

УДК 524.62-32

С. П. Рыбка

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

Кинематический анализ данных о красных звездах-гигантах в окрестности Солнца

Используя тангенциальные скорости около 40000 G5—K5-гигантов из расширенного сводного каталога, по формулам Огородникова — Милна определены параметры вращения Галактики. Показано, что в окрестности Солнца галактическое вращение гигантов можно описать в рамках плоской обобщенной модели Оорта — Линдблада, включающей параметры B , A' , K и φ . При этом два последних параметра являются статистически достоверными лишь для гигантов спектральных классов G5—K0. В результате анализа пекулярных скоростей всех исследуемых гигантов получено заметное отклонение вертекса $l_1 = 11.5 \pm 1.5^\circ$.

КИНЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ ДАНИХ ПРО ЧЕРВОНІ ЗОРІ-ГІГАНТИ В ОКОЛИЦІ СОНЦЯ, Рыбка С. П. — Використовуючи тангенціальні швидкості біля 40000 G5—K5-гігантів із розширеного зведеного каталогу, за формулами Огороднікова — Мілна визначено параметри обертання Галактики. Показано, що в околиці Сонця галактичне обертання гігантів відповідає плоскій загальній моделі Оорта — Ліндблада, що містить параметри B , A' , K та φ . При цьому два останні параметри є статистично значимими лише для гігантів спектральних класів G5—K0. В результаті аналізу пекулярних швидкостей всіх досліджуваних гігантів отримано помітне відхилення вертекса $l_1 = 11.5 \pm 1.5^\circ$.

KINEMATIC ANALYSIS OF RED GIANT STARS IN THE VICINITY OF THE SUN, by Rybka S. P. — The transversal velocities of about 40000 G5—K5 giants of extended compiled catalogue are used to determine parameters of galactic rotation from Ogorodnikov — Milne formulae. It is found that the Oort — Lindblad model including B , A' , K , φ parameters, is sufficient to describe the galactic global rotation of giants in the vicinity of the Sun. The K and φ parameters are statistically significant only for G5—K0 giants. The orientation of the velocity ellipsoid is also determined as $l_1 = 11.5 \pm 1.5^\circ$.

Введение. Сводный каталог [3] двумерной спектральной классификации одиночных звезд вместе с данными Мичиганского обзора содержит примерно 50000 гигантов третьего класса светимости, имеющих двуцветную

фотометрию и собственные движения из каталога ТУСНО-2 [7]. Красные звезды спектральных классов G5—K5 преобладают среди этих гигантов и в основном относятся к населению тонкого диска. Они являются удобными объектами для исследования поля скоростей в окрестности Солнца. Как и карлики ранних типов, гиганты видны в больших объемах пространства. А это необходимо для вывода надежных значений параметров дифференциального вращения Галактики в рамках ее трехмерной модели. Благодаря высокой точности астрометрических и фотометрических данных каталога ТУСНО-2 стало возможным установить существенные отклонения систематических движений звезд от оортовского вращения. Так, проведенный при помощи указанной выше модели анализ кинематики звезд главной последовательности [4], входящих в состав сводного каталога, показал следующее. Подсистема В—А-звезд помимо участия в общем вращении Галактики сжимается со скоростью $K = -8.2 \pm 0.9 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \text{кпк}^{-1}$. А между направлениями на общепринятый центр Галактики и центр вращения карликов спектральных классов А0—F5 наблюдается отклонение $\varphi = 10.4 \pm 2.1^\circ$. Поэтому основной целью данной работы является определение параметров трехмерной кинематической модели Галактики по скоростям гигантов.

Однако решение этой задачи связано с некоторыми трудностями. Во-первых, гиганты находятся на продвинутой стадии эволюции, и следовательно, обладают увеличенной по сравнению с молодыми карликами дисперсией скоростей. Поэтому при возросшей случайной составляющей скорости труднее обнаружить возможные аномалии систематического движения, особенно у близких гигантов. Учитывая это обстоятельство, проводился поиск оптимальных условий для определения уверенных значений кинематических параметров. Во-вторых, последовательность гигантов имеет сравнительно большую внутреннюю дисперсию абсолютных звездных величин. Следовательно, увеличиваются ошибки при определении их индивидуальных спектральных параллаксов. В связи с этим было получено несколько оценок расстояний, чтобы изучить влияние указанных ошибок на результаты кинематического анализа.

Модель галактического вращения. Как и в работе [4], локальное поле скоростей гигантов исследовалось при помощи трехмерной кинематической модели Галактики, предложенной Огородниковым и Милном. Влияние дифференциального галактического вращения и движения Солнца на тангенциальные скорости звезд представлялось уравнениями

$$kr\mu_1 \cos b = u_0 \sin l - v_0 \cos l + r \cos b (B + A \cos 2l - C \sin 2l) + r \sin b [(N - S) \cos l - (R + D) \sin l] + \sigma_1, \quad (1)$$

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

где $\mu_1 \cos b$ и μ_b — компоненты собственных движений по галактической долготе l и широте b ; u_0 , v_0 , w_0 — составляющие пекулярной скорости Солнца, B , A , C , $K-H$, R , N , D , S — кинематические параметры, причем B и A обозначают обычные постоянные Оорта; r — расстояние до звезд; $k = 4.74$; σ_1 и σ_b — случайные составляющие тангенциальных скоростей. Комбинируя пары A и C , R и N , D и S , можно вычислить другие параметры, которые имеют простой физический смысл в виде амплитуд и фаз. Так, вместо A и C находятся новые параметры A' и φ из соотношений $A = A' \cos 2\varphi$ и $C = -A' \sin 2\varphi$, где угол φ — долгота направления на кинематический центр локального вращения, а параметр A' соответствует

постоянной Орта A . Аналогичные выражения имеются и для остальных пар параметров.

Оценки расстояний. Расстояния до всех изучаемых гигантов были вычислены при помощи фотометрических данных ТУСНО-2 и новейшей спектральной калибровки абсолютных визуальных величин M_V [5], основанной на параллаксах каталога HIPPARCOS. При этом применялась обычная методика с учетом межзвездного поглощения света, что детально изложено в работе [4]. Средняя относительная ошибка определенных таким образом расстояний составляет около 20 %. Она была найдена по формуле $\sigma_r/r = 0.2\sigma_M$, где σ_M — средняя квадратичная ошибка абсолютной звездной величины, которая для гигантов равна 1.0^m [5]. Помимо основного варианта вычисления расстояний были получены еще два, чтобы выяснить как влияют разные оценки r на результаты вывода кинематических параметров. Во втором варианте также использовалась спектральная калибровка M_V , но полученная по фундаментальным характеристикам холодных звезд-гигантов в окрестности Солнца [1]. Между указанными калибровками имеются систематические различия. Так, в спектральном интервале G5—G9 абсолютные величины M_V [5] меньше, чем M_V [1], а в интервале K0—K5 — наоборот. Расстояниями второго варианта обеспечены около 95 % всех гигантов. Третья оценка расстояний основана на имеющихся в каталоге HIPPARCOS тригонометрических параллаксах, относительные ошибки которых не превышают 50 %. Оказалось, что прямым методом можно определить расстояния лишь до 15000 гигантов. Они расположены примерно в тех же объемах пространства вокруг Солнца, что и остальные гиганты. При более строгих критериях отбора параллаксов по точности радиус этого объема резко сокращается.

Отбор звезд. Чтобы сформировать представительную выборку гигантов, употреблялись следующие ограничения. Во-первых, исследовались лишь звезды поздних спектральных классов от G5 до K5, которые составляют подавляющее большинство среди всех гигантов. Рассматривались звезды ярче $V = 9.75^m$, что соответствует уровню полноты данных 90 %. Исключались ближайшие звезды ($r < 100$ пк), поскольку определение параметров галактического вращения по скоростям таких объектов слишком неуверенно. Верхний предел расстояний составил 1 кпк, что вытекает из указанной выше величины $V = 9.75^m$. И наконец, вводился критерий скорости $|v| < 90$ км/с, что позволило удалить из выборки быстро движущиеся гиганты гало и толстого диска, а также уменьшить влияние ошибочных расстояний. Заметим, что принятый критерий в три раза превышает типичную для гигантов тонкого диска величину пекулярных скоростей около 30 км/с. В итоге для анализа осталось около 40 000 звезд. Они были разделены на четыре группы по спектральному классу, чтобы тем самым изучить характер зависимости кинематических параметров от этих физических свойств гигантов. Деление производилось таким образом, чтобы обеспечить достаточное и примерно равное количество звезд в узких спектральных интервалах.

Таблица 1. Кинематические параметры и их средние квадратичные ошибки ε для четырех групп гигантов ($r > 100$ пк)

Sp	Количество звезд	$B \pm \varepsilon$, км·с ⁻¹ кпк ⁻¹	$A' \pm \varepsilon$, км·с ⁻¹ кпк ⁻¹	$\varphi \pm \varepsilon$, град	$K \pm \varepsilon$, км·с ⁻¹ кпк ⁻¹
G5—G9	9246	-8.7 ± 0.9	16.2 ± 1.1	7.9 ± 1.9	-5.3 ± 2.0
K0	10781	-11.5 ± 1.0	16.1 ± 1.2	9.6 ± 2.1	-3.7 ± 2.0
K1—K2	13406	-11.4 ± 1.0	13.8 ± 1.2	4.4 ± 2.3	-2.1 ± 1.9
K2—K5	12299	-10.8 ± 0.8	13.9 ± 1.0	-1.1 ± 1.9	-0.8 ± 1.7

В табл. 1 указаны спектральные типы гигантов и их количество в каждой из образованных групп. Средние гелиоцентрические расстояния гигантов классов G5—G9, K0, K1—K2 и K2—K5 составляют 337, 288, 258 и 277 пк соответственно, если рассматривать основной вариант вычисления расстояний. Следовательно, в первую группу вошли наиболее удаленные от Солнца звезды, что было учтено ниже при анализе результатов.

Кинематические параметры. Параметры галактического вращения определялись способом наименьших квадратов из совместного решения уравнений (1) и (2). Условные уравнения составлялись отдельно для каждой из четырех перечисленных выше групп гигантов. Использовались расстояния, вычисленные в первом варианте, т. е. на основании калибровки M_V по параллаксам каталога HIPPARCOS. В результате оказалось, что значения кинематических параметров R , N , D и S сравнимы с ошибками их определения для всех групп гигантов. По этой причине в табл. 1 представлены оценки параметров B , A' , φ , K , причем A' и φ вычислены по предварительно полученным A и C , а $K - H = K$. Как видно, в отличие от постоянных Оорта B и A' , значения параметров φ и K зависят от спектрального класса гигантов. Величина отклонения φ между кинематическим и галактическим центрами систематически уменьшается от ранних (G5—G9) к наиболее поздним (K2—K5) типам гигантов и, таким образом, для последних уменьшается практически до нуля. Подобная тенденция наблюдается и для абсолютной величины параметра сжатия K , но этот параметр определяется менее уверенно, чем φ . Впрочем, нельзя полностью отрицать того, что K-гиганты подкласса K0 могут иметь такие же аномалии движения, как и G-гиганты. Действительно, как уже отмечено, первые расположены ближе к Солнцу, чем последние. Поэтому, возможно, пространственное расположение K1-K5-гигантов не позволяет получить значимые параметры φ и K по их скоростям и главным образом касается последнего. Образуя выборки удаленных от Солнца звезд, можно проверить это предположение. Более того, как видно из уравнений (1) и (2), гиганты на высоких галактических широтах мало подходят для определения параметров φ и K . Оказалось, что с учетом перечисленных условий сформированные на основе отдельных групп выборки имеют слишком малый объем. Поэтому проводилось попарное объединение первой и второй, третьей и четвертой групп гигантов. Это вполне оправданно, так как для указанных пар все представленные параметры близки по величине. С использованием объединенных выборок гигантов в спектральных интервалах G5—K0 и K1—K5 выполнялись многочисленные решения уравнений (1) и (2) при различных критериях расстояния и галактической широты. В итоге выяснилось, что параметры φ и K определяются наиболее уверенно, если звезды расположены на расстояниях более 250 пк, а $|b| < 50^\circ$.

Результаты этого решения представлены в табл. 2. Здесь также даны значения кинематических параметров, полученных еще для двух вариантов вычисления расстояний. Отметим, что в третьем варианте из-за малочисленности звезд пришлось ограничиться случаем, когда $r > 100$ пк. Как следует из табл. 2, присущие G5—K0-гигантам особенности движения проявляются во всех вариантах. Они выражены статистически значимыми кинематическими параметрами φ и K , величины которых почти не зависят от способа вычисления расстояний. Однако из сравнения с данными табл. 1 вытекает, что значение второго параметра для удаленных гигантов этой группы ($|b| < 50^\circ$) получается более уверенным. Что касается удаленных K1—K5-гигантов на тех же широтах, то ни в одном из вариантов у них не обнаружено заметных по величине систематических движений, характеризуемых параметрами φ и K . Итак, для интервала G5—K0 средневзвешенные

Таблица 2. Кинематические параметры для двух объединенных групп гигантов ($r > 250$ пк и $|b| < 50^\circ$)

Среднее расстояние, пк	Количество звезд	$B \pm \varepsilon$, км·с ⁻¹ кпк ⁻¹	$A' \pm \varepsilon$, км·с ⁻¹ кпк ⁻¹	$\varphi \pm \varepsilon$, град	$K \pm \varepsilon$, км·с ⁻¹ кпк ⁻¹
G5—K0					
364 ¹⁾	11469	-9.9 ± 0.8	16.6 ± 1.0	6.9 ± 1.6	-7.5 ± 1.8
333 ²⁾	11550	-10.4 ± 0.9	16.6 ± 1.0	8.5 ± 1.7	-7.7 ± 1.8
314 ³⁾	5995	-7.5 ± 1.1	12.5 ± 1.3	6.2 ± 2.9	-5.4 ± 2.5
K1—K5					
362 ¹⁾	8465	-7.4 ± 0.9	15.6 ± 1.1	-4.0 ± 1.9	0.4 ± 1.9
421 ²⁾	8222	-7.7 ± 1.0	13.5 ± 1.1	-2.0 ± 2.3	0.8 ± 1.9
384 ³⁾	6261	-9.1 ± 0.9	14.1 ± 1.1	-0.1 ± 2.2	0.9 ± 2.1

Примечание о вариантах вычисления расстояний:

- 1) — калибровка абсолютных величин [5] по данным HIPPARCOS; 2) — калибровка [1];
3) — тригонометрические параллаксы каталога HIPPARCOS.

по трем вариантам вычисления расстояний значения этих параметров составляют $\varphi = 7.4 \pm 1.3^\circ$, $K = -7.3 \pm 1.3$ км·с⁻¹кпк⁻¹, а для интервала K1—K5 — $\varphi = -2.1 \pm 1.5^\circ$, $K = 0.7 \pm 1.4$ км·с⁻¹кпк⁻¹. На основе этих оценок можно сделать следующие выводы. Преобладающим видом систематического движения K1—K5-гигантов является обычное галактическое вращение, выраженное постоянными Оорта B и A' . Гиганты более ранних типов не только участвуют в галактическом вращении, но и сжимаются как целое в направлении, параллельном плоскости Галактики. При этом кинематический центр не совпадает с центром Галактики. Косвенным доказательством в пользу реальности обнаруженных движений можно считать то, что полученные результаты слабо зависят от оценок расстояний до звезд. Необходимо также подчеркнуть, что подобными кинематическими свойствами обладают и молодые звезды главной последовательности. Это непосредственно следует из приведенных в работе [4] значений $K = -8.2 \pm \pm 0.9$ км·с⁻¹кпк⁻¹ и $\varphi = 10.4 \pm 2.1^\circ$, которые были определены по скоростям карликов ранних типов. Заметный сдвиг по фазе $\varphi = 6.2 \pm 1.5^\circ$ получен также и в работе [8] при исследовании местного поля скоростей звезд каталога HIPPARCOS на основе трехмерной модели вращения Галактики. Однако значения параметра K оказались в пределах от 2.7 ± 3.3 до $-4.1 \pm \pm 3.1$ км·с⁻¹кпк⁻¹ и не подтверждают наших результатов. Это можно объяснить различием выборок звезд, поскольку в работе [8] они не разделялись по классам светимости и не рассматривались некоторые спектральные типы, например B и G . Отметим также, что в каталогах HIPPARCOS и TYCHO-2 разная предельная звездная величина. Все это вместе с другими различиями вносит большую неопределенность при сравнении указанных выше результатов определения параметра K .

Значения постоянных Оорта B и A' , представленные в табл. 1 и 2, не обнаруживают заметной зависимости от спектрального класса гигантов. Средние оценки этих постоянных, вычисленные по соответствующим данным табл. 2, составляют $B = -8.7 \pm 0.7$ и $A' = 14.8 \pm 0.7$ км·с⁻¹кпк⁻¹ для всей совокупности гигантов. Сравнение этих величин и полученных по скоростям карликов ранних типов $B = -13.3 \pm 0.7$ и $A' = 15.2 \pm 0.4$ км·с⁻¹кпк⁻¹ [4] показывает, что между значениями B имеются существенные расхождения, тогда как различия A' лежат в пределах ошибок определения. Отсюда круговая скорость вращения Галактики на расстоянии Солнца $R_0 = 8.5$ кпк от ее центра равна $V_0 = (A' - B)R_0 = 201 \pm 8$ и 242 ± 7 км/с для гигантов

Таблица 3. Компоненты пекулярной скорости Солнца, большая полуось σ_1 эллипсоида скоростей и долгота l_1 ее направления для двух объединенных групп гигантов ($r > 250$ пк и $|b| < 50^\circ$)

Sp	$u_0 \pm \varepsilon$, км/с	$v_0 \pm \varepsilon$, км/с	$w_0 \pm \varepsilon$, км/с	$\sigma_1 \pm \varepsilon$, км/с	$l_1 \pm \varepsilon$, град	Вариант вычисления r
G5—K0	7.7 ± 0.4	14.2 ± 0.4	5.6 ± 0.4	26.6 ± 0.2	10.3 ± 1.5	1)
G5—K0	7.1 ± 0.4	13.3 ± 0.4	5.3 ± 0.3	25.0 ± 0.2	12.0 ± 1.5	2)
G5—K0	9.4 ± 0.5	14.8 ± 0.5	7.4 ± 0.4	30.0 ± 0.3	12.0 ± 1.7	3)
K1—K5	8.2 ± 0.4	19.0 ± 0.5	5.7 ± 0.4	25.6 ± 0.2	14.0 ± 2.3	1)
K1—K5	9.2 ± 0.3	20.5 ± 0.6	6.3 ± 0.4	28.2 ± 0.2	12.1 ± 2.1	2)
K1—K5	8.7 ± 0.5	19.7 ± 0.5	6.8 ± 0.4	30.8 ± 0.3	9.2 ± 1.8	3)

Примечание: 1), 2) и 3) обозначают то же, что и в табл. 2

и карликов соответственно. Анализируя собственные движения К—М-гигантов из каталога ACRS, Миямото и Сома [9] также получили относительно медленное галактическое вращение $V_0 = 174 \pm 6$ км/с. Однако Миньярд [8] не нашел существенных различий в значениях линейной скорости звезд ранних и поздних спектральных классов, определенных им по данным HIPPARCOS.

Движение Солнца и эллипсоид скоростей гигантов. Кроме кинематических параметров, из совместного решения уравнений (1) и (2), составленных отдельно для двух объединенных групп гигантов ($r > 250$ пк, $|b| < 50^\circ$) и трех вариантов расстояний, были найдены значения составляющих солнечной скорости u_0 , v_0 , w_0 (табл. 3). Остаточные уклонения этих уравнений σ_1 и σ_b использовались для определения параметров эллипсоида пекулярных скоростей гигантов. Из полученных параметров эллипсоида в табл. 3 размещены только значения большой полуоси σ_1 и галактических долгот l_1 ее направления. А последний параметр, как известно, имеет особое значение, являясь индикатором динамического состояния звездных систем. Видно, что различия спектральных классов гигантов и разные оценки их расстояний оказывают незначительное влияние на результаты. Исключение составляет составляющая солнечной скорости v_0 . Ее величина, вычисленная относительно второй группы гигантов, в среднем увеличивается на 5.6 ± 0.7 км/с по сравнению с найденной относительно первой. Средние значения остальных составляющих движения Солнца $u_0 = 8.4 \pm 0.4$ и $w_0 = 6.2 \pm 0.4$ км/с являются характерными для всей совокупности гигантов. Они близки к аналогичным оценкам $u_0 = 8.0 \pm 0.4$ и $w_0 = 7.4 \pm 0.4$ км/с [8], полученным по собственным движениям и параллаксам K0—K5-звезд из каталога HIPPARCOS. Средние значения большой полуоси эллипсоида скоростей гигантов $\sigma_1 = 27.7 \pm 0.3$ км/с и направления вертекса $l_1 = 11.5 \pm 1.5^\circ$ соответствуют результатам исследования остаточных скоростей карликов поздних типов [4]: $\sigma_1 = 25.2 \pm 0.4$ км/с и $l_1 = 10.3 \pm 1.0^\circ$. Поскольку значения параметров эллипсоида зависят от возраста, то это означает, что средний возраст сравниваемых звезд примерно одинаков. А приближенная оценка диапазона их возрастов, найденная по установленной Гомешом и др. [6] прямой зависимости между возрастом и отклонением вертекса, составляет 1—4 млрд лет. Они показали, в частности, что у более старого населения диска величина отклонения вертекса падает до нуля.

Заключение. Совокупность G5—K5-гигантов в окрестности Солнца и диска Галактики можно отчетливо разделить по свойствам их упорядоченных движений на две подсистемы в спектральных интервалах G5—K0 и K1—K5. Особенность кинематики первой заключается в том, что она

сжимается со скоростью $7.3 \pm 1.3 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \text{кпк}^{-1}$, а направление на центр ее вращения отклоняется на $7.4 \pm 1.3^\circ$ от направления на центр Галактики. Интересно, что почти такие же по величине кинематические характеристики были обнаружены и у молодых звезд главной последовательности [4]. Напротив, вторая подсистема гигантов не обладает подобными аномалиями движения. Есть также ряд других отличий между указанными подсистемами. Среди G- и K-гигантов популяция G5—K0 выделяется своей однородностью по светимости, цвету и химическому составу [2] и преимущественно принадлежит к так называемым красным групповым гигантам (red clump giants). А в области более поздних классов наблюдается довольно сложная структура трехмерной диаграммы Герцшпрунга — Рессела. Например, по данным многих работ значительная часть всех сверхметаллических, но старых звезд-гигантов имеет спектры в интервале K1—K5 и максимально концентрируется в классе K3. Поэтому весьма вероятно, что указанные выше различия кинематических и физических характеристик двух подсистем гигантов могут быть взаимосвязаны.

Однако галактическое вращение этих подсистем происходит с примерно одинаковой скоростью и является более медленным, чем вращение ранних карликов. Так, на расстоянии Солнца от центра Галактики круговая скорость гигантов составляет $201 \pm 8 \text{ км/с}$, что на $41 \pm 10 \text{ км/с}$ меньше скорости В—А-карликов [4].

Результаты исследования пекулярных скоростей G5—K5-гигантов и карликов поздних спектральных классов [4] достаточно хорошо согласуются между собой. Следует отметить, что для них получено заметное и практически одинаковое отклонение вертекса 11° . Как полагают Гомеш и др. [6], оно свидетельствует об относительной молодости таких звезд, поскольку динамическая эволюция диска Галактики еще не завершилась.

1. Комаров Н. С., Коротина Л. В., Шевчук Т. В. Фундаментальные характеристики холодных звезд-гигантов в окрестности Солнца // Кинематика и физика небес. тел.—1996.—12, № 2.—С. 3—13.
2. Марочник Л. С., Сучков А. А. Галактика. — М.: Наука, 1984.—392 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. Рыбка С. П. Кинематика карликов в окрестности Солнца по данным ТУЧО-2 // Кинематика и физика небес. тел.—2004.—20, № 2.—С. 99—107.
5. Egret D., Heck E., Vergely J.-L., et al. The HR diagram of G5-M3 stars near giant branch from Hipparcos trigonometric parallaxes // Proc. of the ESA Symposium 'Hipparcos — Venice 97' /Ed. by B. Battrock. — Noordwijk: ESA Publ., 1997.—P. 335—337.
6. Gomez A. E., Grenier S., Udry S., et al. Kinematics of disk stars in the Solar neighbourhood // Proc. of the ESA Symposium 'Hipparcos — Venice 97' /Ed. Battrock B. — Noordwijk: ESA Publ., 1997.—P. 621—623.
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. Mignard F. Local galactic kinematics from Hipparcos proper motions // Astron. and Astrophys.—2000.—354, N 2.—P. 522—536.
9. Miyamoto M., Soma M. Is the vorticity vector of the Galaxy perpendicular to the galactic plane? I. Precessional correction and equinoctial motion correction to the FK5 system // Astron. J. — 1993.—105, N 2.—P. 691—701.

Поступила в редакцию 24.06.04