galaxy // Astronomy and Astrophysics. 1995. Vol. 302. P.86-89.
- 211. Tabernero H. M., Montes D., Gonzalez Hernandez J. I., Ammler-von Eiff M. Chemical tagging of the Ursa Major moving group. A northern selection of FGK stars // Astronomy and Astrophysics. 2017. Vol. 597, article id. A33. P.25.
- 212.Tang S. Y., Pang X., Yuan Z., et al. Discovery of Tidal Tails in Disrupting Open Clusters: Coma Berenices and a Neighbour Stellar Group // The Astrophysical Journal. – 2019. – Vol.877, Issue 1, article id. 12. – P.12.
- 213.Tokovinin A. Kappa Fornaci, A Triple Radio Star // The Astronomical Journal. 2013. Vol.145, Issue 3, article id. 76 P.7.

- 214.Tutukov A.V. Early stages of dynamical evolution of star cluster models // Astronomy and Astrophysics. 1978. Vol. 70. P. 57-61.
- 215.Urban S.E., Corbin T.E., Wycoff G.L., Martin J.C. et al. The ACT Reference Catalog // The Astronomical Journal. 1998. Vol.115, Issue 5. P.2161-2166
- 216.van Albada T. The evolution of small stellar systems and its implications for the formation of double stars // Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands – 1968 – Vol. 20. – P.57-68.
- 217.van den Bergh S. Mergers of Globular Clusters // The Astrophysical Journal. 1996. Vol.471. – P. L31-L32.
- 218.van den Berk J., Portegies Zwart S. F., McMillan S. L. W. The formation of higher order hierarchical systems in star clusters // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. - 2007. - Vol. 379, Issue 1. - P. 111-122.
- 219.van Leeuwen F. Validation of the new Hipparcos reduction // Astronomy and Astrophysics. 2007. Vol. 474, Issue 2. P.653-664
- 220.van Leeuwen F. Parallaxes and proper motions for 20 open clusters as based on the new Hipparcos catalogue // Astronomy and Astrophysics. 2009. Vol. 497. P. 209-242.
- 221. Vanderburg A., Mann A. W., Rizzuto A., Bieryla A. et al. Zodiacal Exoplanets in Time (ZEIT). VII. A Temperate Candidate Super-Earth in the Hyades Cluster // The Astrophysical Journal. – 2018. – Vol.156, Issue 2, article id. 46 – P.13.
- 222.Vázquez R. A., Moitinho A., Carraro G., & Dias W. S. Open clusters in the Third Galactic Quadrant III. Alleged binary clusters // Astronomy and Astrophysics. – 2010. – Vol. 511, article id. A38. – P.15.
- 223. Vereshchagin S.V., Chupina N.V., Sariya Devesh P., Yadav R.K.S., Kumar B. Apex determination and detection of stellar clumps in the open cluster M 67 // New Astronomy. – 2014. – Vol.31. – P. 43-50
- 224. Vereshchagin S. V., Postnikova E. S. What Will Lead the Astrometry Data Accuracy Breakthrough in the Study of Star Clusters? // Proceedings of the Data Analytics and Management in Data Intensive Domains, XIX International Conference, DAMDID/RCDL 2017. – 2018 – P.107-111.
- 225.von Boetticher A., Triaud A. H. M. J., Queloz, D., Gill, S. et al. The EBLM project III. A Saturn-size low-mass star at the hydrogen-burning limit // Astronomy and Astrophysics. 2017. Vol. 604, article id. L6. P.6.
- 226.Wang H.-F., López-Corredoira M., Huang Y., Carlin, J.L. et al. Mapping the Galactic disc with the LAMOST and Gaia red clump sample: II. 3D asymmetrical kinematics of monoage populations in the disc between 6-14 kpc // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2020. – Vol. 491, Issue 2. – P. 2104-2118.
- 227.WEBDA database: https://webda.physics.muni.cz/

- 228. White R. J., Gabor J. M., Hillenbrand L. A. High-Dispersion Optical Spectra of Nearby Stars Younger Than the Sun // The Astronomical Journal. 2007. Vol.133, Issue 6 P.2524-2536
- 229. White T. R., Pope B. J. S., Antoci V., Pápics, P. I. et al. Beyond the Kepler/K2 bright limit: variability in the seven brightest members of the Pleiades // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2017. Vol. 471, Issue 3. P. 2882–2901.
- 230.Williams P. U. The Open Cluster NGC 2451 // Monthly Notes of the Astron. Soc. Southern Africa. 1967. Vol. 26. P. 139
- 231.Wilson R.E. General catalogue of stellar radial velocities // Carnegie Inst. Washington 1963
- 232.Wilson R. E. General Catalogue of stellar radial velocities // Washington: CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON PUBLICATION 1963. P.601
- 233.Worley C.E. Wide Pairs in the Washington Double Star Catalogue // Astrophysics and Space Science. 1988. Vol.142, Issue 1-2. P. 21
- 234. Yeh F.-C., Carraro G., Montalto M., Seleznev, A. F. Ruprecht 147: A paradigm of dissolving star cluster // The Astronomical Journal. – 2019. – Vol. 157, article id. 115. – P.7
- 235.Zhong J., Chen L., Kouwenhoven M. B. N. et al. Substructure and halo population of Double Cluster h and χ Persei // Astronomy and Astrophysics. – 2019. – Vol. 624, article id. A34. – P.8.
- 236.Zuckerman B., Song I. Young Stars Near the Sun // Annual Review of Astronomy &Astrophysics. – 2004. – Vol. 42, Issue 1 – P.685-721
- 237.Верещагин С. В., Рева В. Г. и Чупина Н. В. // Астрономический журнал. 2008. Т.85.– С. 349
- 238. Данилов В. М. Потоки звезд в численных динамических моделях рассеянных звездных скоплений // Астрономический журнал. 2002. Т. 79.– С. 986.
- 239. Данилов В. М. О движении звезд гало в численных динамических моделях рассеянных звездных скоплениях // Астрономический журнал. 2005. Т.82.– С. 678
- 240. Данилов В. М. и Лесков Е. В. Свойства траекторий звезд в численных динамических моделях рассеянных звездных скоплений. // Астрономический журнал. 2005. T.82.– C. 219
- 241. Данилов В. М. Динамические модели движения звезд на периферии рассеянных звездных скоплений. // Астрономический журнал. 2006. Т.83.– С. 393
- 242.Ковалева Д.А. и др. http://gaia.ari.uni-heidelberg.de/gaia-workshop-2018/files/ Gaia-DR2-warnings-caveats-GaiaUserWorkshop.pptx – 2018.

243. Тутуков А.В, Сизова М.Д., Верещагин С.В. Образование звездных потоков в ходе распада звездных скоплений, ОВ ассоциаций и спутников галактик // Астрономический журнал. – 2020. – Т.97.– С. 820-832

## Приложение 1.Список звезд скопления IC 2391

Gaia DR2	RA J2015.5, град	DEC J2015.5, град	ϖ±σ <sub>∞</sub> , мсд	d, пк	х,пк	у,пк	z, пк	μ <sub>α</sub> ±σ <sub>μα</sub> , мсд/год	$\mu_{\delta} \pm \sigma_{\mu\delta},$ мсд/год	Vr±σ <sub>vr</sub> , км/с	G, mag	BP-RP, mag	M <sub>G</sub> , mag	А, град	D, град	U, км/с	V, км/с	W, км/с	vLw	C-G
5304511938898669568	132.2126	-57.0957	6.40±0.04	153.82	11.14	-151.77	-22.42	-25.56±0.08	22.67±0.08		15.32	2.67	9.36							
5315988950500555520	127.7605	-56.4987	6.39±0.04	154.17	5.94	-151.72	-26.72	-23.03±0.09	24.43±0.09		15.48	2.83	9.51							
5316982664196394752	131.3964	-54.9883	86.89±0.06	142.30	5.52	-140.99	-18.42	-26.14±0.11	24.59±0.13		15.93	2.87	10.12							+
5317364680071917184	131.9820	-54.7561	$6.92 \pm 0.06$	141.54	5.56	-140.37	-17.32	-26.41±0.11	$24.36 \pm 0.10$		15.81	2.83	10.01							+
5317423293481147264	131.8926	-54.4835	56.55±0.02	151.58	5.30	-150.38	-18.21	-25.28±0.05	$23.66 \pm 0.04$	12.86±2.16	11.94	1.21	6.02	91.38	-1.04	24.32	-13.25	-5.23	+	+
5317426493243673088	132.0503	-54.3262	$26.32\pm0.08$	153.83	5.21	-152.68	-18.03	-24.80±0.15	$22.99\pm0.13$		15.92	3.14	9.92							+
5317451747652324352	132.3360	-54.19/7	$6.4/\pm0.06$	151.62	5.15	-150.55	-17.22	$-25.50\pm0.10$	$22.78\pm0.10$		15.79	2.80	9.85						$\vdash$	+
5317475558950416000	122 2400	-55.8052	$5.95\pm0.06$	104.30	4.31	-103.27	-18.40	-22.94±0.14	$21.04\pm0.12$		15.59	2.97	0.62							
5317541907606547200	133.3499	-33.7349	$6.43\pm0.03$ 6.51 $\pm0.06$	152.72	J.24	-131.80	-13.55	$-25.83\pm0.11$	$21.90\pm0.09$ 22.50±0.10		15.59	3.05	9.05						$\vdash$	+
5317616640039918976	133 2284	-53 1412	$26.61\pm0.06$	148 32	3.79	-147.60	-14.07	-27 17+0 12	$22.50\pm0.10$ 22.65+0.10		15 59	2.80	9.69							
5317621446087088896	133.1535	-53.0139	$6.20\pm0.07$	157.48	3.67	-156.74	-14.82	$-25.44\pm0.12$	$21.69\pm0.10$		16.20	2.99	10.16							+
5317681678714511232	129.5023	-55.1056	6.51±0.07	149.58	4.32	-147.92	-21.78	-23.58±0.15	24.96±0.15		16.10	3.18	10.16							
5317776069215504000	130.4786	-54.8202	26.86±0.06	143.14	4.41	-141.76	-19.31	-26.66±0.11	24.55±0.10		15.94	3.23	10.12							
5317793214724700928	130.3018	-54.6412	$6.86 \pm 0.08$	142.32	3.88	-140.97	-19.14	-25.33±0.14	24.34±0.15		16.41	3.29	10.59							+
5317797818929671808	130.2077	-54.5060	6.99±0.06	140.37	3.48	-139.06	-18.78	-26.53±0.12	24.75±0.10		16.32	3.02	10.54							
5317884439832479872	130.7515	-53.9020	06.38±0.03	155.10	3.08	-153.89	-19.09	-23.29±0.06	$22.85 \pm 0.06$	16.48±4.82	10.88	0.91	4.91	94.29	-6.48	23.66	-16.48	-5.37	+	+
5317886329617953536	130.4031	-53.9338	$6.71\pm0.11$	143.50	2.60	-142.32	-18.11	-25.40±0.22	$24.38\pm0.20$	1612.0.00	16.51	3.27	10.65	00.10	6.04	22.50	16.00	5.00		+
5317887321743547264	130.5757	-53.9022	$26.64 \pm 0.04$	148.88	2.79	-147.69	-18.54	-24.63±0.06	$23.31\pm0.06$	16.12±0.68	9.26	0.58	3.37	93.10	-6.34	23.58	-16.02	-5.83	+	+
5317904162522274688	130.3101	-53.7203	$0.01\pm0.00$	148.48	2.10	-147.30	18.52	$-25.29\pm0.13$	$22.08\pm0.14$	16 51+1 22	0.40	2.81	9.82	02.58	6.29	24.11	16.26	6 20	<u> </u>	+
5317950066928748160	128 8396	-53.0356	$6.33\pm0.02$	152.05	2.07	-150.87	-10.79	$-24.91\pm0.04$ -23 79+0 17	$23.20\pm0.03$ 23.86±0.16	10.31±1.32	9.40	3.33	10 54	92.30	-0.38	24.11	-10.20	-0.20	+	+
5318027651219220224	128,6368	-53.8782	$26.20\pm0.05$	158.03	1.02	-156.46	-22.14	$-22.31\pm0.11$	$22.87\pm0.10$		16.05	2.87	10.01							<u> </u>
5318069604459639552	129.1008	-54.0181	6.47±0.02	153.43	1.73	-151.96	-21.13	-23.69±0.04	23.38±0.05	14.11±2.21	10.04	0.73	4.10	91.02	-2.74	23.90	-13.77	-5.75	+	+
5318077919506923520	129.5995	-53.7217	6.77±0.04	145.88	1.48	-144.63	-19.05	-24.07±0.08	24.41±0.06		7.63	0.10	1.78			L			+	+
5318096125872352768	130.0258	-53.6352	$6.29 \pm 0.02$	157.56	1.83	-156.29	-19.88	-23.66±0.05	$21.40 \pm 0.04$	13.02±0.84	10.30	0.79	4.30	89.29	-1.94	23.43	-12.68	- <u>6.</u> 12	+	
5318104307796222464	129.8532	-53.5353	6.61±0.05	148.62	1.36	-147.41	-18.81	-24.30±0.11	22.49±0.10		15.66	2.78	9.76							+
5318113550566048256	129.8492	-53.4397	6.53±0.14	146.18	1.14	-145.02	-18.36	-25.79±0.31	21.19±0.32		5.42	-0.21	-0.51						+	
5318114924955333760	129.7735	-53.3623	36.72±0.06	145.45	0.90	-144.30	-18.24	-25.22±0.12	$23.52 \pm 0.10$		15.79	2.90	9.93							+
5318116299344817024	130.0340	-53.2946	6.64±0.03	148.91	1.03	-147.78	-18.25	-24.77±0.07	$24.08\pm0.06$		14.87	2.50	8.98							+
531811/325830884224	129.9972	52 9691	6.51±0.05	150.70	0.93	-149.56	-18.46	$-23.66\pm0.11$	$23.62\pm0.13$		7.20	-0.01	1.27						+	+
5318119110844510052 5318143752776545280	128.9004	-33.6061	$6.40\pm0.03$	152.15	0.22	1/18 71	20.89	$-23.03\pm0.10$ 23.00±0.13	$24.25\pm0.11$ 24.30±0.15		15.00	2.85	9.71							+
5318145752770545280	128.7979	-53 2512	655+0.07	148 88	0.22	-140.71 -147.70	-18 71	-23.90±0.13	$24.39\pm0.13$ 23.09 $\pm0.14$		16.27	3.31	10.54							+
5318162238316886528	129.7446	-53.3201	$6.60\pm0.02$	150.31	0.82	-149.13	-18.82	$-24.90\pm0.04$	$23.00\pm0.04$	$16.87 \pm 11.83$	13.07	2.01	7.17	92.27	-7.11	23.81	-16.37	-6.47		+
5318165743010208000	129.8630	-53.1643	$36.59\pm0.05$	149.03	0.60	-147.90	-18.27	$-25.84\pm0.10$	$24.35\pm0.08$	10107=11105	15.48	2.76	9.58	, 2.2,	/	20.01	10.07	0.17		+
5318182197023848448	129.7446	-53.0234	6.46±0.07	151.49	0.20	-150.36	-18.50	-24.75±0.11	22.56±0.11		15.83	2.79	9.88							+
5318182648001349248	129.7318	-52.9643	6.53±0.03	151.72	0.06	-150.60	-18.45	-24.18±0.05	23.23±0.04		10.13	0.86	4.20							+
5318185706017892736	129.4868	-52.9317	6.62±0.07	147.41	-0.24	-146.29	-18.18	-25.01±0.15	24.00±0.13		16.37	3.11	10.48							+
5318186565011453056	129.6357	-52.9351	6.23±0.07	156.28	-0.10	-155.11	-19.09	-24.74±0.13	23.07±0.12		15.72	2.77	9.69							+
5318229274167094656	131.5635	-53.7562	$26.65 \pm 0.03$	149.01	3.42	-147.98	-17.13	-24.66±0.05	$22.92\pm0.04$	$16.00 \pm 0.83$	10.23	0.78	4.34	93.73	-6.46	23.31	-16.07	-5.53	+	+
5318240131844762880	131.9969	-53.4612	$6.62 \pm 0.09$	146.20	3.18	-145.31	-15.84	$-25.75\pm0.16$	21.80±0.15	12 62 1 20	16.93	3.26	6.07	00.06	0.22	24.02	12 62	5 14	$\vdash$	+
5318207055995905508	131.0423	53 6261	$6.08\pm0.03$	140.57	2.60	147.29	17.04	$-25.03\pm0.03$	$23.87\pm0.03$	12.05±1.28	11.94	2.78	0.07	90.90	-0.55	24.02	-12.05	-3.14		+
5318209371982902432	131.0522	-53.6201	$16.05\pm0.05$	140.50	2.00	-147.30	-18 37	$-25.49\pm0.10$ -25.28+0.08	$23.03\pm0.09$ 22 42+0 09		15.47	2.78	9.30							+
5318283012799031808	130.6706	-53.5099	$6.54\pm0.03$	151.45	2.11	-150.35	-18.11	-24.13±0.05	$23.69\pm0.06$		14.34	2.26	8.42							+
5318293526879324288	130.8904	-53.2329	6.61±0.04	149.17	1.71	-148.17	-17.13	-25.62±0.08	23.36±0.07		15.39	2.70	9.49							+
5318296275658773888	131.4496	-53.4306	6.71±0.03	147.67	2.63	-146.71	-16.60	-26.09±0.05	23.48±0.05	15.83±8.73	10.10	0.77	4.24	92.44	-5.54	24.10	-15.74	-6.00	+	+
5318329913841442048	132.3007	-53.4646	6.81±0.07	143.71	3.42	-142.86	-15.22	-27.19±0.13	23.55±0.13		15.81	2.84	9.98							
5318333349814767744	132.1409	-53.4626	6.75±0.06	145.13	3.29	-144.25	-15.55	$-26.60\pm0.11$	$23.89 \pm 0.10$		16.00	3.00	10.15							+
5318341905390002048	132.6044	-53.1385	6.50±0.02	152.94	3.26	-152.14	-15.28	-26.29±0.03	22.32±0.03		13.74	1.97	7.80						$\vdash$	+
D318354408031489664	132.0356	53.0936	$0.48\pm0.11$	148.73	2.53	-147.90	-15.47	-25.21±0.22	23.14±0.21		17.59	3.56	11.65							+
5318376093330970112	132.545/	-52.9013	6 49+0 04	151.82	2.02	151.03	13.19	-25.90±0.09	22.03±0.11		10.00	2.90	8 02						⊢	+
5318410349990827008	132 1994	-52 8727	$6.59\pm0.04$	148.05	2.23	-147 28	-14 85	-25.80+0.14	22.62+0.00		15 35	2.30	9 44						$\vdash$	+
5318412686452956800	132.0007	-52.8501	$6.44\pm0.04$	153.09	2.06	-152.29	-15.56	-24.95±0.07	23.27±0.07		6.25	-0.12	0.30						+	+
5318417118858937088	131.6226	-52.9464	6.78±0.03	146.24	1.80	-145.41	-15.47	-26.23±0.06	23.79±0.04		11.62	1.16	5.78							+
5318420039436905856	131.7642	-52.7811	6.53±0.13	146.76	1.61	-145.98	-15.10	-25.77±0.25	22.10±0.25		17.96	3.78	12.03							+
5318471304162465664	130.3581	-53.4429	6.49±0.09	148.97	1.64	-147.86	-18.09	-23.79±0.17	22.11±0.16		16.66	3.25	10.72							+
5318474941990522368	130.3577	-53.3781	6.65±0.03	149.10	1.51	-148.00	-18.01	-25.04±0.05	25.06±0.04	20.72±11.17	12.17	1.36	6.28	96.58	-10.53	24.78	-20.47	-5.85		+
5318476423763513344	130.4646	5-53.3498	36.48±0.04	152.36	1.58	-151.26	-18.22	-24.58±0.07	$23.30\pm0.07$		14.71	2.45	8.76						$\square$	+
5318485735252703232	130.7444	-53.0983	$36.75\pm0.04$	145.83	1.27	-144.87	-16.72	$-25.17\pm0.08$	$22.90\pm0.09$		14.98	2.80	9.12							+
5218480450790402848	130.0030	52 0160	$6.28\pm0.02$	154.86	1.04	152.84	17.69	-24.38±0.38	$22.77\pm0.40$		4.78	-0.24	-0.90							
5318487208427013032	130.0940	-53.0109	$56.38\pm0.03$	143 29	1.12	-133.84	-16.91	-25.70±0.00	$22.01\pm0.00$ 23.88+0.12		10.22 15.76	2.84	9.94							+
5318490545615836032	130.3997	-53.1574	$6.57 \pm 0.07$	148.66	1.00	-147.61	-17.56	-24.61±0.14	$22.86\pm0.12$		16.68	3.13	10.77							+
5318493569273146496	130.1560	-53.1284	6.55±0.05	150.17	0.81	-149.09	-17.99	-25.79±0.10	23.17±0.09		15.75	2.77	9.84							+
5318496764728574848	130.5511	-53.1010	6.60±0.03	149.72	1.12	-148.70	-17.41	-22.73±0.06	21.79±0.08	17.37±1.89	9.50	0.64	3.60	95.12	-9.07	22.17	-17.07	-5.42		
5318498688873909632	130.5772	-53.0324	$6.56 \pm 0.02$	151.18	1.02	-150.17	-17.44	-23.47±0.04	$23.34 \pm 0.05$		13.16	2.11	7.25							+
5318499822745556992	130.5413	-52.9676	6.63±0.04	148.65	0.83	-147.67	-17.09	-25.69±0.07	23.53±0.08		7.36	0.02	1.47						+	+
5318500303781947776	130.5613	-52.9339	6.59±0.03	149.95	0.79	-148.96	-17.16	-24.68±0.07	23.39±0.07		10.48	1.03	4.57					L		+
5318501334573605504	130.4151	-52.9927	6.58±0.03	150.69	0.77	-149.66	-17.52	-24.12±0.05	20.11±0.05	14.56±4.55	12.84	1.69	6.93	89.89	-6.19	21.97	-14.04	-6.66	$\vdash$	<u> </u>
D518502/43323310848	130.4731	-52.9653	0.54±0.07	149.41	0.77	148.41	17.25	$-24.70\pm0.13$	22.90±0.16		15.81	2.84	9.88							+
5318505285044674422	130.5204	53 1320	$630\pm0.04$	151.4/	1.08	154 24	17 64	-24.44±0.08 24 17+0 11	23 01+0 14		14.83	2.33	0.69						⊢	+
5318510332522027008	130.8659	-52 9500	$6.61\pm0.00$	150.20	1.39	-149 50	-16 88	-24.20+0.03	24.35+0.03		13 34	1.83	7 45						$\vdash$	+
5318513459254598528	130.9099	-52.8486	$56.50\pm0.08$	149.59	0.94	-148.67	-16.55	-24.90±0.16	22.72±0.14		16.49	3.05	10.55							+
5318517449291928960	131.2313	-52.7782	26.92±0.07	141.14	1.05	-140.32	-15.13	-24.98±0.14	23.76±0.14		16.69	3.15	10.89		L	L				+

5219524192900706049	120 7041	52 9700	6 42 10 08	151 60	0.80	150.62	17.07	25 69 10 15	02 77:0 15		15.00	2.21	10.02					1	1	
5318524183800706048	130.7041	-52.870	96.42±0.08	151.60	0.80	-150.65	-17.07	-25.68±0.15	23.7/±0.15		15.99	3.21	10.02				10.00			+
5318532735067774848	130.8719	9-52.6911	$16.61 \pm 0.03$	149.84	0.58	-148.94	-16.37	$-24.58\pm0.05$	$19.76 \pm 0.05$	$13.41 \pm 4.10$	11.57	1.15	5.67	88.61	-4.54	21.92	-12.90	-6.69		
5318536037910263808	130.8144	1-52.6469	96.58±0.08	147.83	0.43	-146.94	-16.16	-25.26±0.14	23.01±0.15		16.13	3.18	10.22							+
5318536000082033248	130 824/	1 52 6030	$652\pm0.03$	151 51	0.36	150.62	16.47	24 65+0 05	$22.76\pm0.05$	14 15+1 45	0.03	0.54	3.11	01 32	2 /3	23 07	13 74	5 56	-	
5510510001001001	130.024	-52.0050	50.52±0.05	1.10.00	0.50	1150.02	17.02	-24.05±0.05	22.70±0.05	17.13±1.43	2.05	0.04	3.11	21.52	-2.45	23.77	15.00	5.50	-	
5318541982138813824	129.993	-53.0500	$56.61\pm0.04$	148.93	0.49	-147.85	-17.92	-25.30±0.07	24.69±0.07	1/.24±0.83	8.62	0.39	2.72	93.48	-5.86	24.98	-16.80	-5.85		+
5318541982145960064	129.9898	3-53.0546	56.76±0.21	137.91	0.45	-136.91	-16.61	-25.43±0.39	$22.32\pm0.40$		5.14	-0.20	-0.71							+
5318543425255007872	130.0726	5-53.0153	$36.46 \pm 0.09$	149.51	0.49	-148.44	-17.84	$-24.79\pm0.17$	$23.08\pm0.16$		5.52	-0.18	-0.43							+
5219544071442141622	120.0076	52 0000	26.62+0.05	140.22	0.20	147.24	17.00	25.01+0.00	22 20 10 08		15 51	2.75	0.62							<u> </u>
5518544971445141052	129.9076	5-55.0000	50.03±0.03	146.52	0.50	-147.24	-17.00	$-23.01\pm0.09$	22.30±0.08		15.51	2.13	9.02							+
5318546139674245888	129.9292	2-52.9641	$16.64 \pm 0.03$	149.33	0.25	-148.25	-17.92	-25.44±0.05	$22.48 \pm 0.05$	$16.78 \pm 2.79$	8.99	0.52	3.10	91.52	-7.25	23.70	-16.17	-6.81		+
5318552496225991680	130.2867	7-52.8106	$6.46 \pm 0.08$	150.23	0.27	-149.22	-17.34	$-23.79\pm0.16$	$23.26 \pm 0.18$		16.86	3.28	10.92							+
5219554076772901229	120 1970	52.914	46.40+0.05	152.40	0.10	152.26	17.04	22.07+0.10	22 52 10 08		15 10	2.74	0.22							<u> </u>
3318334070773891328	150.1875	-52.8144	+0.40±0.03	155.40	0.19	-132.30	-17.84	-23.9/±0.10	22.35±0.08		13.18	2.74	9.22							+
5318554179853105024	130.2002	2-52.7916	$66.56\pm0.04$	150.28	0.15	-149.27	-17.42	-24.26±0.09	$23.0' \pm 0.09$		14.88	2.50	8.96							+
5318557237870027776	130.3086	5-52.6725	$56.53 \pm 0.04$	150.67	0.00	-149.69	-17.14	-24.27±0.10	$23.75 \pm 0.09$		14.68	2.40	8.75							+
5219557512747022672	120 2020	52 6559	$26.61 \pm 0.04$	149.04	0.05	147.07	16.04	25 16+0.00	$22.51\pm0.10$		15 17	2.64	0.29							
5518557512747952072	130.2920	-52.0550	50.01±0.04	140.94	-0.05	-14/.9/	-10.94	-23.10±0.09	$23.31 \pm 0.10$		13.17	2.04	9.20							+
5318557581467400320	130.2840	)-52.6348	86.63±0.04	149.06	-0.10	-148.10	-16.93	$-25.58\pm0.08$	$24.05\pm0.08$		15.10	2.59	9.21							+
5318565656005527936	129.7616	5-52.7106	$6.50\pm0.02$	152.61	-0.45	-151.53	-18.12	-23.71±0.05	$23.82 \pm 0.05$	$11.82 \pm 3.91$	10.69	0.93	4.76	90.27	2.36	24.29	-11.33	-4.76		+
5318567058108066044	130.0067	52 703	16 64+0 03	1/0 21	0.22	148 20	17.40	24 57+0.06	$23.38\pm0.05$	15 65+0 40	8 17	0.34	2.58	02.38	1.63	23 00	15 11	5 72		
5318507958108000944	130.0007	-52.703-	$+0.0+\pm0.03$	149.21	-0.22	140.20	-17.40	-24.37±0.00	23.38±0.05	15.05±0.49	0.47	0.54	2.30	92.30	-4.05	25.90	-15.11	-5.72	т	т
5318569195058991616	130.2395	-52.6390	J6.59±0.03	150.13	-0.13	-149.15	-17.11	-25.24±0.06	$23.5/\pm0.06$		14.37	2.28	8.47							+
5318569676094904192	130.2298	3-52.5805	56.55±0.09	147.95	-0.26	-147.00	-16.79	-25.62±0.18	23.53±0.20		17.02	3.38	11.10							+
5318571840758892288	130.0415	5-52 5864	$1644 \pm 0.08$	150.96	-0.44	-149 95	-17 38	-2452+018	23 47+0 16		16 74	3 39	10 78							+
52105720710/010102200	120 1172	52.500	16 20 - 0.00	154.00	0.54	152.00	17.50	22.55:0.10	$22.17\pm0.10$		17.00	2 40	11.07							
05185/39/1062181248	130.1152	2-52.500.	10.29±0.09	154.08	-0.56	-155.08	-17.50	-23.33±0.18	∠∠.1/±0.20		17.28	3.42	11.27	L	L	L				+
5318575482892257536	130.5365	5-52.7470	$06.62 \pm 0.03$	149.16	0.37	-148.21	- <u>16</u> .80	$-24.90\pm0.07$	$23.01 \pm 0.06$		14.06	2.34	8.17	L		L				+
5318575654690961152	130.5054	1-52.7450	06.59±0.11	145.86	0.33	-144.93	-16.47	-24.35±0.21	23.41±0.23		17.00	3.37	11.09							+
5318581530206049256	130 4464	57 55 40	86 64±0.07	147.11	0.11	146.10	16.29	24 02+0 14	$22.01\pm0.14$		16 21	3.00	10.42						ł	
5510501550200046250	130.4400	-52.3340	0.0+±0.0/	14/.11	-0.11	140.19	-10.38	-24.72±0.14	22.01±0.10		10.31	3.00	10.42							+
5318599362909734400	130.2010	)-52.3414	$46.50\pm0.07$	150.13	-0.79	-149.20	-16.69	-24.38±0.13	$22.82\pm0.15$		16.70	3.16	10.76							+
5318602592725367424	130.6088	3-52.3142	$26.43 \pm 0.04$	153.24	-0.46	-152.35	-16.47	$-24.10\pm0.08$	$22.04 \pm 0.08$		14.97	2.53	9.01							+
5318607540527504769	130 4049	2 52 2121	16 65+0.06	147.40	-0.85	146.54	15 04	$-26.04\pm0.11$	$2336\pm010$		15 82	2 70	0.05		1					_ر
5318007540527504708	130.4040	52.212	$10.03\pm0.00$	147.40	-0.85	170.10	-13.94	-20.04±0.11	$23.30\pm0.10$		13.83	2.19	9.95							+
5318623586524753280	131.7858	52.3329	96.5 <i>3</i> ±0.04	151.21	0.75	-150.49	-14.80	-25.14±0.06	22.95±0.06		14.73	2.41	8.80							+
5318630905148648704	131.4129	9-52.4331	16.54±0.03	151.40	0.59	-150.60	-15.45	-25.96±0.06	$21.08 \pm 0.05$		9.76	0.67	3.84						+	
5318678802624759680	131 9445	5-51 7942	26 75+0 06	144 90	-0.19	-144 30	-13 14	-26 46+0 11	23 05+0 10		15 91	2.92	10.06							+
5210(04017242(04400	121.150	52.022	26.10+0.07	157.61	0.54	156.02	15.70	25.12+0.12	$22.02 \pm 0.11$		15.72	2.00	0.00							÷
5318694917343684480	131.1390	0-52.0223	50.19±0.07	157.01	-0.54	-130.83	-15.72	-23.12±0.13	22.08±0.11		15.73	2.99	9.69							+
5319702757181332608	124.6699	9-54.2130	$06.20 \pm 0.08$	156.77	-1.83	-154.30	-27.66	-22.07±0.15	$21.46 \pm 0.13$		16.56	3.22	10.52							
5321134149526405120	127.4127	-53.094	56.63±0.05	148.35	-1.79	-146.83	-21.14	$-23.46\pm0.10$	$24.34 \pm 0.09$		15.59	2.76	9.70							+
5221150051425806064	128 6775	52 29/1	$6.71\pm0.06$	145.60	0.24	144.29	10.49	22 81+0 12	$24.17\pm0.15$		16.02	2.00	10.15							<u> </u>
5321150951435890004	128.077.	55.264	J0.71±0.00	145.09	-0.24	-144.36	-19.40	-23.81±0.12	24.1/±0.13		10.02	3.00	10.15							+
5321154967220812032	128.9395	5-53.2566	56.54±0.02	151.57	-0.07	-150.26	-19.90	-24.65±0.04	$23.58\pm0.04$		12.17	1.35	6.25							+
5321167959506065280	128.3990	)-53.1638	86.30±0.04	156.28	-0.79	-154.85	-21.07	-23.30±0.08	23.67±0.07		15.39	2.67	9.39							+
5321172323192731008	128 7795	5-53 0734	56 53+0 05	150 57	-0.60	149 28	19.68	$-23.44\pm0.10$	$23.92\pm0.11$		15 57	2.82	9.64							+
5321172323192731008	120.779.	53.075	0.55±0.05	130.37	-0.00	149.20	10.40	-23.44±0.10	$23.92\pm0.11$	15.10.1.06	13.57	2.02	5.04	01.44	0.40	04.10	14.07	5.00		T
5321176205843037440	128.5542	2-52.972	$16.70\pm0.02$	148.11	-1.01	-146.82	-19.49	-24.41±0.04	$24.29\pm0.04$	$15.12 \pm 1.26$	11.85	1.18	5.98	91.44	-3.43	24.12	-14.37	-5.83		+
5321192457993772672	129.2231	1-52.8420	06.31±0.06	155.37	-0.70	-154.15	-19.36	-24.02±0.11	$22.89 \pm 0.11$		15.95	2.79	9.95							+
5321209809668118912	129 0870	-52 6699	96 35+0 10	151.85	-1.18	-150.68	-18.83	-23 87+0 22	23 57+0 19		1646	3 23	10.48							+
5321209009000110912	120.0070	52.007	$0.33\pm0.10$	151.05	-1.10	140.61	10.05	24.10+0.12	$23.37\pm0.17$		17.16	2.20	11.20							
53212108/0519453440	129.0092	2-52.6210	J6.43±0.09	150.78	-1.35	-149.61	-18.72	-24.18±0.17	$24.3/\pm0.21$		17.16	3.28	11.20							+
5321212730245914752	129.2335	5-52.5220	6.39±0.05	153.39	-1.37	-152.25	-18.60	$-23.56\pm0.10$	22.76±0.13		16.09	2.82	10.11							+
5321251591111558400	128 8664	1-52.6754	4661+007	147 48	-1 34	-146 30	-18 57	-23 13+0 15	22 71+0 15		16 58	3 10	10.68							+
5221265916042499512	128.0207	52.070	$6.61 \pm 0.07$	147.41	1.09	146.20	17.07	24 20+0 12	$22.71 \pm 0.12$		16.22	2.80	10.22							<u> </u>
3321203810043488312	128.9507	-32.337	90.04±0.07	147.41	-1.98	-140.29	-17.97	-24.39±0.13	$23.20\pm0.14$		10.22	2.89	10.55							+
5321275295028390912	128.5755	52.2659	96.44±0.02	153.94	-2.57	-152.73	-19.12	-23.47±0.04	23.07±0.04	$14.90\pm0.59$	12.01	1.19	6.06	91.11	-2.80	24.10	-13.95	-5.78		+
5321280728169745536	128.7548	3-52.2336	56.83±0.02	145.38	-2.33	-144.26	-17.79	-24.52±0.04	$24.36 \pm 0.04$	17.26±2.55	11.90	1.21	6.07	93.34	-6.39	23.93	-16.35	-5.83		+
5321281440724262400	128 6120	52 2122	36 68+0 07	146.05	-2.51	144 01	18 02	24 15+0 15	$24.17\pm0.14$		16.64	3 17	10.76							_ر
5521201447724202400	126.0132	-52.2133		140.00	-2.31	140.00	10.02	27.13-0.13			10.04	3.17	10.70	<u> </u>	<b> </b>	<u> </u>	<u> </u>			т
5521288527827254784	126.9367	1-55.3226	0.0 <i>3±</i> 0.06	149.70	-1.74	-148.03	-22.27	-22./4±0.14	∠4.16±0.13		16.29	2.94	10.36	L		L				
5321572442349020160	129.5049	<del>)</del> -52.5337	76.73±0.05	146.26	-1.03	-145.22	<u>-17</u> .42	$-24.78\pm0.10$	$23.78 \pm 0.08$		15.70	2.83	9.84	L						+
5321600445535344000	129,6502	2-52,110	76.63±0.03	149.62	-1.80	-148.64	-16.97	-24.97±0.05	$23.59 \pm 0.04$	$11.74\pm6.47$	12.54	1.45	6.65	88.62	2.30	24.32	-10.96	-5.46		+
532161872/017007104	120 0207	52 1051	36 10+0.05	151.20	1 20	150.22	16.05	24 80+0 10	23 80+0.00		15 44	2 72	0.50							
5521010/2491/00/104	127.9201	-52.1953	0.47±0.03	151.28	-1.36	150.52	-10.93	-24.09±0.10	23.80±0.09		10.44	2.12	7.30							+
5321663392577750400	129.3820	)-51.936(	J6.17±0.05	159.53	-2.58	-158.47	-18.17	-22.66±0.09	21.41±0.07		15.23	2.60	9.19							
5321664870046502272	129.3892	2-51.9310	06.09±0.06	160.31	-2.60	-159.25	-18.24	-22.57±0.12	21.39±0.13		16.00	2.84	9.92	_				T	I	
5321665965252347136	129 3360	-51 867	76 66+0 06	147 10	-2 57	-146 22	-16 72	-24 24+0 12	24 00+0 09		15 68	2.81	9.80	1	1	1				+
5221005705252547150	120 0120	51.007	26.50+0.00	151 42	1.07	150.22	14.50	21.27-0.12		10 20 17 40	12.00	1.01	2.00	06.41	0.05	22.05	10 64	5.24		1.
5521725105501397888	130.9120	J-21.3060	50.30±0.04	131.43	-1.84	-130.72	-14.39	-23.03±0.06	∠1.01±0.06	19.29±7.48	12.05	1.25	0.09	70.41	-7.93	23.05	-10.04	-3.34		
5322112646157544576	129.6522	2 <u>-50.1</u> 976	5 <u>6.64±</u> 0.08	14 <u>6.</u> 73	-5.68	-14 <u>5</u> .98	- <u>13.</u> 71	$-23.94\pm0.15$	$22.28\pm0.16$		16.77	<u>3.1</u> 7	10.88							+
5322573994359986944	126.1474	5-50.8570	26.87±0.05	143.16	-7.43	-141.72	-18.82	-23.77±0.09	25.33±0.10		15.48	2.78	9.66							
5322760013580302290	127 727	3-50 502	76 51+0.09	1/10/20	-6.82	148 24	17 12	23 05+0 14	$2270\pm0.16$	1	16 71	3 1 /	10.79		1					_ر
5522707715567575280	121.1213	-30.393	10.J1±0.08	147.38	-0.83	140.24	-17.13	-23.03±0.14	22.70±0.10		10./1	3.14	10.78							+
5322833994504018688	128.9798	5-50.3830	J6.15±0.09	157.83	-6.41	-156.88	-16.00	-22.94±0.16	22.11±0.17		16.69	3.30	10.63							
5322839182824535808	129.1030	0-50.2554	46.53±0.03	151.56	-6.30	-150.68	-15.00	-23.55±0.05	$22.48 \pm 0.06$		9.35	0.59	3.42	_		_		T	+	+
5323126464596520704	128 6195	-49 3074	57 03+0 04	140 38	-816	-139 53	-13 13	-26 53+0 07	23 65+0 06		14 81	2.53	9.04							
522220766601495696	125 0021	52 200	46.22:0.04	155.04	7.20	154 (1	11.00	26.53±0.07	$20.22 \pm 0.00$		15 //	2.55	0.77							
0523397000014856960	135.9031	1-33.3904	+0.32±0.05	133.24	1.30	-154.61	-11.89	-20.31±0.09	20.32±0.09		13.66	2.79	9.6/							
5323642616594496000	134.1247	7 <u>-52.71</u> 26	5 <u>6.60±0.06</u>	148.62	3.84	-148.05	- <u>12.3</u> 2	$-26.09\pm0.10$	21.96±0.10		15.55	2.69	9.65							+
5324423991395670912	133,6223	3-52,104	36.74±0.07	145.09	2.08	-144.61	-11.63	-26.22±0.12	$22.54\pm0.14$		16.14	2,97	10.29							+
5324711512600725276	133 0225	7 51 2200	$36.31\pm0.02$	157.04	0.25	156.61	11.05	24 42+0.05	$21.00\pm0.04$		14 00	2.00	8 00							<u> </u>
5524711515066723570	100.0201	-51.2293	0.31±0.03	1.57.00	-0.25	1.15.01	-11.03	-27.72±0.03	21.00±0.04		14.00	2.09	0.00							
5328033481911917056	132.6597	-49.1519	90.66±0.08	145.83	-4.69	-145.53	-8.11	-24.2/±0.16	∠1.13±0.15		16.29	3.21	10.41							
5328090622157311744	131.4765	5-49.6444	46.97±0.09	139.12	-4.71	-138.69	-9.94	-24.89±0.17	22.21±0.15		17.27	3.41	11.48					T	I	+
5328127730675533440	130 6325	5-49 5221	17 08+0 08	137 56	-5 70	-137 03	-10.67	-26 44+0 13	23 86+0 12		16 00	3.41	11 24	1		1				
5526127750075555440	106.552	AD 0027	17.00±0.00	157.50	-5.70	157.05	17.07	20.77±0.13	$23.00\pm0.13$		10.77	0.07	10.2						1	
5515254920272567296	126.7778	s-49.0377	/o.1/±0.07	157.84	-11.69	-156.49	-17.00	-21.55±0.14	21.6/±0.12		16.39	2.97	10.34							
5515321646885722880	126.5201	-48.6898	86.70±0.07	145.54	-11.75	-144.23	-15.53	-22.92±0.14	23.89±0.12		15.71	3.07	9.84	l I						
•																				

## Приложение 2. Список звезд скопления Гиады

		А	D	RA	DEC	m±om.	f	u.±σu	us±σus	Vr±σVr.	Ref	Доп.
TGAS	HIP	град	град	J2015.0	J2015.0	мел	$(1/\sigma\pi)$	µа≖оµа, мсл/гол	мсл/гол	км/с	Vr	инфор-
		- Park	·Puz	град	град		(1, 511)		шедтод			мация
144171228809559808	21099	97.869	6.873	67.816	20.133	21.70±0.23	4.35	$106.41 \pm 0.13$	-39.26±0.08	39.7±0.2	[40]	
144377799556207488	21256	96.380	7.232	68.405	21.151	22.99±0.27	3.70	$108.32 \pm 0.14$	$-46.26\pm0.10$	41.4±0.4	[98]	
145293177350363264	20712	97.212	7.866	66.578	21.470	21.46±0.44	2.27	103.54±0.06	-37.87±0.04	38.2±0.1	[172]	SB
145325544220443904	20480	96.7272	7.155	65.844	21.379	20.12±0.25	4.0	99.37±0.11	-37.94±0.07	38.5±0.2	[40]	SB
145373372976256512	20557	98.0802	6.578	66.061	21.736	$23.36\pm0.32$	3.13	$117.37 \pm 0.05$	-45.80±0.03	37.3±0.5	[98]	
146677874804442240	21637	98.048	6.344	69.714	23.150	23.00±0.29	3.45	105.49±0.06	-54.19±0.08	39.1±0.2	[139]	
144534720481849856		-	-	66.699	21.235	$23.44 \pm 0.42$	2.38	$113.89 \pm 1.07$	-45.79±0.78	-		High PM
146698078328904064	21741	97.013	7.545	70.025	23.304	16.91±0.23	4.35	75.66±0.15	-38.49±0.09	40.7±0.7	[98]	
147182172683187712	22394	97.341	7.263	72.304	24.803	$20.47 \pm 0.31$	3.23	84.70±0.10	$-52.92\pm0.07$	$40.6 \pm 0.4$		Var.RS
1401020 (2125522052				70.020	25.502	22 (0) 0 24	2.04	100.00.00	(2.10) 1.20		[112]	CVn
148183862135533952		-	-	70.039	25.592	22.68±0.34	2.94	102.33±2.03	-63.19±1.38	-		Rotat. var.
148946064212226944		-	-	64.545	23.284	18.67±0.23	4.35	93.58±1.07	$-38.81\pm0.64$	-		Var. RS
140005266040510000	10702	07.056	6.022	(2) (25	00.575	22.10+0.25	4.00	110.02+0.00	49.21+0.05	27.5+0.2	F 401	CVn V DV
149005266040519808	19/93	97.256	6.833	63.635	23.575	22.19±0.25	4.00	119.82±0.08	$-48.31\pm0.05$	37.5±0.2	[40]	Var. BY
151270146007107200	20040	06.264	6.050	(7.270	26 (71	17 (0+0.41	2.44	82 80 10 08	49.49+0.00	29.5+0.2	F401	Dra
1515/914600/10/200	20949	90.304	0.950	60.282	20.0/1	$1/.60\pm0.41$	2.44	82.80±0.08	$-48.48\pm0.06$	38.3±0.2	[40]	
1/045/590891/9//00	02210	-	-	00.282	33.190	$21.82\pm0.31$	3.23	132.03±0.79	$-74.20\pm0.41$	-	[117]	
3239389078908988288	17766	98.008	6 702	57.050	4.735	$19.23 \pm 0.24$ 27.26±0.25	4.17	$\frac{72.03\pm0.17}{175.52\pm0.10}$	$9.9/\pm0.11$	$42.9\pm0.0$	[117]	Ligh DM
3277270334003393920	22177	96.030	6.793	71.570	2.626	$27.30\pm0.23$	4.00	$173.32\pm0.19$	$0.30\pm0.11$	$33.4\pm0.4$	[90]	riigii rivi
3281004202038014912	22177	90.331	0.722	/1.3/9	3.030	$22.13\pm0.23$	4.00	95.20±0.18	15.29±0.14	43.2±0.4	[90]	High DM
3282171745125201792		-	-	69.493	4.070	$20.86\pm0.34$	2.94	96.07±1.09	8.33±0.82	-		High PM
3283283790922133424	10441	-	-	05.208	3.209	$20.81\pm0.34$	2.94	139.23±1.10	$1/.34\pm0.33$	-	1001	LU-1 DM
3300315439330018304	19441	105.616	5.434	62.456	9.305	28.08±0.25	4.00	154./5±0.15	-5.45±0.12	28.1±0.3	[98]	High PM
3300934223858467072	19/96	98.514	7.306	63.644	10.701	22.18±0.24	4.17	119.5/±0.06	-5.52±0.05	37.1±0.4	[98]	High PM
3304337452864501120	19316	96.396	7.184	62.112	12.192	21.82±0.28	3.57	119.35±0.17	$-10.8/\pm0.13$	38.4±0.4	[98]	High PM
3304412597612195328	19/86	97.971	6.635	63.614	12.435	20.92±0.27	3.70	$114.82 \pm 0.09$	$-13.06\pm0.06$	38.3±0.0	120(1	Var. BY
2205071021241047000	21066	09.450	6 201	(7.72)	10 752	21 20 0 20	2.79	102.00+0.04	10.92+0.02	20.0+0.7	[200]	Dra
33058/182134104/808	21000	98.450	0.201	07.739	10.752	$21.20\pm0.36$	2.78	$102.99\pm0.04$	$-10.82\pm0.02$	39.0±0.7	[98]	
3300922934437307930	20820	98.402	0.001	00.942	12.112	$21.64\pm0.23$	4.00	$110.01\pm0.08$	$-12.4/\pm0.04$	39.7±0.0	[206]	VerDV
550/504218151520250	21179	97.997	0.378	08.107	13.115	21.42±0.24	4.17	104.39±0.23	$-18.43\pm0.13$	40.4±0.6	[165]	Var.B I
2207528020440757056	21267	101 214	5.027	69 115	12 252	21.67±0.41	2.44	102 82+0.04	17 42+0.02	25 0+4 4	[103]	Dia
2207645127429272899	20762	06.020	5.927	66 727	12.129	$21.07\pm0.41$ 20.78±0.24	2.44 4.17	$102.82\pm0.04$ 104.52±0.22	$-17.42\pm0.02$	$33.0\pm4.4$	[90]	ł
22078150010847777088	20702	90.920	6.442	67.972	12.002	20.78±0.24	4.17	104.32±0.22	$-10.30\pm0.13$ 17.26±0.02	$41.2\pm0.4$	[90]	СD
2207844860507241088	20050	98.271	6.442	67.010	12.905	$18.30\pm0.32$	5.15	89.95±0.00	$-17.30\pm0.03$	39.2±0.9	[120]	30
2207002222504220640	20830	97.010	7 266	60.062	12.000	$20.88\pm0.24$	4.17	$102.33\pm0.10$ 102.50±0.17	$-16.99\pm0.08$	$40.4\pm0.2$	[40]	ł
2200006507711270228	21723	90.047	7.300	71 627	12.720	$23.40\pm0.24$ 21.40±0.27	4.17	102.39±0.17	$-10.17\pm0.12$	$41.7\pm0.0$	[200]	ł
2200056850625510488	22203	95.800	6.920	/1.02/	15.472	$21.40\pm0.27$	5.70	$\frac{80.72\pm0.08}{06.05\pm0.71}$	$-23.98\pm0.00$	$42.8\pm0.8$	[120]	
2210820620008772728	20527	97.042	7 452	65.077	14.052	$19.90\pm0.24$	4.17	$90.03\pm0.71$	$-24.18\pm0.40$	$41.3\pm0.4$	[139]	Ligh DM
3310820020098473728	20327	90.293	6.955	66.946	14.032	$23.24\pm0.24$ 20.38±0.27	4.17	$113.00\pm0.27$ 100.51±0.15	$-18.94\pm0.18$ 10.25 $\pm0.08$	$40.0\pm0.3$	[90]	riigii rivi
3310903730303430312	20327	97.201	6.888	65 305	14.410	20.38±0.27	2.86	$100.31\pm0.13$ $104.23\pm0.04$	$10.13\pm0.03$	40.1±0.5	[90]	
3311024703003073720	20337	07 110	7 720	65.885	14.410	20.43±0.33	2.00	109.27±0.16	$17.06\pm0.03$	$39.0\pm0.0$	[70]	
3311148824319241472	20492	97.119	1.129	66 520	15.041	$21.37\pm0.24$ 20.99±0.36	2.78	$109.27\pm0.10$ 101.54 $\pm1.21$	$-17.90\pm0.11$	39.9±0.2	[40]	
33111/9333700914944	10834	- 07 600	6.017	63 704	1/ 308	$20.99\pm0.30$ 20.97 $\pm0.23$	4.35	$101.34\pm1.21$ $114.41\pm0.30$	$1832\pm0.03$	- 38.8+0.5	[90]	High DM
3311492799000004384	19834	97.009	7 588	63 607	14.398	$20.97\pm0.23$	3.57	$107.12\pm0.00$	$-16.32\pm0.22$	$38.3\pm0.3$	[90]	111gii 1 ivi
3312025581763840512	20485	98.091	6.921	65.856	15 763	20.30±0.28	3.23	$107.12\pm0.09$ 125.00±0.18	$-26.47\pm0.12$	38.8±0.3	[+0]	Var BY
5512025501705040512	20405	70.071	0.721	05.050	15.705	21.21±0.31	5.25	120.00±0.10	20.17±0.12	50.0±0.5	[153]	Dra
3312136494998639872	19877	98 568	6 674	63 943	15 401	21 85+0 81	1 23	115 63+0 03	-21 52+0 03	36 4+2 0	[83]	Ellips var
3312197930211158784	19862	97.456	7.055	63.891	15,706	$22.14\pm0.30$	3.33	$120.51\pm0.20$	$-23.20\pm0.14$	39.0±0.4	[40]	High PM
3312281664893305728	20082	97.848	7.331	64.581	16.088	22.19±0.22	4.55	118.86±0.21	$-23.42\pm0.15$	38.8±0.2	[.0]	Var BY
2012201001092000720	20002	271010	1.001	0 110 0 1	10.000	2211)-0122		110100-0121	20112-0110	2010-012	[205]	Dra
3312564033223630720	21138	97.273	7.107	67.969	15.499	22.02±0.25	4.00	105.21±0.34	-24.27±0.17	40.4±0.2	[153]	
3312575681175439616	21317	97.270	6.393	68.648	15.505	21.74±0.24	4.17	101.12±0.10	-26.74±0.06	40.3±0.0		Var.BY
											[206]	Dra
3312602344331419136		98.760	7.362	68.634	15.827	19.06±0.33	3.03	90.29±1.00	-20.08±0.42	38.8±0.8	[128]	
3312644881687518976		97.136	6.955	68.248	15.819	21.28±0.24	4.17	100.08±0.67	-25.13±0.40	40.4±0.5		Var.BY
											[228]	Dra
3312709374919349248	20815	98.019	6.699	66.900	15.589	21.13±0.39	2.56	105.20±0.06	-23.80±0.03	39.1±0.3		Var.BY
											[98]	Dra
3312783557591565440	20661	97.891	6.627	66.406	15.941	20.87±0.72	1.39	106.89±0.06	-25.07±0.03	39.6±0.1	[172]	SB
3312921374502681984		96.774	6.441	67.046	16.471	23.57±0.24	4.17	114.22±1.84	-31.78±1.05	40.1±0.9	[128]	High PM
3312951748510907648	20978	97.479	6.915	67.491	16.673	22.37±0.25	4.00	106.80±0.12	-28.27±0.07	39.1±0.8	[128]	
3313259165090609280		98.866	7.044	68.409	16.762	20.31±0.42	2.38	97.94±0.65	-25.17±0.35	38.8±0.9	[128]	High PM
3313630078465745280		97.137	6.828	66.054	16.379	17.69±0.24	4.17	88.38±0.53	-21.67±0.47	39.2±0.2	[139]	
3313662892016181504	20577	98.889	7.407	66.119	16.886	22.13±0.26	3.85	113.09±0.08	-25.04±0.05	37.7±0.2	[40]	Var.BY
												Dra
3313689417734366720	20741	97.890	6.710	66.668	16.747	21.94±0.47	2.13	108.85±0.07	-28.09±0.04	38.7±0.1	[40]	Var.BY
												Dra
33139476998878318 <mark>0</mark> 8	20567	96.909	6.893	66.093	17.079	$19.88 \pm 0.32$	3.13	99.91±0.06	$-26.65 \pm 0.03$	39.8±0.6	[98]	

3314079503847287424	20563	97.806	7.046	66.071	18.003	21.76±0.41	2.44	110.88±0.12	-30.63±0.07	38.9±0.4	[98]	Var.BY Dra
3314109912215994112	20899	98.445	7.072	67.202	17.285	21.64±0.28	3.57	108.70±0.07	-28.42±0.04	39.2±0.0	[206]	Var.BY
3314212063714381056	20948	99 102	6 1 4 5	67 377	17 863	21 49+0 33	3.03	106.09+0.06	-31 97+0 03	37 5+0 7	[200]	High PM
3314212005714501050	20951	97 932	6 5 5 1	67 382	17.803	21.49±0.33	4 17	107.64±0.16	-32 89+0 09	39 1+0 3	[70]	Var BY
0011210020707001072	20701	211202	0.001	0/1002	111070	21177-0121		10,10 .=0.10	02109-0109	5511-015	[139]	Dra
3387381641964995712	24923	97.334	6.698	80.106	11.610	18.13±0.29	3.45	52.19±0.10	-13.60±0.07	44.2±0.6	[117]	
3391712034151625984	23498	97.015	7.197	75.782	13.731	18.81±0.28	3.57	66.26±0.10	-18.03±0.06	43.1±0.3	[139]	
3391728561185367168		97.747	7.440	75.401	13.933	23.22±0.29	3.45	85.67±1.99	-21.62±1.35	42.7±1.1	[128]	High PM
3392446817156214784	23069	97.326	7.192	74.457	14.002	18.34±0.25	4.00	69.78±0.11	-18.05±0.08	42.9±0.2	[40]	
3404812680839290368	22505	97.777	7.321	72.641	15.083	21.16±0.43	2.33	88.98±0.06	-23.36±0.04	42.6±0.3	[40]	SB
3404850785786832512	22566	96.523	7.839	72.847	15.433	16.45±0.28	3.57	65.82±0.06	-18.20±0.04	43.4±0.8	[128]	
3405113740864365440	22422	97.159	7.427	72.384	15.889	20.88±0.24	4.17	86.74±0.07	-25.50±0.05	42.7±0.7	[128]	
3405127244241184256		97.493	7.278	72.216	15.947	16.64±0.23	4.35	69.37±1.27	-20.41±0.85	41.9±1.5	[128]	
3405220084257276416	22524	96.659	7.525	72.703	16.210	20.07±0.33	3.03	83.10±0.04	-26.25±0.03	44.2±1.0	[98]	EB
3405988677241799040		97.629	7.144	72.503	16.412	20.57±0.30	3.33	84.27±4.61	-26.91±2.68	41.3±0.3	[153]	High PM
3406943087694799744	22654	96.706	7.252	73.098	18.997	19.85±0.22	4.55	79.24±0.26	-35.21±0.17	42.9±0.4	[98]	
3407121827053483776	23750	97.270	6.911	76.575	17.816	$18.80 \pm 0.28$	3.57	64.51±0.09	-31.18±0.05	42.7±0.6	[117]	
3407518510233429248		-	-	75.780	19.018	18.59±0.36	2.78	64.78±2.36	-32.99±1.84	-		
3408463506117452544	22850	101.293	5.025	73.743	19.485	15.92±0.39	2.56	62.84±0.03	-28.92±0.02	35.0±4.3	[98]	
3410453484725565312	21261	96.901	7.565	68.425	19.014	21.02±0.25	4.00	100.11±0.21	-33.77±0.12	41.4±0.4	[98]	
3410640882737635200		97.580	6.353	68.171	19.113	19.12±0.41	2.44	90.61±0.86	-33.23±0.76	39.3±0.3	[153]	
3412605297699792512		-	-	71.788	20.882	23.67±0.23	4.35	98.42±1.67	$-50.04 \pm 1.14$	-		High PM
3413146910255989248	22253	97.399	7.920	71.859	23.051	18.37±0.30	3.33	78.94±0.15	-41.25±0.09	41.8±0.4	[98]	
38354676428572288	18322	97.574	6.976	58.757	12.486	21.82±0.24	4.17	131.22±0.17	-10.25±0.08	35.8±0.4	[153]	
43538289638888064	18327	97.045	7.551	58.778	16.998	24.64±0.23	4.35	147.59±0.12	-24.49±0.07	36.2±0.3	[98]	
43789768566924416	17962	95.202	7.630	57.605	17.246	21.03±0.52	1.92	127.10±0.09	-22.28±0.04	37.4±0.5	[112]	EB Algol
45159897490770816	19207	96.718	7.414	61.756	15.335	22.37±0.28	3.57	124.59±0.15	-19.84±0.11	38.0±0.3	[153]	High PM
45367052352895360	19148	96.719	7.472	61.568	15.698	21.34±0.24	4.17	118.93±0.12	-19.62±0.07	37.8±0.3	[139]	
45567507066546048	19263	96.777	6.948	61.931	16.519	21.94±0.24	4.17	122.33±0.17	-24.95±0.12	38.0±0.0	[206]	
45789299177700352	20019	98.478	6.517	64.413	16.948	21.39±0.27	3.70	115.40±0.09	-27.24±0.06	37.7±0.1	[112]	EB
46975431705914112	19504	99.254	6.143	62.677	18.423	21.31±0.35	2.86	121.50±0.03	$-30.93 \pm 0.02$	36.1±0.6	[98]	
47345005052090880	20146	98.350	6.880	64.784	17.525	21.17±0.26	3.85	113.07±0.09	-27.78±0.06	38.1±0.0	[206]	
47541096078933376	20350	99.766	5.901	65.385	18.417	20.47±0.76	1.32	110.61±0.04	-31.87±0.03	37.0±2.0	[231]	
47620260916592384	20056	97.868	6.582	64.508	18.257	21.29±0.47	2.13	113.16±0.06	-31.30±0.03	38.0±0.3		Var. RS
											[112]	CVn
48061405596787712	20890	97.012	6.555	67.156	19.741	$21.01\pm0.30$	3.33	$102.72 \pm 0.07$	$-38.13\pm0.04$	39.8±0.1		Var.BY
											[112]	Dra
49005576847854080	20130	96.886	7.039	64.742	19.907	21.74±0.28	3.57	$112.83\pm0.11$	$-36.52\pm0.07$	$38.8\pm0.2$	F 4 6 3	Var.BY
10001 660000505011	20240		<b>- - - - - - - - - -</b>	65.000	21.040	20.00.027	2 50	104.04.0.04	25.00.00	25.1.2.0	[40]	Dra
49231663928585344	20349	97.722	7.309	65.382	21.040	20.90±0.37	2.70	104.84±0.04	$-35.99\pm0.03$	37.1±2.0	[231]	GD
49365082/92386816	19870	106.565	2.712	63.927	20.820	19.87±0.32	3.13	109.62±0.06	$-35.15\pm0.04$	$27.2\pm2.0$	[231]	SB
50298121485861120	19082	96.958	6.950	61.357	19.442	$21.11\pm0.36$	2.78	$122.02\pm0.24$	$-32.64\pm0.16$	38.0±0.4	[98]	High PM
50327292903510144	18946	97.554	6.293	60.913	19.455	20.86±0.26	3.85	122.15±0.18	$-33.42\pm0.12$	36.9±0.5	[98]	var.
52548237672091392	19934	97.186	6.925	64.140	21.907	19.56±0.25	4.00	104.68±0.10	-38.41±0.07	38.3±0.3	E401	Var.B Y
52812460402050204	10790	00 205	6 500	62 627	22 452	15 65 10 72	1 27	02 60 10 04	22 50 10 02	28 4 2 0	[40]	Dfa
52042246617146240	19/89	99.205	0.382	62 151	22.432	$13.03\pm0.73$	1.37	92.09±0.04	$-32.30\pm0.02$	30.4±2.0	[231]	
66482248520642176	10010	-	-	57 764	23.708	$21.24\pm0.30$	2.33	$119.00\pm1.11$ 152.52±0.17	-43.44±0.72	26.5:0.0	1001	Ligh DM
67351752000540544	16018	90.104	6.610	58 172	25.903	$24.33\pm0.29$	3.43	$132.33\pm0.17$ $140.71\pm1.12$	$-40.10\pm0.10$	30.3±0.9	[90]	High DM
6800001817/320600	16520	97.300	7.012	53 200	23.604	$22.55\pm0.20$ 23.70±0.26	3.05	$140.71\pm1.12$ 162.22±0.09	$-51.01\pm0.03$	31.0±0.9	[133]	High DM
71/87325/6060/012	10329	70.1/1	7.012	54 794	23.092	$23.79\pm0.20$ 18.07±0.60	J.0J 1 45	$102.22\pm0.08$ 117.62±2.00	-39.41±0.04	31.9±0.8	[70]	riigii PM
/140/323400094912		-	-	34.704	20.302	10.0/±0.09	1.45	11/.02±2.99	-+1.00±0./2	-		