ИНСТИТУТ АСТРОНОМИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи УДК 523.24

Сизова Мария Дмитриевна

КИНЕМАТИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ РАССЕЯННЫХ ЗВЕЗДНЫХ СКОПЛЕНИЙ И ПРОДУКТОВ ИХ РАСПАДА ПО ДАННЫМ GAIA

Специальность 01.03.02 — «Астрофизика и звёздная астрономия»

Диссертация на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук

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

Mockba - 2021

Оглавление

		(Стр.
Введе	ние.		5
Глава	1.		
	Me	тоды и средства изучения кинематической	
	ЭВО	люции звездных систем	10
1.1	Описа	ание методов и средств моделирования	10
	1.1.1	Модель Галактики и движение в ее потенциале	10
	1.1.2	Модель облака точечных объектов	15
1.2	Интег	рирование орбит	16
	1.2.1	Использование параметров α , δ , μ_{α} , μ_{δ} , V_r	16
	1.2.2	Расчет минимального расстояния сближения d_{min} и	
		соответствующего момента времени t_{min}	19
Глава	2.		
	Зве	здные скопления как маркеры эволюции Галактики	22
2.1	Изуче	ение кинематики выбранных звездных скоплений	22
	2.1.1	Определение параметров NGC 2158, место скопления в	
		ходе эволюции Галактики	22
	2.1.2	Кинематика и параметры РЗС King 11	29
2.2	Полог	кения на защиту	32
2.3	Публі	икации	33
Глава	3.		
	Чи	сленное моделирование кинематической эволюции	
	acc	оциаций, звездных скоплений и облаков	
	мех	кзвездных комет	34
3.1	Моде.	лирование звездных систем	34
	3.1.1	Галактики	35
	3.1.2	Ассоциации и рассеянные звездные скопления	38
3.2	Моде.	лирование планетных систем - эволюция АКП-компоненты	
	в дис	ке Галактики	42

3.3	Разру	шение кометы в околосолнечной области	44
	3.3.1	Описание модели	44
	3.3.2	Результаты моделирования испаряющейся кометы	45
3.4	Полох	кения на защиту	49
3.5	Публи	икации	49

Глава 4.

	Изу	чение сближений звезд и рассеянных звездных	
	СКОІ	плений при их движении в диске Галактики	50
4.1	Расче	г сближений РЗС с Солнечной системой	50
	4.1.1	Поиск скоплений, сближавшихся с Солнечной системой	51
	4.1.2	Подготовка списка звезд, входящих с состав Гиад по	
		данным Gaia EDR3	54
	4.1.3	Аналитическая оценка эффекта прохождения Гиад около	
		Солнца	55
	4.1.4	Численная оценка эффекта прохождения Гиад около	
		Солнца	58
4.2	Расче	г парных сближений звезд в диске Галактики	60
	4.2.1	Парные сближения звезд поля в околосолнечной области .	61
	4.2.2	Оценка количества межзвездных АКП-объектов в	
		Галактике	63
4.3	Полож	кения на защиту	68
4.4	Публи	кации	68
n			co
Заклю	чение		69
Списо	к сокр	ащений и условных обозначений	71
Слова	рь тер	МИНОВ	72
Списо	к лите	ратуры	73
Списо	к рису	НКОВ	82
Списо	к табл	иц	88

Прило	жение А.	Скрипт для расчета минимального расс	тоян	ия	
		d_{min} и соответствующего времени t_{min} .			89
Прило	жение Б.	Каталоги			92
Б.1	Каталог сб	ближений Солнечной системы и РЗС			92
Б.2	Каталог сб	ближений звезд поля			105
Б.3	Каталог сб	ближений звезд поля и скопления Гиады	, 		106

Введение

Рассеянные звездные скопления (РЗС) получили "второе дыхание" в современной астрономии. С одной стороны, это обусловлено появлением данных микросекундной точности, полученных с помощью КА Gaia. Рассмотрение астрометрии такой точности позволило обнаружить звезды, покинувшие скопления и растянувшиеся в шлейфы длиной намного превышающей их классические размеры. Для Гиад длина шлейфов до 800 пк. С другой стороны, современные данные наблюдений Галактики и других галактик показали нитевидные структуры внутри них и множество картин напоминающих взаимодействие галактик. Тем самым стала ясна роль звездных потоков, образованных как распавшимися OB-ассоциациями и скоплениями внутри галактик, так и распавшимися карликовыми галактиками, попадающими в массивные галактики. Также можно говорить об РЗС как маркерах эволюции Галактики, отражающими многие ее свойства на моменты рождения скоплений.

Целью данной работы является с помощью численного моделирования изучить

- 1. Эволюцию распадающихся звездных систем в гравитационном поле Галактики.
- 2. По данным KA Gaia изучить кинематическую эволюцию на примерах нескольких рассеянных звездных скоплений.
- 3. По данным KA Gaia оценить степень влияния сближений звезд и звездных скоплений на планетные системы.

Выделим основные задачи:

- Собрать по литературе полные данные о РЗС, позволяющие исследовать их кинематику в Галактике (данные проекта Gaia предпочтительны). Выбрать несколько РЗС для комплексного исследования (NGC 2158, King 11, Hyades).
- Разработать программы, позволяющие получать сравнительные данные о звездных ассоциациях, РЗС, звездах и свободных малых телах в процессе их движения вокруг Галактического Центра. В частности, данные о минимальных расстояниях между объектами (n=1000), поло-

жениях на небе относительно других объектов в различные моменты времени в процессе их движения в Галактике.

- 3. Разработать численную модель облака точек, представляющую распадающиеся звездные (планетные) системы и позволяющую проследить эволюцию продуктов их распада во времени.
- 4. С помощью выбранных данных (п.1) и разработанных моделей и методик (пп.2,3) выполнить необходимые расчеты и опубликовать полученные результаты.

Основные положения, выносимые на защиту:

- 1. Изучены кинематические параметры скоплений NGC 2158 и King 11 в модели Галактики. Для P3C NGC 2158 впервые по высокоточным данным получена пространственная скорость $V_{spatial} = 51 \pm 5$ км с⁻¹, минимальное расстояние до Солнца $d_{min} = 2.7$ кпк в момент времени $t_{min} = -2.3$ млрд.лет, значительные осцилляции по Z-координате $Z_{max} = 529 \pm 7$ пк и место потенциального рождения скопления. Для P3C King 11 получена пространственная скорость $V_{spatial} = 60.2 \pm 2.16$ км с⁻¹, минимальное расстояние до Солнца $d_{min} = 1.58$ кпк в момент времени $t_{min} = -0.76$ млрд.лет, значительные осцилляции по Z-координате $Z_{max} = 556 \pm 22$ пк и место потенциального рождения скопления, в момент которого скопление могло находиться на расстоянии 12.44±4.38 кпк от Солнца.
- 2. Согласно расчетам, эволюция распадающихся звездных и планетных систем происходит сходным образом. Сферическое облако растягивается в вдоль орбиты в поток, с последующим замыканием в кольцо вокруг центра Галактики. В результате расчетов получено, что спутник Галактики замыкается в кольцо вокруг ЦГ за ~2 млрд.лет, за ~10 млрд.лет продукты его распада заполняют гало. Звездная ассоциация замыкается в кольцо вокруг ЦГ за ~2 млрд.лет, при этом толщина потока составляет до 3 кпк. Рассеянное звездное скопление за 5 млрд.лет растягивается в поток длиной ~10 кпк. Свободные АКП-объекты облака Оорта образуют поток вдоль орбиты Солнца, который растянулся на десятки кпк за время жизни Солнечной системы. Продукты распада, образующиеся вследствие нагрева кометы в околосолнечной области (перигелийное расстояние <1 а.е.), также образуют потоки вдоль орбит</p>

родительских комет, образующие замкнутые структуры вокруг Солнца за несколько сотен лет.

 Минимальное рассчитанное расстояние сближения центров РЗС с Солнцем составило менее 60 пк на протяжении последних 5 миллионов лет. Исключением стало РЗС Гиады, центр которого находился вблизи Солнечной системы на расстоянии 24.8 пк ∼1 млн.лет назад.

Научная новизна:

- 1. Впервые рассчитаны моменты минимальных сближений рассеянных звездных скоплений с Солнечной системой. Конкретный результат для Гиад получен впервые.
- 2. Полученные параметры эволюционирующих звездных и планетных систем носят оригинальный характер, получены путем численных расчетов оригинальных моделей.
- Результаты обработки данных о скоплениях NGC 2158 и King 11 оригинальны, несут новую информацию. Обоснованием необходимости исследования для NGC 2158 стала неоднозначность имеющихся оценок параметров скопления.

Научная и практическая значимость Полученные в ходе работы над диссертацией каталоги и программы размещены на известные сайты и находятся в открытом доступе.

Степень достоверности Достоверность представленных в диссертационной работе результатов подтверждается сравнением с теоретическими и наблюдательными данными других авторов и обсуждением полученных результатов на конференциях и семинарах. Результаты опубликованы в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на конференциях:

- 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)

- 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. Астрономия и исследование космического пространства (УрФУ, Екатеринбург, 1 5 февраля 2021, онлайн)
- 6. VII Бредихинские чтения (ИНАСАН, 24-28 мая 2021, онлайн)
- 7. ВАК-2021: «Астрономия в эпоху многоканальных исследований» (23-28 августа 2021, онлайн)

Личный вклад. Соискательница лично участвовала в постановке задач, написании вычислительных программ, получении и обработке результатов численных экспериментов, совместно с соавторами участвовала в обсуждении результатов и формулировке выводов. В частности, соискательницей:

- 1. Использовались библиотеки *galpy*, *rebound* для языка программирования *python*, в которые были включены скрипты, необходимые для выполнения поставленных задач.
- 2. Выполнены расчеты движения в пространстве звезд и рассеянных звездных скоплений.
- 3. Ставились задачи.
- Составлены каталоги сближений рассеянных звездных скоплений и Солнечной системы в прошлые эпохи и каталог сближений пар звезд поля.

Публикации. Основные результаты по теме диссертации изложены в 15 печатных изданиях [1—12], 6 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК [5—10].

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и двух приложений. Глава 1 – методическая, в ней дано описание физической сути рассмотренной задачи, применяемых моделей и методов расчетов, в Главе 2 содержатся результаты применения рассматриваемых моделей и методов для расчетов кинематики рассеянных звездных скоплений NGC 2158 и King 11, в Главе 3 проведены расчеты влияния эффектов приливных сил (дифференциального вращения) Галактики на эволюцию различных звездных, а также планетных систем. В результатах даны полученные параметры эволюционных изменений рассмотренных систем, в частности, формирования так называемых копий и колец, состоящих из продуктов распада рассмотренных систем. Глава 4 посвящена изучению пространственных сближений звезд и звездных скоплений, параметры которых получены на основе моделей Главы 1. Получен ряд параметров сближений для звезд по данным Gaia EDR3, скопления Гиады и Солнца, которые представляют интерес при изучении источников межзвездных комет.

Полный объём диссертации составляет 108 страниц с 34 рисунками и 13 таблицами. Список литературы содержит 76 наименований.

Глава 1. Методы и средства изучения кинематической эволюции звездных систем

Данная глава является методической. Описанные в ней методы и средства применяются в дальнейших главах диссертации для вычисления параметров орбит исследуемых объектов. В секции 1.1 мы приводим описание используемых моделей, с соответствующими допущениями и параметрами. В секции 1.2 приводится описание математического аппарата.

1.1 Описание методов и средств моделирования

В данной работе все расчеты производятся на языке программирования *Python*. Применяемые для моделирования пакеты признаны международными авторами и широко используются научным сообществом: *galpy* (см. Статьи, использующие *galpy*) [13], rebound (см. Статьи, использующие rebound) [14] и mw plot (см. Описание библиотеки).

1.1.1 Модель Галактики и движение в ее потенциале

Описанная ниже модель Галактики применяется в главах 2, 3 и 4.

Потенциал Галактики

Для расчета движения по орбите в галактическом диске необходимо построение модели Галактики, в рамках которой будет ясно поведение звезд и звездных скоплениях со временем. Система эволюционирует в галактическом диске, двигаясь по индивидуальной орбите вокруг центра галактики (ЦГ). В нашей работе использовался приближенный к реальности классическая модель Млечного пути (MWPotential2014 [13], 3.5 Example), наилучшим образом воспроизводящий наблюдаемую кривую вращения Млечного Пути, которая показана на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 — Кривая вращения Млечного пути согласно MWPotential2014 (сплошная черная линия). Сплошной черной линией, пунктирными линиями показаны отдельно модели балджа, диска и гало.

Это осесимметричная модель, Галактика представлена трехкомпонентной моделью, включающей гало с радиусом 16 кпк, балдж размерёом 3 на 0.28 кпк. Плотность вещества в окрестностях Солнца $0.10 \pm 0.01 M_{\odot}/\text{pc}^3$. В суммарную модель включены компоненты дисковой составляющей Галактики, описанной выражениями Миямото-Нагаи [15] и сферически-симметричное пространственное распределение плотности тёмной материи в гало по профилю Наварро-Френка-Уайта [16]. Не учитывались влияние спиральных волн плотности и супермассивная черная дыра в ЦГ. На языке программирования потенциал задан операторами:

```
bp=PowerSphericalPotentialwCutoff (alpha=1.8,rc=1.9/8.,normalize
=0.05)
mp=MyamotoNagaiPotential(a=3./8.,b=0.28/
np=NFWPotential(a=16/8.,normalize=.35)
5 MWPotential2014 = bp + mp + np
```

Выражение для потенциала mp задается явно, а bp и np через функцию плотности $\rho(r)$, которая задает потенциал путем интегрирования уравнения Пуассона. Не учитывались, к примеру, такие явления, как влияние спиральных волн плотности и галактического центра и супермассивной черной дыры в центре Галактики. Также мы не рассматривали динамическое трение. При массе галактики, меньшей 10^{10} M_{\odot} (ур. (7) из [17]) эффект трения незначителен.

Рассмотрим подробней компоненты потенциала. Балдж представлен степенным сферическим потенциалом плотности с экспоненциальным отсечением. С принятыми нормировками представлен:

$$\rho(r) = e^{-r^2}/r \tag{1.1}$$

Диск, - потенциал $\Phi(R,z)$ [15]:

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

где а – радиус диска а=1.0, b – толщина диска b=0.1 R – радиальное расстояние от галактического центра z – координата в принятой галактической прямоугольной системе координат

Гало - сферически-симметричное пространственное распределение плотности тёмной матери в гало по профилю Наварро-Френка-Уайта [16].

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

где а – радиус, нормировка а=1.0.

Эти параметры показаны на Рис. 1.2. На рис. 1.2 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.



Рисунок 1.2 — Плотность в плоскости цилиндрических координат (*R*,*z*) для осесимметричных потенциалов, составляющих итоговый потенциал Галактики *MWPotential*2014.

Описанная модель Галактики реализована в пакете *galpy* [13], написанного для языка программирования *Python*.

Система координат

Мы используем прямоугольную галактическую гелиоцентрическую систему координат, в которой ось X направлена к центру Галактики (l = 0°, b = 0°), ось Y – в направлении вращения Галактики (l = 90°, b = 0°), ось Z – на Северный полюс Галактики (b = 90°). 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⁻¹, хуz=(R_0 , 0, 0.208) кпк, в том числе и новое положение самого Солнца. Значения R_0 и V_0 задаются вручную.

Движение Солнца в модели

В своих работах мы принимаем галактоцентрическое расстояние Солнца равным $R_0 = 8.178$ кпк [18], орбитальную скорость Солнца равной $V_0 = 232.8$ км с⁻¹ [19]. Стоит отметить, что на сегодняшний день величина R0 определялась в десятках публикаций, разные авторы получают значения в пределах 7.4 – 8.7 кпк. В работе [20] исследован так называемый «эффект присоединения к большинству», который проявляется в селекции по близости к опубликованным ранее и ожидаемым результатам. Никаких тенденций не выявлено. Оказалось, практически невозможно выбрать наиболее значимое значение R_0 .



Рисунок 1.3 — Солнце движется в потенциале Галактики MWPotential2014 при R_0 , V_0 . Цветом показано расстояние до плоскости диска (Z=координата).

На рисунке 1.3 показана орбита Солнца в проекции на плоскость Галактики. За время интегрирования 4.6 млрд.лет Солнце занимает полосу шириной около 1000 пк. При этом расстояние до плоскости диска изменяется на ± 100 пк (показано цветом).

Какое число n полных оборотов Солнца на рис. 1.3? Исходя из того, что скорость составляет 232.8 км с⁻¹ (≈ 233 пк / миллион лет), находим длину пути за 5 миллиардов лет. Это будет L ≈ 1155 кпк. Длина орбиты для одного периода L_{orb} $\approx 2\pi R_0 \approx 50.5$ кпк. Тогда n ≈ 22 .

Что вызывает орбитальные колебания Солнца? Есть две причины: положение Солнца не совсем в плоскости Галактики (Z = 20.8 пк) и асимметрия модели из-за пространственной формы балджа.

1.1.2 Модель облака точечных объектов

Описанная ниже модель облака применяется для расчетов в пунктах 1.2.1 и 1.2.2.

Для изучения разлетающихся объектов (ассоциаций, скоплений, звезд, комет) мы используем модель облака точек, представляющих собой три компоненты пространственной скорости $V_{spatial} = \sqrt{U^2 + V^2 + W^2}$ (см. Таблицу 1).

Модель задается уравнениями на языке программирования *Python*:

$$\phi = \arccos(1 - 2 \cdot idx/N)$$

$$\Theta = \pi(1 + \sqrt{5}) \cdot idx$$

$$U = \cos(\Theta) \cdot \sin(\phi) \cdot V_{spatial}$$

$$V = \sin(\Theta) \cdot \sin(\phi) \cdot V_{spatial}$$

$$W = \cos(\phi) \cdot V_{spatial}$$

(1.4)

где N – количество точечных объектов, idx – индексы точечных объектов (например, при N=100 idx=[0, 1, 2, 99]). Примеры визуализации поля скоростей, полученного с помощью данной модели, представлены на рисунке 1.4.



Рисунок 1.4 — а) Пример 1. N=100, $V_{spatial}$ =0 ⁻¹; б) Пример 2. N=1000, $V_{spatial}$ =10 км с ⁻¹

Объект	Пространственная скорость км c^{-1}	Скорость распада $V_{spatial}$, км с ⁻¹
Спутник Галактики	<300	30
Звездная ассоциация	<200	10
Звездное скопление	<100	1
Свободнрые АКП-объекты	<10	1

Таблица 1 — Параметры моделей объектов, исследуемых нами в главе 2.

При этом для каждой точки на сфере UVW будут различны, а V_{spatial} одинакова, и будет соответствовать заданной. Таким образом, мы получаем точки, равномерно распределенные по сфере, и представляющие собой разнонаправленные скорости.

В наших моделях n=1000, $V_{spatial}$ задавалась в зависимости от изучаемого объекта. Далее происходит процесс присвоения каждой точке N соответствующей скорости UVW, с которой начинается интегрирование движения точки в пространстве. При этом каждая точка имеет одинаковое заданное расстояния от центра Галактики и положение на небе.

Таким образом, V_{spatial} зависит от типа исследуемого объекта, а точнее от скорости распада точек в модели. Характеристики этих объектов приведены в таблице 1. В столбцах показаны гелиоцентрическая скорость объекта в диске Галактики и скорость распада облака согласно нашей модели.

1.2 Интегрирование орбит

1.2.1 Использование параметров α , δ , μ_{α} , μ_{δ} , V_r

Для описания кинематики движения объектов в Галактике мы рассматриваем движение точечных объектов в протяженном гравитационном поле, создаваемой компонентами Галактики. Решаем задачу 2-х тел для каждого точечного объекта. Звезда или звездное скопление, представляются точечными объектами и движутся в пространстве вокруг Галактического Центра. В том случае, если рассматривается, скажем, звездное скопление, - звезды в нем представлены точками и движутся по орбитам, заданным начальным положением и пространственной скоростью. Естественно, что в процессе движения, звезды могут менять параметры орбиты путем искусственно задаваемой пекулярной компоненты скорости распада.

В изложенных в данной диссертации исследованиях интегрирование орбит точечных объектов (звезд, скоплений, модельных точек) производилось по описанной ниже схеме.

Орбита исследуемого объекта задается шестью параметрами: прямым восхождением и склонением α и δ (градусы), собственными движениями μ_{α} и μ_{δ} (мсд/год), расстояние до объекта d (кпк) и лучевая скорость V_r (км с⁻¹). 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 $t_0 = 0$.

Итак, объект с начальными координатами двигается под действием сил потенциала. Потенциал не зависит от времени, $\partial \Phi / \partial t = 0$. На объект, находящийся в r(x,y,z), действует сила F(x,y,z), так, что $F = -\partial \Phi(r) / \partial r$. В трехмерной декартовой системе координат силу можно разложить на составляющие:

$$F_x = -\partial \Phi / \partial x$$

$$F_y = -\partial \Phi / \partial y$$

$$F_z = -\partial \Phi / \partial z$$

Тогда уравнение движения объекта примет вид:

$$\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = \frac{-\partial \Phi}{\partial x}$$
$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{-\partial \Phi}{\partial y}$$
$$\frac{\partial^2 z}{\partial t^2} = \frac{-\partial \Phi}{\partial z}$$

Далее применяется метод Эйлера для расчета положения и скорости объекта в следующий шаг по времени Δt :

$$x_1 = x_0 + U_0 \cdot \Delta t$$
$$\dots$$
$$U_1 = U_0 + F_x \cdot \Delta t$$
$$\dots$$

В нашем случае применяется метод Рунге-Кутты 4-го порядка, который является частным случаем метода Эйлера [21].

Орбита, заданная указанными шестью параметрами, перед началом расчетов преобразуется в галактическую прямоугольную систему координат с помощью следующих соотношений. Для перехода из экваториальной в галактическую си стему координат:

$$\sin(b) = \sin(\delta_{NGP})\sin(\delta) + \cos(\delta_{NGP})\cos(\delta)\sin(\alpha - \alpha_{NGP})$$
$$\cos(b)\sin(l - l_{NCP}) = \cos(\delta)\sin(\alpha - \alpha_{NGP})$$
$$\cos(b)\cos(l - l_{NCP}) = \cos(\delta_{NGP})\sin(\delta) - \sin(\delta_{NGP})\cos(\delta)\cos(\alpha - \alpha_{NGP})$$

$$\begin{pmatrix} \mu_l \\ \mu_b \end{pmatrix} = \frac{1}{\cos b} \begin{pmatrix} C_1 & C_2 \\ -C_2 & C_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mu_\alpha \\ \mu_\delta \end{pmatrix}$$

где NGP - North Galactic Pole, NCP - North Celectial Pole, $l_{NCP} = 122.93192^{\circ}$, $\alpha_{NGP} = 192.85948^{\circ}$, $\delta_{NGP} = 27.12825^{\circ}$ [22]. Коэффициенты $C_1 = \sin \delta_{NGP} \cos \delta - \cos \delta_{NGP} \sin \delta \cos \alpha - \alpha_{NGP}$, $C_2 = \cos \delta_{NGP} \sin \alpha - \alpha_{NGP}$ [23].

Для расчета положения x, y, z в декартовой системе координат:

$$x = R_{\odot} - d\cos(b)\cos(l)$$
$$y = d\cos(b)\sin(l)$$
$$z = d\sin(b)$$

Для расчета скоростей *U*, *V*, *W* в декартовой системе координат:

$$U = V_r \cos(l) \cos(b) - V_l \sin(l) - V_b \cos(l) \sin(b)$$
$$V = V_r \sin(l) \cos(b) + V_l \cos(l) - V_b \sin(l) \sin(b)$$
$$W = V_r \sin(b) + V_b \cos(b)$$

Данный метод реализован в библиотеках galpy [24] и astropy [25] для языка программирования Python. В работе применялись данные средства, и использовались возможности включать собственные скрипты в рамках работы с бибилиотеками.

1.2.2 Расчет минимального расстояния сближения d_{min} и соответствующего момента времени t_{min}

В процессе движения вокруг ЦГ небесные тела, представленные точечными объектами, могут претерпевать сближения, влияющие на их эволюцию. В своей работы мы считаем такие сближения, например, для Солнца и скоплений в пунктах работы 2.2 и 4.1, для отдельных звезд в пункте 4.2.

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

$$d_i = \sqrt{(x_{1i} - x_{2i})^2 + (y_{1i} - y_{2i})^2 + (z_{1i} - z_{2i})^2}$$
(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 млрд.лет d_i и t_i будут рассчитаны для времени 0, -1 млн.лет, -2 млн.лет ... и так далее. Получится список из 1000 значений d_i и t_i , из которого мы выберем d_{min} и t_{min} . Данный метод расчета реализован на языке программирования *Python* путем включения в библиотеку *qalpy*. Скрипт представлен в Приложении A.

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

- Выбора входных параметров. Например, как мы покажем в пункте работы 2.2, ошибка определения α, δ, μ_α, μ_δ и V_r ведет к изменению траектории движения объекта;
- Временного промежутка интегрирования. В некоторых случаях от выбора временных рамок зависит, успеет ли произойти событие сближения (см. рис. 1.5);

		Количество	шагов	
Пара	10^{3}		10^{5}	
спутников	$d_{min},$ 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

Таблица 2 — Влияние шага интегрирования на результат вычисления d_{min} и t_{min} за время интегрирования 5 млрд.лет.

3. Шага интегрирования. Это наименее значимый фактор, однако, уменьшение шага ведет к уточнению результата (см. таблицу 2).

Проведем контрольный расчет минимального расстояния d_{min} и соответствующего момента времени t_{min} между парами спутников Галактики из списка [26]. Как видно из рисунка 1.5, от выбора времени интегрирования меняется результат. Визуально видно, что на рисунке 1.5 б) место точек частично смещено. Например, при расчетах на 1 млрд.лет в прошлое самое интересное сближение произошло между спутниками 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.

Рассмотрим, как влияет на вычисления выбор шага интегрирования. В таблице 2 показаны первые 5 строк результата вычисления d_{min} и t_{min} для случая, когда за промежуток в 5 млрд.лет выполняется 10^3 шагов и для случая 10^5 шагов. Видно, что для некоторых объектов присутствует разница и по расстоянию, и по времени сближения, однако, она не существенна. Кроме того, в процессе расчетов осуществляется контроль роста ошибки энергии E(t)/E(0).

600 • 500 • 400 *d_{min},* кпк 000 200 100 0 -4.5 -4.0 -3.5 -3.0 -2.5 -2.0 -1.5 -5.0-1.0t_{min}, млрд.лет a) 600 500 400 d_{min}, к⊓к 000 200 100 0 -0.8 -0.2 -1.0-0.4 0.0 -0.6t_{min}, млрд.лет б)

Рисунок 1.5 — Контрольный расчет d_{min} и t_{min} между парами спутников Галактики. Рассчитаны расстояния между каждой парой спутников за время интегрирования 1 млрд.лет (черные точки) и 5 млрд.лет (красные точки) в прошлое. На рисунке а) показан промежуток от -5 до -1 млрд.лет, на б) от -1

Глава 2.

Звездные скопления как маркеры эволюции Галактики

В данной главе представлены результаты работ по всестороннему изучению выбранных рассеянных звездных скоплений - NGC 2158 в разделе 2.1.1 и King 11 в разделе 2.1.2.

2.1 Изучение кинематики выбранных звездных скоплений

В данном разделе представлено изучение кинематики далекого скопления NGC 2158 по данным Gaia DR2, а также дан разбор проблемы определения расстояния до скопления и выполнены его оценки по данным Gaia EDR3. Далее описано изучение кинематики и параметры орбиты старого скопления King 11.

2.1.1 Определение параметров NGC 2158, место скопления в ходе эволюции Галактики

Определение параметров NGC 2158 по Gaia DR2

По данным Gaia DR2 исследовано далекое скопление NGC 2158, расположенное высоко над плоскостью Галактики. Из-за его нехарактерного для рассеянных звездных скоплений местоположения, низкой металличности и большого возраста (2.4 млрд лет) этот объект мог родиться за пределами нашей Галактики, однако, в результате нашего исследования было выявлено, что орбита NGC 2158 согласуется с кинематикой диска, что исключает возможность его аккреции. Определен наклон функции масс 0.93 ± 0.14 . Полученный наклон говорит о более пологой функции масс, чем функция масс Солпитера (наклон 1.35), что является признаком возможной динамической эволюции NGC 2158 в ре-

_	$\mu_{\alpha} \cos \delta$ mas yr ⁻¹	μ_{δ} mas yr ⁻¹	d kpc	α ,J2000 deg	δ , J2000 deg	$\frac{V_r}{\rm km \ s^{-1}}$
_	-0.203 ± 0.003	-1.992 ± 0.004	4.686 ± 0.22	91.862	24.099	25.1 ± 5

Таблица 3 — Входные параметры интегрирования орбиты РЗС NGC 2158.

зультате которой потеряны маломассивные звезды. Изучена сегрегация массы внутри скопления и получен профиль звездной плотности по радиусу. Время динамической релаксации не превышает возраста скопления, что указывает на то, что в скоплении процесс релаксации вероятно завершен. Определено положение апекса, рассчитано место образования в галактическом диске. Ввиду больших неопределенностей параметров скопления, сложившихся в литературе, данные независимые оценки увеличивают знания о скоплении.

В рамках работы была изучена орбита скопления, его движение и положение в диске галактики. В пределах ошибок примененных расчетов определено положение места образования скопления в галактическом диске путем интегрирования в прошлые эпохи на время возраста скопления $\log(age) = 9.38 \pm 0.04$ (млрд. лет), который был определен путем сравнения наблюдаемой двуцветной диаграммы скопления с теоретическими изохронами [27].

Для исследования движения скопления в диске Галактики использовались параметры, полученные в рамках данной работы: собственные движения $\mu_{\alpha}cos\delta$ и μ_{δ} , расстояние d, возраст и лучевая скорость V_r (Таблица 3). Скорость V_r скопления была получена путем усреднения скоростей 12 звезд-членов скопления (звезды с вероятностью членства более 90%, применяемые для разработанного ранее авторами метода АД-диаграмм [28]).

В результате были определены положения апоцентра и перицентра и эксцентриситет орбиты, которые указывают на почти круговое движение, максимальное положение над плоскостью диска Галактики Z_{max} , скорости на момент времени t_0 и период. Параметры представлены в таблице 4.

Результат интегрирования орбиты скопления и Солнца показан на рисунке 2.1. Скопление отстает от Солнца в своем движении вокруг галактического центра. Орбита имеет значительные осцилляции по Z-координате (± 529 пк). По этой причине шлейфы, формируемые звездами, покинувшими скопление, могут иметь необычное расположение, растянувшись по толщине диска. Детали про-

Параметр	Величина и ошибка
Апоцентр (кпк)	12.8 ± 0.03
Перицентр (кпк)	11.1 ± 0.05
е	0.07 ± 0.003
$Z_{max}, \Pi K$	529 ± 7
$U (\kappa m c^{-1})$	-21.5 ± 1.7
$V (\text{km c}^{-1})$	-39.2 ± 1.7
$W (\kappa M c^{-1})$	0.24 ± 0.6
$V_{spatial} (\text{km c}^{-1})$	-24.6 ± 1.7
T_r (млрд.лет)	0.2 ± 0.003

Таблица 4 — Параметры орбиты РЗС NGC 2158.

странственной формы скопления и поиск шлейфов перспективно рассмотреть по обновленным данным Гайя.



Рисунок 2.1 — Орбиты NGC 2158 (черный цвет) и Солнца (оранжевый цвет) за время интегрирования 2.4 млрд.лет. Орбиты показаны в трехмерной проекции (левая панель) и в проекции на плоскость диска (правая панель). Точки на правой панели показывают положения скопления и Солнца в моменты времени t = 0 и t = -2.4 млрд.лет. Рядом подписано расстояние скопления от Солнца и положение по Z-координате. На левой панели, красной линией показан момент минимального расстояния между Солнцем и скоплением d = 2.7 кпк, t = -2.3 млрд.лет.

Была изучена орбита скопления с учетом ошибок определения входных параметров интегрирования (Рис. 2.2). Как видим, при различных входных параметрах сходимость в конечной точке расчетов отсутствует. Неопределенность места рождения скопления в проекции на плоскость диска составляет ~ 2 кпк. По Z-координате скопление могло родиться в северном полушарии Галактики.



Рисунок 2.2 — Орбита скопления, проинтегрированная с различными входными параметрами с учетом ошибок определения собственных движений и радиальной скорости. Показан момент потенциального рождения скопления.

Показана проекция на плоскость диска галактики (левая панель) и в координатах Z - время интегрирования (правая панель). Входные параметры подписаны на левой панели.

В заключение обсудим различные сценарии, объясняющие происхождение и положение скопления в диске Галактики, включающие процессы аккреции и миграции. Проекция орбиты NGC 2158 вокруг ЦГ в плоскости диска близка к круговой, что свидетельствует об отсутствии миграции скопления по радиусу диска. Кроме того, металличность не противоречит положению в диске. Это также не подтверждает возможность миграции.

Проблема расстояния от Солнца до NGC 2158, оценка по GEDR3

Проблема определения расстояния до скопления NGC 2158 существует уже давно [17]. Авторами данной работы были отмечены следующие результаты: 4700 пк [29], 3500 пк [30], 3700 пк [31], 4700 пк [32]. В работе [17] авторы получили значение расстояния 3600 ± 400 пк и значение возраста ~2 млрд. лет. Итоги последних лет ситуацию не улучшили. Возраст, избыток цвета, модуль расстояния и расстояние были рассчитаны как t = 2.240 ± 0.260 млрд. лет, E(B - V) = $0.420 \pm 0,050$ магн., (M - m) = 12.540 ± 0.130 магн., и d = 3224 ± 200 пк соответственно [33]. В каталоге Milky Way global survey of star clusters (MWSC) [34] указали, что расстояние до NGC 2158 составляет 4770 пк. Авторы работы [35] дали значение расстояния для скопления 4535.1 пк. В статье [10] расстояние до скопления оценивается в 4.69 ± 0.22 кпк. Таким образом, интервал, в котором располагаются результаты разных авторов, составляет от 4700 до 3224 пк. Из приведенных выше избытков цвета видно, что поглощение не влияет на оценку расстояния, так как его оценки у разных авторов совпадают.

Для оценки корректности определенного нами расстояния до центра скопления мы использовали список отобранных нами в работе [10] звезд, принадлежащих скоплению, и расстояния согласно списку из работы [36]. На рисунке 2.3 по оси ординат указаны расстояния и ошибки их определения ($d \pm e_d$). Видно, что ошибки значительны, но для скопления на таком расстоянии сложно ожидать лучшей точности.



Рисунок 2.3 — Расстояние до выбранных звезд скопления согласно каталогу B-J+2018. Вертикальными линиями показаны ошибки определения расстояния по B-J+2018. Красная линия показывает определенное в работе [10] расстояние до скопления.

В регионе расположения NGC 2158 на небесной сфере нами были выбраны n = 6000 звезд согласно каталогу Gaia Early Data Release 3 (Gaia EDR3) [37] для сравнения расстояний до звезд, полученных двумя разными методами: по параллаксам Gaia EDR3 $1/\pi$ и методом Байеса по данным Gaia DR2 [36] (далее – B-J+2018). Результаты сравнения показаны на Рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 — Сравнение расстояний, полученных по параллаксам Gaia DR2 (1/plx) и расстояний, посчитанных в B-J+2018 (r_{est}) . Цветом показана ошибка определения расстояния B-J+2018 $(e_{r_{est}}/r_{est})$. Серым цветом показаны звезды, для которых ошибка e_{plx}/plx превысила 1.

Рисунок 2.4 позволяет заключить следующее:

- для звезд с ошибкой менее 20% зависимость параллаксов очевидна (синие точки). В этом случае вполне возможно использовать параллаксы для прямого определения расстояний без расстояний, полученных B-J+2018;
- 2. выбирая такие звезды, мы теряем значительное количество звезд;
- 3. с увеличением расстояния зависимость становится нелинейной; последнее, конечно, можно сказать и проверить только на нашем примере.

Вывод: улучшив качество выборки путем использования только звезд с ошибками < 20%, можно автоматически использовать расстояния, обратные параллаксу. По мере увеличения расстояния отношения становятся нелинейными. На рисунке 2.5 расстояния звезд нашей выборки (см. рис. 2.3) сравниваются для данных Gaia DR2 и Gaia EDR3. Видно, что в случае использования параллаксов Gaia EDR3 нет необходимости уточнять расстояния по B-J+2018, так как зависимость практически линейная даже для таких далеких звезд.



Рисунок 2.5 — Сравнение расстояний до звезд (являющихся частью скопления с вероятностью > 90% и с известными радиальными скоростями (см. [10])), полученных по параллаксам Gaia DR2 (серые крестики) и Gaia EDR3 (черные крестики) В-J+2018. Линии тренда вида y = kx + b показаны для звезд по Gaia DR2 и EDR3 серым и черным цветом соответственно.

2.1.2 Кинематика и параметры РЗС King 11

Рассеянное звездное скопление King 11 является частью старого населения диска Галактики. Изучение РЗС King 11 проводилось многими авторами (см., например, [34; 38—40]), однако согласие в определении его параметров отсутствовало.

Для исследования движения скопления в диске Галактики использовались параметры, полученные в рамках данной работы: собственные движения $\mu_{\alpha} cos \delta$

$\mu_{\alpha}\cos\delta$	μ_{δ}	d	α,J2000	δ , J2000	V_r ,
mas yr ⁻¹	mas yr ⁻¹	kpc	deg	deg	$\rm km \ s^{-1}$
-3.391 ± 0.006	-0.660 ± 0.004	3.33 ± 0.15	356.912	68.636	-24.96 ± 5.00

Таблица 5 — Входные параметры интегрирования орбиты РЗС King 11.

Таблица 6 — Параметры орбиты РЗС King 11.

Параметр	Величина и ошибка
Апоцентр (кпк)	13.80 ± 0.49
Перицентр (кпк)	10.10 ± 0.01
e	0.15 ± 0.02
$Z_{max}, \Pi K$	556 ± 22
Ζ ₀ , ПК	401 ± 10
U (км с ⁻¹)	59.98 ± 2.36
$V (KM c^{-1})$	2.50 ± 4.37
$W (KM c^{-1})$	0.24 ± 0.6
$V_{spatial} (\text{km c}^{-1})$	60.20 ± 2.16
Т _r (млрд.лет)	0.250 ± 0.006

и μ_{δ} , расстояние *d*, возраст и лучевая скорость V_r (Таблица 5). А также возраст скопления 3.63 млрд. лет, гелиоцентрическое расстояние 3.33 ± 0.15 кпк. Скорость V_r скопления была получена путем усреднения скоростей 8 звезд-членов скопления (звезды с вероятностью членства более 90%, применяемые для разработанного ранее авторами метода АД-диаграмм). Прямое восхождение и склонение взято в работе [35]. Параметры, полученные в результате интегрирования орбиты, показаны в таблице 6. Таблица 6 включает положения апоцентра и перицентра, эксцентриситет орбиты, максимальное расстояние над плоскостью Галактики, компоненты пространственной скорости, пространственная скорость и период.

На рисунке 2.6 показана орбита скопления, проинтегрированная на 3.63 млрд. лет в прошлое. Показаны положения Солнца и скопления на текущий момент времени (d = 3.33 кпк), минимальное расстояние (d = 1.58 кпк) и расстояние в момент рождения скопления (d = 12.44 кпк).

Результаты определения предполагаемого места рождения скопления определены с погрешностью, которая зависит от точности входных параметров интегрирования. Учет ошибок этих параметров позволяет задать границы



Рисунок 2.6 — Орбиты King 11 (черный цвет) и Солнца (оранжевый цвет) за время интегрирования 3.63 млрд.лет. Красной точкой показан момент минимального расстояния между скоплением и Солнцем $d_{min} = 1.58$ кпк в момент времени $t_{min} = -0.76$ млрд.лет. На правой панели позиция 1) показывает текущее положение скопления ($Z_0 = 0.401 \pm 0.010$ кпк), положение 2) показывает предполагаемое место рождения скопление и положение Солнца в этот момент (расстояние между скоплением и Солнцем $d_{\odot} = 12.44 \pm 4.38$ кпк.

значений координат места потенциального рождения скопления. Результат расчетов с учетом этих ошибок показан на рисунке 2.7.



Рисунок 2.7 — Левая панель показывает расчеты орбит Солнца (оранжевая линия), скопления King 11 (черная линия, рис. 2.6) и скопления с учетом ошибок определения собственных движений, расстояния и скорости. Орбиты показаны в момент времени 3.63 ± 0.42 млрд. лет назад в плоскости Галактики

XY. Правая панель показывает положение скопления по z-координате в зависимости от параметров интегрирования ($Z_1 = -0.32$ кпк, $Z_2 = 0.419$ кпк).

2.2 Положения на защиту

– Изучены кинематические параметры скоплений NGC 2158 и King 11 в модели Галактики. Для P3C NGC 2158 впервые по высокоточным данным получена пространственная скорость $V_{spatial} = 51 \pm 5$ км с⁻¹, минимальное расстояние до Солнца $d_{min} = 2.7$ кпк в момент времени $t_{min} = -2.3$ млрд.лет, значительные осцилляции по Z-координате $Z_{max} = 529 \pm 7$ пк и место потенциального рождения скопления – Для РЗС King 11 получена пространственная скорость $V_{spatial} = 60.2 \pm 2.16$ км с⁻¹, минимальное расстояние до Солнца $d_{min} = 1.58$ кпк в момент времени $t_{min} = -0.76$ млрд.лет, значительные осцилляции по Z-координате $Z_{max} = 556 \pm 22$ пк и место потенциального рождения скопления, в момент которого скопление могло находиться на расстоянии 12.44 ± 4.38 кпк от Солнца.

2.3 Публикации

- [10] Comprehensive Analysis of NGC 2158 in the Gaia Era: Photometric Pa-rameters, Apex, and Orbit, D. P. Sariya et al. // The Astronomical Journal – 2021. – Mar. – Vol. 161, no. 3. – P. 101. – DOI: 10.3847/1538-3881/abd31d. – arXiv: 2012.06342[astro-ph.GA]
- [9] A Gaia based photometric and kinematic analysis of the old open cluster King 11, D. P. Sariya et al. // arXiv e-prints. – 2021. – June. –arXiv:2106.04783. – arXiv: 2106.04783[astro-ph.GA].15.A, Accepted to The Astronomical Journal

Численное моделирование кинематической эволюции ассоциаций, звездных скоплений и облаков межзвездных комет

В данной главе представлены результаты работ, объединенных общей идеей применения простой модели для описания кинематической эволюции распадающихся небесных систем, тела внутри которых могут быть представлены как точечные объекты. Результаты применения модели отдельно показаны применительно к распадающимся звездным системам в пункте 3.1 и планетным системам в пункте 3.2.

Для подтверждения общности принципов распада в пункте 3.3 рассматривается эволюция кометы, движущейся вокруг Солнца и испаряющейся вследствие нагрева.

3.1 Моделирование звездных систем

Применение модели для рассмотрения процесса эволюции различных звездных систем показало, что такой подход позволяет оценить ширину и длину образовавшегося потока. При этом будет два основных параметра, которые необходимо варьировать для описания процесса распада различных систем – пространственная скорость распада V_{decay} (см. таблицу 1) и соответствующее время распада (или жизни) T_{decay} объекта. Выбирая эти параметры, мы сможем описать распад

- 1. галактики-спутника Млечного пути, состоящего из ОВ-ассоциаций;
- 2. ОВ-ассоциации, состоящей из звездных скоплений;
- 3. звездного скопления, состоящего из отдельных звезд;
- 4. свободных АКП-объектов звезд.

Таким образом, мы получаем схожие по форме, но различные по другим параметрам потоки на разных масштабах – от галактик до отдельных звезд и планетных систем. Модель рассматривалась применительно к таким звездным системам, как спутники Галактики, звездные ассоциации и РЗС. Поскольку спутники Галактики состоят из ассоциаций и скоплений, схожесть процессов распада вполне очевидна.

Нашей целью является оценка времени распада и размеров полученной структуры для различных звездных систем.

3.1.1 Галактики

Природа потоков звезд в окрестностях Галактики еще около ста лет назад была приписана распаду звездных скоплений [41—43]. Современные наблюдательные данные позволяют более детально изучить морфологию явлений, формирующих такие потоки.

Примеры распадающихся шаровых скоплений (Palomar 5 и Palomar 15), растянутых вдоль своих орбит на десятки парсек [44; 45], дают представление о картине последствий приливного разрушения сравнительно слабо связанных звездных систем. Кроме того, не исключено, что названные скопления являются ядрами карликовых галактик, разрушенных приливами. Последние непрерывно пополняют звездное население гало Галактики. В настоящее время известно более 40 звездных потоков в Галактике. Изучение звезд гало Галактики с [Fe/H]<-2 позволяет найти концентрацию части этих звезд в кинематически выделяющиеся звездные потоки [46]. Анализ отношения [O/Fe] и [Fe/H] звезд гало обнаружил существование химически выделенных групп звезд низкой металличности, принадлежащих в прошлом близким галактикам малой массы. Они непрерывно пополняются нашей Галактикой в ходе ее эволюции в Местном скоплении [47]. Бимодальность распределения звезд малой металличности по величине отношения [O/Fe] [46] является вероятным следствием смешения самых старых звезд Галактики со звездами поглощенных ею спутников малой массы.

На Рис.^{3.1} показан процесс эволюции звездного потока вплоть до 10 млрд. лет. Спутник представляет собой модель согласно пункту 1.1.2. Орбита галактики-спутника представляет собой облако точек с начальными координатами



Рисунок 3.1 — Результаты расчетов до 10 млрд. лет. На парах панелей (верхняя – проекция XY, нижняя - проекция XZ) слева направо показаны стадии эволюции облака - спутника Галактики во времени на 1, 3, 5, 10 млрд.лет.

и компонентами пространственной скорости в прямоугольной галактоцентрической системе координат: XYZ = (13, 7.5, 4.6) кпк, UVW = (0, 250, 0) км c^{-1} , $\alpha = 90^{\circ}$, $\delta = 90^{\circ}$. На левых крайних панелях на Рис.3.1 мы видим, что в течение 1 млрд. лет спутник постепенно превращается в поток, растянутый примерно на 30 кпк. Потерянные продукты распада, как видим на Рис.3.1, покидают спутник и образуют петлеобразный поток. Длина потока зависит от времени интегрирования. Отметим, что полученный на Рис.3.1 (крайняя левая пара панелей) поток сходен с тем, что показан в работе [48] для звездного потока галактики NGC 5907. На Рис.3.1 легко заметить, что за Хаббловское время 10 млрд. лет поток практически полностью рассеивается на периферии Галактики, входя в состав ее гало. Заметно, что плотность точек, представляющих продукты распада, не равномерна в пространстве. Уплотнения показывают остатки потока, распавшегося на несколько частей. Одна часть заполняет область вблизи балджа, остальные звезды заполняют гало практически полностью, вплоть до расстояний 40 кпк по радиусу. Ясно видна хаотизация потока со временем,

Пример меридиональной орбиты спутника, падающего со стороны Северного Полюса на ЦГ, показан на Рис.3.2. Наблюдаются галактики-спутники, ко-

вызванная отклонением потенциала от сферической симметрии.

36
торые не могут противостоять притяжению Галактики и падают на неё (скорость падения может достигать 400 км с⁻¹). Пример такого падения старой, возрастом 13.5 млрд. лет [49], карликовой галактики – спутника Тукана III показан на Рис.3.2. Тисапа III ассоциируется со звездным потоком, имеет длину 4.5 кпк, потерял 69% массы, движется по радиальной орбите и, как видим на Рис.3.2, продукты распада могли стать населением балджа [49].



Рисунок 3.2 — Радиальная (то есть проходящая через ЦГ) орбита спутника Тисапа III. Показаны проекции орбиты галактики Тукана III – спутника Млечного Пути на промежутке 2 млрд.лет в прошлые эпохи. Спутник

приближается со стороны северного Полюса Галактики со скоростью 100 км

 ${\rm c}^{-1}.$ Стрелками показано направление движения спутника.

Согласно расчетам, спутник Тукана III (Рис.3.2) мог проходить в прошлом через ЦГ. Орбита, проходя практически через ЦГ, значительно меняет угол относительно плоскости Галактики в меридиональном направлении. Он достигает девяноста градусов. Приближаясь к балджу (расстояние в перицентре 2.5 кпк) или даже проходя сквозь него, Тукана III совершает разворот и удаляется по вытянутой эллиптической орбите (эксцентриситет равен 0.9). Затем возвращается вновь, и продолжает движение по сложной замкнутой орбите.

3.1.2 Ассоциации и рассеянные звездные скопления

Спутник Галактики состоит из OB-ассоциаций, которые, в свою очередь, состоят из P3C. Далее рассмотрим распад этих систем.

Изучение физики и эволюции звездных скоплений принадлежит к числу основных направлений звездной астрономии. За последние сто лет этой проблеме было посвящено более 10 тыс. статей, в настоящее время около 500 статей ежегодно представляют результаты работы, выполненной в этом направлении Astrophysics Data System. Есть несколько причин, вызывающих постоянный и активный интерес астрономов к исследованию статистики, физики и эволюции звездных скоплений. Исследование скоплений разных возрастов позволили превратить эти астрономические объекты в эффективный и во многом незаменимый инструмент для исследования эволюции звезд и галактик. Изучение движений звезд в скоплениях и движения самих скоплений в Галактике стало основой для изучения распределения вещества в этих звездных системах.

Интересна история вопроса о возникновении и эволюции звездных скоплений и их включающих звездных ассоциаций. Идея о непрерывном звездообразовании в Галактике была предложена Гершелем [50]. Представление о гравитационной неустойчивости Джинса [51] как причины образования звезд с обнаружением гигантских облаков молекулярного водорода легко обобщалось на образование скоплений, ОВ ассоциаций и галактик [52]. Блау [53] составил полный на то время каталог радиальных и тангециальных скоростей массивных звезд в близких областях звездообразования. В итоге он пришел к выводу о нестабильности в зонах звездообразования. Пространственные размеры таких систем составляют несколько сот парсек. В. А. Амбарцумян в 1951 г., изучая скорости молодых звезд в ОВ ассоциациях, нашел их гравитационно неустойчивыми. Это противоречило простым представлениям о гравитационной неустойчивости системы с начальной отрицательной энергией как причине возникновения ОВ ассоциаций. Для объяснения очевидного противоречия со сценарием гравитационной неустойчивости Амбарцумян предположил, что звезды и OB ассоциации подобно нашей Вселенной образуются за счет распада неких сверхплотных D-тел. В настоящей главе предлагается сценарий кинематической эволюции распадающихся OB ассоциаций и скоплений в галактическом диске. OB

ассоциации и звездные скопления (тесно связанные звездные системы) располагаются иерархически: ассоциации вклю- чают скопления. Следовательно, их эволюция представляет единый процесс, который мы проиллюстрировали в конце статьи в рамках простой численной модели.



Рисунок 3.3 — Эволюция облака точек, представляющих звезды скопления (голубые точки) и ОВ ассоциации (синие точки). Согласно с этапами эволюции звезды скопления растягиваются в звездный поток. Звезды ассоциации двигаясь намного быстрее успевают сделать полный оборот вокруг галактического Центра, а звездный поток превращается в кольцо. Эволюция облака 1000 точек в проекции на плоскость галактического диска XY. ОВ ассоциация (серые точки) – замыкается в кольцо вокруг Центра Галактики (ЦГ) приблизительно за 2 млрд. лет, начальные положения облаков обозначены подписью Н.У. (начальные условия). Заданные компоненты пространственной скорости ОВ ассоциации равны $V_{spatial} = 10$ км с⁻¹. Звездное скопление (черные точки) – $V_{spatial} = 1$ км с⁻¹. Вверху каждой панели подписано время эволюции.

Результаты расчетов для звездного скопления и ОВ ассоциации, представленные на Рис.3.3, выполнены на интервале от до 5 млрд. лет. Вектора заданных компонент скоростей U,V,W для облаков из n=1000 точечных объектов распределены равномерно по сфере так, что модули векторов скорости $V_{spatial} = 1$ км с⁻¹ для скопления и $V_{spatial} = 10$ км с⁻¹ для ассоциации, $V_{spatial} = \sqrt{U^2 + V^2 + W^2}$ согласно модели в пункте 1.1.2. В процессе своего движения точки постепенно растягиваются, превращаясь в потоки. Как видно, процесс происходит благодаря дисперсии внутренних (пекулярных) скоростей. Естественно, процесс растяжения происходит быстрее там, где дисперсия на порядок больше – то есть в OB ассоциациях. Поскольку ассоциации, на начальном этапе состоящие из скоплений, быстро эволюционируют и распадаются, то на Puc.3.3 они состоят уже практически полностью из звезд. В ассоциации могут оставаться единичные выжившие скопления.

На рис. 3.4 представлены все ступени эволюции скоплений (нижняя часть) и OB ассоциаций (верхняя часть). Обратимся к левой стороне сценария, где первые четыре ступени иллюстрируют процессы эволюции от зарождения, затем начало фрагментации и далее звездообразование, потерю газа, распад большинства скоплений, зарождение звездных потоков. Как мы увидим далее, ассоциация, постепенно расширяясь вдоль орбиты, успевает за время жизни Галактики замкнуться в кольцо вокруг галактического центра. Для скопления этого времени недостаточно, и оно достигает лишь стадии звездного потока (рис. 3.3). Звездные скопления являются основными местами образования звезд в галактиках, причем после удаления газа зонами ионизованного водорода остается только несколько процентов гравитационно связанных скоплений [54]. Распавшиеся скопления заполняют объем звездами, наследующими основные параметры исходных гигантских молекулярных облаков. ОВ ассоциации не связаны гравитационно, поэтому приливные силы Галактики со временем искажают их форму за период порядка кеплеровского времени на уровне орбиты ассоциации в Галактике. Этот процесс численно промоделирован нами с помощью простой модели (рис. 3.3). Таким образом, приливные силы определяют эволюцию формы ОВ ассоциации, искажая ее и со временем превращая в постепенно растягивающийся на гигантские расстояния (~50 кпк) звездный поток.

Представленный на рисунке 3.4 сценарий эволюции скоплений и OB ассоциаций является синтезом современных результатов разных авторов и дает понимание одного из фундаментальных процессов в природе. Аналогичные процессы наблюдаются не только для скоплений, но и сталкивающихся галактик в скоплениях [55]. Так, в ядрах скоплений галактик при столкновении галактики могут потерять газ и звезды. Подобный звездный хвост длиной 50 кпк обнаружен около галактики DDO 44, спутника NGC 2019 [56]. Оставшийся без газа спутник распадается по той же схеме — действие приливных сил, постепенное вытягивание звездных потоков вдоль орбит вокруг центра скопления галактик с постепенным замыканием в кольца.



Рисунок 3.4 — Сценарий эволюции звездной ассоциации, верхняя панель и рассеянного звездного скопления на нижней панели. Показаны цепочки превращений гигантских газовых облаков в OB ассоциации, затем звездные кольца вокруг галактического Центра. И превращений газового облака в скопление, которое превращается в поток. На верхней панели в круге слева – звезды OB-ассоциации. Далее расширяющаяся OB-ассоциация, в кольце – звезды предельно старой OB-ассоциации. На нижней панели аналогичное развитие претерпевает скопление, расположенное внутри ассоциации. Замкнутся в кольцо звездный поток не успевает за время жизни Галактики.

Добавим также, что, судя по результатам проекта Gaia, недалеко время, когда каждая звезда получит «генетическую карту», в которой ее параметры будут отражены настолько подробно, что можно будет устанавливать ее «родственников — звезд сестер и племянниц» из распавшихся скоплений, изначально входивших в состав одной и той же OB ассоциации. А Пока мы вынуждены находить потоки и кольцевые структуры лишь по наблюдаемым областям с увеличенной звездной плотностью.

3.2 Моделирование планетных систем - эволюция АКП-компоненты в диске Галактики

Мы рассматриваем эволюцию АКП-компоненты Солнечной системы в диске Галактики, в процессе которой малые тела вытягиваются в "копье"вдоль орбиты Земли.

Вопрос о межзвездных кометах впервые возник при рассмотрении взаимодействия облака Оорта со звездами фона [57; 58]. Межзвездные объекты 2/I Борисова и 1/I Оумуамуа, обнаруженные недавно, представляют этот компонент Галактики [59; 60] Найдены межзвездные метеоры с массой ~ 10⁻⁴ г [61], которые также представляют существенную часть АКП компонента Галактики. Отметим, что микролинзирование облегчает и делает реальным процесс регистрирования свободных планет Галактики, потерянных родительскими звездами [62].

Часть их населения, включающая астероиды, кометы и планеты (АКП) может ускоряться планетами-гигантами и выбрасывается из родительских планетных систем со скоростями в несколько километров в секунду. АКП покидают не только родительскую звезду, но и распадающееся звездное скопление, в котором, как правило, находится родительская звезда. Таким образом формируются в пространстве облака АКП, напоминающие копья. Сформированные АКП копья Солнца, звезд и звездных скоплений расширяют границы планетных систем со временем на десятки кпк.

Рассмотрена эволюция облака комет, потерянных Солнечной системой. Кометы, покидающие родительскую звезду со скоростями в несколько километров в секунду, оказываются в межзвездном пространстве Галактики. Таким образом формируется облако напоминающее по своим очертаниям копье. Этот процесс происходит и в окрестностях других звезд. Ведь образование звезд часто сопровождается возникновением околозвездных газово-пылевых дисков, эволюция которых ведет со временем к образованию экзопланет и планетных систем. В составе облака оказываются не только ядра комет, но астероиды и планеты (АКП). Сформированные АКП копья Солнца, звезд и звездных скоплений расширяют границы планетных систем со временем на десятки кпк. Звезды, имеющие планетные системы, вскоре начинают сопровождаться АКП облаками в виде копий или даже колец, что зависит от возраста звезды. Эти объекты достаточно распространены в Галактике, поскольку около трети звезд обладают планетами [63].



Рисунок 3.5 — Эволюция звездных скоплений и облаков комет во временном интервале 1, 2, 3, 4.6 млрд лет. На верхних панелях показана эволюция копья, которое распространялось со скоростью v = 1 км с⁻¹, на нижних панелях - с v = 2 км с⁻¹. Цвет показывает ПК над плоскостью Галактики (ось z).

Кроме длины, полученная структура также имеет свою ширину. На рисунке 3.6 на левой панели показана орбита Солнца, далее - орбиты облаков, распадающихся со скоростью 1 и 2 км с⁻¹ соответственно. Видно, что с увеличением пекулярной скорости распада увеличивается и толщина занимаемой области.



Рисунок 3.6 — Орбита Солнца (левая панель), облака АКП-объектов, распадающихся со скоростью 1 км с⁻¹ (средняя панель), и 2 км с⁻¹ (правая панель). Время интегрирования 4.6 млрд.лет.

Практически все звезды, имеющие планеты, должны обладать подобными АКП структурами. АКП компонента Галактики хорошо населена, т.к. около трети звезд имеют планетные системы. Близкие прохождения звезд также формируют вид АКП компоненты Солнечной системы, в том числе добавляя малые тела, потерянные другими Звездами.

3.3 Разрушение кометы в околосолнечной области

В процессе изучения эволюции звездных систем в потенциале Галактики возникла идея рассмотреть процесс распада также в потенциале Солнечной системы, в связи с чем была рассмотрена эволюция метеорного потока, возникающего вследствие разрушения кометы, попадающей в околосолнечную область.

3.3.1 Описание модели

Описанные в пунктах 3.1 и 3.2 процессы распада происходят в потенциале Галактики. Для изучения разрушения кометы и превращения ее в метеорный поток потенциал Галактики не подходит. Необходимо использовать потенциал Солнечной системы. Мы будем рассматривать движение частиц под действием силы гравитации. Частицы могут представлять звезды, планеты, луны, кольца или частицы пыли. Гравитация представлена ускорением, действующим на каждую *i*-ю частицу:

$$a_i = \sum_{N=1}^{j=0} \frac{Gm_j}{r_{ji}^3} \vec{r}_{ji}$$
(3.1)

где G – гравитационная постоянная, m_j – масса ј частицы, и \vec{r}_{ji} - расстояние между і и ј частицами, N – количество массивных тел, чью гравитацию мы хотим учесть (Солнце, Юпитер и т.д.).

Наша модель представлена Солнцем с массой m=1 и координатами x=0, y=0. Комета представлена телом с массой m=5e⁻¹⁵ и начальными координатами x=1 a.e., скорость кометы в перигелии 40 км с⁻¹. Комета начинает свое движение, в каждый шаг по времени рассчитывается расстояние d между кометой и Солнцем. Если это расстояние становится меньше 1 а.е., комета начинает терять метеоры. Количество потерянных метеоров за 1 шаг по времени обратно пропорционально квадрату расстояния n = $20/d^2$. Выброшенные частицы имеют нулевую массу, и приобретают скорость самой кометы и прибавку, пропорциональную положению кометы, по осям XY:

$$v_{particlex} = v_{cometx} + \frac{v \cdot x_{comet}}{\sqrt{x_{comet}^2 + y_{comet}^2}}$$
$$v_{particley} = v_{comety} + \frac{v \cdot yy_{comet}}{\sqrt{x_{comet}^2 + y_{comet}^2}}$$

где v – скорость выброса, равная 126 м с⁻¹, $v_{particlex}$ ($v_{particley}$) скорость выброшенной частицы по направлению оси х (у).

Данный метод реализован в программе rebound для языка программирования *Python* [14].

3.3.2 Результаты моделирования испаряющейся кометы

Кометы, выброшенные в облако Оорта планетами гигантами в ходе образования и эволюции планетных систем, со временем под действием гравитации тех же планет могут вновь попасть на близкие к Солнцу орбиты. Испарение кометных ядер потоком солнечного излучения ведет к освобождению кометами твердотельной пылевой компоненты. Рассмотрена численная модель превращения комет со временем в пылевые потоки вдоль их орбит вокруг Солнца. Оценено время жизни пылевых потоков, возникающих вдоль орбит их порождающих комет. Основной причиной рассеяния и хаотизации этих потоков служат, вероятно, массивные планеты. Анализ взаимодействия объектов облака Оорта и Солнца с пролетающими звездами и звездными скоплениями привел к выводу о вероятном ограничении размеров плотной части облака Оорта. Сценарий эволюции кометы представлен на рисунке 3.8.



Рисунок 3.7 — Результат расчетов движения кометы вокруг Солнца со скоростью в перигелии 39.9 км с⁻¹. На каждом шаге интегрирования происходит испарение пыли в направлении на Солнце со скоростью пылинок, равной 126 м с⁻¹. Размеры черных точек, представляющих облака пыли, пропорциональны количеству выброшенных на каждом шаге пылинок. Последнее в свою очередь равно 20/r², где г – расстояние кометы от Солнца. Картина показана в развитии во времени. Время интегрирования и число пылинок подписаны в левом верхнем углу каждой панели.

Модель превращения ядра кометы со временем в метеорный поток иллюстрируется на Рис.3.7. Интересно отметить эксцентричное положение ядра на ранних стадиях его испарения. Испаряющаяся пыль получает орбитальную скорость, величина и направление которой зависит от положения самой кометы. Это обуславливает то, что "ускоренная"испарением ядра пыль выходит на орбиты с эксцентриситетом, большим эксцентриситета ядра и с большим орбитальным периодом. А "заторможенная"испарением ядра пыль приобретает более короткие орбитальные периоды, что увеличивает длину лидирующей части пылевого копья ядра по сравнению с отстающей. Со временем копье превращается в пылевое, метеорное кольцо вокруг Солнца, наследующее орбиту ядра кометы.



Рисунок 3.8 — Сценарий эволюции кометы (облако Оорта, горячая орбита, пылевые кольца). Показана наблюдаемая стадия падения кометы Шумейкеров–Леви (D/1993 F2) на поверхность Юпитера.

3.4 Положения на защиту

- Согласно расчетам, эволюция распадающихся звездных и планетных систем происходит сходным образом. Сферическое облако растягивается вдоль орбиты в поток, с последующим замыканием в кольцо вокруг центра Галактики. В результате расчетов получено, что спутник Галактики замыкается в кольцо вокруг ЦГ за ~2 млрд.лет, за ~10 млрд.лет продукты его распада заполняют гало. Звездная ассоциация замыкается в кольцо вокруг ЦГ за ~2 млрд.лет, при этом толщина потока составляет до 3 кпк. Рассеянное звездное скопление за 5 млрд.лет растягивается в поток длиной ~10 кпк. Свободные АКП-объекты облака Оорта образуют поток вдоль орбиты Солнца, который растянулся на десятки кпк за время жизни Солнечной системы;
- Продукты распада, образующиеся вследствие нагрева кометы в околосолнечной области (перигелийное расстояние <1 а.е.), также образуют потоки вдоль орбит родительских комет, образующие замкнутые структуры вокруг Солнца за несколько сотен лет.

3.5 Публикации

- [6] Formation of Stellar Streams Due to the Decay of Star Clusters, OB Associations, and Galaxy Satellites, Tutukov A. V., Sizova M. D., Vereshchagin S. V. // Astronomy Reports — 2020. — Oct. — Vol. 64, no. 10. — P. 827–838. — DOI: 10.1134/S106377292010008X
- 2. [7] Time Evolution of a Cometary Spear of the Sun, Tutukov A. V., Sizova M. D., Vereshchagin S. V. // Astronomy Reports — 2021. — Apr. — Vol. 65, no. 4. — P. 305–311. — DOI: 10.1134/S1063772921040089
- [8] Destruction of galaxies as the cause of the appearance of stellar streams, Tutukov A. V., Vereshchagin S. V., Sizova M. D. // Accepted to Astronomy Reports - 2021

Глава 4.

Изучение сближений звезд и рассеянных звездных скоплений при их движении в диске Галактики

В данной главе представлены результаты работ по изучению возможных сближений в прошлые эпохи рассеянных звездных скоплений и Солнечной системы. Результаты поиска и список кинематических параметров скоплений представлены в пункте 4.1.1. В процессе поиска близких сближений было обнаружено, что скопление Гиады сближалось с Солнечной системой на ~25 пк около 1 млн. лет назад, в связи с чем изучению этого события посвящено больше времени. Был подготовлен список звезд по Gaia EDR3 в пункте 4.1.2. Далее была произведена аналитическая оценка эффекта от сближения (то есть изменение импульса комет облака Оорта) скопления и отдельных его звезд с Солнечной системой в пункте 4.1.3 и численная оценка в пункте 4.1.4.

В пункте 4.2 мы изучили парные сближения звезд в диске Галактики как вероятные источники межзвездных АКП-объектов.

4.1 Расчет сближений РЗС с Солнечной системой

Активное изучение сближений Солнца и звезд (например, [64]) позволяет лучше понять процессы, способствующие эволюции кометного облака Оорта. Частота таких сближений невелика [2] и не всегда приводит к существенным изменениям в орбитальном движении комет [24]. Поскольку рассеянные звездные скопления – такие же частые жители диска Галактики, как и звезды, мы решили изучить сближения РЗС и Солнца в прошлые эпохи.

Программный скрипт на языке программирования *python*, применяемый в данном разделе, представлен в Приложении А. Полученный каталог представлен в Приложении Б.1 в таблицах 10, 12.

4.1.1 Поиск скоплений, сближавшихся с Солнечной системой

Рассчитаны моменты времени и минимальные расстояния прохождений для более 100 рассеянных звездных скоплений (P3C) около Солнечной системы на протяжении последних 5 миллионов лет. Показано, что минимальные сближения центров P3C 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.



Рисунок 4.1 — Расстояния d_{min} и соответствующие им t_{min} . Скопление IC 1396, параметры которого выходят за пределы диаграммы, не нанесено (t_{min} = -205.22 млн лет, d_{min} = 56.3 пк).

Для определения d_{min} и t_{min} мы смоделировали орбиты РЗС и Солнца и определили их положения в Галактике с шагом по времени 10^4 лет, отсчитывая назад от современного значения $t_0=0$. На каждом шаге мы вычисляли расстояние между Солнцем и объектом и оставляли минимальное из этих расстояний, запоминая при этом, в какой момент времени объекты сблизились 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 можно найти по адресу на github.

При определенных условиях и приближениях, принятых а работе Рикмана [65], оценку приращения скорости кометы вследствие возмущения от сближений с РЗС V_p можно рассчитать по формуле

$$V_p = \frac{2GMt_{comet}}{Vd_{min}^2} \tag{4.1}$$

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, взято r_{comet} равным 0.5 пк. Результаты моделирования: dmin, tmin и максимальное приращение скорости V_p кометы приведены в Таблице 7, в колонках которой для удобства также содержатся (повторены): номер по каталогу MWSC, название скопления или номер по другим каталогам, расстояние скопления от Солнца d и возраст t скопления по MWSC, масса скопления (из каталога [66]). Рассчитанные значения d_{min} и соответствующее им t_{min} также представлены на рис. 4.1.

Кроме представленных результатов для близких скоплений, поиски сближений проводились по скоплениям из списков [34] и [35]. Из 3006 скоплений, представленных в каталоге MWSC, лучевая скорость известна для 962. Естественно, что мы выбрали только эти скопления? так как интегратор использует скорости. 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 α , δ , μ_{α} , μ_{δ} и V_r . Мы также использовали данные Gaia DR2 о скоплениях из каталога [35], содержащего 861 скопление с известными лучевыми скоростями. Всего из этого каталога были отобраны 58 скоплений. 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. 129 скоплений (в сумме по обоим используемым каталогам включая перекрытия) проходили минимум, и для них d_{min} и t_{min} показаны на рис. 4.2. 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, представленных в Приложении Б.1.

Таблица 7 — Результаты моделирования сближений скоплений с Солнечной системой, где (*) – число звезд (N1sr2 из MWSC) в случае отсутствия данных о массе скопления.

MWSC	Название	Macca, M_{\odot}	d, пк	t, млн.лет	v_p , m c ⁻¹	$\mathbf{d}_{min},\mathbf{п}\mathbf{K}$	t _{min} , млн.лет
2020	Melotte 111	57.5	87	691.8	0.0326	87	0
544	Mamajek 3	40*	95	31.6	0.0028	72.3	-3
1535	Mamajek 1	40	112	9.8	0.0014	76.3	-2.4
278	Alessi 13	17.3	112	524.8	0.0007	91.5	-3
1990	Feigelson 1	26*	117	4	0.0009	99.9	-2.4
305	Melotte 22	282.1	130	141.3	0.0134	128	-0.8
1629	Platais 8	38.3	141	56.2	0.0012	88.7	-4.8
1841	IC 2602	141.8	151	221.3	0.0042	81.5	-4.8
1529	IC 2391	70.2	165	112.2	0.001	144	-2.6
395	Platais 3	29.5	170	631	0.0007	156.5	-3.8
2650	Mamajek 2	17*	174	125.9	0.0001	174	0
274	Melotte 20	243	175	50.1	0.0243	175	0
1527	NGC 2632	284.3	187	831.8	0.0021	132.4	-2.8
1308	NGC 2451A	98.8	188	57.5	0.001	135	-4
109	Platais 2	8.9	190	205.6	0.0002	174.4	-4.4
1639	Platais 9	55.6	200	123	0.0005	163.8	-3.6
	Melotte 25	435	47	625	0.116	24.8	-0.9



Рисунок 4.2 — Диаграмма d_{min} – t_{min} для скоплений из каталогов [67] (красные точки) и [68]. (черные точки), включая 21 скопление, являющиеся, как показало сравнение, общими для двух упоминаемых каталогов, N – число скоплений на рисунке.

4.1.2 Подготовка списка звезд, входящих с состав Гиад по данным Gaia EDR3

Поскольку Гиады - самое близкое в нашем списке к Солнцу скопление, далее мы уделим внимание этому событию сближения и рассмотрим отдельные звезды, входящие в его состав. Для этого нам необходимо составить список звезд по последним данным. Воспользуемся сервисом Xmatch для поиска по каталогам Gaia EDR3 [37] и [69] – самому крупному каталогу звезд Гиад по данным Gaia DR2. Получаем список звезд по данным Gaia EDR3, удалив звезды без лучевой скорости V_r и звезды с маленьким параллаксом (которые по расстоянию явно не подходят). В результате получаем 291 звезду, потенциально принадлежащую скоплению Гиады. В данном списке астрометрия соответствует данным Gaia EDR3, а лучевые скорости - каталогу Gaia DR2. Далее для определения центра скопления необходимо отделить ядро и шлейфы. Ядро скопления на начальном этапе было определено как количество звезд, сближавшихся с Солнцем на минимальном расстоянии одновременно (Рис. 4.3). Из полученной выборки были исключены звезды, имеющие выпадающие значения прямого восхождения и склонения, собственных движений, скорости и параллакса. Результат определения центра скопления (как средние значения для звезд ядра) $\alpha = 66.811$ град., $\delta = 17.046$ град., $\pi = 21.514$, $\mu_{\alpha} = 106.206$, $\mu_{\delta} = -28.180$, $V_r = 39.386 \pm 0.53$ км с⁻¹.



Рисунок 4.3 — Количество звезд (ось у) на минимальном расстоянии от Солнца в соответствующий временной интервал (ось х).

4.1.3 Аналитическая оценка эффекта прохождения Гиад около Солнца

Оценим возможность отрыва малых тел из облака Оорта проходящим мимо Солнечной системы звездным скоплением, что схематично изображено на Puc.[fig:hyades2]. Величина приращения скорости малого тела ΔV_{\perp} при заданном расстоянии малого тела от Солнца (0.5 пк) в зависимости от массы скопления M_{cl} равна $\Delta V_{\perp} = 0.1 M_{cl} / r^2$, где r^2 — расстояние сближения Гиад и Солнца. На Рис. 4.6 показаны значения ΔV_{\perp} от г для различных значений массы скопления M_{cl} .

Гиады (масса 400 M_{\odot}), приблизившись к Солнцу. приводят к возрастанию скоростей малых тел приблизительно на 0.1 м с⁻¹. Скорость отрыва здесь



Рисунок 4.4 — Положения звезд Гиад по данным Gaia EDR3 в момент времени t=0. Показан центр скопления, звезды ядра и звезды хвоста скопления.

составляет 133 м с⁻¹. Поиски слабых членов скопления, учет массы двойных, коллективного влияния звезд и звезд потока Гиад позволят получить более реальное значение для полученной оценки.



Рисунок 4.5 — Положения звезд Гиад по данным Gaia EDR3 в момент времени t=0. Показан центр скопления, звезды ядра и звезды хвоста скопления.

Пусть мимо Солнечной системы движется звезда или скопление со скоростью V (Рис. 4.6). Тело (звезда или скопление) массой M_* , сближающееся с

56

Солнцем будет притягивать комету. На расстояние d_{min} комета будет испытывать ускорение, равное

$$g = G \frac{M_*}{d_{min}^2} \tag{4.2}$$

Однако, поскольку комета находится в гравитационной связи с Солнцем, а мы рассматриваем динамику кометы относительно Солнца, нужно учитывать влияние M_* и на Солнце тоже. (Это типичная задача на приливное возмущение.) Поэтому правильно рассматривать g не относительно M_* , а относительно Солнца. Выражение для этого относительного (приливного) ускорения в точке максимально сближения

$$g_{tide} = \frac{2GM_*a}{d_{min}^3} \tag{4.3}$$

Комета будет испытывать приливное ускорение и когда тело находится не только в этой точке но и где-то на линии движения тела. Ускорение переменно во времени, т.к. расстояние до кометы меняется как $\sqrt{d_{min}^2 + V_t^2}$. Чтобы получить общее (накопленное) изменение скорости кометы ΔV за интервал времени $t_2 - t_1$ нужно интегрировать.

$$\Delta V = \int_{t_1}^{t_2} g_{tide} dt = \int_{t_1}^{t_2} \frac{2GM_*a}{(d_{min}^2 + V_t^2)^{3/2}} dt = \frac{2GM_*at}{d_{min}^2 \sqrt{d_{min}^2 + V_t^2}} \Big|_{t_2}^{t_1}$$
(4.4)

При интегрировании от $t_1=0$ до $t_2 \to \infty$ получаем

$$\Delta V = \frac{2GM_*a}{d_{min}^2 V} \tag{4.5}$$

В статье принято обозначение $\Delta V = V_p$.

Рассмотрим круговую скорость кометы. Пусть комета массой m_k на круговой орбите. Она движется вокруг центральной звезды массой M_{\odot} со скоростью v_k .

$$v_k = \sqrt{\left(\frac{GM_{\odot}}{a}\right)} \tag{4.6}$$

Для реальных значений: $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30}$ г, $a = 1.5 \cdot 10^{16}$ м (0.5 пк), $G = 6.7 \cdot 10^{-11}$ н м²/кг² $v_k = 95$ м с⁻¹. Период обращения такой кометы вокруг Солнца равен $3.2 \cdot 10^7$ лет.



Рисунок 4.6 — Значения
 ΔV_{\perp} от г для различных значений массы скопления
 $M_{cl}.$

4.1.4 Численная оценка эффекта прохождения Гиад около Солнца

На Рисунке 4.7 показана диаграмма $d_{min} - t_{min}$, где d – минимальное расстояние звезды от Солнца за последние 2 млн. лет, t – время сближения по данным Gaia EDR3.

Представленные на Рис. 4.7 данные получены без учета пекулярных движений звезд внутри скопления. Это представляется возможным изучить с помощью N body. Учитывая что характерная величина дисперсии пекулярных скоростей составляет 0.1 км с⁻¹, это составляет перемещение звезды приблизительно на 1 пк в течение 1 млн. лет. По таблице 2 видим какие звезды могли приблизится и на сколько, а какие удалится и сколько таких звезд.

Выполнены расчеты движения рассеянного звездного скопления Гиады в гравитационном поле Галактики вблизи современной эпохи. Получены оценки гравитационного влияния скопления на кометы облака Оорта. Хотя возмуще-



Рисунок 4.7 — Минимальное расстояние сближения звезд скопления с Солнцем и соответствующее время. Показаны центр скопления по данным Gaia EDR3, звезды ядра и хвоста.

ния в движении комет, вызванные гравитационным действием скопления Гиады, на порядок меньше воздействия галактического центра, эффект не является пренебрежимо малым.

Таким образом, вычисления показали, что скопление Гиады сближалось с Солнцем на минимальное расстояние $d_{min}=24.77$ пк $t_{min}=0.847$ миллионов лет назад (Рис. 4.8), Таблица 8). Эти координаты и скорости соответствуют движению скопления в плоскости, задаваемой по отношению к галактической плоскости долготой нисходящего узла $\Omega_H=27.8^\circ$ и наклоном $i_H=41.5^\circ$. Точка прохождения на минимальном расстоянии от Солнца находится на угловом расстоянии $\omega_H=86.4^\circ$ от направления на нисходящий узел.

Нужно отметить, что параметры орбит скоплений зависят не только от потенциала Галактики, но и Местной системы [70]. О необходимости учета особенностей расчетов, связанных с Местным звездным комплексом (его масса составляет $10^5 - 10^7$ масс Солнца) также показано в работе [71].



Рисунок 4.8 — Движение Гиад в гелиоцентрической системе координат. Солнце расположено в центре. Стрелками показаны проекции вектора пространственной скорости скопления относительно Солнца на плоскость ХҮ. Подписаны моменты времени около соответствующих точек. Отметим, что шкала времени и направления вектора скорости соответствуют движению скопления относительно Солнца от прошлой эпохи (t=-2 млн. лет) к современной (t=0 соответствует современному моменту). Интересно, что вектор для t=0 отклоняется, тем самым начинается удаление Гиад от Солнца.

4.2 Расчет парных сближений звезд в диске Галактики

В случае сближений звезд в процессе их движения в диске Галактики на достаточно малые расстояния вероятны потери объектов из их облаков Оорта. В результате могут появляться межзвездные кометы и астероиды. Этот эффект зависит от минимального расстояния сближения звезд. Расчеты сближений и их частоты проводились в [64; 72—75]. Для Солнца частота сближений ориентировочно может составить одно за 10 млн лет. Формулы для оценки частоты сближений можно найти в [65].

Пространственные	$\mathrm{t}=0$ млн. лет		${ m t}=$ - 0.847 млн. лет	
координаты и скорости	Солнце	Гиады	Солнце	Гиады
Х, ПК	0	-43.98	0	-7.26
Υ, ПК	0	0	0	17.11
Ζ, ΠΚ	20.8	-17.94	20.8	-16.37
U, km c^{-1}	0	-42.41	0	-42.34
V, km c^{-1}	0	-19.82	0	-19.81
W, км с ⁻¹	0	-1.88	0	-1.96

Таблица 8 — Положение Солнца и Гиад в гелиоцентрической системе координат.

4.2.1 Парные сближения звезд поля в околосолнечной области

В данной работе с помощью выборки звезд из каталога Gaia EDR3 [37], расположенных на расстоянии до 20 пк от Солнца, рассчитаны минимальное расстояние между звездами d_{min} и соответствующий момент времени t_{min} . Результаты представляют интерес для поиска межзвездных комет.

Из каталога Gaia EDR3 мы выбрали звезды по следующим фильтрам: наличие радиальной скорости RV и параллакс $\pi > 50$ mas. В результате получено 313 звезд с собственными движениями, параллаксами и лучевыми скоростями. Звезды распределены почти равномерно по небесной сфере, имеют нормальное распределение собственных движений, доля звезд с относительными ошибками RV больше 20% невелика (рис. 4.9). Расчет движения звезд в прошлые и будущие эпохи проведен с использованием пакета galpy для языка Python [13]. Далее выполнен расчет расстояния между каждой возможной парой звезд на каждом шаге интегрирования, для каждой пары найдены минимальное значение расстояния и соответствующий этому событию момент времени.



Рисунок 4.9 — Основные характеристики нашей выборки звезд. Распределение на небесной сфере, диаграмма собственных движений, относительные ошибки в зависимости от величины лучевой скорости и параллакса.

Расчет расстояний между звездами нашей выборки на настоящий момент времени показал, что 33 звезды находятся на расстоянии до 0.5 пк, что указывает на возможность существования кратных систем. Эти звезды были исключены из списка, и дальнейшие расчеты проводились для оставшихся звезд. Полученные результаты представлены на рис. 4.10. Оценим полноту выборки. Среднее расстояние между звездами в околосолнечной окрестности составляет 2.15 пк [76]. Взяв приближенно плотность звезд 0.1 пк³, в пределах 20 пк окажется около 3400 звезд, т.е. наша выборка охватывает около 10% всех звезд.



Рисунок 4.10 — Минимальное расстояние между парами звезд (левая панель) и для пар с $d_{min} < 1$ пк (правая панель)

За исследуемый промежуток времени насчитывается 232 сближения на расстояние до 1 пк. Например, Gaia EDR3 1776317182780536064 и 3737308025029348608 имеют $d_{min} = 0.065 \pm 0.005$ пк, $t_{min} = 0.48 \pm 0.006$ млн. лет, Gaia EDR3 778758492243661824 и 1510834911934401152 $d_{min} = 0.19 \pm 0.003$ пк, $t_{min} = -0.09 \pm 0.002$ млн. лет. Кроме того, следует отметить, что некоторые звезды испытывали более одного тесного сближения. Поскольку в нашей работе звезды при интегрировании представляют собой точечные объекты, их орбита остается неизменной после тесного сближения. Таким образом, малая часть полученных сближений является избыточной. Расстояния до 1 пк составляют тысячную долю всех событий сближений. Процесс сближения имеет вероятностный характер, и предельные значения получаемых параметров при интегрировании орбит рассчитываются с помощью многочисленного варьирования исходных данных в пределах их случайных ошибок. Подобная работа выполнена нами в [5], ошибка определения минимального расстояния составляют ет около 10%.

Каталог представлен в Приложении Б.2.

4.2.2 Оценка количества межзвездных АКП-объектов в Галактике

Оценку количества межзвездных АКП-объектов в Галактике мы будем проводить с учетом парных сближений звезд на расстояние до 1 пк среди вы-

бранного объема звезд поля и внутри РЗС. Используя данные Gaia EDR3, мы найдем такие сближения на протяжении 500 млн.лет, затем экстраполируем результаты.



Рисунок 4.11 — Звезды поля нашей выборки по данным Gaia EDR3. Цветом показаны уровни равной плотности.



Рисунок 4.12 — Звезды скопления Гиады нашей выборки по данным Gaia EDR3. Цветом показаны уровни равной плотности.

Для звезд поля и Гиад мы использовали те же выборки, что и в пунктах 4.2.1 и 4.1.2. Положение звезд в плоскости XY и XZ показаны на рисунках ?? и 4.12 для звезд поля и скопления Гиад соответственно. Для оценки полноты выборки рассмотрим зависимость количества звезд от расстояния до них. На рисунке 4.13 видно, что наша выборка полна на расстоянии до ~20 пк. Также из выборки были исключены звезды с ошибками по $V_r > 20\%$.



Рисунок 4.13 — Количество звезд выборки (Рис. 4.11) от расстояния до них.

Рассчитав парные сближения на период 500 млн.лет для обеих выборок, мы уделим особое внимание звездам, сближающимся на расстояние до 1 пк. Такие сближения представлены на рисунке 4.14. Каталог представлен в Приложении Б.3.



Рисунок 4.14 — Результат расчетов $d_{min} < 1$ пк и t_{min} для звезд поля и Гиад.

Полученные результаты позволяют оценить количество событий, которые могут привести к образованию свободных межзвездных АКП-объектов. Список необходимых для расчета параметров представлен в таблице 9. Столбцы содержат временные интервалы интегрирования, количество звезд в выборках,

	Звезды поля	Гиады / центр сколпения
Количество звезд	642	280 / 150
Х, Ү, Ζ (пк)	$36.9 \times 38.4 \times 39$	$90.3 \times 163.6 \times 139.5$
Объем (пк ³)	$5.5 \cdot 10^4$	$2.1{\cdot}10^{6}~/~0.8{\cdot}10^{4}$
Количество пар	205,760	26,948
Количество близких пар (<1 рс)	64	62

Таблица 9 — Параметры для расчета

пространственный размер и объем пространства, содержащего выборки, количество пар, для которых мы вычислили минимальное расстояние, и количество близких пар, из которых могут образоваться межзвездные маленькие тела.

Оценим скорость образования малых межзвездных тел. Из таблицы 9 мы видим, что РЗС производит 62 близкие пары за 500 млн.лет, а звезды поля дают 64 близких пары за тот же период для рассматриваемого объема. В Галактике 10^5 РЗС, что означает, что скопления пополняют АКП-население Галактики 62×10^5 объектами за 500 млн.лет, или 1.24×10^4 АКП за 1 млн.лет.

Объем Галактики V это объем цилиндра с высотой 2 кпк и основанием $S = 2\pi R$, где R радиус Галактики 16 кпк. Таким образом, $V = 2 \times 2\pi \times 16 = 201$ крс³. Если для нашего объема 5.5×10^{-5} кпк³ производится 64 близкие пары, тогда для всей Галактики получим 2.35×10^8 за 500 млн.лет, или 47×10^4 АКП в 1 млн.лет.

Затем рассчитаем плонтость АКП-объектов в Галактике. Возраст Галактики 1.35 × 10¹⁰, тогда за весь период ее существования было произведено 0.67 × 10¹⁰ межзвездных АКП-объектов. Плотность АКП тогда $\rho = \frac{0.67 \times 10^{10}}{201} = 3.3 \times 10^8$ АКП на 1 кпк³

Важно отметить, что близкие сближения могут не оказать значительного возмущения на облако Оорта [24]. Кроме того, наша оценка не учитывает те звезды, которые покинули околосолнечную окрестность и могли также сблизиться как с другими звездами, так и с Солнцем. Учет таких встреч увеличит количество парных встреч и количество свободных объектов АКП-объектов соответственно. Тем не менее, наша оценка согласуется с количеством планетных систем в Галактике [24].

4.3 Положения на защиту

- Минимальное рассчитанное расстояние сближения центров РЗС (координаты более 4 тыс. скоплений по данным каталогов [34; 35]) с Солнцем составило менее 60 пк на протяжении последних 5 миллионов лет.
- Исключением стало РЗС Гиады, центр которого находился вблизи Солнечной системы на расстояние 24.8 пк ~1 млн.лет назад.

4.4 Публикации

 [5] Solar System Encounters with Open Star Clusters, M. D. Sizova et al. // Astronomy Reports — 2020 — Aug. — Vol. 64, no. 8. — P. 711–721. —DOI: 10.1134/S106377292009005X

Заключение

Основные результаты работы заключаются в следующем.

- Результаты получены с помощью разработанного сценария эволюции, охватывающего стадии от звездной ассоциации, образования в них скоплений, распада части из них и образования звездных потоков. Уделено особое внимание населению астероидов, комет и планет, часть из которых приобретает статус свободных и пополняет население Галактики наряду со звездами теряя гравитационную связь с родительскими звездами (также как скопления теряют связь с родительскими звездами (также как скопления теряют связь с родительскими звездными ассоциациями). Таким образом, облака звезд и АСР объектов растягиваются в структуры напоминающие по очертаниям копья, со временем пополняя население диска и замыкаясь в кольца вокруг Центра Галактики.
- 2. Для оценки параметров указанных структур разработаны численные методы позволяющие численно моделировать их кинематику и оценить связь параметров со временем и таким образом определить некоторые детали в эволюционной схеме кинематической эволюции Галактики.
- 3. В рамках предложенных моделей показано, что форма облаков потерянных звезд, звездных скоплений и АКП изменяется со временем сходным образом.
- 4. Особое внимание в работе уделено кинематической эволюции АКП объектов появляющихся в межзвездном пространстве за счет сближений звезд как между собой, так и со звездными скоплениями. Для этой цели использованы численные модели, при этом отдельно построена модель распада кометы, движущейся в пределах Солнечной системы. Такая модель применена для оценки параметров метеорного потока как результата такого распада.
- 5. В рассмотренных случаях сближений звезд и звездных скоплений интерес представляют рассчитанные параметры сближений, которые позволяют найти на небесной сфере положение места входа межзвездных комет.

 Отметим, что полученные данные позволили составить каталоги сближавшихся в прошлом объектов. Каталоги размещены онлайн в общем доступе наряду с основными программными продуктами.

Тема перспективна для дальнейшей разработки, в том числе за счет

- пополнения детальными исследованиями новых РЗС, в том числе двойных. Это позволит пополнить знания, как об особенностях эволюции одиночных скоплений, так и об эволюции Галактики, для которой скопления можно рассматривать маркерами эволюции, несущими информацию о параметрах Галактики в момент их близкий их времени образования;
- 2. интереса к детальному изучению связи отдельных звезд, скоплений и наблюдаемых звездных потоков с происхождением как межзвездных комет, так и экзокомет. Для этих целей могут быть использованы наши каталоги сближавшихся объектов и соответствующее программное обеспечение.

Список сокращений и условных обозначений

РЗС - Рассеянные звездные скопления

 $\mathbf{L}\mathbf{\Gamma}$ - Центр Галактики

 $\mathbf{A}\mathbf{K}\boldsymbol{\Pi}$ - Астероиды, планеты, кометы

MWSC - Milky Way Sky Syrvey

GAIA - Global Astrometric Interferometer for Astrophysics, изначальное название космического телескопа из предположения, что на нем будет установлен интерферометр

Gaia - "Земля" (греч.), название космического аппарата

Gaia EDR3 - Gaia Early Data Release 3

Gaia DR2 - Gaia Data Release 2

B-J+2018 - Bailer-Jones et.al, 2018 [36]

 V_p - Perturbation Velocity

 d_{min} - Событие минимального сближения между небесными телами в процессе их движения в диске Галактики

 t_{min} - Момент времени, когда произошло событие минимального сближения d_{min}

Словарь терминов

Рассеянное звездное скопление - Гравитационно связанная группа звезд

Звездная ассоциация - Разреженная группировка молодых звезд

Сближение - Момент наименьшего расстояния между небесными телами в процессе их движения в диске Галактики

Модель Галактики - Совокупность уравнений, описывающих силу, под действием которой движется небесное тело

Маркер эволюции Галактики -

Xmatch - Инструмент, позволяющий астрономам эффективно идентифицировать искомые объекты между очень большими каталогами (до 1 миллиарда строк) или между загруженным пользователем списком позиций и большим каталогом

python - Высокоуровневый язык программирования общего назначения с динамической строгой типизацией и автоматическим управлением памятью

galpy - Galactic python - пакет для расчетов галактической динамики на языке python
Список литературы

- Vereshchagin S. V., Sizova M. D., Shustov B. M. Binary and double star clusters // INASAN Science Reports. — 2020. — авг. — т. 5. — с. 85—88. — DOI: 10.26087/INASAN.2020.5.3.001.
- 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. — авг. — т. 5. — с. 89—93. — DOI: 10.26087/INASAN. 2020.5.3.002.
- Sizova M. D., Pavlyuchenkov Y. N., Naroenkov S. A. Modeling of exocomet orbits in β Pictoris system // INASAN Science Reports. - 2019. - OKT. -T. 4. - c. 179-183. - DOI: 10.26087/INASAN.2019.4.2.028.
- 4. 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.
- Solar System Encounters with Open Star Clusters / M. D. Sizova [et al.] // Astronomy Reports. — 2020. — Aug. — Vol. 64, no. 8. — P. 711–721. — DOI: 10.1134/S106377292009005X.
- 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. — Oct. — Vol. 64, no. 10. — P. 827–838. — DOI: 10.1134/S106377292010008X.
- Tutukov A. V., Sizova M. D., Vereshchagin S. V. Time Evolution of a Cometary Spear of the Sun // Astronomy Reports. — 2021. — Apr. — Vol. 65, no. 4. — P. 305–311. — DOI: 10.1134/S1063772921040089.
- 8. Tutukov A. V., Vereshchagin S. V., Sizova M. D. Destruction of galaxies as the cause of the appearance of stellar streams // Astronomy Reports. 2021.
- A Gaia based photometric and kinematic analysis of the old open cluster King 11 / D. P. Sariya [et al.] // Accepted to The Astronomical Journal. — 2021. — June. — arXiv:2106.04783. — arXiv: 2106.04783 [astro-ph.GA].

- A Comprehensive Analysis of NGC 2158 in the Gaia Era: Photometric Parameters, Apex, and Orbit / D. P. Sariya [et al.] // The Astronomical Journal. 2021. Mar. Vol. 161, no. 3. P. 101. DOI: 10.3847/1538-3881/abd31d. arXiv: 2012.06342 [astro-ph.GA].
- Sizova M. D., Tutukov A. V., Vereshchagin S. V. Stellar Comet Spear // Accepted to the Contributions of the Astronomical Observatory Skalnate Pleso. — Springer, 2021.
- Star clusters, planets, asteroids and comets in the light of Big Data / M. D. Sizova [et al.] // Accepted to the Communications in Computer and Information Science. Springer, 2021.
- 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. — arXiv: 1412.3451 [astro-ph.GA].
- 14. *Rein H., Liu S. .-F.* REBOUND: an open-source multi-purpose N-body code for collisional dynamics // Astronomy and Astrophysics. 2012. янв. т. 537. A128. DOI: 10.1051/0004-6361/201118085. arXiv: 1110.4876 [astro-ph.EP].
- 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.
- Navarro J. F., Frenk C. S., White S. D. M. The Structure of Cold Dark Matter Halos // The Astrophysical Journa. — 1996. — май. — т. 462. — с. 563. — DOI: 10.1086/177173. — arXiv: astro-ph/9508025 [astro-ph].
- 17. 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. arXiv: astro-ph/0202018 [astro-ph].
- McMillan P. J. The mass distribution and gravitational potential of the Milky Way // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2017. февр. т. 465, № 1. с. 76—94. DOI: 10.1093/mnras/stw2759. arXiv: 1608.00971 [astro-ph.GA].

- 19. A geometric distance measurement to the Galactic center black hole with 0.3% uncertainty / Gravity Collaboration [и др.] // Astronomy and Astrophysics. 2019. май. т. 625. с. L10. DOI: 10.1051/0004-6361/201935656. arXiv: 1904.05721 [astro-ph.GA].
- 20. 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. arXiv: 1301.7011 [astro-ph.GA].
- 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.
- The HIPPARCOS and TYCHO catalogues. Astrometric and photometric star catalogues derived from the ESA HIPPARCOS Space Astrometry Mission. т. 1200. — 01.1997. — (ESA Special Publication).
- 23. Binney J., Merrifield M. Galactic Astronomy. 1998.
- 24. The Closest Known Flyby of a Star to the Solar System / E. E. Mamajek [и др.] // The Astrophysical Journal. 2015. февр. т. 800, № 1. с. L17. DOI: 10.1088/2041-8205/800/1/L17. arXiv: 1502.04655 [astro-ph.SR].
- 25. Astropy: A community Python package for astronomy / Astropy Collaboration [и др.] // Astronomy and Astrophysics. — 2013. — окт. — т. 558. — АЗЗ. — DOI: 10.1051/0004-6361/201322068. — arXiv: 1307.6212 [astro-ph.IM].
- 26. Gaia DR2 proper motions of dwarf galaxies within 420 kpc. Orbits, Milky Way mass, tidal influences, planar alignments, and group infall / T. K. Fritz [и др.] // Astronomy and Astrophysics. 2018. нояб. т. 619. A103. DOI: 10.1051/0004-6361/201833343. arXiv: 1805.00908 [astro-ph.GA].
- 27. 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. arXiv: 1903.04499 [astro-ph.SR].

- 28. 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.
- 29. Arp H., Cuffey J. The star cluster NGC 2158. // The Astrophysical Journa. 1962. июль. т. 136. с. 51—65. DOI: 10.1086/147350.
- Christian C. A., Heasley J. N., Janes K. A. The Open Cluster NGC 2158 // The Astrophysical Journa. — 1985. — дек. — т. 299. — с. 683. — DOI: 10. 1086/163734.
- 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.
- 32. CCD photometry of the open cluster NGC 2158. / А. Piersimoni [и др.] // Memorie della Societa Astronomica Italiana. — 1993. — янв. — т. 64. — с. 609— 612.
- 33. An Astrometric and Photometric Study of the Intermediate-Age Open Cluster NGC 2158 and its Eclipsing Binary [NBN2015]78 / А. Е. Abdelaziz [и др.] // Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica. — 2020. — окт. — т. 56. c. 245—257. — DOI: 10.22201/ia.01851101p.2020.56.02.07.
- 34. Global survey of star clusters in the Milky Way. II. The catalogue of basic parameters / N. V. Kharchenko [и др.] // Astronomy and Astrophysics. 2013. окт. т. 558. А53. DOI: 10.1051/0004-6361/201322302. arXiv: 1308.5822 [astro-ph.GA].
- 35. A Gaia DR2 view of the open cluster population in the Milky Way / T. Cantat-Gaudin [и др.] // Astronomy and Astrophysics. — 2018. — окт. т. 618. — A93. — DOI: 10.1051/0004-6361/201833476. — arXiv: 1805.08726 [astro-ph.GA].
- 36. Estimating Distance from Parallaxes. IV. Distances to 1.33 Billion Stars in Gaia Data Release 2 / C. A. L. Bailer-Jones [и др.] // The Astronomical Journal. — 2018. — авг. — т. 156, № 2. — с. 58. — DOI: 10.3847/1538-3881/aacb21. arXiv: 1804.10121 [astro-ph.SR].

- 37. *Gaia Collaboration*. VizieR Online Data Catalog: Gaia EDR3 (Gaia Collaboration, 2020) // VizieR Online Data Catalog. 2020. нояб. с. I/350.
- 38. 2MASS Near-IR Color-Magnitude Diagram of the Old Open Cluster King 11 / J. Kyeong [и др.] // Journal of Korean Astronomical Society. 2011. февр. т. 44, № 1. с. 33—38. DOI: 10.5303/JKAS.2011.44.1.033.
- 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.
- 40. Salaris M., Weiss A., Percival S. M. The age of the oldest Open Clusters // Astronomy and Astrophysics. — 2004. — янв. — т. 414. — с. 163—174. — DOI: 10.1051/0004-6361:20031578. — arXiv: astro-ph/0310363 [astro-ph].
- 41. Boss L. J. Convergent of a moving cluster in Taurus // The Astronomical Journal. 1908. сент. т. 26. с. 31—36. DOI: 10.1086/103802.
- 42. Eddington A. S. Aberration, in relation to two star-streams // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 1909. май. т. 69. с. 571. DOI: 10.1093/mnras/69.7.571.
- 43. Kapteyn J. C., Weersma H. A. Stars, Motions in Space Second note : the position On the derivation of the constants for the two star streams // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 1912. июнь. т. 72. с. 743. DOI: 10.1093/mnras/72.9.743.
- 44. Discovery of Extended Tidal Tails around the Globular Cluster Palomar 13 / N. Shipp [и др.] // The Astronomical Journal. 2020. нояб. т. 160, № 5. с. 244. DOI: 10.3847/1538-3881/abbd3a. arXiv: 2006.12501 [astro-ph.GA].
- 45. Variations in the Width, Density, and Direction of the Palomar 5 Tidal Tails / A. Bonaca [и др.] // The Astrophysical Journa. — 2020. — янв. — т. 889, № 1. — с. 70. — DOI: 10.3847/1538-4357/ab5afe. — arXiv: 1910.00592 [astro-ph.GA].

- 46. Dynamically Tagged Groups of Very Metal-poor Halo Stars from the HK and Hamburg/ESO Surveys / G. Limberg [и др.] // The Astrophysical Journa. 2021. янв. т. 907, № 1. с. 10. DOI: 10.3847/1538-4357/abcb87. arXiv: 2011.08305 [astro-ph.GA].
- 47. VINTERGATAN II. The history of the Milky Way told by its mergers / F. Renaud [и др.] // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2021. — июнь. — т. 503, № 4. — с. 5846—5867. — DOI: 10.1093/mnras/ stab250. — arXiv: 2006.06011 [astro-ph.GA].
- 48. Dragonfly Imaging of the Galaxy NGC 5907: A Different View of the Iconic Stellar Stream / P. van Dokkum [и др.] // The Astrophysical Journal. 2019. окт. т. 883, № 2. с. L32. DOI: 10.3847/2041-8213/ab40c9. arXiv: 1906.11260 [astro-ph.GA].
- 49. Stellar Streams Discovered in the Dark Energy Survey / N. Shipp [и др.] // The Astrophysical Journa. — 2018. — авг. — т. 862, № 2. — с. 114. — DOI: 10.3847/1538-4357/aacdab. — arXiv: 1801.03097 [astro-ph.GA].
- 50. Herschel W. Catalogue of One Thousand New Nebulae and Clusters of Stars.
 By William Herschel, LL.D. F. R. S. // Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series I. 1786. янв. т. 76. с. 457—499.
- 51. Jeans J. H. On the "kinetic theory" of star-clusters // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 1913. — дек. — т. 74. — с. 109—112. — DOI: 10.1093/mnras/74.2.109.
- 52. Hoyle F. On the Fragmentation of Gas Clouds Into Galaxies and Stars. // The Astrophysical Journa. 1953. нояб. т. 118. с. 513. DOI: 10.1086/ 145780.
- 53. Blaauw A. A new faint eclipsing binary with eccentric orbit // Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands. 1946. сент. т. 10. с. 156.
- 54. Kroupa P. The stellar initial mass function // Stellar Populations as Building Blocks of Galaxies. т. 241 / под ред. А. Vazdekis, R. Peletier. — 08.2007. с. 109—119. — DOI: 10.1017/S1743921307007594.

- 55. Tutukov A. V., Lazareva G. G., Kulikov I. M. Gas dynamics of a central collision of two galaxies: Merger, disruption, passage, and the formation of a new galaxy // Astronomy Reports. 2011. сент. т. 55, № 9. с. 770—783. DOI: 10.1134/S1063772911090083.
- 56. Tidal Destruction in a Low-mass Galaxy Environment: The Discovery of Tidal Tails around DDO 44 / J. L. Carlin [и др.] // The Astrophysical Journa. 2019. дек. т. 886, № 2. с. 109. DOI: 10.3847/1538-4357/ab4c32. arXiv: 1906.08260 [astro-ph.GA].
- 57. Faintich M. B. Interstellar Gravitational Perturbations of Cometary Orbits. : дис. ... канд. / Faintich Marshall Barry. UNIVERSITY OF ILLINOIS AT URBANA-CHAMPAIGN., 01.1971.
- 58. Correa-Otto J. A., Calandra M. F. Stability in the most external region of the Oort Cloud: evolution of the ejected comets // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2019. — дек. — т. 490, № 2. — с. 2495—2506. — DOI: 10.1093/mnras/stz2671. — arXiv: 1909.10366 [astro-ph.EP].
- 59. Comet C/2013 n4 (borisov) / G. Borisov [и др.] // Minor Planet Electronic Circulars. 2013. июль. т. 2013—N51.
- 60. Hallatt T., Wiegert P. The Dynamics of Interstellar Asteroids and Comets within the Galaxy: An Assessment of Local Candidate Source Regions for 1I/'Oumuamua and 2I/Borisov // The Astronomical Journal. 2020. апр. т. 159, № 4. с. 147. DOI: 10.3847/1538-3881/ab7336. arXiv: 1911.02473 [astro-ph.EP].
- 61. Froncisz M., Brown P., Weryk R. J. Possible interstellar meteoroids detected by the Canadian Meteor Orbit Radar // Planetary and Space Science. — 2020. — окт. — т. 190. — с. 104980. — DOI: 10.1016/j.pss.2020.104980. arXiv: 2005.10896 [astro-ph.EP].
- 62. A Terrestrial-mass Rogue Planet Candidate Detected in the Shortest-timescale Microlensing Event / P. Mróz [и др.] // The Astrophysical Journal. — 2020. нояб. — т. 903, № 1. — с. L11. — DOI: 10.3847/2041-8213/abbfad. — arXiv: 2009.12377 [astro-ph.EP].
- Masevich A. G., Tutukov A. V. Ehvolyutsiya zvezd: teoriya i nablyudeniya (Evolution of stars: theory and observations). - 1988.

- 64. Galactic tide and local stellar perturbations on the Oort cloud: creation of interstellar comets / S. Torres [и др.] // Astronomy and Astrophysics. 2019. сент. т. 629. A139. DOI: 10.1051/0004-6361/201935330. arXiv: 1906.10617 [astro-ph.EP].
- 65. 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.
- 66. Reanalysis of nearby open clusters using Gaia DR1/TGAS and HSOY / S. X. Yen [и др.] // Astronomy and Astrophysics. — 2018. — июль. — т. 615. — A12. — DOI: 10.1051/0004-6361/201731905. — arXiv: 1802.04234 [astro-ph.SR].
- 67. VizieR Online Data Catalog: Milky Way global survey of star clusters. II. (Kharchenko+, 2013) / N. V. Kharchenko [и др.] // VizieR Online Data Catalog. — 2013. — нояб. — J/A+A/558/A53.
- 68. VizieR Online Data Catalog: Gaia DR2 radial velocity standard stars catalog (Soubiran+, 2018) / C. Soubiran [и др.] // VizieR Online Data Catalog. — 2019. — авг. — J/A+A/616/A7.
- 69. A 3D view of the Hyades stellar and sub-stellar population / N. Lodieu [и др.] // Astronomy and Astrophysics. 2019. март. т. 623. A35. DOI: 10.1051/0004-6361/201834045. arXiv: 1901.07534 [astro-ph.SR].
- 70. Danilov V. M., Seleznev A. F. Dynamical estimates of gas star complex total masses // Astronomical and Astrophysical Transactions. 1995. апр. т. 7, № 2. с. 113—116. DOI: 10.1080/10556799508205399.
- 71. Bobylev V. V. The Gould Belt // Astrophysics. 2014. дек. т. 57, № 4. с. 583—604. DOI: 10.1007/s10511-014-9360-7. arXiv: 1507.06516 [astro-ph.GA].
- 72. Hoogerwerf R., de Bruijne J. H. J., de Zeeuw P. T. The Origin of Runaway Stars // The Astrophysical Journal. 2000. дек. т. 544, № 2. с. L133— L136. DOI: 10.1086/317315. arXiv: astro-ph/0007436 [astro-ph].
- 73. Stellar Encounters with the Oort Cloud Based on HIPPARCOS Data / J. Garcia-Sánchez [и др.] // The Astronomical Journal. 1999. февр. т. 117, № 2. с. 1042—1055. DOI: 10.1086/300723.

- 74. Stellar encounters with the solar system / J. Garcia-Sánchez [и др.] // Astronomy and Astrophysics. — 2001. — нояб. — т. 379. — с. 634—659. — DOI: 10.1051/0004-6361:20011330.
- 75. Bobylev V. V. Searching for stars closely encountering with the solar system // Astronomy Letters. 2010. март. т. 36, № 3. с. 220—226. DOI: 10.1134/S1063773710030060. arXiv: 1003.2160 [astro-ph.SR].
- 76. Ogorodnikov K. F. Statistical Mechanics of Galaxies with Nonhomogeneous Stellar Populations // Soviet Astronomy. 1958. июнь. т. 2. с. 375— 388.

Список рисунков

 (сплошная черная линия). Сплошной черной линией, пунктирными линиями показаны отдельно модели балджа, диска и гало. Плотность в плоскости цилиндрических координат (R,z) для осесимметричных потенциалов, составляющих итоговый потенциал Галактики MW Potential2014. Солнце движется в потенциалов, составляющих итоговый (Z=координата). Солнце движется в потенциале Галактики MW Potential2014 при R₀, V₀. Цветом показано расстояние до плоскости диска (Z=координата). 4) Пример 1. N=100, V_{spatial}=0⁻¹; б) Пример 2. N=1000, V_{spatial}=10 км с⁻¹ Контрольный расчет d_{min} и t_{min} между парами спутников Галактики. Рассчитаны расстояния между каждой парой спутников за время интегрирования 1 млрд.лет (черные точки и 5 млрд.лет (красные точки) в прошлое. На рисунке а) показа промежуток от -5 до -1 млрд.лет, на б) от -1 до 0. Орбиты NGC 2158 (черный цвет) и Солнца (оранжевый цвет) время интегрирования 2.4 млрд.лет. Орбиты показывают положения скопления и Солнца в моменты времени t = 0 и t = -2.4 млрд.лет. Рядом подписано расстояния между солнце и оказан момент минимального расстояния между Солнцем и скоплением d = 2.7 кпк, t = -2.3 млрд.лет. 	1.1	Кривая вращения Млечного пути согласно MWPotential2014							
 пунктирными линиями показаны отдельно модели балджа, диска и гало. Плотность в плоскости цилиндрических координат (R,z) для осесимметричных потенциалов, составляющих итоговый потенциал Галактики MW Potential2014. Солнце движется в потенциале Галактики MW Potential2014 при R₀, V₀. Цветом показано расстояние до плоскости диска (Z=координата). А) Пример 1. N=100, V_{spatial}=0⁻¹; б) Пример 2. N=1000, V_{spatial}=10 км с⁻¹ Контрольный расчет d_{min} и t_{min} между парами спутников Галактики. Рассчитаны расстояния между каждой парой спутников за время интегрирования 1 млрд.лст (черные точки и 5 млрд.лет (красные точки) в прошлое. На рисунке а) показа промежуток от -5 до -1 млрд.лет, на б) от -1 до 0. Орбиты NGC 2158 (черный цвет) и Солнца (оранжевый цвет) время интегрирования 2.4 млрд.лет. Орбиты показаны в трехмерной проекции (левая панель) и в проекции на плоскост диска (правая панель). Точки на правой панели показывают положения скопления и Солнца в моменты времени t = 0 и t = -2.4 млрд.лет. Рядом подписано расстояние скопления от Солнца и положение по Z-координате. На левой панели, красн линией показан момент минимального расстояния между Солнцем и скоплением d = 2.7 кпк, t = -2.3 млрд.лет. 		(сплошная черная линия). Сплошной черной линией,							
 диска и гало. Плотность в плоскости цилиндрических координат (R,z) для осесимметричных потенциалов, составляющих итоговый потенциал Галактики MWPotential2014. Солнце движется в потенциале Галактики MWPotential2014 при R₀, V₀. Цветом показано расстояние до плоскости диска (Z=координата). а) Пример 1. N=100, V_{spatial}=0⁻¹; б) Пример 2. N=1000, V_{spatial}=10 км с⁻¹ Контрольный расчет d_{min} и t_{min} между парами спутников Галактики. Рассчитаны расстояния между каждой парой спутников за время интегрирования 1 млрд.лет (черные точки и 5 млрд.лет (красные точки) в прошлое. На рисунке а) показан промежуток от -5 до -1 млрд.лет, на б) от -1 до 0. Орбиты NGC 2158 (черный цвет) и Солнца (оранжевый цвет) время интегрирования 2.4 млрд.лет. Орбиты показаны в трехмерной проекции (левая панель) и в проекции на плоскост диска (правая панель). Точки на правой панели показывают положения скопления и Солнца в моменты времени t = 0 и t = -2.4 млрд.лет. Рядом подписано расстояние скопления от Солнца и положение по Z-координате. На левой панели, красн линией показан момент минимального расстояния между Солнцем и скоплением d = 2.7 кпк, t = -2.3 млрд.лет. 		пунктирными линиями показаны отдельно модели балджа,							
 1.2 Плотность в плоскости цилиндрических координат (R,z) для осесимметричных потенциалов, составляющих итоговый потенциал Галактики MW Potential2014		диска и гало.	11						
 осесимметричных потенциалов, составляющих итоговый потенциал Галактики MW Potential2014	1.2	Плотность в плоскости цилиндрических координат (R,z) для							
 потенциал Галактики MW Potential2014		осесимметричных потенциалов, составляющих итоговый							
 1.3 Солнце движется в потенциале Галактики MW Potential2014 при R₀, V₀. Цветом показано расстояние до плоскости диска (Z=координата)		потенциал Галактики MWPotential2014	13						
 при R₀, V₀. Цветом показано расстояние до плоскости диска (Z=координата)	1.3	Солнце движется в потенциале Галактики MWPotential2014							
 (Z=координата)		при R_0, V_0 . Цветом показано расстояние до плоскости диска							
 1.4 а) Пример 1. N=100, V_{spatial}=0⁻¹; б) Пример 2. N=1000, V_{spatial}=10 км с⁻¹		(Z=координата)	14						
 V_{spatial}=10 км с⁻¹	1.4	а) Пример 1. N=100, V _{spatial} =0 ⁻¹ ; б) Пример 2. N=1000,							
 1.5 Контрольный расчет d_{min} и t_{min} между парами спутников Галактики. Рассчитаны расстояния между каждой парой спутников за время интегрирования 1 млрд.лет (черные точки и 5 млрд.лет (красные точки) в прошлое. На рисунке а) показа промежуток от -5 до -1 млрд.лет, на б) от -1 до 0. 2.1 Орбиты NGC 2158 (черный цвет) и Солнца (оранжевый цвет) время интегрирования 2.4 млрд.лет. Орбиты показаны в трехмерной проекции (левая панель) и в проекции на плоскост диска (правая панель). Точки на правой панели показывают положения скопления и Солнца в моменты времени t = 0 и t = -2.4 млрд.лет. Рядом подписано расстояние скопления от Солнца и положение по Z-координате. На левой панели, красн линией показан момент минимального расстояния между Солнцем и скоплением d = 2.7 кпк, t = -2.3 млрд.лет. 		$V_{spatial} = 10$ km c $^{-1}$	15						
 Галактики. Рассчитаны расстояния между каждой парой спутников за время интегрирования 1 млрд.лет (черные точки и 5 млрд.лет (красные точки) в прошлое. На рисунке а) показа промежуток от -5 до -1 млрд.лет, на б) от -1 до 0. 2.1 Орбиты NGC 2158 (черный цвет) и Солнца (оранжевый цвет) время интегрирования 2.4 млрд.лет. Орбиты показаны в трехмерной проекции (левая панель) и в проекции на плоскост диска (правая панель). Точки на правой панели показывают положения скопления и Солнца в моменты времени t = 0 и t = -2.4 млрд.лет. Рядом подписано расстояние скопления от Солнца и положение по Z-координате. На левой панели, красн линией показан момент минимального расстояния между Солнцем и скоплением d = 2.7 кпк, t = -2.3 млрд.лет. 	1.5	Контрольный расчет d_{min} и t_{min} между парами спутников							
спутников за время интегрирования 1 млрд.лет (черные точки и 5 млрд.лет (красные точки) в прошлое. На рисунке а) показа промежуток от -5 до -1 млрд.лет, на б) от -1 до 0		Галактики. Рассчитаны расстояния между каждой парой							
 и 5 млрд.лет (красные точки) в прошлое. На рисунке а) показа промежуток от -5 до -1 млрд.лет, на б) от -1 до 0. 2.1 Орбиты NGC 2158 (черный цвет) и Солнца (оранжевый цвет) время интегрирования 2.4 млрд.лет. Орбиты показаны в трехмерной проекции (левая панель) и в проекции на плоскост диска (правая панель). Точки на правой панели показывают положения скопления и Солнца в моменты времени t = 0 и t = -2.4 млрд.лет. Рядом подписано расстояние скопления от Солнца и положение по Z-координате. На левой панели, красн линией показан момент минимального расстояния между Солнцем и скоплением d = 2.7 кпк, t = -2.3 млрд.лет. 		спутников за время интегрирования 1 млрд.лет (черные точки)							
промежуток от -5 до -1 млрд.лет, на б) от -1 до 0		и 5 млрд.лет (красные точки) в прошлое. На рисунке а) показан							
2.1 Орбиты NGC 2158 (черный цвет) и Солнца (оранжевый цвет) время интегрирования 2.4 млрд.лет. Орбиты показаны в трехмерной проекции (левая панель) и в проекции на плоскост диска (правая панель). Точки на правой панели показывают положения скопления и Солнца в моменты времени t = 0 и t = -2.4 млрд.лет. Рядом подписано расстояние скопления от Солнца и положение по Z-координате. На левой панели, красн линией показан момент минимального расстояния между Солнцем и скоплением d = 2.7 кпк, t = -2.3 млрд.лет.		промежуток от -5 до -1 млрд.лет, на б) от -1 до 0	21						
время интегрирования 2.4 млрд.лет. Орбиты показаны в трехмерной проекции (левая панель) и в проекции на плоскост диска (правая панель). Точки на правой панели показывают положения скопления и Солнца в моменты времени $t = 0$ и t = -2.4 млрд.лет. Рядом подписано расстояние скопления от Солнца и положение по Z-координате. На левой панели, красн линией показан момент минимального расстояния между Солнцем и скоплением $d = 2.7$ кпк, $t = -2.3$ млрд.лет.	2.1	Орбиты NGC 2158 (черный цвет) и Солнца (оранжевый цвет) за							
трехмерной проекции (левая панель) и в проекции на плоскост диска (правая панель). Точки на правой панели показывают положения скопления и Солнца в моменты времени $t = 0$ и t = -2.4 млрд.лет. Рядом подписано расстояние скопления от Солнца и положение по Z-координате. На левой панели, красн линией показан момент минимального расстояния между Солнцем и скоплением $d = 2.7$ кпк, $t = -2.3$ млрд.лет		время интегрирования 2.4 млрд.лет. Орбиты показаны в							
диска (правая панель). Точки на правой панели показывают положения скопления и Солнца в моменты времени $t = 0$ и t = -2.4 млрд.лет. Рядом подписано расстояние скопления от Солнца и положение по Z-координате. На левой панели, красн линией показан момент минимального расстояния между Солнцем и скоплением $d = 2.7$ кпк, $t = -2.3$ млрд.лет		трехмерной проекции (левая панель) и в проекции на плоскость							
положения скопления и Солнца в моменты времени $t = 0$ и t = -2.4 млрд.лет. Рядом подписано расстояние скопления от Солнца и положение по Z-координате. На левой панели, красн линией показан момент минимального расстояния между Солнцем и скоплением $d = 2.7$ кпк, $t = -2.3$ млрд.лет		диска (правая панель). Точки на правой панели показывают							
t = -2.4 млрд.лет. Рядом подписано расстояние скопления от Солнца и положение по Z-координате. На левой панели, красн линией показан момент минимального расстояния между Солнцем и скоплением $d = 2.7$ кпк, $t = -2.3$ млрд.лет.		положения скопления и Солнца в моменты времени $t=0$ и							
Солнца и положение по Z-координате. На левой панели, красн линией показан момент минимального расстояния между Солнцем и скоплением $d = 2.7$ кпк, $t = -2.3$ млрд.лет.		t = -2.4 млрд.лет. Рядом подписано расстояние скопления от							
линией показан момент минимального расстояния между Солнцем и скоплением $d=2.7$ кпк, $t=-2.3$ млрд.лет		Солнца и положение по Z-координате. На левой панели, красной							
Солнцем и скоплением $d=2.7$ кпк, $t=-2.3$ млрд.лет		линией показан момент минимального расстояния между							
		Солнцем и скоплением $d = 2.7$ кпк, $t = -2.3$ млрд.лет	24						

2.2	Орбита скопления, проинтегрированная с различными входными	
	параметрами с учетом ошиоок определения сооственных	
	движений и радиальной скорости. Показан момент	
	потенциального рождения скопления. Показана проекция на	
	плоскость диска галактики (левая панель) и в координатах Z -	
	время интегрирования (правая панель). Входные параметры	
	подписаны на левой панели	25
2.3	Расстояние до выбранных звезд скопления согласно каталогу	
	B-J+2018. Вертикальными линиями показаны ошибки	
	определения расстояния по B-J+2018. Красная линия	
	показывает определенное в работе [10] расстояние до скопления.	27
2.4	Сравнение расстояний, полученных по параллаксам Gaia DR2	
	$(1/plx)$ и расстояний, посчитанных в B-J+2018 (r_{est}) . Цветом	
	показана ошибка определения расстояния B-J+2018 $(e_{r_{est}}/r_{est})$.	
	Серым цветом показаны звезды, для которых ошибка e_{plx}/plx	
	превысила 1	28
2.5	Сравнение расстояний до звезд (являющихся частью скопления	
	с вероятностью > 90% и с известными радиальными скоростями	
	(см. [10])), полученных по параллаксам Gaia DR2 (серые	
	крестики) и Gaia EDR3 (черные крестики) В-J+2018. Линии	
	тренда вида $y = kx + b$ показаны для звезд по Gaia DR2 и EDR3	
	серым и черным пветом соответственно	29
2.6	Орбиты King 11 (черный цвет) и Солнца (оранжевый цвет) за	
	время интегрирования 3.63 млрл.лет. Красной точкой показан	
	момент минимального расстояния между скоплением и Солнцем	
	$d_{min} = 1.58$ кик в момент времени $t_{min} = -0.76$ мирл лет. На	
	правой панели позиция 1) показывает текущее положение	
	connering $(Z_2 - 0.401 \pm 0.010 \text{ kmk})$ положение 2) показывает	
	$(20 - 0.401 \pm 0.010 \text{ kmk})$, nonoxenue 2) novasilisaet	
	предполагаемое место рождения скопление и положение Солнца	
	в этот момент (расстояние между скоплением и Солнцем $a_{\odot} =$	9 1
	12.44 ± 4.38 KIIK	31

2.7	Левая панель показывает расчеты орбит Солнца (оранжевая	
	линия), скопления King 11 (черная линия, рис. 2.6) и скопления	
	с учетом ошибок определения собственных движений,	
	расстояния и скорости. Орбиты показаны в момент времени 3.63	
	± 0.42 млрд. лет назад в плоскости Галактики XY. Правая	
	панель показывает положение скопления по z-координате в	
	зависимости от параметров интегрирования ($Z_1 = -0.32$ кпк, Z_2	
	= 0.419 кпк)	32
3.1	Результаты расчетов до 10 млрд. лет. На парах панелей (верхняя	
	– проекция XY, нижняя - проекция XZ) слева направо показаны	
	стадии эволюции облака - спутника Галактики во времени на 1,	
	3, 5, 10 млрд.лет	36
3.2	Радиальная (то есть проходящая через ЦГ) орбита спутника	
	Tucana III. Показаны проекции орбиты галактики Тукана III –	
	спутника Млечного Пути на промежутке 2 млрд.лет в прошлые	
	эпохи. Спутник приближается со стороны северного Полюса	
	Галактики со скоростью 100 км с ⁻¹ . Стрелками показано	
	направление движения спутника	37
3.3	Эволюция облака точек, представляющих звезды скопления	
	(голубые точки) и OB ассоциации (синие точки). Согласно с	
	этапами эволюции звезды скопления растягиваются в звездный	
	поток. Звезды ассоциации двигаясь намного быстрее успевают	
	сделать полный оборот вокруг галактического Центра, а	
	звездный поток превращается в кольцо. Эволюция облака 1000	
	точек в проекции на плоскость галактического диска XY. OB	
	ассоциация (серые точки) – замыкается в кольцо вокруг Центра	
	Галактики (ЦГ) приблизительно за 2 млрд. лет, начальные	
	положения облаков обозначены подписью Н.У. (начальные	
	условия). Заданные компоненты пространственной скорости ОВ	
	ассоциации равны $V_{spatial} = 10$ км с $^{-1}$. Звездное скопление	
	(черные точки) – $V_{spatial} = 1$ км с $^{-1}$. Вверху каждой панели	
	подписано время эволюции	39

3.4	Сценарий эволюции звездной ассоциации, верхняя панель и						
	рассеянного звездного скопления на нижней панели. Показаны						
	цепочки превращений гигантских газовых облаков в ОВ						
	ассоциации, затем звездные кольца вокруг галактического						
	Центра. И превращений газового облака в скопление, которое						
	превращается в поток. На верхней панели в круге слева – звезды						
	ОВ-ассоциации. Далее расширяющаяся ОВ-ассоциация, в кольце						
	– звезды предельно старой ОВ-ассоциации. На нижней панели						
	аналогичное развитие претерпевает скопление, расположенное						
	внутри ассоциации. Замкнутся в кольцо звездный поток не						
	успевает за время жизни Галактики	41					
3.5	Эволюция звездных скоплений и облаков комет во временном						
	интервале 1, 2, 3, 4.6 млрд лет. На верхних панелях показана						
	эволюция копья, которое распространялось со скоростью v = 1						
	км с $^{-1}$, на нижних панелях - с v = 2 км с $^{-1}$. Цвет показывает						
	ПК над плоскостью Галактики (ось z)	43					
3.6	Орбита Солнца (левая панель), облака АКП-объектов,						
	распадающихся со скоростью 1 км с $^{-1}$ (средняя панель), и 2 км						
	${\rm c}^{-1}$ (правая панель). Время интегрирования 4.6 млрд.лет	44					
3.7	Результат расчетов движения кометы вокруг Солнца со						
	скоростью в перигелии 39.9 км с $^{-1}$. На каждом шаге						
	интегрирования происходит испарение пыли в направлении на						
	Солнце со скоростью пылинок, равной 126 м с ⁻¹ . Размеры						
	черных точек, представляющих облака пыли, пропорциональны						
	количеству выброшенных на каждом шаге пылинок. Последнее						
	в свою очередь равно $20/r^2$, где r – расстояние кометы от						
	Солнца. Картина показана в развитии во времени. Время						
	интегрирования и число пылинок подписаны в левом верхнем						
	углу каждой панели	46					
3.8	Сценарий эволюции кометы (облако Оорта, горячая орбита,						
	пылевые кольца). Показана наблюдаемая стадия падения						
	кометы Шумейкеров–Леви (D/1993 F2) на поверхность Юпитера.	48					

4.1	Расстояния d_{min} и соответствующие им t_{min} . Скопление IC 1396,	
	параметры которого выходят за пределы диаграммы, не	
	нанесено ($t_{min} = -205.22$ млн лет, $d_{min} = 56.3$ пк)	51
4.2	Диаграмма d _{min} – t _{min} для скоплений из каталогов [67] (красные	
	точки) и [68]. (черные точки), включая 21 скопление,	
	являющиеся, как показало сравнение, общими для двух	
	упоминаемых каталогов, N – число скоплений на рисунке	54
4.3	Количество звезд (ось у) на минимальном расстоянии от Солнца	
	в соответствующий временной интервал (ось х)	55
4.4	Положения звезд Гиад по данным Gaia EDR3 в момент времени	
	t=0. Показан центр скопления, звезды ядра и звезды хвоста	
	скопления	56
4.5	Положения звезд Гиад по данным Gaia EDR3 в момент времени	
	t=0. Показан центр скопления, звезды ядра и звезды хвоста	
	скопления	56
4.6	Значения ΔV_{\perp} от г для различных значений массы скопления M_{cl} .	58
4.7	Минимальное расстояние сближения звезд скопления с Солнцем	
	и соответствующее время. Показаны центр скопления по	
	данным Gaia EDR3, звезды ядра и хвоста	59
4.8	Движение Гиад в гелиоцентрической системе координат. Солнце	
	расположено в центре. Стрелками показаны проекции вектора	
	пространственной скорости скопления относительно Солнца на	
	плоскость ХҮ. Подписаны моменты времени около	
	соответствующих точек. Отметим, что шкала времени и	
	направления вектора скорости соответствуют движению	
	скопления относительно Солнца от прошлой эпохи (t=-2 млн.	
	лет) к современной (t=0 соответствует современному моменту).	
	Интересно, что вектор для t=0 отклоняется, тем самым	
	начинается удаление Гиад от Солнца	60
4.9	Основные характеристики нашей выборки звезд. Распределение	
	на небесной сфере, диаграмма собственных движений,	
	относительные ошибки в зависимости от величины лучевой	
	скорости и параллакса	62

4.10	Минимальное расстояние между парами звезд (левая панель) и	
	для пар с $d_{min} < 1$ пк (правая панель)	63
4.11	Звезды поля нашей выборки по данным Gaia EDR3. Цветом	
	показаны уровни равной плотности	64
4.12	Звезды скопления Гиады нашей выборки по данным Gaia EDR3.	
	Цветом показаны уровни равной плотности	65
4.13	Количество звезд выборки (Рис. 4.11) от расстояния до них	66
4.14	Результат расчетов $d_{min} < 1$ пк и t_{min} для звезд поля и Гиад	66

Список таблиц

1	Параметры моделей объектов, исследуемых нами в главе 2	16
2	Влияние шага интегрирования на результат вычисления d_{min} и	
	t_{min} за время интегрирования 5 млрд.лет	20
3	Входные параметры интегрирования орбиты РЗС NGC 2158	23
4	Параметры орбиты РЗС NGC 2158	24
5	Входные параметры интегрирования орбиты РЗС King 11	30
6	Параметры орбиты РЗС King 11	30
7	Результаты моделирования сближений скоплений с Солнечной системой, где (*) – число звезд (N1sr2 из MWSC) в случае	
	отсутствия данных о массе скопления	53
8	Положение Солнца и Гиад в гелиоцентрической системе	
	координат	61
9	Параметры для расчета	67
10	Каталог сближений с РЗС из списка [67]	92
11	Каталог сближений с РЗС из списка [68]	99
12	Пары звезд, сближавшихся на расстояние до 1 пк	105
13	Параметры сближений звезд поля и скопления Гиады (Тип), ID	
	звезды по данным Gaia EDR3, d_{min} и t_{min}	106

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 shoud 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 +
          (row['y'])**2 + (row['z'])**2)*1000, axis=1)
      data['t'] = data.apply(lambda row: row['t']*1000, axis=1)
10
      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])
```

Каталоги

Б.1 Каталог сближений Солнечной системы и РЗС

Таблица 10 — Г	Каталог	сближений	c P $3C$	ИЗ	списка	[67]	l
----------------	---------	-----------	----------	----	--------	------	---

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	Buprecht 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
		1	1			олжение	слелиет

(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 I	373	2.57	540	NGC 2355	1963.57	3.29	
61 60	Haffner 13	383.77	2.58	541	NGC 4755	1971	3.29	
62 62	NGC 6633 Memojal: 4	380 286	2.59	542 542	Mon OP2	1970.72	3.3 2.2	
64	Ruprocht 43	387 60	2.59	543	NCC 3572	1995.0	2.2	
65	NGC 1980	301.09	2.59	545	Rec 3572 Basel 10	2000	33	
66	Stock 2	399.62	2.65	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 92	NGC 3532 NCC 2206	455.39	2.00	562	Collinder 272	2088	3.32 2.22	
00 84	Alessi 20	430.54 470	2.00 2.67	564	Roslund 4	2095	3.32 3.32	
85	ASCC 48	473 42	2.07	565	IC 2944	2090	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 00	Ruprecht 27	520.19 522	2.12	578 570	F 5R 0802 Sh2 225P	2149	3.33 2.22	
33 100	ASCC 106	525 525	2.12	580	NGC 4349	2152	3 33	
101	Alessi 12	543	2.72	581	FSB 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 Malatta 107	2200	3.34	
112 119	NCC 1647	070.34 579	2.10 2.76	502 502	Melotte 105 Ruprocht 02	2201.77	3.34 3.34	
113 114	NGC 2228	573	2.10 2.76	504	FSB 0272	2211 2216 17	0.04 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	
					прол	элже ние	слелует	

(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 CC9	2.82	619	Collinder 228	2358	3.37	
140	Cellinden 204	000	2.02	620	NGC 5524 DDCD 107	2301	0.01 0.00	
141	Trumpler 2	000 670	2.02	622	DDSD 107	2010	0.00 2.20	
142	Lodon 1104	670.81	2.00	622	DBSB 115 DBSB 27	2306.23	3.30	
143	ASCC 107	672	2.03	624	Trumpler 1	2390.23	3.30	
144	ASCC 107	679	2.00	625	IC 1590	2399	3.30	
140	NGC 6738	686	2.05	626	NGC 457	2400	3 38	
$140 \\ 147$	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	050	DB2B 2	2540.32	3.4	
170	ASCC 50	760.01	2.09 2.80	001	FISHIIS Z	2042.10	0.41 2.41	
179	ASUU 09 IC 5146	709.91	2.09 2.80	652	FSR 1/19	2044.99	3.41	
174	$\frac{100140}{\text{Buprecht } 145}$	770	2.03	654	Haffner 18	2556.61	3 41	
175	ASCC 104	774	2.03	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	2.05	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	
					прол	олжение	CTETVET	

(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	VCC 1007	871	2.94	685	Berkeley 69	2795.93	3.45	
206	NGC 1027	870.38	2.94	080	Hogg 22	2799	3.45	
207	NGC 2323 Pice 6	879.08	2.94	680	B 217 Cos OP2	2800	3.45	
208		879.00 994	2.94	680	Vas OB2	2800	3.40 2.45	
209	ASCC 84	004 886 08	2.95	600	NCC 7538	2800	3.45	
210	IC 4651	888	2.95	601	Cam OB3	2800	3.45	
211 212	NGC 6087	889	2.95	692	King 4	2801	3.45	
212	NGC 6134	892	2.95	693	Kharchenko 1	2810 55	3.45	
210	ASCC 126	900	2.95	694	DBSB 125	2815.22	3 45	
214	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	710	E 3 ESO OCE 02	3020.72	3.48	
238	NGC 0109	985.5	2.99	710	ESU 000-03	3047	3.48	
239	NGC 2009 Porkolay 50	995.45 1000	ა ი	719	NGC 2500	2100	2.49	
240 241	NGC 7438	1000	ວ ຊ	721	BDSB 164	3135	3.49	
242	SAI 24	1000	3	722	Buprecht 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 I	3508	3.55	
262	DR2R 101	1076	3.03	742	NGU 2439	3514.91	3.55 0 HO HVOT	
					прод	элжение	$C_{II} = C_{II} = C$	

			(продол	тжен	ие)		
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	DDCD 157	3892.7	3.59
272	ASCC 14 Stock 5	1100	3.04	752	DD5D 107 Buprocht 50	3917	3.59
$\frac{213}{274}$	NCC 6268	1105	3.04	754	NGC 6838	3000	3.6
274 275	Ruprecht 119	1105	3.04	755	FSB 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	1150.08	3.06	768	Ruprecht 4	4374.46	3.64
209	NGC 0195 FSB 0777	$1100 \\ 1165 12$	3.00 3.07	709	Berkeley 78	4405.19 4411.26	3.04
$\frac{230}{291}$	NGC 2428	1105.12 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
300 301	NCC 1817	1182 1182.53	3.07	781	W 43 BDSB 113	4011.90	3.00
302	NGC 6242	1185.55	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
312 212	NGC 5811	1210.75	3.08	792	SKIII JUSU7+30.8	5091.11 5147	3.71
313 314	NGC 6612	1211 1919	3.00 3.08	793 704	ров 100 BDSB 137	0147 5150.69	3.71
314 315	NGC 4600	1215	3.00	705	Palomar 6	5947 91	3.71
316 316	NGC 6167	1215.09	3.08	796	Teutsch 11	5249.02	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
326 397	NGC 3036 Buprocht 110	1240.95 1941	3.09	805	NGU 6352 NGC 4272	5640 42	3.75 3.75
১∠(২০০	Ruprecht 110	1241 1945 59	3.09 3.1	007 808	NGC 4372	0040.43 5650 19	3.75
320 320	NGC 7200	1240.00 1250	3.1	800	BDSB 130	5650.18	3.75
330	NGC 7772	1250	3.1	810	Berkelev 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
					прол	олжение	слелует

	(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 2.11	820	NGC 6304 Tembeumh 2	5904	3.77	
341	ASUC 80	1281	3.11 2.11	821	DDCD 49	5950.9	3.11	
342	Dise 5	1202	3.11	823	NGC 6553	6000	3.78	
344	Turner 2	1203	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 NGC 6717	6967.61	3.84	
302	ASCU 0	1350	3.13 2.12	842	NGC 0717	6973.98	3.84	
303 364	NGC 7054 NCC 2186	1352 52	0.10 2.12	843 844	NGC 0526 NCC 3603	0909.20 6001.61	3.84	
365	DBSB 40	1358	3.13	845	Rec 5005 Berkeley 66	7002	3.85	
366	NGC 3496	1359	3.13	846	IBAS 21388 \pm 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 DDCD 179	7499	3.88	
379	NGC 6231 Muenia 1	1393	3.14 2.14	809	DB5B 178	7500	3.88	
381	NGC 1513	1394	3.14	861	NGC 6362	7586.89	3.88	
382	vdRerøh 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	
394 205	FSR 0951	1418.75	3.15 2.15	874	NGU 6273	7993.09	3.9 2.01	
306 399	EDCD 3	1422	0.10 2.15	010 876	Borkolov 20	0009 8106 91	0.91 3.01	
390 307	Maver 1	1420.40	3.16	877	NGC 7099	8100.21	3.91 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	
					прол	олжение	слелует	

	(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 NGC 1779	1487.14	3.17	893	NGC 6388	9459.05	3.98		
414	NGU 1778	1488.8	3.17	894	NGC 6293	9474	3.98		
410	NCC 2567	1490	3.17 2.17	806	NGC 0510 NCC 6002	9900.80	4		
410	vdBergh 92	1490.87	3.17	890	NGC 6652	0000	4		
417	ASCC 117	1491.07	3.17	898	NGC 6139	10106 29	4		
419	ASCC 67	1500	3.18	899	NGC 2298	10100.25 10122.15	4 01		
420	ASCC 120	1500	3.18	900	NGC 5272	10122.10	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		
430	ASCC 3	1550	3.19	916	NGC 6441	11384.67	4.06		
437	NGC 7059 NCC 2267	1559 91	3.19 2.10	917	NGC 5280	11500.09	4.00		
430	NGC 6649	1564	3.19	910	NGC 6453	11611	4.00		
440	NGC 2175	1570.06	3.2	920	NGC 1904	11866 68	4.00		
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	ASUU I	1600	3.2 2.0	934	NGU 1201 ESO SCOC	16215 00	4.21		
400 456	5AI 4 FSR 1525	1602	ა.∠ ვე	930	100-5000 NCC 6081	16007	4.21		
457	NGC 2120	1605 3	3.2	027	Konosov 2	17185 53	4.20		
458	NGC 6705	1000.5 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 5715	26238.3	4.42		
412	г эк 1245	1007.03	3.22	902	постиво (492	20303 ОПЖ <u>ение</u>	4.42		

	(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				

Таблица 11 — Каталог сближений с РЗС из списка [68]

No	Name	d, pc	log t, Myr	No	Name	d, pc	log t, Myr
1	NGC 6475	67.48	1.83	432	NGC 7789	2240.55	3.35
2	Ruprecht 147	90.84	1.96	433	Teutsch 126	2242.94	3.35
3	ASCC 99	103.67	2.02	434	NGC 6404	2246.6	3.35
4	NGC 6405	116.96	2.07	435	NGC 433	2249.45	3.35
5	Alessi 9	155.4	2.19	436	Czernik 25	2256.2	3.35
6	Mamajek 4	177.95	2.25	437	BH 92	2256.86	3.35
7	Collinder 350	194.3	2.29	438	NGC 3496	2264.58	3.35
8	ASCC 90	208.3	2.32	439	Gulliver 52	2270.61	3.36
9	NGC 6281	208.7	2.32	440	FSB 0385	2271.95	3.36
10	IC 4665	210.86	2.32	441	Lynga 9	2272.94	3.36
11	Alessi 24	232.31	2.37	442	NGC 6396	2282.39	3.36
12	NGC 6633	240.64	2.38	443	Pismis 3	2284.38	3.36
13	IC 2602	243.63	2.39	444	NGC 6005	2285.7	3.36
14	Mamajek 1	250.35	2.4	445	Gulliver 31	2288.82	3.36
15	Platais 8	250.55	2.4	446	FSR 0165	2291.4	3.36
16	ASCC 97	251.05	2.4	447	ESO 559 13	2294.62	3.36
17	Alessi 10	260.37	2.42	448	FSR 0977	2296.24	3.36
18	Platais 10	265.8	2.42	449	Ruprecht 174	2296.81	3.36
19	Alessi 13	273.71	2.44	450	Tombaugh 1	2312.92	3.36
20	Gulliver 20	280.09	2.45	451	NGC 6631	2317.41	3.37
21	IC 4756	286.47	2.46	452	Collinder 110	2329.64	3.37
22	Ruprecht 145	288.75	2.46	453	Trumpler 14	2334.52	3.37
23	BH 164	302.96	2.48	454	Trumpler 23	2342.53	3.37
24^{-3}	Collinder 338	312.26	2.49	455	IC 1805	2342.59	3.37
25	IC 2391	314.73	2.5	456	FSR 1284	2355.05	3.37
26	Collinder 359	317.54	2.5	457	FSR 1361	2365.31	3.37
27	IC 4725	324.79	2.51	458	NGC 7062	2366.69	3.37
28	Platais 9	326.72	2.51	459	NGC 2309	2367.68	3.37
29	NGC 6124	335.65	2.53	460	SAI 24	2367.9	3.37
30	NGC 2451A	335.81	2.53	461	NGC 3572	2370.95	3.37
31	Alessi 31	339.47	2.53	462	Lvnga 4	2372.32	3.38
32	Collinder 394	339.48	2.53	463	FSR 1063	2374.44	3.38
33	Blanco 1	340.32	2.53	464	Kharchenko 1	2380.72	3.38
34	Alessi Teutsch 12	352.6	2.55	465	NGC 366	2386.91	3.38
35	NGC 2632	354.65	2.55	466	FSR 0904	2388.52	3.38
36	Stock 1	378.51	2.58	467	Trumpler 19	2389.28	3.38
37	NGC 6716	384.7	2.59	468	Ruprecht 94	2392.61	3.38
38	Stephenson 1	392.04	2.59	469	BH 245	2396.18	3.38
39	NGC 6494	394.9	2.6	470	NGC 3293	2400.28	3.38
40	Alessi 5	397.07	2.6	471	BH 132	2404.23	3.38
41	Alessi 19	399.41	2.6	472	FSR 0850	2406.57	3.38
42	NGC 2516	401.64	2.6	473	Teutsch 80	2409.15	3.38
43	ASCC 101	420.54	2.62	474	Collinder 268	2409.26	3.38
44	Pozzo 1	424.49	2.63	475	NGC 2286	2413.56	3.38
45	ASCC 87	425.37	2.63	476	Melotte 72	2415.01	3.38
46	Alessi 8	426.51	2.63	477	Skiff J1942+38.6	2417.16	3.38
47	Alessi 62	429.29	2.63	478	Collinder 271	2429.54	3.39
48	Harvard 10	432.07	2.64	479	NGC 3590	2434.68	3.39
49	Roslund 6	438.42	2.64	480	NGC 2509	2437.81	3.39
50	BH 99	440.01	2.64	481	Pismis 15	2440.88	3.39
51	RSG 5	443.96	2.65	482	NGC 4337	2444.67	3.39
52	Ruprecht 98	444.31	2.65	483	NGC 7296	2447.1	3.39
53	Collinder 135	449.47	2.65	484	NGC 6603	2449.48	3.39
54	Platais 3	450.71	2.65	485	Dias 6	2453.03	3.39
55	Ferrero 1	452.4	2.66	486	Haffner 3	2453.67	3.39
56	Alessi 44	454.89	2.66	487	Ruprecht 176	2454.6	3.39
57	Melotte 22	455.81	2.66	488	FSR 1051	2466.53	3.39
-	1	-	1		прол	олжение	слелиет

1	\cap	\cap
T	U	U

	(продолжение)								
No	Name	d, pc	log t, Myr	No	Name	d, pc	log t, Myr		
58	ASCC 123	457.3	2.66	489	NGC 5288	2473.6	3.39		
59	NGC 7092	460	2.66	490	Collinder 220	2479.06	3.39		
60 C1	NGC 6025	461.51	2.66	491	NGC 2186	2481.7	3.39		
62 62	NGC 2547 NCC 3532	409.44	2.07	492	Guilliver 43 NCC 7142	2483.02 2480.16	3.39		
63	Alessi 3	480.39	2.68	493	Ruprecht 143	2409.10	3.4		
64	Trumpler 10	484.69	2.69	495	NGC 6819	2504.36	3.4		
65	NGC 2451B	486.41	2.69	496	FSR 1452	2506.66	3.4		
66	ASCC 58	488.09	2.69	497	NGC 2420	2507.01	3.4		
67	NGC 6793	490.93	2.69	498	IC 1848	2511.27	3.4		
68	ASCC 85	492.77	2.69	499	FSR 0893	2520.11	3.4		
69 70	Teutsch 35	493.09	2.69	500	Teutsch 103	2524.96	3.4		
70	Melotte 20	494.2	2.09 2.7	502	Ruprecht 34	2558.03	3.4 3.41		
72	NGC 1901	497.41	2.7	503	Ruprecht 18	2565.24 2565.26	3.41		
73	ASCC 105	499.6	2.7	504	Berkeley 67	2565.59	3.41		
74	Gulliver 28	500.99	2.7	505	Pismis 18	2572.24	3.41		
75	NGC 2232	506.4	2.7	506	FSR 1163	2572.3	3.41		
76	Alessi 12	508.63	2.71	507	Trumpler 35	2579.31	3.41		
77	NGC 7058	509.65	2.71	508	NGC 869	2585.22	3.41		
78 70	Cullinder 140	510.3	2.71	509	FSR 0336	2589.43	3.41		
79 80	BH 23	511.54 513.5	2.71 2.71	510	NGC 2345	2592.42 2594 4	3.41 3.41		
81	Roslund 5	537.31	2.73	512	Koposov 12	2600.11 2610.54	3.42		
82	IC 348	546.95	2.74	513	NGC 2254	2610.93	3.42		
83	ASCC 19	549.15	2.74	514	Ruprecht 23	2611.17	3.42		
84	ASCC 16	550.29	2.74	515	Ruprecht 112	2611.17	3.42		
85	ASCC 73	550.33	2.74	516	BH 217	2622.75	3.42		
86	NGC 5460	553.89	2.74	517	FSR 0166	2646.67	3.42		
80	ASCC 88	550.81	2.75	518 510	NCC 6451	2000.34 2657.53	3.42		
89	NGC 5662	563.5	2.75	$519 \\ 520$	FSR 0935	2057.55 2658.21	3.42		
90	Turner 5	564.95	2.75	521	Gulliver 39	2662.66	3.43		
91	Loden 1194	566.68	2.75	522	Teutsch 144	2664.69	3.43		
92	ASCC 21	573.93	2.76	523	King 25	2666.54	3.43		
93	Gulliver 6	585.43	2.77	524	NGC 2236	2666.96	3.43		
94	Collinder 69	586.62	2.77	525	Ruprecht 36	2668.59	3.43		
95 06	Gulliver 10	588.88	2.77	526 527	Collinder 74	2688.8	3.43		
90 97	NGC 5822	596.93	2.11	528	FSB 0306	2091.21 2692.47	3.43		
98	ASCC 41	597.76	2.78	529	NGC 4052	2700.14	3.43		
99	Haffner 13	603.44	2.78	530	NGC 581	2709.93	3.43		
100	RSG 1	604.59	2.78	531	King 4	2711.07	3.43		
101	ASCC 79	609.55	2.79	532	Lynga 5	2722.59	3.43		
102	NGC 1333	610.04	2.79	533	Gulliver 27	2732.69	3.44		
103	IC 4651	614.44	2.79	534	Collinder 261	2739.87	3.44		
104	ASCC 115 Aveni Hunter 1	621.03	2.19	536	Alessi 60	2741.12 2754.45	3.44 3.44		
106	RSG 7	622	2.79	537	FSR 1180	2754.45	3.44		
107	NGC 6991	639.74	2.81	538	Juchert 3	2759.7	3.44		
108	Stock 2	639.98	2.81	539	Berkeley 10	2760.23	3.44		
109	Stock 12	642.06	2.81	540	Gulliver 1	2760.48	3.44		
110	NGC 2527	642.83	2.81	541	SAI 25	2761.64	3.44		
111	RSG 8	644.1	2.81 2.81	542 549	5KIII JU458+43.0	2762.65	3.44		
112	NGC 6425	644.54	2.81	545 544	FSR 1260	2767 44	3.44		
114	Alessi 20	657.22	2.82	545	Haffner 22	2771.26	3.44		
115	Teutsch 38	657.88	2.82	546	Berkeley 44	2775.8	3.44		
116	NGC 2184	671.54	2.83	547	Czernik 31	2776.11	3.44		
117	Gulliver 21	677.02	2.83	548	Berkeley 62	2776.75	3.44		
118	NGC 7063	678.79	2.83	549	NGC 2533 King 5	2779.57	3.44		
119	NGC 6087	695.62	2.84 2.84	550 551	King 5 NGC 2259	2803.51 2824.05	3.45 3.45		
120	Stock 10	697.16	2.84	552	King 19	2624.00 2825 22	3.45		
121	NGC 752	698.15	2.84	553	Gulliver 45	2826.92	3.45		
123	NGC 6568	702.88	2.85	554	FSR 1170	2836.99	3.45		
124	LDN 988e	706.58	2.85	555	Haffner 8	2849.17	3.45		
125	ESO 130 06	707.54	2.85	556	Ruprecht 102	2850.09	3.45		
126	NGC 6416	711.47	2.85	557	Haffner 26	2857.88	3.46		
127	IC 2395	713.6	2.85	558	1eutsch 145	2860.36	3.40		
					прод	ONTACHNE	следует		

	(продолжение)								
No	Name	d, pc	log t, Myr	No	Name	d, pc	log t, Myr		
128	Alessi Teutsch 3	713.78	2.85	559	FSR 0172	2860.53	3.46		
129	Alessi Teutsch 11	718.48	2.86	560	Pismis 20	2872.87	3.46		
130	Gulliver 29	733.11	2.87	561	Ruprecht 68	2877.45	3.46		
131	NGU 1002 Collinder 132	134.82 737.4	2.87	562 563	Guillver 4 NCC 2660	2884.92 2807.36	3.40 3.46		
132 133	Lynga 2	746.35	2.87	$503 \\ 564$	Teutsch 23	2097.30	3.40		
134	Pismis 4	759.25	2.88	565	FSR 0498	2926.51	3.47		
135	BH 221	760.05	2.88	566	NGC 2506	2928	3.47		
136	Ruprecht 135	760.16	2.88	567	NGC 2455	2941.72	3.47		
137	NGC 2281	763.9	2.88	568	Ruprecht 16	2957.05	3.47		
138	NGC 6383	770.61	2.89	569	Riddle 4	2958.11	3.47		
139	NGC 2925	794.56	2.9	570	Ruprecht 117	2977.74	3.47		
140	NGC 1039	796.36	2.9	571 572	NGC 2587 Cromile 16	2991.21	3.48		
141	NGC 7039	817 10	2.91	573	Berkeley 55	2995.58	3.40		
143	ASCC 128	827.91	2.92	574	NGC 7510	2996.1	3.48		
144	ASCC 32	835.28	2.92	575	Stock 24	3007.58	3.48		
145	Alessi 37	842.01	2.93	576	Berkeley 81	3014	3.48		
146	NGC 6709	846.33	2.93	577	Berkeley 32	3021.44	3.48		
147	NGC 6134	847.71	2.93	578	FSR 0921	3021.58	3.48		
148	NGC 2287	849.76	2.93	579	Czernik 8	3027.41	3.48		
149	ASCC 115	858.96	2.93	580	NGC 2383	3032.91	3.48		
150	NGC 5749 Collinder 107	860.69	2.93	581	NGC 5168 Porkeley, 15	3041.67	3.48		
$151 \\ 152$	NGC 6208	872 75	2.94	583	NGC 559	3040.23 3046.64	3.48		
153	NGC 6400	873.9	2.94	584	Haffner 16	3063.42	3.49		
154	Harvard 13	884.82	2.95	585	FSR 0953	3065.38	3.49		
155	NGC 6193	887.34	2.95	586	FSR 0448	3065.97	3.49		
156	NGC 6800	894.14	2.95	587	King 18	3068.97	3.49		
157	IC 5146	896.23	2.95	588	Skiff J0058+68.4	3073.1	3.49		
158	Stock 23	896.64	2.95	589	NGC 146	3074.19	3.49		
159	BH 56	901.71	2.96	590	Berkeley 49	3081.79	3.49		
161	NCC 6007	902.32	2.90	502	5AI 4 FSB 0070	3095.5 3115.26	3.49		
162	NGC 0997 NGC 225	911.08	2.96	592 593	Koposov 10	3127.82	3.5		
163	NGC 1647	915.02	2.96	594	FSR 0735	3135.58	3.5		
164	Stock 7	929.35	2.97	595	NGC 6834	3145.91	3.5		
165	Alessi 1	929.4	2.97	596	FSR 1663	3146.55	3.5		
166	Alessi 2	932.65	2.97	597	FSR 0558	3147.08	3.5		
167	NGC 6940	941.33	2.97	598	Czernik 39	3147.84	3.5		
168	ASCC 23	946.66	2.98	599	Juchert 13	3151.02	3.5		
169	NGC 6242 Trumpler 2	951.79	2.98	600 601	SAI 132 SAI 140	3153.05	3.5 2.5		
170	NGC 2264	951.95 952.67	2.98 2.98	602	SAI 149 Buprecht 101	3171.88	3.5		
172	Gulliver 14	958.04	2.98	602	King 15	3174.62	3.5		
173	Trumpler 2	961.95	2.98	604	NGC 1857	3202.1	3.51		
174	NGC 1342	962.09	2.98	605	NGC 2225	3205.85	3.51		
175	Dias 5	963.02	2.98	606	FSR 0088	3208.95	3.51		
176	Collinder 95	966.17	2.99	607	FSR 0553	3209.63	3.51		
177	NGC 2183	967.24	2.99	608 608	FSR 1750	3214.14	3.51		
178	NGC 2548	969.15	2.99	609 610	Ruprecht 96	3215.04	3.51		
179	ASCC 10	975.15	2.99	611	NGC 2425	3210.00 3216 3	3.51 3.51		
181	Dolidze 8	979.49	2.99	612	Hogg 15	3217.94	3.51		
182	Ferrero 11	982.68	2.99	613	Ruprecht 61	3228.59	3.51		
183	NGC 7243	983.23	2.99	614	Westerlund 1	3241.54	3.51		
184	Gulliver 48	986.99	2.99	615	Waterloo 7	3246.22	3.51		
185	Collinder 419	987.5	2.99	616	DBSB 3	3254.84	3.51		
186	NGC 3114	995.26	3	617	NGC 2818	3257.73	3.51		
187	NGC 2546	996.33	3	618	Hattner 10 King 22	3260.34	3.51		
180	NGU 3680 Buprocht 01	1000.45	ა ვ	620	ring 23 Trumpler 5	3202.41 3260.80	3.31 3.51		
190	Loden 46	1002.28	о 3	621	Berkelev 4	3272.3	3.51		
191	Alessi Teutsch 5	1017.68	3.01	622	Stock 18	3272.65	3.51		
192	Trumpler 30	1020.47	3.01	623	NGC 4815	3276.12	3.52		
193	King 6	1020.56	3.01	624	Czernik 9	3285.82	3.52		
194	NGC 2358	1020.81	3.01	625	Pismis 19	3285.91	3.52		
195	IC 1396	1025.94	3.01	626	Alessi 17	3291.84	3.52		
196	NGC 1545	1031.89	3.01	627	Ruprecht 172	3296.45	3.52		
197	NGU 2301	1033.71	3.01	028	г 5К 1407 Проц	3290.95	5.52 СПОЛИОТ		
					проде	MINCHINE .	олодуст		

1	.02		
(продс	лжеі	ние)	
a t Maan	Ma	Mamaa	

No	Name	d, pc	log t, Myr	No	Name	d, pc	log t, Myr
198	NGC 1750	1053.79	3.02	629	Negueruela 1	3303.25	3.52
199	NGC 7160	1062.64	3.03	630	NGC 7044	3307.73	3.52
200	ESO 166 04	1071 19	3.03	631	FSB 0296	3313 61	3 52
200	LOO 100 04	1071.13	2.02	620	Puprocht 196	2216 21	2.52
201		1075.08	3.03	052	Ruprecht 120	3310.31	3.52
202	Trumpler 28	1076.43	3.03	633	FSR 1252	3320.43	3.52
203	NGC 2669	1078.23	3.03	634	IC 1434	3328.32	3.52
204	NGC 2423	1080.03	3.03	635	Ruprecht 58	3330.87	3.52
205	NGC 6811	1082.43	3.03	636	Trumpler 12	3334.53	3.52
206	Trumpler 33	1086 72	3.04	637	FSB 0883	3337.2	3 52
200	Trumpler 55	1000.12	0.04	6007	NGC 102	22201.2	0.02
207	Trumpler 29	1091.42	3.04	638	NGC 103	3338.14	3.52
208	Collinder 463	1097.43	3.04	639	NGC 1220	3343.69	3.52
209	ASCC 71	1097.66	3.04	640	NGC 7261	3360.88	3.53
210	NGC 2447	1102.67	3.04	641	NGC 7419	3362.98	3.53
211	ASCC 108	1113 88	3.05	642	Buprecht 35	3366 43	3 53
010	NCC 2448	1115 66	2.05	642		2269 46	2 52
212	NGC 2446	1110.00	3.05	045	D L FO	3308.40	0.00
213	Collinder 258	1130.59	3.05	644	Berkeley 58	3382.85	3.53
214	NGC 6561	1133.66	3.05	645	NGC 7245	3390.04	3.53
215	Berkeley 82	1151.26	3.06	646	FSR 1591	3392.19	3.53
216	NGC 5925	1154.74	3.06	647	NGC 1605	3401.31	3.53
217	FSR 0551	1157.07	3.06	648	Skiff 12330+60.2	3401 7	3 53
010	1 SIC 0351	1150.04	2.00	C 40	Transmiss 20	2402.01	0.00
210	ASCC II	1156.24	3.00	049	Trumpier 20	3403.01	5.55
219	NGC 7762	1165.48	3.07	650	Berkeley 77	3405.02	3.53
220	NGC 6167	1166.71	3.07	651	Ruprecht 100	3405.86	3.53
221	ASCC 30	1181.52	3.07	652	NGC 1245	3431.9	3.54
222	NGC 6268	1182.28	3.07	653	Juchert 1	3439.53	3.54
222	NCC 2360	1183 40	3.07	654	IC 1360	3450.85	3 54
220	NGO 2500	1105.49	3.07	004	IC 1309	3450.85	0.04
224	Harvard 16	1185.47	3.07	655	Czernik 14	3452.36	3.54
225	Basel 11a	1192.35	3.08	656	FSR 0942	3456.21	3.54
226	Muzzio 1	1195.71	3.08	657	Toepler 1	3458.75	3.54
227	Trumpler 26	1195.75	3.08	658	FSR 0683	3459.1	3.54
228	FSR 0866	1200.27	3.08	659	Czernik 23	3462 42	3 54
220	NCC 2168	1200.21	2.00	660	King 7	2460 72	2.54
229	NGC 2108	1201.05	3.08	000	Kilig /	3409.73	5.54
230	Stock 5	1209.75	3.08	661	BH 37	3471.38	3.54
231	Ruprecht 171	1213.68	3.08	662	FSR 0974	3479.84	3.54
232	NGC 2323	1219.05	3.09	663	NGC 2266	3482.88	3.54
233	NGC 1582	1219.27	3.09	664	Trumpler 11	3499.12	3.54
234	Ruprecht 111	1210.21	3.00	665	Basel 4	3504.44	3 54
204	Declard 7	1213.40	3.00		NGC 7700	2504.44	0.04
235	Roslund 7	1222.47	3.09	666	NGC 7790	3524.3	3.55
236	Ruprecht 26	1223.48	3.09	667	FSR 0542	3545.27	3.55
237	NGC 1708	1233.51	3.09	668	Berkeley 68	3546.96	3.55
238	NGC 2215	1238.71	3.09	669	Haffner 17	3552.16	3.55
239	Teutsch 30	1240 13	3.09	670	NGC 7235	355755	3 55
240	IC 2714	1210.10	9.1	671	Rupposht 47	2562.04	2.55
240	IC 2714	1240.10	0.1	071	Ruprecht 47	3505.04	3.33
241	NGC 5316	1249	3.1	672	Berkeley 17	3567.6	3.55
242	NGC 2374	1249.45	3.1	673	Gulliver 23	3574.98	3.55
243	Roslund 2	1252.62	3.1	674	King 10	3600.33	3.56
244	ASCC 13	1254.03	3.1	675	King 11	3601.68	3.56
245	NGC 7209	1254 76	3.1	676	Toutsch 28	3618 35	3 56
240	Culling 44	1254.10	2.1	677	NCC 2104	2625 51	2.50
240	Guillver 44	1258.95	3.1	077	NGC 2194	3023.31	5.50
247	Trumpler 32	1260.5	3.1	678	NGC 2439	3635.91	3.56
248	BDSB96	1262.99	3.1	679	Berkeley 69	3638.76	3.56
249	NGC 2112	1265.69	3.1	680	Berkeley 53	3642.08	3.56
250	NGC 2343	1266.35	3.1	681	NGC 436	3644.35	3.56
251	Collinder 185	1269.9	3.1	682	Czernik 24	3668.16	3.56
251	udBorgh 02	1977 91	2.11	692	FSR 1500	3673 20	3.57
202	NGG anon	1277.31	0.11	005	FSR 1509	3073.89	3.57
253	NGC 2302	1293.92	3.11	684	FSR 0282	3686.38	3.57
254	NGC 6231	1295.61	3.11	685	Berkeley 45	3699.62	3.57
255	NGC 4609	1304.32	3.12	686	Berkeley 89	3706.77	3.57
256	NGC 2354	1307.79	3.12	687	NGC 1893	3711.13	3.57
257	NGC 6152	1312.2	3.12	688	Haffner 14	3714 63	3.57
201	NCC 6966	1914 57	2 1 9	600	Sliff IOG14 19.0	3796	3.57
<u>∠00</u>		1014.07	0.12	009	5KIII JU014+12.9	3720	0.07
259	Gulliver 57	1315.71	3.12	690	FSR 1253	3726.29	3.57
260	NGC 2428	1322.94	3.12	691	FSR 0537	3727.64	3.57
261	NGC 2482	1331.28	3.12	692	SAI 72	3766.71	3.58
262	NGC 1528	1333.94	3.13	693	Gulliver 34	3784.59	3.58
262	IC 2488	1334 20	3 1 3	604	Berkeley &	370/	3.58
200	10 4400 Cull: 07	1997.07	0.10	094	Derneicy 0	0104	0.00
264	Gulliver 37	1337.05	3.13	695	Stock 16	3795.83	3.58
265	Ruprecht 167	1342.76	3.13	696	Pismis 2	3816.01	3.58
266	Bochum 13	1345.01	3.13	697	SAI 86	3827.2	3.58
267	NGC 1502	1347.08	3.13	698	Ruprecht 79	3828.78	3.58
						олжение	слелиет
					прод		~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~

	(продолжение)							
No	Name	d, pc	log t, Myr	No	Name	d, pc	log t, Myr	
268	NGC 743	1347.2	3.13	699	Teutsch 143a	3833.23	3.58	
269	NGC 6192	1352.11	3.13	700	Ruprecht 66	3834.46	3.58	
270	NGC 2539	1353.43	3.13	701	NGC 7423	3849.1	3.59	
271	NGC 6611	1354.12	3.13	702	FSR 0716	3858.12	3.59	
272	NGC 2362	1356.74	3.13	703	FSR 0154 Dummasht 82	3860.15	3.59	
213	NGC 1027 NGC 7082	1302.40	3.13 2.14	704	Ruprecht 83	3897.11	3.39 2.50	
274	NGC 6520	1368.14	3.14	705	Haffner 4	3929 44	3.59	
276	NGC 6253	1388.05	3.14	707	Kronberger 81	3943.12	3.6	
277	NGC 5281	1393.45	3.14	708	Graham 1	3943.82	3.6	
278	BH 202	1401.22	3.15	709	Berkeley 85	3947.9	3.6	
279	Gulliver 36	1403.04	3.15	710	Berkeley 60	3951.68	3.6	
280	NGC 7031	1414.76	3.15	711	Ruprecht 63	3952.46	3.6	
281	Basel 1	1418.62	3.15	712	Berkeley 1	3953.95	3.6	
282	NGC 6645	1424.88	3.15	713	FSR 0275	3971.95	3.6	
283	NGC 6728	1428.8	3.15	714	NGC 2204	3976.15	3.6	
284	NGC 2671	1438.82	3.16	715	Czernik 10	3983.65	3.6	
285	NGC 1912	1445.25	3.16	716	Kronberger 84	3986.8	3.6	
280	FSR 0667	1448.69 1450.55	3.10	719	FSR 1441	3991.77	3.0	
201	NCC 180	1450.55 1454.01	5.10 2.16	710	SAI 94 NCC 2452	3994.21	3.0 2.6	
280	NGC 1444	1460.6	3.16	719	King 13	4009.72	3.6	
209	Collinder 277	1400.0 1464 44	3.10 3.17	720	Hogg 4	4018.08	3.6	
291	NGC 1960	1404.44 1477.03	3.17	722	FSB 1521	4031.6	3.61	
292	Roslund 3	1481.42	3.17	723	FSR 1586	4042.67	3.61	
293	BH 211	1483.1	3.17	724	King 17	4057.7	3.61	
294	NGC 2244	1488.42	3.17	725	NGC 2243	4065.57	3.61	
295	Collinder 269	1500.67	3.18	726	FSR 1315	4082.32	3.61	
296	Gulliver 54	1501.02	3.18	727	Haffner 7	4106.38	3.61	
297	NGC 6694	1504.1	3.18	728	Ruprecht 28	4109.36	3.61	
298	NGC 2670	1508.71	3.18	729	FSR 0524	4111.08	3.61	
299	Gulliver 13	1512.1	3.18	730	Czernik 27	4119.85	3.61	
300	NGC 2477	1522.12	3.18	731	Teutsch 74	4121.1	3.62	
301	Collinder 292	1527.9	3.18	732	SAI 116	4123.29	3.62	
302	NGC 2318	1558.76	3.19	733	NGC 2304	4125.31	3.62	
303	Turner 9	1559.43	3.19	734	Czernik 21	4141.36	3.62	
304	Ruprecht 128	1559.97	3.19	735	Berkeley 28	4169.99	3.62	
305	NGC 744	1566.23	3.19	736	Haffner 6	4179.01	3.62	
300	NGC 2437	1508.29 1560 5	3.∠ 2.0	131	Berkeley 30	4180.99	3.02	
307	NGC 5825 FSR 0442	1610.03	0.2 3.91	730	Crornik 32	4199.03	3.02	
300	F 510 0442 Berkeley 87	1010.93 1611.85	3.21	739	FSB 1402	4210.95 4230.14	3.63	
310	NGC 1664	1625.04	3 21	741	Ruprecht 97	4230.14 4241.52	3 63	
311	NGC 6910	1626.01 1636.51	3.21	742	Ruprecht 45	4244.1	3.63	
312	NGC 3033	1642.01	3.22	743	BH 84	4244.62	3.63	
313	FSR 0167	1645.52	3.22	744	Ruprecht 41	4247.21	3.63	
314	NGC 2251	1658.46	3.22	745	NGC 2580	4258.99	3.63	
315	FSR 0496	1662.54	3.22	746	NGC 2658	4260.69	3.63	
316	FSR 1378	1665.32	3.22	747	BH 19	4265.08	3.63	
317	NGC 3330	1671.1	3.22	748	Berkeley 43	4265.6	3.63	
318	NGC 7086	1677.34	3.22	749	Berkeley 71	4269.91	3.63	
319	Gulliver 24	1689.8	3.23	750	Teutsch 54	4269.93	3.63	
320	FSR 1085	1691.48	3.23	751	FSR 1171	4280.33	3.63	
321	NGC 6649	1705.32	3.23	752	Ruprecht 75	4307.43	3.63	
322	NGC 2567	1705.57 1706 FF	3.23	753	Berkeley 39	4324.31	3.64	
323 294	NGC 0004 Puprocht 1	1700.00 1710.72	ა.∠ა ვევ	755	DC 5 Porkolov 01	4324.31	3.04 2.64	
324	Gulliver 51	1710.73	3.23	755	Berkeley 37	4324.07	3.64	
326	Buprecht 170	1720.43 1720.66	3.24	757	Buprecht 164	4334 5	3.64	
327	Ruprecht 121	1723.00	3.24	758	Teutsch 7	4345.93	3.64	
328	NGC 1817	1730.03	3.24	759	FSR 1083	4348.36	3.64	
329	FSR 0278	1737.48	3.24	760	Haffner 18	4378.04	3.64	
330	NGC 6705	1742.54	3.24	761	FSR 1530	4391.47	3.64	
331	NGC 5764	1746.35	3.24	762	Waterloo 1	4416.54	3.65	
332	FSR 0923	1748.84	3.24	763	NGC 6791	4430.73	3.65	
333	NGC 6704	1755.26	3.24	764	Ruprecht 60	4453.08	3.65	
334	NGC 6871	1759	3.25	765	FSR 0948	4470.99	3.65	
335	NGC 7654	1760.22	3.25	766	NGC 2414	4487.16	3.65	
336	NGC 2099	1763.44	3.25	767	Trumpler 13	4503.47	3.65	
337	Gulliver 32	1775.55	3.25	768	FSR 0344	4522.12	3.66	
					проде	элжение	следует	

	(продолжение)								
No	Name	d, pc	log t, Myr	No	Name	d, pc	log t, Myr		
338	Skiff J0619+18.5	1777.35	3.25	769	Berkeley 13	4529.98	3.66		
339	NGC 1513	1778.54	3.25	770	FSR 0123	4548.59	3.66		
340	NGC 4349	1783.95	3.25	771	Koposov 63	4560.85	3.66		
341	NGC 2627	1801.03	3.26	772	BH 55 Trustach 99	4563.15	3.66		
342	ASCC 110	1800.01	3.20 3.26	774	Teutsch 22 Juchert Saloran 1	4593.98 4601.60	3.00 3.66		
343	Collinder 107	1811.33 1814 31	3.26	775	Berkeley 78	4620.09	3.66		
345	FSR 0198	1822.14	3.26	776	BH 150	4635.33	3.67		
346	FSR 0951	1829.82	3.26	777	NGC 2324	4639.7	3.67		
347	NGC 4755	1830.89	3.26	778	Haffner 20	4644.46	3.67		
348	Dolidze 53	1831.13	3.26	779	NGC 2141	4656.99	3.67		
349	NGC 6067	1834.61	3.26	780	Melotte 66	4667.37	3.67		
350	NGC 2972	1846.6	3.27	781	FSR 1595	4668.86	3.67		
351	Gulliver 35	1847.45	3.27	782	NGC 1883	4678.42	3.67		
352	NGC 5269	1849.82	3.27	783	Gulliver 42	4690.31	3.67		
353	Trumpler 17	1854.57	3.27 3.27	785	NGC 7220 NGC 2158	4759.02	3.08 3.68		
355	NGC 1496	1861 29	3.27	786	NGC 2156 Berkeley 14	4111.09	3.69		
356	Ruprecht 84	1862.66	3.27	787	Buprecht 85	4877.6	3.69		
357	NGC 2432	1864.67	3.27	788	BH 140	4886.65	3.69		
358	Ruprecht 119	1865.59	3.27	789	Juchert 9	4933.46	3.69		
359	Haffner 5	1876.81	3.27	790	SAI 47	4947.89	3.69		
360	IC 4996	1880.12	3.27	791	NGC 136	4948.75	3.69		
361	FSR 0771	1881.5	3.27	792	Berkeley 51	5004.72	3.7		
362	Ruprecht 105	1894.86	3.28	793	Danks 1	5011.52	3.7		
363	Czernik 38	1897.87	3.28	794	ESO 311 21	5015.03	3.7		
364	NGC 1907 Borkolov 80	1898.76 1000 6	3.28	795	ESU 211 03 Borkolov 35	5026.66 5078-7	3.7 3.71		
366	NGC 5715	1900.0	3.28	790	Koposov 43	5078.7 5127 5	3.71		
367	NGC 6583	1917.03 1927.04	3.28	798	FSR 1716	5124.0 5134.24	3.71		
368	NGC 3766	1933.75	3.29	799	IC 166	5134.52	3.71		
369	NGC 6939	1935.42	3.29	800	NGC 1798	5155.65	3.71		
370	King 26	1940.75	3.29	801	Berkeley 70	5181.25	3.71		
371	Collinder 469	1947.7	3.29	802	Berkeley 63	5202.29	3.72		
372	NGC 6735	1948.23	3.29	803	Pismis 7	5274.23	3.72		
373	Czernik 37	1958.34	3.29	804	Skiff J0507+30.8	5327.72	3.73		
374	NGC 6259	1970.45	3.29	805	Berkeley 24	5334.01	3.73		
376	NGC 1778 BH 200	1974.21 1077 11	0.0 3.3	800	Andrews Lindsay 5	5400.02 5428.89	3.73		
377	NGC 2489	1977.44	3.3	808	NGC 7067	5517.66	3.74		
378	Tombaugh 5	1980.36	3.3	809	Teutsch 85	5570.69	3.75		
379	Barkhatova 1	1988.47	3.3	810	Berkeley 52	5573.05	3.75		
380	Trumpler 25	1989	3.3	811	NGC 2635	5588.48	3.75		
381	Ruprecht 27	1997.92	3.3	812	NGC 1193	5588.5	3.75		
382	IC 2581	2000.28	3.3	813	SAI 16	5598.36	3.75		
383	Lynga 1	2010.36	3.3	814	Berkeley 66	5608.67	3.75		
384	Melotte 101	2010.71	3.3	815	Teutsch 31	5628.92	3.75		
385	King I Detebielt 2	2015.93	3.3 2.21	816	Berkeley 21 Borkeley 22	5649.39 5652.15	3.75 2.75		
387	Collinder 115	2021.10	3 31	818	Berkeley 23	5676 27	3.75		
388	Ruprecht 134	2039.35	3.31	819	Juchert 18	5699.15	3.76		
389	Stock 21	2044.34	3.31	820	Berkeley 72	5785.73	3.76		
390	NGC 129	2044.42	3.31	821	FSR 0158	5785.91	3.76		
391	NGC 2355	2047.77	3.31	822	Berkeley 18	5850.36	3.77		
392	Basel 17	2049.73	3.31	823	Schuster 1	5853.26	3.77		
393	FSR 1435	2053.82	3.31	824	SAI 17	5902.52	3.77		
394	Ruprecht 130	2053.92	3.31	825	ESO 371 25	5940.66	3.77		
390 206	FSP 0241	2053.98	3.31 2.21	820	FSR 1335 NCC 600	5990.69 5006 6	3.18 2.79		
390	NGC 6830	2054.9 2055 52	3 31	828	NGC 009 Berkeley 73	5990.0 6153 71	3.70		
398	NGC 188	2060.02 2060.79	3.31	829	Berkelev 99	6185.55	3.79		
399	Collinder 272	2065.98	3.32	830	King 9	6388.57	3.81		
400	Dolidze 5	2067.71	3.32	831	Berkeley 19	6395.78	3.81		
401	Pismis 12	2068.24	3.32	832	IC 1311	6450.72	3.81		
402	Hogg 17	2068.39	3.32	833	King 8	6510.46	3.81		
403	NGC 2659	2070.45	3.32	834	NGC 3255	6539.15	3.82		
404	NGC 6755	2089.74	3.32	835	FSR 1025	6621.25	3.82		
405 40e	Ruprecht 29	2092.08	3.32 3.32	830 897	DII 222 Borkolov 54	0042.8 6672.69	3.82		
400 407	NGC 5617	2094.32 2106 11	3.32	001 838	BH 72	6921 47	3.84		
101	1.00.0011	_100.11			проле	олжение	следует		

(продолжение)							
No	Name	d, pc	log t, Myr	No	Name	d, pc	log t, Myr
408	Basel 11b	2111.86	3.32	839	Saurer 2	6943.2	3.84
409	FSR 1032	2125.98	3.33	840	Berkeley 2	7005.27	3.85
410	Berkeley 9	2134.87	3.33	841	FSR 1125	7064.29	3.85
411	Lynga 6	2137.33	3.33	842	Ruprecht 43	7103.8	3.85
412	Ruprecht 50	2141.92	3.33	843	Juchert 10	7118.26	3.85
413	Melotte 71	2152.24	3.33	844	BH 85	7134.74	3.85
414	Ruprecht 82	2156.53	3.33	845	NGC 3105	7262	3.86
415	Gulliver 38	2172.89	3.34	846	NGC 6827	7304.42	3.86
416	Ruprecht 138	2175.57	3.34	847	Pismis 22	7353.92	3.87
417	Melotte 105	2180.66	3.34	848	Teutsch 44	7385.64	3.87
418	Gulliver 58	2181.83	3.34	849	FSR 0133	7487.84	3.87
419	Trumpler 22	2182.86	3.34	850	BH 66	7641.09	3.88
420	Ruprecht 33	2193.36	3.34	851	SAI 109	7664.98	3.88
421	Gulliver 30	2196.93	3.34	852	Ruprecht 78	7681.32	3.89
422	ESO 368 11	2199.89	3.34	853	ESO 211 09	7924.87	3.9
423	Ruprecht 10	2201.41	3.34	854	Berkeley 75	8075.53	3.91
424	NGC 6216	2207.85	3.34	855	NGC 6846	8383.49	3.92
425	BH 87	2208.05	3.34	856	Gulliver 7	8539.69	3.93
426	Gulliver 55	2209.36	3.34	857	FSR 0937	9079.2	3.96
427	NGC 3960	2217.11	3.35	858	NGC 3603	9252.66	3.97
428	Czernik 12	2218.7	3.35	859	Berkeley 22	10039.96	4
429	Hogg 21	2219.92	3.35	860	Berkeley 92	10328.29	4.01
430	Ruprecht 115	2238.59	3.35	861	Berkeley 29	19373.04	4.29
431	NGC 5381	2238.83	3.35				
							•

Б.2 Каталог сближений звезд поля

Таблица 12 — Пары звезд, сближавшихся на расстояние до 1 пк.

,	-				
Gaia EDR3 id	Gaia EDR3 id	d_{min} , pc	t_{min} , Myr		
1872046609345556480	1872046574983497216	0.00055	0		
1022456139210632064	1022456104850892928	0.00056	0		
5559265690666327168	5559265690666326016	0.00179	0		
5443051537858529792	5443051537858529920	0.00186	0		
386653747925624576	386653851004022144	0.00271	0		
732856080807636224	732857558276385664	0.00358	0		
4955395178633330432	4955395178633330304	0.00424	0		
4986970575602213632	4986970575602213504	0.00459	0		
1237090738916392832	1237090738916392704	0.00500	0		
4519789321942643072	4519789081415296128	0.00539	0		
1071194431653425280	1071195187567668480	0.00660	0		
4911306239828325632	4911306239828325760	0.00708	0		
461701979229013376	461701979233050624	0.00774	0		
263916742385357056	263916708025623680	0.00779	0		
3936909723803146368	3936909723803146496	0.00847	0		
3057712188691831936	3057712223051571200	0.00884	0		
43335880716390784	43335537119385216	0.00925	0		
4364527594192166400	4364480521350598144	0.00939	0		
3712538811193759744	3712538708114516736	0.00969	0		
5291028284195365632	5291028181119851776	0.00984	0		
3812355328621651328	3812355294262255104	0.01760	0		
4722111590409480064	4722135642226902656	0.01881	0		
3498481592531208576	3498481519515679872	0.02295	0		
853819947756949120	853820948481913472	0.02763	0		
5951165616611763456	5951165616635298816	0.03612	0		
3394298532176344960	3400292798990117888	0.06225	0		
3837746380705638656	3837697972130323456	0.11509	0		
4038724053986441856	579567598501642368	0.19464	-1.0010		
3060788519149063680	3057712188691831936	0.30701	0		
3060788519149063680	3057712223051571200	0.30728	0		
1472718211053416320	1472903753640492160	0.34775	0		
1408029436569383296	1359938520253565952	0.42527	0		
1408029509584967168	1359938520253565952	0.42762	0		
продолжение следует					
продолшение слодует					

(продолжение)					
Gaia EDR3 id	Gaia EDR3 id	d_{min} , pc	t_{min}, Myr		
1408029509583934464	1359938520253565952	0.43257	0		
3478160727866058368	646255212109355136	0.45622	-0.5005		
3478127463341507072	3478160727866058368	0.48556	0		
974536192658255104	974887555341533440	0.52180	0		
5866992641380992256	5895265380327966464	0.58470	0		
4706564427272810752	4706630501049679744	0.58553	0		
1408029509584967168	4548562265603840768	0.61610	-0.5005		
1092545710514654464	1093918828739878528	0.63606	0		
4866978844438656768	4678664766393829504	0.65386	-0.5005		
2287506148856660992	2299942278201276288	0.65398	0		
4093301474693288960	4079684229322231040	0.65537	0		
522863309964987520	426641955043723520	0.69301	0		
892215482207937152	893214796542513280	0.69675	0		
5945941905576552064	5925209583053212800	0.70644	0		
5698188160215537920	5602386058511578368	0.74452	0		
2964001014514075520	2395413147718069504	0.74830	-2.5025		
4805806449875760384	4805866957374888448	0.75198	0		
4025850731201819392	4034171629042489088	0.80494	0		
543789661932658432	551050046451136256	0.81364	0		
5412250540681250560	5425628298649940608	0.81697	0		
4247023886053586304	4248817876711932416	0.83519	0		
1062935140823485184	1050678712910407424	0.84161	0		
704967037090946688	6029992663310612096	0.84248	-0.5005		
4270814637616488064	4270446404294208000	0.87358	0		
522863309964987520	512167948043650816	0.93959	0		
3828238392559860992	1237090738916392832	0.94686	-0.5005		
2929062902976882304	2927791352138805504	0.95268	0		
436648129327098496	438829629114680704	0.95995	0		
6508401923473282432	6508776375901968640	0.97118	0		
6673000841376349696	6697578465310949376	0.97479	0		
5042734468172061440	5038817840251308288	0.98441	0		

Б.3 Каталог сближений звезд поля и скопления Гиады

Таблица 13 — Параметры сближений звезд поля и скопления Гиады (Тип), ID звезды по данным Gaia EDR3, d_{min} и t_{min} .

Тип	Gaia EDR3 ID_1	Gaia EDR3 ID_2	d_{min} , pc	t_{min} , Myr		
field	1872046609345556480	1872046574983497216	0.00055	0		
field	1022456139210632064	1022456104850892928	0.00056	0		
field	5559265690666327168	5559265690666326016	0.00179	0		
field	5443051537858529792	5443051537858529920	0.00186	0		
field	386653747925624576	386653851004022144	0.00271	0		
field	732856080807636224	732857558276385664	0.00358	0		
field	4955395178633330432	4955395178633330304	0.00424	0		
field	4986970575602213632	4986970575602213504	0.00459	0		
field	1237090738916392832	1237090738916392704	0.00500	0		
field	4519789321942643072	4519789081415296128	0.00539	0		
field	1071194431653425280	1071195187567668480	0.00660	0		
field	4911306239828325632	4911306239828325760	0.00708	0		
field	461701979229013376	461701979233050624	0.00774	0		
field	263916742385357056	263916708025623680	0.00779	0		
field	3936909723803146368	3936909723803146496	0.00847	0		
field	3057712188691831936	3057712223051571200	0.00884	0		
field	43335880716390784	43335537119385216	0.00925	0		
field	4364527594192166400	4364480521350598144	0.00939	0		
field	3712538811193759744	3712538708114516736	0.00969	0		
field	5291028284195365632	5291028181119851776	0.00984	0		
field	3812355328621651328	3812355294262255104	0.01760	0		
field	4722111590409480064	4722135642226902656	0.01881	0		
field	3498481592531208576	3498481519515679872	0.02295	0		
продолжение следует						

m		родолжение)	7	
Тип	Gaia EDR3 ID_1	Gaia EDR3 <i>ID</i> ₂	d_{min} , pc	t_{min}, My
field	853819947756949120	853820948481913472	0.02763	0
field	5951165616611763456	5951165616635298816	0.03612	0
field	3394298532176344960	3400292798990117888	0.06225	0
field	3837746380705638656	3837697972130323456	0.11509	0
field	4038724053986441856	579567598501642368	0.19464	-1.0010
field	3060788519149063680	3057712188691831936	0.30701	0
field	3060788519149063680	3057712223051571200	0.30728	0
field	1472718211053416320	1472903753640492160	0.34775	0
field	1408029436569383296	1359938520253565952	0.42527	0
field	1408029509584967168	1359938520253565952	0.42762	0
field	1408029509583934464	1359938520253565952	0.43257	0
field	3478160727866058368	646255212109355136	0.45622	-0.5005
field	3478127463341507072	3478160727866058368	0.48556	0
field	974536192658255104	974887555341533440	0.52180	0
field	5866992641380992256	5895265380327966464	0.58470	0
field	4706564427272810752	4706630501049679744	0.58553	0
field	1408029509584967168	4548562265603840768	0.61610	-0.5005
field	1092545710514654464	1093918828739878528	0.63606	0
field	4866978844438656768	4678664766393829504	0.65386	-0.5005
field	2287506148856660992	2299942278201276288	0.65398	0
field	4093301474693288960	4079684229322231040	0.65537	0
field	522863309964987520	426641955043723520	0.69301	0
field	892215482207937152	893214796542513280	0.69675	0
field	5945941905576552064	5925209583053212800	0.00010	0
field	5698188160215537920	5602386058511578368	0.74452	0
field	2064001014514075520	2305413147718060504	0.74432	2 5025
field	4905906440975760294	4905966057274999449	0.74030	-2.3023
fold	4005000445010100504	400300037774000440	0.75198	0
Gald	4023630731201619392	4034171029042489088	0.80494	
	545789001952058452	551050040451150250	0.81504	
neia Guld	041220004008120000 404700000007050000	5425628298649940608	0.81097	0
neld	4247023886053586304	4248817876711932416	0.83519	0
field	1062935140823485184	1050678712910407424	0.84161	0
field	704967037090946688	6029992663310612096	0.84248	-0.5005
field	4270814637616488064	4270446404294208000	0.87358	0
field	522863309964987520	512167948043650816	0.93959	0
field	3828238392559860992	1237090738916392832	0.94686	-0.5005
field	2929062902976882304	2927791352138805504	0.95268	0
field	436648129327098496	438829629114680704	0.95995	0
field	6508401923473282432	6508776375901968640	0.97118	0
field	6673000841376349696	6697578465310949376	0.97479	0
field	5042734468172061440	5038817840251308288	0.98441	0
hyades	3313653894061044224	3313662896313355008	0.178	0
hyades	146160558879786624	3410640887035452928	0.192	-5.6306
hyades	3314063908819076352	3314079508140198528	0.254	0
hyades	146677879098433152	146687018788948224	0.299	0
hyades	3312644885984344704	3312575685471393664	0.324	-1.2512
hvades	3312136499294830848	3312197934506930944	0.344	-0.6256
hyades	3312899491645515776	3312951748510907648	0.410	0
hyades	3313778207594395392	3313689422030650496	0.419	0
hyades	3314109916508904064	3313689422030650496	0.446	-0.6256
hvades	3313662896313355008	3313689422030650496	0.459	0
hvades	146160558879786624	3312602348628348032	0.488	-158 90
hvades	3295883999449691264	3305871825637254912	0.521	-3 7537
hvades	3314079508140198528	144534724778235392	0.541	-389.13
hvados	331/212068010812032	331/10991650890/06/	0.543	0
hyados	145373377272257664	144534794778935309	0.550	0.6256
hvades	2212652804061044224	2212680422020650406	0.555	-0.0250
hrades	2405112740864265440	2405000274065720269	0.501	0
nyades	3403113740804303440	3403909374903722308	0.572	1 0510
nyades	330/0/330038359/184	330/301040201043//6	0.589	-1.2012
nyades	3304412601908736512	3412003297699792512	0.007	-20.276
nyades	3311024789960504576	3310702770492165120	0.610	0
nyades	3313662896313355008	3313778207594395392	0.611	0
hyades	3314109916508904064	3313778207594395392	0.637	0
hyades	3312951748510907648	3312842042162993536	0.643	-0.6256
hyades	3313689422030650496	3312951748510907648	0.646	0
hyades	50327297200978176	50298125783225088	0.654	0
hyades	3307645131734449408	3307844864893938304	0.656	0
hyades	3308127405023027328	3307992336891315968	0.665	0
		9919619000147101000	0.079	1 0510

(продолжение)						
Тип	Gaia EDR3 ID_1	Gaia EDR3 ID_2	d_{min} , pc	t_{min} , Myr		
hyades	3312575685471393664	3312564037520033792	0.676	0		
hyades	3312575685471393664	108421608959951488	0.681	-595.59		
hyades	3312899491645515776	3313689422030650496	0.681	0		
hyades	3312575685471393664	3312613000147191808	0.694	-0.6256		
hyades	47541100375011968	47813504381625088	0.695	-0.6256		
hyades	3313778207594395392	3312951748510907648	0.718	0		
hyades	3312899491645515776	3312842042162993536	0.744	0		
hyades	3307844864893938304	50298125783225088	0.756	-152.65		
hyades	3312613000147191808	3312842042162993536	0.759	0		
nyades	3313653894061044224	3313778207594395392	0.769	0		
hyades	145325548516513280	49231668222673920	0.784	-0.6256		
hyades	3314212068010812032	3314063908819076352	0.793	0		
hyades	3406823245223942528	144377803854541184	0.794	-153.90		
hyades	3311179340063437952	51383893515451392	0.796	-153.90		
hyades	3405988677241799040	3405113740864365440	0.852	0		
nyades	3313259169388356608	3312709379213017728	0.855	-3.1281		
hyades	3314063908819076352	3314109916508904064	0.859	0		
nyades	3404850790083594368	3405127244241184256	0.861	0		
iyades	3311492803955469696	3310640648085373824	0.884	0		
nyades	3314109916508904064	3313662896313355008	0.888	-0.6256		
hyades	3310702770492165120	3311492803955469696	0.892	0		
hyades	47804394753757056	48203487411427456	0.896	0		
hyades	3312951748510907648	3312613000147191808	0.898	0		
hyades	3312136499294830848	45142206521351552	0.899	-1.2512		
hyades	3313778207594395392	3312899491645515776	0.905	0		
hyades	3312564037520033792	3312842042162993536	0.907	0		
hyades	3307645131734449408	3310640648085373824	0.914	-1.2512		
hyades	149313099234711680	144534724778235392	0.923	-8.7587		
hyades	3406943091991364608	3405113740864365440	0.923	-35.660		
hyades	3312575685471393664	3312899491645515776	0.941	-0.6256		
hyades	47813504381625088	47345009348203392	0.949	-1.8768		
hyades	3314109916508904064	3312951748510907648	0.951	0		
hyades	3313689422030650496	3312842042162993536	0.971	0		
	0010051540510005040	001 101000550505 1500	0.000			