

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ ИНСТИТУТ АСТРОНОМИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи

Сизова Мария Дмитриевна

СБЛИЖЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ СО ЗВЕЗДНЫМИ СКОПЛЕНИЯМИ

Специальность 1.3.1 —
«Физика космоса, астрономия»

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук

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

Москва — 2025

Оглавление

	Стр.
Введение	5
Глава 1. ВЫБОР МОДЕЛИ ГАЛАКТИКИ И МЕТОДА РАСЧЕТОВ	10
1.1 Модель Галактики	10
1.2 Метод расчетов	14
1.3 Проверка используемого метода	17
1.3.1 Сохранение энергии	17
1.3.2 Выбор потенциала Галактики	18
1.4 Вывод	20
Глава 2. КИНЕМАТИКА РЗС NGC 2158 и KING 11	22
2.1 Расчеты возраста, положения в Галактике, пространственной скорости, положения апекса	22
2.1.1 Выбор звезд по данным Gaia	23
2.1.2 Исходные данные для исследования скоплений	24
2.1.3 Построение диаграмм СД и цвет-звездная величина	26
2.1.4 Вероятность принадлежности звезды скоплению	27
2.1.5 Определение основных параметров скопления	29
2.2 Расчеты движения РЗС и Солнца в галактическом диске и определение места рождения РЗС, элементов орбиты	32
2.2.1 Определение апекса скоплений	32
2.2.2 Расчеты движения РЗС в диске Галактики	39
2.3 Выводы	45
Глава 3. РАСЧЕТЫ СБЛИЖЕНИЯ РЗС С СОЛНЦЕМ	49
3.1 Поиск сближений РЗС и Солнца в диске Галактики	49
3.1.1 Диаграмма апексов	50
3.1.2 Поиски сближений далеких скоплений с Солнечной системой	54
3.1.3 Расчеты сближений РЗС с Солнечной системой	57

3.2	Сближение РЗС Гиады и Солнца в галактическом диске	61
3.2.1	Исходные данные	61
3.2.2	Расчеты параметров сближения Гиад с Солнечной системой	63
3.2.3	Эффекты сближения звезд Гиад с Солнечной системой . .	68
3.3	Вывод	74
Закключение		79
Список литературы		83
Список рисунков		100
Список таблиц		106
Приложение А. Скрипт для расчета минимального расстояния d_{min} и соответствующего времени t_{min}		108
Приложение Б. Каталоги, составленные в диссертации		111
Б.1	Каталог сближений Солнечной системы и РЗС	111
Б.2	Каталог сближений Солнечной системы и звезд скопления Гиады по данным Gaia EDR3	118

Введение

Рассеянные звездные скопления (РЗС) важны для изучения как эволюции отдельных звезд, так и дисковой составляющей населения Галактики. В последние годы по данным Gaia удалось значительно увеличить наблюдательный материал для исследования скоплений. Обнаружены тысячи ранее неизвестных РЗС. Это предоставляет широкое поле деятельности для изучения скоплений, понимания их эволюции и строения. В работе [1] использован алгоритм Hierarchical Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise (HDBSCAN, [2]) для поиска звездных скоплений по данным Gaia DR3 (Gaia Collaboration, [3]). Результат [1] оказался революционным. Число обнаруженных скоплений $n = 7167$, 2385 из которых являются новыми объектами-кандидатами и 4782 из которых соответствуют объектам в литературе, в том числе 134 шаровых скопления. При более детальном подходе каталог [1] содержит надежные данные для 4105 скоплений, 739 из которых новые. В работе [1] указано, что многие скопления не удалось обнаружить, включая 1152 скопления из каталога [4] – (Milky Way Global Survey of star Clusters, далее MWSC). Многие из них можно детально исследовать и рассчитать вероятности членства звезд в скоплении, определить возраст, металличность и другие параметры. Процесс обработки данных привел к обнаружению обширных гало и приливных шлейфов (хвостов), образующихся в результате распада скоплений [5]. Согласно численным экспериментам, проведенным [6], в течение 150 млн. лет приливные шлейфы растягиваются на расстояние до 1.2 кпк. В работах [7], [8] найдены доказательства существования приливных шлейфов Гиад, содержащих звезды, потерянные скоплением. С учетом приливных шлейфов пространственные размеры скопления оказываются намного больше, чем считалось ранее (~ 100 пк от центра скопления). Структура Гиад постоянно уточняется [9]. Выбор достаточно разнообразных по возрасту, массе, химическому составу и положению в галактическом диске скоплений NGC 2158, King 11, Гиады позволил получить новые знания об их строении, кинематике, изучить эффекты влияния РЗС на малые тела при их возможном сближении с Солнечной системой в прошлом. Приливные шлейфы Гиад могут достигать до 800 пк, если они не были разруше-

ны за последние 650 млн.лет из-за проходов вблизи ГМО, спиральных рукавов, ударных волн и других событий [7].

Целью данной работы является изучение рассеянных звездных скоплений как самостоятельных объектов и особенностей их движения в галактическом диске, в частности, возможных их сближений с Солнечной системой в прошлые эпохи. Это подразумевает определение и уточнение таких параметров, как возраст, расстояние от Солнца, металличность, а также пространственных скоростей и положений в диске. Подразумевается использование новейших наблюдательных данных Gaia.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Определить для NGC 2158 и King 11 – возраст, положение в пространстве и пространственную скорость. Использовать эти данные для расчета положения места рождения, изменения взаимного расположения РЗС и Солнца со временем, элементов и формы орбиты.
2. Разработать метод поиска скоплений, сближавшихся с Солнечной системой в прошлые эпохи.
3. Провести расчеты движения РЗС из окрестностей Солнца в галактическом диске. Найти параметры сближений РЗС с Солнечной системой. Составить каталог параметров сближений РЗС с Солнечной системой.
4. Детально изучить сближение скопления Гиады и его шлейфов с Солнечной системой. Получить параметры максимального сближения РЗС Гиады с Солнечной системой. Оценить гравитационный эффект влияния сближения Гиад на малые тела Солнечной системы.

Мы рассматривали следующие скопления:

1. NGC 2158 и King 11 - старые, далекие (~ 3 кпк) от Солнца. В то же время имеющие достаточно много звезд кандидатов с фотометрией и астрометрией Gaia. Данные позволили не только определить основные характеристики и параметры скоплений, но и рассмотреть особенности их движения в пространстве.
2. РЗС, расположенные в окрестностях Солнца ($n \simeq 300$): в процессе движения вокруг центра Галактики РЗС могут сближаться в пространстве как между собой, так и с отдельными звездами, в том числе Солнцем. Поиск таких сближений обнаружил близкое прохождение РЗС Гиады и Солнечной системы, особенно интересное с учетом обширных шлейфов

Гиад. Оценка гравитационного эффекта сближения Гиад и Солнечной системы позволила выявить изменение элементов орбиты малых тел облака Оорта и возможное появление новых комет в Солнечной системе.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Уточненные по современным данным кинематические параметры скоплений NGC 2158 и King11: гелиоцентрическая пространственная скорость, минимальное расстояние до Солнца, вероятное время и место рождения скопления, а также период осцилляции по Z-координате.
2. Программный комплекс для расчета сближений звезд и РЗС, позволяющий выявить события имеющие гравитационный эффект на планетную систему.
3. Параметры сближения рассеянных звездных скоплений из каталога MWSC с Солнечной системой: минимальные расстояния сближений с Солнечной системой и соответствующие моменты времени сближений. Создан каталог, содержащий эти параметры.
4. Показано, что все известные на период выполнения работы рассеянные скопления в прошлые эпохи проходили не ближе 60 пк от Солнца и не могли оказывать существенное влияние на Солнечную систему, прежде всего на кометы облака Оорта. Исключением является скопление Гиады.
5. Согласно результатам численных расчетов сближения скопления Гиады с Солнечной системой показано, что приблизительно 1 млн. лет назад центр скопления Гиад прошел на расстоянии менее 25 пк от Солнца. Такое событие тоже не могло внести существенные возмущения в динамику комет облака Оорта. Этот эффект нужно учитывать наряду с другими эффектами. Показано, что звезды шлейфа Гиад проходили значительно ближе (до 6 пк) к Солнцу, чем центр скопления и влияние таких прохождений также нужно учитывать при расчетах изменений элементов орбит комет внешнего облака Оорта.

Научная новизна:

1. Уточнены физические и кинематические параметры скоплений NGC 2158 и King 11 по данным Gaia DR2 и Gaia EDR3.

2. Впервые рассчитаны моменты минимальных сближений рассеянных звездных скоплений с Солнечной системой. Составлен и опубликован каталог сближений РЗС и Солнечной системы.
3. Выполнено оригинальное исследование, в рамках которого впервые показано, что РЗС Гиады проходили около Солнечной системы (на расстоянии ~ 25 пк приблизительно один миллион лет назад. Сделана оценка гравитационного эффекта влияния скопления на кометы внешних частей Солнечной системы. Обнаруженный эффект необходимо учитывать наряду с другими эффектами, например, с влиянием приливных сил Галактики и газопылевых облаков.

Научная и практическая значимость заключается в том, что исследование вносит вклад в понимание кинематики рассеянных звездных скоплений и их взаимодействия с Солнечной системой, уточняя влияние сближений на облако Оорта. Полученные результаты могут быть использованы для прогнозирования влияния сближений скоплений на малые тела Солнечной системы, что важно для изучения процессов формирования и эволюции облака Оорта и появления новых комет.

Степень достоверности обусловлена обсуждением результатов диссертации на научных конференциях и семинарах, а также публикацией их в рецензируемых журналах.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на:

1. 48-я студенческая научная конференция "Физика Космоса" (Коуровская астрономическая обсерватория УрФУ, Екатеринбург, 28 января – 01 февраля 2019)
2. "Конкурс молодых учёных ИНАСАН" (ИНАСАН, Москва, 24 октября 2019)
3. 49-я студенческая научная конференция "Физика Космоса" (Коуровская астрономическая обсерватория УрФУ, Екатеринбург, 27 - 31 января 2020)
4. "Конкурс молодых учёных ИНАСАН" (ИНАСАН, Москва, 05 ноября 2020)
5. Конференция "Астрономия и исследование космического пространства" (УрФУ, Екатеринбург, 1 - 5 февраля 2021, онлайн)

6. Конференция "VII Бредихинские чтения"(ИНАСАН, 24-28 мая 2021, онлайн)
7. Всероссийская астрономическая конференция 2021: "Астрономия в эпоху многоканальных исследований"(23-28 августа 2021, онлайн)

Личный вклад. 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 скоплений, сближавшихся с Солнечной системой.
2. Установлено, что скопление Гиады сближалось с Солнечной системой.
3. Рассчитаны параметры движения скоплений NGC 2158 и King 11.

Публикации. Основные результаты по теме диссертации опубликованы в 4 статьях в журналах, рекомендованных ВАК [10—13]; также автор принимал участие в работе над 9 статьями [14—22] и 2 тезисами докладов [23; 24].

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и двух приложений. В главе 1 описаны модели и методы расчетов, используемые в работах. В главе 2 описано исследование физических и кинематических параметров двух выбранных далеких от Солнца РЗС по данным Gaia DR2 и EDR3. В главе 3 исследовано сближение РЗС с Солнцем, в том числе детально рассмотрено скопление Гиады.

Полный объем диссертации составляет 119 страниц с 42 рисунками и 27 таблицами. Список литературы содержит 141 наименование.

Глава 1. ВЫБОР МОДЕЛИ ГАЛАКТИКИ И МЕТОДА РАСЧЕТОВ

1.1 Модель Галактики

При исследовании движения звездных объектов в диске Галактике важен выбор модели гравитационного потенциала, которая определяет движение звезд и звездных скоплений во времени. Наиболее точное представление наблюдаемых данных удастся с помощью многокомпонентных моделей Галактики. Исторически для расчетов орбит использовались различные модели Галактики. Например, модель Шмидта, созданная в середине 60-х годов XX-го века и хорошо приближавшая известную в то время кривую вращения Млечного Пути. Данная модель состояла из нескольких сжатых сфероидов. Разными группами исследователей было создано много составных моделей. Одна из них разработана в 1979 году в Тарту группой под руководством Эйнасто [25]. Параметры подсистем находятся путем подбора так, чтобы воспроизвести наблюдаемую кривую вращения и систему галактических постоянных. Для ядра параметры взяты по аналогии с ядром туманности Андромеды. Радиус и масса балджа определены по первому максимуму кривой вращения. Радиус гало определен на основании данных о пространственном распределении шаровых скоплений, а масса — по данным о плотности и градиенте плотности звёзд населения II-го типа в окрестностях Солнца. При определении параметров диска в этой модели не удастся воспроизвести форму современной кривой вращения в области минимума. Разработаны и другие модели, например [26].

Для явного представления галактического потенциала [27] использована трехкомпонентная модель Пламмера-Кузмина [28]. Потенциал в ней представлен единой формулой (см. [27], ур. (3) на стр. 5), включающей расстояние от плоскости Галактики, $i = b, d, h$ — индексы компонентов балджа, диска и гало соответственно и M_i — массы этих компонентов. Параметры модели M_i, a_i, b_i были оптимизированы для представления кривой вращения Галактики.

В диссертационной работе Галактика представлена потенциалом Млечного Пути, описанным в работе [29]. Этот потенциал основан на распределении

массы в соответствии с наблюдаемым вращением Галактики и включает в себя дисковую, эллипсоидальную (балдж) и сферическую (гало) компоненты Галактики. Диск представлен выражениями Миямото-Нагаи [28], а сферически симметричное пространственное распределение плотности темной материи в гало задается профилем Наварро-Френка-Уайта [30]. Нами использована классическая модель Млечного Пути (MWPotential2014) [29], наилучшим образом воспроизводящая кривую вращения Млечного Пути, которая показана на рис. 1.1.

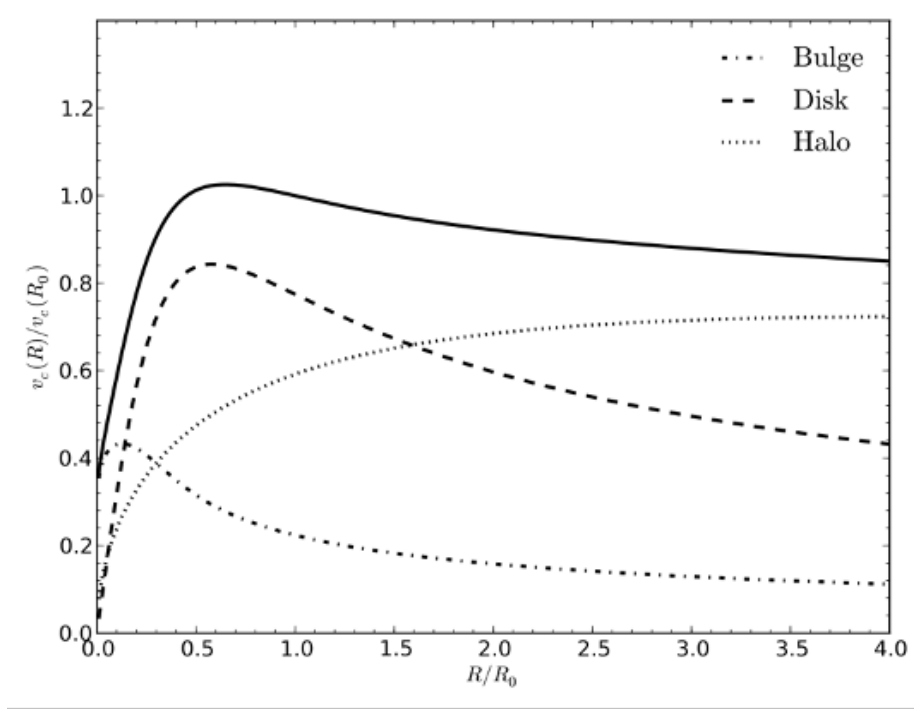


Рисунок 1.1 — Принятая кривая вращения Млечного Пути согласно MWPotential2014 (сплошная черная линия). Пунктирными линиями показан вклад кривых вращения балджа, диска и гало [29].

Это осесимметричная модель, в которой Галактика представлена тремя компонентами. Включает:

- гало с радиусом 16 кпк;
- балдж размером 3×0.28 кпк;
- диск с плотностью вещества в окрестностях Солнца $0.10 \pm 0.01 M_{\odot}/\text{пк}^3$.

В данной модели не учитывались влияние спиральных волн плотности и супермассивной черной дыры Стрелец А в ЦГ. Масса последней может составлять $\sim 10^6 M_{\odot}$, что в рамках нашей задачи нельзя считать оказывающей значительное влияние на гравитационный потенциал. Также мы не рассматривали динамическое трение. При массе галактики, меньшей $10^{10} M_{\odot}$ (ур. (7) из [31]),

эффект трения не значителен. Таким образом, выделяются три компонента: балдж, диск и гало. Другие модели Галактики, например, многокомпонентную модель Эйнасто [25], мы не рассматривали.

Рассмотрим подробнее компоненты потенциала.

1) Балдж представлен степенным сферическим потенциалом плотности с экспоненциальным отсечением. С принятыми нормировками представлен:

$$\rho(r) = \frac{e^{-r^2}}{r} \quad (1.1)$$

2) Диск — потенциал $\Phi(R, z)$ [28]:

$$\Phi(R, z) = -\frac{1}{\sqrt{R^2 + (a + \sqrt{z^2 + b^2})^2}} \quad (1.2)$$

где a — радиус диска $a = 1.0$, b — толщина диска $b = 0.1$, R — радиальное расстояние от галактического центра, z — координата в принятой галактической прямоугольной системе координат. Очертания плотности галактического диска для нашей модели показаны на рис. 1.2.

3) Гало — сферически-симметричное пространственное распределение плотности тёмной материи в гало по профилю Наварро-Френка-Уайта [30]:

$$\rho(r) = \frac{1}{4\pi a^3} \frac{1}{(r/a)(1 + r/a)^2} \quad (1.3)$$

где a — радиус, нормировка $a = 1.0$.

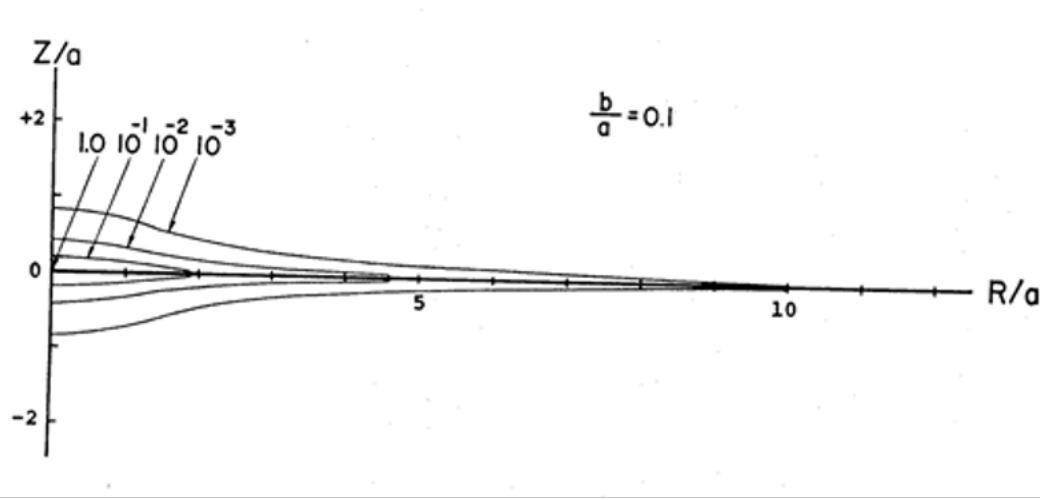


Рисунок 1.2 — Параметры модели диска, использованные для выражения потенциала $\Phi(R, z)$.

Эти параметры показаны на рисунке 1.3. На рис. 1.3 слева направо представлены потенциал Наварро-Френка-Уайта, потенциал Миямото-Нагаи и потенциал балджа. По оси абсцисс дано соотношение R/R_0 , по оси ординат z/R_0 для $R_0 = 8.178$ кпк [32].

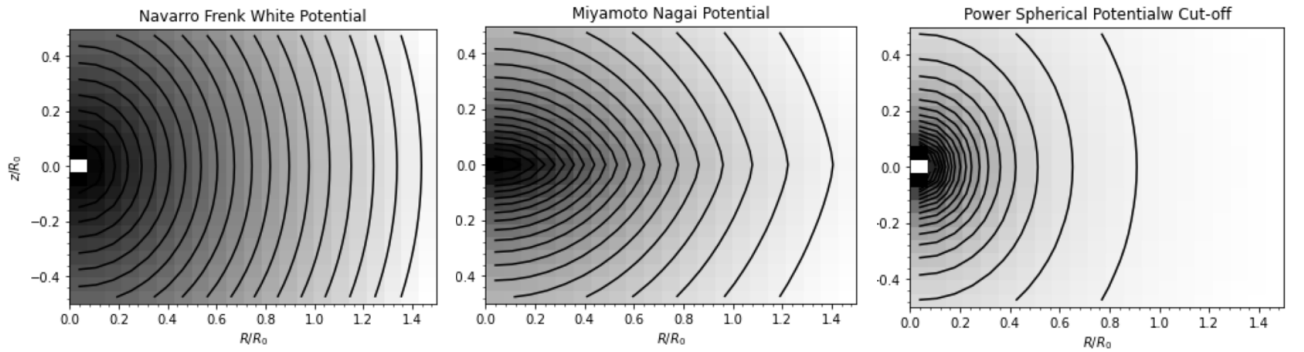


Рисунок 1.3 — Плотность в плоскости цилиндрических координат (R, z) для осесимметричных потенциалов, составляющих итоговый потенциал Галактики *MW Potential2014* [29].

Мы используем прямоугольную галактическую гелиоцентрическую систему координат, в которой ось X направлена к центру Галактики ($l = 0^\circ$, $b = 0^\circ$), ось Y — в направлении вращения Галактики ($l = 90^\circ$, $b = 0^\circ$), ось Z — на Северный полюс Галактики ($b = 90^\circ$). Компоненты пространственной скорости U , V и W имеют эти же направления. При этом в процессе интегрирования новые координаты и скорости определяются относительно положения Солнца на момент времени $t = 0$, $UVW = (0, V_0, 0)$ км/с, $xyz = (R_0, 0, 0.208)$ кпк, в том числе и новое положение самого Солнца. Значения R_0 и V_0 задаются вручную.

Результат интегрирования зависит не только от параметров орбиты, но и от таких параметров, как расстояние Солнца до центра Галактики R_0 и круговая скорость вращения Солнца в диске Галактики. Значение R_0 определялось во многих публикациях, результаты заключены в пределах от 7.4 до 8.7 кпк [33]. Выбрать самое надежное значение практически невозможно. Мы использовали наиболее современные данные: $R_0 = 8.178$ кпк [32] и $V_0 = 232.8$ км/с [32].

1.2 Метод расчетов

Для описания кинематики движения объектов в Галактике мы рассмотрели движение точечных объектов в протяженном гравитационном поле, создаваемом компонентами Галактики. Звезда или звездное скопление представлены точечными объектами и движутся в пространстве вокруг Галактического центра. В звездном скоплении звезды представлены точками и движутся по орбитам, заданным начальным положением и пространственной скоростью.

В диссертации интегрирование орбит точечных объектов производилось по описанной ниже схеме. Задача заключается в нахождении орбиты (положения) объекта в трехмерном пространстве в поле потенциала $\Phi(x, y, z)$ при известном положении и скорости объекта в начальный момент времени $t_0 = 0$.

Для выполнения расчетов орбитального движения мы использовали пакет *galpy* и модель Галактики *MW Potential2014* [29]. Решались уравнения движения точечного объекта в суммарном потенциале ур. 1.1 + ур. 1.2 + ур. 1.3. Система уравнений имеет вид:

$$\frac{\partial^2 q_i}{\partial t^2} = -\frac{\partial \Phi}{\partial q_i}, \text{ где } q_1 = X, q_2 = Y, q_3 = Z \quad (1.4)$$

Мы не использовали цилиндрическую систему координат и делали перевод из $\Phi(R, z)$ в $\Phi(x, y, z)$. Для решения системы уравнений 1.4 применен метод Рунге-Кутты 4-го порядка, который является частным случаем метода Эйлера [34]. В этой задаче движение происходит по орбитам, которые представляются гладкими функциями и не требуют быстрого изменения величины шага интегрирования.

Орбита исследуемого объекта задается шестью параметрами: прямым восхождением и склонением α и δ (градусы), собственными движениями μ_α и μ_δ (мсд/год), расстоянием до объекта от Солнца d (кпк) и лучевой скоростью V_r (км/с). Указывается временной промежуток и шаг δt . Уравнение движения объекта записывается с учетом заданного потенциала. Задача заключается в нахождении орбиты (положения) объекта в трехмерном пространстве в поле потенциала $\Phi(x, y, z)$ при известном положении и скорости объекта в начальный момент времени $t_0 = 0$.

Способ расчета минимального расстояния между сближающимися небесными телами. В процессе интегрирования для каждого объекта определяются прямоугольные галактоцентрические координаты x, y, z . Расстояние между исследуемыми объектами 1, 2 в момент времени t_i будет равно

$$d_i = \sqrt{(x_i(1) - x_i(2))^2 + (y_i(1) - y_i(2))^2 + (z_i(1) - z_i(2))^2} \quad (1.5)$$

Мы рассчитываем d_i для t_i , а затем из полученного списка выбираем минимальное значение расстояния и соответствующее время $d_{\min}$ и $t_{\min}$. Например, если мы задали 1000 шагов интегрирования, то за 1 млн лет d_i и t_i будут рассчитаны для времени 0, -0.001 млн лет, -0.002 млн лет и так далее. Получится список из 1000 значений d_i и t_i , из которого мы выберем $d_{\min}$ и $t_{\min}$, и получим минимальное сближение и соответствующее время для двух объектов за 1 млн лет. Данный метод расчета реализован на языке программирования *Python*. Скрипт представлен в Приложении А.

Важно отметить, что значения $d_{\min}$ и $t_{\min}$ зависят, в том числе, от некоторых важных факторов:

1. Выбора входных параметров. Например, ошибка определения α , δ , μ_α , μ_δ и V_r ведет к изменению траектории движения объекта;
2. Временного промежутка интегрирования. В некоторых случаях от выбора временных рамок зависит, успеет ли произойти событие сближения. Поскольку применяемый метод Рунге-Кутты имеет 4 порядок точности, это значит, что на каждом шаге интегрирования допускается ошибка, пропорциональная значению h^4 , где h — шаг интегрирования;
3. Шага интегрирования. Это наименее значимый фактор, однако, уменьшение шага ведет к уточнению результата (см. таблицу 1).

Выбор шага. Выбор шага осуществлялся вручную в зависимости от временного промежутка интегрирования, но не менее 10000 шагов. Для оценки влияния величины шага интегрирования мы провели в качестве примера контрольный расчет минимального расстояния $d_{\min}$ и соответствующего момента времени $t_{\min}$ между парами спутников Галактики из списка [35]. Например, при расчетах на 1 млрд лет в прошлое самое интересное сближение произошло между галактиками *Carina III* и *Reticulum II* $d_{\min} = 4.65$ кпк и $t_{\min} = -0.105$ млрд лет. А при расчетах на 5 млрд лет найдено $d_{\min} = 1.77$ кпк и $t_{\min} = -0.199$ млрд лет между спутниками *Draco* и *Tucana III*.

Таблица 1 — Влияние шага интегрирования на результат вычисления $d_{\min}$ и $t_{\min}$ за время интегрирования 5 млрд лет.

Пара спутников	Количество шагов, n			
	$n = 10^3$		$n = 10^5$	
	$d_{\min}$, кпк	$t_{\min}$, млрд лет	$d_{\min}$, кпк	$t_{\min}$, млрд лет
Draco-Tucana III	1.773	-1.992	1.676	-1.994
Bootes I-Ursa Minor	3.276	-3.253	3.176	-3.255
Segue 1-Willman 1	3.925	-3.173	3.906	-3.175
Segue 1-Tucana III	4.635	-2.307	4.558	-2.305
Carina III-Reticulum II	4.657	-0.105	4.657	-0.105

Рассмотрим, как влияет на вычисления выбор шага интегрирования. В таблице 1 приведены результаты вычисления $d_{\min}$ и $t_{\min}$ для случая, когда за промежуток в 5 млрд лет выполняется для случая $n = 10^3$ шагов и $n = 10^5$ шагов. Из таблицы 1 видно, что для некоторых объектов присутствует разница и по расстоянию, и по времени сближения, однако она несущественна. Тем не менее, мы выбрали наименьшее количество шагов $n = 10^5$ для своих расчетов, увеличивая их число при интегрировании на 1 млрд лет и более.

1.3 Проверка используемого метода

1.3.1 Сохранение энергии

Для валидации метода интегрирования орбит в прошлое был использован подход, основанный на проверке сохранения энергии системы. В идеальном случае при интегрировании орбит полная энергия должна сохраняться. Однако, в численных методах, таких как используемый в *galpy*, могут возникать небольшие отклонения из-за ограниченной точности вычислений.

Для оценки точности интегрирования было проведено исследование изменения полной энергии системы во времени. Энергия системы $E(t)$ на каждом шаге интегрирования сравнивалась с её начальным значением $E(0)$. Отношение $E(t)/E(0)$ использовалось как мера сохранения энергии. Результаты на рис. 1.4 для Солнца, NGC 2158 и King 11 показали, что изменение энергии остаётся на уровне, не превышающем 10^{-7} на протяжении всего времени интегрирования.

Такие малые отклонения свидетельствуют о достаточной точности метода и не вносят существенных ошибок в результаты интегрирования. Это подтверждает валидность использованного подхода и позволяет считать результаты интегрирования достоверными для дальнейшего анализа.

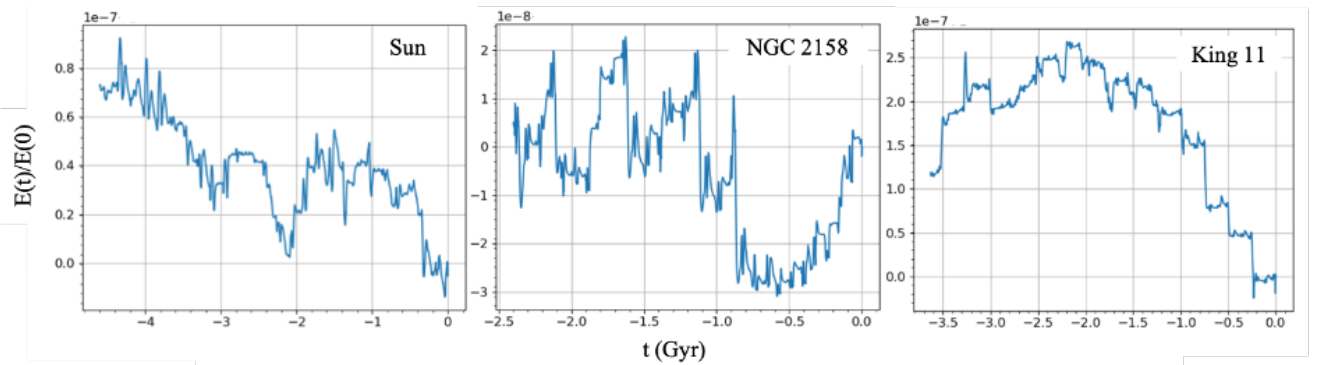


Рисунок 1.4 — Относительное изменение энергии в процессе интегрирования на время жизни для Солнца, NGC 2158 и King 11 (слева направо).

1.3.2 Выбор потенциала Галактики

Работа по теме диссертации включает как исследование звездных скоплений, так и поиск сближений скоплений с Солнечной системой. В первом случае расчеты кинематики дают изменение расстояния скопления от Солнца со временем, в том числе необходимые для оценки возможного места рождения в галактическом диске. Для оценки влияния модели Галактики на вычисления нами были выбраны модель Млечного Пути MWPotential2014 (MW [29]), и модели бара (Bar [36]) и спиральных рукавов Галактики (SA [37]). Наши расчеты в прошлые эпохи показали, что наименьшее расстояние между РЗС и Солнцем $d_{\min}$ составило соответственно для MW 1.5 кпк ~ 0.8 млрд лет назад (белая точка вверху на рис. 1.5) и для MW+Bar+SA 2.15 кпк ~ 1.4 млрд лет назад (белая точка внизу на рис. 1.5). Таким образом, оценки различаются более чем на 500 пк. Это вдвое превышает точность полученной нами фотометрической оценки, хотя укладывается в пределы 3σ .

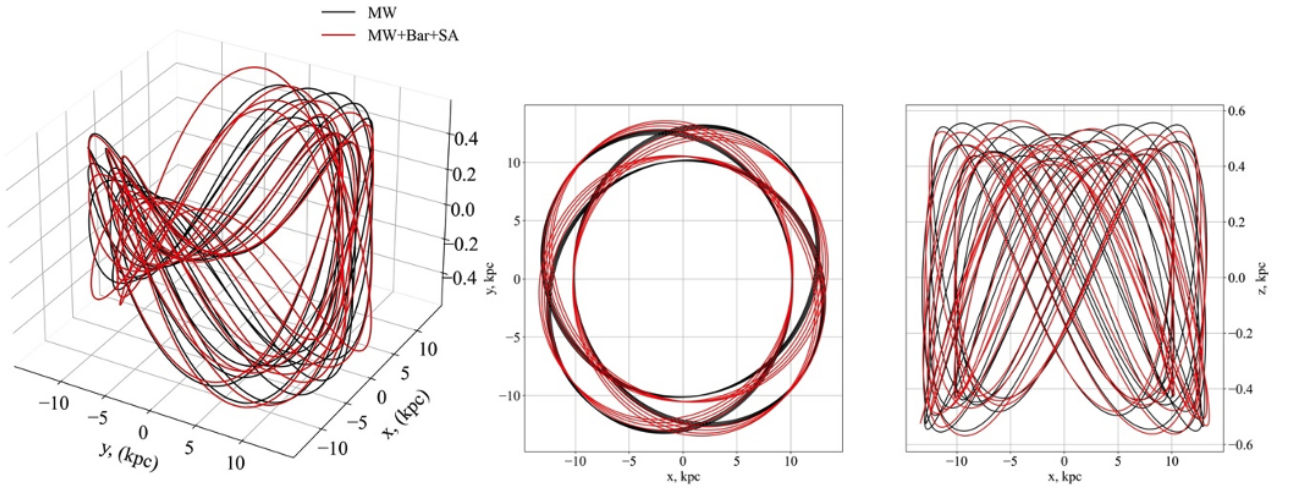


Рисунок 1.5 — Движение РЗС King 11 вокруг Галактического центра.

Проведены расчеты в прошлые эпохи вплоть до ~ 4 млрд лет.

Аналогичные рис. 1.5 расчеты проведены для Солнца (рис. 1.6).

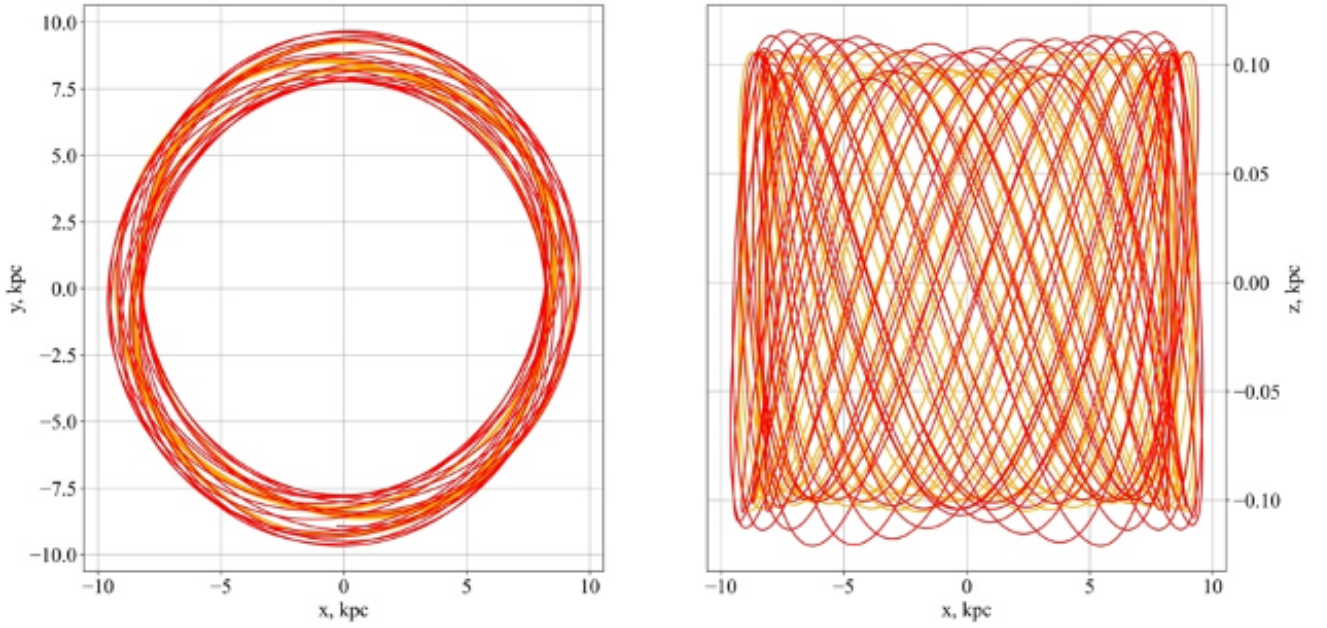


Рисунок 1.6 — Движение Солнца вокруг центра Галактики для разных потенциалов (MW — оранжевая линия, MW+Bar+SA — красная линия).

Проведены расчеты в прошлые эпохи вплоть до ~ 4 млрд лет.

В случае поиска сближений РЗС с Солнечной системой характерное расстояние, на котором гравитация РЗС может воздействовать на тела планетной системы с эффектом изменения их элементов орбит, составляет ~ 20 пк. Наши расчеты в таком случае проводятся на ~ 1 млн лет назад, рис. 1.7.

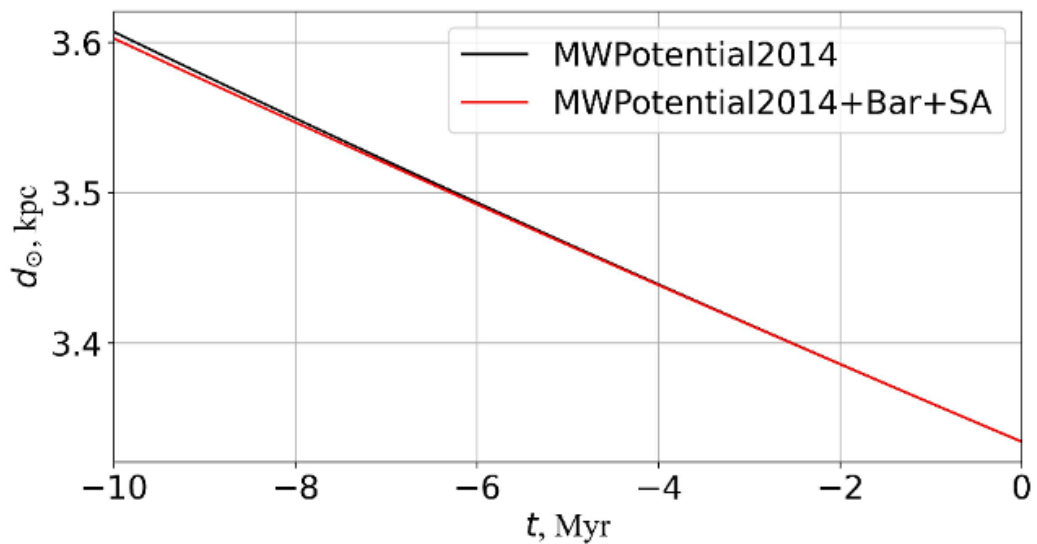


Рисунок 1.7 — Расстояние от Солнца для King 11 по 1) MW 2) MW+Bar+SA.

Расчеты до -10 млн лет. На момент времени $t = -1$ млн лет разница расстояний была 2.6×10^{-5} .

Сравним полученные результаты с ошибкой определения расстояния $d_{\min}$ Гиад при оценке, учитывающей случайные ошибки разброса данных наблюдений. По нашим оценкам, большая часть полученных данных лежит в диапазоне 24.7–24.9 пк (см. пункт 3.2.2), что означает, что влияние случайных ошибок составляет приблизительно 0.2 пк, а ошибка выбора потенциала составляет $\sim 5 \times 10^{-5}$ кпк. Таким образом, на временных промежутках менее 10 млн лет случайные ошибки влияют на наши расчеты значительно сильнее, чем выбор потенциала.

Разность положений относительно ЦГ $\Delta d = d_{\text{MW}} - d_{\text{MW+Bar+SA}}$ для скоплений King 11 и Гиады, и для Солнца при движении в различных потенциалах для различных временных промежутков показана в таблице 2. При рассмотрении увеличенных временных промежутков (до -4 млрд лет) для скопления King 11 и Солнца разность расстояний Δd может достигать до 10 кпк.

Таблица 2 — Разность положений Солнца, King 11 и Гиады относительно ЦГ Δd (кпк) при движении в потенциалах MW и MW+Bar+SA

	$t = -1$ млн лет	$t = -10$ млн лет	$t = -650$ млн лет	$t = -4$ млрд лет
Солнце	6.1×10^{-5} кпк	3.8×10^{-3} кпк	0.3 кпк	2.4 кпк
King 11	2.6×10^{-5} кпк	5.6×10^{-3} кпк		7.4 кпк
Гиады	4.5×10^{-5} кпк	2.4×10^{-3} кпк	2.2 кпк	

1.4 Вывод

Примененная нами модель Галактики позволяет проводить численные расчеты кинематики рассеянных звездных скоплений и отдельных звезд, рассчитывать их движения в пространстве на интервале времени, составляющем до нескольких миллионов лет, достаточным для оценки элементов орбиты при движении вокруг Галактического центра. Величина погрешности наших вычислений и контроль их правильности, исходя из закона сохранения энергии, представлены в разделе 1.3.1. Пакет программ *galpy* широко используется научным сообществом, полученные с его помощью результаты прошли

многократную проверку как путем контроля вычислений, так и путем сравнения результатов. Результаты проверки приведены на сайте *galpy* (см. <https://docs.galpy.org/en/>).

Глава 2. КИНЕМАТИКА РЗС NGC 2158 и KING 11

2.1 Расчеты возраста, положения в Галактике, пространственной скорости, положения апекса

Задача состоит в том, чтобы выбрать достаточно обширную область на небе вокруг центров выбранных скоплений. Необходимо оценить вероятность принадлежности каждой звезды скоплению. Выбрать наиболее вероятные члены скопления ($P > 60\%$). По ним построить диаграмму Герцшпрунга–Рессела, совместить с изохронами, определить расстояние скопления от Солнца, возраст и металличность. Полученные параметры использовать для расчета орбит скоплений вокруг центра Галактики и определения пространственной формы орбиты и предполагаемого места рождения в диске Галактики.

Рассмотренные нами рассеянные звездные скопления NGC 2158 и King 11 представляют собой объекты, расположенные преимущественно вблизи плоскости Галактики. Они являются важными объектами при изучении истории формирования и эволюции галактического диска [38; 39]. Поскольку звезды скоплений рождаются из одного и того же молекулярного облака, звезды внутри одного скопления имеют много общих свойств, включая возраст, расстояние от Солнца, металличность и направление движения.

Собственные движения (СД) звезд в скоплении имеют близкие значения с некоторой дисперсией. Это свойство используется для отделения звезд скопления от звезд поля, и формирования выборки с оценкой вероятности принадлежности звезды к скоплению [40—43]. Благодаря беспрецедентно высокой точности данные космического аппарата Gaia широко используются для изучения звездных населений Галактики и, в частности, звездных скоплений [44—53].

2.1.1 Выбор звезд по данным Gaia

Скопление NGC 2158

Для исследования скопления NGC 2158 мы использовали данные Gaia DR2 [54]. Они включают экваториальные координаты (α, δ) , параллаксы и компоненты собственного движения $(\mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta)$. Каталог Gaia также предоставляет фотометрическую информацию в трех фотометрических полосах G , BP и RP . Звездная величина G охватывает длины волн от 330 до 1050 нм с предельной звездной величиной $G = 21$ mag. Для звезд ярче, чем $G = 17$, ошибка параллакса составляет менее 0.1 мсд, а ошибка собственного движения менее 0.2 мсд в год [55]. Средняя ошибка в полосе G составляет ~ 0.0014 зв.вел. для звезд ярче 18 зв.вел. Аналогично, для $18 < G < 20$ неопределенность достигает ~ 0.04 зв.вел. в RP и ~ 0.1 зв.вел. в BP .

NGC 2158 (OCL 468, Lund 206, Melotte 40) — рассеянное звездное скопление с низкой металличностью [56], расположенное в направлении к антицентру Галактики [57] на полградуса от скопления M35 (NGC 2168) в созвездии Близнецов. Скопление NGC 2158 расположено относительно высоко над галактической плоскостью $\sim Z = 110$ пк [31]. В работе [58] Трюмплер классифицировал его как скопление II3r (шаровое скопление). Позже Шепли [59] классифицировал его как рассеянное скопление. За десятилетия было проведено несколько фотометрических исследований [31; 57; 60—62], которые позволили определить расстояние от Солнца, равное 3600 ± 400 пк, и значение возраста ~ 2 млрд лет. Было показано, что NGC 2158 является представителем старого тонкого диска. Этот факт делает его интересным объектом для изучения как для теории галактической эволюции, так и теории звездной эволюции. Кроме того, NGC 2158 сравнимо с густонаселенными рассеянными скоплениями среднего возраста в Больших Магеллановых Облаках [57]. В работе [63] использованы данные Hubble Space Telescope и получена оценка возраста скопления от ~ 1.8 до ~ 2.0 млрд лет. Переменные звезды в скоплении исследовали авторы [64] с использованием данных Kepler. В каталоге Харченко [4] указано, что расстояние до NGC

2158 составляет ~ 4770 пк. В каталоге Cantat-Gaudin [44] значение расстояния для скопления составляет 4535.1 пк.

Скопление King 11

Мы использовали данные Gaia EDR3 [65] для исследования скопления King 11. Данные Gaia EDR3 включают такие параметры, как экваториальные координаты (α, δ) , параллаксы и компоненты собственного движения $(\mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta)$. Лучевые скорости также доступны в Gaia EDR3, но для относительно небольшого числа звезд. Фотометрия из Gaia доступна в трех полосах: G , BP и RP . Средние ошибки собственного движения для данных, которые мы использовали, составляют ~ 0.04 мсд в год для $G < 17$ зв.вел., увеличиваясь до ~ 0.2 мсд в год для $G < 20$ зв.вел. Для звезд ярче $G = 20$ зв.вел средняя ошибка в параллаксе составляет ~ 0.2 мсд. Для $G < 20$ зв.вел медианные значения фотометрических ошибок в G , BP и RP составляют 0.003, 0.053 и 0.015 зв.вел соответственно.

King 11 (MWSC 3759) — старое рассеянное скопление, лежащее во втором Галактическом квадранте. Скопление имеет высокое покраснение, в различных работах авторы отмечают, что $E(B - V)$ скопления находится в диапазоне 0.90–1.06 [4; 66–69]. Доступно несколько фотометрических исследований этого скопления [66; 68–71]. В работе [72] предоставлена средняя лучевая скорость скопления $V_r = -35 \pm 16$ км/с. Возраст скопления, определенный различными авторами, варьируется. По данным Salaris [73], возраст King 11 должен составлять 5.5 млрд лет, а в работе [68] указывается возрастной диапазон 3.5–4.5 млрд лет.

2.1.2 Исходные данные для исследования скоплений

1. Координаты центра скопления NGC 2158 $(\alpha, \delta, J2000) = (06^h 07^m 26.88^s, +24^\circ 05' 56.4'')$, $(l, b) = (186.635^\circ, +1.788^\circ)$ [44].

2. Координаты центра скопления King 11 $\alpha_{2000} = 23^{\text{h}}47^{\text{m}}38.88^{\text{s}}$, $\delta_{2000} = +68^{\circ}08'09.6''$, $l = 117.151^{\circ}$, $b = 6.484^{\circ}$ [44].

Нами построены зависимости ошибок фотометрии, СД и параллакса от величины G . Исключены звезды с ошибками измерений, превышающими выбранные пределы. На рис. 2.1 и 2.2 показаны зависимости ошибок фотометрии от величины G . Выборки ограничены до $G < 18$ зв.вел. для NGC 2158 и $G < 19$ зв.вел. для King 11, где ошибки СД в пределах 0.1 мсд/год.

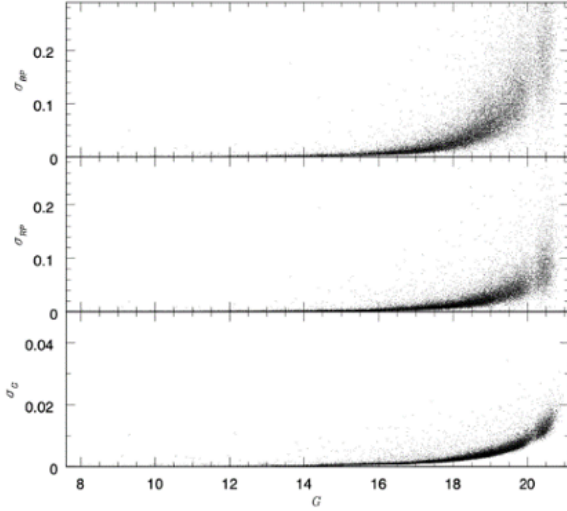


Рисунок 2.1 — Зависимость ошибки звездной величины в трех фотометрических полосах Gaia для NGC 2158. Видно, что ошибки в полосе G много ниже, чем в полосах RP и BP .

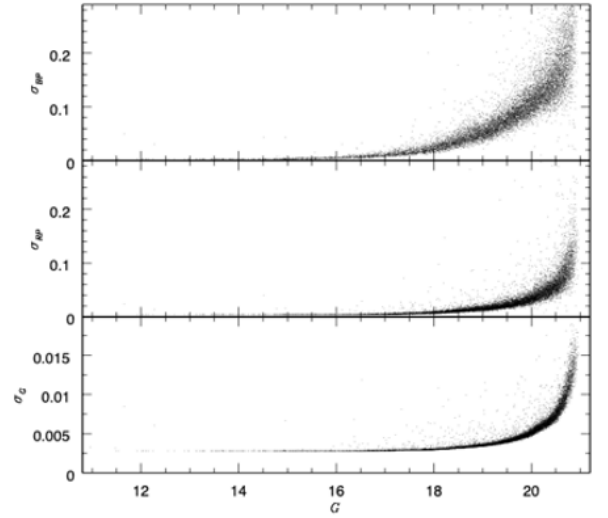


Рисунок 2.2 — Зависимость ошибки звездной величины в трех фотометрических полосах Gaia для King 11.

На рис. 2.3 и 2.4 приведены зависимости СД и их ошибок от величины G . Выборки ограничены до $G < 18$ зв.вел. для NGC 2158 и $G < 19$ зв.вел. для King 11, где ошибки СД в пределах 0.1 мсд/год. Мы нанесли на график собственные движения в пределах радиуса 25 угловых минут от центра скоплений. На этом графике не применялся критерий принадлежности звезды скоплению. Медианная ошибка в компонентах собственного движения составляет ~ 0.4 мсд/год для звезд ярче, чем $G = 20$ зв.вел.

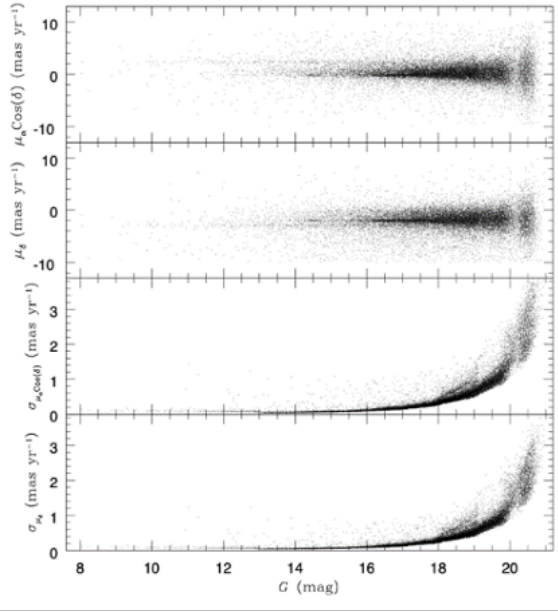


Рисунок 2.3 — Для NGC 2158 показаны зависимости СД и их ошибок от звездной величины в полосе G .

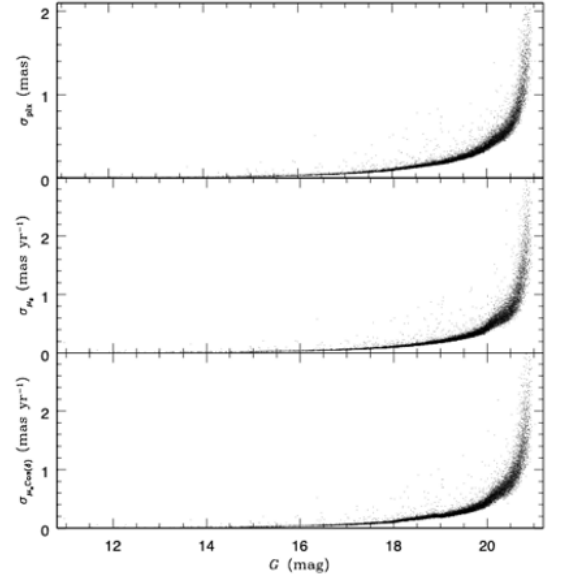


Рисунок 2.4 — Для King 11 показано распределение ошибок по параллаксам (верхняя панель) и собственному движению (средняя и нижняя панели).

2.1.3 Построение диаграмм СД и цвет-звездная величина

В качестве предварительного отбора звезд скопления использовалась диаграмма компонент собственного движения звезд $\mu_\alpha \cos \delta$, μ_δ , на которой хорошо видна концентрация звезд вокруг общего центра. Для построения диаграмм (рис. 2.5, 2.6) использовались звезды из каталогов Gaia.

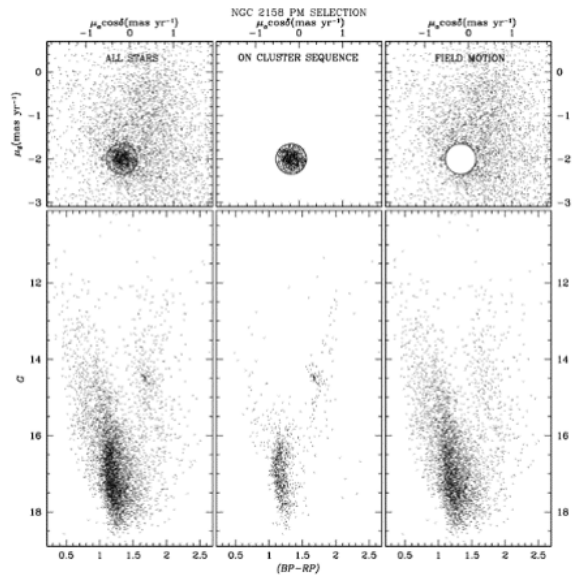


Рисунок 2.5 — Диаграммы СД (верхняя панель) и диаграммы цвет-звездная величина (нижняя панель) для NGC 2158. Круги радиусом 0.35 мсд/год показывают область диаграммы СД, включающей предполагаемые звезды скопления.

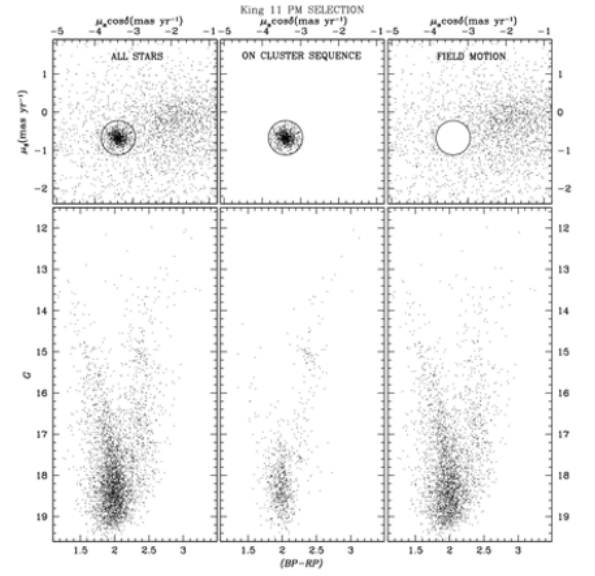


Рисунок 2.6 — Диаграммы СД (верхняя панель) и диаграммы цвет-звездная величина (нижняя панель) для King 11. Круги радиусом 0.45 мсд/год показывают область диаграммы СД, включающей предполагаемые звезды скопления.

2.1.4 Вероятность принадлежности звезды скоплению

Собственные движения звезд позволяют определить вероятность принадлежности звезд скоплению [74; 75]. Математическая схема определения вероятности принадлежности звезды скоплению представлена в работе [76]. Для скоплений King 11 и NGC 2158 мы использовали метод, предложенный в [77]. Более подробное описание метода можно найти в [78].

Чтобы получить две функции распределения, определенные в [76], $\phi_c(\mu)$ (распределение звезд в скоплении) и $\phi_f(\mu)$ (распределение звезд поля), мы рассматривали только те звезды, для которых ошибки собственного движения составляли не более 1.08 мсд/год и ошибки параллакса не более 1.05 мсд. Мы выявили центр скопления для звезд-членов скопления (см. рис. 2.3, 2.4) как μ_{xc} и μ_{yc} (мсд/год) с соответствующим радиусом круга на диаграмме, дисперсию

собственных движений звезд скопления как σ_c мсд/год. Для звезд поля соответственно собственные движения μ_{xf} и μ_{yf} , дисперсия σ_{xf} и σ_{yf} . Полученные значения приведены в таблице 3.

Таблица 3 — Параметры скоплений, определенные для расчета $P(\mu)$.

	Радиус круга мсд/год	μ_{xc} мсд/год	μ_{yc} мсд/год	σ_c мсд/год	μ_{xf} мсд/год	μ_{yf} мсд/год	σ_{xf} мсд/год	σ_{yf} мсд/год
NGC 2158	0.35	0.6	0.9	0.98	0.68	0.45	0.98	0.68
King 11	0.45	0.98	0.68	0.45	0.98	0.68	0.45	0.98

Отобранные звезды с вероятностью принадлежности скоплению $P(\mu) > 90\%$ показаны на диаграмме собственных движений рис. 2.3 и 2.4. Для скопления NGC 2158 мы получили ~ 800 звезд с $P(\mu) > 90\%$, для King 11 — ~ 700 звезд. Отобранные звезды использованы для определения средних значений параллакса и собственного движения скопления. Гистограммы параллаксов для всех звезд нашего каталога и наиболее вероятных членов скопления показаны на рис. 2.7, 2.8. Показана аппроксимация по Гауссу гистограммы компонентов собственного движения.

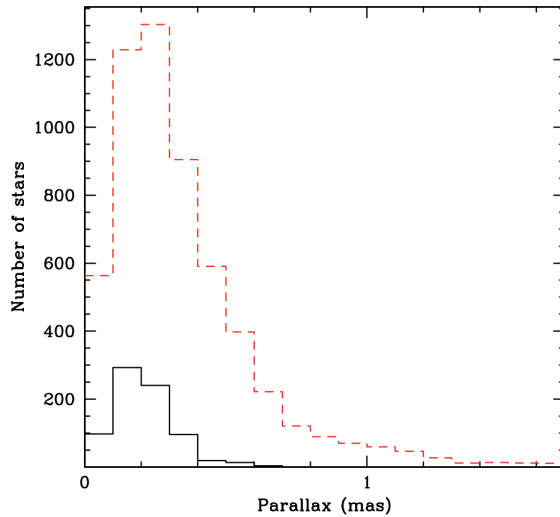


Рисунок 2.7 — Гистограмма параллаксов звезд для NGC 2158.

Пунктирная красная линия показывает все звезды, а сплошная черная линия — наиболее вероятные члены скопления.

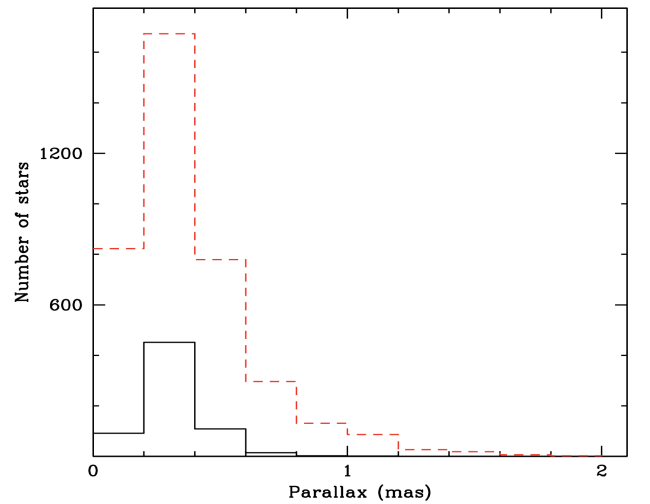


Рисунок 2.8 — Гистограмма параллаксов звезд для King 11.

Пунктирная красная линия показывает все звезды, а сплошная черная линия — наиболее вероятные члены скопления.

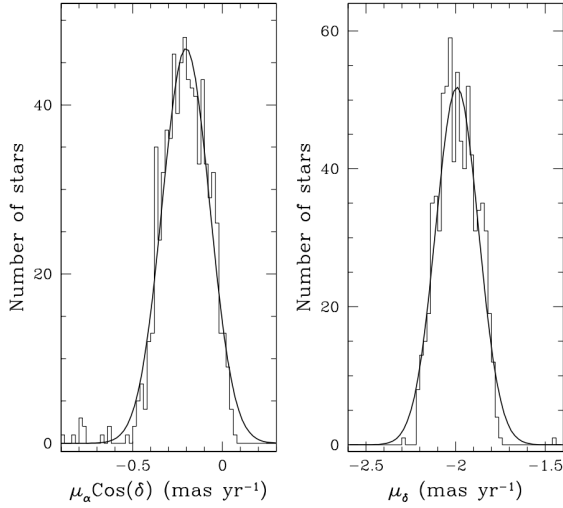


Рисунок 2.9 — Гистограмма для определения средних значений компонент собственных движений $\mu_\alpha \cos \delta$ и μ_δ для NGC 2158. Функция Гаусса показывает среднее значение. Вертикальные пунктирные линии обозначают рассчитанные средние значения.

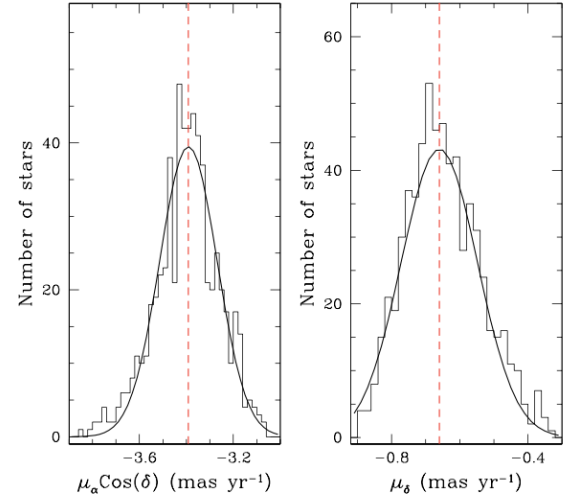


Рисунок 2.10 — Гистограмма для определения средних значений компонент собственных движений $\mu_\alpha \cos \delta$ и μ_δ для King 11. Функция Гаусса показывает среднее значение. Вертикальные пунктирные линии обозначают рассчитанные средние значения.

Таким образом, полученное среднее значение собственного движения для скопления NGC 2158 равно $\mu_\alpha \cos \delta = -0.203 \pm 0.003$ мсд/год, $\mu_\delta = -1.99 \pm 0.004$ мсд/год, для King 11 $\mu_\alpha \cos \delta = -3.391 \pm 0.006$ мсд/год, $\mu_\delta = -0.660 \pm 0.004$ мсд/год. Полученное среднее значение параллакса для NGC 2158 $\pi = 0.213 \pm 0.009$ мсд, King 11 $\pi = 0.306 \pm 0.004$ мсд.

2.1.5 Определение основных параметров скопления

Радиальный профиль плотности скоплений

Для определения основных параметров скоплений использовались звезды с вероятностью принадлежности скоплению $P(\mu) > 90\%$.

Определение радиального профиля звездной плотности скопления важно для понимания его физических размеров. Мы разделили распределение на небесной сфере наиболее вероятных членов скопления окружностями по радиусу и определили плотность звезд ($\rho_i = N_i/A_i$) в каждой окружности. В i -м интервале окружностей N_i — это число звезд в соответствующей области A_i . Профиль радиальной плотности (RDP) скоплений показан на рисунках 2.11 и 2.12. По Кингу [79] этот профиль аппроксимируется наблюдаемой кривой RDP. Математическое выражение профиля Кинга обсуждалось в работе [78] и описывается формулой:

$$f(r) = f_{bg} + \frac{f_0}{1 + (r/r_c)^2} \quad (2.1)$$

где r_c , f_0 и f_{bg} — радиус ядра, центральная плотность и плотность звезд фона соответственно.

Мы получили значения радиуса ядра r_c , центральной плотности звезд f_0 , фоновой плотности f_{bg} , см. таблицу 4. Также был рассчитан предельный радиус, после которого звезды перестают быть гравитационно связанными с скоплением, с помощью формулы, приведенной в [80]:

$$r_{lim} = r_c \sqrt{\frac{f_0}{3\sigma_{bg}}} - 1 \quad (2.2)$$

Таблица 4 — Полученные значения радиуса ядра r_c , центральной плотности звезд f_0 , фоновой плотности звезд f_{bg} для скоплений.

	r_c arcmin	f_0 stars/arcmin ²	f_{bg} stars/arcmin ²	r_{lim} arcmin
NGC 2158	1.04 ± 0.21	38.4 ± 12.4	0.06 ± 0.02	23.5
King 11	1.36 ± 0.24	23.02 ± 5.86	0.03 ± 0.04	18.51

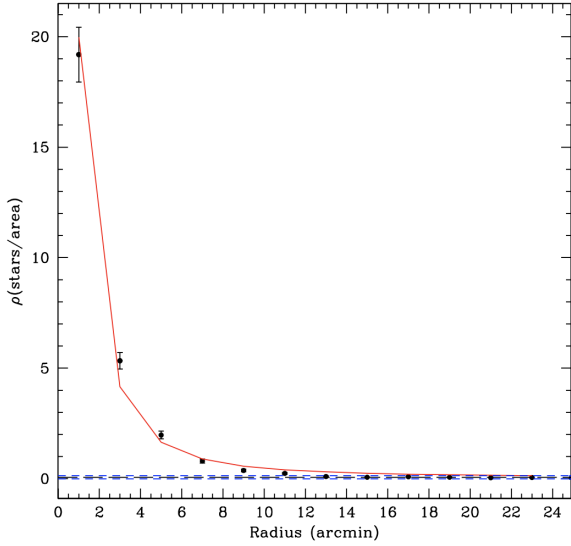


Рисунок 2.11 — Распределение плотности звезд наиболее вероятных членов скопления NGC 2158.

Аппроксимированная кривая представляет профиль Кинга [79]. Плотность звезд фона показана горизонтальными пунктирными линиями с погрешностью 3σ .

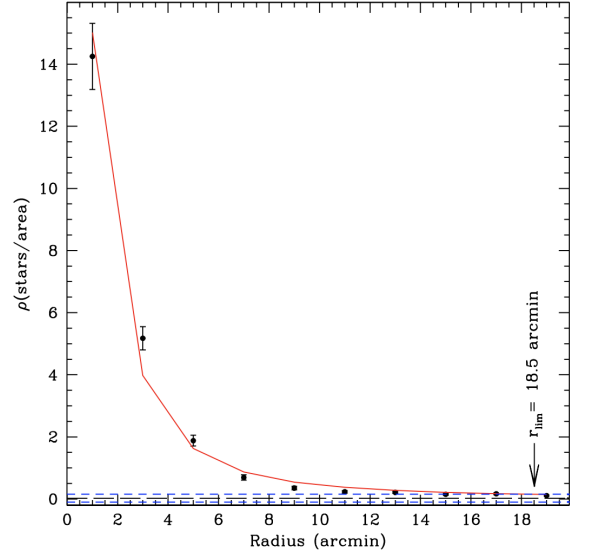


Рисунок 2.12 — Распределение плотности звезд наиболее вероятных членов скопления King 11.

Аппроксимированная кривая представляет профиль Кинга [79]. Плотность звезд фона показана горизонтальными пунктирными линиями с погрешностью 3σ .

Возраст и расстояние от Солнца до скоплений

Чтобы определить возраст, расстояние от Солнца и металличность скоплений, были использованы теоретические изохроны [81], которые вписываются в наблюдательные G , $(BP-RP)$ CMD диаграммы. Мы опробовали различные наборы изохрон с разным возрастом и значениями металличности и, наконец, нашли наиболее подходящие изохроны, которые показаны на рисунке 2.13 и 2.14. Теоретические изохроны разного возраста для NGC 2158 $\log(\text{age}) = 9.34, 9.38, 9.42$ (age в млрд лет) с металличностью $Z = 0.004$, для King 11 $\log(\text{age}) = 9.51, 9.56$ и 9.61 (age в млрд лет) с металличностью $Z = 0.011$ сравнивались с CMD визуально. Таким образом, наиболее подходящие изохроны дают $\log(t)$ скопления NGC 2158 9.38 ± 0.04 (t в млрд лет), что говорит о том, что это старое рассеянное скопление (современное определение возраста скопления находится

между значениями 2 и 3 млрд лет, указанными в [31; 82]). Для King 11 значение $\log(t) = 3.63 \pm 0.42$ (t в млрд лет), что схоже со значениями, полученными в работе [68].

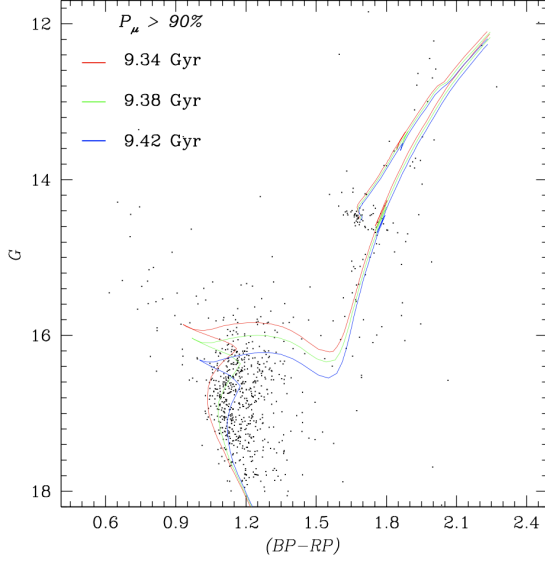


Рисунок 2.13 — Показаны падуанские изохроны различного возраста для NGC 2158. Три изохроны взяты в работе [81] и помещены на $G - (BP - RP)$ диаграмму наиболее вероятных членов скопления.

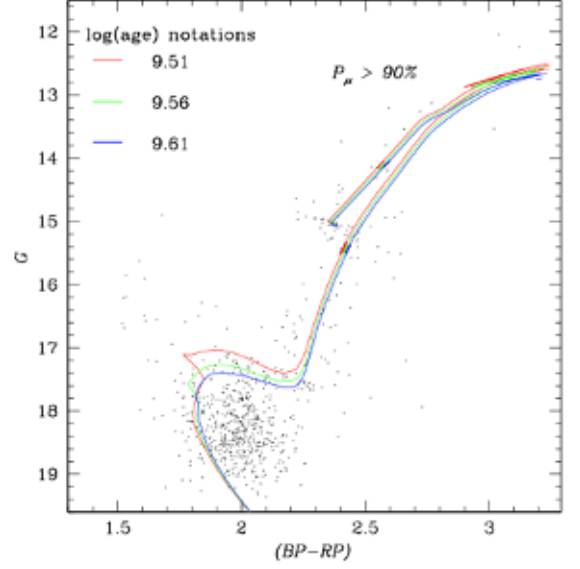


Рисунок 2.14 — Показаны падуанские изохроны различного возраста для King 11. Изохроны взяты в работе [83] и вписаны в $G - (BP - RP)$ диаграмму наиболее вероятных членов скопления.

2.2 Расчеты движения РЗС и Солнца в галактическом диске и определение места рождения РЗС, элементов орбиты

2.2.1 Определение апекса скоплений

Апекс скопления используется для определения направления движения скопления в пространстве. Для расчета апекса необходимы расстояние скопления от Солнца, собственное движение и лучевая скорость V_r [84]. При этом апекс скопления определяется через апексы звезд - наиболее вероятных членов скопления. В отличие от собственных движений, которые обычно доступны для

большого количества звезд, скорость V_r для таких звезд взята из доступных каталогов.

Нахождение A, D -координат апексов звезд происходит следующим образом. Сначала с помощью параллакса π и компонент собственного движения μ_α, μ_δ определяются компоненты тангенциальной скорости V_α и V_δ :

$$V_\alpha = \frac{4.74047\mu_\alpha}{\pi}, V_\delta = \frac{4.74047\mu_\delta}{\pi} \quad (2.3)$$

Затем, с учетом лучевой скорости V_r и экваториальных координат звезды α, δ рассчитываются компоненты вектора пространственной скорости V_x, V_y, V_z :

$$V_x = -V_\alpha \sin \alpha - (V_\delta \sin \delta - V_r \cos \delta) \cos \alpha \quad (2.4)$$

$$V_y = V_\alpha \cos \alpha - (V_\delta \sin \delta - V_r \cos \delta) \sin \alpha \quad (2.5)$$

$$V_z = V_\delta \cos \delta + V_r \sin \delta \quad (2.6)$$

По ним находят координаты A и D :

$$A = \arctan \frac{V_y}{V_x}, D = \arctan \frac{V_z}{\sqrt{V_y^2 + V_x^2}} \quad (2.7)$$

Апекс скопления NGC 2158

Для скопления NGC 2158 для звезд с $P > 90\%$ отобраны 25 звезд следующим образом. Из каталога Gaia DR2 мы получили 12 звезд, для которых были доступны все необходимые кинематические параметры, включая V_r . Для того, чтобы расширить выборку звезд для определения апекса, мы выполнили сопоставление нашего списка звезд с $P > 90\%$ и звезд из каталога The Large Sky Area Multi-Object Fibre Spectroscopic Telescope (LAMOST) DR5 [85]. Для звезд LAMOST с более чем одним измерением V_r мы приняли значение с наименьшей относительной ошибкой. Таким образом, мы получили 13 дополнительных звезд по каталогу LAMOST.

В итоговый список вошли 25 звезд с полным набором астрометрических данных и V_r (13 из LAMOST DR5 и 12 Gaia DR2). Чтобы проверить, существует ли систематическая разница между данными V_r из LAMOST и Gaia DR2, мы сравнили измерения V_r для более чем 8000 звезд в радиусе 5 градусов вокруг центра NGC 2158. Мы обнаружили систематическую разницу ~ 5 км/с между данными V_r . Это значение подтверждается аналогичным исследованием, проведенным в работе [86] для другой выборки звезд, отличной от нашей. Мы учли этот сдвиг для 13 звезд из LAMOST, чтобы довести значения V_r до уровня Gaia DR2. Поправка применена для данных LAMOST таким образом, что $V_r = V_r^{\text{LAMOST}} + 5$ км/с. Данные представлены в таблице 5: ID звезд в соответствии с нашим каталогом, вероятность вхождения звезды в скопление P_μ , экваториальные координаты α , δ , координаты апекса скопления A , D , расстояние по $BJ + 2018$ [87] и его верхняя и нижняя границы, скорости V_r и их ошибки, а также компоненты собственного движения и их ошибки.

В таблице 5 видно, что имеется разброс значений V_r . Вероятно, этот разброс не связан с ошибками наблюдений. Для звезд Gaia DR2 значение ошибок определения лучевой скорости в среднем равно 2 км/с, для звезд LAMOST DR5 она составляет 5.6 км/с. Разброс значений превышает средние значения ошибок. Поскольку этот разброс V_r присутствует как для данных Gaia DR2, так и для LAMOST, он может быть не связан с методом измерения и его общей точностью. Одной из возможных причин такого разброса может быть тот факт, что реальные ошибки измерений намного превышают формальные ошибки. Также существует вероятность того, что некоторые звезды могут входить в двойные или кратные системы, что могло повлиять на измерения их V_r . Также стоит отметить, что мы использовали расстояния из каталога $BJ + 2018$ [87].

Таблица 5 — Данные для $n = 25$ звезд, использованных для расчета апекса скопления NGC 2158. Для звезд в колонке Our ID, помеченных (*), значение V_r было получено из каталога LAMOST DR5, для остальных звезд скорость получена из каталога Gaia DR2.

our ID	P_μ	RA J2000	DEC J2000	A °	D °	Distance pc	Low bound pc	Upper bound pc	V_r km/s	σ_{V_r} km/s	$\mu_\alpha \cos \delta$ mas/yr	$\sigma_{\mu_\alpha \cos \delta}$ mas/yr	μ_δ mas/yr	σ_{μ_δ} mas/yr
39668	94.618	92.148	23.948	90.988	-26.518	1795.938	1664.228	1949.688	13.368	1.538	-0.0458	0.0748	-1.9018	0.068
49438	90.818	91.868	24.458	86.188	-40.138	4060.158	3448.688	4901.468	16.218	0.468	-0.1508	0.0788	-1.7848	0.064
11168	93.948	91.778	24.078	91.368	-35.828	3939.938	3514.368	4474.868	22.398	3.858	-0.0148	0.0518	-2.0688	0.042
6798	97.228	91.808	24.118	87.908	-40.278	5338.488	4362.648	6732.928	23.718	0.548	-0.1138	0.0758	-1.9608	0.062
9988	97.548	91.918	24.058	85.188	-36.768	4929.578	4326.828	5707.668	24.748	3.328	-0.2068	0.0498	-1.9108	0.041
12038	97.118	91.928	24.148	89.338	-41.258	5956.248	5143.558	7027.858	25.778	1.068	-0.0758	0.0438	-1.9968	0.037
3148	96.778	91.878	24.078	82.128	-38.048	5508.118	4769.568	6480.658	25.958	3.828	-0.2908	0.0518	-1.9118	0.043
17088	95.268	91.718	24.108	86.048	-33.288	4227.478	3203.968	5845.998	27.118	1.718	-0.2098	0.1218	-2.1248	0.102
3838	93.298	91.878	24.078	90.218	-36.088	4732.698	3811.668	6088.308	27.548	0.368	-0.0588	0.0828	-2.1408	0.068
12638	92.388	91.928	24.158	88.118	-27.808	4392.338	3779.988	5213.788	29.348	0.968	-0.1358	0.0658	-1.8048	0.055
1208	97.468	91.848	24.108	85.478	-27.918	4141.828	3632.798	4802.228	31.398	2.528	-0.2578	0.0498	-2.0598	0.041
3058	96.528	91.848	24.078	85.348	-19.558	3530.398	3132.858	4035.988	33.428	3.468	-0.2978	0.0668	-1.9118	0.061
1225*	896.938	91.888	24.178	89.588	-17.818	3129.688	2749.938	3622.948	31.638	5.128	-0.1108	0.0638	-1.9208	0.053
1509*	891.438	91.758	24.028	86.988	-39.568	4634.048	3649.698	6119.128	23.928	4.158	-0.1588	0.0828	-2.2028	0.070
96*	894.308	91.868	24.088	82.128	-30.678	4238.628	3546.988	5213.178	28.918	3.948	-0.3708	0.0778	-2.0648	0.068
2389*	896.628	91.948	23.918	89.598	-26.788	1847.438	1705.058	2015.028	13.768	11.468	-0.0918	0.0628	-1.9218	0.052
607*	896.648	91.898	24.128	87.158	-26.388	3884.088	3357.918	4586.588	31.958	8.728	-0.2038	0.0668	-2.1118	0.056
679*	897.228	91.808	24.118	87.538	-44.168	5338.488	4362.648	6732.928	19.688	3.198	-0.1138	0.0758	-1.9608	0.062
787*	897.888	91.828	24.148	85.758	-36.108	4428.838	3780.778	5310.088	24.178	4.618	-0.2008	0.0618	-2.0268	0.052
3029*	897.898	92.028	24.288	83.488	-40.148	4831.888	4292.768	5512.598	21.708	4.528	-0.2548	0.0458	-2.0088	0.038
4943*	890.818	91.868	24.458	86.768	-35.358	4060.158	3448.688	4901.468	19.898	3.728	-0.1508	0.0788	-1.7848	0.064
3688*	896.548	92.008	24.358	87.278	-43.478	4861.618	3747.848	6553.768	18.928	11.638	-0.1318	0.1178	-2.0248	0.099
3765*	896.998	91.538	24.078	81.648	-49.678	6033.008	4439.328	8329.238	16.048	2.778	-0.2308	0.1148	-1.9788	0.092
5394*	899.808	92.168	24.358	89.918	16.978	2388.298	1578.928	4004.468	39.038	5.338	-0.1318	0.3598	-0.4468	0.304
1708*	895.268	91.718	24.108	86.638	-28.428	4227.478	3203.968	5845.998	32.538	3.528	-0.2098	0.1218	-2.1248	0.102

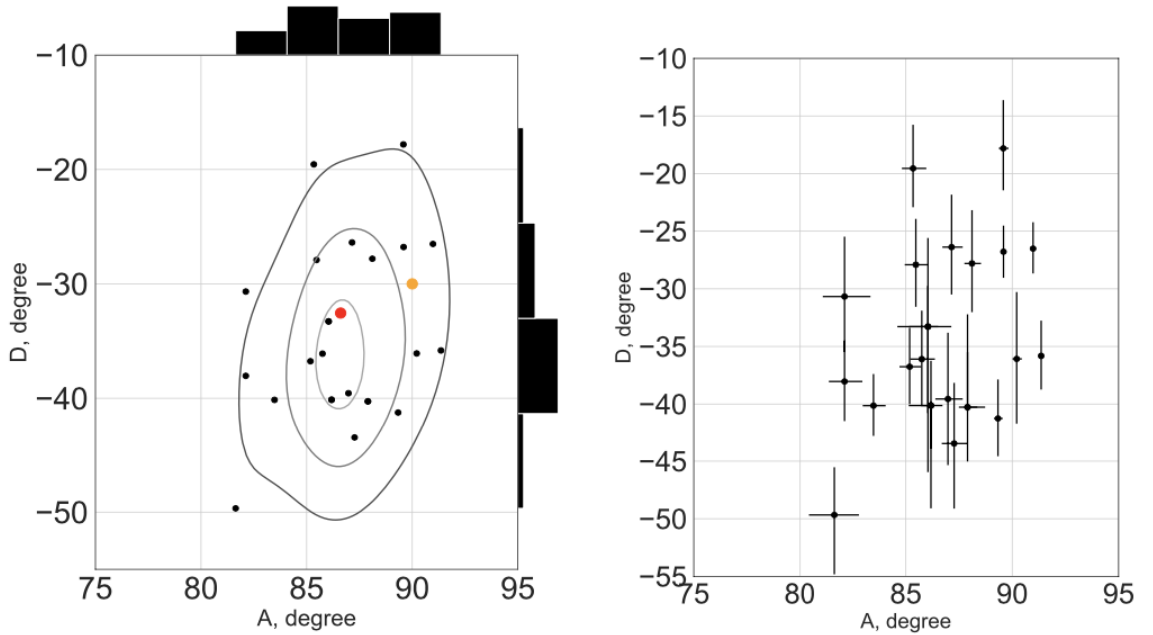


Рисунок 2.15 — Диаграмма апексов для скопления NGC 2158. На левой панели оранжевая точка показывает положение антиапекса Солнца ($A = 89^\circ$, $D = -30^\circ$; [88]). Красная точка представляет положение апекса скопления $A = 87.24^\circ \pm 1.60^\circ$, $D = -36.61^\circ \pm 5.30^\circ$. На правой панели показаны ошибки в (A, D)

Результаты определения апекса показаны на рисунке 2.15. Контурные показывают распределение звездной плотности. Они подчеркивают неравномерность распределения плотности звезд. Гистограммы по осям координат показывают то же самое. Распределение неравномерное, имеются максимумы. Имеются существенные различия в определении расстояний до звезд, как видно из нижней и верхней границ расстояний в таблице 5. Эта разница показана на рисунке 2.16, где для каждой звезды мы показали разброс значения расстояния. Согласно таблице 5, значения нижней L_b и верхней U_b границ определялись как $L_b = \text{Distance}(pc) - \text{low bound}(pc)$, $U_b = \text{upper bound}(pc) - \text{Distance}(pc)$. Для того чтобы учесть эти неопределенности, мы использовали следующую процедуру усреднения с учетом веса для каждой звезды. Вклад каждой звезды рассчитывался исходя из веса: $p = \frac{1}{D_{(NGC)} - D_{(BJ+2018)}}$, где $D_{(NGC)} = 4.69$ кпк (см. раздел 2.1.5), $D_{(BJ+2018)}$ — среднее расстояние (табл. 5).

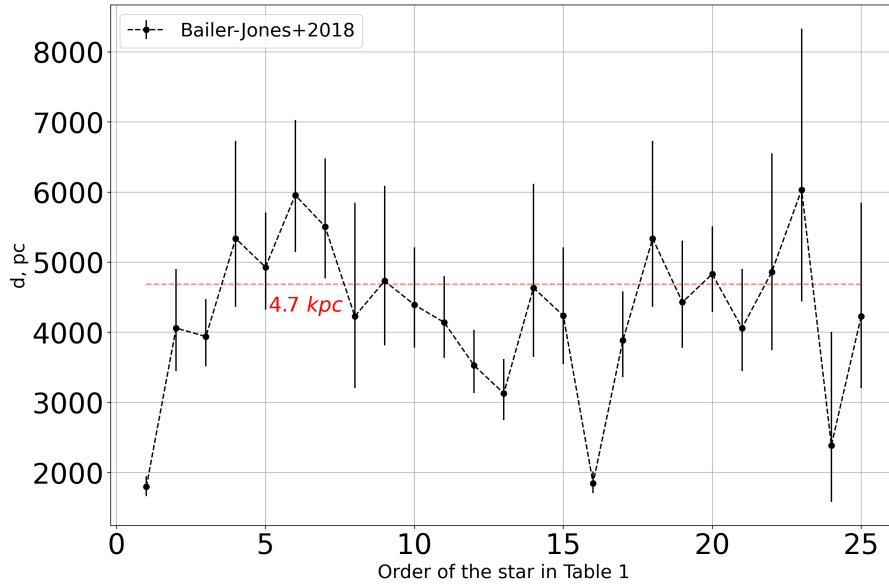


Рисунок 2.16 — Показаны расстояния до звезд согласно $BJ + 2018$ [87]. По оси абсцисс показаны положения звезд по таблице 5, красной пунктирной линией отмечено расстояние до скопления, определенное в нашей работе.

Можно сделать следующий вывод. Положения точек на рис. 2.16, хотя и показывают большой разброс, позволяют определить среднее расстояние до скопления. Очевидно, среднее расстояние до скопления (рис. 2.16) носит лишь оценочный характер. Таким образом, разброс величин байесовского расстояния до отдельных звезд скопления (таблица 5, столбец Distance) свидетельствует о

пока недостаточной точности параллаксов Gaia для отдельных звезд скопления, расположенного на расстоянии от Солнца, превышающем ~ 3 кпк.

Апекс скопления King 11

Для скопления King 11, из 676 наиболее вероятных звезд-членов скопления лучевые скорости V_r известны только для 9 звезд по каталогу Gaia EDR3 (положение скопления King 11 не позволяет найти для него наблюдательные данные в каталоге LAMOST DR5). Данные для 9 отобранных нами звезд показаны в таблице 6. Таблица содержит ID звезды из нашего каталога, экваториальные координаты, параллакс и его ошибку, лучевую скорость и ее ошибку, компоненты собственного движения и их ошибки.

Для расчета положения апексов звезд мы использовали данные табл. 6. Звезда с ID = 750 была исключена из расчетов, поскольку значение ее лучевой скорости выходит за рамки 3σ от средней скорости скопления. Таким образом, для определения апекса мы использовали $n = 8$ звезд. Для расчета апекса требуется расстояние звезд от Солнца. В таблице 6 приведены значения параллакса звезд из каталога Gaia EDR3. У нас было два варианта: использовать расстояния, предоставленные в BJ + 2018 [87] на основе данных Gaia DR2, или использовать обратную величину параллакса Gaia EDR3, который точнее параллакса Gaia DR2. Возможность использования формулы для расстояния как обратного параллакса зависит от значения относительной ошибки параллакса [89]. Например, для другого далекого скопления h и χ Персея инверсия параллакса была выполнена, когда относительная ошибка параллакса составляла менее 15% [90]. В настоящей работе, как видно из табл. 6, относительные ошибки параллакса не превышают 7%. Также из таблицы видно, что по сравнению с расстояниями BJ + 2018, расстояния, основанные на формуле $1/\pi$ (где параллакс взят из Gaia EDR3), имеют меньшую дисперсию. Кроме того, эти расстояния намного ближе к фотометрическому расстоянию, полученному при аппроксимации изохроны в разделе 2.1.5. На основании сказанного мы использовали инверсию параллакса Gaia EDR3 для расчета расстояний до отдельных звезд.

Таблица 6 — Данные для $n = 9$ звезд, для которых в каталоге Gaia DR3 были найдены значения лучевой скорости.

id	α , deg	δ , deg	π , mas	σ_π , mas	V_r , km/s	σ_{V_r} , km/s	μ_α , mas/yr	σ_{μ_α} , mas/yr	μ_δ , mas/yr	σ_{μ_δ} , mas/yr
664	356.89949972298	68.55919215305	0.3138	0.0172	-24.64	0.19	-3.548	0.018	-0.691	0.020
594	356.76670069011	68.61659583689	0.3038	0.0119	-25.56	0.61	-3.287	0.012	-0.674	0.013
402	357.08317949836	68.62485265215	0.3153	0.0127	-23.37	1.24	-3.303	0.013	-0.680	0.014
383	357.07390257745	68.61966872741	0.3156	0.0106	-24.36	0.44	-3.329	0.012	-0.678	0.012
186	356.91987727992	68.60842839292	0.3029	0.0110	-23.00	1.14	-3.458	0.012	-0.545	0.013
71	356.99190137820	68.62732678001	0.3020	0.0215	-27.65	11.80	-3.408	0.024	-0.625	0.025
59	356.94999128682	68.64879622880	0.3040	0.0133	-27.33	0.73	-3.373	0.015	-0.549	0.014
188	356.91083469754	68.65676639347	0.3070	0.0204	-23.75	0.40	-3.377	0.022	-0.751	0.022
750	356.81563381478	68.70358425950	0.2645	0.0132	-114.10	0.53	-3.464	0.014	-0.612	0.014

На рис. 2.17 показан апекс для скопления и King 11. Описание метода, техники построения графиков и формулы для определения эллипсов ошибок можно найти в работе [91]. Для вычисления апекса используются данные Gaia: расстояние, собственное движение и лучевая скорость.

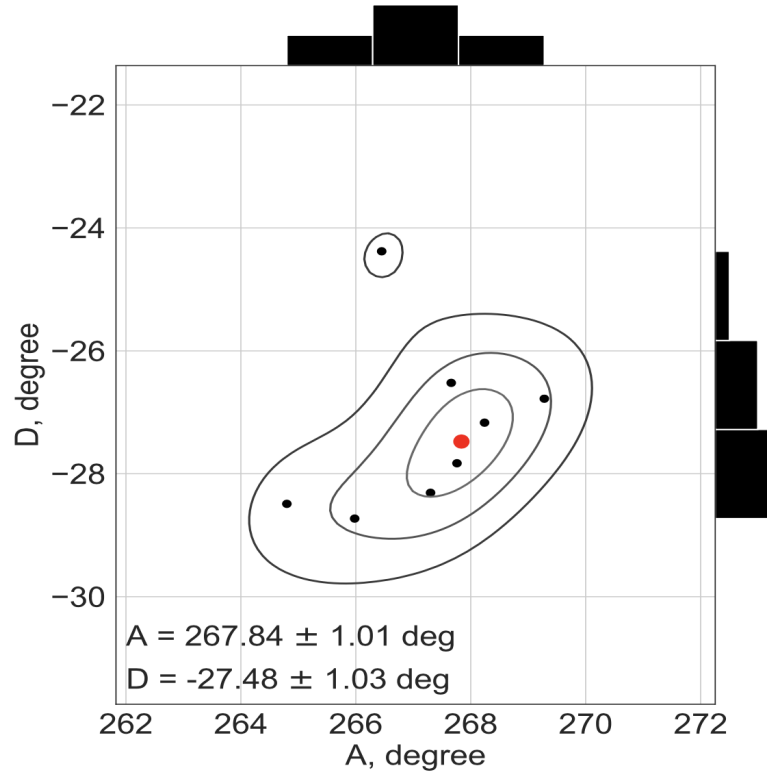


Рисунок 2.17 — Диаграмма (A, D) для скопления King 11. Мы использовали $n = 8$ звезд, для которых удалось найти все параметры, необходимые для расчета апекса. Красная точка в центральном контуре указывает средний апекс для скопления.

2.2.2 Расчеты движения РЗС в диске Галактики

Определение орбиты носит вероятностный характер, а результаты приблизительны, поскольку на них влияют погрешности определения собственного движения, лучевой скорости и расстояния. Влияние ошибок входных параметров на орбиту скоплений и предполагаемое место рождения показано на рисунках 2.22, 2.23. На рисунках показаны места предположительного места рождения скоплений. Хорошо заметно, что возможное место рождения РЗС в значительной степени зависит от ошибок исходных данных.

Сближение РЗС с Солнцем, параметры орбит

Мы интегрировали орбиты скоплений, используя полученные ранее значения возрастов для NGC 2158 и King 11. На рисунках показаны результаты расчетов орбит Солнца и скоплений NGC 2158 (рис. 2.19) и King 11 (рис. 2.21) в декартовой галактоцентрической системе координат. Расчеты выполнены назад во времени в соответствии с возрастом скоплений, определенным в наших работах [11; 12]. В качестве входных данных мы использовали определенные нами параметры скопления μ_α , μ_δ , d , α , δ , а также скорость V_r , рассчитанную как:

1. Для скопления NGC 2158 — среднее по 12 звездам Gaia DR2 (для скопления NGC 2158). Мы избегали значений V_r из LAMOST DR5 из-за ошибок в наблюдательных данных, которые могли бы привести к большим ошибкам в результатах интегрирования (см. таблицу 7).
2. Для скопления King 11 — как среднюю скорость 8 звезд, выбранных нами в разделе 2.2.1 для определения апекса скопления (см. таблицу 8).

Таблица 7 — Входные параметры для интегрирования орбиты РЗС NGC 2158.

$\mu_\alpha \cos \delta$ mas/yr	μ_δ mas/yr	d kpc	α , J2000 deg	δ , J2000 deg	V_r km/s
-0.203 ± 0.003	-1.992 ± 0.004	4.686 ± 0.22	91.862	24.099	25.1 ± 5

Таблица 8 — Входные параметры для интегрирования орбиты РЗС King 11.

$\mu_\alpha \cos \delta$ mas/yr	μ_δ mas/yr	d kpc	α , J2000 deg	δ , J2000 deg	V_r km/s
-3.391 ± 0.006	-0.660 ± 0.004	3.33 ± 0.15	356.912	8.636	-24.96 ± 5.00

На рис. 2.18, 2.20 показаны пространственные орбиты. По координате Z орбита NGC 2158 совершает колебания приблизительно каждые 250 миллионов лет, поднимаясь над плоскостью диска на ~ 529 пк. Оценка положения места рождения скопления по координате $Z = -330$ пк. Текущее положение скопления — $Z = 178 \pm 0.01$ пк. Вполне вероятно, что скопление могло родиться дальше от плоскости диска по сравнению с его нынешним положением. Как видим на рис. 2.19, за время своего существования скопление NGC 2158 и Солнце движутся примерно по круговым орбитам (в проекции на плоскость Галактики) вокруг центра Галактики. За время своего существования РЗС совершило более 10 оборотов вокруг центра Галактики.

Для скопления King 11 предполагаемое место рождения расположено между $Z = -0.320$ кпк и $Z = 0.419$ кпк, с учетом входных ошибок интегрирования. Текущее положение скопления мы определили как $Z = 0.401 \pm 0.01$ кпк. На рисунке 2.21 положение, отмеченное 1, указывает на текущее положение Солнца и скопления ($Z_0 = 0.401 \pm 0.010$ кпк, $d_\odot = 3.33$ кпк), положение 2 указывает на предполагаемое место рождения скопления (Z_0 варьируется от -0.320 до 0.419 кпк, $d_\odot = 12.44 \pm 4.38$ кпк, $t = 3.63$ млрд лет).

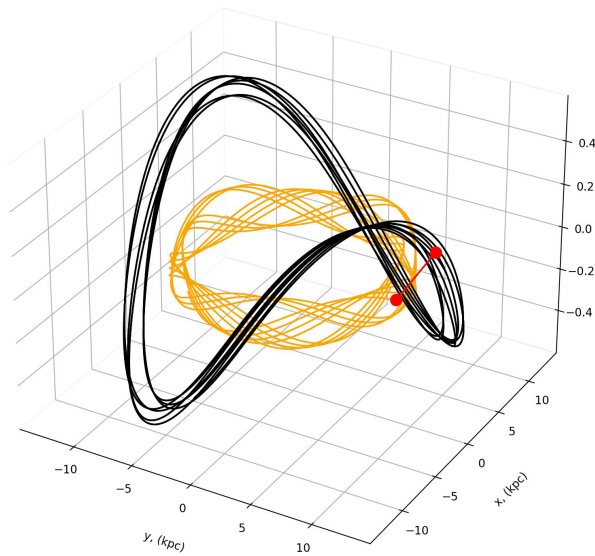


Рисунок 2.18 — Рассчитанные орбиты NGC 2158 и Солнца в координатах XYZ . Красными точками и линией показан момент наименьшего расстояния между

скоплением и Солнцем

$$d_{min} = 2.7 \pm 0.75 \text{ кпк.}$$

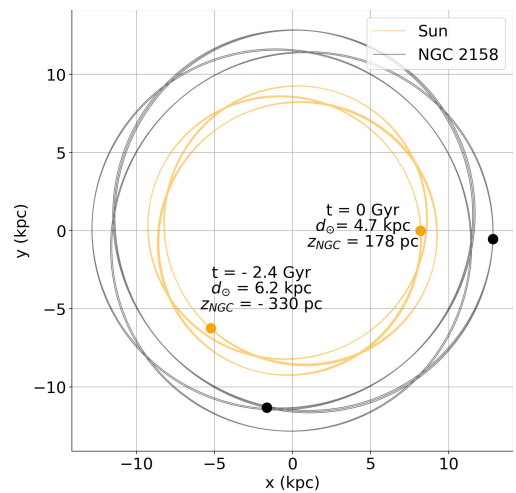


Рисунок 2.19 — Положение NGC 2158 и Солнца на момент времени, соответствующий текущей эпохе, и предполагаемое место рождения скопления и соответствующее положение Солнца.

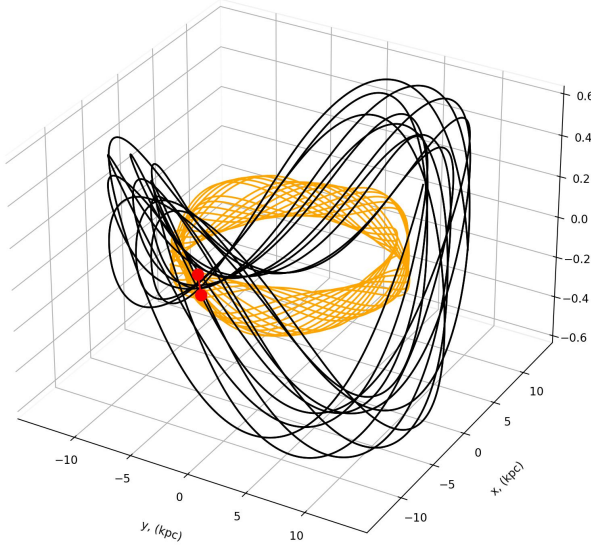


Рисунок 2.20 — Рассчитанные орбиты King 11 и Солнца в координатах XYZ . Красными точками и линией показан момент наименьшего расстояния между скоплением и Солнцем $d_{min} = 1.58$ кпк.

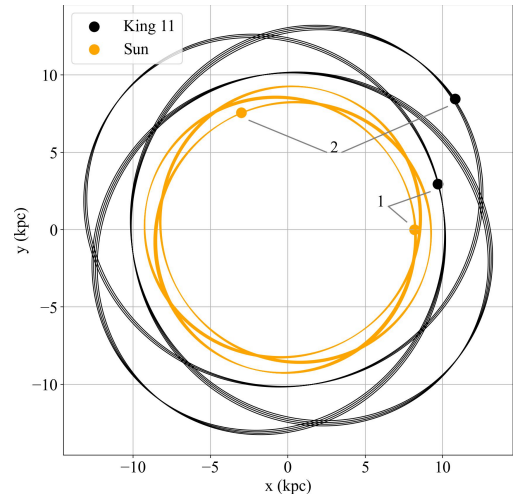


Рисунок 2.21 — Положение King 11 и Солнца на момент времени, соответствующий текущей эпохе, и предполагаемое место рождения скопления и соответствующее положение Солнца.

Место рождения скоплений

NGC 2158 — старое скопление, расположенное на периферии Галактики. В этом контексте интересно обсудить несколько возможностей его происхождения. Возможные сценарии изложены ниже.

1. Расположение скопления во внешнем диске Галактики предполагает возможность его аккреции. Однако наши результаты не подтверждают эту идею. Мы обнаружили, что кинематика NGC 2158 соответствует орбите типичного объекта диска Галактики. Интегрирование на время жизни скопления показывает возможное место рождения при $X = -1.5 \pm 1.4$ кпк, $Y = -11.3 \pm 0.1$ кпк, $Z = -0.25 \pm 0.2$ кпк.
2. В работе [92] обсуждается, что радиальное перемешивание (путем миграции) может объяснить присутствие рассеянных скоплений среднего

возраста с высокой металличностью в окрестностях Солнца. Мы предполагаем возможность того, что местоположение NGC 2158 обусловлено миграцией. NGC 2158, в соответствии с параметрами, представленными в таблице 9, расположено на $R_{\text{Gal}} < 12$ кпк, $Z < 0.529$ кпк. Согласно изохронам, значение возраста $\log(t)$ NGC 2158 составляет 9.54 (t в млрд лет). Значение содержания тяжелых элементов скопления 0.004 можно преобразовать в $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.68$. Полученное нами значение металличности примерно соответствует положению скопления в Галактике по сравнению с данными Андерса [92]. Наше значение металличности также согласуется со значением ($[\text{Fe}/\text{H}] = -0.60$), полученным в работе [31].

На рисунке 2.22 орбита скопления NGC 2158 интегрировалась с различными входными параметрами, полученными в результате учета ошибок собственного движения и лучевой скорости на момент возможного рождения (согласно возрасту скопления) $t = -2.4$ млрд лет. Орбиты построены в галактоцентрических прямоугольных координатах в плоскости XY (левая панель) и зависимости координаты Z от времени (правая панель). Входные параметры также показаны на левой панели рисунка. Черные и оранжевые орбиты представляют NGC 2158 и Солнце соответственно (те же обозначения, что и на рис. 2.19).

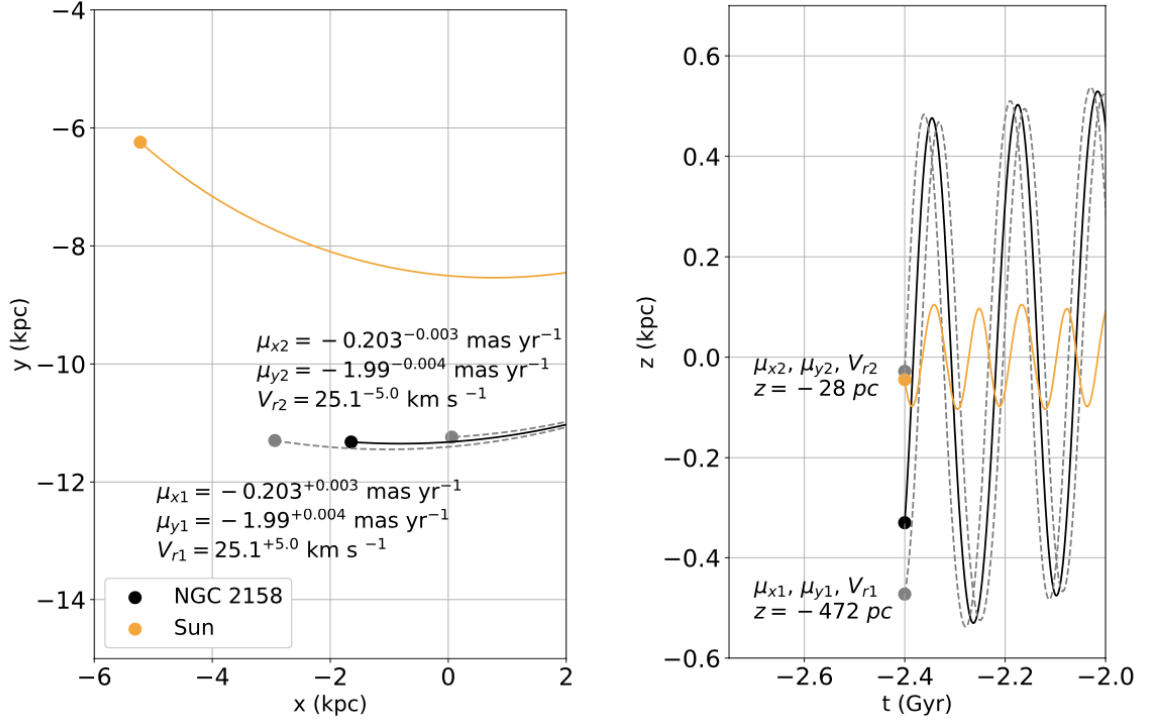


Рисунок 2.22 — Положение NGC 2158 и Солнца на момент предполагаемого рождения скоплений. Орбиты показаны в галактоцентрических прямоугольных координатах в плоскости XY (левая панель), зависимость Z -координаты центра РЗС от времени (правая панель). Черные и оранжевые орбиты представляют скопления и Солнце соответственно.

Для скопления King 11 аналогичным образом проведено исследование предполагаемого места рождения. Для этого рассчитана его орбита интегрированием с входными параметрами, варьируемыми в пределах ошибок собственного движения и лучевой скорости, в прошлые эпохи на время жизни скопления. На левой панели рисунка 2.23 показаны начальные положения орбит (с учетом ошибок) скопления King 11 (черный) и Солнца (оранжевый) (обозначения те же, что и на рис. 2.21). Расчеты выполнены в прошлые эпохи до момента предполагаемого образования скопления 3.63 ± 0.42 млрд лет назад в плоскости XY Галактики. Черная точка — окончательное положение скопления по результатам расчетов, представленных на рис. 2.21. Серая и красная пунктирные линии показывают орбиту с учетом ошибок, серая и красная точки показывают предположительное положение места рождения скопления. На правой панели показана зависимость Z -координаты орбитального положения от времени в прошлые эпохи. Здесь обозначение «1» показывает кривую, когда ошибки добавляются к исходным входным значениям, и в этом случае мы

получаем $Z_{\min} = -0.320$ кпк. Аналогично обозначение «2» используется для случая, когда ошибки вычитаются. В этом случае значение $Z_{\max} = 0.419$ кпк.

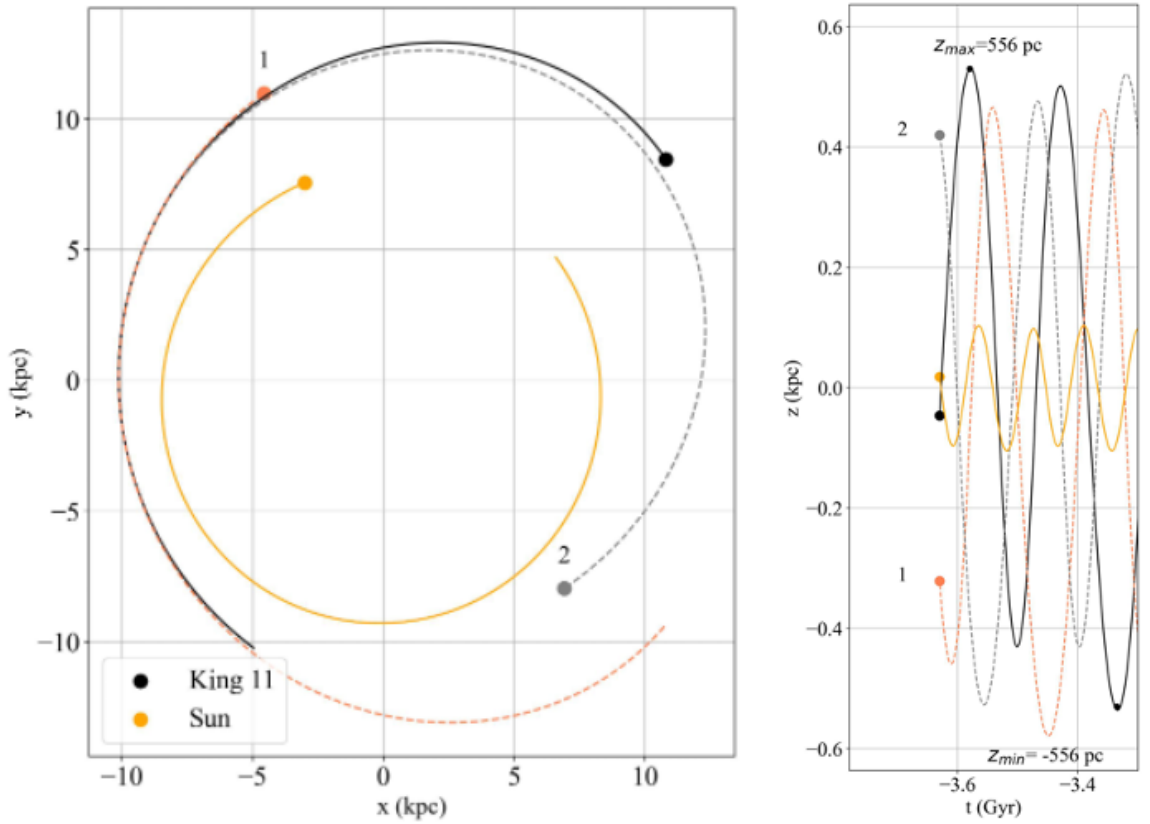


Рисунок 2.23 — Положение King 11 и Солнца на момент предполагаемого рождения скопления. Орбиты показаны в галактоцентрических прямоугольных координатах в плоскости XY (левая панель), зависимость Z -координаты центра РЗС от времени (правая панель). Черные и оранжевые орбиты представляют скопления и Солнце соответственно.

2.3 Выводы

1. Уточнены орбиты скоплений NGC 2158 и King 11 при движении в диске Галактики. Сценарии, которые мы рассматривали, включали текущее положение скопления, а также движение скопления в прошлом. Пространственная скорость скопления King 11 равна 60.2 ± 2.16 км/с относительно Солнца, NGC 2158 — 51 ± 5 км/с.

2. Наша модель показывает, что ближайшее расстояние, на котором скопление King 11 приблизилось к Солнцу, составляет 1.58 кпк около 0.76 млрд лет назад, для скопления NGC 2158 — 1.5 кпк около 0.8 млрд лет назад. Мы также предоставляем ориентировочную позицию рождения скоплений, на которую влияют ошибки во входных параметрах.
3. В движении скопления King 11 наблюдаются колебания 0.556 ± 0.022 кпк по координате Z , для скопления NGC 2158 — 0.529 кпк.
4. Получены оценки различных параметров РЗС. Для King 11 они приведены в таблицах 10 и 11, для NGC 2158 в таблицах 9 и 12.

Таблица 9 — Параметры орбиты РЗС NGC 2158.

Параметр	Величина и ошибка
Апоцентр (кпк)	12.8 ± 0.03
Перицентр (кпк)	11.1 ± 0.05
Эксцентриситет (e)	0.07 ± 0.003
$z_{\max}$ (пк)	529 ± 7
U (км/с)	-21.5 ± 1.7
V (км/с)	-39.2 ± 1.7
W (км/с)	0.24 ± 0.6
V_{spatial} (км/с)	-24.6 ± 1.7
T_r (млрд лет)	0.2 ± 0.003

Таблица 10 — Параметры орбиты РЗС King 11.

Параметр	Величина и ошибка
Апоцентр (кпк)	13.80 ± 0.49
Перицентр (кпк)	10.10 ± 0.01
Эксцентриситет (e)	0.15 ± 0.02
$z_{\max}$ (пк)	556 ± 22
z_0 (пк)	401 ± 10
U (км/с)	59.98 ± 2.36
V (км/с)	2.50 ± 4.37
W (км/с)	0.24 ± 0.6
V_{spatial} (км/с)	60.20 ± 2.16
T_r (млрд лет)	0.250 ± 0.006

Таблица 11 — Полученные параметры скопления King 11 в сравнении с данными других авторов.

Параметр	Значение	Источник
Возраст (млрд лет)	3.63 ± 0.42	Настоящая работа
	2.09	Kharchenko et al. (2013) [4]
	3.00 ± 0.36	Kyeong et al. (2011) [69]
	3.4–4.75	Tosi et al. (2007) [68]
	$\sim 5 \pm 1$	Aparicio et al. (1991) [66]
	~ 5	Kaluzny (1989) [70]
Металличность (Z_{meta})	0.011	Настоящая работа
	0.01	Tosi et al. (2007) [68]
	0.02	Aparicio et al. (1991) [66]
Расстояние (кпк)	3.33 ± 0.15	Настоящая работа
	3.433	Cantat-Gaudin et al. (2018) [44]
	2.85	Kharchenko et al. (2013) [4]
	2.19	Friel et al. (2002) [67]
Собственное движение (mas/yr)	$(-3.391 \pm 0.006,$ $-0.660 \pm 0.004)$	Настоящая работа
	$(-3.34, -0.60)$	Liu, Pang (2019) [93]
	$(-3.358, -0.643)$	Cantat-Gaudin et al. (2018) [44]
Лучевая скорость (км/с)	-24.96 ± 5.00	Настоящая работа
	-24.61 ± 0.34	Soubiran et al. (2018) [47]
	-35	Kharchenko et al. (2013) [4]
	-35 ± 16	Friel et al. (2002) [67]
	-34 ± 12	Scott et al. (1995) [72]
Параллакс (mas)	0.306 ± 0.004	Настоящая работа
	0.299	Liu, Pang (2019) [93]
	0.262	Cantat-Gaudin et al. (2018) [44]
Z_0 (пк)	0.401 ± 0.010	Настоящая работа
	0.4017	Soubiran et al. (2018) [47]
	0.3877	Cantat-Gaudin et al. (2018) [44]
	0.253–0.387	Tosi et al. (2007) [68]
	0.245	Friel et al. (2002) [67]

Таблица 12 — Полученные параметры скопления NGC 2158 в сравнении с данными других авторов.

Параметр	Значение	Источник
Возраст (млрд лет)	9.38 ± 0.04	Настоящая работа
	~ 2	Carraro et al. (2002) [31]
	~ 3	Kharchenko et al. (1997) [82]
Металличность (Z_{meta})	0.004	Настоящая работа
	-0.6	Carraro et al. (2002) [31]
Расстояние (кпк)	4.69 ± 0.22	Настоящая работа
	3.6 ± 0.4	Carraro et al. (2002) [31]
	4.77	Kharchenko et al. (2013) [4]
	4.535	Cantat-Gaudin et al. (2018) [44]
Собственное движение (mas/yr)	$(-0.203 \pm 0.003,$ $-1.99 \pm 0.004)$	Настоящая работа
Лучевая скорость (км/с)	25.1 ± 5	Настоящая работа
	28	Kharchenko et al. (2013) [4]
Параллакс (mas)	0.213 ± 0.02	Настоящая работа
Z_0 (пк)	178	Настоящая работа
	110	Carraro et al. (2002) [31]

Глава 3. РАСЧЕТЫ СБЛИЖЕНИЯ РЗС С СОЛНЦЕМ

3.1 Поиск сближений РЗС и Солнца в диске Галактики

Сближения звезд с Солнцем влияют на орбиты малых тел во внешних частях Солнечной системы. Близкое прохождение звезд к резервуару комет (облаку Оорта) является механизмом появления наблюдаемых околопараболических комет вблизи Земли [94], что приводит к появлению новых комет во внутренней части Солнечной системы. Звездные проходы рассматриваются как основной механизм в исследованиях происхождения, эволюции и нынешней структуры облака Оорта (см., например, [95; 96]). Прохождение звезды через облако Оорта может вызвать интенсивные кометные потоки, и, как следствие, увеличение вероятности появления комет в окрестностях Земли [97]. Многие звезды, кандидаты на такие встречи, были обнаружены, как для прошлых, так и для будущих сближений [98; 99]. Космический аппарат Gaia дополнил эти исследования наиболее точными на данный момент астрометрическими измерениями и данными лучевых скоростей. Это позволяет рассмотреть возможные прошлые встречи РЗС и Солнца. РЗС, проходя близко к Солнечной системе, может изменять орбитальные элементы малых тел, в том числе в самых отдаленных частях их орбиты. Эти возмущения, в зависимости от их величины, могут привести к переносу комет, как во внутренние области Солнечной системы, так и выбросу комет в межзвездное пространство. Данные Gaia открывают новые возможности для поиска сближений звезд и РЗС с Солнцем. Исследованы также механизмы влияния приливных сил Галактики [100] на движение малых тел в облаке Оорта. Влияние гигантских молекулярных облаков (ГМО) также является возможной причиной разрушения рассеянных звездных скоплений из-за сближений с ГМО [101].

3.1.1 Диаграмма апексов

Для начала мы рассмотрели положения на небе и направления движения РЗС и комет с помощью диаграммы апексов, которая позволяет обнаружить потенциальный источник появления межзвездных комет. Аналогом антиапексов в движении комет можно считать положения афелиев орбит комет. В том случае, если положения антиапексов скоплений и афелиев долгопериодических комет, не прошедших перигелий, совпадают, то эти объекты двигаются примерно из одной точки неба в близких направлениях. Для поиска закономерностей в положениях апексов (или антиапексов) звезд и скоплений применяют метод АД-диаграмм. Описание метода, техника построения диаграмм и формулы для определения эллипсов ошибок можно найти в работе [91]. В нашей работе применен аналог метода АД-диаграмм – метод LB-диаграмм.

Мы использовали данные о 16 РЗС из каталога Milky Way global Survey of star Clusters (далее MWSC, [4]). Все они расположены в пределах 200 пк от Солнца и для них имеются надежные наблюдательные данные. В табл. 13 приведены сведения об этих скоплениях: номер скопления по каталогу MWSC, название скопления по другим каталогам, прямое восхождение и склонение на эпоху $J2000$, компоненты собственного движения, расстояние от Солнца (d), лучевая скорость (RV), угловой радиус ($r2$), число звезд в скоплении ($Nlsr2$) для радиуса $r2$. Для удобства работы с программами вычислений были сохранены некоторые обозначения, введенные в используемых каталогах. Так, прямое восхождение α на эпоху $J2000$ обозначено как $RA\ J2000$, склонение δ – $DE\ J2000$, компоненты собственного движения по прямому восхождению и склонению обозначены как $pmRA$ и $pmDE$ соответственно.

В табл. 14 представлены рассчитанные для этих скоплений компоненты прямоугольных пространственных координат X, Y, Z и скоростей U, V, W , модуль пространственной скорости $V_{cl} = \sqrt{U^2 + V^2 + W^2}$, а также положение антиапексов в галактической системе координат $\alpha L, \alpha B$. Прямоугольная галактическая гелиоцентрическая система координат задана так: ось X направлена к центру Галактики ($l = 0^\circ, b = 0^\circ$), ось Y – в направлении вращения Галактики ($l = 90^\circ, b = 0^\circ$), ось Z – на северный полюс Галактики ($b = 90^\circ$). Аналогичны направления осей для компонентов скорости U, V, W .

Таблица 13 — Данные о РЗС из каталога MWSC.

MWSC	Название	$RA\ J2000$	$DE\ J2000$	$pmRA$	$pmDE$	d	RV	$r2$	$Nlsr2$
		град	град	мсд/год	мсд/год	пк	км/с	град	
2020	Melotte 111	185.985	26.300	-11.72	-8.76	87	-1.0	4.225	298
544	Mamajek 3	81.502	6.330	10.00	-32.24	95	13.1	2.200	40
1535	Mamajek 1	130.470	-79.045	-29.41	27.40	112	15.0	0.420	19
278	Alessi 13	52.020	-35.870	35.80	-3.27	112	19.5	3.180	209
1990	Feigelson 1	180.300	-78.335	-40.45	-3.91	117	13.7	0.950	26
305	Melotte 22	56.505	24.370	19.40	-46.00	130	5.5	6.20	488
1629	Platais 8	136.875	-59.160	-15.00	14.80	141	17.3	1.500	1377
1841	<i>IC 2602</i>	160.440	-64.400	-16.95	9.65	151	21.9	1.480	3229
1529	IC 2391	130.065	-53.028	-24.20	23.42	165	14.6	0.775	139
395	Platais 3	69.450	71.470	3.35	-21.15	170	7.0	2.250	174
2650	Mamajek 2	264.472	-8.085	-11.50	-20.90	174	-18.5	0.310	17
274	Melotte 20	51.675	48.800	21.49	-26.11	175	-1.4	6.100	621
1527	NGC 2632	130.095	19.690	-36.54	-13.36	187	33.4	3.100	511
1308	NGC 2451A	115.335	-38.520	-21.80	15.13	188	22.6	1.300	297
109	Platais 2	18.225	32.050	13.85	-11.29	190	6.5	1.320	64
1639	Platais 9	137.955	-43.530	-24.50	12.00	200	17.8	2.100	2277

Таблица 14 — Вычисленные параметры РЗС.

MWSC	X	Y	Z	U	V	W	V_{cl}	aAL	aAB
	пк	пк	пк	км/с	км/с	км/с	км/с	град	град
2020	-7.30	-5.92	86.49	-2.29	-5.45	-1.57	6.12	67.23	14.92
0544	-87.40	-26.82	-25.84	-6.80	-17.55	-6.93	20.06	68.81	20.23
1535	39.81	-96.17	-41.36	-14.48	-18.86	-10.70	26.07	52.45	24.24
0278	-33.79	-53.24	-92.56	-13.86	-22.87	-5.38	27.28	58.78	11.38
1990	56.84	-97.23	-31.69	-12.84	-20.70	-10.09	26.38	58.16	22.53
0305	-115.78	28.44	-51.81	-6.49	-27.08	-14.15	31.86	76.50	26.97
1629	18.30	-138.48	-19.21	-11.70	-18.71	-3.21	22.30	57.97	8.30
1841	50.17	-141.82	-13.07	-5.87	-25.24	-1.64	25.97	76.90	3.67
1529	0.94	-163.81	-19.73	-25.94	-14.16	-5.75	30.11	28.62	11.00
0395	-123.21	107.28	47.01	-16.66	-5.22	-6.45	18.61	17.39	20.24
2650	162.52	49.78	37.22	-11.43	-24.06	-4.41	27.00	64.61	9.42
0274	-146.60	93.46	-19.91	-12.53	-23.91	-7.70	28.07	62.34	15.94
1527	-141.92	-68.87	100.42	-42.05	-20.28	-11.14	48.00	25.75	13.42
1308	-56.03	-177.69	-25.12	-26.48	-13.65	-13.47	32.70	27.24	24.32
0109	-101.15	128.50	-96.73	-11.18	-7.45	-10.98	17.35	33.66	39.25
1639	-12.28	-199.30	11.38	-25.25	-16.77	-8.13	31.38	33.56	15.01

Таблица 15 — Параметры новых комет, рассматриваемых в данной работе.

Название кометы	x	q , а.е.	B	L	a , 10^3 а.е.	P , 10^6 а.е.
C/2006 K1	13	4.43	66	56	77	21.3
C/1991 F2	16	1.52	30	90	62	15.6
C/1984 W2	20	4.00	33	80	50	11.2
C/1999 F1	38	5.79	15	100	26	4.2
C/1999 U1	38	4.14	25	67	26	4.2
C/2005 L173	44	3.89	23	50	23	3.4
C/2006 K3	56	2.50	47	23	18	2.3

Данные о параметрах орбит впервые обнаруженных долгопериодических комет («Новых комет»), взяты из работы [102] и представлены в табл. 15. В колонках таблицы содержатся: название кометы, величина большой полуоси орбиты a , значение фактора x , характеризующего энергию гравитационной связи кометы в Солнечной системе ($x = 10^6/a$), перигелийное расстояние q , галактические координаты радианта B и L , и орбитальный период P . В данной таблице содержатся данные не для всех 102 комет из списка [102], а лишь для тех, положения радиантов которых оказались в пределах менее 10 градусов от положения антиапекса хотя бы одного из РЗС в табл. 13. Таких комет оказалось 7.

На рис. 3.1 показана диаграмма LB, на которой сопоставлены положения антиапексов скоплений и афелиев комет. На рис. 3.1 заметна близость положений следующих пар РЗС–комета: Мамажек 1 - C/2005 EL173; Pleyades - C/1984 W2; Мамажек 3 - 1I и Melotte 111 - 1I, а также Мамажек 3 - C/1999 U1. Близкое расположение точек свидетельствует о возможном динамическом взаимодействии кометы и скопления в прошлые эпохи. Наличие двух соседних скоплений может усилить эффект.

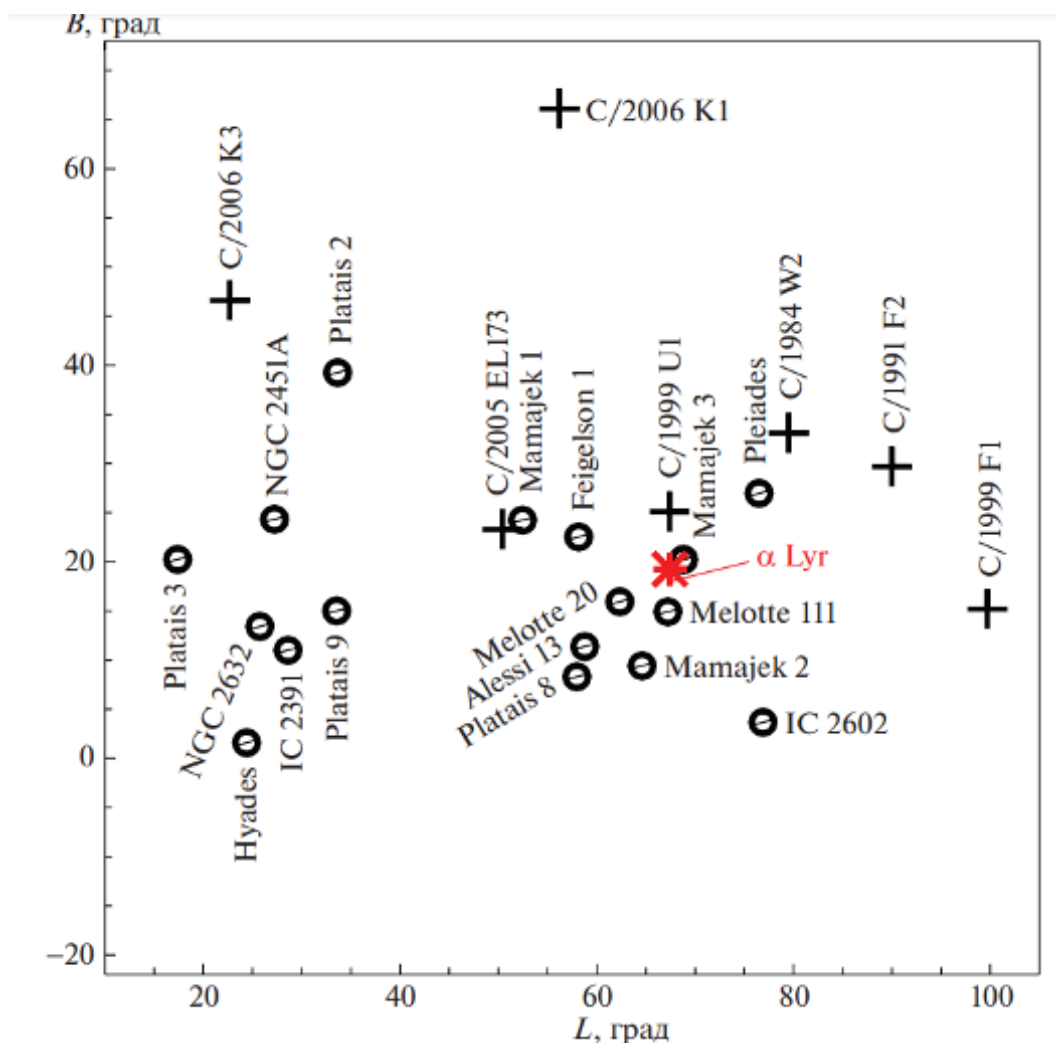


Рисунок 3.1 — LB-диаграмма афелиев комет (крестики) и антиапексов РЗС (жирные точки). Названия РЗС и комет показаны рядом с соответствующими символами. Звездочкой указано положение звезды αLyr ($l = 67.448^\circ$, $b = 19.237^\circ$), с которой радиант объекта 1I примерно перекрывается. Антиапексы комет и скоплений даны в галактической системе координат.

Как известно из работ [10; 98; 103; 104], влияние проходящих мимо облака Оорта звезд может оказаться чувствительным для малых тел и в комбинации с галактическим приливом может приводить к образованию долгопериодических комет, которые могут наблюдаться с Земли. Наша задача - понять могут ли влиять и каковы эффекты влияния на объекты во внешних частях облака Оорта сближающиеся с Солнечной системой РЗС, масса которых на порядки превосходит массу отдельных звезд [105; 106].

Близость положений 1I и Мамажек 3 представляет отдельный интерес. Скорость 1I составляет 26.33 км/с относительно Солнца [107]. Как видно из табл. 13, лучевая скорость Мамажек 3 составляет 13.1 км/с, а пространственная

(вычислена по компонентам пространственной скорости из табл. 14) составляет 20.06 км/с. Близость положений точек 1I и Pleiades на рис. 3.1 независимо подтверждает результат, полученный в [108] о совпадении кинематических параметров 1I и субпотока S2 в потоке Плеяды.

Как мы видим, действительно, положения антиапексов скоплений и афелиев комет могут совпадать. Но для более точной оценки нам необходимо оценить потенциальное гравитационное возмущение от скоплений.

3.1.2 Поиски сближений далеких скоплений с Солнечной системой

Для оценки возможного гравитационного взаимодействия скоплений и комет Солнечной системы мы рассмотрели процесс их сближения в пространстве, когда РЗС и Солнечная система находятся на минимальном расстоянии d_{min} на рассмотренном временном интервале. В наших расчетах d_{min} определяется на временном интервале интегрирования равном 5 млн лет в прошлые эпохи. Момент времени, в который произошло сближение d_{min} , обозначен как t_{min} . Расчеты движения РЗС проводились в потенциале Млечного пути, описанном в [29], см. пункт 1.1.

Для изучения статистической картины сближений РЗС и Солнечной системы мы провели расчеты для рассеянных звездных скоплений из списков [4; 109]. Из 3006 скоплений, представленных в каталоге MWSC, лучевая скорость известна для 962 РЗС. Естественно, что мы выбрали только эти скопления. Также мы исключили шаровые скопления и скопления, чей возраст менее выбранного интервала интегрирования (5 млн лет). В результате мы взяли 72 скопления и определили для них d_{min} , используя *RAJ2000*, *DEJ2000*, *pmRA*, *pmDE* и *RV*. Мы также использовали данные Gaia DR2 о скоплениях из каталога [109], содержащего 861 скопление с известными лучевыми скоростями. Всего из этого каталога были отобраны 58 скоплений, не пересекающихся с каталогом MWSC. Большая часть скоплений из этих каталогов двигались, монотонно удаляясь от Солнечной системы или приближаясь к ней, поэтому функция расстояния от времени не проходила свой минимум. В сумме по обоим используемым каталогам (включая перекрытия) 129 скоплений проходили минимум, и для них

d_{min} и t_{min} показаны на рис 3.2. По сравнению со сближениями звезд или с галактическими приливами, сближения с РЗС в целом оказывают менее существенное влияние на эволюцию облака Оорта, но эффект от этих сближений нельзя назвать пренебрежимо малым.

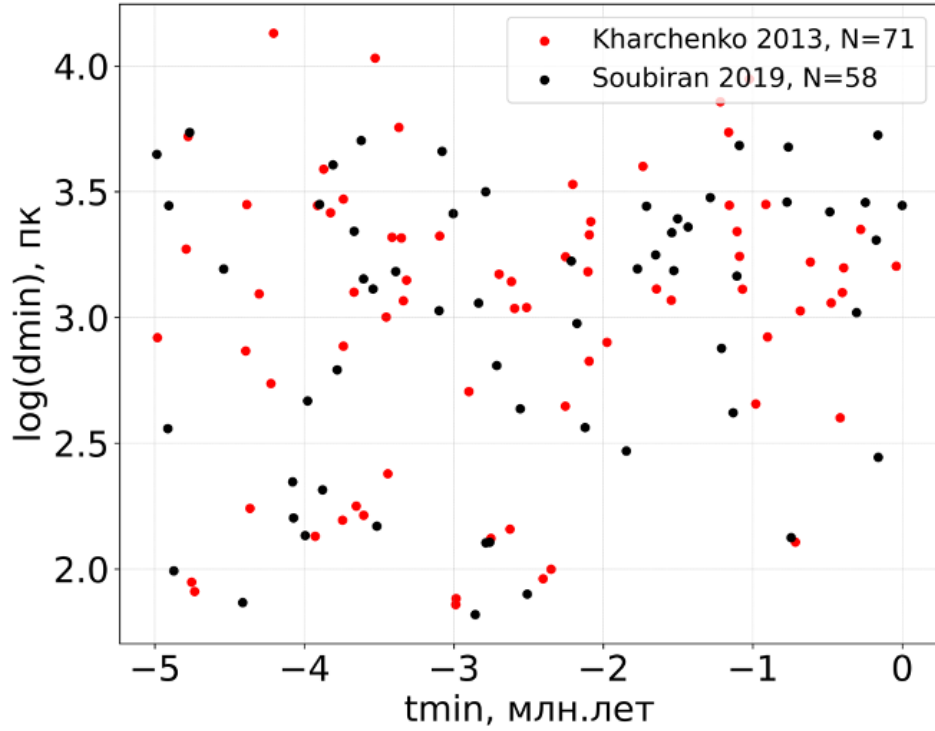


Рисунок 3.2 — Диаграмма $d_{min} - t_{min}$ для скоплений из каталогов [4; 109], включая 21 скопление, являющиеся, как показало сравнение, общими для двух упоминаемых каталогов, N – число скоплений на рисунке по каждому каталогу.

Вычисленные нами $\log d_{min}$ и t_{min} для скоплений из этих списков, а также входные данные для моделирования, мы представили в виде двух каталогов, по первым пять строк из которых даны в табл. 16 и 17. Полный авториский каталог представлен в Приложении Б.

Мы также оценили частоту сближений с Солнечной системой для всего ансамбля РЗС Галактики. Для этого использовали простой и быстрый стохастический подход. По сути, этот метод похож на более сложный стохастический подход, использованный в работе [110]. Моделировано движение ансамбля не всех 10^5 РЗС, а лишь 10^3 , случайным образом распределенных в расчетном объеме (радиусом 500 пк) вокруг Солнца. В рамках нашей задачи скорости

Таблица 16 — Первые 5 строк каталога параметров сближений скоплений с Солнечной системой из каталога по [109].

Название	$RA\ ICRS$	$DE\ ICRS$	d	U	V	W	t_{min}	$\log d_{min}$
	град	град	кпк	км/с	км/с	км/с	млн лет	d_{min} в пк
Alessi 13	51.762	-35.821	0.10	-13.38	-23.21	-7.41	-2.86	1.82
Platais 8	136.718	-58.685	0.13	-10.87	-21.81	-3.97	-4. 41	1.87
Mamajek 1	130.637	-78.963	0.10	-12.48	-19.8	-11.15	-2.51	1.90
IC 2602	160.613	-64.426	0.15	-8.1	-21.39	-0.77	-4.87	1.99
NGC 2632	130.054	19.621	0.19	-42.76	-20.41	-9.83	-2.79	2.10

Таблица 17 — Первые 5 строк каталога параметров сближений скоплений с Солнечной системой из каталога по [4].

Название	$RA\ ICRS$	$DE\ ICRS$	d	U	V	W	t_{min}	$\log d_{min}$
	град	град	кпк	км/с	км/с	км/с	млн лет	d_{min} в пк
Mamajek 3	81.50	6.33	0.10	10.00	-32.24	13.10	-2.99	1.86
Alessi 13	52.02	-35.87	0.11	35.80	-3.27	19.50	-2.99	1.88
IC 2602	160.44	-64.40	0.15	-16.95	9.65	21.90	-4.73	1.91
Melotte 111	185.99	26.30	0.09	-11.72	-8.76	-1.00	0.00	1.94
Platais 8	136.88	-59.16	0.14	-15.00	14.80	17.30	-4.76	1.95

движения частиц распределены случайным образом, дисперсия скоростей взята равной 10 км/с. Для интегрирования на достаточно большое время, когда частицы могли вылетать за пределы счетной области пространства, использовано граничное условие диффузного отражения (см. более детальное описание в [15]). Фиксировались все сближения модельных РЗС с Солнечной системой. Время интегрирования составило до 4.5 млрд лет.

На рис. 3.3 представлена полученная нами зависимость частоты сближений от "прицельного" расстояния d_{min} (на графике r) до Солнца. На рисунке пунктирной линией показана зависимость частоты сближений (координата y) от $r(x)$ аппроксимированная степенной функцией вида

$$y = 0.104x^{1.66} \quad (3.1)$$

Представленные результаты расчетов нашей модели носят лишь оценочный характер. Однако при моделировании таким способом сближений со звездами мы получили хорошее согласие с работами других авторов, использовав-

ших очень сложные и детальные модели (см. обсуждение в [15]). Как видно из рис. 3.3, сближения Солнечной системы со звездными скоплениями не являются исключительно редкими событиями в Галактике. Из рис. 3.3 видно, что, например, сближения на ~ 25 пк (как обсуждаемое далее сближение с Гиадами) могут происходить с частотой ~ 1 событие за 50 млн лет. Таким образом, Солнечная система за время своей жизни могла подвергаться сближениям с РЗС ~ 90 раз.

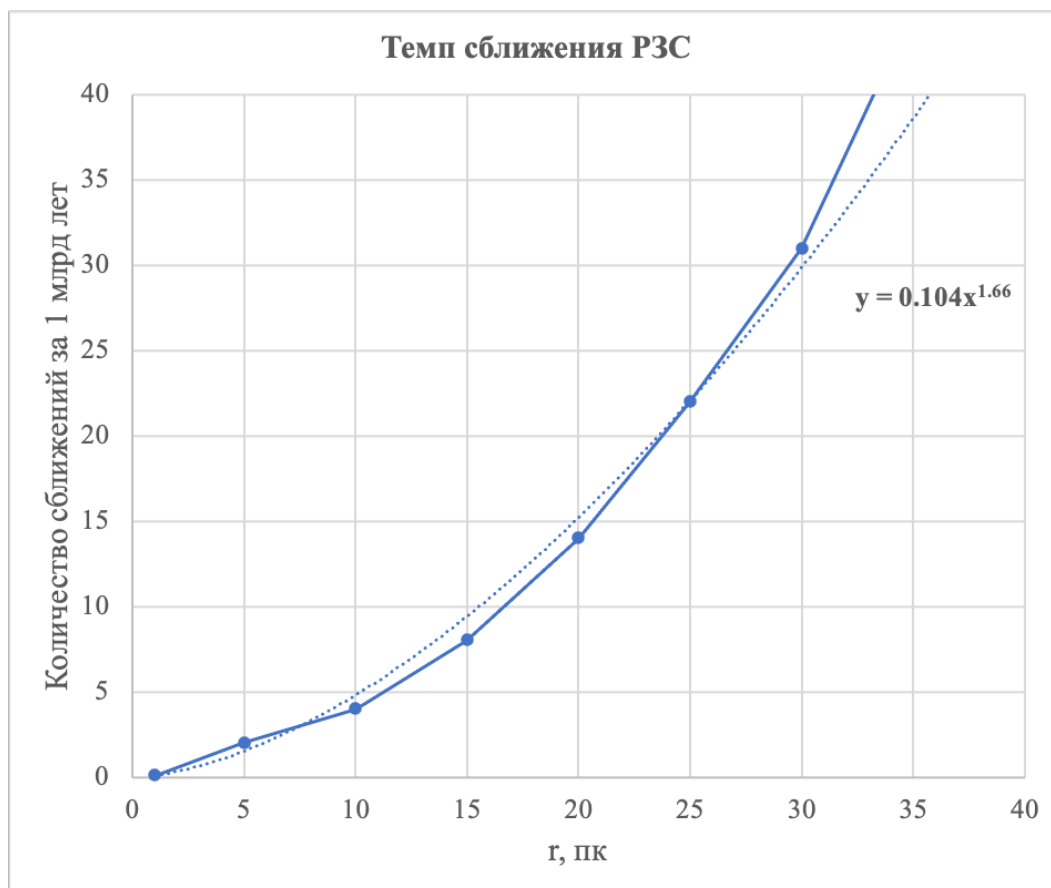


Рисунок 3.3 — Частота сближений РЗС с Солнечной системой в зависимости от расстояния сближения и соответствующая степенная кривая вида $y = 0.104x^{1.66}$

3.1.3 Расчеты сближений РЗС с Солнечной системой

В качестве продолжения работы мы более детально рассмотрели сближения РЗС, которые находятся на расстоянии менее 200 пк от Солнечной системы.

Предположительно, именно такие скопления могли проходить намного ближе к Солнечной системе и иметь гравитационное влияние на кометы облака Оорта.

Как показано в работе Рикмана [96], для оценки V_p может быть использована формула $V_p = \frac{2GM r_{comet}}{V d_{min}^2}$, где G – гравитационная постоянная, V – пространственная скорость объекта (здесь – РЗС) относительно Солнца, r_{comet} – расстояние между кометой и Солнцем. Поскольку мы рассматриваем кометы, расположенные вблизи внешней границы облака Оорта, $r_{comet} = 0.5$ пк.

В результате численных расчетов мы получили список d_{min} и t_{min} , а также максимальное приращение скорости V_p кометы, которые приведены в табл. 18, в колонках которой содержатся: номер по каталогу MWSC, название скопления или номер по другим каталогам, расстояние от Солнца d и возраст t скопления по каталогу MWSC, масса скопления по каталогу [111]. Интегрирование проведено с шагом по времени 10^4 лет, отсчитывая назад от современного значения $t_0 = 0$. На каждом шаге вычислено расстояние между РЗС и Солнцем, найдено минимальное из этих расстояний и момент времени, когда объекты сблизилась на это расстояние. Таким образом, на интервале времени от 0 до 5 миллионов лет назад были определены d_{min} и t_{min} для всех отобранных скоплений. Алгоритм, описание и результат моделирования размещен на [GitHub](#).

Рассчитанные значения d_{min} и соответствующее им t_{min} представлены на рис. 3.4. РЗС Feigelson 1 (MWSC – 1990) и Mamajek 1 (eta Cha Association) представляют собой звездные потоки, в связи с чем требуют отдельного рассмотрения.

Таблица 18 — Результаты моделирования сближений скоплений с Солнечной системой, где * - число звезд (N1sr2 из MWSC) в случае отсутствия данных о массе скопления.

MWSC	Название	Масса $M_{\odot}$	d пк	t млн лет	V_p с^{-1}	d_{min} пк	t_{min} млн лет
2020	Melotte 111	57.5	87.0	691.8	0.0326	87.0	0.0
544	Mamajek 3	40*	95.0	31.6	0.0028	72.3	-3.0
1535	Mamajek 1	40.0	112.0	9.8	0.0014	76.3	-2.4
278	Alessi 13	17.3	112.0	524.8	0.0007	91.5	-3.0
1990	Feigelson 1	26*	117.0	4.0	0.0009	99.9	-2.4
305	Melotte 22	282.1	130.0	141.3	0.0134	128.0	-0.8
1629	Platais 8	38.3	141.0	56.2	0.0012	88.7	-4.8
1841	IC 2602	141.8	151.0	221.3	0.0042	81.5	-4.8
1529	IC 2391	70.2	165.0	112.2	0.0010	144.0	-2.6
395	Platais 3	29.5	170.0	631.0	0.0007	156.5	-3.8
2650	Mamajek 2	17*	174.0	125.9	0.0001	174.0	0.0
274	Melotte 20	243.0	175.0	50.1	0.0243	175.0	0.0
1527	NGC 2632	284.3	187.0	831.8	0.0021	132.4	-2.8
1308	NGC 2451A	98.8	188.0	57.5	0.0010	135.0	-4.0
109	Platais 2	8.9	190.0	205.6	0.0002	174.4	-4.4
1639	Platais 9	55.6	200.0	123.0	0.0005	163.8	-3.6
	Melotte 25	435.0	47.0	625.0	0.1160	24.8	-0.9

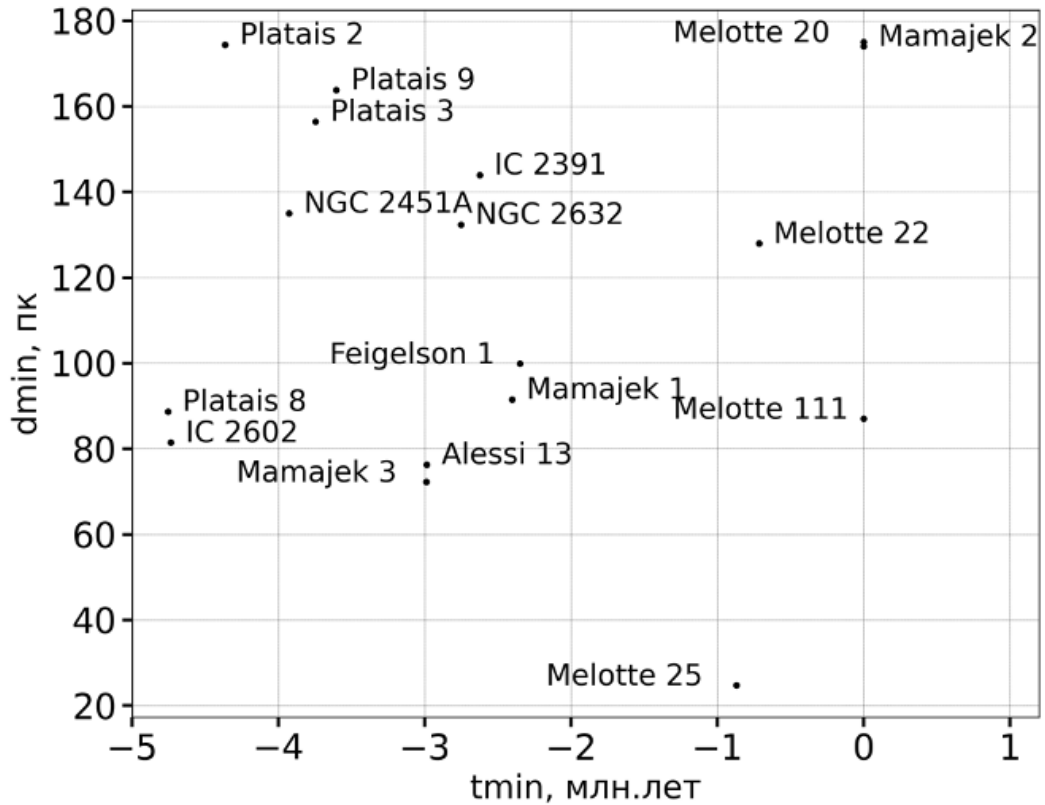


Рисунок 3.4 — Расчитанные нами максимально близкие прохождения РЗС около Солнца за последние 5 млн лет. Расстояния d_{min} , и соответствующие им t_{min} . Скопление IC 1396, параметры которого выходят за пределы диаграммы, не нанесено ($t_{min} = \sim 205.22$ млн лет, $d_{min} = 56.3$ пк).

Наиболее интересное сближение было у скопления Гиады. Событие произошло ~ 0.9 млн лет назад на расстояние 24.8 пк. Более подробно событие рассматривается в пункте 3.2.

Итак, рассчитаны моменты времени и минимальные расстояния прохождений более 100 рассеянных звездных скоплений около Солнечной системы на протяжении последних 5 млн лет. Показано, что минимальные расстояния сближения центров РЗС с Солнечной системой, как правило, превосходили 60 пк. Скопление Гиады сближалось с Солнечной системой на ~ 25 пк. Влияние таких сближений на движение комет во внешних областях облака Оорта сравнимо и даже может превышать эффект от сближений с отдельными звездами. Проведено сравнение положений на небе антиапексов скоплений и афелиев долгопериодических комет. Выявлены случаи их близких положений.

3.2 Сближение РЗС Гиады и Солнца в галактическом диске

3.2.1 Исходные данные

Для детального изучения сближения скопления Гиады и Солнечной системы мы рассмотрели движение центра скопления и звезд его шлейфов.

На рис. 3.5 показано движение скопления Гиады в гелиоцентрической системе координат. Стрелками показан вектор скорости скопления относительно Солнца в проекции на XY -плоскость. Соответствующее время отмечено вблизи векторов. Рассмотрено движение скопления на интервале между эпохами $t = -2$ млн лет и текущей эпохой ($t = 0$). Используются представленные ниже входные параметры, отобранные с учетом сравнения оценок различных авторов.

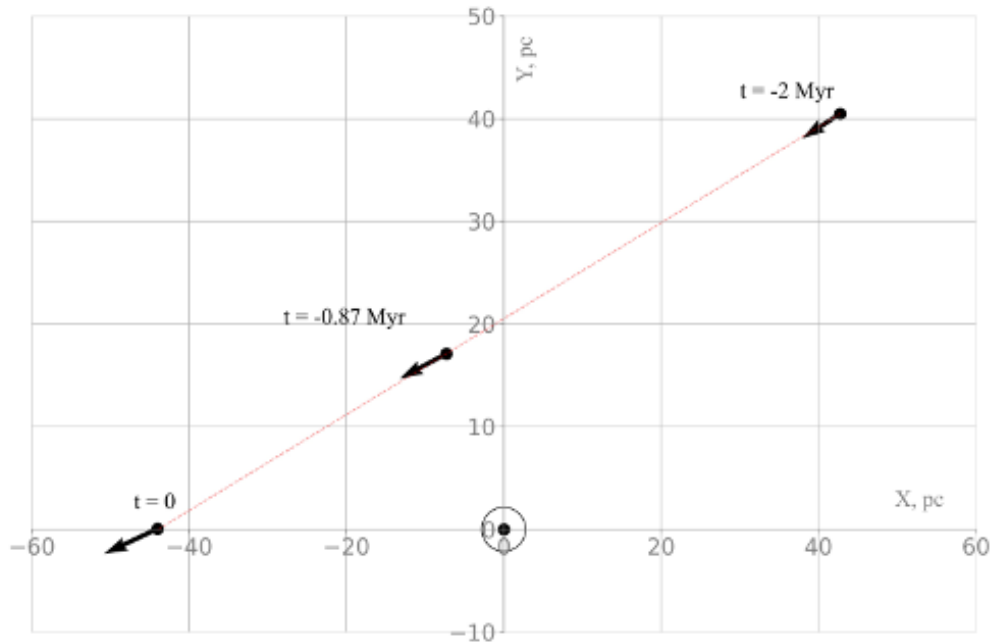


Рисунок 3.5 — Движение скопления Гиады в гелиоцентрической системе координат. Стрелки указывают векторы скорости относительно Солнца в проекции на XY -плоскость. Соответствующее время отмечается вблизи векторов. Показано движение скопления на интервале между эпохами $t = -2$ млн лет и текущей эпохой ($t = 0$).

Таблица 19 — Оценки компонент пространственной скорости скопления Гиады по данным разных источников.

Источник	U, км/с	V, км/с	W, км/с
Hipparcos 1			
[112]	-41.70 ± 0.16	-19.23 ± 0.11	-1.08 ± 0.11
Hipparcos 2			
[113]	-41.1 ± 0.9	-19.2 ± 0.2	-1.4 ± 0.4
Gaia DR1			
[114]	-41.92 ± 0.16	-19.35 ± 0.13	-1.11 ± 0.11

Таблица 20 — Оценки расстояния от Солнца скопления Гиады по данным разных авторов.

Источник	Расстояние, пк
134 stars, Hipparcos 2 [112]	46.34 ± 0.27
270 stars, Hipparcos [113]	46.45 ± 0.50
103 stars, Gaia DR1 [115]	46.75 ± 0.46

Таблица 21 — Координаты центра скопления в гелиоцентрической прямоугольной системе координат. В последней строке приведены координаты, полученные нами в процессе интегрирования. (r – расстояние звезды от центра скопления) [29].

Источник	X, пк	Y, пк	Z, пк
Vereshchagin, Chupina (2011) [116]	-43.08	0.33	-19.09
Roser et al. (2011) (preliminary) [117]	-42.23 ± 0.24	0.15 ± 0.06	-17.09 ± 0.10
Roser et al. (2011) ($r < 10$ pc) [117]	-43.08 ± 0.25	0.33 ± 0.06	-17.09 ± 0.11
Roser et al. (2011) ($r < 20$ pc)[117]	-43.37 ± 0.26	0.40 ± 0.09	-17.46 ± 0.13
Bovy (2015) ($t = 0$) [29]	-43.93	0	-17.94

Таблица 22 — Параметры скопления, использованные нами для инициализации интегрирования.

Параметр	Значение	Источник
μ_α , мсд/год	104.92 ± 0.12	Gaia DR2 [118]
μ_δ , мсд/год	-28.0 ± 0.09	Gaia DR2 [118]
α , град	66.72	UCAC4 [119]
δ , град	15.87	UCAC4 [119]
π , мсд	21.052 ± 0.065	Gaia DR2 [120]
RV , км/с	39.96 ± 0.06	Gaia DR2 [120]

3.2.2 Расчеты параметров сближения Гиад с Солнечной системой

Результаты для центра скопления

Согласно нашим расчетам, скопление Гиады максимально сближалось с Солнечной системой на расстояние $d_{min} = 24.8$ пк в момент времени $t_{min} = -0.87$ млн лет. Колебания орбиты в направлении Z незначительны (23). Исходные и полученные параметры скопления Гиады и Солнца в гелиоцентрической СК показаны в таблице 23.

Таблица 23 — Положения и скорости скопления Гиады и Солнца в гелиоцентрической системе координат.

Parameter	t = 0 млн лет		t = -0.87 млн лет	
	Солнце	Гиады	Солнце	Гиады
X, пк	0	-43.98	0	-7.26
Y, пк	0	0	0	17.11
Z, пк	20.8	-19.94	20.8	-16.37
U, км/с	0	-42.41	9	-42.34
V, км/с	0	-19.82	9	-19.81
W, км/с	0	-1.88	9	-1.96

Оценка влияния ошибок входных параметров

Для оценки ошибок в определении d_{min} мы применили статистический метод, учитывающий случайные ошибки разброса данных наблюдений с использо-

ванием имеющихся ошибок, приведенных в данных SIMBAD: $\mu_\alpha = 104.92 \pm 0.02$ мсд/год, $\mu_\delta = -28.0 \pm 0.09$ мсд/год, $RV = 39.96 \pm 0.06$ км/с и $\pi = 21.052 \pm 0.065$ мсд. С помощью генератора равномерно распределенных случайных чисел взято множество различных значений входных параметров для расчетов. Мы рассмотрели их распределение как независимое, хотя следует отметить, что ошибки параметров Gaia имеют взаимную корреляцию, которую мы не учитываем, а также не учитываем влияние пояса Гулда [121]. На рисунке 3.6 показано распределение значений d_{min} , полученных при добавлении случайной ошибки для каждого из вышеуказанных параметров. После 1000 итераций большая часть полученных данных лежит в диапазоне 24.7 – 24.9 пк, что означает, что влияние случайных ошибок составляет приблизительно 0.2 пк.

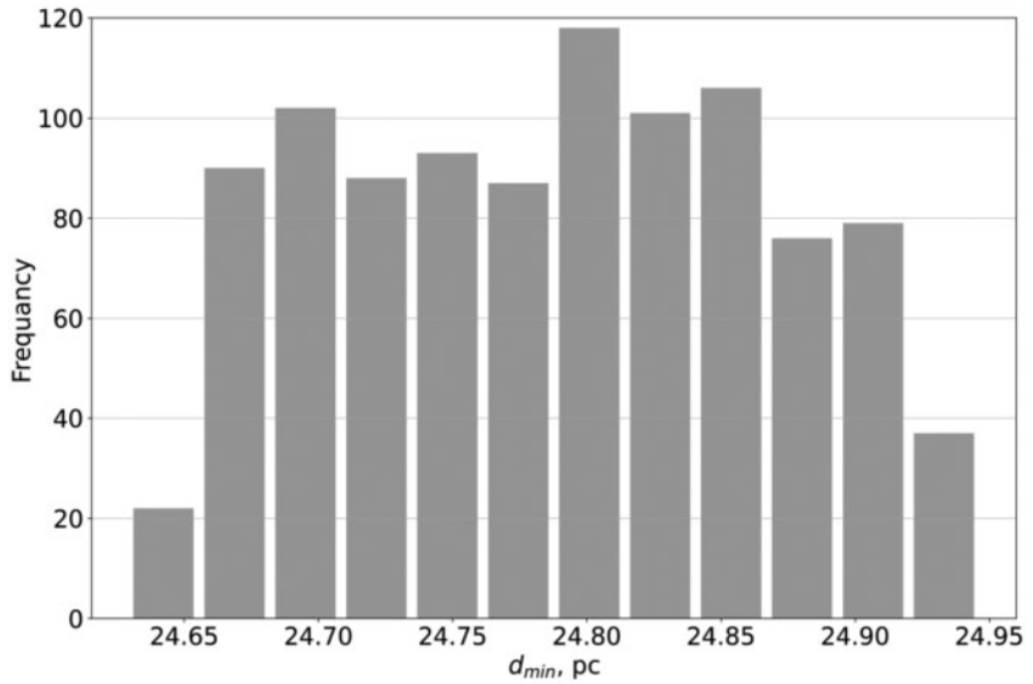


Рисунок 3.6 — Распределение d_{min} с погрешностями, добавленными к лучевой скорости, параллаксу и собственному движению скопления.

Сближение с Солнцем отдельных звезд скопления Гиады

По данным Gaia DR2 [87] скопление Гиады растянуто вдоль пространственной орбиты (см. [7; 8]). При такой протяженности (более 100 пк от центра скопления) звезды шлейфов скопления могут подходить к Солнечной системе гораздо ближе, чем ядро скопления. Логично предположить, что, если бы центр Гиад приблизился довольно близко к Солнечной системе, то звезды шлейфов, распределенные на сотни пк, могли приблизиться к Солнцу гораздо ближе. Это увеличивает вероятность прошлого близкого прохождения звезд Гиад вблизи

Солнечной системы. Тем самым мог возникнуть интегральный эффект. Мы применили метод расчета движения точечного объекта в гравитационном поле Галактики, описание которого приведено в подразделе 1.1. Для изучения этого процесса мы использовали данные о звездах Гиад из каталога [122]. Этот каталог содержит 1764 звезды, но только 283 звезды имеют доступные лучевые скорости. Мы обновили эти данные с помощью каталога Gaia EDR3 [65]. В результате мы выбрали 222 звезды с лучевой скоростью RV из Gaia DR2, параллаксом π , прямым восхождением, склонением и компонентами собственных движений из Gaia EDR3 (μ_α, μ_δ). На рисунке 3.7 показаны отобранные нами звёзды Гиад в плоскостях XY и XZ . Звезды центральной части расположены в радиусе 10 пк от центра скопления, остальные звезды относятся к шлейфам. В каталоге из работы [98] мы нашли 153 пересекающиеся с нашими данными звезды, но не среди самых близких прохождений.

На рис. 3.8 показано положение звезд скопления (включая звезды шлейфов) в галактической прямоугольной системе координат. Рис. 3.8 позволяет наглядно представить расположение Солнца и звезд Гиад. Перемещение Гиад на небе в течение последних 5 млн лет определено с помощью пересчета координат из прямоугольной системы в галактическую и представлено на рис. 3.8. Положения объекта при движении по участку круговой (для простоты) орбиты вокруг центра Галактики на расстоянии 8 кпк от ЦГ со скоростью, не превышающей 50 км/с относительно Солнца, с такой же скоростью за время $t = 5$ млн лет будут отличаться от прямолинейного движения несущественно.

Центр скопления подходил достаточно близко к Солнечной системе, логично предположить, что некоторые звезды шлейфов могли подходить еще ближе. Для изучения сближений звезд шлейфов мы использовали каталог [122]. Из 1764 звезд, ассоциированных авторами [122] со скоплением Гиады, для моделирования орбит звезд использовались 283 звезды, для которых известна лучевая скорость RV . Полученные результаты представлены на рис. 3.9. На рис. 3.9 отмечены звезды с самым малым d_{min} , такие как Gaia DR2 3328617079087341440 $d_{min} = 6.27 \pm 0.2$ пк в момент времени $t_{min} = -1.59 \pm 0.01$ млн лет. Всего выявлено 22 звезды, подходивших достаточно близко к Солнечной системе. Отметим, что среди звезд с самым близким прохождением не обнаружено совпадений с данными из работы [98], кроме вышеупомянутой звезды Gaia EDR3

Таблица 24 — Звезды Гиад (в том числе шлейфов), максимально сближавшиеся с Солнечной системой.

Gaia DR2	Масса $M_{\odot}$	RV км/с	d_{min} пк	t_{min} млн лет	V_p км/с
3326367237777804544	0.77	51.09	2.11	-1.49	0.0167
3131255252997637632	0.59	60.07	4.04	-1.10	0.0029
3328617079087341440	0.76	47.12	6.33	-1.61	0.0019
3315967541404032896	1.37	58.90	8.91	-1.25	0.0014
3161147542481872384	0.62	42.96	9.72	-1.55	0.0007

33328617079087341440 (*TYC* 730 – 191 – 1). Полный авторский каталог сближений звезд Гиад по данным Gaia EDR3 представлен в приложении Б.1.

Для оценки ошибок вычислений использовался каталог [8]. В результате было установлено, что ошибки могут изменить вычисляемые значения, в основном, долготы l , что мало изменит результаты при определении величины d_{min} . Список самых примечательных сближений и рассчитанные нами возмущения скорости приведены в табл. 25, где даны масса звезды, лучевая скорость RV , d_{min} , t_{min} и величина V_p .

Рассеянное звездное скопление Гиады миллион лет назад было в два раза ближе к Солнцу, чем сейчас (рис. 3.5), а отдельные звезды могли оказаться еще ближе к нашей планетной системе (рис. 3.9).

Таким образом, пространственный размер скопления должен быть достаточно большим, чтобы вызвать возмущения в Солнечной системе отдельными звездами Гиад, плотность которых на порядок выше плотности звезд поля. В таблице 25 приведены результаты расчетов параметров приближения отдельных звезд Гиад к Солнцу. Столбцы содержат идентификационный номер Gaia EDR3, минимальное расстояние до звезды, проходящей мимо Солнца, время сближения в прошлую эпоху, пространственную скорость и возмущение орбитальной скорости кометы. Таблица 25 содержит результаты аналитической оценки с использованием формулы 3.2 при предположении, что мы имеем дело со звездами солнечной массы. В таблице 25 показано, что возмущения орбитальной скорости комет, вызванные отдельными звездами, на два порядка ниже, чем эффект от скопления в целом.

Таблица 25 — Результаты расчетов параметров приближения отдельных звезд
Гиад к Солнцу.

ID	d_{min} пк	t_{min} млн лет	RV км/с	V_p м/с
3328617079087341440	6.272	-1.594	47.23	0.029
3315967541404032896	9.065	-1.253	59.30	0.016
3161147542481872384	9.714	-1.552	43.36	0.020
3336095678002851456	10.36	-1.091	47.37	0.017
3121107276069392000	14.34	-1.706	47.48	0.018
5152365363828101632	14.38	-0.234	51.82	0.012
3210444215030339584	14.53	-0.831	48.74	0.012
3220356793391858560	14.75	-0.917	46.28	0.013
3122263962301803904	14.83	-1.958	48.36	0.012
3024891594801681536	14.98	-1.626	46.78	0.012
3339344704798578944	16.00	-1.237	48.08	0.011
3391728565481255040	16.26	-0.819	47.11	0.011
3329919171435509120	16.58	-2.000	48.18	0.010
3406103958460672768	16.67	-0.695	54.10	0.010
3387381646261643776	17.07	-1.117	46.42	0.011

$$\delta V_p = \frac{2GM_{cluster}R_{Oort}}{V_{cluster}d_{min}^2} \quad (3.2)$$

Определение δV_p

Чтобы определить V_p для Гиад, мы взяли его массу, равную $435M_{\odot}$ [117], и увеличили ее в 1,15 раза [125], предполагая, что существуют 20% компаньонов двойных звезд. Таким образом, изменение скорости малых тел под влиянием гравитационного возмущения оказалось 0.116 м/с. Это довольно значительная величина. При таком воздействии орбита кометы, находящейся в афелии, изменится существенно. Напомним, что скорость кометы, движущейся по орбите с перигелийным расстоянием 5 а.е. и находящейся в афелии на расстоянии 10^5 а.е. составляет 1.63 м/с. Возмущения от звезд в целом будут невелики, за исключением звезды GDR2 3326367237777804544, возмущение скорости при прохождении которой будет лишь в несколько раз меньше, чем для скопления в целом.

3.2.3 Эффекты сближения звезд Гиад с Солнечной системой

Предположение об огромных пространственных размерах Гиад было выдвинуто в 1932 году [126]. Как уже упоминалось, Гиады включают приливные звездные шлейфы, которые были обнаружены независимо [7; 8], согласно данным Gaia DR2. Таким образом, пространственные размеры скопления огромны (более 100 пк от центра скопления), и в прошлом звезды Гиад могли влиять на Солнечную систему, если учесть, что плотность звезд скоплений на порядок выше плотности звезд поля. Приливные шлейфы Гиад достигают 800 пк длиной, если они не были разрушены за последние 650 млн лет из-за проходов вблизи ГМО, спиральных рукавов, ударных волн и других событий [7]. Мы показали, что звезды шлейфов приближались к Солнцу гораздо ближе, чем звезды центральной части Гиад. Поэтому эффект, производимый близкими проходящими отдельными звездами, сопоставим с влиянием центра скопления. Таким образом, влияние прохода Гиад может быть сильнее за счет кумулятивного эффекта.

Итак, скопления могут занимать большой объем, если они не были разрушены из-за проходов вблизи ГМО, спиральных рукавов, ударных волн и других событий [98]. Пусть D_0 — расстояние от звезды до кометы, с которого она может быть выброшена в межзвездное пространство [127; 128]. Ближе этого расстояния преобладает гравитационное притяжение звезды. Вблизи D_0 гравитационные силы, действующие на комету со стороны приближающегося объекта, начинают превышать гравитацию звезды. D_0 равно:

$$D_0 = d_{min} \left(1 - \frac{1}{1/(1 + \sqrt{1 + M_{cluster}})} \right) \quad (3.3)$$

где $M_{cluster}$ - масса пролетающего объекта (отдельная звезда или скопление в целом, в солнечных массах).

Отметим, что формула 3.3 является необходимым, но не достаточным условием эффекта влияния скопления на комету. Она получена из условия равенства гравитационных сил на комету со стороны Солнца и со стороны скопления. В области $d_{min} - D_0$ доминирует притяжение кометы скоплением, а в области строго меньше D_0 Солнцем. Это условие представляется равенством:

$$\frac{GM_{Comet}M_{Sun}}{D_0^2} = \frac{GM_{Comet}M_{cluster}}{(d_{min} - D_0)^2} \quad (3.4)$$

Если массу скопления выразить в массах Солнца и сократить M_{comet} и G в правой и левой части ур. 3.4, то ур. 3.4 преобразуется к виду:

$$\frac{1}{D_0^2} = \frac{M_{cluster}}{(d_{min} - D_0)^2} \quad (3.5)$$

Уравнение 3.5 легко преобразуется в уравнение 3.3.

На рисунке 3.10 показано, как d_{min} влияет на зависимость D_0 от массы $cluster$ приближающегося объекта. Только при значении $D_0 < R_{Oort}$ комета может покинуть облако Оорта. Как видно из рисунка 3.9, наблюдаемый шлейф скопления (на рисунке 3.10 область, обозначенная как "tail stars") может не оказывать достаточного влияния на кометы, так же как и центральная часть скопления, даже при варьировании положения скопления или его массы (на рисунке 3.10 область, обозначенная как "Hyades cluster"). Однако, наши оценки преуменьшают роль Гиад, поскольку обработка данных Gaia дает новые результаты, постепенно увеличивая список звезд скопления Гиады и его хвостов, их

размер недооценен и постоянно увеличивается; например, наблюдения в рентгене позволяют включить в список до 1000 звезд [129; 130]; структура скопления постоянно претерпевает уточнения [9], что может привести к переоценке длительности влияния близкого прохождения скопления Гиады близ Солнечной системы.

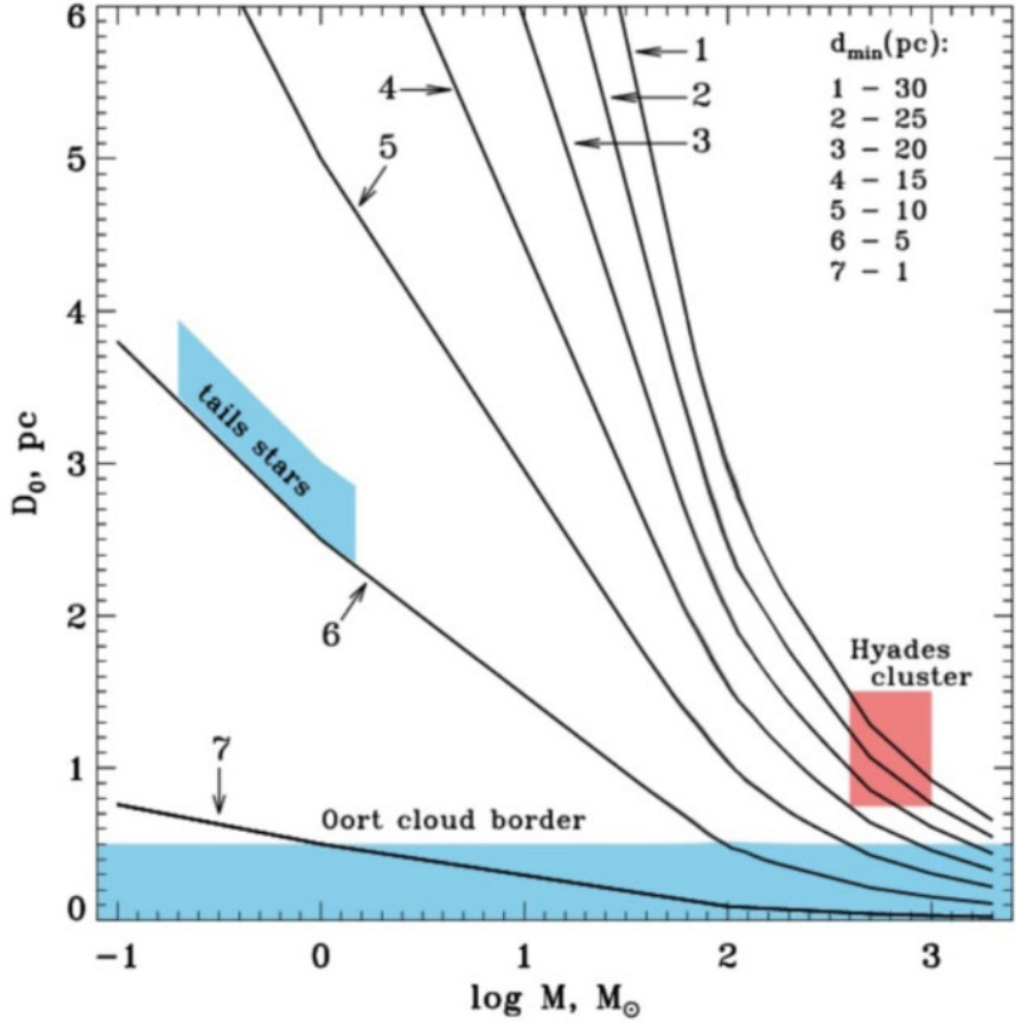


Рисунок 3.10 — Оценка эффектов сближения РЗС Гиады с Солнечной системой. Зависимость D_0 от $M_{Cluster}$ согласно формуле 3.3 для разных значений d_{min} (подписано на рисунке). Область облака Оорта $R_{Oort} \sim 0.5$ пк показана внизу (область внизу рисунка окрашена в синий цвет). Отмечен гравитационный эффект скопления Гиад: центр (прямоугольная область окрашена в красный цвет с надписью «Hyades cluster») и звезды шлейфов (область окрашена в синий цвет с надписью «tails stars»).

Дополнительно оценим эффект воздействия всех звезд скопления, представленных на рис. 3.9, на малое тело Солнечной системы. Для этого обратимся

к работе [96], в которой получена формула приращения трансверсальной скорости малого тела (кометы) δV_p на интервале времени от $-T$ до T . Использован закон сохранения импульса, предположение об изотропии пространства. Рассматривается задача трех тел, в которой одна из масс (кометы) пренебрежимо мала по сравнению с массами других тел – Солнца и РЗС.

1. Радиус-вектор положения кометы относительно Солнца не меняется $\vec{r}_{comet} = const$.
2. Интервал времени возмущения кометы (от $-T$ до T) вследствие сближения с Гиадами имеет центр $t_{min} = 0$.
3. Вектор скорости Гиад $\vec{V}_{Hyades}$ не меняется, что справедливо при “далеком” прохождении РЗС.

Опуская некоторые преобразования, сделанные в [96], формула для приращения скорости малого тела (кометы) при прохождении Гиад на d_{min} :

$$\delta V_p = GM_{Hyades} \int_{-T}^T \frac{\vec{r}_{Hyades} - \vec{r}_{comet}}{|r_{Hyades} - r_{comet}|^3} dt = \frac{2Gr_{comet}}{V_{Hyades}} \frac{M_{Hyades}}{d_{min}^2} \quad (3.6)$$

Здесь постоянная гравитации $G = 4.3 \times 10^{-3}$ пк $M_\odot^{-1}$ (км/с)², $M_{Hyades} = 435M_\odot$, $d_{Hyades} = 21$ пк, $V_{Hyades} \sim 20$ км/с, $r_{comet} = 0.5$ пк. Получено для ядра Гиад $\frac{2Gr_{comet}}{V_{Hyades}} \approx 0.0043/20 = 0.000215$, $\frac{M_{Hyades}}{d_{Hyades}^2} \approx 1$, $\delta V_p \approx 0.000215$ км/с. Для сравнения, если к Солнечной системе приблизится звезда на $d_{min} \approx 0.5$ пк, то δV_p составит 0.1 км/с [98].

Понятно, что δV_p непрерывно менялась в процессе сближения. Мы выбрали момент максимального сближения $t_{min} \approx -1$ млн лет. При этом у нас нет простой возможности учесть изменение элементов орбиты, а значит и положения в пространстве малого тела. Отметим, что скорость малого тела в афелии составляет ≈ 0.1 км/с ≈ 0.1 пк/млн лет. Перемещение малого тела может составить 0.1 пк/млн лет $\times 0.5$ млн лет = 0.05 пк на интервале прохождения самых близких звезд и ядра, равном $dt = 0.5$ млн лет. Такое расстояние будем считать предельным для возможности считать малое тело "неподвижным".

Для оценки влияния звезд допустим, что у нас всего 5 звезд с массами $m_i = 1M_\odot$, расположенными на $d_i = 15$ пк. Их влияние для первого шага можно считать достаточным для оценки влияния всех звезд вне ядра на рис. 3.9.

Радиус ядра мы взяли приблизительно равным приливному радиусу Гиад (≈ 9 пк согласно оценке в работе [117]).

Момент импульса является аддитивной величиной. Это означает, что момент импульса системы равен сумме моментов импульсов её отдельных звезд, независимо от того, взаимодействуют они между собой или нет. В таком случае суммарно приращения от звезд и ядра вместе составит:

$$dV_p = \frac{2Gr_{\text{comet}}}{V_{\text{Hyades}}} \left[\frac{M_{\text{Hyades}}}{d_{\text{Hyades}}^2} + \sum_{i=1}^5 \frac{m_i}{d_i^2} \right] \quad (3.7)$$

Получено для звезд: $\frac{m_i}{d_i^2} = 0.0044$. Вклад одной звезды $dV_p = 0.1 \cdot 10^{-6}$ км/с, вклад в приращение скорости от пяти звезд $0.5 \cdot 10^{-6}$ км/с.

Таким образом, главный вклад в δV_p дает ядро Гиад, $\delta V_p \approx 0.000215$ км/с. Вклад звезд несопоставим с вкладом ядра, составляя меньше 1%. Отметим, что δV_p может быть разнонаправленным со скоростью малого тела. В этом случае малое тело может приблизиться к Солнцу и стать в будущем новой кометой. Наши расчеты [13] показали, что в этом случае перигелий может измениться от $q = 3$ а.е. до 2.6 а.е (см. рис. 3.11). В случае сонаправленных скоростей малое тело может увеличить расстояние от Солнца и даже покинуть Солнечную систему. Хотя, учитывая величину второй космической скорости 0.133 км/с, указанный эффект маловероятен.

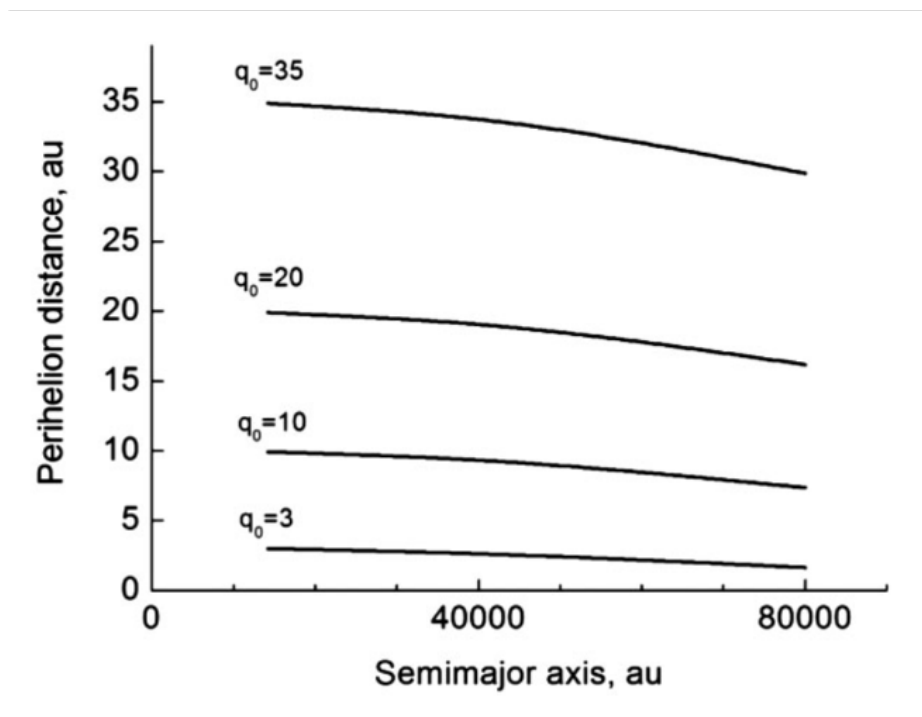


Рисунок 3.11 — Значения перигелийного расстояния q после одного обращения комет вокруг Солнца для орбит с различными начальными расстояниями q и большими полуосями a . В рассматриваемом сценарии в момент сближения с Гиадами кометы находятся в афелии. Видно, что смещение перигелия незначительно для $a = 14210$ а.е., но для $a = 40000$ а.е. перигелий мог измениться с 3 а.е. до 2.6 а.е. или с 35 а.е. до 34 а.е., а для более удалённых орбит еще больше. Вычисления выполнены с помощью симплектического интегратора [131].

На рис. 3.12 показано движение Гиад на небесной сфере за последние 5 млн лет. Определено положение скопления при движении по участку круговой (для простоты) орбиты вокруг центра Галактики (ЦГ) на расстоянии 8 кпк от ЦГ со скоростью не более 50 км/с относительно Солнца. Заметны близкие положения Гиад с положениями афелиев комет. РЗС в эти моменты могло повлиять на изменение элементов указанных комет. Список последних приводится в нашей публикации.

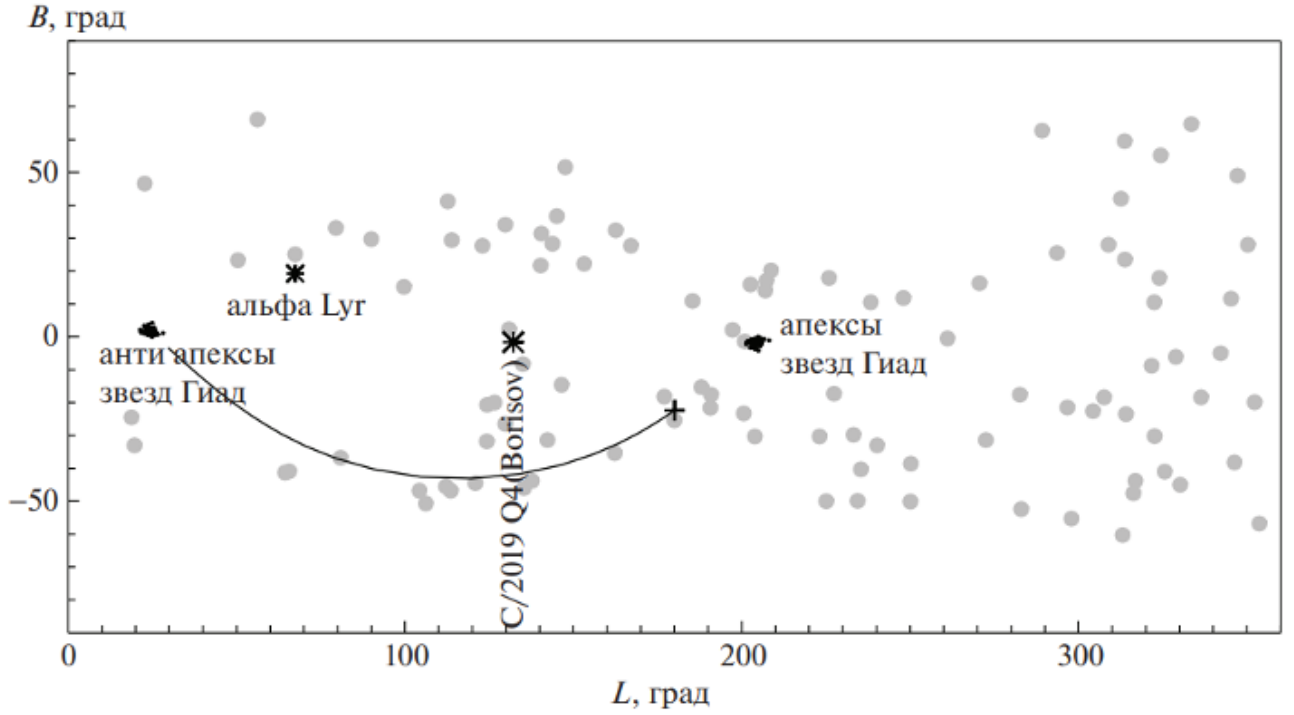


Рисунок 3.12 — Диаграмма антиапексов. Дуга от апекса к антиапексу (отмечена) Гиад показывает траекторию движения центра скопления за последние 5 млн лет. Серыми точками обозначены положения афелиев комет из списка [44]

3.3 Вывод

В данной главе представлены результаты расчетов движения Гиад в гравитационном поле Галактики в недавнем прошлом, используя данные каталогов космического телескопа Gaia. Решена упрощенная задача, скопление рассматривалось как объект точечной массы с целью понять, могло ли оно сближаться с Солнцем в прошлом. РЗС Гиады, как показало сравнение его перемещения на небесной сфере, могло послужить триггером появления долгопериодических комет и межзвездных объектов. Подобное сближение могло способствовать миграции комет из внешней части Солнечной системы к орбите Нептуна.

Наши расчеты показали, что примерно один миллион лет назад Гиады действительно приближались к Солнцу, при этом расстояние между нашим светилом и центром скопления составляло $\sim 24 \pm 0.15$ пк, $t_{min} = -0.87 \pm 0.015$ млн лет, а звезды с периферии скопления или из шлейфов могли пролетать на

расстоянии ~ 5 пк от Солнца. Этот эффект следует учитывать в расчетах кинематики Гиад и Солнца с целью изучения эволюции внешних частей Солнечной системы.

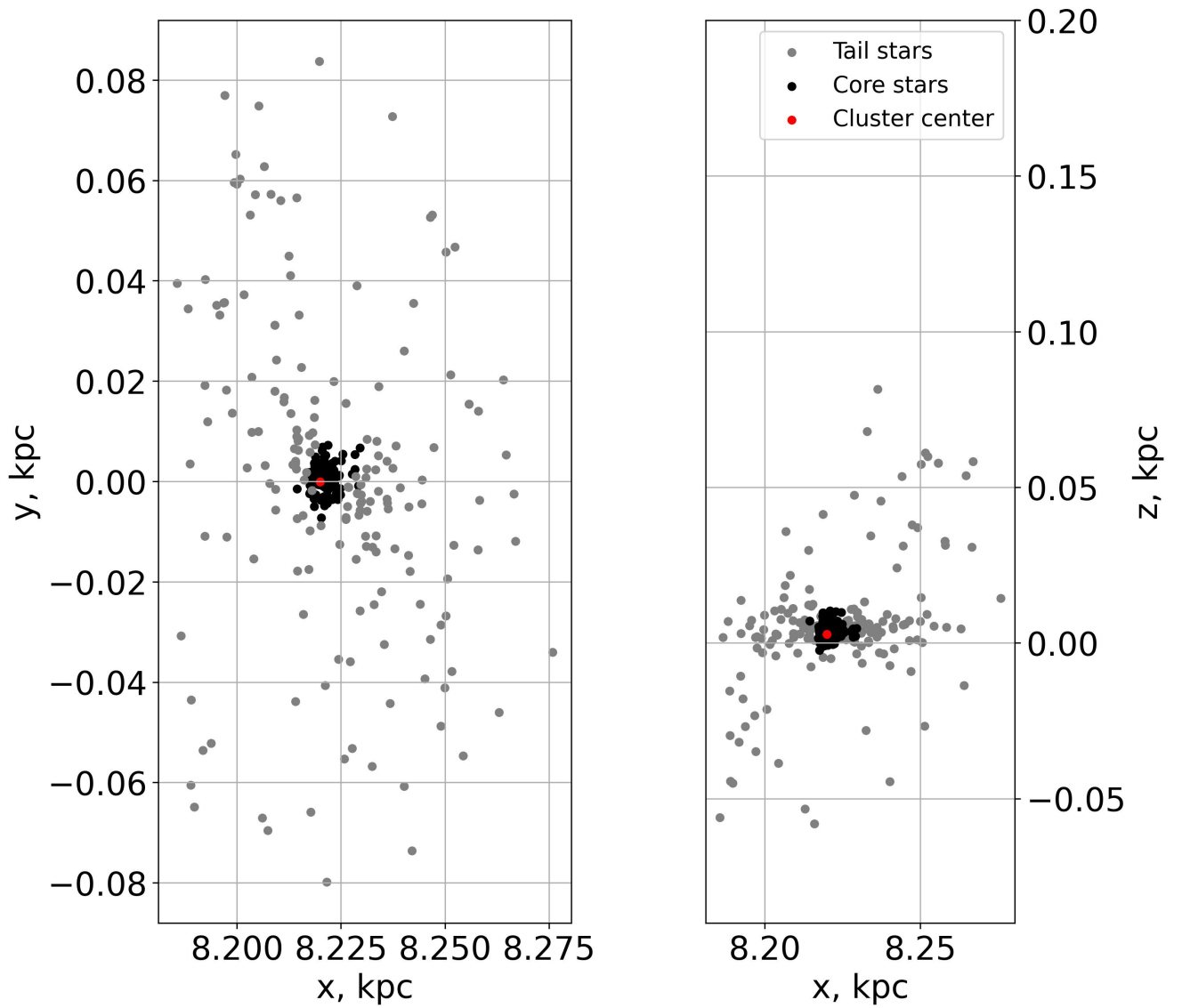


Рисунок 3.7 — Звезды Гиад в плоскости XY и XZ в текущую эпоху. Черными точками показаны звезды центральной части скопления, находящиеся на расстоянии до 10 пк от центра (красная точка). Серыми точками показаны звезды шлейфов.

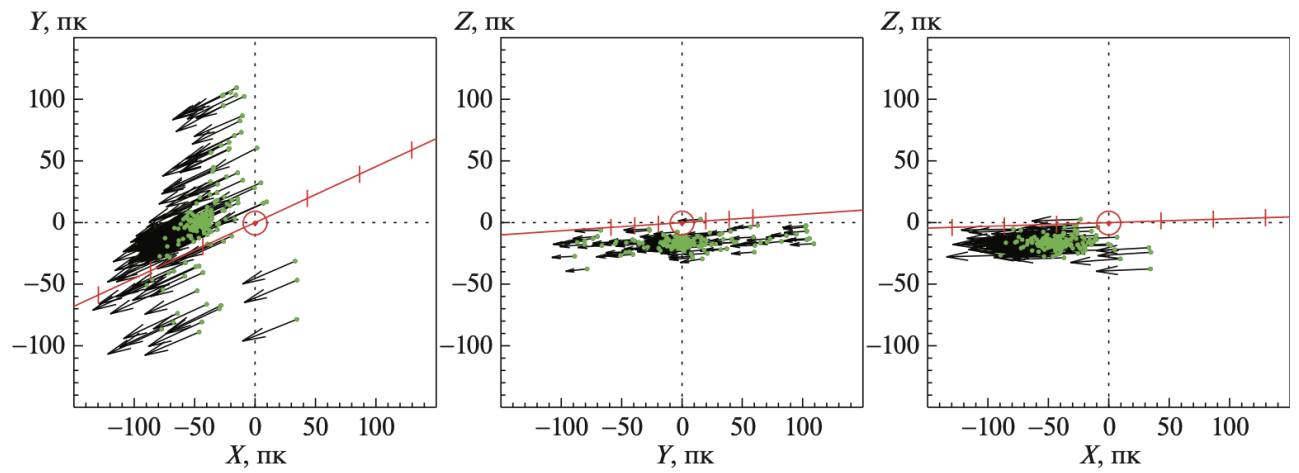


Рисунок 3.8 — Положения звезд — членов Гиад в галактической системе координат по данным [123]. Зелеными точками показаны звезды Гиад, стрелками — проекции векторов их пространственной скорости. Красная линия — положения Солнца относительно скопления Гиады в разные моменты времени. Штрихами отмечены промежутки в 1 млн лет.

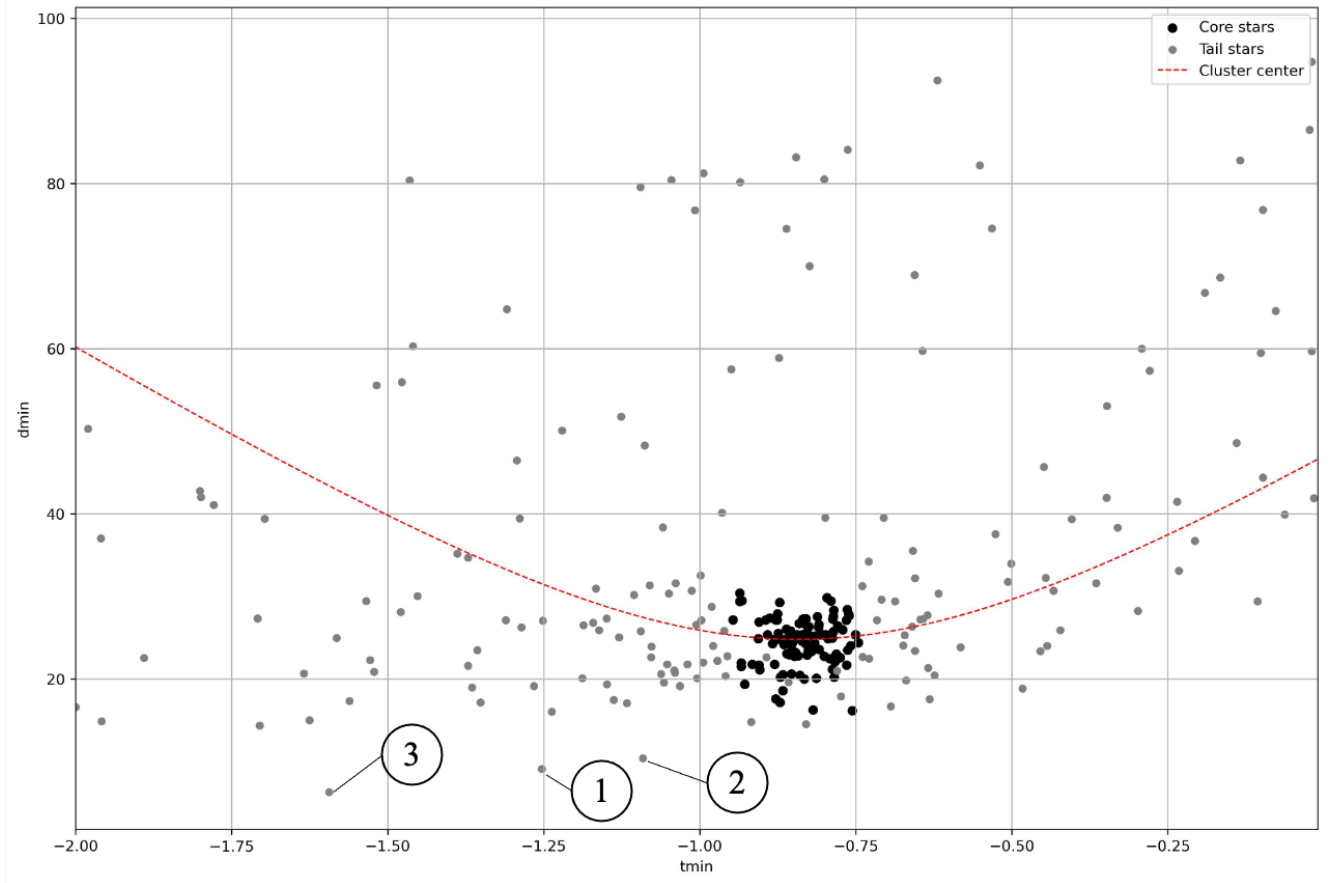


Рисунок 3.9 — Сближения звезд скопления Гиады с Солнечной системой (начальные данные о звездах взяты из каталога [122]). Красной линией показано движение центра скопления, орбита которого рассчитана по данным для Гиад по данным SIMBAD [124]. Черные точки показывают звезды центра скопления ($r < 10$ пк), серые - звезды шлейфов. Отмечены звезды с самым малым значением d_{min} : 1) Gaia DR2 332636723777804544 $d_{min} = 2.11$ пк, 2) Gaia DR2 3131255252997637632 $d_{min} = 4.04$ пк и 3) Gaia DR2 3328617079087341440 $d_{min} = 6.33$ пк.

Заключение

Основные результаты работы заключаются в следующем.

В данной диссертационной работе проведено комплексное исследование кинематики и динамики рассеянных звездных скоплений (РЗС) NGC 2158, King 11 и Гиады, а также их взаимодействия с Солнечной системой. Основное внимание уделено изучению орбитальных параметров скоплений, их места рождения в галактическом диске, а также влиянию сближений РЗС с Солнечной системой на динамику малых тел во внешних частях Солнечной системы, в частности, на облако Оорта. В работе использованы данные космического аппарата *Gaia*, что позволило получить высокоточные астрометрические и фотометрические данные для анализа.

Основные результаты работы:

1. Уточнены параметры скоплений NGC 2158 и King 11:

- Для скопления NGC 2158 получены следующие параметры: возраст $\log(t) = 9.38 \pm 0.04$ (t в млрд лет), металличность $Z = 0.004$, расстояние от Солнца 4.69 ± 0.22 кпк. Скопление относится к старому диску Галактики.
- Для скопления King 11 определены: возраст 3.63 ± 0.42 млрд лет, содержание тяжелых элементов $Z = 0.011$, расстояние от Солнца 3.33 ± 0.15 кпк.
- Определены орбитальные параметры скоплений, включая апоцентр, перицентр, эксцентриситет и максимальное отклонение от галактической плоскости. Для NGC 2158 апоцентр составляет 12.8 ± 0.03 кпк, перицентр 11.1 ± 0.05 кпк, эксцентриситет 0.07 ± 0.003 . Для King 11 апоцентр 13.80 ± 0.49 кпк, перицентр 10.10 ± 0.01 кпк, эксцентриситет 0.15 ± 0.02 .

2. Сближения РЗС с Солнечной системой:

- Проведен анализ сближений РЗС с Солнечной системой за последние 5 млн лет. Для скопления Гиады (Melotte 25) установлено, что оно сближалось с Солнечной системой на расстояние 24.8 ± 0.15 пк приблизительно 0.87 млн лет назад. Отдельные

звезды скопления могли приближаться к Солнцу на расстояние до 2.11 пк.

- Рассчитаны возмущения орбит комет облака Оорта под влиянием гравитационного воздействия скоплений. Для Гиад максимальное приращение скорости комет составило 0.116 м/с, что может привести к значительным изменениям орбит комет, находящихся в афелии.

3. Влияние сближений на внешние части облака Оорта:

- Показано, что сближения РЗС с Солнечной системой могут оказывать влияние на динамику комет облака Оорта. В частности, сближение Гиад могло привести к миграции комет из внешних областей Солнечной системы к орбите Нептуна.
- Обнаружено, что положения антиапексов скоплений и афелиев долгопериодических комет могут совпадать, что указывает на возможное влияние скоплений на появление новых комет.

Практическая значимость:

- Полученные результаты могут быть использованы для уточнения моделей галактической эволюции и динамики звездных скоплений.
- Результаты работы могут быть применены для прогнозирования влияния сближений с РЗС на динамику малых тел Солнечной системы, что важно для понимания процессов формирования и эволюции облака Оорта, появления наблюдаемых комет.

Перспективы дальнейших исследований:

- **Изучение кинематики РЗС:** Современные исследования кинематики рассеянных звездных скоплений активно развиваются благодаря данным космического аппарата *Gaia* [3]. Эти данные позволяют уточнить орбитальные параметры скоплений, их возраст, металличность и динамическую эволюцию. В частности, работы [44; 132] демонстрируют, как точные измерения собственных движений и параллаксов звезд в скоплениях помогают понять их происхождение и миграцию в галактическом диске. Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение влияния галактических приливных сил и взаимодействий с другими структурами, такими как спиральные рукава и гигантские молекулярные облака, на эволюцию РЗС [133]. Мы искали сближение в простран-

стве между звездным скоплением и внесолнечной планетной системой в прошлые эпохи. Нашли родительскую звезду TOI-2796 - кандидата на такое сближение для скопления NGC 1977, оценили параметры этого сближения [22].

- **Изучение межзвездных объектов:** Открытие межзвездных объектов, таких как астероид 1I/Оумуамуа [134] и комета 2I/Борисова [135], стимулировало интерес к изучению их происхождения и динамики. Современные исследования показывают, что такие объекты могут быть связаны с выбросами в результате их сближений с массивными объектами, такими как звездные скопления [136]. Дальнейшие наблюдения с помощью телескопов нового поколения, таких как *LSSST* (Large Synoptic Survey Telescope) [137], позволят обнаружить больше межзвездных объектов и изучить их свойства, что может пролить свет на процессы формирования планетных систем в других звездных системах.
- **Изучение сближений различных космических объектов:** Влияние сближений звезд и скоплений с Солнечной системой на динамику облака Оорта остается важной темой исследований. Работы [138], [87] показывают, что такие сближения могут вызывать возмущения в орбитах комет и способствовать их миграции во внутренние области Солнечной системы. Современные методы моделирования, основанные на данных *Gaia*, позволяют более точно оценить частоту и последствия таких событий [139]. Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение кумулятивного эффекта от сближений с несколькими объектами, а также на анализ влияния галактических приливных сил на облако Оорта [140].

В заключение можно отметить, что проведенное исследование вносит определенный вклад в понимание динамики звездных скоплений и их взаимодействия с Солнечной системой. Полученные результаты открывают новые перспективы для дальнейших исследований в области галактической астрономии и динамики малых тел Солнечной системы.

Благодарности: хочется выразить огромную благодарность своему научному руководителю за ценные замечания, помощь и поддержку. Также хочется поблагодарить Шустова Бориса Михайловича, Малкова Олега Юрьевича, Баркова Максима Владимировича, Пискунова Анатолия Эдуардовича, Самуся

Николая Николаевича, Емельяненко Вячеслава Васильевича, Тутукова Александра Васильевича, Чупину Наталию Викторовну и Постникову Екатерину Сергеевну за обсуждения и ценные советы.

Список литературы

1. *Hunt E. L., Reffert S.* Improving the open cluster census. II. An all-sky cluster catalogue with Gaia DR3 // *Astronomy Astrophysics*. — 2023. — Май. — Т. 673. — A114. — DOI: [10.1051/0004-6361/202346285](https://doi.org/10.1051/0004-6361/202346285). — arXiv: [2303.13424](https://arxiv.org/abs/2303.13424) [[astro-ph.GA](#)].
2. *Campello R., Moulavi D., Sander J.* Density-Based Clustering Based on Hierarchical Density Estimates //. Т. 7819. — 04.2013. — С. 160—172. — ISBN 978-3-642-37455-5. — DOI: [10.1007/978-3-642-37456-2_14](https://doi.org/10.1007/978-3-642-37456-2_14).
3. *Gaia Collaboration, et al.* Gaia Early Data Release 3. Summary of the contents and survey properties // *Astronomy Astrophysics*. — 2021. — Май. — Т. 649. — A1. — DOI: [10.1051/0004-6361/202039657](https://doi.org/10.1051/0004-6361/202039657). — arXiv: [2012.01533](https://arxiv.org/abs/2012.01533) [[astro-ph.GA](#)].
4. *Kharchenko N. V., Piskunov A. E., et al.* Global survey of star clusters in the Milky Way. II. The catalogue of basic parameters // *Astronomy and Astrophysics*. — 2013. — Окт. — Т. 558. — A53. — DOI: [10.1051/0004-6361/201322302](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201322302). — arXiv: [1308.5822](https://arxiv.org/abs/1308.5822) [[astro-ph.GA](#)].
5. *Röser S., Schilbach E.* A census of the nearby Pisces-Eridanus stellar stream. Commonalities with and disparities from the Pleiades // *Astronomy Astrophysics*. — 2020. — Июнь. — Т. 638. — A9. — DOI: [10.1051/0004-6361/202037691](https://doi.org/10.1051/0004-6361/202037691). — arXiv: [2002.03610](https://arxiv.org/abs/2002.03610) [[astro-ph.SR](#)].
6. *Danilov V. M., Dorogavtseva L. V.* Timescales for mechanisms for the dynamical evolution of open star clusters // *Astronomy Reports*. — 2008. — Июнь. — Т. 52, № 6. — С. 467—478. — DOI: [10.1134/S1063772908060048](https://doi.org/10.1134/S1063772908060048).
7. *Röser S., Schilbach E., Goldman B.* Hyades tidal tails revealed by Gaia DR2 // *Astronomy Astrophysics*. — 2019. — ЯНВ. — Т. 621. — C. L2. — DOI: [10.1051/0004-6361/201834608](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201834608). — arXiv: [1811.03845](https://arxiv.org/abs/1811.03845) [[astro-ph.SR](#)].
8. *Meingast S., Alves J.* VizieR Online Data Catalog: Hyades tidal tails with Gaia DR2 (Meingast+, 2019) // *VizieR Online Data Catalog*. — 2019. — ЯНВ. — J/A+A/621/L3.

9. *Jerabkova T., Boffin H. M. J., et al.* The 800 pc long tidal tails of the Hyades star cluster. Possible discovery of candidate epicyclic overdensities from an open star cluster // *Astronomy and Astrophysics*. — 2021. — Март. — Т. 647. — A137. — DOI: [10.1051/0004-6361/202039949](https://doi.org/10.1051/0004-6361/202039949). — arXiv: [2103.12080](https://arxiv.org/abs/2103.12080) [[astro-ph.GA](#)].
10. *Sizova M. D., et al.* Solar System Encounters with Open Star Clusters // *Astronomy Reports*. — 2020. — Август. — Vol. 64, no. 8. — P. 711–721. — DOI: [10.1134/S106377292009005X](https://doi.org/10.1134/S106377292009005X).
11. *Sariya D. P., et al.* A Gaia-based Photometric and Kinematic Analysis of the Old Open Cluster King 11 // *The Astronomical Journal*. — 2021. — Октябрь. — Т. 162, № 4. — С. 146. — DOI: [10.3847/1538-3881/ac09e7](https://doi.org/10.3847/1538-3881/ac09e7). — arXiv: [2106.04783](https://arxiv.org/abs/2106.04783) [[astro-ph.GA](#)].
12. *Sariya D. P., et al.* A Comprehensive Analysis of NGC 2158 in the Gaia Era: Photometric Parameters, Apex, and Orbit // *The Astronomical Journal*. — 2021. — Март. — Vol. 161, no. 3. — P. 101. — DOI: [10.3847/1538-3881/abd31d](https://doi.org/10.3847/1538-3881/abd31d). — arXiv: [2012.06342](https://arxiv.org/abs/2012.06342) [[astro-ph.GA](#)].
13. *Vereshchagin S. V., Emel'yanenko V. V., Sizova M. D.* Approach of the Hyades star cluster to the Solar system // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 2022. — Июнь. — Т. 513, № 2. — С. 2958–2964. — DOI: [10.1093/mnras/stac1024](https://doi.org/10.1093/mnras/stac1024).
14. *Vereshchagin S. V., Sizova M. D., Shustov B. M.* Binary and double star clusters // *INASAN Science Reports*. — 2020. — Апрель. — Т. 5. — С. 85–88. — DOI: [10.26087/INASAN.2020.5.3.001](https://doi.org/10.26087/INASAN.2020.5.3.001).
15. *Shustov B. M., Vereshchagin S. V., Sizova M. D.* On a stochastic method for evaluating the approach frequency of stars and Solar system // *INASAN Science Reports*. — 2020. — Апрель. — Т. 5. — С. 89–93. — DOI: [10.26087/INASAN.2020.5.3.002](https://doi.org/10.26087/INASAN.2020.5.3.002).
16. *Sizova M. D., Pavlyuchenkov Y. N., Naroenkov S. A.* Modeling of exocomet orbits in β Pictoris system // *INASAN Science Reports*. — 2019. — Октябрь. — Т. 4. — С. 179–183. — DOI: [10.26087/INASAN.2019.4.2.028](https://doi.org/10.26087/INASAN.2019.4.2.028).

17. *Puzin V. B., Sizova M. D.* Spectral observations of stars with exocomet activity // INASAN Science Reports. — 2019. — Окт. — Т. 4. — С. 172—178. — DOI: [10.26087/INASAN.2019.4.2.027](https://doi.org/10.26087/INASAN.2019.4.2.027).
18. *Tutukov A. V., Sizova M. D., Vereshchagin S. V.* Time Evolution of a Cometary Spear of the Sun // Astronomy Reports. — 2021. — Анр. — Т. 65, № 4. — С. 305—311. — DOI: [10.1134/S1063772921040089](https://doi.org/10.1134/S1063772921040089).
19. *Tutukov A. V., Vereshchagin S. V., Sizova M. D.* Destruction of Galaxies as a Cause of the Appearance of Stellar Streams // Astronomy Reports. — 2021. — Нояб. — Т. 65, № 11. — С. 1085—1101. — DOI: [10.1134/S106377292111007X](https://doi.org/10.1134/S106377292111007X).
20. *Tutukov A. V., Sizova M. D., Vereshchagin S. V.* Evolution of Comets // Astronomy Reports. — 2021. — Сент. — Т. 65, № 9. — С. 884—896. — DOI: [10.1134/S1063772921090079](https://doi.org/10.1134/S1063772921090079).
21. *Tutukov A. V., Sizova M. D., Vereshchagin S. V.* Formation of Stellar Streams Due to the Decay of Star Clusters, OB Associations, and Galaxy Satellites // Astronomy Reports. — 2020. — Окт. — Т. 64, № 10. — С. 827—838. — DOI: [10.1134/S106377292010008X](https://doi.org/10.1134/S106377292010008X).
22. Approach of the NGC1977 Star Cluster to the TOI-2796 Host Star / H. Y. Wakjira [и др.] // Astronomy Reports. — 2024. — Окт. — Т. 68, № 10. — С. 967—977. — DOI: [10.1134/S1063772924700835](https://doi.org/10.1134/S1063772924700835). — arXiv: [2310.14193](https://arxiv.org/abs/2310.14193) [astro-ph.GA].
23. *Sizova M. D., Vereshchagin S. V., al et.* Star Clusters, Planets, Asteroids and Comets in the Light of Big Data // International Conference on Data Analytics and Management in Data Intensive Domains. — 2021. — URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3036/paper16.pdf>.
24. *Sizova M. D., Tutukov A. V., Vereshchagin S. V.* Stellar comet spear // Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso. — 2021. — Дек. — Т. 51, № 3. — С. 270—279. — DOI: [10.31577/caosp.2021.51.3.270](https://doi.org/10.31577/caosp.2021.51.3.270).
25. *Einasto J., Tenjes P., Traat P.* A Mass Distribution Model of the Andromeda Galaxy // Astronomicheskij Tsirkulyar. — 1979. — Февр. — Т. 1032. — С. 5—7.

26. *Kutuzov S. A., Osipkov L. P.* A two-component model of the gravitational field of the Galaxy // *Astronomicheskii Zhurnal*. — 1989. — Окт. — Т. 66. — С. 965—974.
27. *Just A., Piskunov A. E., et al.* Global survey of star clusters in the Milky Way. VII. Tidal parameters and mass function // *Astronomy Astrophysics*. — 2023. — Апр. — Т. 672. — A187. — DOI: [10.1051/0004-6361/202244723](https://doi.org/10.1051/0004-6361/202244723). — arXiv: [2302.10735](https://arxiv.org/abs/2302.10735) [[astro-ph.GA](#)].
28. *Miyamoto M., Nagai R.* Three-dimensional models for the distribution of mass in galaxies. // *Publications of the Astronomical Society of Japan*. — 1975. — Янв. — Т. 27. — С. 533—543.
29. *Bovy J.* galpy: A python Library for Galactic Dynamics // *The Astrophysical Journal Supplement Series*. — 2015. — Февр. — Т. 216, № 2. — С. 29. — DOI: [10.1088/0067-0049/216/2/29](https://doi.org/10.1088/0067-0049/216/2/29). — arXiv: [1412.3451](https://arxiv.org/abs/1412.3451) [[astro-ph.GA](#)].
30. *Navarro J. F., Frenk C. S., White S. D. M.* The Structure of Cold Dark Matter Halos // *The Astrophysical Journal*. — 1996. — Май. — Т. 462. — С. 563. — DOI: [10.1086/177173](https://doi.org/10.1086/177173). — arXiv: [astro-ph/9508025](https://arxiv.org/abs/astro-ph/9508025) [[astro-ph](#)].
31. *Carraro G., Girardi L., Marigo P.* The intermediate-age open cluster NGC 2158 // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 2002. — Май. — Т. 332, № 3. — С. 705—713. — DOI: [10.1046/j.1365-8711.2002.05326.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-8711.2002.05326.x). — arXiv: [astro-ph/0202018](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0202018) [[astro-ph](#)].
32. *Gravity Collaboration, et al.* A geometric distance measurement to the Galactic center black hole with 0.3% uncertainty // *Astronomy and Astrophysics*. — 2019. — Май. — Т. 625. — С. L10. — DOI: [10.1051/0004-6361/201935656](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201935656). — arXiv: [1904.05721](https://arxiv.org/abs/1904.05721) [[astro-ph.GA](#)].
33. *Malkin Z. M.* Analysis of determinations of the distance between the sun and the galactic center // *Astronomy Reports*. — 2013. — Февр. — Т. 57, № 2. — С. 128—133. — DOI: [10.1134/S1063772913020078](https://doi.org/10.1134/S1063772913020078). — arXiv: [1301.7011](https://arxiv.org/abs/1301.7011) [[astro-ph.GA](#)].
34. *Dormand J. R., Prince P. J.* A family of embedded Runge-Kutta formulae // *Journal of Computational and Applied Mathematics*. — 1980. — DOI: [10.1016/0771-050X\(80\)90013-3](https://doi.org/10.1016/0771-050X(80)90013-3).

35. *Fritz T. K., Battaglia G., et al.* Gaia DR2 proper motions of dwarf galaxies within 420 kpc. Orbits, Milky Way mass, tidal influences, planar alignments, and group infall // *Astronomy and Astrophysics*. — 2018. — Ноябрь. — Т. 619. — А103. — DOI: [10.1051/0004-6361/201833343](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833343). — arXiv: [1805.00908](https://arxiv.org/abs/1805.00908) [[astro-ph.GA](#)].
36. *Dehnen W.* The Effect of the Outer Lindblad Resonance of the Galactic Bar on the Local Stellar Velocity Distribution // *Astronomical Journal*. — 2000. — Февр. — Т. 119, № 2. — С. 800—812. — DOI: [10.1086/301226](https://doi.org/10.1086/301226). — arXiv: [astro-ph/9911161](https://arxiv.org/abs/astro-ph/9911161) [[astro-ph](#)].
37. *Cox D. P., Gómez G. C.* Analytical Expressions for Spiral Arm Gravitational Potential and Density // *The Astrophysical Journal Supplement Series*. — 2002. — Октябрь. — Т. 142, № 2. — С. 261—267. — DOI: [10.1086/341946](https://doi.org/10.1086/341946). — arXiv: [astro-ph/0207635](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0207635) [[astro-ph](#)].
38. *Chen L., Hou J. L., Wang J. J.* On the Galactic Disk Metallicity Distribution from Open Clusters. I. New Catalogs and Abundance Gradient // *Astronomical Journal*. — 2003. — Март. — Т. 125, № 3. — С. 1397—1406. — DOI: [10.1086/367911](https://doi.org/10.1086/367911). — arXiv: [astro-ph/0212542](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0212542) [[astro-ph](#)].
39. *Moraux E.* Open clusters and associations in the Gaia era // *EAS Publications Series*. Т. 80/81. — 11.2016. — С. 73—114. — (EAS Publications Series). — DOI: [10.1051/eas/1680004](https://doi.org/10.1051/eas/1680004). — arXiv: [1607.00027](https://arxiv.org/abs/1607.00027) [[astro-ph.SR](#)].
40. *Anderson J., et al.* Ground-based CCD astrometry with wide field imagers. I. Observations just a few years apart allow decontamination of field objects from members in two globular clusters // *Astronomy and Astrophysics*. — 2006. — Август. — Т. 454, № 3. — С. 1029—1045. — DOI: [10.1051/0004-6361:20065004](https://doi.org/10.1051/0004-6361:20065004). — arXiv: [astro-ph/0604541](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0604541) [[astro-ph](#)].
41. *Yadav R. K. S., Kumar B., et al.* Optical and near-infrared photometric study of the open cluster NGC 637 and 957 // *MNRAS*. — 2008. — Ноябрь. — Т. 390, № 3. — С. 985—996. — DOI: [10.1111/j.1365-2966.2008.13740.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2008.13740.x). — arXiv: [0810.1409](https://arxiv.org/abs/0810.1409) [[astro-ph](#)].
42. *Bellini A., et al.* Ground-based CCD astrometry with wide field imagers. III. WFI@2.2m proper-motion catalog of the globular cluster ω Centauri // *Astronomy and Astrophysics*. — 2009. — Янв. — Т. 493, № 3. — С. 959—978. — DOI: [10.1051/0004-6361:200810880](https://doi.org/10.1051/0004-6361:200810880). — arXiv: [0810.1914](https://arxiv.org/abs/0810.1914) [[astro-ph](#)].

43. *Zloczewski K., Kaluzny J., Thompson I. B.* A proper motion study of the globular cluster M55 // MNRAS. — 2011. — Июль. — Т. 414, № 4. — С. 3711—3718. — DOI: [10.1111/j.1365-2966.2011.18673.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2011.18673.x). — arXiv: [1103.1733](https://arxiv.org/abs/1103.1733) [astro-ph.GA].
44. *Cantat-Gaudin T., et al.* A Gaia DR2 view of the open cluster population in the Milky Way // Astronomy and Astrophysics. — 2018. — Окт. — Т. 618. — A93. — DOI: [10.1051/0004-6361/201833476](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833476). — arXiv: [1805.08726](https://arxiv.org/abs/1805.08726) [astro-ph.GA].
45. *Elsanhoury W. H., Postnikova E. S., et al.* The Pleiades apex and its kinematical structure // Astrophysics and Space Science. — 2018. — Март. — Т. 363, № 3. — С. 58. — DOI: [10.1007/s10509-018-3268-3](https://doi.org/10.1007/s10509-018-3268-3). — arXiv: [1802.09926](https://arxiv.org/abs/1802.09926) [astro-ph.SR].
46. *Gao X.-h.* Memberships, Distances, and Proper Motions of the Open Clusters NGC 2112, NGC 2477, NGC 7789, and Collinder 261 from Gaia-DR2 // PASP. — 2018. — Дек. — Т. 130, № 994. — С. 124101. — DOI: [10.1088/1538-3873/aae0d2](https://doi.org/10.1088/1538-3873/aae0d2).
47. *Soubiran C., Cantat-Gaudin T., et al.* Open cluster kinematics with Gaia DR2 // Astronomy and Astrophysics. — 2018. — Ноябрь. — Т. 619. — A155. — DOI: [10.1051/0004-6361/201834020](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201834020). — arXiv: [1808.01613](https://arxiv.org/abs/1808.01613) [astro-ph.SR].
48. *Bossini D., Vallenari A., et al.* Age determination for 269 Gaia DR2 open clusters // Astronomy and Astrophysics. — 2019. — Март. — Т. 623. — A108. — DOI: [10.1051/0004-6361/201834693](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201834693). — arXiv: [1901.04733](https://arxiv.org/abs/1901.04733) [astro-ph.SR].
49. *Kunkel A.* GDR2 Radial Velocity Analysis According to Spiral Density Wave Theory // American Astronomical Society Meeting Abstracts #235. Т. 235. — 01.2020. — С. 167.07. — (American Astronomical Society Meeting Abstracts).
50. *Chrobáková Ž., Nagy R., López-Corredoira M.* Structure of the outer Galactic disc with Gaia DR2 // Astronomy Astrophysics. — 2020. — Май. — Т. 637. — A96. — DOI: [10.1051/0004-6361/201937289](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201937289). — arXiv: [2004.03247](https://arxiv.org/abs/2004.03247) [astro-ph.GA].

51. *Ferreira F. A., Corradi W. J. B., et al.* Discovery and astrophysical properties of Galactic open clusters in dense stellar fields using Gaia DR2 // MNRAS. — 2020. — АБГ. — Т. 496, № 2. — С. 2021—2038. — DOI: [10.1093/mnras/staa1684](https://doi.org/10.1093/mnras/staa1684). — arXiv: [2006.05611](https://arxiv.org/abs/2006.05611) [[astro-ph.SR](#)].
52. *Rangwal G., Yadav R. K. S., et al.* Astrometric and photometric study of NGC 6067, NGC 2506, and IC 4651 open clusters based on wide-field ground and Gaia DR2 data // MNRAS. — 2019. — Ноябрь. — Т. 490, № 1. — С. 1383—1396. — DOI: [10.1093/mnras/stz2642](https://doi.org/10.1093/mnras/stz2642). — arXiv: [1909.08810](https://arxiv.org/abs/1909.08810) [[astro-ph.GA](#)].
53. *Postnikova E. S., Elsanhoury W. H., et al.* The kinematical and space structures of IC 2391 open cluster and moving group with Gaia-DR2 // Research in Astronomy and Astrophysics. — 2020. — Март. — Т. 20, № 2. — С. 016. — DOI: [10.1088/1674-4527/20/2/16](https://doi.org/10.1088/1674-4527/20/2/16). — arXiv: [1908.10094](https://arxiv.org/abs/1908.10094) [[astro-ph.GA](#)].
54. *Gaia Collaboration.* VizieR Online Data Catalog: Gaia DR2 (Gaia Collaboration, 2018) // VizieR Online Data Catalog. — 2018. — App. — C. I/345.
55. *Lindgren L., Hernández J., et al.* Gaia Data Release 2. The astrometric solution // Astronomy and Astrophysics. — 2018. — АБГ. — Т. 616. — А2. — DOI: [10.1051/0004-6361/201832727](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201832727). — arXiv: [1804.09366](https://arxiv.org/abs/1804.09366) [[astro-ph.IM](#)].
56. *Mochejska B. J., Stanek K. Z., et al.* Planets in Stellar Clusters Extensive Search. II. Discovery of 57 Variables in the Cluster NGC 2158 with Millimagnitude Image Subtraction Photometry // AJ. — 2004. — Июль. — Т. 128, № 1. — С. 312—322. — DOI: [10.1086/420992](https://doi.org/10.1086/420992). — arXiv: [astro-ph/0402306](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0402306) [[astro-ph](#)].
57. *Christian C. A., Heasley J. N., Janes K. A.* The Open Cluster NGC 2158 // The Astrophysical Journal. — 1985. — Дек. — Т. 299. — С. 683. — DOI: [10.1086/163734](https://doi.org/10.1086/163734).
58. *Trumpler R. J.* Globular Star Clusters // Leaflet of the Astronomical Society of the Pacific. — 1930. — ЯНВ. — Т. 1, № 29. — С. 117.
59. *Shapley H.* Star Clusters. Т. 2. — 1930.
60. *Arp H., Cuffey J.* The star cluster NGC 2158. // The Astrophysical Journal. — 1962. — Июль. — Т. 136. — С. 51—65. — DOI: [10.1086/147350](https://doi.org/10.1086/147350).

61. *Janes K. A.* Evidence for an abundance gradient in the galactic disk. // The Astrophysical Journal Supplement Series. — 1979. — Февр. — Т. 39. — С. 135—156. — DOI: [10.1086/190568](https://doi.org/10.1086/190568).
62. *Hardy E.* Observations of clusters in the Washington system // AJ. — 1981. — Февр. — Т. 86. — С. 217—221. — DOI: [10.1086/112876](https://doi.org/10.1086/112876).
63. *Bedin L. R., Salaris M., et al.* The Bottom of the White Dwarf Cooling Sequence in the Old Open Cluster NGC 2158 // APJL. — 2010. — Янв. — Т. 708, № 1. — С. L32—L35. — DOI: [10.1088/2041-8205/708/1/L32](https://doi.org/10.1088/2041-8205/708/1/L32). — arXiv: [0912.0257](https://arxiv.org/abs/0912.0257) [astro-ph.GA].
64. *Nardiello D., Bedin L. R., et al.* Variable stars in two open clusters within the Kepler/K2-Campaign-0 field: M35 and NGC 2158 // MNRAS. — 2015. — Март. — Т. 447, № 4. — С. 3536—3547. — DOI: [10.1093/mnras/stu2697](https://doi.org/10.1093/mnras/stu2697). — arXiv: [1412.5688](https://arxiv.org/abs/1412.5688) [astro-ph.SR].
65. *Gaia Collaboration.* VizieR Online Data Catalog: Gaia EDR3 (Gaia Collaboration, 2020) // VizieR Online Data Catalog. — 2020. — Ноябрь. — С. I/350.
66. *Aparicio A., Bertelli G., et al.* CCD UBV_R photometry of two open clusters : King 11 and Be 42. Comparison with theoretical models. // Astronomy and Astrophysics. — 1991. — Апр. — Т. 88. — С. 155.
67. *Friel E. D., et al.* Metallicities of Old Open Clusters // AJ. — 2002. — Ноябрь. — Т. 124, № 5. — С. 2693—2720. — DOI: [10.1086/344161](https://doi.org/10.1086/344161).
68. *Tosi M., Bragaglia A., Cignoni M.* The old open clusters Berkeley 32 and King 11 // MNRAS. — 2007. — Июнь. — Т. 378, № 2. — С. 730—740. — DOI: [10.1111/j.1365-2966.2007.11827.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2007.11827.x). — arXiv: [0704.0550](https://arxiv.org/abs/0704.0550) [astro-ph].
69. *Kyeong J., Moon H.-K., et al.* 2MASS Near-IR Color-Magnitude Diagram of the Old Open Cluster King 11 // Journal of Korean Astronomical Society. — 2011. — Февр. — Т. 44, № 1. — С. 33—38. — DOI: [10.5303/JKAS.2011.44.1.033](https://doi.org/10.5303/JKAS.2011.44.1.033).
70. *Kaluzny J.* CCD BV photometry of three unstudied open clusters : NGC 7044, King 2 and K 11. // Acta Astronautica. — 1989. — Янв. — Т. 39. — С. 13—25.

71. *Phelps R. L., Janes K. A.* Young Open Clusters as Probes of the Star Formation Process. I. an Atlas of Open Cluster Photometry // APJS. — 1994. — ЯНБ. — Т. 90. — С. 31. — DOI: [10.1086/191857](https://doi.org/10.1086/191857).
72. *Scott J. E., Friel E. D., Janes K. A.* Kinematics of the Old Open Cluster System // The Astrophysical Journal. — 1995. — Апр. — Т. 109. — С. 1706. — DOI: [10.1086/117398](https://doi.org/10.1086/117398).
73. *Salaris M., Weiss A., Percival S. M.* The age of the oldest Open Clusters // Astronomy and Astrophysics. — 2004. — ЯНБ. — Т. 414. — С. 163—174. — DOI: [10.1051/0004-6361:20031578](https://doi.org/10.1051/0004-6361:20031578). — arXiv: [astro-ph/0310363](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0310363) [[astro-ph](#)].
74. *Cudworth K. M.* Astrometry of Star Clusters - Problems Techniques and Opportunities // Astrometric Techniques. Т. 109 / под ред. Н. К. Eichhorn, R. J. Leacock. — 01.1986. — С. 201.
75. *Jones B. F.* Cluster membership determinations from proper motion surveys. // Memorie della Societa Astronomica Italiana. — 1997. — ЯНБ. — Т. 68. — С. 833—844.
76. *Vasilevskis S., Klemola A., Preston G.* Relative proper motions of stars in the region of the open cluster NGC 6633. // Astronomical Journal. — 1958. — ЯНБ. — Т. 63. — С. 387—395. — DOI: [10.1086/107787](https://doi.org/10.1086/107787).
77. *Balaguer-Núñez L., Tian K. P., Zhao J. L.* Determination of proper motions and membership of the open clusters NGC 1817 and NGC 1807 // Astronomy and Astrophysics. — 1998. — Дек. — Т. 133. — С. 387—394. — DOI: [10.1051/aas:1998324](https://doi.org/10.1051/aas:1998324).
78. *Bisht D., Elsanhoury W. H., et al.* An Investigation of Poorly Studied Open Cluster NGC 4337 Using Multicolor Photometric and Gaia DR2 Astrometric Data // AJ. — 2020. — Сент. — Т. 160, № 3. — С. 119. — DOI: [10.3847/1538-3881/ab9ffd](https://doi.org/10.3847/1538-3881/ab9ffd). — arXiv: [2006.13618](https://arxiv.org/abs/2006.13618) [[astro-ph.GA](#)].
79. *King I.* The structure of star clusters. I. an empirical density law // AJ. — 1962. — Окт. — Т. 67. — С. 471. — DOI: [10.1086/108756](https://doi.org/10.1086/108756).
80. *Bukowiecki L., Maciejewski G., et al.* Open Clusters in 2MASS Photometry. I. Structural and Basic Astrophysical Parameters // Acta Astronomica. — 2011. — Сент. — Т. 61, № 3. — С. 231—246. — DOI: [10.48550/arXiv.1107.5119](https://doi.org/10.48550/arXiv.1107.5119). — arXiv: [1107.5119](https://arxiv.org/abs/1107.5119) [[astro-ph.SR](#)].

81. Constraining the thermally pulsing asymptotic giant branch phase with resolved stellar populations in the Small Magellanic Cloud / G. Pastorelli [и др.] // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2019. — ИЮНЬ. — Т. 485, № 4. — С. 5666—5692. — DOI: [10.1093/mnras/stz725](https://doi.org/10.1093/mnras/stz725). — arXiv: [1903.04499](https://arxiv.org/abs/1903.04499) [[astro-ph.SR](#)].
82. *Kharchenko N., Andruk V., Schilbach E.* Schmidt survey in the Galactic anticentre direction. 1. Investigation of open clusters // Astronomische Nachrichten. — 1997. — АВГ. — Т. 318, № 5. — С. 253. — DOI: [10.1002/asna.2113180502](https://doi.org/10.1002/asna.2113180502).
83. PARSEC: stellar tracks and isochrones with the PAdova and TRieste Stellar Evolution Code / A. Bressan [и др.] // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2012. — НОЯБ. — Т. 427, № 1. — С. 127—145. — DOI: [10.1111/j.1365-2966.2012.21948.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2012.21948.x). — arXiv: [1208.4498](https://arxiv.org/abs/1208.4498) [[astro-ph.SR](#)].
84. *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. — ИЮНЬ. — Т. 451, № 3. — С. 909—916. — DOI: [10.1051/0004-6361:20054009](https://doi.org/10.1051/0004-6361:20054009).
85. *Luo A. L., et al.* VizieR Online Data Catalog: LAMOST DR5 catalogs (Luo+, 2019). — 09.2019. — VizieR On-line Data Catalog: V/164. Originally published in: 2019RAA..in.prep..L.
86. *Du C., Li H., et al.* The Origin of High-velocity Stars from Gaia and LAMOST // The Astrophysical Journal Letters. — 2018. — ДЕК. — Т. 869, № 2. — С. L31. — DOI: [10.3847/2041-8213/aaf578](https://doi.org/10.3847/2041-8213/aaf578). — arXiv: [1812.00559](https://arxiv.org/abs/1812.00559) [[astro-ph.GA](#)].
87. *Bailer-Jones C. A. L., Rybizki, et al.* Estimating Distance from Parallaxes. IV. Distances to 1.33 Billion Stars in Gaia Data Release 2 // Astronomical Journal. — 2018. — АВГ. — Т. 156, № 2. — С. 58. — DOI: [10.3847/1538-3881/aacb21](https://doi.org/10.3847/1538-3881/aacb21). — arXiv: [1804.10121](https://arxiv.org/abs/1804.10121) [[astro-ph.SR](#)].
88. *Cox A. N., Pilachowski C. A.* Allen's Astrophysical Quantities // Physics Today. — 2000. — ОКТ. — Т. 53, № 10. — С. 77. — DOI: [10.1063/1.1325201](https://doi.org/10.1063/1.1325201).

89. *Luri X., Brown A., et al.* Gaia Data Release 2. Using Gaia parallaxes // *Astronomy Astrophysics*. — 2018. — АБГ. — Т. 616. — А9. — DOI: [10.1051/0004-6361/201832964](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201832964). — arXiv: [1804.09376](https://arxiv.org/abs/1804.09376) [[astro-ph.IM](#)].
90. *Zhong J., Chen L., et al.* Substructure and halo population of Double Cluster h and χ Persei // *Astronomy Astrophysics*. — 2019. — Апп. — Т. 624. — А34. — DOI: [10.1051/0004-6361/201834334](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201834334). — arXiv: [1902.06892](https://arxiv.org/abs/1902.06892) [[astro-ph.GA](#)].
91. *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. — Май. — Т. 371. — С. 115—122. — DOI: [10.1051/0004-6361:20010337](https://doi.org/10.1051/0004-6361:20010337).
92. *Anders F., Chiappini C., et al.* Red giants observed by CoRoT and APOGEE: The evolution of the Milky Way's radial metallicity gradient // *Astronomy Astrophysics*. — 2017. — Апп. — Т. 600. — А70. — DOI: [10.1051/0004-6361/201629363](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201629363). — arXiv: [1608.04951](https://arxiv.org/abs/1608.04951) [[astro-ph.GA](#)].
93. *Liu L., Pang X.* A Catalog of Newly Identified Star Clusters in Gaia DR2 // *The Astrophysical Journal Supplement Series*. — 2019. — Дек. — Т. 245, № 2. — С. 32. — DOI: [10.3847/1538-4365/ab530a](https://doi.org/10.3847/1538-4365/ab530a). — arXiv: [1910.12600](https://arxiv.org/abs/1910.12600) [[astro-ph.GA](#)].
94. *Oort J. H.* The structure of the cloud of comets surrounding the Solar System and a hypothesis concerning its origin // *Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands*. — 1950. — ЯНВ. — Т. 11. — С. 91—110.
95. *Byl J.* Galactic Perturbations on Nearly Parabolic Cometary Orbits // *Moon and Planets*. — 1983. — ОКТ. — Т. 29, № 2. — С. 121—137. — DOI: [10.1007/BF00928321](https://doi.org/10.1007/BF00928321).
96. *Rickman H.* Stellar Perturbations of Orbits of Long-period Comets and their Significance for Cometary Capture // *Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia*. — 1976. — ЯНВ. — Т. 27. — С. 92.
97. *Hills J. G.* Comet showers and the steady-state infall of comets from the Oort cloud. // *Astronomical Journal*. — 1981. — НОЯБ. — Т. 86. — С. 1730—1740. — DOI: [10.1086/113058](https://doi.org/10.1086/113058).

98. *Torres S., Cai M. X., et. al.* Galactic tide and local stellar perturbations on the Oort cloud: creation of interstellar comets // *Astronomy and Astrophysics*. — 2019. — СЕНТ. — Т. 629. — А139. — DOI: [10.1051/0004-6361/201935330](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201935330). — arXiv: [1906.10617](https://arxiv.org/abs/1906.10617) [[astro-ph.EP](#)].
99. *Darma R., Hidayat W., Arifyanto M. I.* Tracing Stellar Close Encounters with Our Sun from GAIA DR2, LAMOST DR4, and RAVE DR5 Catalogues // *Journal of Physics Conference Series*. Т. 1245. — 08.2019. — С. 012028. — (Journal of Physics Conference Series). — DOI: [10.1088/1742-6596/1245/1/012028](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1245/1/012028).
100. *Dybczyński P. A.* Simulating observable comets. II. Simultaneous stellar and galactic action // *Astronomy Astrophysics*. — 2005. — ОКТ. — Т. 441, № 2. — С. 783—790. — DOI: [10.1051/0004-6361:20053327](https://doi.org/10.1051/0004-6361:20053327).
101. *Gieles M., Portegies Zwart S. F., et al.* Star cluster disruption by giant molecular clouds // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 2006. — СЕНТ. — Т. 371, № 2. — С. 793—804. — DOI: [10.1111/j.1365-2966.2006.10711.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2006.10711.x). — arXiv: [astro-ph/0606451](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0606451) [[astro-ph](#)].
102. *Matese J. J., Whitmire D. P.* Persistent evidence of a jovian mass solar companion in the Oort cloud // *Icarus*. — 2011. — ФЕВР. — Т. 211, № 2. — С. 926—938. — DOI: [10.1016/j.icarus.2010.11.009](https://doi.org/10.1016/j.icarus.2010.11.009). — arXiv: [1004.4584](https://arxiv.org/abs/1004.4584) [[astro-ph.EP](#)].
103. *Rickman H., Fouchard M., et al.* Injection of Oort Cloud comets: the fundamental role of stellar perturbations // *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*. — 2008. — СЕНТ. — Т. 102, № 1—3. — С. 111—132. — DOI: [10.1007/s10569-008-9140-y](https://doi.org/10.1007/s10569-008-9140-y). — arXiv: [0804.2560](https://arxiv.org/abs/0804.2560) [[astro-ph](#)].
104. *Vokrouhlický D., Nesvorný, et al.* Origin and Evolution of Long-period Comets // *Astronomical Journal*. — 2019. — МАЙ. — Т. 157, № 5. — С. 181. — DOI: [10.3847/1538-3881/ab13aa](https://doi.org/10.3847/1538-3881/ab13aa). — arXiv: [1904.00728](https://arxiv.org/abs/1904.00728) [[astro-ph.EP](#)].
105. *Loibnegger B., Pilat-Lohinger, et al.* The effect of the passage of Gliese 710 on Oort cloud comets // *IAU Symposium*. — 2022. — ЯНВ. — Т. 364. — С. 178—183. — DOI: [10.1017/S1743921321001381](https://doi.org/10.1017/S1743921321001381).

106. *Celletti A., Galeş, et al.* Multi-scale (Time and Mass) Dynamics of Space Objects // IAU Symposium. — 2022. — ЯНВ. — Т. 364. — f1–f16. — DOI: [10.1017/S174392132200179X](https://doi.org/10.1017/S174392132200179X).
107. *Feng F., Jones H. R. A.* ‘Oumuamua as a Messenger from the Local Association // The Astrophysical Journal Letters. — 2018. — ЯНВ. — Т. 852, № 2. — С. L27. — DOI: [10.3847/2041-8213/aaa404](https://doi.org/10.3847/2041-8213/aaa404). — arXiv: [1711.08800](https://arxiv.org/abs/1711.08800) [[astro-ph.EP](#)].
108. *Gaidos E., Williams J., Kraus A.* Origin of Interstellar Object A/2017 U1 in a Nearby Young Stellar Association? // Research Notes of the American Astronomical Society. — 2017. — Дек. — Т. 1, № 1. — С. 13. — DOI: [10.3847/2515-5172/aa9851](https://doi.org/10.3847/2515-5172/aa9851). — arXiv: [1711.01300](https://arxiv.org/abs/1711.01300) [[astro-ph.EP](#)].
109. *Soubiran C., et al.* VizieR Online Data Catalog: Gaia DR2 radial velocity standard stars catalog (Soubiran+, 2018) // VizieR Online Data Catalog. — 2019. — АБГ. — J/A+A/616/A7.
110. *Martínez-Barbosa C. A., Brown A. G. A., et al.* The evolution of the Sun’s birth cluster and the search for the solar siblings with Gaia // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2016. — Март. — Т. 457, № 1. — С. 1062–1075. — DOI: [10.1093/mnras/stw006](https://doi.org/10.1093/mnras/stw006). — arXiv: [1601.00447](https://arxiv.org/abs/1601.00447) [[astro-ph.GA](#)].
111. *Yen S. X., Reffert S., et al.* Reanalysis of nearby open clusters using Gaia DR1/TGAS and HSOY // Astronomy and Astrophysics. — 2018. — Июль. — Т. 615. — A12. — DOI: [10.1051/0004-6361/201731905](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201731905). — arXiv: [1802.04234](https://arxiv.org/abs/1802.04234) [[astro-ph.SR](#)].
112. *Perryman M. A. C., Brown, et al.* The Hyades: distance, structure, dynamics, and age // Astronomy Astrophysics. — 1998. — Март. — Т. 331. — С. 81–120. — arXiv: [astro-ph/9707253](https://arxiv.org/abs/astro-ph/9707253) [[astro-ph](#)].
113. *van Leeuwen F.* Parallaxes and proper motions for 20 open clusters as based on the new Hipparcos catalogue // Astronomy Astrophysics. — 2009. — Апр. — Т. 497, № 1. — С. 209–242. — DOI: [10.1051/0004-6361/200811382](https://doi.org/10.1051/0004-6361/200811382). — arXiv: [0902.1039](https://arxiv.org/abs/0902.1039) [[astro-ph.GA](#)].

114. *Reino S., de Bruijne, et al.* A Gaia study of the Hyades open cluster // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2018. — Июль. — Т. 477, № 3. — С. 3197—3216. — DOI: [10.1093/mnras/sty793](https://doi.org/10.1093/mnras/sty793). — arXiv: [1804.00759](https://arxiv.org/abs/1804.00759) [[astro-ph.GA](#)].
115. *Gaia Collaboration, van Leeuwen F., et al.* Gaia Data Release 1. Open cluster astrometry: performance, limitations, and future prospects // Astronomy Astrophysics. — 2017. — Май. — Т. 601. — A19. — DOI: [10.1051/0004-6361/201730552](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201730552). — arXiv: [1703.01131](https://arxiv.org/abs/1703.01131) [[astro-ph.SR](#)].
116. *Vereshchagin S. V., Chupina N. V.* Proper motions of stars in the region of the Great Nebula in Orion // Astronomy Reports. — 2011. — Февр. — Т. 55, № 2. — С. 123—131. — DOI: [10.1134/S1063772910121029](https://doi.org/10.1134/S1063772910121029).
117. *Röser S., Schilbach, et al.* A deep all-sky census of the Hyades // Astronomy Astrophysics. — 2011. — Июль. — Т. 531. — A92. — DOI: [10.1051/0004-6361/201116948](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201116948). — arXiv: [1105.6093](https://arxiv.org/abs/1105.6093) [[astro-ph.GA](#)].
118. *Ciardi D. R., Crossfield I. J. M., et al.* K2-136: A Binary System in the Hyades Cluster Hosting a Neptune-sized Planet // Astronomical Journal. — 2018. — Янв. — Т. 155, № 1. — С. 10. — DOI: [10.3847/1538-3881/aa9921](https://doi.org/10.3847/1538-3881/aa9921). — arXiv: [1709.10398](https://arxiv.org/abs/1709.10398) [[astro-ph.EP](#)].
119. *Dias W. S., Monteiro H., et al.* Proper motions of the optically visible open clusters based on the UCAC4 catalog // Astronomy Astrophysics. — 2014. — Апр. — Т. 564. — A79. — DOI: [10.1051/0004-6361/201323226](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201323226).
120. *Gaia Collaboration, Babusiaux C., et al.* Gaia Data Release 2. Observational Hertzsprung-Russell diagrams // Astronomy Astrophysics. — 2018. — Абр. — Т. 616. — A10. — DOI: [10.1051/0004-6361/201832843](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201832843). — arXiv: [1804.09378](https://arxiv.org/abs/1804.09378) [[astro-ph.SR](#)].
121. *Bobylev V. V.* The Gould Belt // Astrophysics. — 2014. — Дек. — Т. 57, № 4. — С. 583—604. — DOI: [10.1007/s10511-014-9360-7](https://doi.org/10.1007/s10511-014-9360-7). — arXiv: [1507.06516](https://arxiv.org/abs/1507.06516) [[astro-ph.GA](#)].
122. *Lodieu N., Smart R. L., et al.* VizieR Online Data Catalog: A 3D view of the Hyades population (Lodieu+, 2019) // VizieR Online Data Catalog. — 2019. — Янв. — J/A+A/623/A35.

123. *Meingast S., Alves J.* Extended stellar systems in the solar neighborhood. I. The tidal tails of the Hyades // *Astronomy Astrophysics*. — 2019. — ЯНВ. — Т. 621. — С. L3. — DOI: [10.1051/0004-6361/201834622](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201834622). — arXiv: [1811.04931](https://arxiv.org/abs/1811.04931) [[astro-ph.GA](#)].
124. *Wenger M., Ochsenbein F., et al.* The SIMBAD astronomical database. The CDS reference database for astronomical objects // *Astronomy Astrophysics*. — 2000. — АПР. — Т. 143. — С. 9—22. — DOI: [10.1051/aas:2000332](https://doi.org/10.1051/aas:2000332). — arXiv: [astro-ph/0002110](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0002110) [[astro-ph](#)].
125. An Influence of Unresolved Binaries on the Open Cluster Mass Estimate / A. F. Seleznev [и др.] // *Modern Star Astronomy*. Т. 1. — 09.2018. — С. 280—283. — DOI: [10.31361/eaas.2018-1.063](https://doi.org/10.31361/eaas.2018-1.063).
126. *Wilson R. E.* The Taurus cluster and groups // *Astronomical Journal*. — 1932. — АВГ. — Т. 42. — С. 49—65. — DOI: [10.1086/105110](https://doi.org/10.1086/105110).
127. *Mülläri A. A., Orlov V. V.* Encounters of the Sun with Nearby Stars in the Past and Future // *Earth Moon and Planets*. — 1996. — ФЕВР. — Т. 72, № 1—3. — С. 19—23. — DOI: [10.1007/BF00117497](https://doi.org/10.1007/BF00117497).
128. *Bobylev V. V.* Search for close stellar encounters with the solar system from data on nearby dwarfs // *Astronomy Reports*. — 2017. — ОКТ. — Т. 61, № 10. — С. 883—890. — DOI: [10.1134/S106377291710002X](https://doi.org/10.1134/S106377291710002X). — arXiv: [1708.03300](https://arxiv.org/abs/1708.03300) [[astro-ph.GA](#)].
129. Updated X-ray view of the Hyades cluster / S. Freund [и др.] // *Astronomy and Astrophysics*. — 2020. — АВГ. — Т. 640. — A66. — DOI: [10.1051/0004-6361/201937304](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201937304). — arXiv: [2006.05135](https://arxiv.org/abs/2006.05135) [[astro-ph.SR](#)].
130. *Salaris M., Bedin L. R.* A Gaia DR2 view of white dwarfs in the Hyades // *MNRAS*. — 2018. — НОЯБ. — Т. 480, № 3. — С. 3170—3176. — DOI: [10.1093/mnras/sty2096](https://doi.org/10.1093/mnras/sty2096). — arXiv: [1809.09198](https://arxiv.org/abs/1809.09198) [[astro-ph.SR](#)].
131. *Emel'Yanenko V. V.* A method of symplectic integrations with adaptive time-steps for individual Hamiltonians in the planetary N-body problem // *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*. — 2007. — ИЮЛЬ. — Т. 98, № 3. — С. 191—202. — DOI: [10.1007/s10569-007-9077-6](https://doi.org/10.1007/s10569-007-9077-6).

132. *Cantat-Gaudin T., Anders F., et al.* Painting a portrait of the Galactic disc with its stellar clusters // *Astronomy and Astrophysics*. — 2020. — АБГ. — Т. 640. — А1. — DOI: [10.1051/0004-6361/202038192](https://doi.org/10.1051/0004-6361/202038192). — arXiv: [2004.07274](https://arxiv.org/abs/2004.07274) [[astro-ph.GA](#)].
133. *Portegies Zwart S. F., McMillan S. L. W., Gieles M.* Young Massive Star Clusters // *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*. — 2010. — СЕНТ. — Т. 48. — С. 431—493. — DOI: [10.1146/annurev-astro-081309-130834](https://doi.org/10.1146/annurev-astro-081309-130834). — arXiv: [1002.1961](https://arxiv.org/abs/1002.1961) [[astro-ph.GA](#)].
134. *Meech K. J., Weryk R., et al.* A brief visit from a red and extremely elongated interstellar asteroid // *Nature*. — 2017. — ДЕК. — Т. 552, № 7685. — С. 378—381. — DOI: [10.1038/nature25020](https://doi.org/10.1038/nature25020).
135. *Guzik P., Drahus M., et al.* Initial characterization of interstellar comet 2I/Borisov // *Nature Astronomy*. — 2020. — ЯНВ. — Т. 4. — С. 53—57. — DOI: [10.1038/s41550-019-0931-8](https://doi.org/10.1038/s41550-019-0931-8). — arXiv: [1909.05851](https://arxiv.org/abs/1909.05851) [[astro-ph.EP](#)].
136. *Moro-Martín A.* Could 1I/'Oumuamua be an Icy Fractal Aggregate? // *The Astrophysical Journal Letters*. — 2019. — ФЕВР. — Т. 872, № 2. — С. L32. — DOI: [10.3847/2041-8213/ab05df](https://doi.org/10.3847/2041-8213/ab05df). — arXiv: [1902.04100](https://arxiv.org/abs/1902.04100) [[astro-ph.EP](#)].
137. *Ivezić Ž., Kahn S. M., et al.* LSST: From Science Drivers to Reference Design and Anticipated Data Products // *The Astrophysical Journal*. — 2019. — МАРТ. — Т. 873, № 2. — С. 111. — DOI: [10.3847/1538-4357/ab042c](https://doi.org/10.3847/1538-4357/ab042c). — arXiv: [0805.2366](https://arxiv.org/abs/0805.2366) [[astro-ph](#)].
138. *Dybczyński P. A., Leto G., et al.* The simulation of the outer Oort cloud formation. The first giga-year of the evolution // *Astronomy Astrophysics*. — 2008. — АБГ. — Т. 487, № 1. — С. 345—355. — DOI: [10.1051/0004-6361:20078686](https://doi.org/10.1051/0004-6361:20078686).
139. *Bailer-Jones C. A. L., Rybizki J., et al.* Estimating Distances from Parallaxes. V. Geometric and Photogeometric Distances to 1.47 Billion Stars in Gaia Early Data Release 3 // *Astronomical Journal*. — 2021. — МАРТ. — Т. 161, № 3. — С. 147. — DOI: [10.3847/1538-3881/abd806](https://doi.org/10.3847/1538-3881/abd806). — arXiv: [2012.05220](https://arxiv.org/abs/2012.05220) [[astro-ph.SR](#)].

140. *Fouchard M., Rickman H., et al.* On the present shape of the Oort cloud and the flux of ;new; comets // *Icarus*. — 2017. — Абр. — Т. 292. — С. 218—233. — DOI: [10.1016/j.icarus.2017.01.013](https://doi.org/10.1016/j.icarus.2017.01.013).
141. *Kharchenko N. V., Piskunov A. E., et al.* VizieR Online Data Catalog: Milky Way global survey of star clusters. II. (Kharchenko+, 2013) // VizieR Online Data Catalog. — 2013. — Ноябрь. — J/A+A/558/A53.

Список рисунков

1.1	Принятая кривая вращения Млечного Пути согласно MWPotential2014 (сплошная черная линия). Пунктирными линиями показан вклад кривых вращения балджа, диска и гало [29].	11
1.2	Параметры модели диска, использованные для выражения потенциала $\Phi(R, z)$	13
1.3	Плотность в плоскости цилиндрических координат (R, z) для осесимметричных потенциалов, составляющих итоговый потенциал Галактики MWPotential2014 [29].	13
1.4	Относительное изменение энергии в процессе интегрирования на время жизни для Солнца, NGC 2158 и King 11 (слева направо). .	17
1.5	Движение РЗС King 11 вокруг Галактического центра. Проведены расчеты в прошлые эпохи вплоть до ~ 4 млрд лет. . .	18
1.6	Движение Солнца вокруг центра Галактики для разных потенциалов (MW — оранжевая линия, MW+Bar+SA — красная линия. Проведены расчеты в прошлые эпохи вплоть до ~ 4 млрд лет.	19
1.7	Расстояние от Солнца для King 11 по 1) MW 2) MW+Bar+SA. Расчеты до -10 млн лет. На момент времени $t = -1$ млн лет разница расстояний была 2.6×10^{-5}	19
2.1	Зависимость ошибки звездной величины в трех фотометрических полосах Gaia для NGC 2158. Видно, что ошибки в полосе G много ниже, чем в полосах RP и BP	25
2.2	Зависимость ошибки звездной величины в трех фотометрических полосах Gaia для King 11.	25
2.3	Для NGC 2158 показаны зависимости СД и их ошибок от звездной величины в полосе G	26
2.4	Для King 11 показано распределение ошибок по параллаксам (верхняя панель) и собственному движению (средняя и нижняя панели).	26

- 2.5 Диаграммы СД (верхняя панель) и диаграммы цвет-звездная величина (нижняя панель) для NGC 2158. Круги радиусом 0.35 мсд/год показывают область диаграммы СД, включающей предполагаемые звезды скоплений. 27
- 2.6 Диаграммы СД (верхняя панель) и диаграммы цвет-звездная величина (нижняя панель) для King 11. Круги радиусом 0.45 мсд/год показывают область диаграммы СД, включающей предполагаемые звезды скоплений. 27
- 2.7 Гистограмма параллаксов звезд для NGC 2158. Пунктирная красная линия показывает все звезды, а сплошная черная линия — наиболее вероятные члены скопления. 28
- 2.8 Гистограмма параллаксов звезд для King 11. Пунктирная красная линия показывает все звезды, а сплошная черная линия — наиболее вероятные члены скопления. 28
- 2.9 Гистограмма для определения средних значений компонент собственных движений $\mu_\alpha \cos \delta$ и μ_δ для NGC 2158. Функция Гаусса показывает среднее значение. Вертикальные пунктирные линии обозначают рассчитанные средние значения. 29
- 2.10 Гистограмма для определения средних значений компонент собственных движений $\mu_\alpha \cos \delta$ и μ_δ для King 11. Функция Гаусса показывает среднее значение. Вертикальные пунктирные линии обозначают рассчитанные средние значения. 29
- 2.11 Распределение плотности звезд наиболее вероятных членов скопления NGC 2158. Аппроксимированная кривая представляет профиль Кинга [79]. Плотность звезд фона показана горизонтальными пунктирными линиями с погрешностью 3σ . . . 31
- 2.12 Распределение плотности звезд наиболее вероятных членов скопления King 11. Аппроксимированная кривая представляет профиль Кинга [79]. Плотность звезд фона показана горизонтальными пунктирными линиями с погрешностью 3σ . . . 31
- 2.13 Показаны падуанские изохроны различного возраста для NGC 2158. Три изохроны взяты в работе [81] и помещены на $G - (BP - RP)$ диаграмму наиболее вероятных членов скопления. 32

- 2.14 Показаны падуанские изохроны различного возраста для King 11. Изохроны взяты в работе [83] и вписаны в $G - (BP - RP)$ диаграмму наиболее вероятных членов скопления. 32
- 2.15 Диаграмма апексов для скопления NGC 2158. На левой панели оранжевая точка показывает положение антиапекса Солнца ($A = 89^\circ$, $D = -30^\circ$; [88]). Красная точка представляет положение апекса скопления $A = 87.24^\circ \pm 1.60^\circ$, $D = -36.61^\circ \pm 5.30^\circ$. На правой панели показаны ошибки в (A, D) 35
- 2.16 Показаны расстояния до звезд согласно $BJ + 2018$ [87]. По оси абсцисс показаны положения звезд по таблице 5, красной пунктирной линией отмечено расстояние до скопления, определенное в нашей работе. 36
- 2.17 Диаграмма (A, D) для скопления King 11. Мы использовали $n = 8$ звезд, для которых удалось найти все параметры, необходимые для расчета апекса. Красная точка в центральном контуре указывает средний апекс для скопления. 38
- 2.18 Рассчитанные орбиты NGC 2158 и Солнца в координатах XYZ . Красными точками и линией показан момент наименьшего расстояния между скоплением и Солнцем $d_{min} = 2.7 \pm 0.75$ кпк. . 41
- 2.19 Положение NGC 2158 и Солнца на момент времени, соответствующий текущей эпохе, и предполагаемое место рождения скопления и соответствующее положение Солнца. . . . 41
- 2.20 Рассчитанные орбиты King 11 и Солнца в координатах XYZ . Красными точками и линией показан момент наименьшего расстояния между скоплением и Солнцем $d_{min} = 1.58$ кпк. 42
- 2.21 Положение King 11 и Солнца на момент времени, соответствующий текущей эпохе, и предполагаемое место рождения скопления и соответствующее положение Солнца. . . . 42
- 2.22 Положение NGC 2158 и Солнца на момент предполагаемого рождения скоплений. Орбиты показаны в галактоцентрических прямоугольных координатах в плоскости XY (левая панель), зависимость Z -координаты центра РЗС от времени (правая панель). Черные и оранжевые орбиты представляют скопления и Солнце соответственно. 44

- 2.23 Положение King 11 и Солнца на момент предполагаемого рождения скопления. Орбиты показаны в галактоцентрических прямоугольных координатах в плоскости XY (левая панель), зависимость Z -координаты центра РЗС от времени (правая панель). Черные и оранжевые орбиты представляют скопления и Солнце соответственно. 45
- 3.1 LB-диаграмма афелиев комет (крестики) и антиапексов РЗС (жирные точки). Названия РЗС и комет показаны рядом с соответствующими символами. Звездочкой указано положение звезды α Lyr ($l = 67.448^\circ$, $b = 19.237^\circ$), с которой радиант объекта 1I примерно перекрывается. Антиапексы комет и скоплений даны в галактической системе координат. 53
- 3.2 Диаграмма $d_{min} - t_{min}$ для скоплений из каталогов [4; 109], включая 21 скопление, являющиеся, как показало сравнение, общими для двух упоминаемых каталогов, N – число скоплений на рисунке по каждому каталогу. 55
- 3.3 Частота сближений РЗС с Солнечной системой в зависимости от расстояния сближения и соответствующая степенная кривая вида $y = 0.104x^{1.66}$ 57
- 3.4 Расчитанные нами максимально близкие прохождения РЗС около Солнца за последние 5 млн лет. Расстояния d_{min} , и соответствующие им t_{min} . Скопление IC 1396, параметры которого выходят за пределы диаграммы, не нанесено ($t_{min} = \sim 205.22$ млн лет, $d_{min} = 56.3$ пк). 60
- 3.5 Движение скопления Гиады в гелиоцентрической системе координат. Стрелки указывают векторы скорости относительно Солнца в проекции на XY -плоскость. Соответствующее время отмечается вблизи векторов. Показано движение скопления на интервале между эпохами $t = -2$ млн лет и текущей эпохой ($t = 0$). 61
- 3.6 Распределение d_{min} с погрешностями, добавленными к лучевой скорости, параллаксу и собственному движению скопления. . . . 64

- 3.10 Оценка эффектов сближения РЗС Гиады с Солнечной системой. Зависимость D_0 от $M_{Cluster}$ согласно формуле 3.3 для разных значений d_{min} (подписано на рисунке). Область облака Оорта $R_{Oort} \sim 0.5$ пк показана внизу (область внизу рисунка окрашена в синий цвет). Отмечен гравитационный эффект скопления Гиад: центр (прямоугольная область окрашена в красный цвет с надписью «Hyades cluster») и звезды шлейфов (область окрашена в синий цвет с надписью «tails stars»). 70
- 3.11 Значения перигелийного расстояния q после одного обращения комет вокруг Солнца для орбит с различными начальными расстояниями q и большими полуосями a . В рассматриваемом сценарии в момент сближения с Гиадами кометы находятся в афелии. Видно, что смещение перигелия незначительно для $a = 14210$ а.е., но для $a = 40000$ а.е. перигелий мог измениться с 3 а.е. до 2.6 а.е. или с 35 а.е. до 34 а.е., а для более удалённых орбит еще больше. Вычисления выполнены с помощью симплектического интегратора [131]. 73
- 3.12 Диаграмма антиапексов. Дуга от апекса к антиапексу (отмечена) Гиад показывает траекторию движения центра скопления за последние 5 млн лет. Серыми точками обозначены положения афелиев комет из списка [44] 74
- 3.7 Звезды Гиад в плоскости XY и XZ в текущую эпоху. Черными точками показаны звезды центральной части скопления, находящиеся на расстоянии до 10 пк от центра (красная точка). Серыми точками показаны звезды шлейфов. 76
- 3.8 Положения звезд – членов Гиад в галактической системе координат по данным [123]. Зелеными точками показаны звезды Гиад, стрелками – проекции векторов их пространственной скорости. Красная линия – положения Солнца относительно скопления Гиады в разные моменты времени. Штрихами отмечены промежутки в 1 млн лет. 77

3.9 Сближения звезд скопления Гиады с Солнечной системой

(начальные данные о звездах взяты из каталога [122]). Красной линией показано движение центра скопления, орбита которого рассчитана по данным для Гиад по данным SIMBAD [124].

Черные точки показывают звезды центра скопления ($r < 10$ пк), серые - звезды шлейфов. Отмечены звезды с самым малым значением d_{min} : 1) Gaia DR2 3326367237777804544 $d_{min} = 2.11$ пк, 2) Gaia DR2 3131255252997637632 $d_{min} = 4.04$ пк и 3) Gaia DR2 3328617079087341440 $d_{min} = 6.33$ пк. 78

Список таблиц

1	Влияние шага интегрирования на результат вычисления $d_{\min}$ и $t_{\min}$ за время интегрирования 5 млрд лет.	16
2	Разность положений Солнца, King 11 и Гиады относительно ЦГ Δd (кпк) при движении в потенциалах MW и MW+Bar+SA . . .	20
3	Параметры скоплений, определенные для расчета $P(\mu)$	28
4	Полученные значения радиуса ядра r_c , центральной плотности звезд f_0 , фоновой плотности звезд f_{bg} для скоплений.	30
5	Данные для $n = 25$ звезд, использованных для расчета апекса скопления NGC 2158. Для звезд в колонке Our ID, помеченных (*), значение V_r было получено из каталога LAMOST DR5, для остальных звезд скорость получена из каталога Gaia DR2.	35
6	Данные для $n = 9$ звезд, для которых в каталоге Gaia DR3 были найдены значения лучевой скорости.	38
7	Входные параметры для интегрирования орбиты РЗС NGC 2158.	39
8	Входные параметры для интегрирования орбиты РЗС King 11.	40
9	Параметры орбиты РЗС NGC 2158.	46
10	Параметры орбиты РЗС King 11.	46
11	Полученные параметры скопления King 11 в сравнении с данными других авторов.	47
12	Полученные параметры скопления NGC 2158 в сравнении с данными других авторов.	48
13	Данные о РЗС из каталога MWSC.	51
14	Вычисленные параметры РЗС.	51
15	Параметры новых комет, рассматриваемых в данной работе.	52
16	Первые 5 строк каталога параметров сближений скоплений с Солнечной системой из каталога по [109].	56
17	Первые 5 строк каталога параметров сближений скоплений с Солнечной системой из каталога по [4].	56

18	Результаты моделирования сближений скоплений с Солнечной системой, где * - число звезд (N_{1st2} из MWSC) в случае отсутствия данных о массе скопления.	59
19	Оценки компонент пространственной скорости скопления Гиады по данным разных источников.	62
20	Оценки расстояния от Солнца скопления Гиады по данным разных авторов.	62
21	Координаты центра скопления в гелиоцентрической прямоугольной системе координат. В последней строке приведены координаты, полученные нами в процессе интегрирования. (r – расстояние звезды от центра скопления) [29].	62
22	Параметры скопления, использованные нами для инициализации интегрирования.	63
23	Положения и скорости скопления Гиады и Солнца в гелиоцентрической системе координат.	63
24	Звезды Гиад (в том числе шлейфов), максимально сближавшиеся с Солнечной системой.	66
25	Результаты расчетов параметров приближения отдельных звезд Гиад к Солнцу.	67
26	Каталог сближений Солнечной системы и РЗС [141]	111
27	Каталог сближений звезд Гиад. При $t_{min} = 0$ звезда имела минимальное сближение в текущую эпоху (при периоде исследования в 2 млн. лет)	118

Приложение А

Скрипт для расчета минимального расстояния d_{min} и соответствующего времени t_{min}

```

#libraries
import numpy as np
import pandas as pd
5 import astropy
import astropy.units as u
import astropy.coordinates as coord
from astropy.coordinates import SkyCoord
import galpy
10 from galpy.potential import MWPotential2014,
    ChandrasekharDynamicalFrictionForce
from galpy.orbit import Orbit
from galpy.potential import MiyamotoNagaiPotential
import galpy.potential
import galpy.orbit
15 import galpy.actionAngle
import galpy.df
import galpy.util

#upload data for Hyades stars catalog https://vizier.u-strasbg.
    fr/viz-bin/VizieR?-source=J/A%2BA/623/A35
20 data1 = pd.read_excel('Clusters data.xlsx', sheet_name='Lodieu
    2019')

#set an orbits with ScyCoord
ras = data1['RA_ICRS'].values
decs = data1['DE_ICRS'].values
dists = data1['d'].values
25 pmras = data1['pmRA'].values
pmdecs = data1['pmDE'].values
vlos = data1['RV'].values
op = SkyCoord(ra=ras*u.deg,dec=decs*u.deg,distance=dists*u.kpc,
    pm_ra_cosdec=pmras*u.mas/u.yr,
        pm_dec=pmdecs*u.mas/u.yr,radial_velocity=vlos*u.km
            /u.s)
30 hyades = Orbit(op)

```

```

#upload data for Soubiran OSC catalog http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR?-source=J/A+A/619/A155
data2 = pd.read_excel('Clusters data.xlsx', sheet_name='Soubiran
2018')
#set an orbits with galpy methods
5 ras = data2['RA_ICRS'].values
decs = data2['DE_ICRS'].values
dists = data2['d, kpc'].values
U = data2['U'].values
V = data2['V'].values
10 W = data2['W'].values
o1 = np.vstack([ras, decs, dists, U, V, W])
o = np.transpose(o1)
soubiran = Orbit(o, radec=True, uvw=True)

15 #upload data for Kharchenko OSC catalog https://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR-3?-source=J/A%2bA/543/A156/catal\_q2
data3 = pd.read_excel('Clusters data.xlsx', sheet_name='
Kharchenko 2013')
#set an orbits with ScyCoord
ras1 = data3['RA_ICRS'].values
decs1 = data3['DE_ICRS'].values
20 dists1 = data3['d'].values
pmras1 = data3['pmRA'].values
pmdecs1 = data3['pmDE'].values
vlos1 = data3['RV'].values
op1 = SkyCoord(ra=ras1*u.deg, dec=decs1*u.deg, distance=dists1*u.
kpc, pm_ra_cosdec=pmras1*u.mas/u.yr,
25 pm_dec=pmdecs1*u.mas/u.yr, radial_velocity=vlos1*u.
km/u.s)
kharchenko = Orbit(op1)

#Set the Sun orbit and time interval, and integrate with Runge-
Kutta method:
t = numpy.linspace(0., -0.002, 10000)*u.Gyr
30 sun = Orbit(vxvv=[0,0,0,0,0,0], radec=True, ro=8, vo=220)
sun.integrate(t, MWPotential2014, method='rk4_c')
hyades.integrate(t, MWPotential2014, method='rk4_c')
soubiran.integrate(t, MWPotential2014, method='rk4_c')
kharchenko.integrate(t, MWPotential2014, method='rk4_c')
35
#function as input takes sun and objects X Y Z-coords and
perform calculation of euclidian distance
#(see https://en.wikipedia.org/wiki/Euclidean\_distance)
#output is minimal distance in pc and corresponding time in Myr
#note that one should rename an output file for each set of
orbits to avoid overlapping of data

```

```

def dist(o):
    p = np.vstack([o.x(t) - sun.x(t), o.y(t) - sun.y(t),
                   o.z(t) - sun.z(t), t])
5    a = np.transpose(p)
    data=pd.DataFrame(a)
    data.columns = ['x', 'y', 'z', 't']
    data.reset_index()
    data['d'] = data.apply(lambda row: math.sqrt((row['x'])**2 +
10      (row['y'])**2 + (row['z'])**2)*1000, axis=1)
    data['t'] = data.apply(lambda row: row['t']*1000, axis=1)
    d = data['d'].min()
    idx = data['d'].idxmin()
    tmin = data.at[idx, 't']
    f = open('output.txt', 'a')
15    print(d, tmin, file=f)

#EXAMPLE: apply function to Hyades
#for another calculations rename an output file
for i in range(0, len(data), 1):
20    dist(hyades[i])

```

Приложение Б

Каталоги, составленные в диссертации

Б.1 Каталог сближений Солнечной системы и РЗС

Таблица 26 — Каталог сближений Солнечной системы и РЗС [141]

No	Name	d, pc	log t, Myr	No	Name	d, pc	log t, Myr
1	Mamajek 3	72.26	1.86	481	NGC 6823	1710.85	3.23
2	Alessi 13	76.29	1.88	482	Ruprecht 20	1716.4	3.23
3	IC 2602	81.45	1.91	483	NGC 6554	1727.43	3.24
4	Melotte 111	87	1.94	484	Stock 8	1731	3.24
5	Platais 8	88.71	1.95	485	NGC 6694	1743.42	3.24
6	Mamajek 1	91.54	1.96	486	IC 1442	1750	3.24
7	Feigelson 1	100	2	487	NGC 6583	1751.34	3.24
8	Platais 5	127.86	2.11	488	Haffner 14	1753.3	3.24
9	Melotte 22	127.97	2.11	489	IRAS 06567-0355	1760.06	3.25
10	NGC 2632	132.37	2.12	490	IC 4996	1764	3.25
11	NGC 2451A	135.04	2.13	491	NGC 5617	1769	3.25
12	IC 2391	143.97	2.16	492	Lynga 6	1771	3.25
13	Platais 3	156.48	2.19	493	NGC 6357	1773	3.25
14	Alessi 10	157.27	2.2	494	vdBergh-Hagen 261	1782.91	3.25
15	Platais 9	163.81	2.21	495	Cir OB1	1783	3.25
16	Mamajek 2	174	2.24	496	NGC 654	1786	3.25
17	Platais 2	174.42	2.24	497	Carraro 1	1789	3.25
18	Melotte 20	175	2.24	498	NGC 6871	1791	3.25
19	Ruprecht 147	178.16	2.25	499	NGC 6067	1793	3.25
20	ASCC 18	190.09	2.28	500	FSR 0991	1798.06	3.25
21	Collinder 132	193.19	2.29	501	NGC 7380	1800	3.26
22	Platais 4	211.48	2.33	502	NGC 6939	1800	3.26
23	ASCC 19	213.18	2.33	503	NGC 7789	1800	3.26
24	Alessi 9	218	2.34	504	Berkeley 17	1800	3.26
25	Collinder 65	221.23	2.34	505	ASCC 8	1801	3.26
26	NGC 1977	223.59	2.35	506	Collinder 268	1811	3.26
27	Platais 6	225.27	2.35	507	Dolidze 11	1813	3.26
28	NGC 2232	233.8	2.37	508	Cep OB5	1819	3.26
29	Blanco 1	239.33	2.38	509	NGC 5138	1819	3.26
30	Alessi 3	241.47	2.38	510	Ruprecht 79	1828.98	3.26
31	Sigma Ori	241.91	2.38	511	ASCC 93	1830	3.26
32	ASCC 16	244.95	2.39	512	IRAS 02232+6138	1835	3.26
33	NGC 1981	245.49	2.39	513	FSR 0850	1836	3.26
34	Platais 10	246	2.39	514	NGC 6830	1841	3.27
35	ASCC 123	250	2.4	515	NGC 2459	1843.83	3.27
36	Collinder 69	254.8	2.41	516	Pismis 16	1845.03	3.27
37	NGC 2516	277.22	2.44	517	Alessi 16	1848.43	3.27
38	ASCC 20	277.44	2.44	518	Koposov 12	1849.42	3.27
39	Collinder 70	278.61	2.44	519	ASCC 17	1850	3.27
40	Collinder 140	279.34	2.45	520	NGC 2384	1853.33	3.27
41	ASCC 21	280.05	2.45	521	NGC 6259	1855	3.27
42	Per OB2	287.89	2.46	522	IRAS 20286+4105	1863	3.27
43	NGC 2422	292.72	2.47	523	NGC 6604	1871.41	3.27
44	NGC 2547	293.79	2.47	524	Kronberger 1	1877.11	3.27
45	Collinder 135	294.67	2.47	525	NGC 3960	1884	3.28
46	Collinder 350	302	2.48	526	FSR 1709	1893	3.28
47	NGC 6475	303	2.48	527	ASCC 25	1899.8	3.28
48	ASCC 24	305.58	2.49	528	NGC 957	1900	3.28
49	NGC 7092	310	2.49	529	IRAS 18306-0500	1901.47	3.28
50	NGC 1976	310.4	2.49	530	DB2001 41	1904	3.28
51	ASCC 22	333.02	2.52	531	NGC 6989	1905	3.28
52	vdBergh-Hagen 23	336.84	2.53	532	Hogg 10	1920	3.28

продолжение следует

(продолжение)							
No	Name	d, pc	log t, Myr	No	Name	d, pc	log t, Myr
53	Turner 5	339.07	2.53	533	Frolov 1	1927.54	3.29
54	ASCC 100	350	2.54	534	ASCC 65	1934	3.29
55	IC 4665	352	2.55	535	Wit 1	1938.38	3.29
56	NGC 6405	356	2.55	536	Loden 306	1939	3.29
57	Alessi 5	359.9	2.56	537	DBSB 139	1950	3.29
58	ASCC 101	363	2.56	538	Melotte 101	1955.07	3.29
59	Trumpler 10	363.9	2.56	539	NGC 6755	1959.91	3.29
60	Stephenson 1	373	2.57	540	NGC 2355	1963.57	3.29
61	Haffner 13	383.77	2.58	541	NGC 4755	1971	3.29
62	NGC 6633	385	2.59	542	NGC 2818	1976.72	3.3
63	Mamajek 4	386	2.59	543	Mon OB3	1993.6	3.3
64	Ruprecht 43	387.69	2.59	544	NGC 3572	1997	3.3
65	NGC 1980	391.08	2.59	545	Basel 10	2000	3.3
66	Stock 2	399.62	2.6	546	NGC 188	2000	3.3
67	ASCC 127	400	2.6	547	ASCC 7	2000	3.3
68	Alessi 21	403.67	2.61	548	BDSB 46	2000	3.3
69	NGC 1901	406	2.61	549	Bochum 10	2017	3.3
70	IC 348	419.84	2.62	550	IRAS 20306+4005	2024	3.31
71	Stock 12	430	2.63	551	FSR 0891	2029.58	3.31
72	NGC 6882	432	2.64	552	DBSB 156	2031	3.31
73	NGC 2068	436.5	2.64	553	DBSB 164	2053	3.31
74	NGC 1662	437	2.64	554	Trumpler 17	2055.83	3.31
75	NGC 2451B	437.89	2.64	555	vdBergh 113	2056	3.31
76	NGC 2281	443.06	2.65	556	NGC 7686	2058.03	3.31
77	NGC 752	444.51	2.65	557	NGC 2489	2058.3	3.31
78	Pismis 4	446.95	2.65	558	Hogg 16	2059	3.31
79	Stock 23	450	2.65	559	Trumpler 13	2070	3.32
80	NGC 2527	452.33	2.66	560	Sh2 252C	2073.1	3.32
81	vdBergh-Hagen 164	452.8	2.66	561	FSR 0765	2084.59	3.32
82	NGC 3532	453.39	2.66	562	Loden 1409	2088	3.32
83	NGC 2396	456.34	2.66	563	Collinder 272	2095	3.32
84	Alessi 20	470	2.67	564	Roslund 4	2096	3.32
85	ASCC 48	473.42	2.68	565	IC 2944	2098	3.32
86	ASCC 44	473.51	2.68	566	NGC 663	2100	3.32
87	IC 4756	483	2.68	567	NGC 7419	2100	3.32
88	Platais 12	491	2.69	568	Ruprecht 80	2109.51	3.32
89	Ruprecht 64	492.78	2.69	569	Moffat 1	2120	3.33
90	ASCC 105	494	2.69	570	Trumpler 15	2120	3.33
91	Aveni-Hunter 1	500	2.7	571	DBSB 135	2120	3.33
92	Stock 10	500	2.7	572	DBSB 80	2132	3.33
93	vdBergh-Hagen 99	507.94	2.71	573	NGC 6404	2134.74	3.33
94	Roslund 5	508	2.71	574	Turner 11	2134.75	3.33
95	NGC 1039	510	2.71	575	NGC 6121	2138.18	3.33
96	NGC 6281	512	2.71	576	NGC 5606	2141	3.33
97	ASCC 89	520.13	2.72	577	ASCC 52	2147.29	3.33
98	Ruprecht 27	520.19	2.72	578	FSR 0852	2149	3.33
99	ASCC 5	523	2.72	579	Sh2 235B	2152	3.33
100	ASCC 106	525	2.72	580	NGC 4349	2155	3.33
101	Alessi 12	543	2.73	581	FSR 0909	2167	3.34
102	ASCC 43	544.73	2.74	582	S 242, Sh2 242	2167.87	3.34
103	B 35	544.75	2.74	583	NGC 6834	2173	3.34
104	ASCC 58	546.17	2.74	584	FSR 0417	2180	3.34
105	ASCC 4	550	2.74	585	DBSB 62	2187	3.34
106	Alessi 19	550	2.74	586	NGC 581	2199	3.34
107	NGC 2264	553.38	2.74	587	NGC 7788	2200	3.34
108	NGC 6124	559	2.75	588	NGC 7142	2200	3.34
109	IC 4725	561	2.75	589	King 5	2200	3.34
110	NGC 6991A	565	2.75	590	FSR 0410	2200	3.34
111	ASCC 125	569	2.76	591	NGC 559	2200	3.34
112	Dolidze 36	570.34	2.76	592	Melotte 105	2201.77	3.34
113	NGC 1647	572	2.76	593	Ruprecht 92	2211	3.34
114	NGC 3228	573	2.76	594	FSR 0273	2216.17	3.35
115	NGC 2548	575.9	2.76	595	IC 2581	2221	3.35
116	ESO 175-06	586	2.77	596	Basel 18	2226	3.35
117	Alessi 6	586.93	2.77	597	Melotte 71	2237.18	3.35
118	ASCC 114	590	2.77	598	IRAS 05100+3723	2237.8	3.35
119	IC 1396	600	2.78	599	FSR 0198	2237.96	3.35
120	Teutsch 39	600	2.78	600	Trumpler 14	2248	3.35
121	NGC 6828	603	2.78	601	NGC 6603	2254.83	3.35
122	Ruprecht 98	610	2.79	602	Pismis 17	2255	3.35

продолжение следует

(продолжение)							
No	Name	d, pc	log t, Myr	No	Name	d, pc	log t, Myr
123	NGC 2301	613.24	2.79	603	NGC 2453	2260.68	3.35
124	Loden 143	619	2.79	604	Bochum 11	2261	3.35
125	Trumpler 3	620	2.79	605	Haffner 26	2266.82	3.36
126	NGC 5662	625	2.8	606	IRAS 02541+6208	2273	3.36
127	ASCC 33	630.71	2.8	607	BDSB 37	2275	3.36
128	Collinder 95	635	2.8	608	NGC 6397	2288.3	3.36
129	IC 2395	636.7	2.8	609	Trumpler 9	2291	3.36
130	Collinder 359	640	2.81	610	NGC 869	2300	3.36
131	NGC 2071	640.8	2.81	611	Markarian 50	2300	3.36
132	NGC 2287	646.58	2.81	612	NGC 7128	2301	3.36
133	NGC 6494	648	2.81	613	NGC 637	2304	3.36
134	NGC 6716	649.31	2.81	614	NGC 2345	2309.25	3.36
135	ASCC 73	650	2.81	615	Markarian 38	2318	3.37
136	NGC 5460	652	2.81	616	ASCC 62	2322	3.37
137	DBSB 36	653.28	2.82	617	NGC 6819	2341.94	3.37
138	Loden 565	653.58	2.82	618	NGC 884	2345	3.37
139	NGC 1342	665	2.82	619	Collinder 228	2358	3.37
140	Cep OB3	668	2.82	620	NGC 3324	2361	3.37
141	Collinder 394	668	2.82	621	BDSB 107	2378	3.38
142	Trumpler 2	670	2.83	622	DBSB 113	2382	3.38
143	Loden 1194	670.81	2.83	623	DBSB 27	2396.23	3.38
144	ASCC 107	672	2.83	624	Trumpler 1	2399	3.38
145	ASCC 99	679	2.83	625	IC 1590	2400	3.38
146	NGC 6738	686	2.84	626	NGC 457	2400	3.38
147	NGC 2430	694.16	2.84	627	King 12	2400	3.38
148	ASCC 122	700	2.85	628	Stock 17	2400	3.38
149	Loden 807	703	2.85	629	NGC 3201	2400.14	3.38
150	Loden 915	709	2.85	630	Kronberger 74	2405	3.38
151	NGC 2925	713.39	2.85	631	FSR 0876	2406.61	3.38
152	NGC 2423	716.31	2.86	632	DBSB 94	2422	3.38
153	Loden 682	731	2.86	633	Haffner 16	2423.87	3.38
154	ASCC 94	731	2.86	634	Dolidze 25	2426.99	3.39
155	Collinder 197	731.4	2.86	635	Sh2 88B	2431.87	3.39
156	Roslund 7	736	2.87	636	FSR 0762	2433.24	3.39
157	Alessi 1	736.45	2.87	637	NGC 3293	2441	3.39
158	vdBergh-Hagen 56	737	2.87	638	Stock 14	2454	3.39
159	ASCC 86	738	2.87	639	Bochum 2	2463.06	3.39
160	NGC 2682	738.66	2.87	640	BDSB 90	2464.72	3.39
161	NGC 6639	739.05	2.87	641	Cyg OB4	2471	3.39
162	ASCC 47	742.84	2.87	642	Bochum 12	2485	3.4
163	ASCC 115	750	2.88	643	NGC 6561	2488	3.4
164	Collinder 236	754.48	2.88	644	DBSB 46	2498.7	3.4
165	ASCC 96	759	2.88	645	BDSB 44	2500	3.4
166	Loden 189	761.02	2.88	646	Czernik 43	2500	3.4
167	NGC 2546	761.53	2.88	647	Czernik 45	2501	3.4
168	ASCC 29	761.58	2.88	648	NGC 103	2501	3.4
169	NGC 6025	763	2.88	649	Waterloo 7	2520.38	3.4
170	NGC 6416	767	2.88	650	DBSB 5	2540.32	3.4
171	ASCC 50	769	2.89	651	Pismis 2	2542.15	3.41
172	ASCC 69	769.91	2.89	652	NGC 2414	2544.99	3.41
173	IC 5146	770	2.89	653	FSR 1412	2552.57	3.41
174	Ruprecht 145	770	2.89	654	Haffner 18	2556.61	3.41
175	ASCC 104	774	2.89	655	NGC 2420	2573.74	3.41
176	ASCC 85	781.98	2.89	656	Ruprecht 47	2578.48	3.41
177	Bochum 4	788.14	2.9	657	NGC 2627	2590	3.41
178	vdBergh-Hagen 221	789.03	2.9	658	Cas OB7	2600	3.41
179	NGC 5822	794	2.9	659	DBSB 177	2601	3.42
180	NGC 1746	797.95	2.9	660	NGC 6451	2605	3.42
181	ASCC 13	800	2.9	661	Mon OB1-D	2611.78	3.42
182	Pismis-Moreno 1	800	2.9	662	DBSB 115	2628	3.42
183	NGC 7160	800	2.9	663	Loden 821	2642	3.42
184	Collinder 463	800	2.9	664	Ivanov 9	2644.78	3.42
185	ASCC 98	800	2.9	665	BDSB 127	2647.89	3.42
186	ESO 130-08	800	2.9	666	ASCC 70	2652	3.42
187	NGC 2112	814.87	2.91	667	Trumpler 16	2671	3.43
188	NGC 2168	830	2.92	668	FSR 1666	2677	3.43
189	NGC 6940	831.92	2.92	669	Ruprecht 90	2682	3.43
190	vdBergh-Hagen 34	834.83	2.92	670	Collinder 261	2683	3.43
191	ASCC 11	836.68	2.92	671	ASCC 63	2686	3.43
192	ASCC 28	837	2.92	672	FSR 0860	2695	3.43

продолжение следует

(продолжение)							
No	Name	d, pc	log t, Myr	No	Name	d, pc	log t, Myr
193	Kronberger 59	844	2.93	673	Sco OB5	2695	3.43
194	NGC 7243	850	2.93	674	NGC 7235	2700	3.43
195	NGC 225	850	2.93	675	ASCC 121	2701	3.43
196	Stock 7	850	2.93	676	NGC 2354	2706.77	3.43
197	Turner 9	852	2.93	677	IRAS 02044+6031	2735	3.44
198	ASCC 110	852	2.93	678	NGC 2660	2742.25	3.44
199	FSR 1268	853.96	2.93	679	Wit 2	2747.69	3.44
200	ASCC 79	858.61	2.93	680	NGC 2248	2748.56	3.44
201	NGC 1545	863	2.94	681	NGC 2533	2770.98	3.44
202	NGC 2252	864.04	2.94	682	ASCC 45	2783.8	3.44
203	Johansson 1	869	2.94	683	NGC 2194	2788.75	3.45
204	FSR 1351	869.44	2.94	684	IC 2948	2789.57	3.45
205	Collinder 419	871	2.94	685	Berkeley 69	2795.93	3.45
206	NGC 1027	876.38	2.94	686	Hogg 22	2799	3.45
207	NGC 2323	879.08	2.94	687	B 217	2800	3.45
208	Bica 6	879.65	2.94	688	Cas OB2	2800	3.45
209	ASCC 84	884	2.95	689	Negueruela 1	2800	3.45
210	NGC 3033	886.98	2.95	690	NGC 7538	2800	3.45
211	IC 4651	888	2.95	691	Cam OB3	2801	3.45
212	NGC 6087	889	2.95	692	King 4	2801	3.45
213	NGC 6134	892	2.95	693	Kharchenko 1	2810.55	3.45
214	ASCC 126	900	2.95	694	DBSB 125	2815.22	3.45
215	Collinder 89	901.33	2.95	695	Hogg 15	2819.09	3.45
216	Barkhatova 1	912	2.96	696	Turner 8	2825.04	3.45
217	NGC 6208	926	2.97	697	King 11	2850	3.45
218	NGC 3680	929.28	2.97	698	IRAS 23151+5912	2900	3.46
219	Antalova 1	930	2.97	699	NGC 7790	2900	3.46
220	NGC 2169	930.84	2.97	700	ASCC 9	2901	3.46
221	Lynga 2	932	2.97	701	Bochum 1	2903.45	3.46
222	NGC 2447	933.69	2.97	702	ESO 332-13	2910	3.46
223	NGC 6546	938	2.97	703	Koposov 43	2913.68	3.46
224	NGC 6250	940	2.97	704	Ruprecht 94	2917.21	3.46
225	Ruprecht 161	940.17	2.97	705	DBSB 133	2927	3.47
226	NGC 3114	944	2.97	706	vdBergh-Hagen 121	2937	3.47
227	NGC 2448	944.2	2.98	707	ASCC 75	2948	3.47
228	Collinder 121	945.06	2.98	708	FSR 0773	2955.9	3.47
229	Dol-Dzim 6	946	2.98	709	FSR 0883	2977	3.47
230	Loden 1010	949	2.98	710	Teutsch 45	2999	3.48
231	NGC 1528	950	2.98	711	NGC 6544	3000	3.48
232	ASCC 26	951.17	2.98	712	Cas OB1	3000	3.48
233	NGC 2343	956.42	2.98	713	NGC 436	3000	3.48
234	FSR 0414	957	2.98	714	NGC 1245	3000	3.48
235	Dolidze 5	969	2.99	715	Loden 153	3015	3.48
236	FSR 1485	977.39	2.99	716	Ruprecht 162	3015.1	3.48
237	NGC 1582	981.3	2.99	717	E 3	3020.72	3.48
238	NGC 6169	985.5	2.99	718	ESO 065-03	3047	3.48
239	NGC 2669	993.45	3	719	NGC 2506	3092.65	3.49
240	Berkeley 59	1000	3	720	SAI 6	3100	3.49
241	NGC 7438	1000	3	721	BDSB 164	3135	3.5
242	SAI 24	1000	3	722	Ruprecht 55	3153.98	3.5
243	NGC 6178	1004.91	3	723	NGC 7044	3171	3.5
244	NGC 2183	1005.34	3	724	NGC 6656	3198	3.5
245	Collinder 96	1006.1	3	725	PTB 3	3220	3.51
246	Collinder 33	1011.56	3	726	Ruprecht 141	3268.16	3.51
247	NGC 6425	1012	3.01	727	NGC 1893	3300	3.52
248	Latham 1	1015	3.01	728	Trumpler 20	3311	3.52
249	NGC 1502	1023	3.01	729	NGC 2204	3354.46	3.53
250	ASCC 76	1025	3.01	730	DBSB 159	3358	3.53
251	NGC 2467	1028.59	3.01	731	DBSB 83	3360	3.53
252	ASCC 118	1033	3.01	732	Berkeley 81	3386.59	3.53
253	NGC 1664	1038.88	3.02	733	IRAS 15015-5720	3391	3.53
254	Collinder 111	1039.14	3.02	734	FSR 0161	3452.73	3.54
255	FSR 0849	1062.72	3.03	735	IRAS 02575+6017	3465	3.54
256	FSR 0929	1071.33	3.03	736	1636-283	3489.37	3.54
257	NGC 2353	1072.81	3.03	737	DBSB 106	3490	3.54
258	Kronberger 72	1073	3.03	738	Ruprecht 135	3497	3.54
259	FSR 0254	1073	3.03	739	BDSB 68	3497	3.54
260	FSR 0686	1073	3.03	740	NGC 6366	3503	3.54
261	NGC 6709	1075	3.03	741	Platais 1	3508	3.55
262	DBSB 101	1076	3.03	742	NGC 2439	3514.91	3.55

продолжение следует

(продолжение)							
No	Name	d, pc	log t, Myr	No	Name	d, pc	log t, Myr
263	Sco OB4	1082	3.03	743	NGC 2324	3655.95	3.56
264	NGC 6204	1085	3.04	744	NGC 2304	3712.46	3.57
265	Ruprecht 91	1087.71	3.04	745	NGC 2467-east	3754.52	3.57
266	NGC 6322	1089	3.04	746	NGC 6885	3761.34	3.58
267	NGC 6514	1093	3.04	747	FSR 1735	3762.41	3.58
268	NGC 7031	1094.79	3.04	748	SAI 94	3796.21	3.58
269	Berkeley 14A	1096.86	3.04	749	DBSB 175	3798	3.58
270	NGC 2539	1099.68	3.04	750	NGC 2425	3821.71	3.58
271	NGC 743	1100	3.04	751	Bica 4	3892.7	3.59
272	ASCC 14	1100	3.04	752	DBSB 157	3917	3.59
273	Stock 5	1100	3.04	753	Ruprecht 59	3993.01	3.6
274	NGC 6268	1105	3.04	754	NGC 6838	3999	3.6
275	Ruprecht 119	1105	3.04	755	FSR 0741	4000	3.6
276	NGC 4852	1106	3.04	756	NGC 6752	4002	3.6
277	BDSB 73	1110	3.05	757	Ruprecht 32	4010.17	3.6
278	NGC 6249	1113	3.05	758	NGC 5139	4080.27	3.61
279	NGC 4463	1115	3.05	759	Teutsch 143a	4152.5	3.62
280	ASCC 60	1122	3.05	760	NGC 6254	4160.97	3.62
281	Berkeley 82	1125	3.05	761	NGC 2141	4174.5	3.62
282	NGC 6910	1127	3.05	762	NGC 2243	4192.8	3.62
283	NGC 6334	1132	3.05	763	DBSB 149	4204	3.62
284	IC 2488	1138	3.06	764	BDSB 114	4226.31	3.63
285	NGC 2215	1141	3.06	765	Haffner 19	4287.19	3.63
286	Biurakan 2	1142	3.06	766	Alicante 1	4299	3.63
287	NGC 1912	1143.76	3.06	767	DBSB 102	4362	3.64
288	NGC 2482	1156.68	3.06	768	Ruprecht 4	4374.46	3.64
289	NGC 6193	1158	3.06	769	Berkeley 78	4403.19	3.64
290	FSR 0777	1165.12	3.07	770	Berkeley 33	4411.26	3.64
291	NGC 2428	1165.37	3.07	771	Melotte 66	4425.99	3.65
292	NGC 6396	1168	3.07	772	Terzan 12	4463.22	3.65
293	FSR 1418	1168.82	3.07	773	DBSB 72	4494	3.65
294	Collinder 367	1170	3.07	774	King 8	4500	3.65
295	FSR 0052	1171.42	3.07	775	NGC 104	4501	3.65
296	NGC 6913	1173	3.07	776	Berkeley 32	4517.62	3.65
297	Pismis 21	1174	3.07	777	DBSB 75	4531.24	3.66
298	Collinder 97	1179.79	3.07	778	DBSB 78	4569	3.66
299	NGC 6383	1181.4	3.07	779	Berkeley 39	4580.35	3.66
300	Dutra-Bica 58	1182	3.07	780	W 43	4611.96	3.66
301	NGC 1817	1183.53	3.07	781	BDSB 113	4643.8	3.67
302	NGC 6242	1184	3.07	782	NGC 6809	4651.98	3.67
303	NGC 5823	1189	3.08	783	NGC 2158	4669.84	3.67
304	NGC 6531	1194	3.08	784	Pismis 11	4767	3.68
305	ESO 130-06	1198	3.08	785	NGC 6218	4797	3.68
306	Riddle 6	1198	3.08	786	IC 166	4801	3.68
307	NGC 381	1200	3.08	787	IC 1276	4839.62	3.68
308	NGC 1960	1200	3.08	788	NGC 6791	4926	3.69
309	NGC 2571	1204.48	3.08	789	SBB 2	4938	3.69
310	NGC 5316	1208	3.08	790	Berkeley 99	4999	3.7
311	ASCC 71	1209	3.08	791	Berkeley 22	5073.13	3.71
312	NGC 6811	1210.75	3.08	792	Skiff J0507+30.8	5091.11	3.71
313	NGC 5281	1211	3.08	793	BDSB 165	5147	3.71
314	NGC 6613	1213	3.08	794	BDSB 137	5159.63	3.71
315	NGC 4609	1215.09	3.08	795	Palomar 6	5247.21	3.72
316	NGC 6167	1216	3.08	796	Teutsch 11	5249.92	3.72
317	NGC 2579	1216.31	3.09	797	DBSB 137	5276	3.72
318	NGC 2270	1223.04	3.09	798	BDSB 116	5281.51	3.72
319	NGC 2437	1223.2	3.09	799	NGC 6540	5301	3.72
320	IC 2714	1224	3.09	800	BDSB 151	5301.12	3.72
321	NGC 2362	1226.22	3.09	801	DBSB 77	5417	3.73
322	Collinder 258	1236.04	3.09	802	Berkeley 14	5457.16	3.74
323	FSR 0222	1238	3.09	803	NGC 6626	5490.93	3.74
324	Berkeley 87	1239	3.09	804	King 2	5499	3.74
325	Ruprecht 121	1239	3.09	805	BDSB 141	5524.87	3.74
326	NGC 3036	1240.95	3.09	806	NGC 6352	5610	3.75
327	Ruprecht 110	1241	3.09	807	NGC 4372	5640.43	3.75
328	Ruprecht 76	1245.53	3.1	808	NGC 4833	5650.18	3.75
329	NGC 7209	1250	3.1	809	BDSB 139	5650.88	3.75
330	NGC 7772	1250	3.1	810	Berkeley 21	5694.59	3.76
331	NGC 2664	1251.42	3.1	811	BDSB 143	5749.28	3.76
332	LDN 1495W	1254.49	3.1	812	NGC 1883	5752	3.76

продолжение следует

(продолжение)							
No	Name	d, pc	log t, Myr	No	Name	d, pc	log t, Myr
333	NGC 6866	1254.5	3.1	813	FSR 0404	5763	3.76
334	Dolidze 28	1257.88	3.1	814	Berkeley 18	5800	3.76
335	NGC 2670	1261.29	3.1	815	Bochum 7	5832.41	3.77
336	NGC 2374	1262	3.1	816	Berkeley 75	5849.62	3.77
337	Trumpler 27	1266	3.1	817	IRAS 06562-0337	5856.82	3.77
338	Trumpler 21	1270	3.1	818	Palomar 10	5894	3.77
339	Trumpler 35	1273	3.1	819	IC 1311	5895	3.77
340	NGC 6031	1278	3.11	820	NGC 6304	5904	3.77
341	ASCC 80	1281	3.11	821	Tombaugh 2	5950.9	3.77
342	Trumpler 33	1282	3.11	822	DBSB 48	5975.9	3.78
343	Dias 5	1289	3.11	823	NGC 6553	6000	3.78
344	Turner 2	1290	3.11	824	NGC 1193	6000	3.78
345	ASCC 88	1296.03	3.11	825	Berkeley 31	6017.5	3.78
346	Ruprecht 164	1297	3.11	826	BDSB 136	6067.81	3.78
347	NGC 1444	1298.34	3.11	827	Terzan 1	6292.45	3.8
348	NGC 7082	1300	3.11	828	Terzan 6	6304.92	3.8
349	NGC 1496	1300	3.11	829	DBSB 161	6353	3.8
350	NGC 6618	1308	3.12	830	BDSB 125	6369.2	3.8
351	Lynga 1	1312	3.12	831	NGC 6171	6397	3.81
352	Terzan 10	1320.99	3.12	832	BDSB 121	6468.47	3.81
353	Dolidze 32	1324.42	3.12	833	DBSB 153	6497	3.81
354	Ruprecht 151	1327.52	3.12	834	DBSB 136	6581	3.82
355	NGC 2251	1329	3.12	835	NGC 6333	6718.95	3.83
356	Bochum 13	1340	3.13	836	DBSB 171	6764	3.83
357	Ruprecht 18	1340.81	3.13	837	NGC 6266	6805	3.83
358	Ruprecht 67	1342	3.13	838	NGC 6535	6806	3.83
359	Collinder 223	1346.58	3.13	839	Terzan 5	6900	3.84
360	Collinder 107	1349.58	3.13	840	NGC 6712	6905	3.84
361	Tombaugh 5	1350	3.13	841	Terzan 9	6967.61	3.84
362	ASCC 6	1350	3.13	842	NGC 6717	6973.98	3.84
363	NGC 7654	1350	3.13	843	NGC 6528	6989.28	3.84
364	NGC 2186	1352.52	3.13	844	NGC 3603	6991.61	3.84
365	DBSB 40	1358	3.13	845	Berkeley 66	7002	3.85
366	NGC 3496	1359	3.13	846	IRAS 21388+5622	7061	3.85
367	Stock 3	1363	3.13	847	NGC 6205	7107	3.85
368	NGC 6530	1365	3.14	848	BDSB 117	7113.1	3.85
369	Ruprecht 26	1368.11	3.14	849	FSR 0406	7154	3.85
370	Collinder 205	1368.89	3.14	850	Terzan 4	7198	3.86
371	NGC 2335	1376.03	3.14	851	vdBergh-Hagen 144	7216.06	3.86
372	Dolidze 53	1378.15	3.14	852	Terzan 2	7219.04	3.86
373	NGC 6883	1380	3.14	853	NGC 6760	7400	3.87
374	Lynga 15	1380	3.14	854	NGC 6558	7411	3.87
375	Basel 8	1388.89	3.14	855	NGC 5904	7412.84	3.87
376	NGC 2099	1389.77	3.14	856	2MS-GC02	7436	3.87
377	NGC 2383	1390.15	3.14	857	Berkeley 73	7461.65	3.87
378	Turner 3	1392	3.14	858	NGC 6541	7499	3.88
379	NGC 6231	1393	3.14	859	DBSB 178	7506	3.88
380	Muzzio 1	1394	3.14	860	BDSB 124	7511.2	3.88
381	NGC 1513	1400	3.15	861	NGC 6362	7586.89	3.88
382	vdBergh 1	1401.94	3.15	862	NGC 362	7621.86	3.88
383	Dolidze 34	1403.27	3.15	863	NGC 5927	7699	3.89
384	NGC 5155	1404	3.15	864	NGC 6522	7702	3.89
385	NGC 2477	1404.74	3.15	865	Pfleiderer 4	7722	3.89
386	Loden 624	1408.99	3.15	866	NGC 6539	7736.84	3.89
387	NGC 2244	1410.19	3.15	867	NGC 6342	7766.55	3.89
388	Dolidze 1	1412.62	3.15	868	NGC 6325	7776.83	3.89
389	DB2001 16	1413	3.15	869	vdBergh-Hagen 229	7786.81	3.89
390	FSR 0253	1414	3.15	870	NGC 6624	7787.14	3.89
391	Feinstein 1	1414	3.15	871	NGC 6681	7876.89	3.9
392	FSR 0596	1417	3.15	872	NGC 6749	7902	3.9
393	FSR 0304	1418.56	3.15	873	NGC 6144	7923.97	3.9
394	FSR 0951	1418.75	3.15	874	NGC 6273	7993.09	3.9
395	Trumpler 18	1422	3.15	875	NGC 6642	8089	3.91
396	BDSB 3	1428.46	3.15	876	Berkeley 20	8106.21	3.91
397	Mayer 1	1430	3.16	877	NGC 7099	8109	3.91
398	Ruprecht 127	1435	3.16	878	Pismis 26	8201	3.91
399	Harvard 10	1441	3.16	879	Terzan 3	8205	3.91
400	Collinder 106	1447.63	3.16	880	NGC 6341	8292	3.92
401	DBSB 103	1449	3.16	881	NGC 6637	8434.88	3.93
402	NGC 2360	1452.61	3.16	882	NGC 6440	8492	3.93

продолжение следует

(продолжение)							
No	Name	d, pc	log t, Myr	No	Name	d, pc	log t, Myr
403	Ruprecht 107	1454	3.16	883	NGC 6723	8703	3.94
404	Feibelman 1	1457	3.16	884	Lynga 7	8782.3	3.94
405	Trumpler 28	1459.66	3.16	885	IRAS 05553+1631	8875.62	3.95
406	Collinder 220	1465	3.17	886	NGC 288	8912	3.95
407	Collinder 91	1467	3.17	887	NGC 2808	9071.88	3.96
408	Sct OB3	1471.23	3.17	888	NGC 6355	9201	3.96
409	NGC 6520	1472	3.17	889	NGC 6638	9275.51	3.97
410	Loden 995	1481	3.17	890	NGC 6402	9298	3.97
411	Sgr OB7	1481	3.17	891	NGC 6287	9400	3.97
412	NGC 2240	1484.09	3.17	892	NGC 6779	9403	3.97
413	Djorg 2	1487.14	3.17	893	NGC 6388	9459.05	3.98
414	NGC 1778	1488.8	3.17	894	NGC 6293	9474	3.98
415	Trumpler 26	1490	3.17	895	NGC 6316	9906.86	4
416	NGC 2567	1490.87	3.17	896	NGC 6093	9913.49	4
417	vdBergh 92	1491.57	3.17	897	NGC 6652	9999	4
418	ASCC 117	1500	3.18	898	NGC 6139	10106.29	4
419	ASCC 67	1500	3.18	899	NGC 2298	10122.15	4.01
420	ASCC 120	1500	3.18	900	NGC 5272	10194	4.01
421	ASCC 116	1500	3.18	901	Kronberger 85	10266.9	4.01
422	ESO 139-13	1500	3.18	902	NGC 5986	10276.7	4.01
423	IC 1848	1500	3.18	903	NGC 4590	10296	4.01
424	Pismis 20	1501	3.18	904	NGC 6256	10296	4.01
425	ASCC 37	1503.08	3.18	905	NGC 7078	10392	4.02
426	Trumpler 7	1504.69	3.18	906	NGC 5946	10424.41	4.02
427	NGC 6253	1511	3.18	907	NGC 1851	10503.94	4.02
428	Loden 402	1513	3.18	908	NGC 6401	10598	4.03
429	Ruprecht 129	1521.71	3.18	909	NGC 6517	10600	4.03
430	NGC 2432	1522.55	3.18	910	Berkeley 29	10745.37	4.03
431	Pup OB3	1524.96	3.18	911	NGC 6380	10745.58	4.03
432	Loden 694	1527	3.18	912	Berkeley 25	10770.46	4.03
433	DBSB 140	1535	3.19	913	NGC 6569	10856.33	4.04
434	vdBergh-Hagen 205	1536	3.19	914	NGC 6235	11134.78	4.05
435	Ruprecht 97	1537	3.19	915	NGC 6496	11307	4.05
436	ASCC 3	1550	3.19	916	NGC 6441	11384.67	4.06
437	NGC 7039	1550	3.19	917	NGC 5286	11500.09	4.06
438	NGC 2367	1558.81	3.19	918	NGC 7089	11507	4.06
439	NGC 6649	1564	3.19	919	NGC 6453	11611	4.06
440	NGC 2175	1570.06	3.2	920	NGC 1904	11866.68	4.07
441	NGC 6611	1575.01	3.2	921	NGC 5897	11956.63	4.08
442	Stock 13	1576.8	3.2	922	NGC 6584	12389.44	4.09
443	Harvard 20	1579.68	3.2	923	Palomar 8	12801	4.11
444	Biurakan 1	1580	3.2	924	Palomar 11	13412	4.13
445	ASCC 111	1580	3.2	925	NGC 6101	13506.04	4.13
446	Roslund 3	1582	3.2	926	Saurer 1	13510.38	4.13
447	Bochum 5	1582.06	3.2	927	ESO 093-08	13662.72	4.14
448	Ruprecht 93	1592	3.2	928	vdBergh-Hagen 176	13666.85	4.14
449	Cyg OB2	1593	3.2	929	Djorg 1	13682	4.14
450	Sgr OB6	1594	3.2	930	NGC 6356	13762.41	4.14
451	NGC 1907	1600	3.2	931	NGC 6284	15066.74	4.18
452	NGC 7086	1600	3.2	932	NGC 5466	15471.37	4.19
453	FSR 0697	1600	3.2	933	NGC 6934	15606	4.19
454	ASCC 1	1600	3.2	934	NGC 1261	16171.84	4.21
455	SAI 4	1600	3.2	935	ESO-SC06	16315.89	4.21
456	FSR 1535	1602	3.2	936	NGC 6981	16997	4.23
457	NGC 2129	1605.3	3.21	937	Koposov 2	17185.53	4.24
458	NGC 6705	1612.5	3.21	938	NGC 5053	17325.36	4.24
459	Pismis 6	1613.21	3.21	939	NGC 5024	17892	4.25
460	NGC 6192	1619	3.21	940	Palomar 12	18785.4	4.27
461	Stock 16	1630	3.21	941	IC 4499	18787.68	4.27
462	Czernik 4	1632	3.21	942	NGC 4147	18836.27	4.27
463	Loden 481	1634	3.21	943	NGC 6426	20598	4.31
464	NGC 6664	1637.49	3.21	944	NGC 6864	20897	4.32
465	NGC 433	1650	3.22	945	Ruprecht 106	21213	4.33
466	Berkeley 86	1653	3.22	946	Terzan 7	22556.89	4.35
467	NGC 4103	1659	3.22	947	Palomar 5	23195	4.37
468	NGC 3590	1660	3.22	948	IC 1257	25002	4.4
469	NGC 5045	1662	3.22	949	NGC 5634	25214	4.4
470	FSR 0866	1663.78	3.22	950	Terzan 8	25564.27	4.41
471	Hogg 12	1664	3.22	951	NGC 6715	26238.3	4.42
472	FSR 1245	1667.03	3.22	952	NGC 7492	26303	4.42

продолжение следует

(продолжение)							
No	Name	d, pc	log t, Myr	No	Name	d, pc	log t, Myr
473	Roslund 2	1668	3.22	953	Palomar 2	27198	4.43
474	DBSB 116	1669	3.22	954	Arp 2	28069.34	4.45
475	NGC 2972	1684.74	3.23	955	NGC 6229	30502	4.48
476	NGC 3766	1685	3.23	956	NGC 5824	32114	4.51
477	NGC 129	1685	3.23	957	NGC 5694	34992	4.54
478	ASCC 64	1695.6	3.23	958	NGC 7006	41177	4.61
479	IC 1805	1700	3.23	959	Palomar 15	44579.93	4.65
480	DBSB 174	1710	3.23	960	NGC 2419	82535	1

Б.2 Каталог сближений Солнечной системы и звезд скопления Гиады по данным Gaia EDR3

Таблица 27 — Каталог сближений звезд Гиад. При $t_{min} = 0$ звезда имела минимальное сближение в текущую эпоху (при периоде исследования в 2 млн. лет)

GEDR3 id	Type	d_{min} , пк	t_{min} , млн.лет	GEDR3 id	Type	d_{min} , пк	t_{min} , млн.лет
3328617079087341440	Tail	6.272	-1.594	3315967541404032896	Tail	9.065	-1.253
3336095678002851456	Tail	10.367	-1.091	3121107276069392000	Tail	14.344	-1.705
3210444215030339584	Tail	14.535	-0.83	3220356793391858560	Tail	14.755	-0.917
3122263962301803904	Tail	14.839	-1.959	3024891594801681536	Tail	14.982	-1.625
3339344704798578944	Tail	16.006	-1.237	3309493720019304576	Core	16.171	-0.755
3391728565481255040	Core	16.26	-0.818	3329919171435509120	Tail	16.583	-2
3406103958460672768	Tail	16.673	-0.694	3387381646261643776	Tail	17.077	-1.117
3393094021484216192	Core	17.148	-0.871	3025295321725752576	Tail	17.153	-1.351
3224052178957682816	Tail	17.305	-1.561	3387573300585597184	Tail	17.429	-1.138
3180473452202805632	Tail	17.526	-0.632	3291495436226226688	Core	17.569	-0.878
3288784006192725248	Tail	17.896	-0.774	3393284752392701312	Core	18.575	-0.867
927044849479434880	Tail	18.809	-0.483	3339182389394565760	Tail	18.965	-1.365
3395542393360089728	Tail	19.108	-1.032	3395542393360089728	Tail	19.108	-1.032
3005365436521545856	Tail	19.129	-1.266	3413223227530503168	Core	19.339	-0.928
3241952369992171904	Tail	19.347	-1.149	3402351561497574016	Tail	19.554	-1.058
3281064262038614912	Tail	19.591	-0.858	3283285795218796800	Tail	19.836	-0.669
3404798597640071296	Core	19.998	-0.833	3239389683266590208	Tail	20.065	-1.004
3307992336891315968	Core	20.09	-0.813	2998941402398201984	Tail	20.092	-1.188
3412605297699792512	Core	20.199	-0.785	3406786445943961088	Core	20.203	-0.871
3388382060107608832	Tail	20.319	-0.959	3308127405023027328	Core	20.419	-0.839
3300315443626902016	Tail	20.435	-0.624	3406380176397987200	Core	20.527	-0.867
3391712038447198080	Tail	20.585	-1.062	3406823245223942528	Core	20.592	-0.853
3223884404650487040	Tail	20.655	-1.634	3395542393361639424	Tail	20.754	-1.04
3395542393361639424	Tail	20.754	-1.04	3396115651237421312	Tail	20.864	-1.522
3285426613077584384	Tail	21.002	-0.78	3407121831350730112	Tail	21.03	-1.041
3308896238528440448	Core	21.096	-0.904	3307489031146701696	Core	21.136	-0.788
957362817463946496	Tail	21.323	-0.634	3404812685132622592	Core	21.52	-0.934
3338528764090225024	Tail	21.605	-1.371	3312921378798754304	Core	21.651	-0.765
3405909374965722368	Core	21.666	-0.905	3295883999449691264	Core	21.742	-0.88
3405113740864365440	Core	21.743	-0.916	3407518510233429248	Tail	21.746	-1.02
3392446821452424192	Tail	21.763	-1.053	3405988677241799040	Core	21.935	-0.934
3294522907134516864	Tail	21.965	-0.994	146687018788948224	Core	22.081	-0.784
3409855590918086400	Tail	22.2	-0.972	3409855590918086400	Tail	22.2	-0.972
3337480688992285952	Tail	22.259	-1.529	47485609397541632	Tail	22.432	-0.729
3310820624394671488	Core	22.438	-0.782	3306856541379219456	Core	22.449	-0.791
3007876270106126976	Tail	22.544	-1.891	144377803854541184	Core	22.568	-0.775
3392422013721349632	Tail	22.607	-1.078	3282171749421655168	Tail	22.614	-0.893
3312025586059836928	Tail	22.663	-0.739	3312960205303089664	Core	22.747	-0.801
3312575685471393664	Core	22.759	-0.848	3406943091991364608	Tail	22.769	-0.956
3312613000147191808	Core	22.801	-0.842	3312564037520033792	Core	22.901	-0.828

продолжение следует

(продолжение)							
GEDR3 id	Type	d_{min} , пк	t_{min} , млн.лет	GEDR3 id	Type	d_{min} , пк	t_{min} , млн.лет
3305871825637254912	Core	22.909	-0.857	146677879098433152	Core	23.008	-0.781
3312644885984344704	Core	23.015	-0.854	3307844864892259328	Core	23.037	-0.861
3312899491645515776	Core	23.193	-0.846	3312951748510907648	Core	23.312	-0.821
11037726649058432	Tail	23.334	-0.454	3306922958753764992	Core	23.376	-0.827
47068207297219584	Tail	23.4	-0.655	3240642989083186048	Tail	23.489	-1.357
144534724778235392	Core	23.491	-0.763	3312842042162993536	Core	23.549	-0.808
146989143968434688	Core	23.574	-0.852	3313778207594395392	Core	23.658	-0.815
3314213025787054592	Core	23.766	-0.818	3277270538903180160	Tail	23.847	-0.582
3406431406767566464	Tail	23.906	-1.078	3295878703753707136	Tail	24.008	-0.979
145373377272257664	Core	24.013	-0.758	117654650480415744	Tail	24.022	-0.444
45968901826385024	Tail	24.053	-0.674	3307844864893938304	Core	24.158	-0.865
3313653894061044224	Core	24.242	-0.83	3313259169388356608	Core	24.256	-0.883
144171233106399104	Core	24.358	-0.816	148867315986268672	Core	24.374	-0.746
3312709379213017728	Core	24.437	-0.851	3313689422030650496	Core	24.448	-0.833
3314212068010812032	Core	24.493	-0.833	3410453489023420416	Core	24.533	-0.861
3311148828615843328	Core	24.551	-0.836	3307645131734449408	Core	24.781	-0.863
3314109916508904064	Core	24.804	-0.831	3306016372760404992	Core	24.807	-0.874
3311179340063437952	Core	24.833	-0.879	3311179340063437952	Core	24.833	-0.879
3300934223858467072	Core	24.858	-0.794	3309956850635519488	Core	24.88	-0.906
3312281669189449472	Core	24.945	-0.788	3136415261068432384	Tail	24.947	-1.582
2990961009565882368	Tail	25.042	-1.13	2990961009565882368	Tail	25.042	-1.13
3314079508140198528	Core	25.15	-0.816	3312136499294830848	Core	25.204	-0.796
3300725905060807936	Core	25.267	-0.856	43538293935879680	Tail	25.309	-0.672
45142206521351552	Core	25.316	-0.751	45142206521351552	Core	25.316	-0.751
3310903740601986432	Core	25.317	-0.891	48203487411427456	Core	25.329	-0.798
145664777917536512	Core	25.343	-0.803	48061409893621248	Core	25.343	-0.843
148183866430358016	Core	25.35	-0.836	3310569798304869888	Core	25.355	-0.807
3313662896313355008	Core	25.401	-0.826	3314063908819076352	Core	25.519	-0.83
3311024789960504576	Core	25.521	-0.874	3312197934506930944	Core	25.733	-0.786
3406697179343851136	Tail	25.757	-1.095	3310640648085373824	Core	25.79	-0.854
3312602348628348032	Tail	25.812	-0.961	108421608959951488	Tail	25.88	-0.423
3404850790083594368	Tail	25.915	-1.161	45159901786885632	Core	25.92	-0.771
3310702770492165120	Core	26.015	-0.861	49005581144118784	Core	26.232	-0.81
3406980028710351744	Tail	26.244	-1.286	47345009348203392	Core	26.321	-0.825
53257461329357312	Tail	26.344	-0.66	47804394753757056	Core	26.404	-0.779
3415184653196381184	Tail	26.514	-1.187	3309336867813205760	Tail	26.565	-1.006
3304337251002413952	Core	26.572	-0.809	3304412601908736512	Core	26.631	-0.831
3305524242524308352	Core	26.719	-0.841	3440275572964466816	Tail	26.797	-1.171
47541100375011968	Core	26.86	-0.834	3313947704182762240	Core	26.894	-0.905
3240238398866400256	Tail	27.046	-1.251	149005270337201792	Core	27.098	-0.765
3407612488414335616	Tail	27.102	-1.311	51383893515451392	Tail	27.119	-0.716
3413146914553161728	Tail	27.123	-0.998	3311514210073309056	Core	27.138	-0.876
3313070293905997824	Core	27.14	-0.894	3410640887035452928	Core	27.147	-0.947
145293181643038336	Core	27.167	-0.878	44894472808190720	Tail	27.209	-0.646
3311492803955469696	Core	27.229	-0.835	45567511362945152	Core	27.233	-0.787
66482352830035840	Tail	27.268	-0.642	47813504381625088	Core	27.297	-0.83
3405127244241184256	Tail	27.318	-1.15	3382897111995036800	Tail	27.333	-1.708
3382897111995036800	Tail	27.333	-1.708	145325548516513280	Core	27.382	-0.888
45367056650753280	Core	27.538	-0.812	46975436002187136	Core	27.592	-0.786
53725750202606208	Core	27.654	-0.761	53725750202606208	Core	27.654	-0.761
65103668325506560	Tail	27.689	-0.635	47019347749289216	Core	27.877	-0.762
49231668222673920	Core	27.879	-0.875	2998766575752095488	Tail	28.081	-1.479
100254161710940928	Tail	28.243	-0.298	50298125783225088	Core	28.325	-0.785
38354680725946240	Core	28.402	-0.763	3313759000500605056	Tail	28.742	-0.981
52548241968465408	Core	29.262	-0.872	306637167168935168	Tail	29.385	-0.106
67351757289092224	Tail	29.401	-0.687	146160558879786624	Core	29.403	-0.936
2947197732362141440	Tail	29.428	-1.534	53942250914697472	Core	29.435	-0.79
47917816253918720	Core	29.457	-0.932				