

УДК 524.62-32

С. П. Рыбка, А. И. Яценко

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

Сводный каталог собственных движений и инфракрасной фотометрии звезд в области северного полюса Галактики

Представлена методика создания сводного каталога собственных движений 23 633 звезд в области северного галактического полюса, площадь которой составляет около 700 \square . Он получен путем объединения данных каталогов «Tycho-2», UCAC2 и ФОНАК до $V \sim 14^m$ в этой области неба. Сводный каталог кроме собственных движений содержит также инфракрасные звездные величины J , H , K_s в системе 2MASS. Средняя погрешность собственных движений в сводном каталоге составляет 2.5 мсд/год, а звездных величин J , H , K_s — 0.03 m .

ЗВЕДЕНИЙ КАТАЛОГ ВЛАСНИХ РУХІВ ТА ІНФРАЧЕРВОНОЇ ФОТОМЕТРІЇ ЗІР В ДІЛЯНЦІ ПІВНІЧНОГО ПОЛЮСА ГАЛАКТИКИ, Рыбка С. П., Яценко А. І. — Наведено методику створення зведеного каталогу власних рухів 23633 зір в ділянці північного галактичного полюса, площа якої складає приблизно 700 \square . Його отримано шляхом об'єднання даних каталогів «Tycho-2», UCAC2 та ФОНАК до $V \sim 14^m$ в цій ділянці неба. Зведений каталог крім власних рухів містить також інфрачервоні зоряні величини J , H , K_s в системі 2MASS. Середня похибка власних рухів у зведеному каталозі складає 2.5 мсд/рік, а зоряних величин J , H , K_s — 0.03 m .

COMPILED CATALOGUE OF PROPER MOTIONS AND INFRARED PHOTOMETRY OF STARS AT THE NORTH GALACTIC POLE, by Rybka S. P., Yatsenko A. I. — We describe a procedure for creating the compiled catalogue of proper motions for 23633 stars in the sky area covering about 700 square degrees at the north galactic pole. To compile the catalogue, the data from the UCAC2, “Tycho-2” and FONAC catalogues were combined in the region for the stars down to $V \sim 14^m$ in this sky area. Apart from proper motions, the compiled catalogue contains near-infrared magnitudes J , H , K_s in the 2MASS system. The mean accuracy of the proper motions and magnitudes J , H , K_s is 2.5 mas/yr and 0.03 m , respectively.

ВВЕДЕНИЕ

Использование собственных движений и данных многоцветной фотометрии слабых звезд в околополярных областях Галактики для исследования ее кинематики и структуры дает ряд преимуществ по сравнению с другими участками на небесной сфере. Они заключаются в минимальном межзвездном поглощении, массовости указанных данных и более легком доступе к еще мало изученному населению толстого диска и гало. Кроме того, появляется возможность получить информацию о скорости вращения (V -компонент) и скорости радиального движения (U -компонент) таких подсистем Галактики без привлечения лучевых скоростей. При этом определяющими требованиями являются высокая точность используемых данных и их полнота до предельно слабой звездной величины, чтобы достигнуть значительных расстояний от галактической плоскости. Глубокие обзоры собственных движений и многоцветной фотометрии звезд в направлении южного и северного галактических полюсов, например [4, 6, 7], полностью соответствуют перечисленным требованиям. Тем не менее, из-за различия методов редукции наблюдений собственные движения этих индивидуальных каталогов могут быть отягощены не только случайными, но и остаточными систематическими ошибками. Об этом могут свидетельствовать, например, полученные на их основе противоречивые результаты определения кинематических параметров толстого диска, обзор которых приводится в работе [4]. Один из возможных путей минимизации систематических и случайных ошибок собственных движений заключается в сравнении и последующем объединении различных источников таких данных в одном каталоге. Таким путем мы создали сводный каталог собственных движений и данных трехцветной инфракрасной фотометрии 23633 звезд с полнотой до $K_s = 11.5^m$ в области северного полюса Галактики. Ниже изложена методика его составления.

МАТЕРИАЛ

«Tycho-2» [5], UCAC2 [8] и ФОНАК [1] — массовые источники собственных движений звезд в системе ICRS, которые послужили основой для создания сводного каталога таких данных вблизи северного галактического полюса. Каталог «Tycho-2», использованный как опорный при выводе положений ФОНАК и UCAC2, обеспечивает собственными движениями в основном яркие звезды ($V < 11.5^m$), а два последних каталога — объекты слабее 11.5^m .

Приведем основные характеристики использованных в настоящей работе источников собственных движений звезд. Каталог ФОНАК получен в результате обработки наблюдений, проведенных по международной программе Фотографического обзора северного неба (ФОН) на двойном широкоугольном астрографе Цейса ($D = 40$ см, $F = 2$ м) ГАО НАН Украины. Собственные движения звезд до $B \approx 14^m$ определены со средней ошибкой 4 мсд/год из сопоставления его положений с данными каталога AC2000.

Для создания каталога UCAC2 использовался наблюдательный материал, полученный на двойном астрографе Морской обсерватории США, который оснащен ПЗС-приемником. В качестве первых эпох для вывода собственных движений привлечено более 140 каталогов, в том числе и AC2000. Точность собственных движений в каталоге зависит от блеска звезд и составляет 1—3 мсд/год до $R \sim 12^m$ и 4—7 мсд/год для более слабых объектов до $R \sim 16^m$. Кроме того, 99.5 % звезд UCAC2 имеют очень точные трехцветные инфракрасные звездные величины из 2MASS.

Собственные движения звезд в каталоге «Tycho-2» вычислены из сравнения экваториальных координат, полученных в результате выполнения космической миссии HIPPARCOS, с наземными данными 143 меридианных и фотографических каталогов. Точность собственных движений зависит, как и в случае каталога UCAC2, от блеска звезд и составляет в среднем 2.5 мсд/год до $V = 11.5^m$.

Данные для составления сводного каталога (положения, собственные движения, фотометрические характеристики) были выбраны в радиусе $\sim 15^\circ$ от северного галактического полюса ($\alpha_{\text{NGP}} = 12^h 51.5^m$, $\delta_{\text{NGP}} = 27^\circ 7.7'$) из указанных выше трех исходных каталогов. При этом вводились некоторые ограничения. В частности, исключались звезды с ненадежными данными о собственных движениях и J -, K_s -величинах, а также кратные и переменные объекты (при наличии соответствующих признаков в «Tycho-2»). В результате для области неба площадью около $700 \square$ из каталога ФОНАК отобрано 22537, из каталога UCAC2 — 23633, а из каталога «Tycho-2» — 12003 звезды до предельной величины $B = 14^m$, $R = 13^m$ и $V = 11.5^m$ соответственно.

СРАВНЕНИЕ КАТАЛОГОВ

Необходимой процедурой при создании сводного каталога является сравнение данных из разных источников, чтобы изучить их систематические и случайные различия. С этой целью в настоящей работе выполнен анализ разностей собственных движений общих звезд, найденных в результате сравнения выборки каталога UCAC2 с выборками «Tycho-2» и ФОНАК в области северного полюса Галактики. Поиск общих звезд основывался на сопоставлении их экваториальных координат в разных списках, а отождествление таких объектов считалось успешным, если расхождения обеих координат ($\Delta\alpha \cos\delta$ и $\Delta\delta$) не превышали $1''$. В итоге выявлено 10206 и 8665 общих звезд при сравнении UCAC2 с каталогами «Tycho-2» и ФОНАК соответственно. Сравнение каталогов ФОНАК и «Tycho-2» в настоящей работе не проводилось в связи с тем, что оригинальные собственные движения первого каталога для звезд «Tycho-2» не сохранены. Однако необходимо отметить, что система собственных движений каталога ФОНАК фактически повторяет систему каталога «Tycho-2», который использован как опорный при редукции данных программы ФОН. Это достигнуто в результате контроля расхождений между собственными движениями каталогов «Tycho-2» и ФОНАК для каждой площадки ФОН.

Чтобы оценить систематические и случайные составляющие разностей собственных движений общих звезд вида (UCAC2 – «Tycho-2») и (UCAC2 – ФОНАК), мы ограничились простым их представлением соответственно средними и средними квадратичными значениями в отдельных интервалах блеска звезд. При этом мы считали, что систематические разности зависят только от звездной величины и обусловлены остаточными ошибками уравнения блеска в исходных каталогах. В таблице содержатся результаты сравнения собственных движений каталога UCAC2 с данными «Tycho-2» и ФОНАК. Здесь приведены оценки средних ($\langle\Delta\mu\rangle$) и средних квадратичных (σ) разностей $\Delta\mu_\alpha \cos\delta$ и $\Delta\mu_\delta$, которые вычислены для 12 отдельных интервалов звездных величин K_s . Предварительно из анализа были исключены по правилу 3σ звезды с большими расхождениями собственных движений. Количество общих звезд, полученных при сравнении каталогов с учетом этого замечания, указано во второй графе таблицы. Видно, что для обоих сравнений каталогов систематические расхождения собственных движений $\langle\Delta\mu\rangle$ в основном невелики, а их предельные значения (± 0.4 мсд/год)

Значения разностей собственных движений звезд из каталога UCAC2 и из каталогов «Tycho-2» и ФОНАК в области северного галактического полюса

Сравниваемые каталоги	Количество общих звезд	K_s	$\langle \Delta\mu_{\alpha} \cos\delta \rangle$, мсд/год	σ_{α} , мсд/год	$\langle \Delta\mu_{\delta} \rangle$, мсд/год	σ_{δ} , мсд/год
UCAC2 — «Tycho-2»	271	$< 6.5^m$	0.4	1.8	0.2	1.4
UCAC2 — «Tycho-2»	227	6.5—7.0	0.2	1.5	-0.1	1.5
UCAC2 — «Tycho-2»	381	7.0—7.5	-0.1	1.7	-0.1	1.6
UCAC2 — «Tycho-2»	579	7.5—8.0	0.1	1.9	-0.1	1.6
UCAC2 — «Tycho-2»	783	8.0—8.5	0.1	2.2	-0.1	2.2
UCAC2 — «Tycho-2»	1075	8.5—9.0	-0.2	2.4	0.1	2.7
UCAC2 — «Tycho-2»	1472	9.0—9.5	-0.2	2.6	-0.1	2.9
UCAC2 — ФОНАК	517	9.0—9.5	0.1	4.6	-0.2	5.2
UCAC2 — «Tycho-2»	1698	9.5—10.0	-0.4	3.0	-0.1	2.8
UCAC2 — ФОНАК	581	9.5—10.0	-0.1	4.8	-0.3	4.7
UCAC2 — «Tycho-2»	1761	10.0—10.5	-0.3	3.4	-0.1	3.4
UCAC2 — ФОНАК	1184	10.0—10.5	-0.3	4.7	-0.4	4.8
UCAC2 — «Tycho-2»	1245	10.5—11.0	-0.3	3.8	0.1	3.5
UCAC2 — ФОНАК	2127	10.5—11.0	-0.4	4.3	-0.1	4.8
UCAC2 — «Tycho-2»	519	11.0—11.5	-0.4	4.3	-0.4	4.0
UCAC2 — ФОНАК	2737	11.0—11.5	-0.4	4.5	-0.3	4.9
UCAC2 — ФОНАК	1317	11.5—13.0	-0.4	4.5	-0.2	4.9

на порядок меньше случайных составляющих σ . Кроме того, они практически не зависят от блеска звезд. Поэтому при объединении собственных движений из разных источников мы не учитывали их систематические различия, полагая их несущественными.

Что касается значений случайных составляющих разностей σ , то для сравнения каталогов UCAC2 и «Tycho-2» они увеличиваются с ослаблением блеска звезд, составляя 1.4...4.3 мсд/год в диапазоне 6.5...11.5^m. Напротив, при сравнении каталогов UCAC2 и ФОНАК оценки σ остаются почти постоянными для всего диапазона звездных величин, а их средневзвешенное значение равно 4.7 мсд/год. В среднем для сравнения UCAC2 и «Tycho-2» (10011 общих звезд) было получено $\langle \Delta\mu_{\alpha} \cos\delta \rangle = -0.2$, $\langle \Delta\mu_{\delta} \rangle = 0.1$, $\sigma_{\Delta\mu_{\alpha}} = 2.8$, $\sigma_{\Delta\mu_{\delta}} = 2.7$ мсд/год, $\langle K_s \rangle = 9.37^m$, а для сравнения UCAC2 и ФОНАК (8518 общих звезд) — $\langle \Delta\mu_{\alpha} \cos\delta \rangle = -0.3$, $\langle \Delta\mu_{\delta} \rangle = -0.3$, $\sigma_{\Delta\mu_{\alpha}} = 4.6$, $\sigma_{\Delta\mu_{\delta}} = 4.7$ мсд/год, $\langle K_s \rangle = 10.82^m$.

Найденные таким образом значения σ использовались далее для оценки точности определения собственных движений в каждом источнике по внешней сходимости. При этом пришлось сделать допущение о приблизительно одинаковой величине таких оценок для исходных каталогов в указанных их парных сравнениях. В результате значения случайных ошибок годовых собственных движений оказались равными 2 мсд для звезд ярче $K_s = 10.5^m$ из каталогов UCAC2 и «Tycho-2» и 3.2 мсд для более слабых объектов из каталогов UCAC2 и ФОНАК. Эти оценки близки к их значениям, полученным по внутренней сходимости данных в каталогах «Tycho-2» (1.5), UCAC2 (2.5) и ФОНАК (3 мсд).

СОСТАВЛЕНИЕ СВОДНОГО КАТАЛОГА

Результаты исследования систематических и случайных различий собственных движений звезд исходных источников в области северного полюса Галактики использовались при объединении этих данных в одном сводном

каталоге. Основу его списка составили 23633 звезды UCAC2 до $R \sim 13^m$ с надежными определениями их инфракрасных звездных величин. Сводные собственные движения звезд в указанном списке компоновались следующим образом. Для тех звезд, которые отождествлены в каталоге «Tycho-2», использованы его данные как наиболее точные в систематическом и случайном отношении. Сводные собственные движения общих звезд, найденных при сравнении UCAC2 и ФОНАК, были вычислены в виде средних значений по данным этих каталогов вследствие близости их систем и примерно одинаковой точности в случайном отношении. И наконец, данные UCAC2 взяты для тех звезд, которых нет в других каталогах. Вклад каждого из трех использованных источников собственных движений составляет: только каталог «Tycho-2» — 43 %; каталоги UCAC2 и ФОНАК совместно — 37 %; только каталог UCAC2 — 20 %. Исходя из этого, ошибки годовых собственных движений в трех указанных частях сводного каталога в среднем составляют 2, 2.3 и 4 мсд. Кроме собственных движений, полученных в единой системе ICRS, сводный каталог содержит скопированные из UCAC2 экваториальные координаты и инфракрасные звездные величины J , H , K_s в системе 2MASS. Он включает 23633 звезды до предельной звездной величины $K_s = 13$ и полон на 90 % до $K_s = 11.5^m$.

В дальнейшем материал сводного каталога будет применен для исследования кинематики толстого диска на основе выделенных из него гигантов «красного сгущения» (КС). Большое число звезд этого типа сравнительно легко идентифицировать на диаграммах Герцшпрунга—Рессела, полученных по фотометрическим данным в ближней инфракрасной области спектра. Затем при помощи имеющейся высокоточной калибровки абсолютных величин гигантов КС можно определить надежные значения их фотометрических параллаксов и преобразовать их собственные движения в U -, V -компоненты пространственной скорости. Очень важно и то, что из-за своей высокой светимости гиганты КС наблюдаются до 4 кпк над плоскостью Галактики при диапазоне их звездных величин $K_s < 11.5^m$ в сводном каталоге. Это обстоятельство позволяет изучать кинематические свойства населения толстого диска, которое согласно современным представлениям о строении Галактики доминирует на высотах 1—4 кпк [4].

ВЫДЕЛЕНИЕ ГИГАНТОВ «КРАСНОГО СГУЩЕНИЯ»

Одним из эффективных инструментов для идентификации гигантов КС является диаграмма «цвет — приведенное собственное движение», которая построена по данным в ближней инфракрасной области спектра. Имея небольшой разброс светимостей и высокую пространственную плотность, гиганты КС выделяются на таких диаграммах в виде образования с повышенной концентрацией точек в интервале показателей цвета $J - K_s$ от 0.5 до 0.8^m [2].

В настоящей работе для предварительного отбора гигантов КС применялась указанная диаграмма, полученная по данным созданного сводного каталога вблизи северного полюса Галактики. С этой целью были вычислены приведенные собственные движения H_k в полосе K_s по формуле

$$H_k = K_s + 5\lg\mu + 5,$$

где μ — полное собственное движение.

Чтобы более надежно выделить звезды КС, при построении диаграммы использованы значения величины H_k и $J - K_s$ для тех звезд, которые в сводном каталоге имеют точность собственных движений лучше 5 мсд/год.

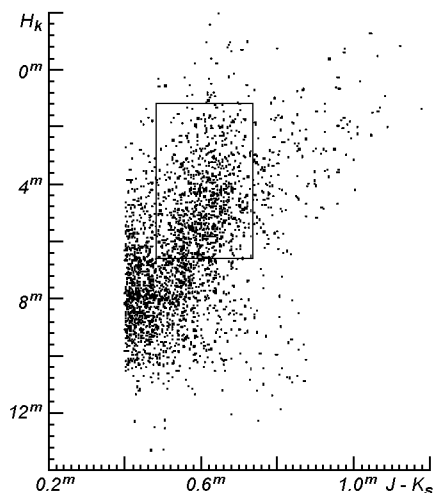


Диаграмма «цвет — приведенное собственное движение» для звезд сводного каталога ярче $K_s = 11.5^m$ с показателями цвета $J - K_s > 0.4^m$. Область вероятного расположения гигантов красного сгущения обозначена прямоугольником

На рисунке изображена такая диаграмма, полученная по данным о звездах с $K_s < 11.5^m$ и показателями цвета $J - K_s > 0.4^m$. На диаграмме заметно сгущение красных звезд (повышение плотности точек) при $1.5^m < H_k < 6.5^m$ и $0.50^m < J - K_s < 0.75^m$, что соответствует области вероятного расположения гигантов КС. Поэтому 2908 звезд, которые находятся в пределах указанной области (она выделена на рисунке прямоугольником), мы отнесли к кандидатам КС. Все проблемы, связанные с более объективным отбором звезд этого типа, будут рассмотрены в дальнейшем при исследовании их кинематики.

Гелиоцентрические расстояния до всех выделенных 2908 звезд были определены фотометрическим способом с относительной точностью 11 % на основе известной калибровки светимости гигантов КС в полосе K_s [3]. При этом мы не учитывали межзвездное поглощение света, которое в областях полюсов Галактики пренебрежимо мало.

Из анализа вертикального распределения всех выделенных кандидатов КС выяснилось, что 2022 из них находятся на расстояниях 1—4 кпк от галактической плоскости. Именно они являются подходящими объектами для исследования кинематических свойств населения толстого диска, которое начинает доминировать на таких высотах с вертикальным масштабом около 0.8 кпк.

Так, Гирард и др. [4] показали, что подавляющее большинство звезд выборки 1200 красных гигантов ($1 \text{ кпк} < z < 4 \text{ кпк}$) из каталога SPM3 в области южного галактического полюса принадлежат населению толстого диска. Кроме того, характерная для сводного каталога точность собственных движений и инфракрасных звездных величин позволяет вычислять значения скоростей указанных выше 2022 звезд со средней погрешностью 25 км/с при их среднем расстоянии $z = 1.9$ кпк. Отсюда, в случае составления выборок, насчитывающих 100 и более звезд, средние значения их скоростей можно определить с точностью лучше ~ 2.5 км/с. Этого вполне достаточно, чтобы надежно оценить кинематические параметры звезд толстого диска в зависимости от их z -расстояний.

ВЫВОДЫ

На основе комбинации данных каталогов «Tycho-2», UCAC2 и ФОНАК в области северного полюса Галактики создан сводный каталог собственных движений и данных трехцветной ИК-фотометрии 23 633 звезд до $K_s = 13^m$. Высокая точность и однородность указанных данных для выделенных из сводного каталога около 2000 кандидатов КС ($z \geq 1$ кпк) дают возможность определить новые значения кинематических параметров населения толстого диска.

1. Кислюк В. С., Яценко А. И., Иванов Г. А. и др. ФОНАК: астрографический каталог программы ФОН // Кинематика и физика небес. тел.—2000.—16, № 6.—С. 483—496.
2. Рыбка С. П. Каталог звезд — кандидатов красного сгущения в «Tycho-2» // Кинематика и физика небес. тел.—2007.—23, № 2.—С. 102—106.
3. Alves D. R. K-band calibration of the red clump luminosity // *Astrophys. J.*—2000.—539, N 2.—P. 732—741.
4. Girard T. M., Korchagin V. I., Casetti-Dinesku D. I., et al. Velocity shear of the thick disk from SPM3 proper motions at the South galactic pole // *Astron. J.*—2006.—132, N 5.—P. 1768—1782.
5. Hog E., Fabricius C., Makarov V. V., et al. Construction and verification of the Tycho-2 Catalogue // *Astron. and Astrophys.*—2000.—357, N 2.—P. 367—386.
6. Majewski S. R. A complete, multicolor survey of absolute proper motions to $B \sim 22.5$: galactic structure and kinematics at the North Galactic pole // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—1992.—78, N 1.—P. 931—938.
7. Soubiran C. Kinematics of the Galaxy's stellar populations from a proper motions Survey // *Astron. and Astrophys.*—1993.—274, N 1.—P. 181—188.
8. Zacharias N., Urban S. E., Zacharias M. I., et al. The second US Naval observatory CCD astrograph catalog (UCAC2) // *Astron. J.*—2004.—127, N 5.—P. 3043—3059.

Поступила в редакцию 27.09.07