

УДК 523.24:524.6-327

А. И. Яценко

Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины,
03680, ГСП, Киев-127, Голосиив

Определение кинематических параметров Галактики по данным каталога ФОНАК

По собственным движениям звезд каталога ФОНАК определены компоненты скорости движения Солнца к апексу, вековые параллаксы и параметры галактического вращения. Для сравнения приводятся аналогичные величины по данным каталога АСТ, использованного при составлении каталога ФОНАК в качестве опорного.

ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГАЛАКТИКИ ЗА ДАНИМИ КАТАЛОГА ФОНАК, Яценко А. І. — За власними рухами зір каталога ФОНАК визначені компоненти швидкості руху Сонця в напрямі до апексу, вікові паралакси та параметри галактичного обертання. Для порівняння приведено аналогічні величини за даними каталога АСТ, використаного при складанні ФОНАК як опорний.

DETERMINATION OF THE KINEMATIC PARAMETERS OF THE GALAXY FROM THE FONAC CATALOGUE DATA, by Yatsenko A. I. — The solar motion and galactic rotation parameters were determined from the FONAC proper motions. For comparison, similar results were obtained from the data of the ACT catalogue used as a reference source for the FONAC.

ВВЕДЕНИЕ

Появившийся в 1999 г. каталог ФОНАК [10], созданный в системе каталога АСТ [11], содержит координаты и собственные движения звезд до 14^m , являясь в настоящее время самым массовым источником собственных движений звезд $12.5-14^m$. Более глубокие обзоры, в частности каталоги абсолютных собственных движений [4—8], создавались в избранных площадках неба, содержат на порядок меньшее количество звезд и имеют область избегания вблизи экватора Галактики. Каталог ФОНАК содержит звезды всего северного неба от -2° до $+90^\circ$ склонения. В связи с увеличением количества звезд с известными собственными движениями естественным представляется вопрос, может ли увеличение объема исследуемых объектов повлиять на определение основных кинематических характеристик Галактики. С другой стороны, следует сравнить эти характеристики с полученными

ми по опорному каталогу АСТ, чтобы убедиться, что при создании нового каталога кинематические особенности опорной системы были сохранены. Поскольку каталог АСТ покрывает все небо, можно также выделить из него область от -2° до $+90^\circ$ и определить, изменится ли решение для такого усеченного варианта. Вот основной перечень задач, которые ставились в данной работе.

КИНЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОБСТВЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗВЕЗД

Выбор кинематической модели для описания движения Солнца в пространстве и вращения Галактики является сложной задачей, зависящей от многих факторов, в том числе и от исследуемой выборки объектов [1, 3]. Мы воспользовались наиболее общей моделью Огородникова—Милна [3], учитывающей движение Солнца, дифференциальное вращение и пространственную деформацию Галактики в трех взаимно перпендикулярных плоскостях, записав условные уравнения в виде, минимизирующем корреляционные связи между исходными параметрами:

$$\begin{aligned} \mu_1 \cos b &= f(X \sin l - Y \cos l) + Q \cos b + P \cos 2l \cos b - \\ &\quad - C \sin 2l \cos b - N \sin l \sin b - D \cos l \sin b, \\ \mu_b &= f(X \cos l \sin b + Y \sin l \sin b - Z \cos b) - \\ &\quad - 0.5 P \sin 2l \sin 2b - 0.5 C \cos 2l \sin 2b - 0.5 K \sin 2b - N \cos l \sin^2 b + \\ &\quad + D \sin l \sin^2 b - L \cos l \cos^2 b + R \sin l \cos^2 b, \end{aligned} \quad (1)$$

где l, b — галактические координаты звезды; f — параллактический фактор; X, Y, Z — компоненты движения Солнца в пространстве. Параметры P, Q, C, K, N, D, L, R описывают эффекты вращения и пространственной деформации Галактики и связаны с элементами матрицы деформации M_{ij} и вращения W_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$) в теории Огородникова—Милна:

$$\begin{aligned} P &= M_{12}, \\ Q &= W_{21}, \\ C &= 0.5(M_{11} - M_{22}), \\ K &= 0.5(M_{11} + M_{22}) - M_{33}, \\ N &= M_{13} + W_{13}, \\ D &= W_{32} - M_{23}, \\ L &= W_{13} - M_{13}, R = W_{32} + M_{32}. \end{aligned}$$

ОТБОР ЗВЕЗД

Приведенная выше модель применялась для звезд каталогов ФОНАК и АСТ, имеющих показатели цвета $B - V$. Чтобы исключить влияние звезд с большими собственными движениями на результаты, были отброшены все звезды с $\mu_1 \cos b$ и $\mu_b > 0.05''/\text{год}$. Были также отброшены звезды каталога ФОНАК с плохими определениями астрометрических данных. Затем координаты и собственные движения звезд усреднялись в площадках неба размером $4 \times 4^\circ$ для единичных интервалов звездных величин B . Ввиду малого количества звезд ярче 8^m , все они были включены в интервал $8-9^m$. Точно так же для каталога ФОНАК в интервал $13-14^m$ были включены немногочисленные более слабые звезды. Для каталога АСТ последний интервал $11-12^m$ содержит также небольшое количество более слабых звезд. Кроме того, звезды разбивались на три группы, в зависимости от показателя цвета: $B - V < 0.5^m$ (решение 1), $0.5^m < B - V < 1.0^m$ (решение 2)

и $B - V > 1.0^m$ (решение 3). Решение 4 охватывает все звезды, вне зависимости от показателя цвета. В каждом решении компоненты скорости движения Солнца определялись для отдельных интервалов звездных величин, а остальные параметры считались общими. Таким образом, для записи условных уравнений типа (1) использовались средние координаты и собственные движения звезд в участке $4 \times 4^\circ$ определенной группы по показателю цвета и определенного интервала звездной величины. Все эти варианты решений были выполнены для четырех следующих случаев: I — по всем звездам каталога ФОНАК; II — по всем звездам каталога АСТ; III — по звездам каталога ФОНАК до 12^m и IV — по звездам каталога АСТ от -2 до $+90^\circ$ склонения. Последние два варианта были выполнены для сравнения кинематических характеристик каталогов практически по идентичным выборкам исследуемых объектов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Совместное решение уравнений (1) выполнялось методом ортогонализации Грамма—Шмидта, что давало возможность попутно определять значимость полученных неизвестных. Результаты вычислений приведены в табл. 1, 2 и изображены на рисунке. Прочерки в табл. 1 означают, что полученное значение мало по сравнению с ошибками. Прочерки в табл. 2 проставлены для величин, которые не определялись.

Видно, что параметры, полученные из решений I, II по каталогу ФОНАК, практически совпадают в пределах ошибок их определения. Решение IV, полученное по северной части каталога АСТ, имеет самую низкую точность и отличается от всех остальных величинами параметров модели. Поэтому можно сделать вывод, что расчет на сравнение каталогов АСТ и ФОНАК по усеченным выборкам себя не оправдал. Величины

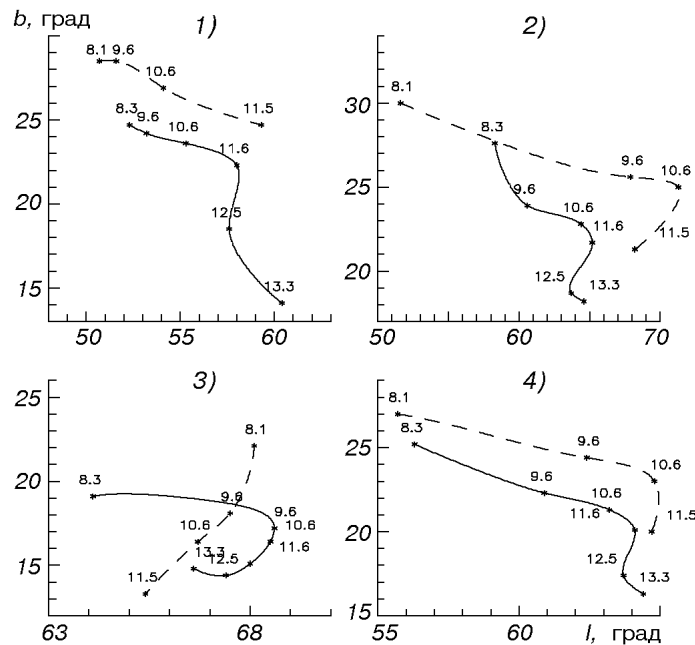
Таблица 1. Кинематические параметры и их средние квадратичные ошибки (в $0.0001''/\text{год}$), полученные по каталогам ФОНАК и АСТ

Параметр	I (ФОНАК)				II (АСТ)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Q	-33 ± 1	-25 ± 1	-38 ± 1	-31 ± 1	-32 ± 1	-23 ± 1	-28 ± 1	-28 ± 1
P	$+25 \pm 1$	$+26 \pm 1$	$+23 \pm 1$	$+25 \pm 1$	$+32 \pm 1$	$+30 \pm 1$	$+34 \pm 1$	$+32 \pm 1$
C	-14 ± 1	-14 ± 1	-12 ± 1	-13 ± 1	-16 ± 1	-9 ± 1	-7 ± 1	-11 ± 1
K	-4 ± 2	-11 ± 2	—	-7 ± 1	-5 ± 1	-6 ± 2	-6 ± 2	-6 ± 1
W_{13}	-4 ± 1	-6 ± 1	—	-4 ± 1	-8 ± 1	-6 ± 1	-2 ± 1	-6 ± 1
W_{23}	—	$+2 \pm 1$	—	$+2 \pm 1$	$+2 \pm 1$	—	-2 ± 1	—
M_{13}	-4 ± 1	—	—	-2 ± 1	—	-2 ± 1	-2 ± 1	-1 ± 1
M_{23}	—	-2 ± 1	—	-2 ± 1	-2 ± 1	—	$+2 \pm 1$	—
N	285778	910395	371262	1567435	313625	274529	244130	832284
Параметр	III (ФОНАК)				IV (АСТ)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Q	-30 ± 1	-22 ± 2	-37 ± 1	-28 ± 1	-38 ± 2	-29 ± 2	-36 ± 1	-35 ± 1
P	$+27 \pm 2$	$+25 \pm 2$	$+25 \pm 1$	$+26 \pm 1$	$+24 \pm 2$	$+35 \pm 2$	$+30 \pm 2$	$+29 \pm 1$
C	-15 ± 1	-16 ± 1	-12 ± 1	-13 ± 1	-24 ± 2	-23 ± 2	-13 ± 1	-20 ± 1
K	-5 ± 2	-12 ± 2	—	-7 ± 1	$+8 \pm 2$	-14 ± 3	—	-3 ± 2
W_{13}	-6 ± 2	-8 ± 2	—	-6 ± 1	-8 ± 2	-4 ± 2	—	-4 ± 1
W_{23}	—	—	—	$+2 \pm 1$	-6 ± 2	—	—	—
M_{13}	-6 ± 2	—	—	-2 ± 1	—	$+5 \pm 2$	—	$+1 \pm 1$
M_{23}	—	—	—	-2 ± 1	$+6 \pm 2$	—	—	$+5 \pm 2$
N	171377	222939	8102	474418	147028	140238	115644	402910

Таблица 2. Вековые параллаксы и их средние квадратичные ошибки (в 0.0001"/год) для разных вариантов решения

B	I (ФОНАК)				II (АСТ)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
8.30	148±2	143±2	156±4	146±1	143±1	128±4	136±1	139±1
9.58	127±2	136±2	131±2	130±1	120±1	136±2	121±1	124±1
10.57	109±2	128±2	112±2	115±1	102±1	130±1	106±1	112±1
11.57	89±2	116±2	95±2	99±1	95±1	118±1	92±1	101±1
12.54	69±2	98±2	96±2	87±1	—	—	—	—
13.33	65±2	86±2	94±2	81±1	—	—	—	—

	III (ФОНАК)				IV (АСТ)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
8.30	145±2	141±3	156±4	143±2	156±2	135±5	148±3	150±2
9.58	125±2	135±2	130±2	128±1	129±2	141±3	130±2	133±2
10.57	107±2	127±2	111±2	112±1	110±2	139±3	113±2	121±1
11.57	87±2	115±2	94±2	96±1	102±2	125±3	97±2	109±1



Координаты апекса Солнца, полученные для вариантов решения 1—4, по звездам каталога ФОНАК (сплошная линия) и по каталогу АСТ (пунктир). Числа возле точек на кривых — значения средних звездных величин в единичных интервалах по *B*

параметров, полученных из решений I (ФОНАК) и II (АСТ) очень близки и их различия указывают скорее не на систематические различия в самих собственных движениях звезд двух каталогов, а на то, что оценки ошибок решения носят формальный характер и занижены. Из решения уравнений (1) наиболее надежно определяются компоненты движения Солнца в пространстве. Вычисленные по ним вековые параллаксы (см. табл. 2) и координаты апекса (рисунок) очень близки для двух каталогов. Средние квадратичные ошибки определения координат апекса в зависимости от количества площадок для различных решений составляют от 0.5 до 2.5°. Этот разброс точек не нанесен на рисунке, чтобы не загромождать его.

Примерно столько же составляет и систематический сдвиг между координатами апекса, полученными по двум каталогам. Хорошо определяются также параметры, описывающие вращение плоской Галактики Q и P , при этом значения Q , полученные по двум каталогам, очень близки, а P систематически (на 20 %) меньше в случае каталога ФОНАК. Параметры S и K , определяющие эффект пространственной деформации, также вычисляются надежно и совпадают по обоим каталогам. Остальные параметры, характеризующие вращение и деформацию в плоскостях XZ , YZ очень малы и не всегда значимы. Из этих параметров как надежно определяемый можно выделить только W_{13} , отвечающий за вращение в плоскости XZ .

Варианты решения 1—3 (различные выборки по показателю цвета) дают значимо отличающиеся между собой результаты. Особенно это заметно по вековым параллаксам, координатам апекса Солнца и параметрам Q и P (табл. 1—2, рисунок). Это связано с тем, что в зависимости от показателя цвета звезды имеют различное пространственное распределение. Так, в группу 1 попадают в основном звезды главной последовательности, ранних спектральных классов и с большими светимостями. В остальных группах наряду со звездами главной последовательности есть красные гиганты, доля которых в третьей группе больше. Следовательно, средние расстояния до звезд группы 2 ($0.5^m < B - V < 1.0^m$) меньше, чем в группах 1, 3. Это сказывается на величинах вековых параллакса, которые для группы 2 в среднем больше, чем для остальных звезд (табл. 2).

Из сравнения наших результатов с полученными В. В. Витязевым [2] по 113710 звездам каталога HIPPARCOS (даны в $0.0001''/\text{год}$): $Q = -25 \pm 3$, $P = +29 \pm 4$, $W_{13} = -5 \pm 3$, $W_{23} = -1 \pm 3$, $M_{13} = +2 \pm 4$, $M_{23} = -2 \pm 3$ следует, что они практически совпадают в пределах ошибок определения по обоим каталогам для группы 2. Координаты апекса в галактической системе, найденные Витязевым, равны $l = +61^\circ \pm 0.3^\circ$, $b = +11^\circ \pm 0.3^\circ$ и отличаются от наших.

В. В. Бобылев [9] из анализа собственных движений звезд каталога HIPPARCOS получил (даны в $0.0001''/\text{год}$): $Q = -27 \pm 0.8$, $P = +24.3 \pm 1.1$, $W_{13} = -3.6 \pm 1.5$ (по далеким звездам). Эти результаты также близки к нашим.

Что касается величин вековых параллакса, то для группы 2 они очень близки к полученным С. П. Рыбкой [5] по абсолютным собственным движениям звезд в площадках с галактиками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наиболее близкие между собой результаты получены по всем имеющим показатели цвета $B - V$ звездам каталогов ФОНАК и АСТ. Систематические различия кинематических параметров, полученных по двум каталогам, проявляются в координатах движения Солнца к апексу и в постоянной P дифференциального вращения плоской Галактики. Остальные результаты совпадают в пределах ошибок их определения. Во всех вариантах решения по обоим каталогам обнаружено незначительное по величине вращение в плоскости XZ . Почти все параметры рассматриваемой модели (1) (за исключением определяемых на пределе значимости) показывают зависимость от величины среднего показателя цвета $B - V$, что объясняется изменением состава звезд в рассматриваемых выборках. Найденные величины кинематических параметров подтверждаются результатами В. В. Витязева и В. В. Бобылева по исследованию собственных движений звезд каталога HIPPARCOS. На основании этого можно сделать вывод, что система собственных движений каталога ФОНАК соответствует системе ICRS.

Автор признателен С. П. Рыбке за помощь при выполнении данной работы.

1. *Витязев В. В.* Физическая полнота классических моделей вращения Галактики // Кинематика и физика небес. тел.—1990.—6, № 4.—С. 74—82.
2. *Витязев В. В.* Новые методы анализа звездных каталогов и неравномерных временных рядов: Дис. ... д. физ.-мат. наук. — Санкт-Петербург, 1999. 316 с.—Машинопись.
3. *Огородников К. Ф.* Динамика звездных систем. — М.: Физматгиз, 1958.—627 с.
4. *Рахимов А. Г.* О каталоге собственных движений 10600 звезд в 41 избранной площадке // Циркуляр Астрон. ин-та АН УзССР.—1976.—№ 66.—С. 1—31.
5. *Рыбка С. П.* Исследование абсолютных собственных движений звезд специального сводного каталога // Материалы международного семинара по проблемам астрометрии и космической геодинамики (Киев, 10—12 сентября 1990 г.) / Отв. ред. Н. В. Харченко. — Киев: Наук. думка, 1991.—С. 91—97.
6. *Рыбка С. П., Яценко А. И.* GPM сводный каталог абсолютных собственных движений звезд в избранных площадках неба с галактиками // Кинематика и физика небес. тел.—1997.—13, № 5.—С. 70—74.
7. *Фатчихин Н. В.* Абсолютные собственные движения 14600 звезд в 85 площадках северного неба, полученные по галактикам на пулковском нормальном астрографе // Тр. Глав. астрон. обсерватории в Пулкове.—1974.—81.—С. 4—211.
8. *Харченко Н. В.* О сводном каталоге собственных движений звезд относительно галактик в площадках главного меридионального сечения Галактики // Кинематика и физика небес. тел.—1987.—3, № 4.—С. 7—10.
9. *Bobylev V. V.* How inertial is the Hipparcos catalogue? // JOURNEES 1999 & IX Lohrmann Kolloquium, Motion of Celestial Bodies, Astrometry and Astronomical Reference Frames. — Dresden Germany, 13-15 September 1999. — P. 11—13.
10. *Kislyuk V., Yatsenko A., Ivanov G., et al.* The FON Astrogaphic Catalogue (FONAC): Version 1.0 // JOURNEES 1999 & IX Lohrmann Kolloquium, Motion of Celestial Bodies, Astrometry and Astronomical Reference Frames. — Dresden Germany, 13-15 September 1999.—P. 61.
11. *Urban S. E., Corbin T. E., Wycoff G. L.* The ACT Reference Catalog // Astron. J.—1998.—115, N 5.—P. 2161—2166.

Поступила в редакцию 25.13.00