

УДК 524.62-32

С. П. Рыбка

Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины
03680, Киев ГСП, ул. Академика Заболотного 27

Кинематика карликов в окрестности Солнца по данным каталога «Tycho-2»

На основе трехмерной модели вращения Галактики исследовано локальное поле скоростей 70000 карликов с известной спектральной классификацией в системе МК. Для этого использованы астрометрические и фотометрические данные каталога «Tycho-2». Приводятся результаты определения кинематических параметров и составляющих движения Солнца относительно семи групп карликов с различными спектрами. Показано, что галактическое вращение карликов можно описать в рамках плоской обобщенной модели Оорта — Линдблада с параметрами B , A' , K и φ . Эффекты, выраженные двумя последними параметрами, обнаруживаются у звезд ранних спектральных классов. Определены также форма и ориентировка эллипсоида пекулярных скоростей карликов разных типов.

КИНЕМАТИКА КАРЛИКІВ В ОКОЛИЦЯХ СОНЦЯ ЗА ДАНИМИ КАТАЛОГУ «TYCHO-2», Рыбка С. П. — На основі тривимірної моделі обертання Галактики досліджено місцеве поле швидкостей 70000 карликів, для яких відома спектральна класифікація у системі МК. Для цього використані астрометричні та фотометричні дані каталогу «Tycho-2». Наводяться результати визначення кінематичних параметрів і складових руху Сонця відносно семи груп карликів з різними спектрами. Показано, що галактичне обертання карликів відповідає плоскій загальній моделі Оорта — Линдблада з параметрами B , A' , K та φ . Ефекти, виражені двома останніми параметрами, помітні для зірок ранніх спектральних класів. Визначено також форму та орієнтацію еліпсоїда пекулярних швидкостей карликів різних типів.

LOCAL KINEMATICS OF DWARFS FROM THE «TYCHO-2» DATA, by Rybka S. P. — The stellar velocity field of about 70000 dwarfs within 2 kps from the Sun is investigated from the «Tycho-2» data and known MK spectral classification. The Ogorodnikov—Milne model of a three-dimensional differential velocity field is used. The generalized Oort constants and components of the solar motion with respect to various spectral groups are determined. It is shown that the Oort-Lindblad model with parameters B , A' , K , φ is

sufficient to describe the galactic global rotation of dwarfs. The effects associated with K and φ parameters are detected for early type stars. The shape and orientation of the velocity ellipsoid are determined as a function of stellar spectral class.

1. ВВЕДЕНИЕ

Наблюдательные данные о звездах-карликах в окрестности Солнца традиционно использовались для исследования галактической кинематики. В результате были установлены важнейшие закономерности в движении этих звезд и обнаружена связь между кинематикой и эволюционными характеристиками. Как известно, дисперсия скоростей и средняя скорость в направлении галактического вращения являются индикатором возраста звезд [1]. А этот факт вытекает, прежде всего, из зависимости перечисленных параметров от спектрального класса звезд главной последовательности. Важное значение для выяснения динамического состояния диска Галактики имеет также определение эллипсоида пекулярных скоростей карликов.

После создания каталога HIPPARCOS и других каталогов его семейства открылись совершенно новые перспективы в изучении кинематики звезд. Впервые астрономическому сообществу стали доступными высокоточные собственные движения нескольких миллионов звезд, полученные в системе ICRS, которая обладает ничтожно малым остаточным вращением. Новые наблюдательные данные послужили основой для проведения исследований с целью пересмотра и уточнения полученных ранее результатов в области звездной астрономии и астрофизики. В частности, активизировались работы по определению параметров вращения Галактики в рамках полной трехмерной модели Огородникова—Милна [2]. Так, Мигнард [9] получил оценки параметров этой модели по собственным движениям примерно 20 000 одиночных звезд каталога HIPPARCOS с известными спектрами. В настоящей работе такой же анализ около 70000 звезд главной последовательности проводился на основании данных «Tycho-2» [7]. Таким образом, по сравнению с предыдущей работой объем изучаемого материала увеличился более чем в три раза.

2. НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Исследование кинематики выполнялось по тангенциальным скоростям карликов типов В0–М5, вычисленных на основе собственных движений «Tycho-2» и расстояний, найденных спектральным методом. С этой целью из каталога «Tycho-2» были выбраны положения, собственные движения и двцветная фотометрия одиночных звезд, которые идентифицированы в каталогах двумерной спектральной классификации как карлики. Собственные движения «Tycho-2» получены с точностью до $0.002''/\text{год}$ в новой системе ICRS, остаточная скорость вращения которой относительно инерциальной системы координат составляет $0.00025''/\text{год}$. Эти свойства каталога и то, что он является самым массовым в семействе каталогов HIPPARCOS — главные причины его выбора для решения поставленной задачи. Кроме того, «Tycho-2» содержит однородные и точные звездные величины в полосах B_T , V_T , что необходимо для вычисления расстояний до звезд. Средняя квадратичная ошибка фотометрии составляет 0.07^m и 0.05^m для полос B_T и V_T соответственно.

Источниками МК-классификации послужили пять томов Мичиганского спектрального обозрения звезд HD со склонениями южнее $+5^\circ$ и сводный каталог [3].

Спектральные расстояния r всех исследуемых звезд были определены из соотношения

$$\lg r = 0.2[(V - M_v) - A_v] + 1,$$

где V — видимая величина в системе Джонсона, M_v — абсолютная величина, а A_v — ослабление блеска звезд вследствие поглощения света межзвездным веществом. Поглощение света находилось по избытку цвета:

$$A_v = 3[(B - V) - (B - V)_0].$$

Здесь $(B - V)_0$ — нормальный показатель цвета, а отношение полного поглощения света к селективному принималось равным 3.0. Величины B_T и V_T преобразовывались в величины V и $B - V$ системы Джонсона с учетом спектрального класса звезд при помощи точных формул [11]. Нормальные показатели цвета находились по таблицам Ландольта [10], а абсолютные величины — из новой калибровки, основанной на параллаксах каталога HIPPARCOS [4.8] для звезд главной последовательности. Точность этой калибровки составляет 0.3—0.5^m и приводит к относительной погрешности расстояний в среднем около 10 %.

В результате был составлен каталог примерно 80 000 звезд главной последовательности, для которых имеются визуальные величины, показатели цвета $B - V$, спектральная классификация от B0 до M5, галактические долгота и широта, собственные движения и расстояния. Большинство звезд расположено в пределах 3 кпк от Солнца. Среднее расстояние до B-карликов равно 530 пк и резко уменьшается в сторону поздних спектральных классов — до нескольких десятков парсек для M-звезд.

Анализ распределения звезд полученного каталога по блеску (в интервалах 0.25^m) показал, что он полон на 99 % до $V = 9.75^m$ и на 90 % — до $V = 10.25^m$, а предельная V -величина составляет 12.8^m.

Чтобы детально исследовать кинематику, совокупность карликов была разделена на семь групп по спектральным классам, как это указано в первой графе табл. 1. Для обеспечения однородности и полноты выборок применялись следующие ограничения. Не рассматривались двойные и кратные звезды, так как точность их астрометрических данных в среднем хуже, чем одиночных звезд. Кроме того, выборка кратных систем согласно спектральным классам становится достаточно неопределенной. Исключались далекие звезды ($r > 2$ кпк), поскольку использовалась линейная относительно расстояний модель поля скоростей. В обработку не вошли звезды с величинами $V > 10.25^m$, что соответствует 90 % уровню полноты каталога. Не исследовались также звезды со скоростями более 65 км/с, как это

Таблица 1. Кинематические параметры и их средние квадратичные ошибки ε , найденные для групп карликов разных спектральных классов

Спектральный класс	Количество звезд	$V \pm \varepsilon$, км · с ⁻¹ · кпк ⁻¹	$A' \pm \varepsilon$, км · с ⁻¹ · кпк ⁻¹	$K \pm \varepsilon$, км · с ⁻¹ · кпк ⁻¹	$\varphi \pm \varepsilon$, град
B0—B9	9087	-13.3 ± 0.2	14.5 ± 0.3	-6.8 ± 1.3	-0.2* ± 0.5
A0—A2	10399	-14.2 ± 0.4	14.8 ± 0.5	-9.8 ± 1.4	9.0 ± 1.0
A2—A9	9742	-14.5 ± 0.6	16.0 ± 0.8	-8.0 ± 1.8	14.5 ± 1.3
F0—F4	13008	-11.3 ± 1.1	15.5 ± 1.3	-0.8* ± 2.3	7.6 ± 2.5
F5—F9	13671	-13.7 ± 1.8	13.5 ± 2.2	-3.9* ± 3.6	4.9* ± 4.5
G0—G9	11410	-16.3 ± 2.9	9.7 ± 3.6	1.4* ± 5.6	11.2* ± 9.8
G3—M5	9623	-20.0 ± 3.4	12.1 ± 4.1	12.5* ± 6.8	49.2* ± 18.9

Примечание: звездочкой отмечены незначимые параметры, относительные ошибки определения которых превышают 40 %.

принято во многих подобных работах. Известно, что среди звезд одного спектрального класса высокоскоростные выделяются большей дисперсией скоростей и меньшей скоростью вращения вокруг центра Галактики. Используя перечисленные ограничения, для обработки было оставлено около 70 000 звезд, а их число в каждой из семи образованных групп приведено во второй графе табл. 1.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ ДВИЖЕНИЯ СОЛНЦА И КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

В трехмерной модели вращения Галактики Огородникова — Милна [2] систематическая составляющая скорости звезд в пределах нескольких килопарсек от Солнца представляется в виде суммы скорости поступательного движения, скорости твердотельного вращательного движения и скорости деформации. В прямоугольной галактической системе координат матрица вращения содержит три независимых элемента W_{21} , W_{13} , W_{32} , матрица деформации — шесть (M_{12} , M_{13} , M_{23} , M_{11} , M_{22} , M_{33}), а поступательное движение является отражением пекулярной скорости Солнца с тремя компонентами u_0 , v_0 , w_0 . Первая ось этой системы координат направлена к центру Галактики, вторая — в сторону галактического вращения, а третья — к северному полюсу Галактики. Анализ собственных движений позволяет найти лишь две комбинации трех диагональных элементов матрицы деформации, описывающих пространственное расширение или сжатие. В этом случае используемые уравнения содержат 11 неизвестных вместо 12:

$$kr \mu_1 \cos b = u_0 \sin l - v_0 \cos l + r \cos b (B + A \cos 2l - C \sin 2l) + r \sin b [(N - S) \cos l - (R + D) \sin l], \quad (1)$$

$$kr \mu_b = u_0 \cos l \sin b + v_0 \sin l \sin b - w_0 \cos b - 0.5 r \sin 2b (A \sin 2l + C \cos 2l + K - H) + r \cos 2b (R \cos l + N \sin l) + r (S \sin l - D \cos l), \quad (2)$$

где $\mu_1 \cos b$ и μ_b — составляющие собственных движений по галактической долготе l и широте b ; $A = M_{12}$ и $B = W_{21}$ — постоянные Оорта, $C = 0.5(M_{11} - M_{22})$, $K - H = 0.5(M_{11} + M_{22}) - M_{33}$, $R = M_{13}$, $N = M_{23}$, $D = W_{13}$, $S = W_{32}$ — остальные кинематические параметры; r — расстояние до звезд, а $k = 4.74$ — является переходным множителем и соответствует измерению собственных движений в секундах дуги в год, скоростей — в км/с, расстояний — в парсеках. Отметим, что комбинируя пары A и C , R и N , D и S , можно вычислить другие параметры, имеющие более прямую физическую интерпретацию в виде амплитуд и фаз. Например, на основании A и C находятся новые параметры A' и φ при помощи соотношений $A = A' \cos 2\varphi$ и $C = -A' \sin 2\varphi$, где φ — угол между направлениями на кинематический и галактический центры, а A' — обобщенная постоянная Оорта.

Используя остаточные отклонения σ_l и σ_b условных уравнений соответственно (1) и (2) можно получить оценки четырех составляющих тензора дисперсий пекулярных скоростей звезд σ_u^2 , σ_v^2 , σ_w^2 , σ_{uv}^2 [2]:

$$\sigma_l^2 = \sigma_u^2 \sin^2 l + \sigma_v^2 \cos^2 l - \sigma_{uv}^2 \sin 2l, \quad (3)$$

$$\sigma_b^2 = \sigma_u^2 \cos^2 l \sin^2 b + \sigma_v^2 \sin^2 l \sin^2 b + \sigma_w^2 \cos^2 b + \sigma_{uv}^2 \sin 2l \sin^2 b, \quad (4)$$

$$\sigma_l \sigma_b = 0.5 (\sigma_u^2 - \sigma_v^2) \sin 2l \sin b - \sigma_{uv}^2 \cos 2l \sin b. \quad (5)$$

Обычно такие уравнения содержат, кроме перечисленных неизвестных, еще σ_{uw}^2 и σ_{vw}^2 . Однако предварительные результаты решения полных уравнений показали, что значения последних получаются незначительными.

Значения кинематических параметров и составляющих пекулярной скорости Солнца были найдены методом наименьших квадратов из совместного решения уравнений (1) и (2). Далее из уравнений (3)—(5) аналогичным способом были определены величины σ_u^2 , σ_v^2 , σ_w^2 и σ_{uvw}^2 . Условные уравнения составлялись отдельно для каждой из семи образованных групп звезд. Результаты представлены в табл. 1 и 2.

В первую таблицу помещены оценки тех кинематических параметров, которые при 5 % уровне значимости получились значимыми хотя бы для одной группы звезд. Таковыми оказались B , K , A' и φ , причем значения двух последних параметров были вычислены по найденным A и C , что указано выше. Это означает, что в движении исследуемых карликов не обнаружено эффектов, соответствующих остальным параметрам R , N , D и S . Следовательно, для описания их вращения достаточно плоской обобщенной модели с параметрами B , A' , K и φ . Постоянные Оорта B и A' являются значимыми для всех групп и определяются лучше всего по скоростям карликов спектральных классов В0—F4. Действительно, из-за высокой светимости они видны на достаточно далеких расстояниях от Солнца, чтобы надежно проявился эффект дифференциального вращения Галактики. Поэтому оценки постоянных Оорта $B = -13.3 \pm 0.7$ и $A' = 15.2 \pm 0.4$ км·с⁻¹кпк⁻¹, вычисленные как средние по данным для карликов ранних типов В0—F4, можно считать наиболее достоверными из представленных в настоящей работе. Круговая скорость вращения Галактики V_0 на расстоянии Солнца до ее центра $R_0 = 8.5$ кпк, найденная по этим оценкам, составляет 242 ± 7 км/с. Значения перечисленных постоянных сходятся в пределах ошибок определения с полученными недавно Фистом и Вайтлоком [6] по собственным движениям цефеид из каталога HIPPARCOS:

$$B = -12.37 \pm 0.64, \quad A = 14.82 \pm 0.84 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \text{кпк}^{-1} \text{ и } V_0 = 231 \pm 9 \text{ км/с.}$$

Как показано в табл. 1, для звезд ранних спектральных классов помимо B и A' оказались значимыми также параметры K и φ . Физический смысл параметра K согласно Огородникову [2] состоит в том, что он выражает гидродинамическое расхождение векторного поля скоростей, т. е. расширение или сжатие в зависимости от его знака. Следовательно, можно полагать, что совокупность В—А-карликов находится в состоянии сжатия, средняя скорость которого на расстоянии 1 кпк составляет 8.2 ± 0.9 км/с, а в движении карликов более поздних типов такая аномалия не наблюдается. Как свидетельствуют многие кинематические исследования, K -член с обратным знаком замечен лишь у молодых О—В-звезд в окрестности Солнца (до 500 пк), которые входят в состав Местной галактической системы. Однако в последние годы Торра и др. [12] получили и отрицательные величины параметра K для звезд ранних классов, расположенных вне этой системы. А именно, в зависимости от расстояния и возраста таких звезд приводятся значения $K = -4 \dots -9.7$ с ошибками $2 \dots 4$ км·с⁻¹кпк⁻¹. Они подтверждают найденные в данной работе при условии, что примесь звезд Местной системы среди изучаемых карликов ранних типов незначительна. Но окончательный вывод о характере движения последних можно будет сделать только после дальнейшего исследования.

Физическая интерпретация параметра φ связана с ориентацией галактоцентрической оси прямоугольной галактической системы координат. В общем случае плоско-параллельного движения направление на центр ло-

Таблица 2. Составляющие пекулярной скорости Солнца u_0 , v_0 , w_0 , галактические координаты апекса L_0 , D_0 и средние квадратичные значения σ_c остаточных скоростей карликов различных спектральных классов

Спектральный класс	$u_0 \pm \varepsilon$, км/с	$v_0 \pm \varepsilon$, км/с	$w_0 \pm \varepsilon$, км/с	σ_c , км/с	$L_0 \pm \varepsilon$, град	$D_0 \pm \varepsilon$, град
B0—B9	9.8 ± 0.2	11.5 ± 0.2	6.3 ± 0.1	± 9.5	49.7 ± 0.7	22.6 ± 0.5
A0—A2	10.1 ± 0.2	12.1 ± 0.2	6.8 ± 0.2	± 11.7	50.0 ± 0.8	23.3 ± 0.6
A2—A9	10.2 ± 0.2	10.1 ± 0.2	6.9 ± 0.2	± 13.2	45.3 ± 0.9	25.5 ± 0.7
F0—F4	8.6 ± 0.3	10.4 ± 0.3	6.2 ± 0.2	± 15.5	50.3 ± 1.1	24.6 ± 1.0
F5—F9	7.6 ± 0.3	14.0 ± 0.3	6.4 ± 0.3	± 20.0	61.6 ± 1.1	22.0 ± 1.0
G0—G9	5.6 ± 0.3	15.3 ± 0.3	5.8 ± 0.3	± 20.3	70.0 ± 1.1	20.1 ± 0.8
G3—M5	5.4 ± 0.4	15.3 ± 0.4	5.7 ± 0.4	± 19.7	70.7 ± 1.2	18.0 ± 1.2

кального вращения может не совпадать с общепринятым направлением на центр Галактики, т. е. на центр видимого распределения звезд и других галактических объектов. Другими словами, при несоответствии этих направлений происходит смещение фазы, выраженное углом φ . Как видно из табл. 1, для звезд спектральных классов A0—F4 величина этого угла является значимой и составляет в среднем $10.4 \pm 2.1^\circ$. В движении карликов более поздних типов таких особенностей не обнаружено, возможно, из-за больших ошибок определения угла φ . Так, в работе [9] получено смещение фазы около 6° для звезд в интервале A0—M5 без разделения на классы светимости.

В табл. 2 приведены величины трех составляющих пекулярной скорости Солнца u_0 , v_0 , w_0 и вычисленных на их основе галактических координат апекса L_0 , D_0 . Первые были определены по тангенциальным скоростям карликов разных типов из совместного решения уравнений (1) и (2). В пятой графе этой таблицы даны также средние квадратичные значения σ_c остаточных скоростей. При этом $\sigma_c^2 = (\sigma_u^2 + \sigma_v^2 + \sigma_w^2)/3$, а оценки главных дисперсий скоростей σ_u^2 , σ_v^2 и σ_w^2 в свою очередь были найдены из решения уравнений (3)—(5). Как и следовало ожидать, имеются существенные расхождения между приведенными данными, что свидетельствует о различии кинематических свойств изучаемых групп звезд. Так, величины σ_c систематически увеличиваются от ранних к поздним типам. Однако начиная примерно с F5 ($B - V \approx 0.6^m$) и далее до M5 это увеличение прекращается, т. е. отчетливо проявляется так называемый скачок Паренаго. Возникновение этого явления объясняют тем фактом, что дисперсия скоростей постоянно увеличивается с возрастом звезд. Поскольку средний возраст уменьшается от точки $B - V \approx 0.6^m$ к верхней части главной последовательности и не зависит от цвета звезд — в противоположную сторону, то соответственно изменяется и дисперсия скоростей. Величины составляющей v_0 также демонстрируют скачок Паренаго. Кроме того, старые карлики типов F5—M5 движутся быстрее относительно Солнца ($v_0 \approx 15...14$ км/с), чем молодые типов B0—F4 ($v_0 \approx 12...10$ км/с). Сопоставление этих данных и σ_c в общем подтверждает давно обнаруженную закономерность. Она заключается в том, что звезды с большей дисперсией скоростей вращаются медленнее вокруг центра Галактики, а Солнце быстрее движется по отношению к ним. Исключение составляют карлики наиболее ранних типов B0—A2, для которых наблюдается обратная зависимость между v_0 и σ_c . Это согласуется с результатами Дехнена и Бинни [5], полученными по данным каталога HIPPARCOS при исследовании

кинематики звезд главной последовательности в ближайших окрестностях Солнца.

Вид зависимости между u_0 и спектральными классами карликов отличается от рассмотренной выше для составляющей v_0 . Найденное по скоростям В—А-звезд значение первой составляющей в среднем равно 10 км/с и уменьшается до 8.6...5.4 км/с в сторону поздних типов (см. табл. 2). Отметим, что по разным оценкам величина u_0 варьирует в пределах 8—11 км/с и слабо зависит от спектрального класса.

Как видно из табл. 2, различия данных о составляющей w_0 являются наименьшими по сравнению с различиями u_0 и v_0 . Ввиду этого средневзвешенное значение $w_0 = 6.5 \pm 0.3$ км/с характерно для всей совокупности изучаемых карликов. Оно близко к значению 7.1 ± 0.2 км/с, найденному в работе [9], где также подчеркивается стабильность составляющей, перпендикулярной к плоскости Галактики.

Координаты апекса движения Солнца L_0 и D_0 (см. табл. 2) согласуются с выводами классических исследований. А именно, с увеличением дисперсии скоростей положение апекса смещается в сторону галактического вращения ($l = 90^\circ$).

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЛИПСОИДА СКОРОСТЕЙ

Параметры эллипсоидального распределения пекулярных скоростей карликов различных спектральных классов вычислялись по значениям σ_u^2 , σ_v^2 , σ_w^2 и σ_{uv}^2 , найденным из решения уравнений (3)—(5). Для этого использовалась методика, подробно описанная в [2].

В табл. 3 приведены полученные значения полуосей σ_1 , σ_2 , σ_3 эллипсоида скоростей и направления вертекса l_1 , а также указаны отношения σ_2/σ_1 и σ_3/σ_1 . Как видно, для карликов поздних типов, начиная приблизительно с F5, градиенты всех составляющих σ уменьшаются почти до нуля, что уже отмечалось в п. 3. Таким образом, снова подтверждается факт, что около $B - V \approx 0.6^m$ зависимость между цветом и дисперсией скоростей карликов достигает максимума, а при $B - V > 0.6^m$ она практически исчезает. Отношения полуосей эллипсоида σ_2/σ_1 и σ_3/σ_1 меньше зависят от спектрального класса карликов, а значит и от их возраста. Но все же, если исключить наиболее ранние типы В0—А2, форма эллипсоида с увеличением возраста приближается к сферической. Так, отношение $\sigma_1 : \sigma_2 : \sigma_3$ изменяется от 1 : 0.60 : 0.44 до 1 : 0.71 : 0.58, что соответствует выводам работы [5]. Направление наибольшей оси l_1 (см. табл. 3) не совпадает с направлением на центр Галактики для всех изучаемых карликов. При этом величина

Таблица 3. Значения полуосей σ_1 , σ_2 , σ_3 эллипсоида скоростей и галактическая долгота l_1 направления вертекса различных по спектрам групп карликов

Спектральный класс	$\sigma_1 \pm \varepsilon$, км/с	$\sigma_2 \pm \varepsilon$, км/с	$\sigma_3 \pm \varepsilon$, км/с	σ_2/σ_1	σ_3/σ_1	$l_1 \pm \varepsilon$, град
В0—В9	11.3±0.1	9.5±0.1	7.5±0.1	0.85	0.66	38.0±9.8
А0—А2	15.2±0.1	10.7±0.2	7.9±0.1	0.70	0.52	25.2±1.9
А2—А9	18.4±0.1	11.1±0.2	8.0±0.2	0.60	0.44	24.8±1.2
F0—F4	21.1±0.1	13.7±0.2	9.4±0.2	0.65	0.44	18.9±1.0
F5—F9	26.7±0.1	17.6±0.2	13.4±0.3	0.66	0.50	10.5±0.8
G0—G9	26.2±0.2	18.1±0.3	15.1±0.3	0.69	0.58	10.3±1.0
G3—M5	25.2±0.4	18.0±0.2	14.5±0.3	0.71	0.58	12.5±1.4

отклонения вертекса уменьшается в сторону поздних типов и стабилизируется на уровне $11 \pm 1^\circ$ в интервале F5—M5, что также согласуется с результатами [5], где для карликов ранних типов приводятся значения $l_1 = 20 \pm 3^\circ$, а для поздних — $l_1 = 10 \pm 4^\circ$. Отметим, что согласно классическим представлениям о звездной кинематике значительное отклонение вертекса является исключительным свойством наиболее молодых звезд. Поэтому многие современные исследования, в том числе и [5], касаются проблемы происхождения вновь обнаруженных свойств эллипсоида звездных скоростей. Среди возможных причин возникновения отклонения вертекса у карликов поздних типов указывается, например, их взаимодействие со спиральными рукавами.

5. ВЫВОДЫ

На основе трехмерной модели вращения Галактики выполнен анализ тангенциальных скоростей карликов, сгруппированных по спектральным классам. Благодаря высокой точности, однородности и большому объему использованных данных средние квадратичные ошибки определения составляющих пекулярной скорости Солнца получились меньше ± 0.5 км/с, а кинематических параметров звезд — меньше ± 1 км·с⁻¹кпк⁻¹, т. е. на уровне новейших результатов. Несмотря на это, у карликов не обнаружено каких-либо систематических движений, кроме отраженного солнечного, направленных перпендикулярно к галактической плоскости. Поэтому для описания локального поля скоростей звезд главной последовательности достаточно обобщенной модели Оорта—Линдблада с параметрами B , A' , K и φ . Полученные оценки постоянных Оорта $B = -13.3 \pm 0.7$ и $A' = 15.2 \pm 0.4$ км·с⁻¹кпк⁻¹ согласуются как со стандартными их значениями ($B = -12$, $A' = 15$ км·с⁻¹кпк⁻¹), так и с найденными по данным каталога HIPPARCOS. Параметры K и φ являются значимыми для звезд ранних типов.

Таким образом, совокупность молодых карликов, помимо участия в общем вращении Галактики, сжимается со средней скоростью 8.2 ± 0.9 км·с⁻¹кпк⁻¹, а направление на центр их вращения отклоняется на $10.4 \pm 2.1^\circ$ от направления на общепринятый галактический центр.

По результатам определения составляющих солнечной скорости можно сделать следующие выводы. Значения u_0 и v_0 заметно зависят от спектральных классов карликов, тогда как величина w_0 остается практически неизменной. При этом в классе F происходит резкое изменение вида зависимостей для первых двух составляющих.

Представленные данные об эллипсоиде звездных скоростей согласуются с приведенными в работах, выполненных после создания каталога HIPPARCOS. Особенное значение приобретает полученное для карликов поздних типов отклонение вертекса $11.1 \pm 1.0^\circ$, так как этот наблюдательный факт не имеет пока исчерпывающего объяснения в теории динамической эволюции диска Галактики.

1. Марочник Л. С., Сучков А. А. Галактика. — М.: Наука, 1984.—392 с.
2. Огородников К. Ф. Динамика звездных систем. — М.: Физматгиз, 1958.—627 с.
3. Рыбка С. П. Сводный каталог двумерной спектральной классификации звезд с астрометрическими и фотометрическими данными // Кинематика и физика небес. тел.—2003.—19, № 1.—С. 87—92.
4. Crater N. Absolute magnitude calibration of Geneva photometry based on Hipparcos parallaxes: The B-type stars // Proc. of the ESA Symp. "Hipparcos—Venice 97" / Ed. B. Battrock. — Noordwijk: ESA Publ., 1997.—P. 311—313.
5. Dehnen W., Binney J. J. Local stellar kinematics from Hipparcos data // Mon. Notic. Roy.

- Astron. Soc.—1998.—298, N 2.—P. 387—394.
6. *Feast M. W., Whitelock P. A.* Hipparcos parallaxes and proper motions of cepheids and their implications // Proc. of the ESA Symp. “Hipparcos—Venice 97” / Ed. B. Battrock. — Noordwijk: ESA Publ., 1997.—P. 625—628.
 7. *Hog E., Fabricius C., Makarov V. V., et al.* The Tycho-2 catalogue of 2.5 million brightest stars // Astron. and Astrophys.—2000.—355, N 2.—P. L27—L30.
 8. *Houk N., Swift C. M., Murray C. A., et al.* The properties of main- sequence stars from Hipparcos data // Proc. of the ESA Symp. “Hipparcos—Venice 97” / Ed. B. Battrock. — Noordwijk: ESA Publ., 1997.—P. 279—282.
 9. *Mignard F.* Local galactic kinematics from Hipparcos proper motions // Astron. and Astrophys.—2000.—354, N 2.—P. 522—536.
 10. *Schmidt-Kaler Th.* Physical parameters of the stars // Landolt-Boernstein Numerical Data and Functional Relationships in science and technology astronomy and astrophysics. — Berlin etc.: Springer-Verlag, 1982.—P. 1—34.
 11. *The Hipparcos and Tycho Catalogues.* — Noordwijk: ESA Publ., 1997.—Vol. 1.—542 p.
 12. *Torra J., Gomez A. E., Figueras F., et al.* Young stars: irregularities of the velocity field // Proc. of the ESA Symp. “Hipparcos—Venice 97” / Ed. B. Battrock. — Noordwijk: ESA Publ., 1997.—P. 513—518.

Поступила в редакцию 04.11.03