УДК 521.27 Вестник СПбГУ. Сер. 1, 2005, вып. 3

Г. А. Гончаров, В. В. Витязев

ЭВОЛЮЦИЯ ПОЯСА ГУЛДА

1. Введение

Энциклопедия астрономии и астрофизики [1] определяет пояс Гулда как плоскую структуру около 700 пк в размере, окружающую Солнечную систему, включающую большинство имеющихся здесь звезд моложе 60 миллионов лет и наклоненную к галактической плоскости примерно на 20°. Кроме звезд пояс Гулда включает газ и пыль. Большинство звезд пояса Гулда, будучи молодыми, являются абсолютно яркими и видны на небе невооруженным глазом. Впервые эта структура замечена Джоном Гершелем в 1847 году на фоне южных созвездий: Ориона, Большого пса, Корабля Арго (Кормы, Киля, Парусов), Южного креста, Кентавра, Скорпиона и Стрельца. Бенджамин Гулд (Benjamin Gould) в 1874 году отметил, что это кольцо замыкается среди северных созвездий. В начале XX века было установлено, что пояс Гулда состоит в основном из молодых и ярких O и B звезд, их ассоциаций, и насыщен межзвездными облаками. Известные ассоциации Sco OB2, Ori OB1, Per OB2, Lac OB1 входят в пояс Гулда. Предполагается, что их возраст не превосходит 15 миллионов лет.

Распределение и движение звезд пояса Гулда по результатам проекта Hipparcos (без использования лучевых скоростей) подробно исследовано в работе [2]. Показано, что эта структура напоминает тор (диск с уменьшением плотности в центре) с большой полуосью примерно 360 пк и малой полуосью 210 пк, с центром в 170 пк от Солнца в направлении $l = 130°$, $b = -15°$, наклоненный примерно на 20° в направлении центра Галактики (наивысший подъем над галактической плоскостью при $l = 0°$). Различные исследования показали также, что кинематика звезд пояса Гулда определяется не только галактическим вращением, но и его собственным вращением и деформацией. При этом, как показано в работах [3–7], только совместное использование собственных движений и лучевых скоростей звезд позволяет наиболее полно исследовать характеристики пояса Гулда и других галактических структур в окрестностях Солнечной системы, и именно неточность лучевых скоростей сдерживает современные исследования.

На основе величин α, δ, π, μ_α, μ_δ, V_r можно вычислить координаты и скорости в стандартной галактической прямоугольной системе координат: X, Y, Z, U, V, W, где X растет в направлении центра Галактики, Y — в направлении ее вращения, Z — в направлении северного полюса Галактики. При этом возможно не только вычисление формальных параметров, отражающих деформацию и вращение совокупностей звезд, но и подробное рассмотрение движения и кинематической эволюции групп звезд и галактических структур в течение миллионов лет в прошлом и будущем, включая их рождение и распад. Оценим, структуры какого размера и в течение какого интервала времени мы можем рассматривать. Скорости 1 км/с соответствует 1 пк/миллион лет. Поэтому, зная пространственные скорости звезд с точностью лучше ± 1 км/с, можно исследовать движение, вращение и деформацию структур размером более 50 пк в течение, по крайней мере, ± 15 миллионов лет. Первые результаты применения этого подхода к звездам каталога Hipparcos изложены в работах [8–9].

Для такого исследования нами сформирована и постоянно обновляется база дан-

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 02–02–16570).

© Г. А. Гончаров, В. В. Витязев, 2005

ных и каталог Orion Spiral Arm CAtalogue (OSACA), которые размещены на сервере Астрономического института СПбГУ (http://www.astro.spbu.ru/). В настоящий момент каталог OSACA включает α, δ, π, $\mu_\alpha \cos\delta$, μ_δ, V_r, B, V и I фотометрию, параметры двойственности, вычисленные нами абсолютные звездные величины, галактические прямоугольные координаты X, Y, Z и компоненты скорости относительно Солнца U, V, W для примерно 20 тысяч звезд. В данной работе представлен пример использования этих данных для анализа кинематики 700 абсолютно ярчайших звезд ($M_v < -2^m$) в радиусе 500 пк от Солнечной системы.

2. Лучевые скорости

Отбор звезд с точными лучевыми скоростями и вычисление точных средневзвешенных лучевых скоростей является ключевой задачей при формировании базы данных и каталога OSACA.

Каталог WEB [10] содержал всего лишь 8450 звезд с известными тригонометрическими параллаксами, лучевые скорости которых известны с точностью лучше ± 1.2 км/с. В последние годы большое число точных лучевых скоростей измерено с фотоэлектрическими кросскорреляционными спектрометрами CORAVEL и цифровыми спидометрами Харвард-Смитсонианского центра астрофизики (CfA): итогом многолетней работы являются лучевые скорости с точностью лучше ± 1 км/с для примерно 10 тысяч звезд [11] — далее «каталог CORAVEL–CfA». Эта работа показывает, что совместное использование собственных движений и лучевых скоростей вместе с оценками межзвездного покраснения, металличности, многополосной фотометрией и параметрами двойственности позволяет делать выводы об абсолютной величине, возрасте, массе и галактических орбитах звезд, формируя материал для проверки астрофизических и звездно-кинематических моделей.

Каталог CORAVEL–CfA включает в основном лучевые скорости звезд спектральных классов F–K главной последовательности. Точные лучевые скорости примерно 10 тысяч других звезд вычислены нами как средневзвешенные значения из массива лучевых скоростей, собранных нами из различных источников. Таким образом, в настоящий момент имеются примерно 20 тысяч звезд, для которых весьма точно известно распределение и движение.

Для вычисления средневзвешенных лучевых скоростей нами использованы данные из более, чем 1400 публикаций (в основном относящихся к отдельным звездам), включая все, упомянутые в каталогах WEB [10], Barbier-Brossat and Figon [12], Malaroda et al. [13]. Кроме этих трех публикаций и каталога CORAVEL–CfA ключевыми источниками лучевых скоростей послужили [14–19], [20] и другие публикации этой серии, [21–23] и другие публикации этой серии, [24], [25]. Полный список использованных нами источников лучевых скоростей публикуется на сервере астрономического института http://www.astro.spbu.ru/.

Так как среди рассматриваемых 20 тысяч звезд около 7 тысяч являются известными и предполагаемыми неодиночными звездными системами, включая около 800 известных и 4500 предполагаемых спектрально-двойных, одной из основных проблем при вычислении средневзвешенных лучевых скоростей оказались имеющиеся во многих публикациях ошибки идентификации компонентов неодиночных звездных систем. То есть авторы часто неправильно указывают компонент, лучевая скорость которого измерена, или вообще не указывают, к какому компоненту относится измерение. Причем в заметной степени эти ошибки вызваны тем, что до недавнего времени номенклатура неодиночных звездно-планетных систем не была стандартизирована, то есть в разных

каталогах один компонент обозначен по-разному. В итоге мы внесли в исходный материал более тысячи исправлений такого рода.

Во всех случаях, когда гравитационная связанность компонентов звездной системы не вызывает сомнений (как правило, расстояние между компонентами менее 20000 а.е.), нами вычислена и далее рассматривается только системная лучевая скорость. Для гравитационно-широких звездных пар (расстояние между компонентами более 20000 а.е.) в каталоге OSACA приведены все компоненты с известными лучевыми скоростями. В рассматриваемый массив данных попало множество членов известных звездных скоплений (например, Гиад), хотя мы не ставили цель представить все члены какого-либо скопления.

Медианная точность вычисленных лучевых скоростей составила ± 1 км/с, при этом рассматриваются только звезды, лучевая скорость которых известна с точностью лучше ± 5 км/с.

Необходимо отметить, что для примерно 10 тысяч звезд из каталога CORAVEL–CfA приведенные в этом каталоге лучевые скорости либо являются единственным источником, либо столь точны по сравнению с остальными источниками, что для этих звезд мы ограничились в основном использованием данных каталога CORAVEL–CfA. При этом для 3400 общих звезд мы сравнили лучевые скорости и компоненты пространственной скорости U, V, W из CORAVEL–CfA со средневзвешенными скоростями из других источников: как и ожидалось, обнаружена сильная корреляция, указывающая на высокую точность вычисленных нами лучевых скоростей. Таким образом, массив рассматриваемых лучевых скоростей весьма однороден: лучевые скорости CORAVEL–CfA можно использовать вместе с остальными.

3. Собственные движения

Экваториальные координаты из каталога Hipparcos для рассматриваемых звезд имеют медианную точность около ± 0.001". Неопределенность, вносимая этой величиной в галактические прямоугольные координаты ничтожно мала: даже на расстоянии 1000 пк от Солнца величина ± 0.001" соответствует 1 а.е.. Собственные движения из каталога Hipparcos для рассматриваемых звезд имеют медианную точность ± 0.0007 и ± 0.0006"/год по прямому восхождению и склонению соответственно, и ± 0.0009"/год — для тангенциальной скорости. Учитывая, что медианная точность лучевых скоростей рассматриваемых звезд составляет ± 1 км/с, можно заключить, что в радиусе 200 пк от Солнца тангенциальная скорость звезды, определяемая по собственному движению, в среднем известна точнее, чем радиальная скорость, определяемая по лучевой скорости (12500 звезд), а для более далеких звезд — наоборот (7550 звезд). На расстоянии более 400 пк от Солнца заметную неопределенность в галактические прямоугольные координаты звезд вносит неточность знания параллакса, которая и в целом ограничивает исследование распределения и движения звезд. Естественно, подавляющее большинство рассматриваемых звезд расположено ближе 400 пк. Таким образом, точность координат и собственных движений из каталога Hipparcos для большинства рассматриваемых звезд вполне достаточна для выполняемого нами исследования.

Однако, собственные движения некоторых звезд неточны. В основном это касается известных и предполагаемых неодиночных звезд. Для уточнения их собственных движений нами использованы собственные движения из каталога Tycho2, каталога ARIHIP астрономического института в Гейдельберге, Карлсбергского меридианного каталога CMC12. Кроме того, собственные движения уточнялись с использованием координат звезд из каталогов, приведенных к единой координатной системе (ICRS), но имею-

щих существенно разные эпохи наблюдений, отличные от эпохи каталога Hipparcos (1991.25): каталог AC2000.2, меридианный каталог Бордо M2000 [26], каталог служб времени KCB2 [27], каталог CPC2, каталог TAC2 и другие. В результате для примерно 1500 звезд заметно точнее определены собственные движения по прямому восхождению и для примерно 800 звезд — по склонению. Тем не менее, медианная точность собственных движений практически не изменилась: ±0.0006"/год по обеим координатам, что соответствует точности ±0.0008"/год для тангенциальной скорости. При этом для всех звезд тангенциальная скорость известна с точностью лучше ±0.002"/год.

4. Состав и формат базы данных и каталога OSACA

База данных и каталог Orion Spiral Arm CAtalogue (OSACA) создан для исследования трехмерного распределения и движения звезд в окрестностях Солнечной системы, в основном в радиусе 500 пк, и для исследования связей между различными характеристиками этих звезд. Каталог не претендует на полноту выборки звезд по какому-либо параметру (расстояние, блеск и т. д.). Основными используемыми характеристиками рассматриваемых звезд являются 6 параметров, определяющих их положение и движение: α, δ, π, μ_α, μ_δ, V_r в системе ICRS на эпоху J2000, а также соответствующие координаты и скорости в галактической прямоугольной системе координат: X, Y, Z, U, V, W.

Кроме того, для всех звезд известны величины B и V. По возможности будут введены и другие фотометрические величины. Также приведен показатель цвета B-V, величина межзвездного покраснения E(B-V), вычисленная по трехмерной модели галактического межзвездного поглощения [28] и абсолютная звездная величина M_V, вычисленная по фотометрическим характеристикам и параллаксу из каталога Hipparcos. Сравнение величины межзвездного поглощения, вычисленной нами, с величиной из каталога CORAVEL–CfA, определенной по многополосной фотометрии Стремгрена, показало отсутствие систематических различий и незначительность поглощения: для большинства звезд менее 0.1^m.

Предполагается постоянное пополнение базы данных и каталога OSACA данными из новых публикаций и каталогов. Планируется определить и включить в будущие версии каталога эффективную температуру, металличность, возраст, массу и галактическую орбиту каждой звезды с использованием методов, упомянутых в [11]. Сейчас каталог имеет следующий состав: основная таблица, таблица ссылок на публикации лучевых скоростей по строке на звезду, таблица ссылок на публикации лучевых скоростей по строке на публикацию, таблица перекрестной идентификации звезд.

Формат основной таблицы:

Номер по каталогу Hipparcos	I6
Прямое восхождение в градусах с долями	F11.6
Склонение в градусах с долями	F11.6
Параллакс в миллисекундах дуги	F6.1
Точность параллакса в миллисекундах дуги	F6.1
Относительная точность параллакса	F6.2
Десятичный логарифм параллакса, данного в миллисекундах дуги	F6.2
Собственное движение по прямому восхождению в 0.001"/год	F9.1
Собственное движение по склонению в 0.001"/год	F9.1
Лучевая скорость в км/с	F7.1
Точность лучевой скорости в км/с	F4.1
Звездная величина V в системе Джонсона (из Hipparcos)	F6.2
Звездная величина B в системе Джонсона (из Hipparcos)	F6.2
Звездная величина I в системе Джонсона (из Hipparcos)	F6.2

Показатель цвета B-V в системе Джонсона (из Hipparcos)	F7.3
Показатель цвета V-I в системе Джонсона (из Hipparcos)	F6.2
Межзвездное поглощение Av	F5.2
Абсолютная звездная величина M_V	F6.1
Параметр двойственности (1-одиночная, 2-неодиночная звезда)	A1
Спектральный класс, включая класс светимости (из HIC)	A13
Галактическая долгота в градусах с долями	F11.6
Галактическая широта в градусах с долями	F11.6
Собственное движение по галактической долготе, 0.001"/год	F8.1
Собственное движение по галактической широте, 0.001"/год	F8.1
Полная пространственная скорость в км/с	F7.1
Компонент скорости U в галактической системе координат, км/с	F8.1
Компонент скорости V в галактической системе координат, км/с	F8.1
Компонент скорости W в галактической системе координат, км/с	F8.1
Координата X в галактической системе координат, пк	F8.1
Координата Y в галактической системе координат, пк	F8.1
Координата Z в галактической системе координат, пк	F8.1

5. Статистика рассматриваемых звезд

Распределение рассматриваемых звезд по расстоянию от Солнечной системы примерно одинаково для звезд CORAVEL–CfA и остальных. Максимум распределения звезд приходится на расстояние 140 пк, 75% звезд располагаются ближе 300 пк, 92% звезд — ближе 500 пк.

Распределение рассматриваемых звезд на диаграмме «абсолютная звездная величина — показатель цвета B-V» напоминает распределение всех звезд каталога Hipparcos: представлены все спектральные классы и классы светимости, хотя под влиянием каталога CORAVEL–CfA преобладают звезды классов F–K главной последовательности. Распределение по абсолютной звездной величине близко к нормальному с максимумом около 0.5^m, представлены M_V от -8^m до 13^m.

Распределение по звездной величине V довольно типично для выборки из каталога Hipparcos: почти полная выборка для звезд ярче 8^m и постепенное уменьшение числа звезд с ростом величины. Звезды каталога CORAVEL–CfA показывают то же распределение, что и остальные звезды.

Распределение рассматриваемых звезд в зависимости от радиальной (лучевой) и тангенциальной скорости близко к нормальному. Среди звезд с большой пространственной скоростью доля неодиночных звезд меньше, чем среди медленных звезд, что отражено в таблице:

пространственная скорость, км/с	число звезд	процент неодиночных звезд
0-50	15382	32%
50-100	3566	27%
100-150	635	24%
150-200	170	20%
200-250	91	12%
250-300	61	15%

Медианная пространственная скорость рассматриваемых звезд относительно Солнца составила 30.8 ±0.5 км/с для одиночных и 29.1 ±0.5 км/с для неодиночных звезд.

Рассматриваемые 20 тысяч звезд разделяются на три класса в зависимости от абсолютной звездной величины и пространственной скорости: звезды главной последовательности спектральных классов O–F, красные гиганты (далее обозначены RG) и звезды главной последовательности классов G–M. Нами установлены следующие фор-

мальные границы этих трех групп звезд: группа O–F это звезды с $B-V < 0.8^m$ и $M < 3.5^m$; группа G–M это звезды с $M > 3.5^m$; группа красных гигантов (RG) это звезды с $B-V > 0.8^m$ и $M < 3.5^m$.

Представленное здесь разделение звезд на 3 группы соответствует эффекту Паренаго [29], заключающемуся в том, что кинематические характеристики звезд главной последовательности существенно и скачкообразно меняются при переходе от ранних к поздним спектральным классам. Выполненное нами ранее исследование кинематики звезд с использованием только собственных движений как подтвердило существование эффекта Паренаго для звезд каталога Hipparcos, так и позволило предположить, что в значительной степени этот эффект вызван селекцией звезд, точнее отсутствием в выборке сравнительно далеких звезд поздних спектральных классов [30]. Новые результаты полностью подтверждают это.

Соответствующие средние скорости (в км/с), их стандартные отклонения, медианное расстояние и статистика одиночных (обозначены «1») и неодиночных (обозначены «2») звезд представлены в следующей таблице (r — медианное расстояние, пк).

класс	U	V	W	$\sigma(U)$	$\sigma(V)$	$\sigma(W)$	число звезд	r	процент двойных
все звезды:									
O–F 1	−8.9	−16.8	−7.3	39	47	24	6349	172	
O–F 2	−9.3	−13.6	−7.4	25	22	17	3272	130	34%
RG 1	−8.1	−21.4	−7.6	41	40	26	5377	222	
RG 2	−6.8	−19.2	−8.3	34	29	19	1685	159	24%
G–M 1	−12.2	−35.3	−8.2	56	55	29	2337	48	
G–M 2	−10.2	−29.9	−9.1	48	46	26	1036	36	31%
близкие звезды:									
O–F 1	−9.9	−12.8	−6.8	23	15	10	360	42	
O–F 2	−11.1	−12.9	−6.5	23	16	11	528	42	59%
RG 1	−12.5	−19.6	−9.1	32	27	19	72	42	
RG 2	−0.1	−20.6	−10.9	30	26	19	132	42	65%

На первый взгляд разброс скоростей неодиночных звезд оказывается заметно меньше, чем одиночных. Но, как и ожидалось, звезды G–M, в отличие от остальных, сосредоточены вблизи Солнечной системы, и, кроме того, для всех классов звезд неодиночные звезды в среднем ближе к нам, чем одиночные. В последних четырех строках таблицы представлены характеристики ближайших звезд O–F и RG, отобранных так, чтобы медианное расстояние выборки было таким же, как для звезд G–M (практически это соответствует ограничению 55 пк от Солнечной системы). Видно, что вблизи Солнечной системы неодиночных звезд больше, чем одиночных, а их кинематические характеристики практически одинаковы. Вся же первоначально обнаруженная разница в кинематике одиночных и неодиночных звезд объясняется только зависимостью кинематических характеристик от расстояния до Солнечной системы и преобладанием одиночных звезд на больших расстояниях. Кроме того, видно, что разброс скоростей звезд вблизи Солнечной системы заметно меньше, чем вдали. Пространство в радиусе примерно 100 пк от Солнечной системы отличается от более далеких областей: здесь сравнительно мало газа, пыли и абсолютно ярких звезд. Это так называемый Местный пузырь (Local bubble), обычно рассматриваемый как результат сравнительно недавнего взрыва сверхновой [31]. Видимо, кинематика звезд внутри Местного пузыря заметно отличается от ситуации за его пределами: например, Местный пузырь включает звездные скопления — Плеяды, Гиады, Большую медведицу и Волосы Вероники, так что здесь преобладают систематические движения звезд.

6. Распределение абсолютно ярких звезд в радиусе 500 пк

Кроме Местного пузыря выделяются и другие крупномасштабные структуры в радиусе 500 пк от Солнечной системы [32]. Именно исследования с использованием как собственных движений, так и лучевых скоростей позволяют оценить возраст и проследить эволюцию этих структур.

В качестве примера использования сформированной нами базы данных и каталога рассмотрим распределение и движение 700 абсолютно ярких звезд ($M_V < -2^m$) в радиусе 500 пк. Так как наш каталог почти полон до 8^m, он является почти полной выборкой абсолютно ярких звезд в пределах 500 пк. Это позволяет делать выводы о крупномасштабных галактических структурах местного спирального рукава, так как абсолютно яркие звезды являются их трассерами: как правило они входят в скопления и ассоциации на окраинах гигантских молекулярных облаков, будучи связаны с ними происхождением. Кроме того, учитывая связь между светимостью, массой и возрастом, можно предположить, что все эти звезды образовались не ранее 30 миллионов лет назад и сохраняют почти прямолинейное движение с момента рождения. Таким образом, наш материал позволяет рассмотреть распределение и проследить движение абсолютно ярких звезд от самого их рождения до нашего времени и на несколько миллионов лет в будущее вплоть до их гибели с указанием мест рождения и гибели.

На рисунке 1 показано распределение абсолютно ярких звезд в проекции на галактическую плоскость (XY) в прошлом, в наше время и в будущем. В наше время рассматриваемая область сравнительно бедна яркими звездами на расстоянии более 400 пк от Солнца в направлении на центр и антицентр Галактики (на левом и правом краях рисунка). Учитывая полноту выборки, можно заключить, что здесь абсолютно яркие звезды представляют отрезок местного спирального рукава Галактики, рукава Ориона, который проходит на рисунке сверху вниз. В наше время заметны две крупномасштабные структуры: Местный пузырь — кольцевая структура ярких звезд радиусом около 100 пк в центре рисунка и включающий его так называемый Большой туннель — две извилистых примерно параллельных друг другу протяженных структуры ярких звезд, проходящих на рисунке сверху вниз и влево. Повышенные концентрации ярких звезд на краях Большого туннеля включают в себя известные O-B ассоциации: Скорпиона-Кентавра, Ориона, Персея и другие. А области пониженной плотности ярких звезд вдоль Большого туннеля включают гигантские молекулярные и пылевые комплексы: туманность Гама, облако Тельца, Угольный мешок, облако Змееносца и другие.

Еще одна структура, пояс Гулда виден как наклоненный к галактической плоскости диск на рисунке 2, где показано распределение тех же звезд в проекции на плоскость XZ.

7. Потоки звезд и эволюция пояса Гулда

На рисунке 3 показано распределение рассматриваемых нами звезд классов O–F главной последовательности в зависимости от компонентов скорости U и V. Видны звездные скопления, а также два основных потока звезд в окрестностях Солнечной системы: поток Ориона с отрицательными значениями U, включающий все 7 звезд астеризма Ориона, и некий поток с положительными значениями U. На рисунках 1 и 2 звезды, с определенной долей уверенности относящиеся к потоку Ориона, отмечены крестиками, а к противопотоку — ромбами. Видно, что 15 миллионов лет назад звезды потоков обособлены друг от друга. Затем видно взаимодействие потоков и возникновение дугообразных структур из ярких звезд, возможно, отражающих распространение неких фронтов, возникающих при взрывах сверхновых или при распространении волн

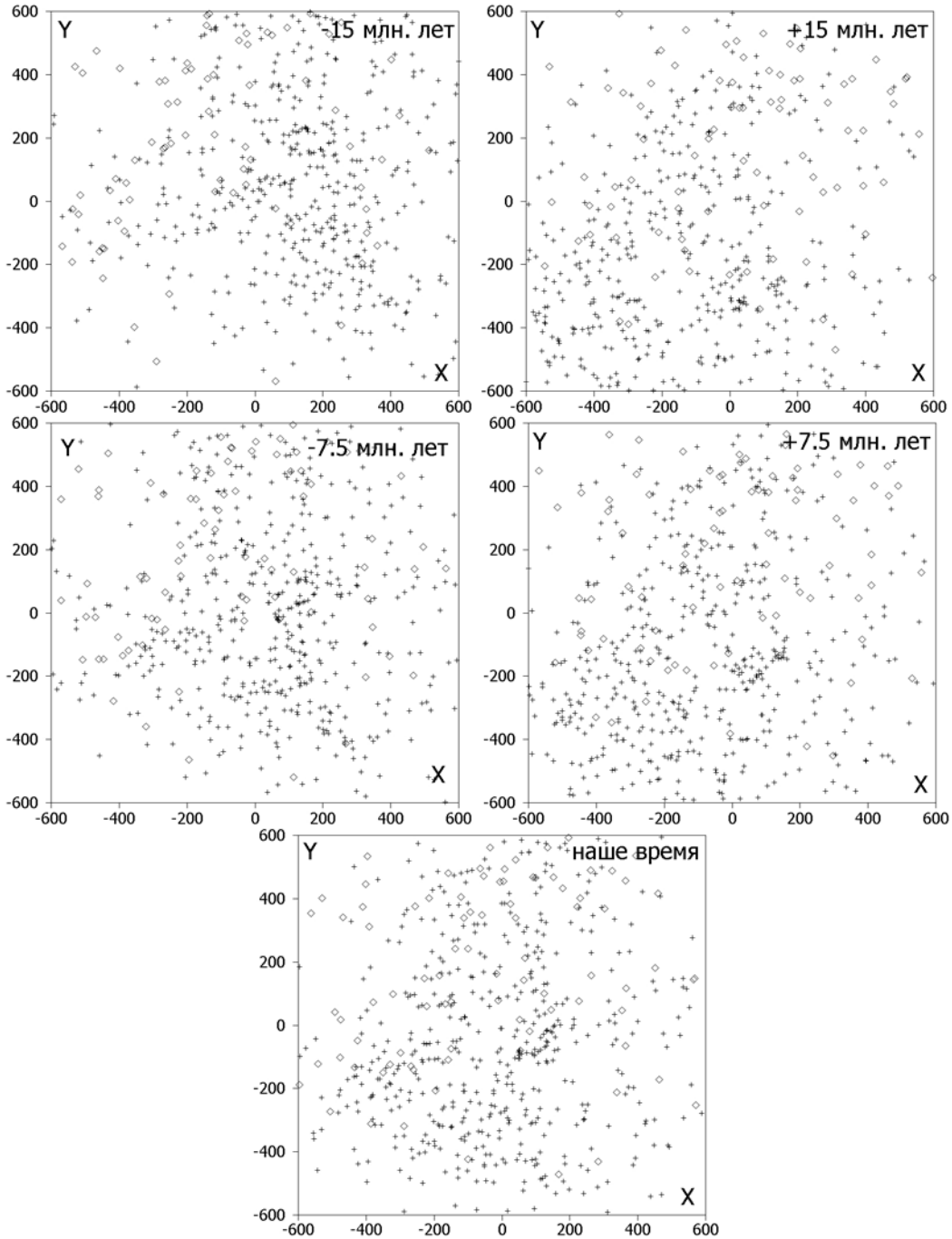


Рис. 1. Распределение абсолютно ярких звезд в проекции на галактическую плоскость для −15, −7.5, 0, +7.5 и +15 млн. лет. Расстояния даны в пк, Солнце — в центре. Звезды потока Ориона отмечены крестиками, противопотока — ромбами.

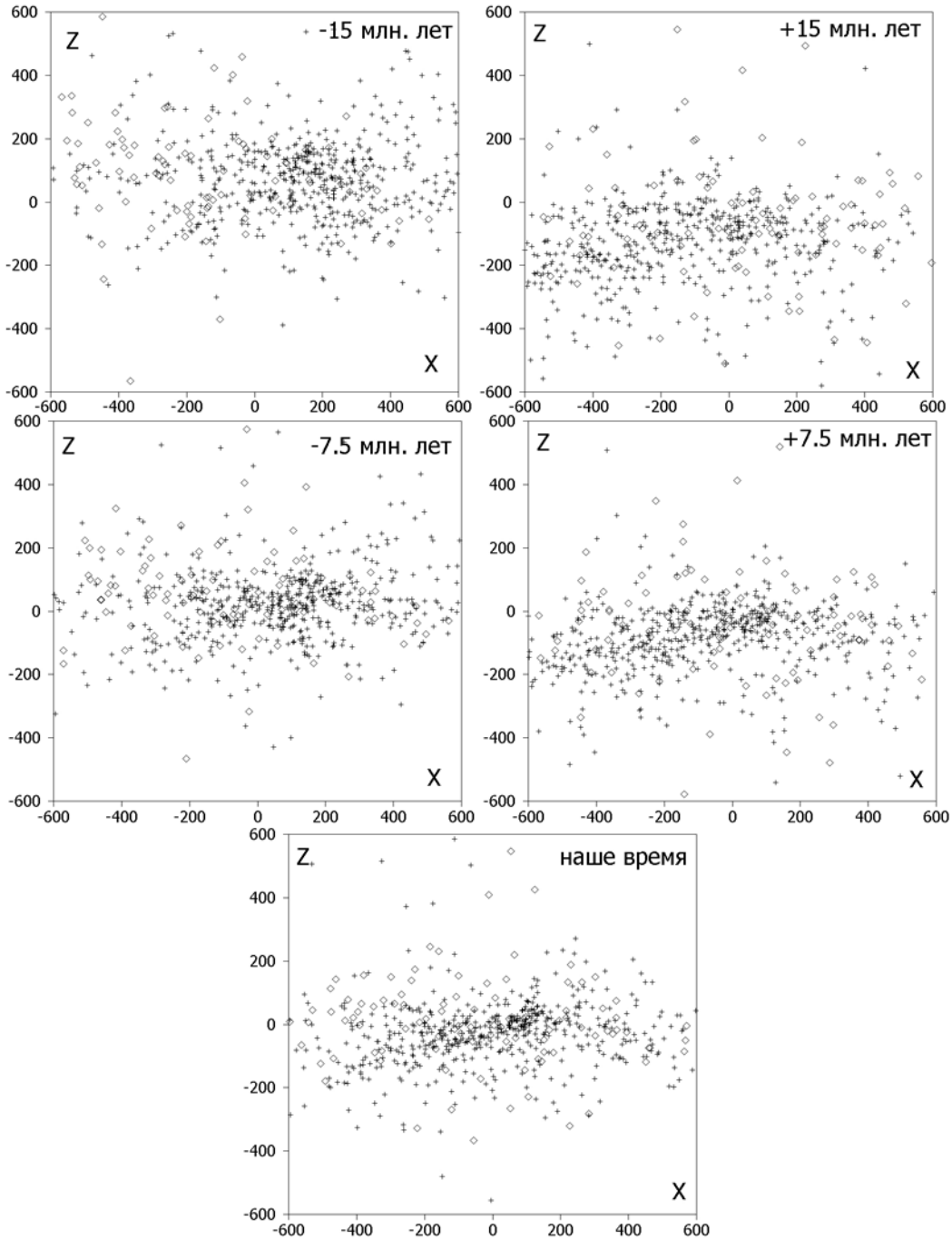


Рис. 2. Распределение абсолютно ярких звезд в проекции на плоскость XZ для -15, -7.5, 0, $+7.5$ и $+15$ млн. лет. Расстояния даны в пк, Солнце — в центре. Звезды потока Ориона отмечены крестиками, противопотока — ромбами.

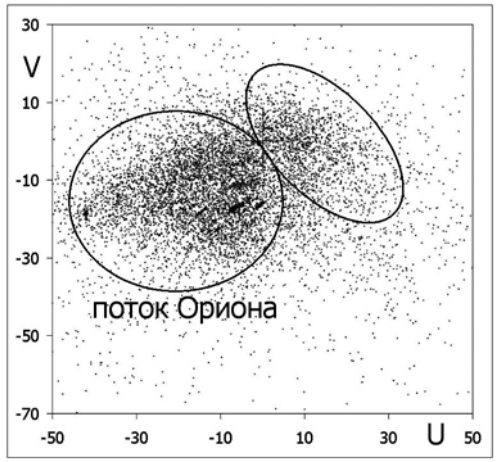


Рис. 3. Распределение звезд классов O–F главной последовательности в зависимости от компонентов скорости U и V. Выделяется поток Ориона и противоположный ему поток. Как сгущения видны Гиады, Плеяды и другие скопления. Скорости относительно Солнца даны в км/с.

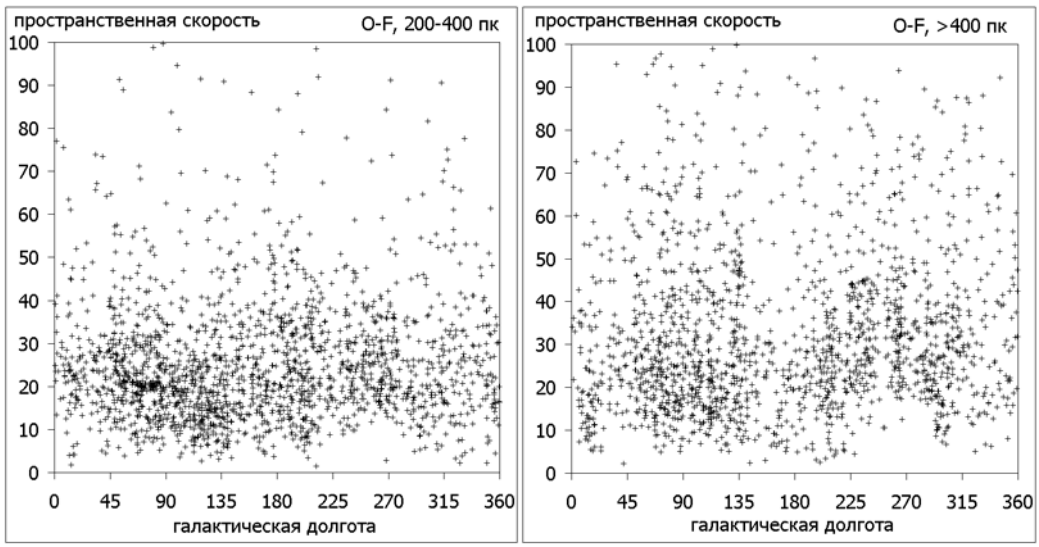


Рис. 4. Пространственная скорость в зависимости от галактической долготы для звезд O–F на расстоянии 200–400 пк (слева) и дальше 400 пк (справа).

плотности в галактическом диске (см. обсуждение результатов CORAVEL–CfA в работе [11]).

На рисунке 2 для моментов 15 и 7.5 миллионов лет назад именно в области пересечения потоков заметно уплощение структуры, превратившейся в наше время в пояс Гулда. Возможно, именно так, в течение последних 15 миллионов лет во взаимодействии двух звездных потоков и сформировался пояс Гулда как видимая звездная структура. Если нынешнее движение звезд сохранится, пояс Гулда, как структура, видимо, прекратит свое существование в ближайшие 15 миллионов лет. На рисунке 1 видно, что Местный пузырь и Большой туннель также возникли в области пересечения потоков в течение последних 15 миллионов лет.

8. Тест однородности скоростей звезд

Если звезды потока или скопления в окрестностях Солнечной системы имеют существенно разные галактические долготы, то какая-либо неоднородность скоростей этих звезд, возникающая при совместном использовании их собственных движений и лучевых скоростей, проявится в том, что пространственные скорости этой звездной группы будут систематически зависеть от галактической долготы. Причина этого в том, что на одной долготе в пространственной скорости будет преобладать тангенциальная составляющая, на другой — лучевая скорость.

На рисунках 1, 2 и 3 видно, что практически все звезды классов O–F ГП входят в то или иное скопление или поток и, таким образом, они подходят для теста однородности. На рисунке 4 представлена пространственная скорость в зависимости от галактической долготы для сравнительно близких и далеких звезд O–F ГП. Распределение красных гигантов на подобном рисунке довольно равномерно в то время, как распределение звезд O–F не однородно. Видно, что далекие звезды O–F формируют на рисунке вертикально ориентированные группы. Так выглядят на этом рисунке сравнительно далекие звездные скопления: различие индивидуальных параллаксов звезд одного скопления приводит к заметному различию в их пространственных скоростях из-за ошибочного пересчета собственных движений в линейную меру (в км/с). Этот эффект практически не проявляется для звезд на расстоянии меньше 400 пк: на рисунке для расстояний 200–400 пк видны несколько протяженных вдоль галактической долготы скоплений с одинаковыми пространственными скоростями звезд. Именно этот эффект ограничивает пространство, где возможно совместное использование собственных движений и лучевых скоростей: примерно в радиусе 400 пк от Солнца.

9. Выводы

Данное исследование показало возможность совместного использования собственных движений и лучевых скоростей звезд, собранных в базе данных и каталоге OSACA, для воссоздания трехмерного распределения и движения звезд в галактических окрестностях Солнечной системы, в пределах спирального рукава Ориона, на протяжении, по крайней мере, ± 15 миллионов лет. При этом видно, что основные крупномасштабные галактические структуры (Местный пузырь, Большой туннель и пояс Гулда) возникли не ранее 15 миллионов лет назад и просуществуют не дольше 15 миллионов лет в будущем. Видимо, возникновение и эволюция этих структур является результатом галактических процессов, индикаторами которых являются два взаимодействующих и в значительной мере противонаправленных потока молодых звезд.

Summary

Goncharov G. A., Vityazev V. V. Эволюция пояса Гулда.

Hipparcos coordinates, parallaxes and proper motions, CORAVEL–CfA radial velocities and the ones calculated by us are used for determination of the galactic coordinates X, Y, Z and velocities U, V, W for about 20000 stars within 500 pc from the Sun. In this way U, V, W are determined with median precision of ± 1 km/s. These parameters, together with photometry and duplicity ones, are collected into the continuously updated database and catalogue Orion Spiral Arm CAtalogue (OSACA) at http://www.astro.spbu.ru/ to study stellar kinematics. The usage of OSACA is shown by a sample of 700 absolutely bright stars ($M < -2^m$) forming the main local galactic structures: the Local bubble, Great tunnel and Gould belt. The motion of the stars within ± 15 My shows the birth, evolution and dissipation of these structures in an interaction of two main stellar streams.

Литература

1. *de Zeeuw P. T., Hoogerwerf R., de Bruijne J. H. J., et al.* Gould belt // Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics, Nature publishing group, http://www.ency-astro.com/, 2001.

2. *Poppel W.* The Gould Belt system and the local interstellar medium // Fundam. Cosm. Phys., 1997, 18, 1.

3. *Бобылев В. В.* Кинематика звезд пояса Гульда, часть I: кинематические модели // Известия ГАО РАН, 2002, 216, 9.

4. *Бобылев В. В.* Кинематика звезд пояса Гульда, часть II: Практические результаты // Известия ГАО РАН, 2002, 216, 22.

5. *Бобылев В. В.* Определение кривой вращения звезд пояса Гульда на основе формул Боттлингера // Письма в АЖ, 2004, 30, N3, 185.

6. *Бобылев В. В.* Кинематические особенности звезд пояса Гульда // Письма в АЖ, 2004, 30, N11, 861.

7. *Bobylev V. V.* Negative K-effect in motion of the Gould Belt stars // Astron. society of the Pacific Conf. Series, Order and chaos in stellar and planetary systems, 2004, 316, 224.

8. *Гончаров Г. А.* Трехмерная структура местного рукава Галактики // Известия ГАО РАН, 2002, 216, 84.

9. *Gontcharov G. A.* Distribution and motion of bright stars within 500 pc // Astron. society of the Pacific Conf. Series, Order and chaos in stellar and planetary systems, 2004, 316, 221.

10. *Duflot M., Figon P. and Meysonnier N.* Radial velocities. The Wilson Evans Batten catalogue WEB (Wilson Evans Batten) Catalogue // Astron. Astrophys. Suppl., 1995, 114, 269.

11. *Nordstrom B., Mayor M., Andersen J., et al.* The Geneva-Copenhagen survey of the Solar neighbourhood. Ages, metallicities, and kinematic properties of 14000 F and G dwarfs // Astron. Astrophys., 2004, 418, 989.

12. *Barbier-Brossat M., Figon P.* General catalog of averaged stellar radial velocities for galactic stars // Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 2000, 142, 217.

13. *Malaroda S., Levato H., Galliani S.* Bibliographic catalogue of stellar radial velocities: (1991–2003), Complejo Astronymico El Leoncito, 2004.

14. *Bersier D., Burki G., Mayor M., et. al.* Fundamental parameters of Cepheids: II. Radial velocity data // Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 1994, 108, 25.

15. *Fehrenbach C., Duflot M., Mannone C., et al.* Radial velocities. VIII. Ground based measurements for HIPPARCOS // Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 1997, 124, 255.

16. *Fernley J., Barnes T. G.* Radial velocities and iron abundances of field RR Lyraes. I // Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 1997, 125, 313.

17. *Flynn C., Freeman K. C.* A catalogue of K giants at the South Galactic Pole: broadband and DDO photometry and radial velocities // Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 1993, 97, 835.

18. *Grenier S., Baylac M. O., Rolland L., et al.* Radial velocities. IX. Measurements of 2800 B2-F5 stars for Hipparcos // Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 1999, 137, 451.

19. *Imbert M.* Determination of the radii of Cepheids. V. Radial velocities and dimensions of 22 galactic Cepheids // Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 1999, 140, 79.

20. *Madsen S., Dravins D., Lindegren L.* Astrometric Radial Velocities. III. Hipparcos Measurements of nearby star clusters and associations // Astron. Astrophys., 2002, 381, 446.

21. *de Medeiros J. R., Mayor M.* A catalog of rotational and radial velocities for evolved stars // Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 1999, 139, 433.

22. *de Medeiros J. R., Udry S., Burki G., Mayor M.* A catalog of rotational and radial velocities for evolved stars. II. Ib supergiant stars // Astron. Astrophys., 2002, 395, 97.

23. *Rucinski S. M., Capobianco C. C., Lu W., et al.* Radial velocity studies of close binary stars. VIII // Astron. Journal, 2003, 125, 3258–3264.

24. *Solano E., Garrid R., Fernley J., et al.* Radial velocities and iron abundances of field RR Lyraes. II // Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 1997, 125, 321.

25. *Storm J., Carney B. W., Gieren W. P., et al.* The effect of metallicity on the Cepheid Period-Luminosity relation from a Baade-Wesselink analysis of Cepheids in the Galaxy and in the Small Magellanic Cloud // Astron. Astrophys., 2004, 415, 531.

26. *Rapaport M., Le Campion J.-F., Soubiran C., et al.* M2000: an astrometric catalog in the Bordeaux Carte du Ciel zone +11 degrees < *delta* < +18 degrees // Astron, Astrophys., 2001, 376, 325.

27. *Горшков В. Л., Щербакова Н. В.* О каталоге служб времени 2 // Известия ГАО РАН, 1998, 213, 25.

28. *Arenou F., Grenon M., Gomez A.* A tridimensional model of the galactic interstellar extinction // Astron. Astrophys., 1992, 258, 104.

29. *Паренаго П. П.* Исследование пространственных скоростей звезд // Астрон. журнал, 1950, 27, 3, 150.

30. *Дробитько Е. В., Витязев В. В.* Кинематический анализ близких и далеких звезд каталога HIPPARCOS // Астрофизика, 2003, 46, вып. 2, 279.

31. *Sfeir D. M., Lallement R., Crifo F., Welsh B. Y.* Mapping the contours of the Local bubble: preliminary results // Astron. Astrophys., 1999, 346, 785.

32. *Olano C. A.* The origin of the local system of gas and stars // Astron. Journal, 2001, 121, 295.

Статья поступила в редакцию 17 февраля 2005 г.