

**В.В.ВИТЯЗЕВ
А.С.ЦВЕТКОВ**

СПбГУ

Сравнение Галактических систем координат ХРМ и UCAC4

**Всероссийская астрометрическая конференция
"Пулково-2015"**

21 - 25 сентября 2015 года

МОТИВАЦИЯ

- Стандартная Галактическая система координат МАС 1958 установлена на основе изучения распределения нейтрального водорода в Галактике.
- В последнее время появились работы (Лиу и др., 2011а-2011b), в которых ставится вопрос об улучшении Галактической системы координат путем идентификации плоскости Галактики с учетом нового наблюдательного материала о координатах различных объектов в инфракрасном диапазоне (каталог 2 MASS, Скрутски и др., 2006) и в радиодиапазоне (каталог SPECFIND v.2.0, Волльмер и др., 2010)

UCAC4 (Захарнас и др., 2013)

- Каталог UCAC4 содержит 113 миллионов звезд от 8 до 16 звездной величины в нестандартной фотометрической полосе между V и R, которые покрывают все небо.
- Точность координат на среднюю эпоху оценивается диапазоном 15-100 мсд, а формальные ошибки собственных движений -- интервалом 1-10 мсд/год. Систематические ошибки собственных движений заключены в пределах 1-4 мсд/год. Каталог содержит координаты и собственные движения в системе ICRS и считается полным вплоть до R=16.

ХРМ (Федоров и др., 2009)

- Каталог ХРМ (Федоров и др., 2009) содержит 280 миллионов звезд в диапазоне $12^m < V < 19^m$ с равномерным покрытием всего неба.
- Результирующий каталог содержит координаты звезд в системе ICRS на эпоху J2000.0,
- а также оригинальные собственные движения, полученные сравнением координат звезд в каталогах 2MASS и USNO-A2.

РАЗЛИЧИЯ UCAS4 и XPM

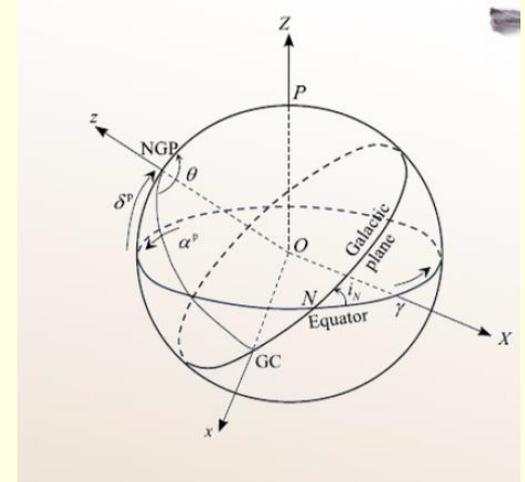
- Опорной системой для UCAS4 является система HCRF, собственные движения звезд которой были привязаны к квазарам и галактикам (Ковалевский и др., 1997).
- Собственные движения звезд каталога XPM были получены в системе отсчета, реализованной на галактиках

Содержание

- *Произведено сравнение стандартной Галактической системы координат с возможными новыми версиями этой системы, построенными на новом наблюдательном материале по данным каталогов 2MASS и SPECFIND, AKARI, WISE (IR & Radio)*
- *На основе разбиения более 40 миллионов общих звезд каталогов XPM и UCAC4 на группы, принадлежащие 12 интервалам звездных величин в полосе J шириной 0.5 m для средних значений от 10.25 до 15.75 m, получены систематические разности галактических координат обоих каталогов в виде разложения по векторным сферическим функциям с учетом уравнения яркости.*

Построение ГСК

$$\begin{bmatrix} \cos l \cos b \\ \cos l \sin b \\ \sin b \end{bmatrix} = N \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \delta \\ \cos \alpha \sin \delta \\ \sin \alpha \end{bmatrix}$$



$$N = R_z(90^\circ - \theta) R_x(90^\circ - \delta^p) R_z(90^\circ + \alpha^p)$$

$$R_x, R_z \quad R_x \quad \alpha^p \quad \delta^p \quad \theta \quad \alpha^p, \delta^p$$

Собственные движения ГСК

$$\begin{bmatrix} 1 \\ \mu_b \\ \mu_l \cos b \end{bmatrix} = A^{-1}(l, b) N A(\alpha, \delta) \begin{bmatrix} 1 \\ \mu_\delta \\ \mu_\alpha \cos \delta \end{bmatrix}$$

$$A(\alpha, \delta) = \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \delta & -\cos \alpha \sin \delta & -\sin \alpha \\ \sin \alpha \cos \delta & -\sin \alpha \sin \delta & \cos \alpha \\ \sin \delta & \cos \delta & 0 \end{bmatrix}.$$

Параметры ориентации ГСК

- **Стандартная ГСК (МАС 1958, FK5, J2000)**

$$\alpha^p = 12^h 51^m 26^s .2755; \quad \delta^p = 27^\circ 07' 41'' .705; \quad \theta^p = 122^\circ .93191857.$$

- **Альтернативные ГСК (Лиу и др., 2011а-2011b),**
- **ИК каталог 2 MASS; Радиодиапазон SPECFIND**

$$\alpha_{2MASS}^p = 12^h 50^m 46^s .5444; \quad \delta_{2MASS}^p = 26^\circ 48' 56'' .706; \quad \theta_{2MASS}^p = 122^\circ .912729244;$$

$$\alpha_{SPEC}^p = 12^h 49^m 58^s .7360; \quad \delta_{SPEC}^p = 26^\circ 32' 24'' .989; \quad \theta_{SPEC}^p = 122^\circ .823292026.$$

Многоволновые каталоги:

AKARI (Мураками и др., 2007) и WISE (Райт и др., 2010):

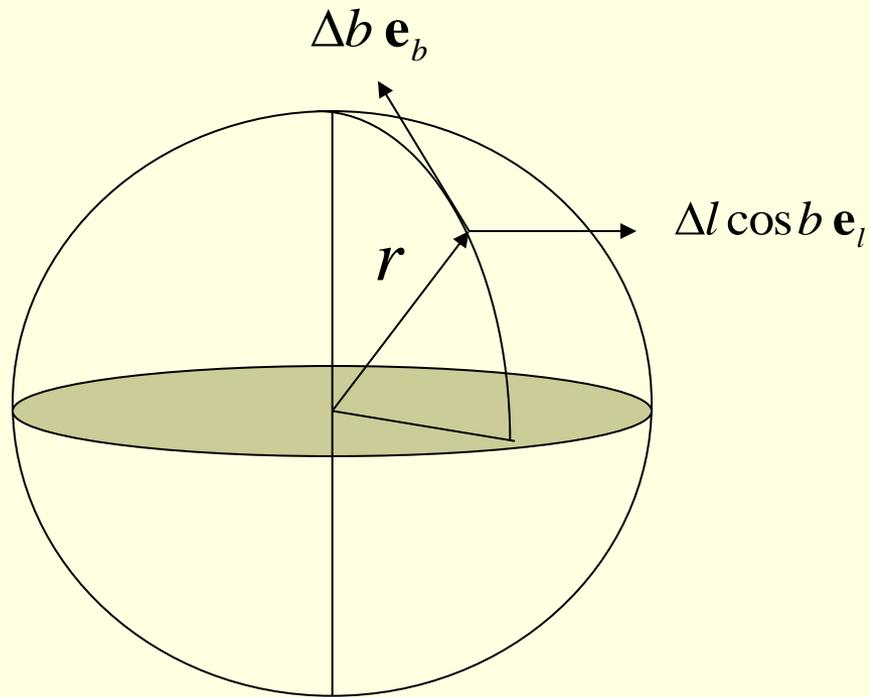
$$\alpha_{AK-WI}^p = 192^\circ .777; \quad \delta_{AK-WI}^p = 26^\circ .9298; \quad \theta_{AK-WI}^p = 122^\circ .95017.$$

Численный эксперимент

- 1. В центрах HealPix-площадок ($N=1200$) был образован искусственный каталог экваториальных координат звезд
- 2. С указанными параметрами ориентации были получены четыре ГСК Gal0, Gal(2MASS); Gal(SPEC); Gal(AK-WI);
- 3. Для сравнения новых Галактических систем со стандартной системой были вычислены разности галактических координат вида Gal(2MASS) – Gal0, Gal(SPEC) – Gal0; Gal(AK-WI) – Gal0.

Векторное поле систематических разностей

$$\Delta \mathbf{G}(l, b) = \Delta l \cos b \mathbf{e}_l + \Delta b \mathbf{e}_b$$



ВЕКТОРНЫЕ СФЕРИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ

Тороидальные функции

$$\mathbf{T}_{nkl}(l, b) = \frac{1}{\sqrt{n(n+1)}} \left(\frac{\partial K_{nkl}(l, b)}{\partial b} \mathbf{e}_l - \frac{1}{\cos \delta} \frac{\partial K_{nkl}(l, b)}{\partial l} \mathbf{e}_b \right)$$

Сфероидальные функции

$$\mathbf{S}_{nkl}(l, b) = \frac{1}{\sqrt{n(n+1)}} \left(\frac{1}{\cos b} \frac{\partial K_{nkl}(l, b)}{\partial l} \mathbf{e}_l + \frac{\partial K_{nkl}(l, b)}{\partial b} \mathbf{e}_b \right)$$

Разложение систематических разностей по ВСФ

$$\Delta\mathbf{G}(l, b) = \sum_{nkp} t_{nkp} \mathbf{T}_{nkp} + \sum_{nkp} s_{nkp} \mathbf{S}_{nkp}.$$

$$t_{nkp} = \sum_j \Delta\mathbf{G}(l_j, b_j) \mathbf{T}_{nkp}(l_j, b_j),$$

$$s_{nkp} = \sum_j \Delta\mathbf{G}(l_j, b_j) \mathbf{S}_{nkp}(l_j, b_j).$$

УГЛЫ ОРИЕНТАЦИИ ГСК

$$\varepsilon_x = t_{111} / 2.89; \quad \varepsilon_y = t_{110} / 2.89; \quad \varepsilon_z = t_{101} / 2.89; \quad (12)$$

	ε_x	ε_y	ε_z
Gal(2MASS)- Gal0	-20.58'	-2.76'	3.36'
Gal(SPEC)- Gal0	-40.29'	-2.74'	3.38'
Gal(AK-WI)- Gal0	-12.41'	-2.78'	3.35'

ХРМ - UCAC4: Взаимная ориентация ГСК

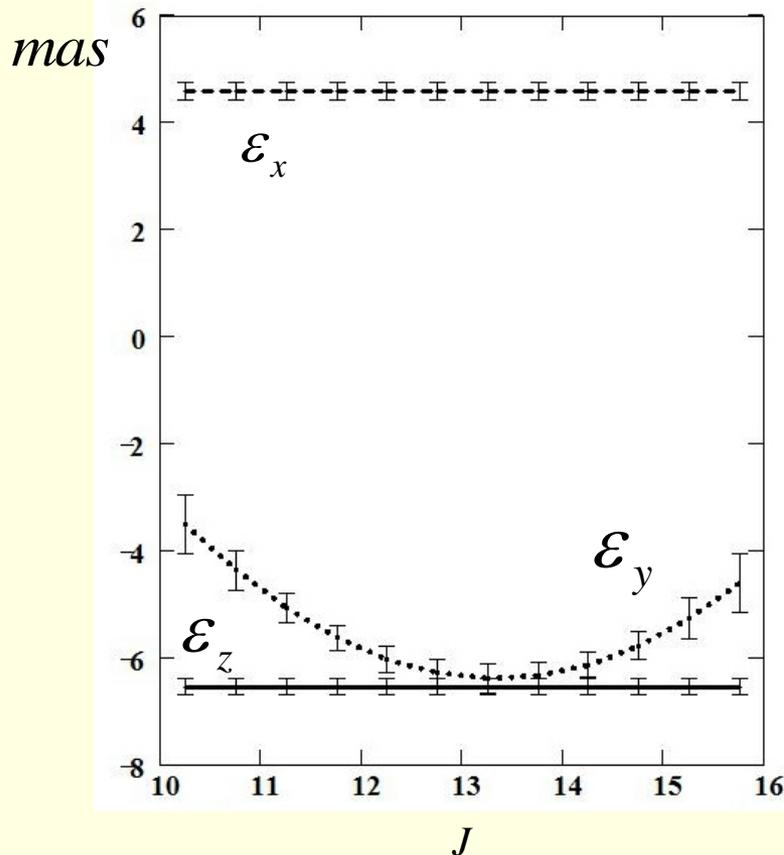


Рис.1. Зависимость углов взаимной ориентации галактических систем отсчета каталогов ХРМ и UCAC4 от блеска звезд. в полосе J.

ХРМ - UCAC4: Векторное поле взаимного поворота ГСК

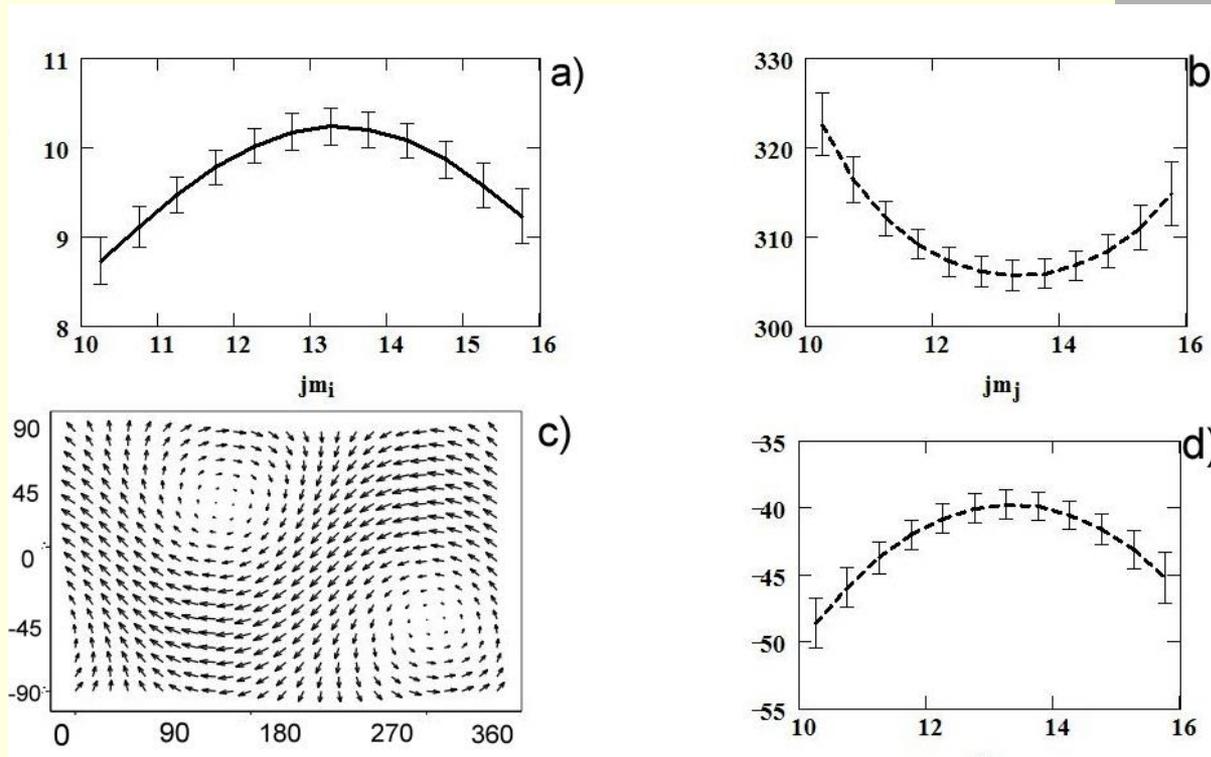
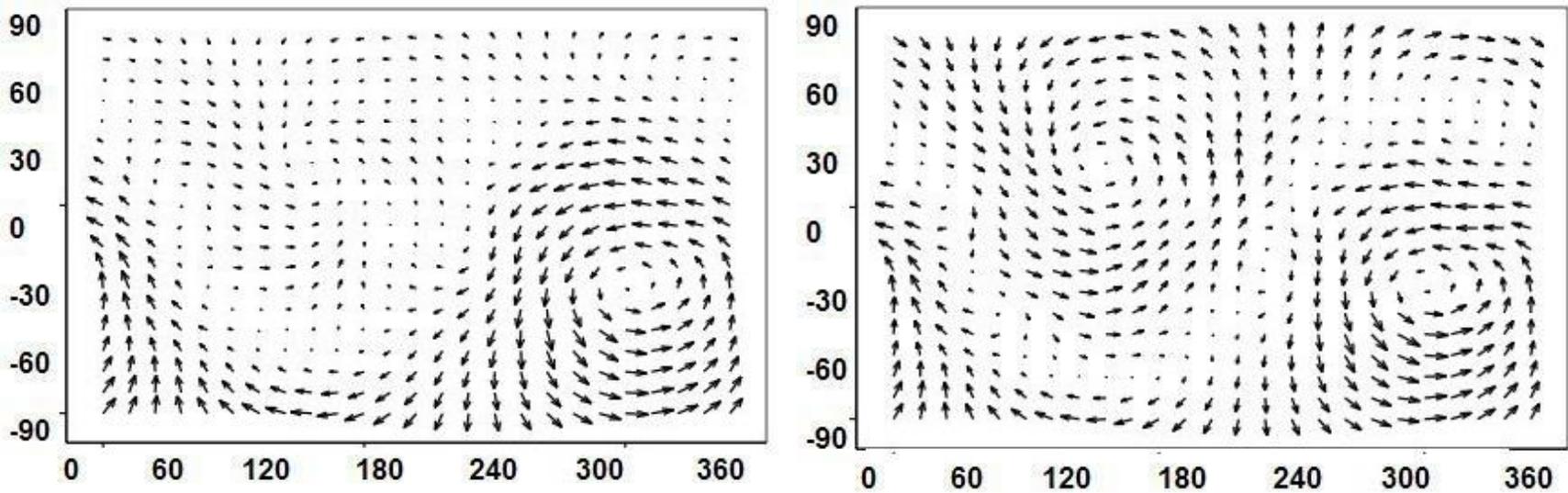


Рис.2 а) Значения углов взаимного поворота галактических систем отсчета каталогов ХРМ и UCAC4 вокруг полюса, долготы и широты которого для звезд различной яркости показаны в боксах b) и d). Векторная карта компонент поворота вокруг полюса, соответствующего $J=15$, показана в боксе c). По горизонтальным осям отложены звездные величины выборок в полосе J

ХРМх и ХРМр

- В процессе привязки собственных движений звезд каталога ХРМ к галактикам его авторы встретились с тем обстоятельством, что в каталоге 2MASS имеются два множества (PSC и XSC) протяженных источников (галактик), но координаты общих объектов в этих подкаталогах систематически различаются вплоть до 25 мсд. По этой причине авторы приводят две системы абсолютных собственных движений, полученные по каталогам PSC и XSC, которые мы в дальнейшем будем обозначать как ХРМр и ХРМх.

Сравнение ХРМх и ХРМр



Векторные карты разностей собственных движений ХРМх-ХРМр
Слева – все коэффициенты; Справа – старшие коэффициенты ($n > 1$)

Кинематика Огородникова-Милна

$$\mathbf{V} = \mathbf{V}_{\square} + \mathit{grad} S + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}$$

$$S = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^3 \sum_{q=1}^3 M_{pq}^+ \quad \boldsymbol{\omega} = (\omega_1, \omega_2, \omega_3)$$

$$\mathbf{U}(l, b) = \sum_{nkl} v_{nkl} \mathbf{V}_{nkl} + \sum_{nkl} t_{nkl} \mathbf{T}_{nkl} + \sum_{nkl} s_{nkl} \mathbf{S}_{nkl}$$

$$n \leq 2$$

Параметры 3D модели

V_x, V_y, V_z – компоненты скорости движения Солнца

$\omega_1, \omega_2, \omega_3$ – компоненты вектора угловой скорости вращения системы звезд

$M_{11}^+, M_{22}^+, M_{33}^+$ – компоненты сжатия (растяжения) вдоль главных осей

$M_{12}^+, M_{13}^+, M_{23}^+$ – компоненты деформации в галактических плоскостях

Параметры 2D модели

$M_{12}^+ \equiv A, \quad \omega_3 \equiv B$ – постоянные Орта

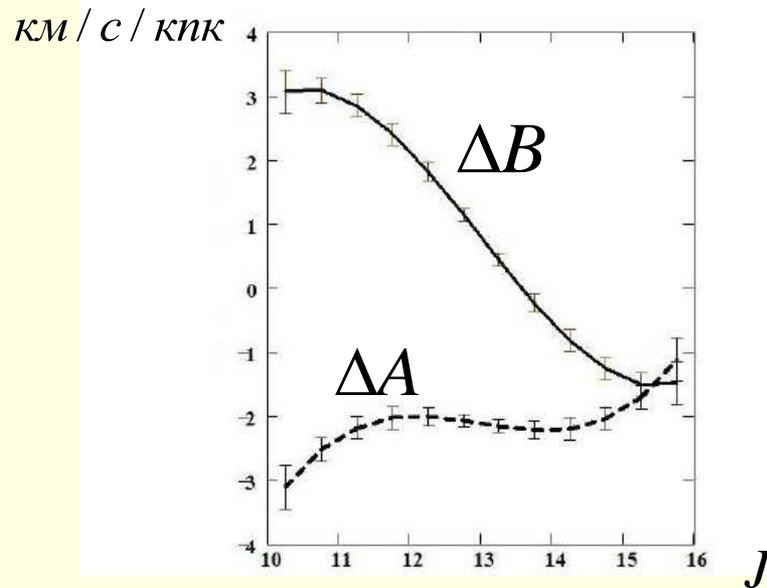
Тороидальные коэффициенты

J	N	K	L	t_{nkl}
1	1	0	1	2.894 ΔB
2	1	1	0	2.894 ω_2
3	1	1	1	2.894 ω_1

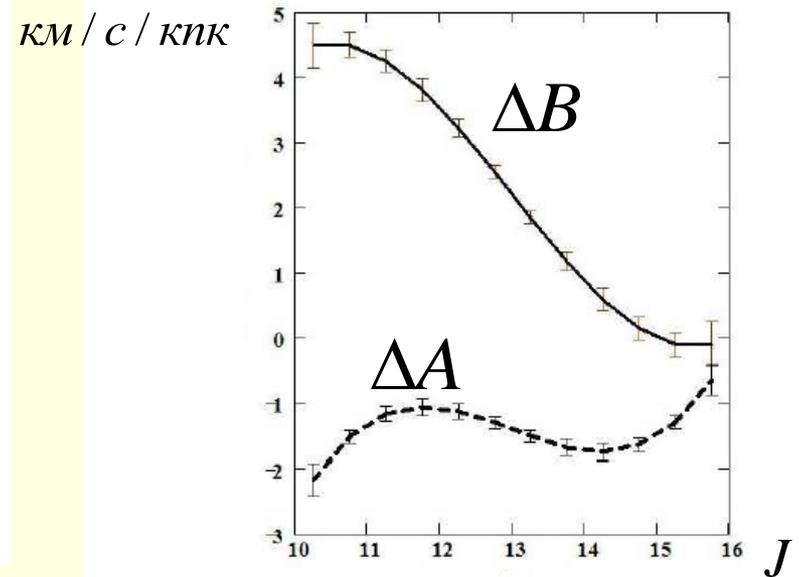
Сфероидальные коэффициенты

N	K	L	S_{nkl}
1	0	1	$-2.894 W$
1	1	0	$-2.894 V$
1	1	1	$-2.894 U$
2	0	1	$-0.647 M_{11} + 1.294 M_{33} - 0.647 M_{22}$
2	1	0	$2.242 M_{23}$
2	1	1	$2.242 M_{13}$
2	2	0	$2.242 \Delta A$
2	2	1	$1.121 M_{11} - 1.121 M_{22}$

Разности постоянных Оорта



XPMx-UCAC4



XPMp-UCAC4

Результаты:

- Впервые представлены результаты решения задачи о получении систематических разностей координат и собственных движений звезд двух каталогов в Галактической системе координат.
- Произведено сравнение стандартной Галактической системы координат с возможными новыми версиями этой системы, построенными на новом наблюдательном материале по данным каталогов 2MASS и SPECFIND; AKARI; WISE.
- На основе разбиения более 40 миллионов общих звезд каталогов XPM и UCAC4 на группы, принадлежащие 12 интервалам звездных величин в полосе J шириной 0.5^m для средних значений от $10^m.25$ до $15^m.75$, получены систематические разности галактических координат и собственных движений звезд обоих каталогов в виде разложения по векторным сферическим функциям с учетом уравнения яркости.
- Оценки углов ориентации Галактических систем отсчета, построенных по данным каталогов XPM и UCAC4, не превышают по модулю 10 мсд. Сделан вывод о том, что эти отличия пренебрежимо малы по сравнению с точностью реализации стандартной Галактической системы координат МАС 1958 года.
- .

Результаты

- Исследованы две особенности каталога XPM. Во-первых, в отличие от звезд каталогов ICRF и UCAC4, чьи собственные движения привязаны к квазарам и галактикам, он реализует систему отсчета, построенную только на галактиках. Во-вторых, в каталоге XPM даются две системы собственных движений звезд XPMx и XPMr, отнесенные к галактикам PSC и XSC в проекте 2MASS
- Изучение разностей XPMx - XPMr показало, что они свободны от влияния уравнения яркости.
- Найдена оценка скорости взаимного вращения систем собственных движений звезд XPMx и XPMr, оказавшаяся равной $\omega = 0.453 \pm 0.003$ мсд/год, что превышает меру инерциальности системы ICRF (0.25 мсд/год).
- Анализ систематических разностей XPMx-UCAC4 и XPMr-UCAC4 показал, что обе системы отсчета XPMx и XPMr имеют заметную скорость вращения относительно UCAC4 (следовательно и ICRF), особенно большую (до 2 мсд/год) для ярких звезд нашего диапазона. Это свидетельствует о том, что сравнительно большая скорость вращения обеих систем отсчета XPMx и XPMr относительно UCAC4 вызвана переходом с комбинированной "квазарно-галактической" на чисто "галактическую" систему отсчета.
- Показано, что систематические разности собственных движений звезд двух каталогов можно интерпретировать в рамках кинематической модели поля скоростей Огородникова-Милна

СПАСИБО!
